



Die
Bundesregierung

KLiVO

DEUTSCHES
KLIMAVORSORGE-
PORTAL

Monitoringbericht 2023

zur Deutschen Anpassungsstrategie
an den Klimawandel

Bericht der Interministeriellen Arbeitsgruppe
Anpassungsstrategie der Bundesregierung

Umwelt 
Bundesamt

Impressum

Herausgeber:

Umweltbundesamt
Postfach 14 06
06844 Dessau-Roßlau
Tel: +49 340-2103-0
info@umweltbundesamt.de
Internet: www.umweltbundesamt.de

Editoren:

Petra van Rühl (KomPass – Kompetenzzentrum Klimafolgen und Anpassung, Umweltbundesamt)
Konstanze Schönthaler, Stefan von Andrian-Werburg, Mareike Wolf, Maximilian Gabriel (Bosch & Partner GmbH)
Die sprachliche Gestaltung insbesondere im Hinblick auf die Verwendung gendergerechter Sprache erfolgt in Verantwortung des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (BMUV)

Gestaltung:

Stefan von Andrian-Werburg, Maximilian Gabriel, Konstanze Schönthaler (Bosch & Partner GmbH)
Ursula Blum (Ursula Blum Grafikdesign)

Bildquellen:

Titel: Robert Kneschke / stock.adobe.com
(Bearbeitung Ursula Blum)
Autoren aller weiteren Bilder s. Bildunterschriften

Druck:

Senser-Druck GmbH Augsburg
gedruckt auf Recyclingpapier aus 100 % Altpapier
klimaneutral durch CO₂e-Ausgleich:
www.natureoffice.com/DE-559-MYBDZTD

Broschüren bestellen:

Umweltbundesamt
c/o GV
Postfach 30 03 61
53183 Bonn
Service-Telefon: 0340 2103-6688
Service-Fax: 0340 2104-6688
E-Mail: uba@broschuerenversand.de
Internet: www.umweltbundesamt.de

Publikation als pdf:

www.umweltbundesamt.de/publikationen/monitoringbericht-2023

Stand: November 2023

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei der Interministeriellen Arbeitsgruppe Anpassungsstrategie (IMAA) der Bundesregierung. Die IMAA wird geleitet vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (BMUV). In der IMAA vertreten sind Auswärtiges Amt (AA), Bundeskanzleramt (BKAm), Bundesministerium der Finanzen (BMF), Bundesministerium des Innern und für Heimat (BMI), Bundesministerium für Arbeit und Soziales (BMAS), Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF), Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL), Bundesministerium der Verteidigung (BMVg), Bundesministerium für Familie, Senioren, Frauen und Jugend (BMFSFJ), Bundesministerium für Gesundheit (BMG), Bundesministerium für Digitales und Verkehr (BMDV), Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen (BMWSB), Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK), Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (BMZ).
Ständig beisitzende Oberbehörde ist das Umweltbundesamt (UBA).

Hinweis: Bundeshaushalt und Finanzplanungszeitraum werden durch den DAS-Monitoringbericht 2023 nicht präjudiziert. Etwaige auf den Bericht gestützte neue Maßnahmen oder Prozesse stehen unter Haushaltsvorbehalt. Den von der Verfassung vorgegebenen Zuständigkeiten zwischen Bund und Ländern ist Rechnung zu tragen.

Monitoringbericht 2023

zur Deutschen Anpassungsstrategie
an den Klimawandel

Bericht der Interministeriellen Arbeitsgruppe
Anpassungsstrategie der Bundesregierung

Inhalt

Indikatorenübersicht..... 4

Lesehilfe..... 7

Einführung

Anpassungsprozess in Deutschland..... 12

Wie und wo zeigen sich Klimaänderungen in Deutschland? 13

DAS-Monitoring-Indikatorensystem..... 14

Klimaentwicklung in Deutschland

Die Klimaentwicklung in Deutschland seit dem Ende des 19. Jahrhunderts 18

Mittlere Klimaänderungen..... 19

Änderungen der Extreme 22

Entwicklungen in der Zukunft 29

Indikatoren zu Klimawandelfolgen und Anpassung

Menschliche Gesundheit..... 34

Wasserhaushalt und Wasserwirtschaft 64

Küsten- und Meeresschutz 94

Fischerei 116

Boden..... 128

Landwirtschaft	144
Wald und Forstwirtschaft	168
Biologische Vielfalt	196
Bauwesen	214
Energiewirtschaft	236
Verkehr, Verkehrsinfrastruktur	242
Industrie und Gewerbe	258
Tourismuswirtschaft	272
Finanzwirtschaft	286
Raumordnung, Regional- und Bauleitplanung	298
Bevölkerungsschutz	314
Handlungsfeldübergreifende Aktivitäten des Bundes	330
 Anhang	
Bearbeitung	344
Beteiligungen	344
Quellenverzeichnis	350
Abkürzungen	365
Einheiten	368

INDIKATORENÜBERSICHT

Cluster Gesundheit

Handlungsfeld „Menschliche Gesundheit“		Seite
Impact-Indikatoren		
GE-I-1	Hitzebelastung	40
GE-I-2	Hitzebedingte Todesfälle	42
GE-I-3	Belastung mit Birkenpollen	44
GE-I-4	Belastung mit Ambrosiapollen	46
GE-I-5	Überträger von Krankheitserregern (Fallstudie)	48
GE-I-6	Cyanobakterienbelastung von Badegewässern	50
GE-I-7	Gesundheitsgefährdung durch Vibrionen (Fallstudie)	52
GE-I-8	UV-Index (Fallstudie)	54
GE-I-9	Ozonbelastung	56
Response-Indikatoren		
GE-R-1	Hitzewarndienst	58
GE-R-2	Bewusstsein der Bevölkerung für gesundheitliche Folgen von Hitzewellen	59
GE-R-3	Informationen zu Pollen	60
GE-R-4	Einsendungen zum Mückenatlas	62

Handlungsfeld „Küsten- und Meeresschutz“		Seite
Impact-Indikatoren		
KM-I-1	Wassertemperatur des Meeres	100
KM-I-2	Meeresspiegel	102
KM-I-3	Höhe von Sturmfluten	104
KM-I-4	Küstenmorphologie (Fallstudie)	106
KM-I-5	Fließrichtungswechsel	108
KM-I-6	Leistung von Schöpfwerken (Fallstudie)	110
Response-Indikatoren		
KM-R-1	Investitionen in den Küstenschutz	112
KM-R-2	Landesschutzdeiche ohne Sicherheitsdefizit (Fallstudie)	114

Handlungsfeld „Fischerei“		Seite
Impact-Indikatoren		
FI-I-1	Verbreitung warmadaptierter mariner Arten	122
FI-I-2	Heringslarven im Greifswalder Bodden	124
FI-I-3	Vorkommen wärmeliebender Arten in Binnengewässern (Fallstudie)	126

Cluster Wasser

Handlungsfeld „Wasserhaushalt und Wasserwirtschaft“		Seite
Impact-Indikatoren		
WW-I-1	Terrestrisch gespeichertes Wasser	70
WW-I-2	Grundwasserstand und Quellschüttung	72
WW-I-3	Mittlerer Abfluss	74
WW-I-4	Hochwasser	76
WW-I-5	Spitzenabflüsse in Fließgewässern	78
WW-I-6	Niedrigwasser	80
WW-I-7	Wasserstand von Seen	82
WW-I-8	Wassertemperatur von Seen	84
WW-I-9	Frühjahrsalgenblüte in Seen	86
WW-I-10	Wassertemperatur von Fließgewässern	88
Response-Indikatoren		
WW-R-1	Wassernutzungsindex	90
WW-R-2	GAK-Mittel für den Hochwasserschutz	92
WW-R-3	Investitionen in den Hochwasserschutz (Fallstudie)	93

Cluster Land

Handlungsfeld „Boden“		Seite
Impact-Indikatoren		
BO-I-1	Bodenwasservorrat in landwirtschaftlich genutzten Böden	134
BO-I-2	Bodenwasser in Waldböden (Fallstudie)	135
BO-I-3	Regenerosivität	136
BO-I-4	Temperatur im Oberboden	138
Response-Indikatoren		
BO-R-1	Humusgehalte von Acker- und Grünlandböden (Fallstudie)	140
BO-R-2	Dauergrünlandfläche	142

Handlungsfeld „Landwirtschaft“		Seite
Impact-Indikatoren		
LW-I-1	Verschiebung agrarphänologischer Phasen	150
LW-I-2	Ertragsschwankungen	152
LW-I-3	Hagelschäden in der Landwirtschaft	154
LW-I-4	Befall mit Schadorganismen (Fallstudie)	156

Handlungsfeld „Landwirtschaft“		Seite
Response-Indikatoren		
LW-R-1	Anpassung von Bewirtschaftungsrhythmen	158
LW-R-2	Sorten und Vermehrung wärmeliebender Ackerkulturen	160
LW-R-3	Anpassung des Sortenspektrums im Weinbau	161
LW-R-4	Anbau wärmeliebender Ackerkulturen	162
LW-R-5	Pflanzenschutzmittel-Absatz und -Anwendung	164
LW-R-6	Landwirtschaftliche Bewässerung	166

Handlungsfeld „Wald und Forstwirtschaft“		Seite
Impact-Indikatoren		
FW-I-1	Baumartenzusammensetzung in Naturwaldreservaten – Fallstudie	174
FW-I-2	Holzzuwachs	176
FW-I-3	Waldzustand	178
FW-I-4	Absterberate	179
FW-I-5	Schadholz – Umfang nicht planmäßiger Nutzungen	180
FW-I-6	Gefährdete Fichtenbestände	182
FW-I-7	Schadholzaufkommen durch Buchdrucker (Fallstudie)	183
FW-I-8	Waldbrandgefährdung und Waldbrand	184
Response-Indikatoren		
FW-R-1	Förderung des Waldumbaus	186
FW-R-2	Erhaltung forstgenetischer Ressourcen	188
FW-R-3	Humusvorrat in Waldböden	190
FW-R-4	Rohholzverwendung	192
FW-R-5	Holzbauquote	193
FW-R-6	Forstliche Informationen zum Thema Anpassung	194

Handlungsfeld „Biologische Vielfalt“		Seite
Impact-Indikatoren		
BD-I-1	Phänologische Veränderungen bei Wildpflanzenarten	202
BD-I-2	Temperaturindex der Vogelartengemeinschaft	204
BD-I-3	Temperaturindex der Tagfalterartengemeinschaften	206
Response-Indikatoren		
BD-R-1	Berücksichtigung des Klimawandels in Landschaftsprogrammen und -rahmenplänen	208
BD-R-2	Rückgewinnung natürlicher Überflutungsflächen	210
BD-R-3	Gebietsschutz	212

Cluster Infrastruktur

Handlungsfeld „Bauwesen“		Seite
Impact-Indikatoren		
BAU-I-1	Wärmebelastung in Städten (Fallstudie)	220
BAU-I-2	Sommerlicher Wärmeineffekt (Fallstudie)	221
BAU-I-3	Kühlgradtage	222
BAU-I-4	Starkregen im Siedlungsbereich	224
BAU-I-5	Schadenaufwand in der Sachversicherung	226
Response-Indikatoren		
BAU-R-1	Erholungsflächen	228
BAU-R-2	Gründächer in Großstädten	230
BAU-R-3	Investitionen in die energetische Sanierung der Gebäudehülle	232
BAU-R-4	Versicherungsdichte der erweiterten Elementarschadenversicherung für Wohngebäude	234

Handlungsfeld „Energiewirtschaft“		Seite
Impact-Indikatoren		
EW-I-1	Wetterbedingte Unterbrechungen der Stromversorgung	240
EW-I-2	Wetterbedingte Nichtverfügbarkeit der Stromversorgung	241

Handlungsfeld „Verkehr, Verkehrsinfrastruktur“		Seite
Impact-Indikatoren		
VE-I-1	Hochwassersperrungen am Rhein	248
VE-I-2	Niedrigwassereinschränkungen am Rhein	249
VE-I-3	Starkregen und Straße	250
VE-I-4	Wetter- und witterungsbedingte Straßenverkehrsunfälle	252
VE-I-5	Wetter- und witterungsbedingte Beeinträchtigungen von Straßen	254
VE-I-6	Wetter- und witterungsbedingte Störungen der Schieneninfrastruktur	256

Cluster Wirtschaft

Handlungsfeld „Industrie und Gewerbe“		Seite
Impact-Indikatoren		
IG-I-1	Hitzebedingte Minderung der Leistungsfähigkeit	264
Response-Indikatoren		
IG-R-1	Wahrnehmung der Relevanz physischer Klimarisiken in Industrie und Gewerbe	266
IG-R-2	Exposition des deutschen Außenhandels gegenüber dem globalen Klimawandel	268
IG-R-3	Wasserbezug des Verarbeitenden Gewerbes	270

Handlungsfeld „Tourismuswirtschaft“		Seite
Impact-Indikatoren		
TOU-I-1	Badetemperaturen an der Küste	278
TOU-I-2	Schneedecke für den Wintertourismus	280
TOU-I-3	Marktanteile der touristischen Großräume	282
Response-Indikatoren		
TOU-R-1	Saisonalität der Übernachtungen in den touristischen Großräumen	284

Handlungsfeld „Finanzwirtschaft“		Seite
Impact-Indikatoren		
FiW-I-1	Schadenquote, Schaden-Kosten-Quote bei der Verbundenen Wohngebäudeversicherung	292
Response-Indikatoren		
FiW-R-1	Bewusstsein der Bevölkerung für Sturm- und Hochwasserrisiken	294
FiW-R-2	Wahrnehmung der Relevanz physischer Klimarisiken bei Finanzdienstleistern	296

Cluster Stadtentwicklung, Raumplanung, Bevölkerungsschutz

Handlungsfeld „Raumordnung, Regional- und Bauleitplanung“		Seite
Response-Indikatoren		
RO-R-1	Vorrang- und Vorbehaltsgebiete für Natur und Landschaft	302
RO-R-2	Vorrang- und Vorbehaltsgebiete für Grundwasserschutz / Trinkwassergewinnung	304
RO-R-3	Vorrang- und Vorbehaltsgebiete für (vorbeugenden) Hochwasserschutz	306
RO-R-4	Vorrang- und Vorbehaltsgebiete für besondere Klimafunktionen	308
RO-R-5	Anstieg der Siedlungs- und Verkehrsfläche	310
RO-R-6	Siedlungsnutzung in amtlich festgesetzten Überschwemmungsgebieten	312

Handlungsfeld „Bevölkerungsschutz“		Seite
Impact-Indikatoren		
BS-I-1	Einsatzstunden bei wetter- und witterungsbedingten Schadenergebnissen	320
Response-Indikatoren		
BS-R-1	Information zum Verhalten im Katastrophenfall	322
BS-R-2	Vorsorge in der Bevölkerung	324
BS-R-3	Übungsgeschehen	326
BS-R-4	Aktive Einsatzkräfte	328

Handlungsfeldübergreifende Indikatoren

Response-Indikatoren		Seite
HUE-1	Beherrschbarkeit von Klimawandelfolgen	332
HUE-2	Nutzung von Warn- und Informationsdiensten	334
HUE-3	Bundeszuwendungen für Forschungsprojekte zu Klimawandelfolgen und Anpassung	336
HUE-4	Klimawandelanpassung auf kommunaler Ebene	338
HUE-5	Internationale Klimafinanzierung zur Anpassung (aus Haushaltsmitteln)	340

LESEHILFE

Zum Aufbau des Berichts

Der Monitoringbericht besteht aus den folgenden Berichtsteilen:

- Klimaentwicklung in Deutschland
- Indikatoren zu Klimawandelfolgen und Anpassung
- Anhang: Angaben zur Bearbeitung, zu Beteiligten, Quellenverzeichnis, Abkürzungen

Der **Berichtsteil Klimaentwicklung in Deutschland** wurde vom Deutschen Wetterdienst (DWD) erstellt. Er gibt einen Überblick über die mittleren Veränderungen wichtiger Klimaparameter sowie über Änderungen der Extreme. Die Zeitreihen reichen teilweise bis 1881 zurück. Erstmals beinhaltet dieser Berichtsteil nun auch Aussagen zu Entwicklungen der Mittel und Extreme von Temperatur und Niederschlag in der Zukunft, konkret für den kurzfristigen (2031–2060) und langfristigen (2071–2100) Planungshorizont und differenziert für das Klimaschutz-Szenario (RCP2.6) und das Hochemissionsszenario (RCP8.5). Für weitergehende Informationen wird auf den **Nationalen Klimareport** des DWD verwiesen.



In den jeweiligen Handlungsfeld-Kapiteln im **Berichtsteil Indikatoren zu Klimawandelfolgen und Anpassung** werden die Impact- und Response-Indikatoren des DAS-Monitorings mit Grafiken und Erläuterungstexten präsentiert. Den Kapiteln ist jeweils ein **handlungsfeldspezifischer Überblick** vorangestellt. Dieser beschreibt in Kürze die Bedeutung des Handlungsfelds und beinhaltet eine Kurzfassung zu den wichtigen, im Monitoringbericht mit Indikatoren dargestellten Klimawandelfolgen und Anpassungsmaßnahmen. Darüber hinaus wird auf wesentliche Daten- und Wissenslücken hingewiesen, denn nicht alle für die jeweiligen Handlungsfelder relevanten Auswirkungen des Klimawandels und Anpassungsaktivitäten können mit indikatorengestützten Darstellungen im Monitoringbericht thematisiert werden. Zudem werden über die Response-Indikatoren hinaus wichtige politische Anpassungsaktivitäten auf Bundesebene mit ausgewählten Beispielen vorgestellt.

Mit dem handlungsfeldspezifischen Überblick wird auch eine **Brücke zu den Ergebnissen der Klimawirkungs- und Risikoanalyse (KWRA) des Bundes von 2021** geschlagen. Der DAS-Monitoringbericht 2023 zitiert dabei nur die Ergebnisse der KWRA 2021 für den starken Klimawandel. Es werden keine neuen Bewertungen

durchgeführt oder von anderer Stelle übernommen. Im Rahmen der KWRA 2021 wurden auf der Basis von umfangreichen Literaturrecherchen und teilweise auch Datenanalysen zu relevanten Klimawirkungen in der nahen Zukunft (2031–2060) und fernen Zukunft (2071–2100) bei einem starken und einem schwächeren Klimawandel die damit verbundenen Klimarisiken von den Fachleuten in den Behörden bewertet. Die Einstufung der Risiken in gering – mittel – hoch berücksichtigt die Bedeutung der erwarteten Klimafolgen für Deutschland im Hinblick auf ökonomische, ökologische, soziale und kulturelle Aspekte. Ebenso wurde die Gewissheit beziehungsweise Unsicherheit, mit der die Bewertung erfolgte, abgefragt. Genauere Informationen enthalten die Veröffentlichungen zur KWRA 2021. Die **Ergebnisse der KWRA** waren leitend für die Fokussierung der Weiter- und Neuentwicklung von Indikatoren für das DAS-Monitoring auf diejenigen Klimawirkungen, für die die KWRA ein besonders hohes Risiko identifiziert hat.



Ergänzt wird der Überblick durch die Abbildung eines handlungsfeldspezifischen **Wirkstrangs**. Dieser illustriert an einem ausgewählten Beispiel, wie die beobachteten Klimaveränderungen sowie die Klimawandelfolgen (Impact-Ebene) und die Anpassungsaktivitäten (Response-Ebene) zusammenhängen.

Die Liste der Beteiligten im **Anhang** beinhaltet alle Personen, die mit konkreten Beiträgen an der Weiterentwicklung und Aktualisierung der Indikatoren und Erläuterungstexte mitgewirkt haben. Die Quellenangaben listen die Referenzen, auf die vor allem in den Indikatorbasierten Berichtsteilen verwiesen wird.

Verweise im Bericht

Im Berichtsteil Indikatoren zu Klimawandelfolgen und Anpassung wird über QR-Codes auf Hintergrunddokumente zum DAS-Monitoring-Indikatorensystem verwiesen. Die QR-Codes neben den Indikator-Grafiken verlinken zu den Indikator-Factsheets, die für jeden Indikator des Monitoringsystems vorliegen. Darin finden sich Details unter anderem zur Generierung der Indikatorwerte, zu den Datenquellen und Ansprechpersonen sowie zu möglichen Einschränkungen der Aussagekraft des Indikators. Zudem beinhalten die Factsheets Erläuterungen zu den Zusammenhängen zwischen dem Klimawandel und dem Indikationsgegenstand. Die Daten-Factsheets werden aus Datenschutzgründen nicht publiziert. In

ihnen werden die Daten abgelegt, die Indikatorwerte berechnet, die Indikator-Grafiken generiert und weitere Details zu Herkunft und Bezug der Daten dokumentiert.

Die Dokumentation zum DAS-Monitoring-Indikatoren-system umfasst zudem die handlungsfeldbezogenen Hintergrundpapiere, die zu jedem Handlungsfeld erstellt wurden und bei jeder Fortschreibung des Monitoringberichts aktualisiert werden. In den Hintergrundpapieren wird der Prozess der Entwicklung und Überarbeitung des jeweiligen handlungsfeldspezifischen Indikatoren-sets seit dem Jahr 2009 kontinuierlich dokumentiert. Es wird damit nachvollziehbar, welche Indikationsideen diskutiert, zu konkreten Indikatoren entwickelt oder auch verworfen wurden. Zudem werden Perspektiven für Weiterentwicklungen festgehalten. Aus den Hintergrundpapieren lässt sich auch entnehmen, welche Indikatoren wann im Prozess verändert oder auch aus dem Indikato-renset entnommen wurden. Ein QR-Code auf der jeweils ersten bebilderten Doppelseite der einzelnen Handlungs-feldkapitel verlinkt auf die jeweiligen Hintergrundpapie-re. Weitere Details zu den Hintergrunddokumenten und zur Organisation des Fortschreibungsprozesses des DAS-Monitorings und der diesem zugrunde liegenden Indikatoren enthält das **Organisati-onshandbuch zum DAS-Monitoring**.



Es gibt zahlreiche Schnittstellen und Zusammenhänge zwischen den Indikatoren des DAS-Monitorings, auch über die Grenzen der Handlungsfelder hinaus. Auf diese Verknüpfungen wird an den relevanten Stellen in den Erläuterungstexten durch Verweise zu den Indikatoren hingewiesen.

In den Erläuterungstexten wird in einzelnen Fällen, vor allem wenn Zahlen genannt sind, die über die Indika-torwerte hinausgehen, auf Quellen referenziert. Die jeweiligen Nachweise finden sich nach den Berichtsteilen und Handlungsfedern sortiert im Berichtsteil „Anhang“. Ausführliche Literaturlisten zu den einzelnen Indikato-ren sind in den Indikator-Factsheets enthalten.

Indikator-Grafiken

Die Indikator-Grafiken bilden die Zeitreihen der Indi-katoren ab. In einigen Fällen haben die Grafiken zwei Vertikalachsen, um auch unterschiedliche Einheiten oder Skalierungen in einer Grafik abbilden zu können. Die Achsenbezeichnungen und Linien sind dann so eingefärbt, dass sie sich mit den Linien oder auch Säulen der jeweili-gen Zeitreihen assoziieren lassen.

Die Datenquellen in den Indikator-Grafiken sind verkürzt wiedergegeben. Die ausführlichen Nachweise werden in den Indikator- und Daten-Factsheets geführt.

Ergebnisse der Trendanalyse

Um die Entwicklung der Zeitreihen in den einzelnen Indi-katoren interpretieren und bewerten zu können, wurden statistische Trendanalysen nach einem einheitlichen Verfahren durchgeführt (siehe Seite 15). Der **R-Code**, mit dem sich das Verfahren anwenden lässt, ist öffentlich zugänglich. Die Ergebnisse der Analysen auf lineare und quadratische Trends werden in den Legenden der Indikator-Grafiken mit Trendsymbolen dokumentiert (siehe unten). Zur Si-cherstellung der Übersichtlichkeit der Indikator-Grafiken wird auf die Darstellung von Trendlinien verzichtet. Besteht ein Indikator aus mehreren Datenreihen, wird für jede dieser Reihen eine separate Trendanalyse durchge-führt. Wurden in einer Zeitreihe Bruchpunkte ermittelt (siehe Seite 15), werden diese bei der Interpretation der Datenreihen in den Erläuterungstexten berücksich-tigt. In der Indikator-Grafik werden sie aber nicht eigens kenntlich gemacht.



Trendbeschreibung	
	Steigender Trend
	Fallender Trend
	Trend mit Trendumkehr: zuerst fallend, dann steigend
	Trend mit Trendumkehr: zuerst steigend, dann fallend
	Kein Trend

Trendbewertung	
	Günstige Entwicklung
	Ungünstige Entwicklung
	Keine Bewertung der Entwicklung möglich



EINFÜHRUNG

Anpassungsprozess an den Klimawandel in Deutschland

Im Rahmen der Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel (DAS) legt die Bundesregierung 2023 den dritten Monitoringbericht zur Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel vor. Er beschreibt die Wirkungen des Klimawandels mit wissenschaftlich gesicherten Daten und informiert die Öffentlichkeit und die für Entscheidungen verantwortlichen Personen in allen Bereichen des gesellschaftlichen Lebens über die beobachteten Folgen des Klimawandels. Die mit Klimaveränderungen verbundenen Risiken betreffen alle gesellschaftlichen Bereiche und alle Ökosysteme, die mit ihren vielfältigen Strukturen und Dienstleistungen unsere Lebensgrundlage darstellen. Daher sind der Aufbau von Risikoversorge und Anpassungskapazitäten eine gesamtgesellschaftliche Aufgabe. Die Begrenzung der Erderwärmung und ihrer Auswirkungen stellt weltweit die zentrale politische Herausforderung des 21. Jahrhunderts dar und ist eine wesentliche Voraussetzung für die Erreichung der Ziele der UN-Agenda 2030 für nachhaltige Entwicklung¹.

Die Bundesregierung hat bereits im Jahr 2008 unter der Federführung des Bundesumweltministeriums (BMU) die erste **Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel (DAS)** vorgelegt und entwickelt diese seitdem kontinuierlich weiter. Übergreifendes Ziel der DAS ist, die Verwundbarkeit der Ökosysteme und der Gesellschaft gegenüber den Folgen des Klimawandels zu mindern und gleichzeitig die Widerstandskraft und Anpassungsfähigkeit dieser Systeme zu erhöhen. Die Arbeiten zur DAS erfolgen innerhalb der Bundesregierung unter Federführung des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (BMUV) über die Interministerielle Arbeitsgruppe Anpassung an den Klimawandel (IMAA), in die alle Bundesministerien und die ihnen zugeordneten wissenschaftlichen Behörden eingebunden sind. Alle Arbeiten im Rahmen der DAS erfolgen zudem in enger Zusammenarbeit mit Ländern und Kommunen.

Seit 2021 verstärkt die Bundesregierung die politische Steuerung der Klimaanpassung durch folgende Vorhaben:

- ein Bundesgesetz, das einen verbindlichen rechtlichen Rahmen zur Anpassung an den Klimawandel setzt,

- eine vorsorgende Klimaanpassungsstrategie mit messbaren Zielen sowie
- die Verankerung einer gemeinsamen Finanzierung zur Klimavorsorge und Klimaanpassung von Bund und Ländern.

Seit 2008 wurde ein **Berichtswesen zur DAS** mit verschiedenen, regelmäßig aktualisierten Elementen entwickelt: im **Monitoringbericht zur DAS** wird alle vier Jahre über Klimafolgen und Anpassung auf der Grundlage von gemessenen Daten berichtet. Alle sechs Jahre wird eine **Klimawirkungs- und Risikoanalyse (KWRA)** durchgeführt, in denen zukünftige Klimawirkungen und Risiken untersucht werden. Regelmäßig findet eine **Evaluation der DAS** statt. Auf diesen Grundlagen wird im **Fortschrittsbericht** zur DAS die Anpassungsstrategie weiterentwickelt und mit einem **Aktionsplan (APA)** unterlegt. Die Bundesregierung hat in den Jahren 2015¹ und 2020² Fortschrittsberichte vorgelegt und diese mit den Aktionsplänen 2015 und 2020 unterlegt.

Der Monitoringbericht 2023 informiert mithilfe von wissenschaftlichen **Indikatoren zu Klimafolgen und Anpassung** für die 16 Handlungsfelder der DAS (siehe Seiten 4–6). Mit der Klimawirkungs- und Risikoanalyse (KWRA 2021) wurden 2021 die 31 wichtigsten und dringendsten Handlungserfordernisse für Deutschland bestimmt³. Im Monitoringbericht 2023 werden für einige der dringendsten Handlungserfordernisse neue Indikatoren präsentiert, die es ermöglichen, Entwicklungen auf der Basis von gemessenen Daten zu beobachten. Gegenüber den ersten beiden Monitoringberichten wurde die Struktur weiterentwickelt (siehe Lesehilfe Seite 7). Einleitend wird nun für jedes Handlungsfeld ein Überblick gegeben, was im Klimawandel passiert und was bereits getan wird. Zudem werden Bezüge zur KWRA hergestellt sowie wichtige Daten- und Wissenslücken benannt. Die fachlichen Grundlagen des Monitoringberichts stützen sich auf eine Zusammenarbeit mit mehr als fünfzig Bundes- und Länderbehörden, Universitäten und Fachverbänden (siehe Seite 344 folgende), die mit ihrer Expertise zur fachlichen Qualität der Indikatoren ebenso wie zur Zuverlässigkeit der Bewertung beitragen.

Die DAS-Monitoring-Indikatoren vermitteln eine umfassende Übersicht, welche Veränderungen sich durch den Klimawandel in Deutschland feststellen lassen und welche Anpassungsmaßnahmen bereits umgesetzt werden. Der Monitoringbericht 2023 dokumentiert die Vorsorgebemühungen des Bundes gegenüber den steigenden Risiken. Deutlich wird jedoch auch die enge wechselseitige Abhängigkeit von Erfolgen beim Klimaschutz und den Fortschritten bei der Klimaanpassung. Nur wenn die

¹ Resolution der Generalversammlung der Vereinten Nationen vom 25. September 2015 „Transformation unserer Welt: die UN-Agenda 2030 für nachhaltige Entwicklung“ (www.un.org/depts/german/gv-70/band1/ar70001.pdf). Im Nachhaltigkeitsziel 13 ist vorgegeben, Maßnahmen zur Bekämpfung des Klimawandels und seiner Auswirkungen zu ergreifen und die Widerstandskraft und die Anpassungsfähigkeit gegenüber klimabedingten Gefahren und Naturkatastrophen in allen Ländern zu stärken.

Anstrengungen zum Klimaschutz intensiviert werden, sind die Auswirkungen der Erderwärmung zu begrenzen und zu beherrschen. Gleichzeitig sind die vorsorgenden Maßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel wichtig und dringend, um den schon heute unvermeidbaren Auswirkungen entgegenzuwirken und die ökologischen, sozialen und wirtschaftlichen Schäden effektiv zu mindern.

Wie und wo zeigen sich Klimaänderungen in Deutschland?

Der letzte Monitoringbericht zur DAS erschien 2019. Seither war Deutschland wiederholt mit Hitzewellen, Dürren, Sturzfluten und Überschwemmungen konfrontiert. Die Folgen der Erderwärmung spiegeln sich in den gemessenen Daten des Monitoringberichts 2023 noch deutlicher als 2019: Die Temperaturen von Luft, Wasser und Boden stiegen weiter und damit verstärkten sich auch die Auswirkungen für Mensch, Umwelt, Wirtschaft und Infrastrukturen.

Im kollektiven Gedächtnis bleiben vor allem die Extremereignisse: Vom 12. bis 15. Juli 2021 brachte das Tiefdruckgebiet Bernd in verschiedenen Teilen Westeuropas extreme Regenfälle. In der Region um die Flüsse Ahr und Erft in Rheinland-Pfalz und Nordrhein-Westfalen kam es infolge der Sturzfluten und Überschwemmungen zu katastrophalen Schäden und Verlusten mit über 180 Todesopfern in Deutschland, die meisten im Ahrtal. Insgesamt entstanden versicherte Sachschäden an Wohngebäuden, Hausrat und Betrieben in Höhe von 8,1 Mrd. Euro (siehe Indikator BAU-I-5, Seite 226). Das war der bislang höchste Schadenaufwand in der Sachversicherung von Elementarschäden. Die „World Weather Attribution“ (WWA), ein internationaler Zusammenschluss in der Wissenschaft tätiger Personen, untersuchte, wie stark das Auftreten dieses extremen Wetterereignisses mit dem Klimawandel verbunden ist. Sie kam zu dem Ergebnis, dass sich die Wahrscheinlichkeit, dass es zu solchen extremen Regenfällen kommt, durch den Klimawandel um das 1,2- bis 9-Fache erhöht hat⁴.

Der Monitoringbericht zeigt: Neben Starkregen und Überschwemmungen sind auch Extremereignisse wie Hitze und Dürre mit all ihren Folgen in Deutschland messbar angekommen. Die Sommer mit starken Hitzewellen und bis dato höchsten gemessenen Lufttemperaturen häufen sich; beispielsweise wurde im Juli 2022 erstmals nördlich des 53. Breitengrads an der Station Hamburg-Neuwiedenthal eine Temperatur von über 40 °C gemessen⁵. Die **Hitzeperioden** belasteten in den Jahren 2018, 2019, 2020 und zuletzt 2022 besonders die Bevölkerung in Großstädten. In Berlin, Frankfurt am Main und München traten Heiße Tage mit Tageshöchsttemperaturen von

mindestens 30 °C und Tropennächte, in denen die Temperaturen nicht unter 20 °C sanken, deutlich häufiger auf als im deutschlandweiten Mittel. Zwischen 2018 und 2020 starben etwa 19.300 Menschen zusätzlich infolge von Hitze in Deutschland (siehe Indikator GE-I-2, Seite 42).

Auch bei Infrastrukturen und Wasserwegen führten Hitzewellen und Trockenheit zu Funktionseinschränkungen. So kam es zu **technischen Behinderungen** im Güter- und Personenverkehr sowie zu teilweise massiven Einschränkungen der Stromproduktion in Atom- und Kohlekraftwerken in Deutschland und in anderen Staaten des europäischen Stromverbunds. Wegen hoher Gewassertemperaturen stand einerseits nicht genügend **Kühlwasser** zur Verfügung, andererseits konnte die Kohle wegen Niedrigwasser nur in reduziertem Umfang per Schiff angeliefert werden.

Die genannten Jahre mit den heißen Sommern waren auch von geringen Niederschlägen geprägt, die **regional zu starken Dürren führten**. In der Wasserbilanz kam es zwischen 2018 und 2020 zu massiven Verlusten. Schon seit der Jahrtausendwende verliert Deutschland 2,5 Gigatonnen beziehungsweise Kubikkilometer Wasser pro Jahr (siehe Indikator WW-I-1, Seite 70). In den Jahren 2019 bis 2021 wurden vielerorts Rekordunterschreitungen der langjährigen niedrigsten Grundwasserstände an den Messstellen ermittelt. Die Wirkungen der Dürrejahre sind auch 2023 noch nicht ausgeglichen. Eine unzureichende Bodenwasserverfügbarkeit führte zu **Ertragseinbußen in der Landwirtschaft**. In den deutschen Wäldern hat wegen des Trockenstresses und des damit verbundenen Käferbefalls die Kronenverlichtung stark zugenommen. Seit 2019 sind die **Absterberaten von Bäumen** bei allen Baumarten sprunghaft angestiegen. Die extrem trockene Witterung schlug sich auch deutlich im Waldbrandgeschehen nieder. Es kam zu erheblich mehr und in den nordöstlichen Bundesländern auch zu **großflächigen Waldbränden**.

Trotz der Dürre kam es in den zurückliegenden Jahren vor allem im Sommerhalbjahr regional auch zu teilweise extremen **Überschwemmungen**, in denen die langjährigen mittleren Hochwasserabflüsse an einigen Pegeln um ein Vielfaches überschritten wurden. Der scheinbare Widerspruch zwischen Dürre und extremen Hochwässern bildet tatsächlich einen Wirkungszusammenhang ab: Einerseits nimmt wärmere Luft mehr Feuchtigkeit auf, wodurch sich das Risiko für **Starkregen** erhöht, andererseits nehmen Trockenphasen zu. Eine der Folgen: Ausgetrocknete Böden können dann bei Starkregen das Wasser nicht aufnehmen und speichern, sodass das Regenwasser an der Oberfläche abfließt und die Flüsse rasch ansteigen und über die Ufer treten lässt.

DAS-Monitoring-Indikatorensystem

Indikatoren

Für den dritten Monitoringbericht 2023 wurde das Indikatorensystem des DAS-Monitorings von 2019 überprüft und weiterentwickelt. Insgesamt umfasst das DAS-Monitoring-Indikatorensystem nach der Weiterentwicklung 117 Monitoring-Indikatoren: 67 Indikatoren beschreiben Auswirkungen des Klimawandels (Impact-Indikatoren), 45 Anpassungsmaßnahmen oder Aktivitäten und Bedingungen, die den Anpassungsprozess unterstützen (Response-Indikatoren); hinzu kommen 5 handlungsfeldübergreifende Monitoring-Indikatoren.

64 Indikatoren aus dem Monitoringbericht 2019 wurden unter Beibehaltung der Methodik aktualisiert. 25 Indikatoren wurden auf der Grundlage neuer wissenschaftlicher Erkenntnisse und / oder veränderter Datengrundlagen überarbeitet und erscheinen daher in abgewandelter Form, in der überwiegenden Zahl aber mit unverändertem Indikatortitel. 15 Indikatoren wurden aus dem Set gestrichen, da es die dazugehörige Datenquellen nicht mehr gibt, sie durch andere Indikatoren ersetzt werden konnten oder der indizierte Sachverhalt aus heutiger Sicht mit den genutzten Daten nicht mehr adäquat abgebildet werden kann. Die meisten Streichungen (jeweils 5 Indikatoren) gab es in den Handlungsfeldern „Energiewirtschaft“ und „Tourismuswirtschaft“. Hier wurden die engen Verbindungen der bisher dargestellten Sachverhalte mit dem Klimawandel infrage gestellt. 4 Indikatoren wurden ruhend gestellt, da sie sich gegenüber dem Bericht 2015 noch immer nicht aktualisieren lassen und / oder weil methodische Überarbeitungen unmittelbar bevorstehen. Es besteht die Erwartung, dass diese im Monitoringbericht 2027 (möglicherweise auch in veränderter Form) wieder erscheinen werden. 28 Indikatoren wurden neu erstellt und werden im Monitoringbericht 2023 erstmalig präsentiert. Neuerungen gab es in nahezu allen Handlungsfeldern. Die neuen Indikatoren ersetzen aus dem Set entnommene Indikatoren oder adressieren neue Themenfelder, die bisher im Monitoring nicht betrachtet wurden. Sie erhöhen die thematische Bandbreite und verbessern die Qualität der Darstellungen.

Im Handlungsfeld „Wasserhaushalt und Wasserwirtschaft“ erfolgten die Überarbeitungen und die Neuentwicklungen von Indikatoren in enger Zusammenarbeit mit Sachverständigen aus Bund und Ländern in der Kleingruppe Klimaindikatoren der Bund/Länderarbeitsgruppe Wasser (LAWA). Aufgabe der vom Ständigen Ausschuss Klimawandel (LAWA-AK) eingesetzten Gruppe war es, eine länderübergreifende Einigung zu Indikatoren herbeizuführen, mit

denen sich die Klimawandelwirkungen auf den Wasserbereich beschreiben lassen. Im Rahmen eines Forschungsvorhabens (DASIF) im Auftrag des Umweltbundesamtes (UBA) wurden drei Indikatoren neu entwickelt, die auf Satellitendaten beruhen und bisherige Fallstudien-Indikatoren (siehe unten) ersetzen und dadurch nun bundesweite Aussagen zulassen. Im Rahmen eines weiteren UBA-Vorhabens wurde ein Indikator zum Handlungsfeld „Boden“ neu entwickelt und in das DAS-Indikatorenset eingebracht.

Grundsätzlich haben alle Monitoring-Indikatoren zum Ziel, bundesweite Entwicklungen durch Zeitreihen abzubilden. Für thematische Aspekte, zu denen noch keine bundesweite Datengrundlage für die Indikatorbildung zur Verfügung steht, ließen sich teilweise Fallstudien entwickeln. Im Monitoringbericht 2023 zeigen 13 solcher Fallstudien anhand räumlich begrenzter Datensätze, welche Aussagen sich bei entsprechender Datenverfügbarkeit auch bundesweit generieren ließen. Für den Monitoringbericht 2023 ist es gelungen, mehrere im Monitoringbericht 2019 noch als Fallstudien geführte Indikatoren zu bundesweit gültigen Indikatoren weiterzuentwickeln.

Regionale Differenzierungen der Indikator Darstellungen sind im bundesweiten Monitoringbericht grundsätzlich nicht vorgesehen. In einzelnen Fällen sind bundesweit gemittelte Aussagen aber nur schwer interpretierbar. Mit Zeitreihen für einzelne Großräume (wie Nord, Süd) können Indikatoren dann, bei entsprechender Datenverfügbarkeit, spezifischere Aussagen liefern. Als neues Element werden in den Monitoringbericht 2023 nun auch einzelne Kartendarstellungen integriert. Sie ergänzen die Zeitreihendarstellungen um regionale Differenzierungen für eine aktuelle Periode.

Datenschluss für die Aktualisierung der Zeitreihen im vorliegenden dritten Monitoringbericht war der 30. September 2022. Grundsätzlich ist daher das Jahr 2021 das letztgenannte Datum in den Indikator-Grafiken. Wo dies sinnvoll beziehungsweise notwendig erschien, wird in den Berichtstexten ein Ausblick auf die Entwicklungen im Jahr 2022 gegeben.

Umgang mit Unsicherheiten

Nicht alle relevanten Klimawirkungen und Anpassungsaktivitäten lassen sich mit quantitativen Monitoring-Indikatoren abbilden. Einige Datenerhebungen stehen erst am Anfang; zur Interpretation der Entwicklungen bedarf es aber längerer Zeitreihen. Die unvermeidbaren Beschränkungen der Datenverfügbarkeit haben auch zur Folge, dass die derzeit verwendete Anzahl von

Monitoring-Indikatoren in den Handlungsfeldern nicht unbedingt die Bedeutung desselben widerspiegelt.

Bei vielen Monitoring-Indikatoren lassen sich kausale Zusammenhänge zwischen den beobachtbaren Veränderungen in Umwelt, Gesellschaft oder Wirtschaft und dem Klimawandel zwar qualitativ beschreiben, aber in ihrer Bedeutung nicht sicher bestimmen, da ökologische und gesellschaftliche Systeme durch vielfältige Faktoren beeinflusst werden. So sind beispielsweise bei der Beurteilung von Waldschäden neben den Folgen des Klimawandels, wie vermehrte sommerliche Hitze- und Trockenheitsperioden oder starke Stürme, auch umfangreiche nicht klimatische Wirkungskomplexe zu berücksichtigen, die die Baumgesundheit beeinträchtigen, zum Beispiel Nährstoffeinträge, Versauerung und hohe Ozonkonzentrationen. Bei der (Weiter-)Entwicklung des DAS-Monitoring-Indikatorensystems wurden und werden Ursache-Wirkungsbeziehungen intensiv diskutiert und die Indikatoren an den Stand des Wissens angepasst.

Unschärfen der Interpretation ergeben sich auch für die Maßnahmensseite. Etliche Maßnahmen wie der Betrieb des Hitzewarndienstes des DWD werden speziell für die Klimaanpassung ergriffen. Andere Maßnahmen tragen ebenfalls zur Anpassung bei, dienen aber nicht allein diesem Zweck. Beispielsweise haben naturbasierte Maßnahmen wie der Waldbau oder die Gebäudebegrünung vielfältige positive Wirkungen, für die sie primär geplant und umgesetzt werden. Sie unterstützen in jedem Fall auch einen wirkungsvollen Anpassungsprozess.

In Anbetracht der unvermeidbaren Unsicherheiten und Unschärfen ist vorgesehen, das System der Monitoring-Indikatoren auch künftig jeweils im Prozess der Fortschreibung zu überprüfen und weiterzuentwickeln.

Bewertung der Entwicklungen

Die DAS-Monitoring-Indikatoren sollen eine Bewertung der beobachteten Entwicklungen ermöglichen. Maßstab ist die Zielsetzung der DAS, die Verwundbarkeit gegenüber den Folgen des Klimawandels zu verringern sowie die Anpassungsfähigkeit natürlicher und gesellschaftlicher Systeme an die unvermeidbaren Auswirkungen des Klimawandels zu erhalten und zu steigern. Die Politikziele der verschiedenen Handlungsfelder sollen auch unter sich ändernden klimatischen Rahmenbedingungen erreichbar sein.

Die Anpassungsziele befinden sich derzeit in einem breit angelegten Diskussionsprozess. Angestrebt wird dabei die Entwicklung quantifizierter Ziele, deren Erreichung

sich mithilfe geeigneter, zum Teil neu zu entwickelnder Indikatoren konkret überprüfen lassen soll. Die künftige Weiterentwicklung des DAS-Monitoring-Indikatorensystems wird auch diese neuen Indikatoren integrieren. Für die aktuellen Monitoring-Indikatoren gibt es noch keine quantifizierten Ziele, die eine Bewertung der Zeitreihen ermöglichen würden. Die Bewertung beschränkt sich aus diesem Grund auf die Ergebnisse der statistischen Trendanalyse und eine Beurteilung, ob der Trend grundsätzlich der Zielrichtung der DAS entspricht. Nicht in allen Fällen erscheint allerdings eine positive oder negative Bewertung der Trends sinnvoll, da die Konsequenzen der Veränderungen nicht vollständig bekannt sind. Beispielsweise ist eine frühere Blüte von Winterraps als Folge des Klimawandels zwar ein Zeichen dafür, dass der Klimawandel Auswirkungen auf die landwirtschaftlichen Kulturen hat, die frühere Blüte ist aber per se nicht positiv oder negativ zu bewerten, da sie Teil ökologischer Beziehungen und Abhängigkeiten ist. In solchen Fällen beschränkt sich die Darstellung lediglich auf das Ergebnis der Trendanalyse, und es wird keine Bewertung vorgenommen.

Im Rahmen der statistischen Trendanalyse wurden die Zeitreihen bezüglich ihrer Trendverläufe klassifiziert. Die Trendanalyse wurde für alle Indikatoren unter Anwendung desselben statistischen Verfahrens vorgenommen. Das im Monitoringbericht 2019 angewandte Verfahren wurde dabei methodisch weiterentwickelt. Geprüft wird sowohl auf lineare (steigende und fallende) Trends als auch auf Trends mit einer Trendumkehr (quadratischer Trend). Durch Letztere lassen sich insbesondere bei Betrachtung längerer Zeitreihen auch Entwicklungsverläufe beschreiben, bei denen sich ursprünglich negativ zu bewertende Trends durch erfolgreich verlaufende Anpassungsmaßnahmen in jüngerer Zeit zum Positiven gewendet haben oder umgekehrt. Die Analyse auf lineare Trends erfolgt für alle Zeitreihen ab 7 Datenpunkten, die für quadratische Trends ab 13 Datenpunkten. In die Trendanalyse werden dabei alle Datenpunkte der verfügbaren Zeitreihe einbezogen. Datenreihen, die über zu wenige Datenpunkte verfügen oder auf unregelmäßigen und zeitlich weit auseinanderliegenden Erhebungen basieren, werden von der Analyse ausgeschlossen. Zusätzlich wird bei Datenreihen mit mindestens 30 Datenpunkten nun auch eine statistische Bruchpunktanalyse durchgeführt, die Zeitreihen auf signifikante Entwicklungssprünge oder -änderungen prüft. Grundsätzlich fließen immer alle Datenpunkte einer Zeitreihe in die Trendanalyse ein. Bei Indikatoren, die Zeitreihen unterschiedlicher Länge darstellen, sind die ermittelten Trends daher nur eingeschränkt miteinander vergleichbar. Für methodische Details zur Trendanalyse wird auf das „Organisationshandbuch zum DAS-Monitoring“ verwiesen.

KLIMAENTWICKLUNG IN DEUTSCHLAND

Klimaentwicklung in Deutschland seit dem Ende des 19. Jahrhunderts

Das Klima kann durch den mittleren Zustand der Atmosphäre, charakteristische Extremwerte und Häufigkeitsverteilungen meteorologischer Größen wie beispielsweise Lufttemperatur, Niederschlag, Wind an einem Ort beschrieben werden. Es ist das Ergebnis eines komplexen Zusammenspiels aller Komponenten des Systems Land – Atmosphäre – Ozeane. Dazu gehören auch die Biosphäre mit jahreszeitlichen Vegetationswechseln, die Hydrosphäre, der Boden und die Kryosphäre (Eis). Dass das Klima auch ohne menschliches Zutun auf unterschiedlichen Zeitskalen variiert, wissen wir zum Beispiel anhand der Belege zu den Eiszeitzyklen, die weite Teile Deutschlands wiederholt unter einen Eispanzer setzten. Auswertungen von Beobachtungsdaten seit Mitte des 19. Jahrhunderts zeigen jedoch eine fortschreitende Erwärmung der Erde, die durch natürliche Ursachen nicht erklärbar ist, und es ist heute wissenschaftlicher Sachstand, dass ein weiterer Temperaturanstieg zu erwarten ist. Die Mitteltemperatur an der Land- und Wasseroberfläche hat in Deutschland und global in den vergangenen Jahrzehnten im Mittel stetig zugenommen. Seit den 1960er-Jahren war jede Dekade wärmer als die vorherige⁶.

Entsprechend den Analysen der amerikanischen Forschungseinrichtungen NASA und NOAA liegt die globale Durchschnittstemperatur aktuell etwa 1,1 °C über dem Niveau am Ende des 19. Jahrhunderts⁷. Dabei ist ein Großteil der Erwärmung in den letzten 50 Jahren zu verzeichnen: 21 der 22 wärmsten Jahre in den globalen Aufzeichnungen wurden in den Jahren seit 2001 registriert, das Jahr 2016 war global betrachtet das bisher wärmste Jahr und die Jahre 2014-2022 waren global die neun wärmsten Jahre seit Beginn der systematischen Messungen.

Für Deutschland sind seit dem Jahr 1881 ausreichend Daten vorhanden, um Veränderungen des Klimas auch in der Fläche zu bestimmen. Dies gilt jedoch nur für die Elemente Temperatur und Niederschlag bei monatlicher Betrachtungsweise. Die entsprechenden täglichen Daten sowie andere Messgrößen wie beispielsweise die Sonnenscheindauer liegen in der Regel erst ab 1951 weitestgehend flächendeckend vor. Während sich die Wirkung der zusätzlichen Treibhausgase in der Temperaturentwicklung seit 1881 unmittelbar niederschlägt, ist der Zusammenhang mit den Änderungen der Niederschlagsverhältnisse eher indirekter Natur. Hier spielen unter anderem durch die allgemeine Erwärmung ausgelöste Veränderungen der großräumigen Wetterlagen eine

Rolle. Der Niederschlag ist als ein wesentlicher Faktor für die Wasserverfügbarkeit von praktisch ebenso großem Interesse wie die Temperatur selbst.

Eine Folge der globalen Erwärmung sind unter anderem starke Veränderungen bei extremen Wetterereignissen. Dabei kommt es sowohl zu regionalen Verlagerungen, in deren Folge extreme Wetterereignisse in Gebieten auftreten, in denen sie bisher nicht aufgetreten sind. Ebenso kommt es innerhalb von Regionen – wie Deutschland – zu einer Zunahme von extremen Wetterereignissen wie Hitzewellen und einer Abnahme anderer extremer Wetterereignisse wie strenger Fröste. Die Änderung von thermischen Extremereignissen aufgrund des Klimawandels ist eindeutig und wissenschaftlich abgesichert, die Folgen für viele Bereiche der Gesellschaft sind sehr gravierend. Bei Starkniederschlägen beziehungsweise langandauernden Trockenphasen sind die Aussagen differenzierter und weniger eindeutig.

Im Folgenden wird zunächst ein Überblick über die Entwicklung der mittleren klimatischen Verhältnisse seit 1881 in Deutschland gegeben, gefolgt von einer Auswertung der Änderungen bei Extremereignissen sowie einem Blick in das mögliche zukünftige Klima.

Mittlere Klimaänderungen

Für die Auswertung der mittleren klimatischen Verhältnisse wurden die für die Größen Temperatur und Niederschlag seit 1881 vorliegenden Monatsdaten zu jahreszeitlichen und jährlichen Mittelwerten zusammengefasst. Die an meteorologischen Stationen punktuell erhobenen Daten wurden darüber hinaus mittels wissenschaftlicher Verfahren auf die gesamte Fläche von Deutschland übertragen.

die vergangenen zehn Jahre (2013–2022) in Deutschland schon 2,1 °C wärmer als die ersten Jahrzehnte (1881–1910) der Aufzeichnungen (siehe Abbildung 2). Somit lagen neun der zehn wärmsten Jahre in Deutschland im 21. Jahrhundert (siehe Tabelle 1). Eine Jahresdurchschnittstemperatur größer 10 °C gab es vor 2014 in Deutschland noch nie. Seitdem traten solch hohe Werte insgesamt fünfmal auf.

Temperatur

Das Jahresmittel der Lufttemperatur ist im Flächenmittel von Deutschland von 1881 bis 2022 statistisch gesichert um 1,7 °C angestiegen (lineare Regression, siehe Abbildung 1). Dieser Wert liegt um 0,6 °C höher als der globale Temperaturanstieg während des gleichen Zeitraums. Dies verwundert nicht, weil sich die Landregionen generell schneller erwärmen als die Meeresregionen. Das Tempo des Temperaturanstiegs hat in Deutschland (wie auch weltweit) in den vergangenen 50 Jahren jedoch deutlich zugenommen: Im Gesamtzeitraum 1881–2022 wurde es in Deutschland jedes Jahrzehnt 0,12 °C wärmer, ab 1971 liegt die Erwärmungsrate mit 0,38 °C pro Dekade mehr als dreimal so hoch. Seit den 1960er-Jahren war hierzulande jedes Jahrzehnt deutlich wärmer als das vorangehende, und bei einer globalen Erwärmung von rund 1,1 °C waren

Jahr	°C
2022	10,5
2018	10,5
2020	10,4
2014	10,3
2019	10,3
2000	9,9
2007	9,9
2015	9,9
1994	9,7
2002	9,6

Tabelle 1: Die bisher zehn wärmsten Jahre in Deutschland seit 1881 (Daten: DWD)

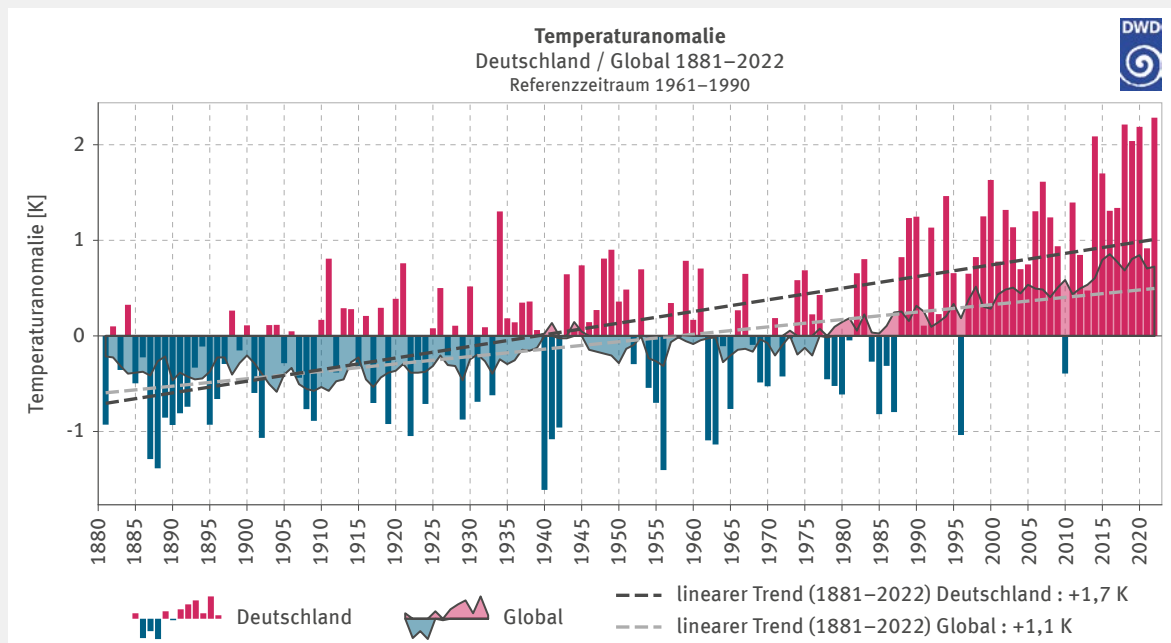


Abbildung 1: Abweichung der Jahresmittel der Lufttemperatur in Deutschland und global vom vieljährigen Mittelwert 1961–1990 (Daten: DWD, NOAA)

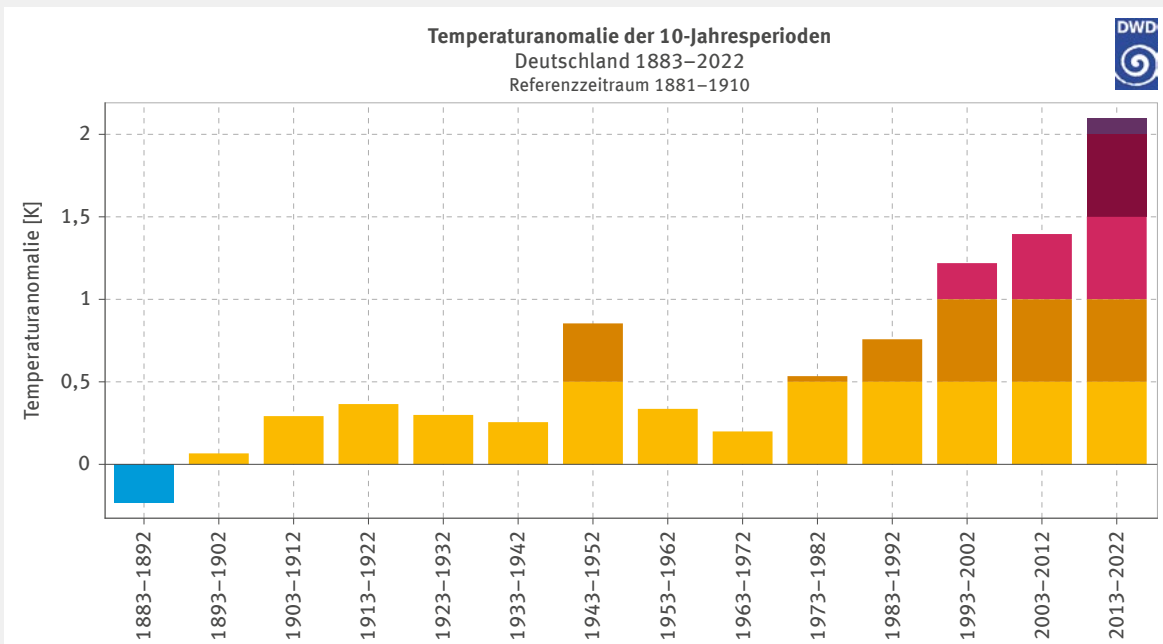


Abbildung 2: Abweichung der 10-Jahresmittel der Lufttemperatur vom vieljährigen Mittelwert 1881–1910 (Daten: DWD)

Bei genauerer Betrachtung der zeitlichen Entwicklung zeigt sich, dass sich der Temperaturanstieg nicht gleichmäßig vollzogen hat. Vielmehr gab es neben den Phasen der Erwärmung auch Zeiträume der Stagnation sowie immer wieder auch kurze Abschnitte, in denen die Temperaturen tendenziell etwas zurückgegangen sind. Ein Grund für diesen ungleichmäßigen Verlauf ist die große Schwankungsbreite der Witterung von Jahr zu Jahr in einer im globalen Maßstab kleinen Region wie Deutschland. So ist in Abbildung 1 auch zu erkennen, dass die Variabilität der Temperatur in Deutschland (Balken) bedeutend größer ist als bei der globalen Temperatur (Fläche). Über Zeiträume von mehreren Jahrzehnten spielt aber vor allem auch die sogenannte dekadische Klimavariabilität eine entscheidende Rolle. Dabei handelt es sich um periodische Schwankungen von einigen Jahren bis hin zu wenigen Jahrzehnten Andauer, die eng mit der Ozeanzirkulation, also den Meeresströmungen, gekoppelt sind. In Abhängigkeit von der Ozeanzirkulation ändern sich von Zeit zu Zeit die Meeresoberflächentemperaturen, und in der Folge kommt es zu Phasen der Erwärmung oder Abkühlung der Atmosphäre. Diese Phasen überlagern den Einfluss der das Klima von außen antreibenden Faktoren (externe Klimaantriebe), zu denen neben den natürlichen Elementen Sonneneinstrahlung und Vulkanaktivität auch die vom Menschen verursachten Einflüsse infolge von Landnutzungsänderungen, der

Luftverschmutzung durch den Schwefeldioxydausstoß von Industrieanlagen sowie durch die Emission von Treibhausgasen wie Kohlenstoffdioxid (CO₂) zählen. In den Phasen einer stärker abkühlenden Wirkung der Ozeanzirkulation auf die Meeresoberflächentemperatur und in der Folge auf die Atmosphäre kann es daher zu einer vollständigen Verschleierung des langfristigen Trends kommen, auch dann, wenn die Summe der externen Klimaantriebe allein zu einer Erwärmung führen würde. In den Phasen mit schwacher oder ohne abkühlende Wirkung der Ozeanzirkulation steigen die beobachteten Temperaturen an.

In Deutschland stellt sich der bislang beobachtete Temperaturanstieg überwiegend einheitlich dar. Prinzipiell gilt dies auch für die unterschiedlichen meteorologischen Jahreszeiten. Nur im Winter (Dezember bis Februar) liegt der Wert mit einem Flächenmittel von 1,9 °C leicht über dem Jahresmittel. Die anderen Jahreszeiten weisen mit 1,6 bis 1,7 °C den gleichen Temperaturanstieg auf wie das gesamte Jahr. Ähnliches gilt für die räumlichen Unterschiede. Hier reicht die Spanne des Anstiegs der Jahresmitteltemperatur von 1,5 °C bis 1,8 °C, wobei die Erwärmung in den westlichen Bundesländern sowie Bayern und Thüringen tendenziell bislang etwas höher und in Brandenburg und Berlin etwas geringer ausgefallen ist als im Landesdurchschnitt.

Niederschlag

Im Gegensatz zur Temperatur weisen die Änderungen des Niederschlags in Deutschland insbesondere jahreszeitlich, aber auch räumlich deutliche Unterschiede auf. Während die mittleren Regenmengen im Sommer weitestgehend unverändert geblieben sind, ist es insbesondere im Winter signifikant feuchter geworden. In den Übergangsjahreszeiten sind die Niederschlagsmengen ebenfalls angestiegen, jedoch deutlich weniger stark und statistisch auch nicht nachweisbar. In der Summe ergibt sich daher im Flächenmittel von Deutschland seit 1881 ein Anstieg der mittleren jährlichen Niederschlagsmenge von 7,3%. Dabei zeigen sich allerdings große räumliche Unterschiede. Während es insbesondere in den nordwestlichen Bundesländern mit fast 16% in Schleswig-Holstein deutlich nasser geworden ist, nahmen die Niederschlagsmengen von Mecklenburg-Vorpommern bis Sachsen-Anhalt und Thüringen im Jahresmittel nur leicht zu (unter 10%). In Sachsen ist es im selben Zeitraum sogar geringfügig trockener geworden. Ein grundsätzlich ähnliches räumliches Bild ergibt sich auch für die Übergangsjahreszeiten Frühling und Herbst.

1881/1882 um rund 48 mm (+26%) zugenommen. Die räumliche Verteilung der Änderungen ähnelt dabei der der Temperatur zu dieser Jahreszeit. Das heißt, die geringsten Zunahmen mit Werten unter 25% wurden bislang in den nordöstlichen Bundesländern registriert. In den übrigen Bundesländern sind die Regenmengen dagegen zumeist stärker angestiegen als im Bundesdurchschnitt. Mit dieser räumlich unterschiedlich stark ausgeprägten Erwärmung und Niederschlagszunahme hat sich der unterschiedliche Grad der Kontinentalität der Regionen, also das unterschiedliche Verhältnis des Einflusses von Land und Meer auf das Klima an einem bestimmten Ort, im Verlauf des 20. Jahrhunderts tendenziell noch etwas verstärkt. Für die Sommermonate lässt sich bislang kaum eine Änderung feststellen. Zwar hat die mittlere Niederschlagsmenge zu dieser Jahreszeit seit 1881 um rund 11 mm abgenommen, jedoch lässt sich aus diesem minimalen, im Bereich der natürlichen Variabilität liegenden Rückgang nicht einmal auf eine Tendenz schließen (siehe Abbildung 4).

Die stärksten Änderungen wurden bislang für den Winter beobachtet. Wie Abbildung 3 zeigt, hat das Flächenmittel der mittleren Niederschlagsmenge seit dem Winter

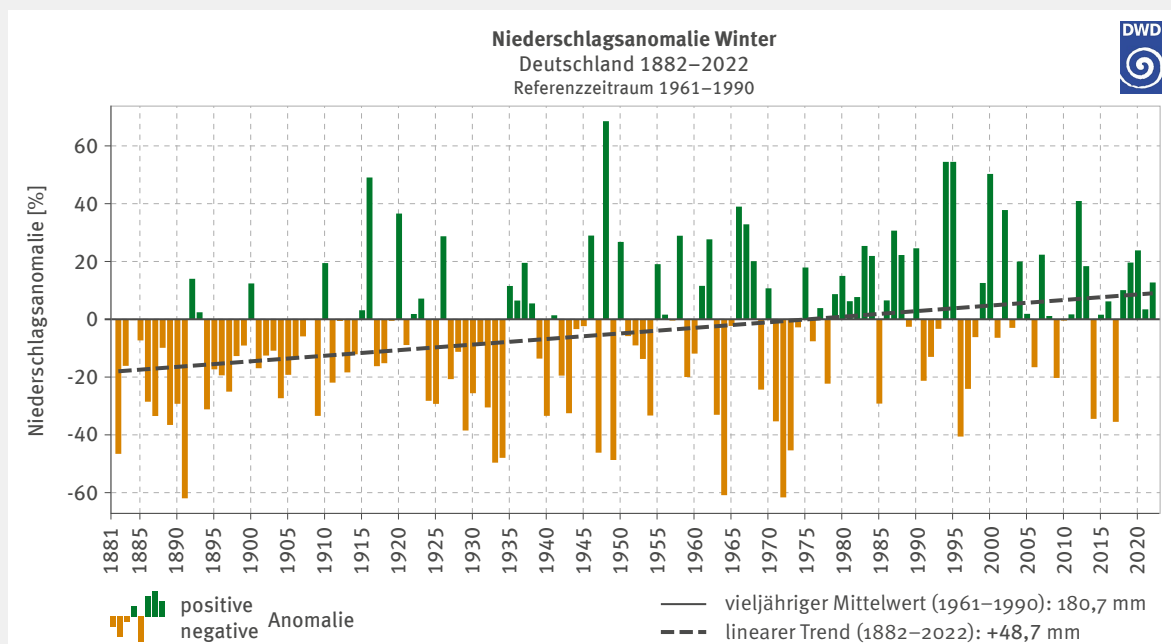


Abbildung 3: Prozentuale Abweichung der Winterniederschläge (Dezember, Januar, Februar) von den vieljährigen mittleren Winterniederschlagssummen 1961–1990 (Daten: DWD)

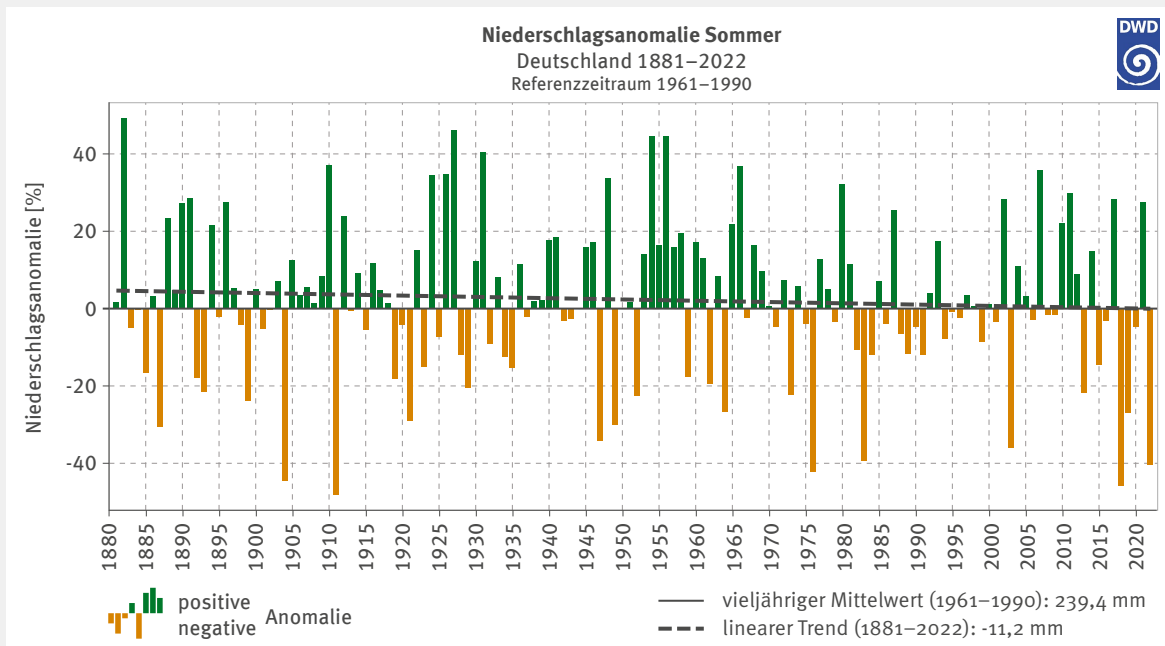


Abbildung 4: Prozentuale Abweichung der Sommerniederschläge (Juni, Juli, August) von den vieljährigen mittleren Sommerniederschlagssummen 1961–1990 (Daten: DWD)

Änderungen der Extreme

Da Extreme definitionsgemäß sehr seltene Ereignisse sind, die stark von den üblichen Zuständen abweichen, sind statistische Analysen weniger stark belastbar als solche von mittleren Zuständen. Die Bestimmung von sogenannten Jahrhundertereignissen (das heißt Extremereignissen, die statistisch einmal in 100 Jahren auftreten), muss beispielsweise auf der Basis von Messreihen durchgeführt werden, die meistens nur wenig länger sind. Eine relativ einfache und sehr anschauliche Möglichkeit, Änderungen von Extremereignissen zu bestimmen, bieten sogenannte klimatische Kenntage, bei denen es sich um Schwellenwertereignisse handelt. Es werden also Tage ausgewertet, an denen zum Beispiel die Höchsttemperatur einen bestimmten Grenzwert überschreitet, wie die Anzahl der Heißen Tage mit einer Höchsttemperatur von mindestens 30 °C. Neben reinen Kenntagen können weitere Indikatoren genutzt werden, die unter anderem auch geeignet sind, länger andauernde Klimaextreme wie Hitze- oder Trockenperioden zu erfassen. Im Folgenden werden verschiedene Indikatoren für die Analyse der Änderung von Extremereignissen der Temperatur und des Niederschlags vorgestellt und diskutiert.

Statistisch gesicherte Aussagen sind heute schon möglich zu Änderungen der Häufigkeit von Grenzwertüberschreitungen bei der Temperatur, und Hitzeperioden sind in ganz Deutschland seit 1951 häufiger und intensiver geworden. Schwieriger ist es, gesicherte Aussagen bei Trends von Starkniederschlagsereignissen zu treffen. Zum einen weisen solche Ereignisse eine sehr hohe Variabilität in Raum und Zeit auf, zum anderen sind insbesondere in den Sommermonaten konvektive Ereignisse, also die Entstehung von Schauern und Gewittern, relevant, die auf einer Zeitskala von einer Stunde und weniger auftreten. Auch wenn inzwischen Tendenzen zu einer größeren Häufigkeit von Starkniederschlägen in den letzten 65 Jahren zu erkennen ist, ist es aufgrund der geringen Datenverfügbarkeit bisher noch nicht möglich, statistisch gesicherte klimatologische Aussagen über Änderungen von Starkniederschlagsereignissen zu treffen.

Temperaturextreme

Zur Analyse der Temperaturextreme wurde neben der Anzahl der Heißen Tage auch die Anzahl der Eistage (Tage

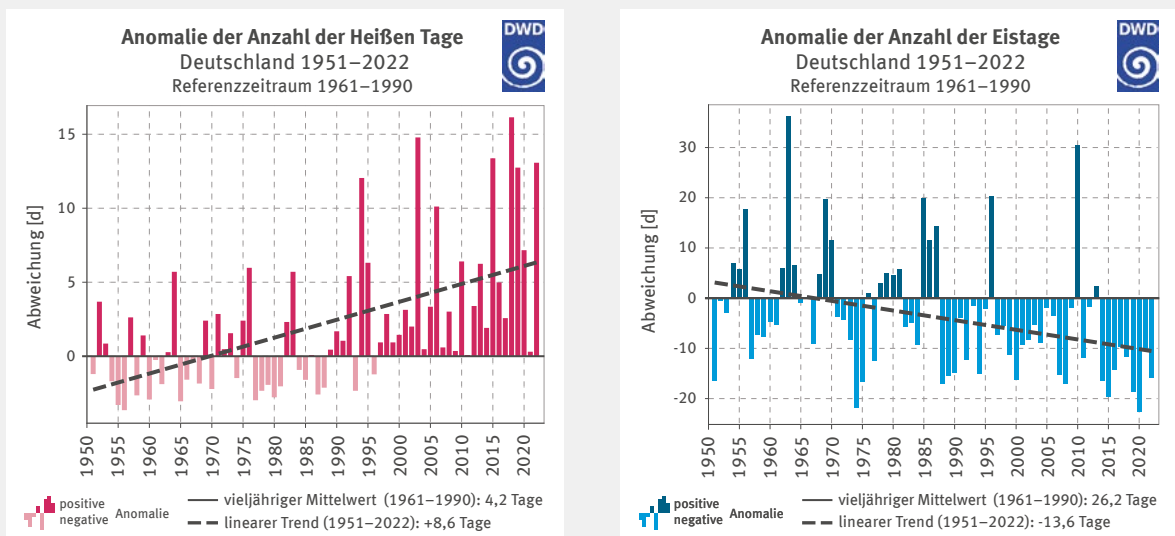


Abbildung 5: Abweichung der Anzahl Heißen Tage (links) und Eistage (rechts) vom vieljährigen Mittel 1961–1990 (Daten: DWD)

mit einer Höchsttemperatur < 0°C) betrachtet. Außerdem wurde für acht deutsche Städte die intensivste jährliche 14-tägige Hitzeperiode mit einem mittleren Tagesmaximum der Lufttemperatur von mindestens 30°C für den Zeitraum 1950–2022 ausgewertet.

Seit 1951 hat sich die Anzahl der Heißen Tage in Deutschland von im Mittel etwa drei Tagen pro Jahr auf derzeit etwa zehn Tage pro Jahr mehr als verdreifacht (siehe Abbildung 5 links). Mehr als 10 Heiße Tage gab es deutschlandweit vor 1994 noch nie, die Jahre mit den meisten Heißen Tage waren 2018, 2003 2015, 2022 und 2019.

Der Anstieg der Heißen Tage ist trotz der großen Variabilität dieses Index von Jahr zu Jahr statistisch gesichert. Auch die markante Abnahme der mittleren Anzahl der Eistage von rund 27 Tagen auf derzeit etwa 18 Tage pro Jahr ist statistisch signifikant (siehe Abbildung 5 rechts).

Der zeitliche Verlauf der Flächenmittelwerte der Temperaturindikatoren spiegelt sich auch in deren räumlichen Entwicklung erkennbar wider (siehe Abbildung 6). Ebenso sind die großen räumlichen Unterschiede zwischen den einzelnen Regionen Deutschlands gut auszumachen. Im Zeitraum 1953–1962 lag die mittlere Anzahl der

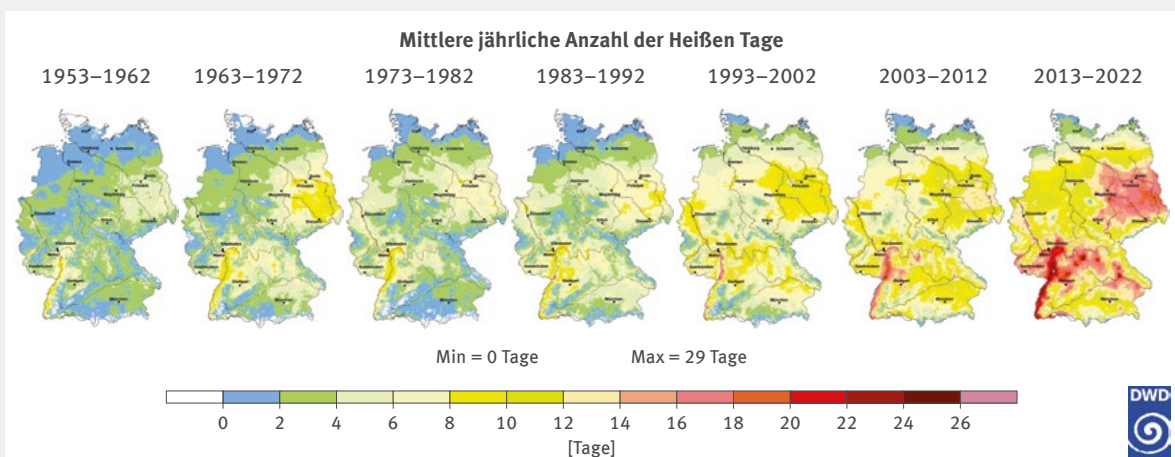
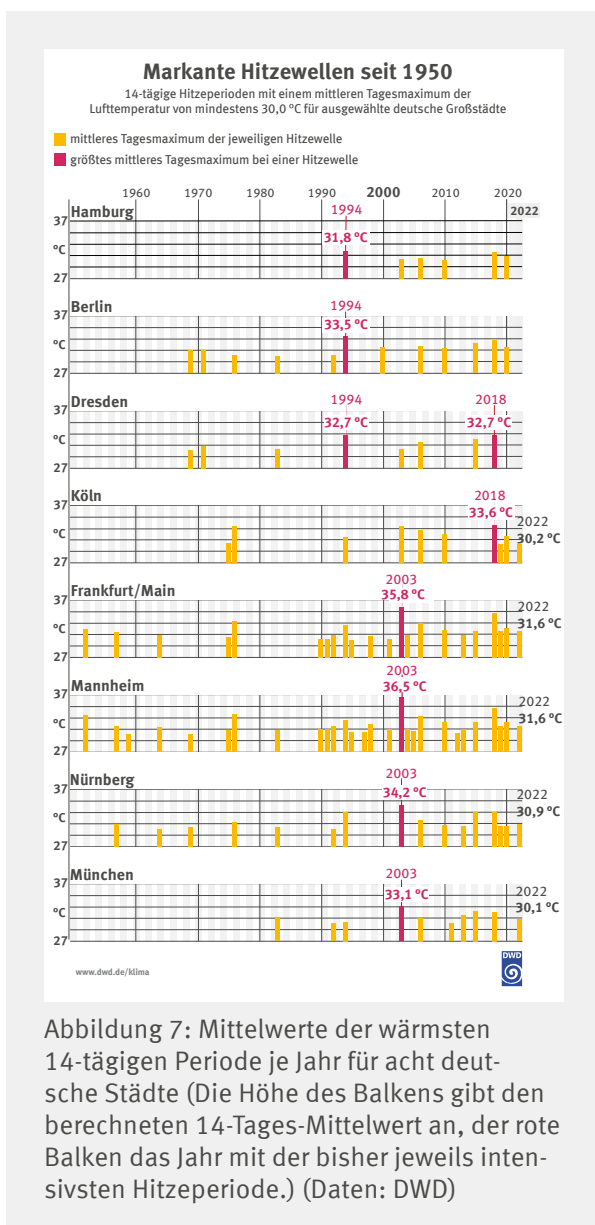


Abbildung 6: Mittlere jährliche Anzahl der Heißen Tage (Daten: DWD)

Heißen Tage weitverbreitet zwischen null und vier Tagen pro Jahr. Nur entlang des Rheingrabens sowie in Nordostdeutschland südlich von Berlin traten vier bis acht, im südlichen Rheingraben teilweise auch bis zu zehn solcher Tage auf (siehe Abbildung 6). Bis zur Dekade 2003–2012 hat die Anzahl der Heißen Tage dann auf im Mittel bis zu 18 Tage pro Jahr zugenommen. Lediglich im äußersten Norden Schleswig-Holsteins traten auch in diesem Jahrzehnt weniger als zwei Heiße Tage pro Jahr auf. In den vergangenen zehn Jahren ist die Zahl der Heißen Tage insbesondere im Osten Deutschlands nochmals stark angestiegen, sodass im vieljährigen Mittel im Süden und Osten weitverbreitet mehr als zehn solcher Tage pro Jahr registriert wurden.

In Abbildung 7 wird für mehrere deutsche Städte die intensivste jährliche 14-tägige Hitzeperiode mit einem mittleren Tagesmaximum der Lufttemperatur von mindestens 30 °C für den Zeitraum 1950–2022 dargestellt. Für die untersuchten Städte ist zu erkennen, dass die Häufigkeit und Intensität der hier untersuchten intensiven Hitzeperioden von Norden nach Süden ansteigen. Allgemein liegen in den nördlicher gelegenen Städten die höchsten mittleren Tagesmaxima der Hitzeperioden unter 33 °C, dieser Wert wird in den südlichen Großstädten des Öfteren überschritten. München hat weniger Ereignisse als für den Süden typisch, da die Station relativ hoch liegt (515 m). Darüber hinaus ist zu erkennen, dass solche extremen Hitzewellen seit den 1990er-Jahren häufiger auftreten; in Hamburg traten zum Beispiel im Zeitraum 1950–1993 nie solche Ereignisse ein, seit 1994 gab es inzwischen sechs extreme Hitzewellen.



Niederschlagsextreme

Wärmere Luft kann mehr Wasserdampf aufnehmen als kältere Luft. Deshalb sind bei Erwärmung und weitgehend gleichbleibender relativer Luftfeuchte grundsätzlich auch mehr Niederschläge zu erwarten. Darüber hinaus kann davon ausgegangen werden, dass es insbesondere auf der sogenannten konvektiven Skala, also bei der Entstehung von Schauern und Gewittern, infolge der geänderten meteorologischen Verhältnisse auch zu einer Intensivierung der wolken- und niederschlagsbildenden Prozesse kommt. Die unter derartigen Bedingungen fallenden Starkniederschläge würden dann im Vergleich zum erhöhten Wasserdampfgehalt der Luft sogar überproportional zunehmen. Von Starkregen spricht man bei großen Niederschlagsmengen in relativ kurzer Zeit. Er fällt meist aus konvektiver Bewölkung (zum Beispiel Cumulonimbuswolken). Starkregen kann zu schnell ansteigenden Wasserständen und Überschwemmungen führen, häufig einhergehend mit Bodenerosion. Die vom DWD genutzten drei Warnstufen für verschiedene Andauern sind in Tabelle 2 aufgeführt.

Allerdings spielen bei der Niederschlagsbildung eine ganze Reihe weiterer Faktoren und Prozesse eine wesentliche Rolle, die regionale Unterschiede bedingen können. Vermutlich werden die Starkniederschläge nicht überall im gleichen Maß zunehmen.

Bei der Analyse von Starkniederschlägen auf der Basis von Stationsmessungen wird aufgrund der Messgegebenheiten häufig zwischen Tagesniederschlagssummen und kürzeren Zeitintervallen bis hinunter auf Dauerstufen von 5 Minuten unterschieden. Allerdings beschränken sich

	Starkregen		Dauerregen		
	Andauer	1 Stunde	6 Stunden	24 Stunden	48 Stunden
Markantes Wetter		15 bis 25 l/m ²	20 bis 35 l/m ²	30 bis 50 l/m ²	40 bis 60 l/m ²
Unwetter		25 bis 40 l/m ²	35 bis 60 l/m ²	50 bis 80 l/m ²	60 bis 90 l/m ²
Extremes Unwetter		> 40 l/m ²	> 60 l/m ²	> 80 l/m ²	> 90 l/m ²

Tabelle 2: Warnstufen des DWD bei verschiedenen Dauerstufen für Stark- und Dauerregen

viele Untersuchungen infolge der Datenverfügbarkeit auf eine minimale zeitliche Auflösung von 60 Minuten. Die Häufigkeit von Starkniederschlägen der Dauerstufe 24 Stunden (siehe auch Tabelle 2) hat sich in Deutschland in den vergangenen 70 Jahren nur sehr wenig verändert, wobei für das gesamte Kalenderjahr sowie die meisten meteorologischen Jahreszeiten eine geringfügige Zunahme zu beobachten war. Aufgrund des insgesamt seltenen Auftretens solcher Ereignisse sowie deren hoher Variabilität von Jahr zu Jahr sind diese Trends aber durchweg nicht statistisch signifikant und somit auch nicht aussagekräftig.

Für die in Mitteleuropa vorwiegend im Sommerhalbjahr relevanten Starkniederschläge kurzer Dauerstufen gibt es dagegen insgesamt noch kaum Erkenntnisse. Es existieren zwar einige Anhaltspunkte für eine Zunahme der Intensität konvektiver Ereignisse mit steigender Temperatur. Auf dieser Zeitskala besteht aber noch Forschungsbedarf. Trendanalysen von Starkniederschlägen sind prinzipiell dadurch erschwert, dass die häufig besonders intensiven kleinräumigen Niederschläge nicht immer von den meteorologischen Stationen erfasst werden, sondern zum Teil auch zwischen diesen auftreten und somit durch das Raster fallen können. Für die vergangenen rund 22 Jahre existieren zwar zusätzlich auch flächendeckende

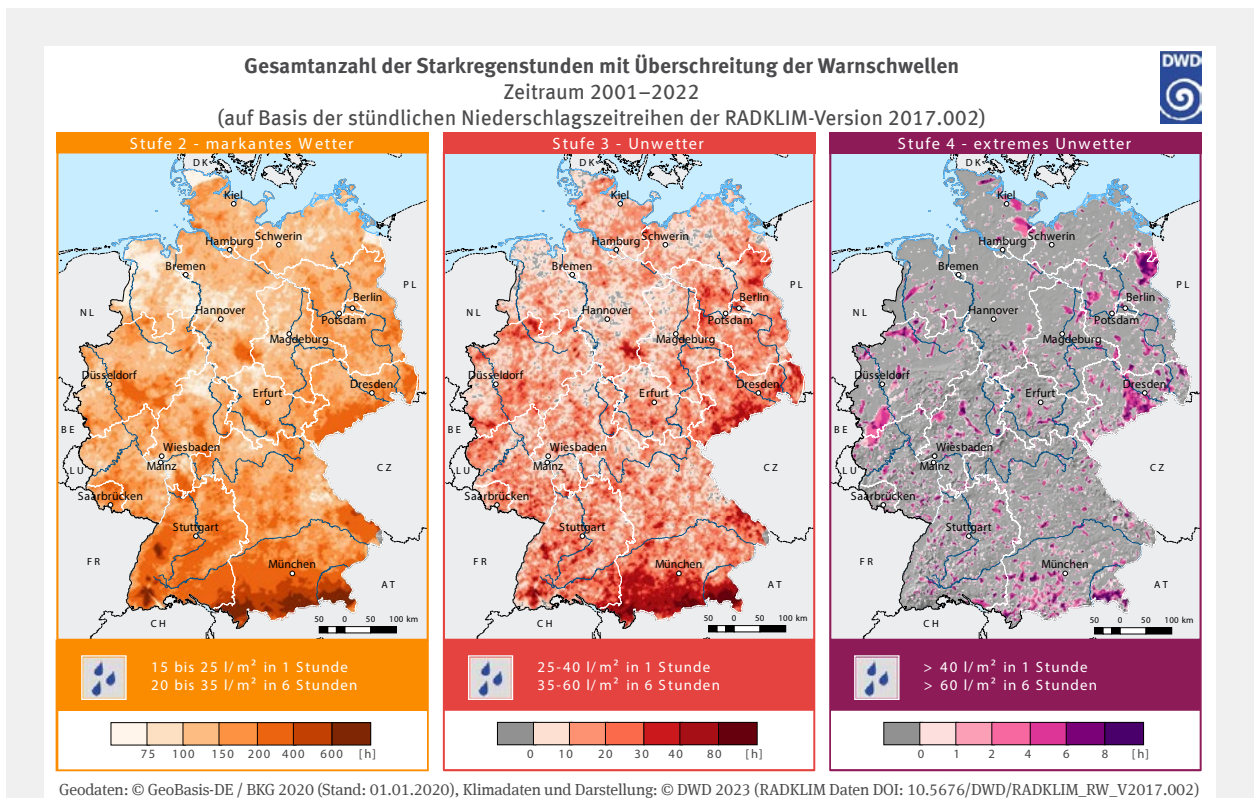


Abbildung 8: Gesamtsumme der Niederschlagsstunden im Zeitraum von 2001 bis 2022, in denen die DWD-Warnschwellen überschritten wurden (Quelle: DWD)
(Datenbasis bilden die quantifizierten Niederschlagsanalysen der Daten des Wetterradarverbundes und der automatischen Ombrometer und der bereits eingebundenen Partnermessnetze der Bundesländer)

Radardaten, für robuste Trendaussagen ist ein solcher Zeitraum aber noch zu kurz.

Radardaten machen es möglich, das tatsächliche Auftreten von Starkregen flächendeckend festzustellen und auszuzählen. So zeigt die Abbildung 8, dass die Stunden mit Starkniederschlägen besonders hoher Intensität von über 25 mm/h respektive 35 mm/6 h in Deutschland (siehe Abbildung 8, Mitte) deutlich gleichmäßiger verteilt sind als die Gesamtstunden mit moderatem Starkregen (siehe Abbildung 8, links), wo die räumliche Verteilung stark an das Relief Deutschlands gebunden ist. Damit wird deutlich, dass extreme kleinräumige Starkregen kurzer Andauer und mit hohem Schadenspotenzial in Deutschland jeden treffen können und somit keine Gefahr darstellen, die nur den südlichen Ländern vorbehalten ist. Die zeitliche Verlängerung dieser Art der Starkregenanalyse wird in wenigen Jahren auch eine belastbare Trendanalyse für diese Überschreitungshäufigkeiten ermöglichen.

Auf Basis der 22 Jahre umfassenden Zeitreihe von Radardaten wurden im Ereigniskatalog CatRaRE (Catalogue of Radar-based heavy Rainfall Events) Starkniederschlagsereignisse auf 11 unterschiedlichen Dauerstufen zwischen 1 und 72 Stunden gelistet. Zusätzlich zu den Eigenschaften Dauerstufe, Zeitpunkt des Auftretens und

Niederschlagsintensität, die sich allein aus den Radardaten bestimmen lassen, enthält CatRaRE demografische und geografische Informationen zu den Ereignissen. Abbildung 9 zeigt die Häufigkeitsverteilung der Niederschlagsereignisse in Deutschland über die Jahre 2001 bis 2022 für die 11 Dauerstufen. Auch hier zeigt sich, dass die Ereignisanzahl von Jahr zu Jahr stark variiert zwischen 554 Ereignissen im Jahr 2001 und 2.304 im Jahr 2018. Es erscheint zunächst überraschend, dass im Jahr 2018 die meisten Starkniederschlagsereignisse auftraten, da dieses Jahr im Mittel ein vergleichsweise trockenes Jahr war. Es war aber auch ein überdurchschnittlich warmes Jahr. Somit bestätigt sich hier die Annahme, dass es insbesondere in wärmeren Jahren vermehrt zu extremen konvektiven Niederschlägen kommen kann, denn alleine die Dauerstufen von 1 bis 6 Stunden machen mehr als 2.000 der Ereignisse im Jahr 2018 aus. Die Zeitreihe ist mit ihren 22 Jahren zwar noch zu kurz für eine belastbare Klimatrendaussage, dennoch kann man einen leichten Anstieg in der Anzahl der Starkregenereignisse in dem betrachteten Zeitraum erkennen.

Extreme Trockenheit

Das Thema Trockenheit ist in den vergangenen Jahren verstärkt in den Fokus gerückt. Neben der Frage nach der

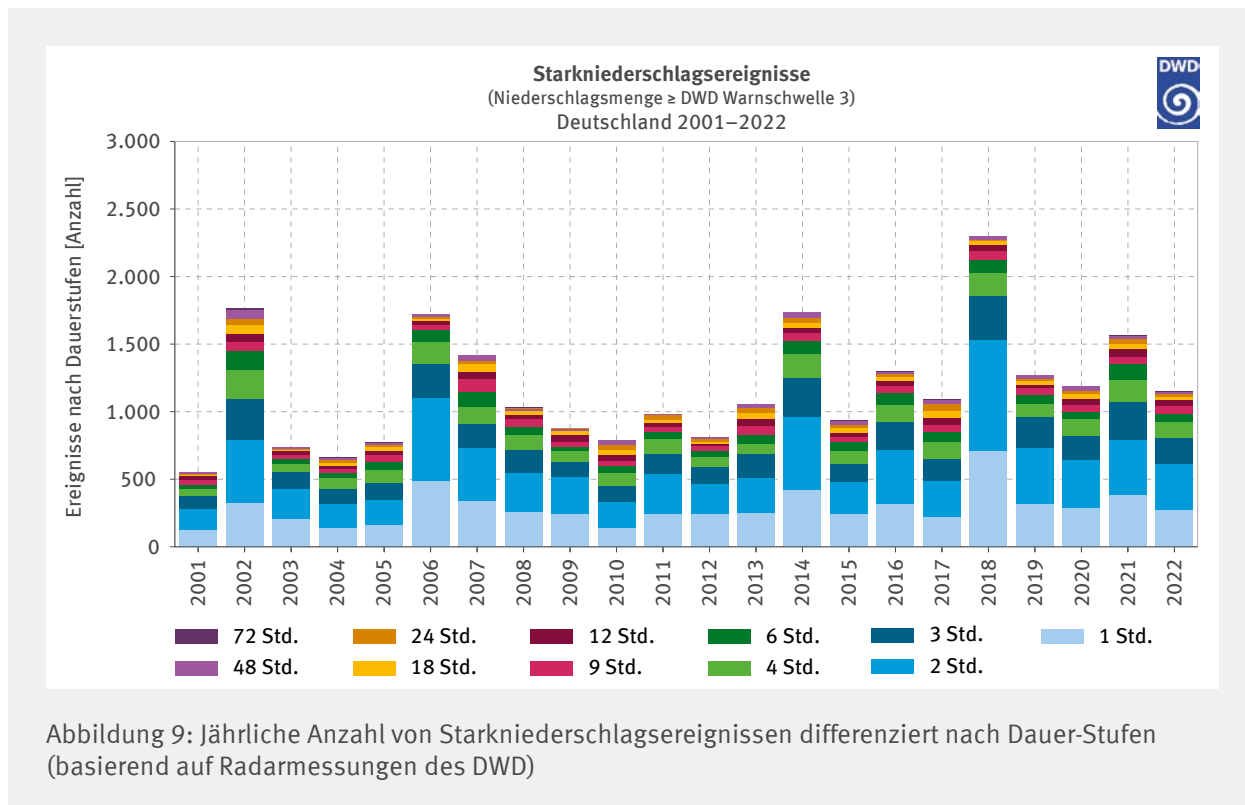


Abbildung 9: Jährliche Anzahl von Starkniederschlagsereignissen differenziert nach Dauer-Stufen (basierend auf Radarmessungen des DWD)

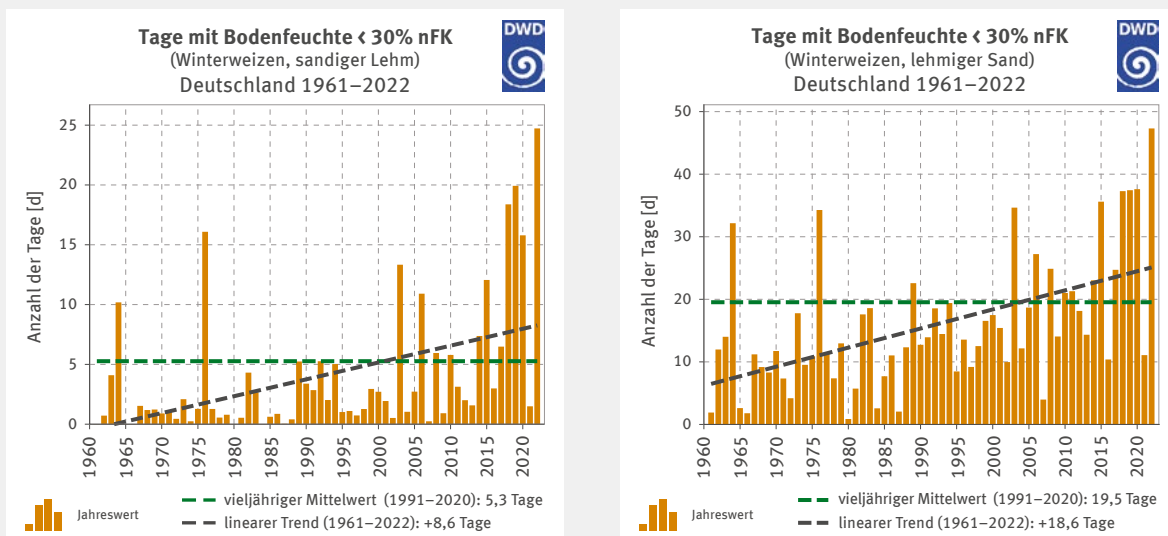


Abbildung 10: Jährliche Anzahl der Tage mit Bodenfeuchtwerten unter 30% nFK für Winterweizen auf schwerem Boden (sandiger Lehm, links) und leichtem Boden (lehmiger Sand, rechts) (Daten: DWD)

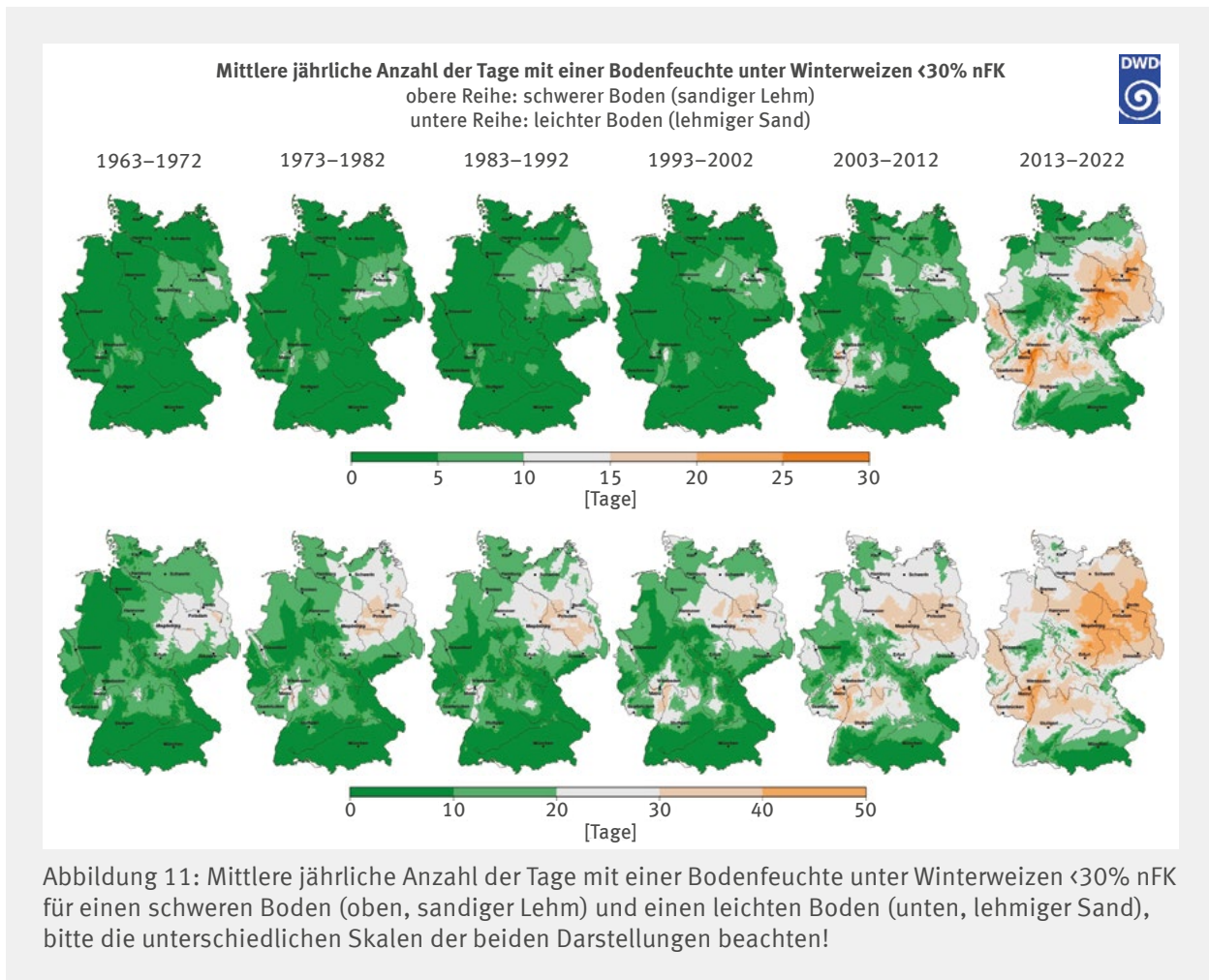
Veränderung der Starkniederschläge ist insbesondere im Sommer auch von großer Wichtigkeit, inwieweit die Erwärmung mit einer zusätzlichen Austrocknung der Böden einhergeht. Besonders betroffen von der Trockenheit ist beispielsweise die Landwirtschaft, aber auch andere Infrastrukturen wie die Wasserwirtschaft oder die Energieversorgung. Spricht man in der Landwirtschaft von Trockenheit oder Dürre, so bezieht sich dies immer auf den Zustand der Pflanzen, die aufgrund fehlender Wasservorräte im Boden ihre Photosynthese-Aktivität stark einschränken müssen oder im Extremfall ganz absterben können. Geringe Wasservorräte im Boden können zum einen durch fehlende oder geringe Niederschläge und zum anderen durch hohe Verdunstungsraten der Pflanzen hervorgerufen werden, die bei trockener und warmer Witterung höher sind als bei kalt-feuchten Bedingungen.

Ein idealer Zeiger für den Wasserversorgungsgrad der Pflanzen ist die Bodenfeuchte, die in Prozent nutzbarer Feldkapazität (% nFK) ausgedrückt wird. Die nutzbare Feldkapazität ist ein relatives Maß für das Bodenwasser, das von der Pflanze genutzt werden kann. Wenn die Bodenfeuchte unterhalb von 30% bis 40% nFK sinkt, dann führt dies zu einem deutlichen Absinken der Photosynthese-Leistung und in der Folge zu einem verminderten Pflanzenwachstum. Je länger die Pflanze in diesem Zustand bleibt, umso stärker kann sie geschädigt werden. Aus diesem Grunde wurde die Anzahl der Tage betrachtet, an denen die kritischen Bodenfeuchtwerte von 30% nFK für die Kultur Winterweizen unterschritten wurde. Betrachtet wurde die Hauptwachstumszeit von

Winterweizen, die in der Regel von März bis Juli oder August andauert. Außerdem hat auch die Art des Bodens einen großen Einfluss auf die Bodenfeuchte. Ein schwerer Boden (zum Beispiel sandiger Lehm) kann mehr Wasser für die Pflanzen zwischenspeichern als ein leichter Boden (beispielsweise ein lehmiger Sand) und somit längere Trockenperioden überbrücken.

Wie Abbildung 10 deutlich macht, hat die mittlere Anzahl der Tage mit Bodenfeuchtwerten unter 30% nFK in Deutschland sowohl für den schweren Boden (links) als auch für den leichten Boden (rechts) seit 1961 signifikant zugenommen. Aufgrund seiner geringeren Wasserspeicherkapazität ist beim leichten Boden die Anzahl der Tage, an denen der kritische Schwellenwert unterschritten wird, insgesamt höher als bei den schweren Böden. Für die Pflanzenentwicklung beziehungsweise die Schädigung der Pflanzen spielt dabei auch die Andauer dieser Tage mit einer nFK unter 30% eine wichtige Rolle. Darüber hinaus wirken sich während der Hauptwachstumsphase länger anhaltende Trockenperioden wesentlich negativer auf die Pflanzen- und Ertragsentwicklung aus als beispielsweise Trockenheit kurz vor der Ernte.

Besonders betroffen von der zunehmenden Bodentrockenheit sind verbreitete Gebiete im Osten Deutschlands sowie das Rhein-Main Gebiet (siehe Abbildung 11).



Entwicklungen in der Zukunft

Aussagen zur zukünftigen Entwicklung der meteorologischen Parameter werden auf Basis von Klimaprojektionen getroffen. Dabei berechnet ein globales Klimamodell den möglichen Klimawandel auf der Basis eines Szenarios. Hier werden zwei Szenarien betrachtet. Das „Klimaschutz-Szenario“ (RCP 2.6) basiert auf Annahmen, die der globalen 2-Grad-Obergrenze entsprechen. Ziel ist eine Welt, in der im Jahr 2100 die globale Erwärmung nicht mehr als 2 °C im Vergleich zum vorindustriellen Niveau beträgt. Das „Hochemissionsszenario“ (RCP 8.5) beschreibt eine Welt, in der die Energieversorgung im Wesentlichen auf der Verbrennung fossiler Kohlenstoffvorräte beruht. Der Ausstoß von Treibhausgasen wird sich gegenüber heute mit einem stetigen Anstieg des Strahlungsantriebes bis zum Jahr 2100 weiter erhöhen.

Eine Klimaprojektion darf nicht mit einer Vorhersage verwechselt werden. Sie ist eine „was wäre, wenn“-Rechnung auf der Basis des gewählten Szenarios. Die Klimaprojektionen für die unterschiedlichen Szenarien helfen, die zu erwartenden Klimaveränderungen unter Berücksichtigung verschiedener Klimaschutzmaßnahmen in eine Bandbreite möglicher Entwicklungen einzuordnen.

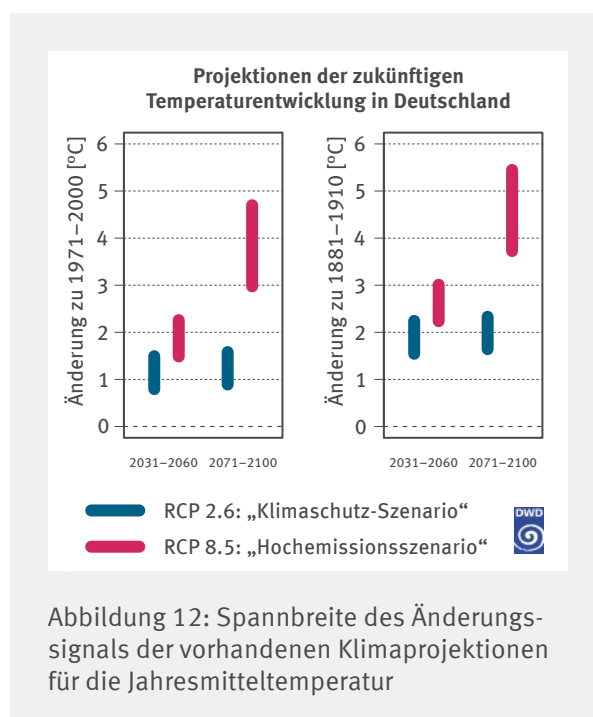
Globale Klimaprojektionen dienen als Antrieb für regionale Klimaprojektionen. Die gezeigten Auswertungen basieren auf den Ergebnissen von 32 regionalen Klimaprojektionen, die den Zeitraum 1971 bis 2100 umfassen (Klimaensemble). Die genutzten regionalen Klimaprojektionen stellen das DWD-Referenz-Ensemble dar, das im Rahmen der Forschung des Themenfelds „Klimawandel und Anpassung“ des Expertennetzwerks des Bundesministeriums für Digitales und Verkehr (BMDV-Expertennetzwerk) Bias-adjustiert (Reduktion von systematischen Fehlern) und auf ein 5 km-Gitter regionalisiert wurde⁸. Die folgenden Auswertungen basieren alle auf diesem Ensemble. Um den Unterschied zwischen dem heutigen und einem zukünftigen Zustand zu berechnen, werden jeweils zwei 30-Jahres-Zeiträume genutzt, und es wird für jeden Zeitraum ein mittlerer Zustand berechnet. Als Bezugszeitraum für das beobachtete Klima dienen die Jahre 1971–2000 aus den Modellrechnungen. Für eine bessere Einordnung wird in Abbildung 12 (rechts) für die Temperatur darüber hinaus die Änderung relativ zum frühindustriellen Zeitraum 1881–1910 dargestellt. Für die Zukunft werden zwei Zeiträume analysiert: Der kurzfristige Planungshorizont beschreibt den mittleren Zustand der Jahre 2031–2060. Die Jahre 2071–2100 werden als Grundlage für den langfristigen Planungshorizont genutzt. Die zukünftigen Änderungen werden als Bandbreite angegeben. Beschrieben wird die Bandbreite

über die Werte des 15. und 85. Perzentsils aus den vorhandenen Datensätzen. Durch dieses Vorgehen werden Ausreißer an den beiden Enden der Ensembles aus Klimaprojektionen ausgeschlossen.

Temperatur – Mittel und Extreme in der Zukunft

Die bereits erreichte Temperaturänderung zwischen dem frühindustriellen Zeitraum und dem Bezugszeitraum 1971–2000 beträgt 0,8 °C. Ein weiterer Anstieg der Temperatur in Deutschland ist zu erwarten.

Für den kurzfristigen Planungshorizont (2031–2060) beträgt der Anstieg etwa 0,8 bis 1,5 °C im Klimaschutz-Szenario und 1,5 bis 2,3 °C im Hochemissionsszenario (siehe Abbildung 12). Die Entwicklung ist noch wenig vom Emissionsszenario abhängig. Die Erwärmung ist in Süddeutschland etwas stärker ausgeprägt. Die Temperaturentwicklung für den langfristigen Planungshorizont (2071–2100) wird stark vom gewählten Szenario bestimmt. Basierend auf dem Klimaschutz-Szenario ist eine Erhöhung um 0,9 bis 1,6 °C zu erwarten. Regionale Unterschiede gibt es kaum. Unter den Bedingungen des Hochemissionsszenarios beträgt die Erwärmung etwa 3,0 bis 4,7 °C. Die Erwärmung ist in den südlichen Regionen stärker ausgeprägt. In den verschiedenen Jahreszeiten ist



die Erwärmung ähnlich ausgeprägt, mit Ausnahme des Frühjahrs, wo sie geringer ausfällt.

Mit der Temperaturzunahme in der Zukunft geht eine markante Änderung der Temperaturextreme einher. Mit tiefen Temperaturen verbundene Extreme nehmen stark ab und mit Wärme verbundene Extreme nehmen stark zu. Dadurch steigt auch die Häufigkeit von Hitzewellen. Die Klimaprojektionen weisen auf eine deutliche Änderung aller Indikatoren hin, besonders für das Hochemissionsszenario sowie den langfristigen Planungshorizont. In den meisten Regionen ist mit einem klaren Anstieg von Sommertagen, Heißen Tagen und Tropennächten zu rechnen. Im Deutschlandmittel sind unter dem Hochemissionsszenario im kurzfristigen Planungshorizont 5 bis 10 zusätzliche Heiße Tage pro Jahr zu erwarten, im langfristigen Planungshorizont 14 bis 28 Tage. Tropennächte werden zukünftig auch in Regionen auftreten, in denen sie bis heute noch nicht aufgetreten sind. Besonders das Hochemissionsszenario lässt eine deutliche Häufung und eine Ausdehnung auf neue Gebiete erwarten. Im Deutschlandmittel ist unter diesem Szenario im kurzfristigen Planungshorizont mit einem Anstieg um bis zu 3 Tropennächte pro Jahr zu rechnen, im langfristigen Planungshorizont um 5 bis 16 Nächte. Im Oberrheingraben sowie in städtischen Agglomerationen ist mit dem größten Zuwachs an Tropennächten zu rechnen. Dagegen wird die Anzahl an Frost- und Eistagen, wie bereits in den letzten Jahrzehnten, in allen Regionen weiter zurückgehen. Besonders im Ruhrgebiet sowie im Rheintal werden Eistage nur noch sehr selten auftreten. Im kurzfristigen Planungshorizont sowie für das Klimaschutz-Szenario sind dagegen weniger drastische Veränderungen zu erwarten.

Niederschlag – Mittel und Extreme in der Zukunft

Im kurzfristigen Planungshorizont 2031–2060 ist für Deutschland keine deutliche Änderung der mittleren Jahressumme des Niederschlags zu erwarten. Berechnet wird eine Änderung des mittleren Jahresniederschlags um $\pm 0\%$ bis $+6\%$ im Klimaschutz-Szenario sowie um -1% bis $+9\%$ im Hochemissionsszenario (siehe Abbildung 13). Der Unterschied zwischen den Szenarien ist gering und die Änderung ist in allen Teilen des Bundesgebiets in etwa gleich stark ausgeprägt. Grundsätzlich muss angemerkt werden, dass eine modellierte Änderung unterhalb von 10% nicht von der natürlichen Klimavariabilität unterschieden werden kann. Diese Schwelle gilt auch für alle nachfolgenden Werte. Für den langfristigen Planungshorizont 2071–2100 ist für Deutschland beim Hochemissionsszenario mit einer Änderung des

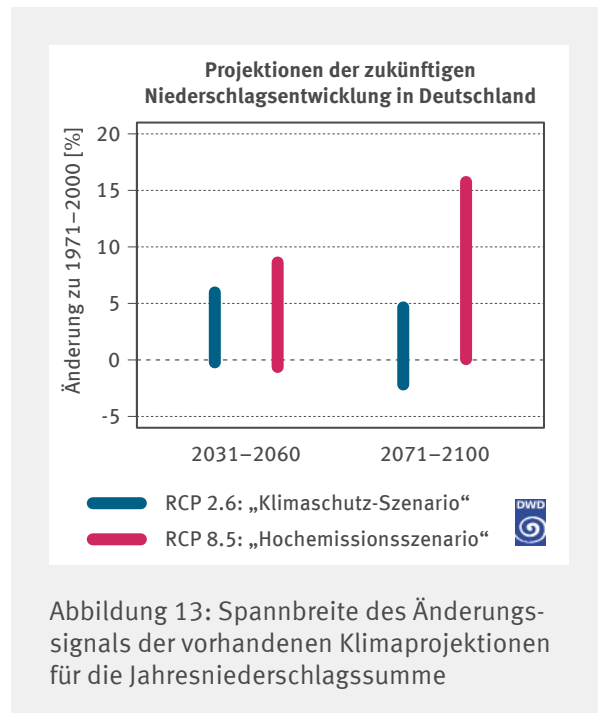


Abbildung 13: Spannweite des Änderungssignals der vorhandenen Klimaprojektionen für die Jahresniederschlagssumme

Jahresniederschlags um $\pm 0\%$ bis $+16\%$ zu rechnen. Die Änderung wird in allen Teilen des Bundesgebiets in etwa gleich stark ausfallen.

Für den kurzfristigen Planungshorizont 2031–2060 werden unter Verwendung des Klimaschutz-Szenarios für den Winter Zunahmen der Niederschlagsmenge um $+3\%$ bis $+11\%$ berechnet, im Hochemissionsszenario $+2\%$ bis $+23\%$. Für den Sommer und den Herbst ist eine belastbare Richtungsaussage nicht möglich. Die Spannweite der Ergebnisse im Sommer liegt zwischen -6% und $+3\%$ (Klimaschutz-Szenario) sowie zwischen -7% und $+7\%$ (Hochemissionsszenario). Im Herbst liegt sie zwischen -4% bis $+5\%$ (Klimaschutz-Szenario) sowie zwischen -7% bis $+10\%$ (Hochemissionsszenario). Im Frühjahr zeigen sich für diesen Planungshorizont Änderungen der mittleren Niederschlagssumme unter Annahme des Klimaschutz-Szenarios von $+3\%$ bis $+12\%$. Unter Annahme des Hochemissionsszenarios wird eine Zunahme von $+6\%$ bis $+14\%$ berechnet.

Im Frühjahr kann die Änderung für den langfristigen Planungshorizont (2071–2100) je nach Szenario $+0\%$ bis $+11\%$ (Klimaschutz-Szenario) oder $+3\%$ bis $+22\%$ (Hochemissionsszenario) betragen, im Herbst -3% bis $+7\%$ (Klimaschutz-Szenario) oder -7% bis $+18\%$ (Hochemissionsszenario). Im Winter kann die Änderung im Hochemissionsszenario $+7\%$ bis $+33\%$, im Klimaschutz-Szenario -3% bis $+13\%$ betragen. Für den Sommer wird in diesem Planungshorizont eine Spanne von einer

sehr geringen Änderung im Klimaschutz-Szenario (-6 % bis +3 %) bis hin zu einer möglichen Abnahme der Niederschlagshöhe im Hochemissionsszenario in der Spannweite -14 % bis +6 % berechnet. In den einzelnen Regionen ist der Sommer ebenfalls durch große Spannbreiten der Ergebnisse gekennzeichnet, sodass diese nur wenig belastbar erscheinen.

Bezüglich der Änderung der Anzahl der Tage mit einem Niederschlag von mindestens 20 mm pro Tag ist für alle Regionen sowohl für den kurzfristigen als auch den langfristigen Planungshorizont mit einer Zunahme zu rechnen. Nur in der Alpenregion projizieren manche Modelle eine Abnahme dieser Tage. Die deutlichste Zunahme wird dabei im Frühling und Winter projiziert. Im kurzfristigen Planungshorizont ist der Unterschied zwischen den einzelnen Klimaszenarien eher gering, während er im langfristigen Planungshorizont im Winter, Frühling und Herbst deutlich ausgeprägter ist. Ein weniger ausgeprägter Anstieg wird für die Tage mit einem Niederschlag von 30 mm und mehr projiziert. Jedoch ist bei Starkniederschlägen die Spannweite innerhalb des Ensembles teilweise sehr groß, sodass die Resultate nur wenig belastbar sind. Regionale Unterschiede bezüglich der Änderung der mittleren Jahressumme der Niederschlagshöhe sind wenig ausgeprägt.

Für den Projektionszeitraum ist für das Gesamtjahr, abhängig von der Bandbreite des Klimamodellensembles und Klimaszenarios, von einer geringfügigen Abnahme bis zu einer moderaten Zunahme der Trockentage auszugehen. Für die einzelnen Jahreszeiten ergibt sich allerdings ein differenzierteres Bild. Während es im kurz- und langfristigen Planungshorizont für das Klimaschutzszenario im Winter und Frühling zu keinen nennenswerten Änderungen der Trockentage kommt, ergibt sich für Sommer und Herbst eine moderate Zunahme, die sich aber zwischen dem kurz- und langfristigen Planungshorizont kaum unterscheidet. Unter dem Hochemissionsszenario werden im Winter und Frühling ebenfalls kaum Änderungen projiziert. Vor allem im Sommer ist aber von einer deutlicheren Zunahme der Trockentage für die ferne Zukunft auszugehen, die für den Herbst etwas moderater projiziert wird.

**INDIKATOREN ZU
KLIMAWANDELFOLGEN
UND ANPASSUNG**



© Jürgen Fälchle / stock.adobe.com

Menschliche Gesundheit

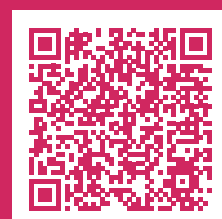
Überblick	36
Wirkstrang „Gesundheitliche Auswirkungen von Hitze“	39

Auswirkungen des Klimawandels – Impact

GE-I-1	Hitzebelastung.....	40
GE-I-2	Hitzebedingte Todesfälle	42
GE-I-3	Belastung mit Birkenpollen	44
GE-I-4	Belastung mit Ambrosiapollen	46
GE-I-5	Überträger von Krankheitserregern – Fallstudie	48
GE-I-6	Cyanobakterienbelastung von Badegewässern	50
GE-I-7	Gesundheitsgefährdung durch Vibrionen – Fallstudie	52
GE-I-8	UV-Index – Fallstudie.....	54
GE-I-9	Ozonbelastung.....	56

Anpassungen an den Klimawandel – Response

GE-R-1	Hitzewarndienst	58
GE-R-2	Bewusstsein der Bevölkerung für gesundheitliche Folgen von Hitzewellen.....	59
GE-R-3	Informationen zu Pollen.....	60
GE-R-4	Einsendungen zum Mückenatlas	62



Zur Bedeutung des Handlungsfelds

Die Weltgesundheitsorganisation (WHO) bezeichnet den Klimawandel als „die größte Gesundheitsbedrohung für die Menschheit“: In vielen Ländern des globalen Südens verschärft der Klimawandel die ohnehin bestehenden Probleme von Hunger und unzureichendem Zugang zu sauberem Trinkwasser. Die gesundheitlichen Folgen des Klimawandels werden aber auch in Deutschland größer und treffen aufgrund des demographischen Wandels auf eine alternde Gesellschaft.

Daher hat sich der Klimapakt Gesundheit in 2022 in einer gemeinsamen Erklärung zu seiner gemeinsamen Verantwortung bekannt, den negativen gesundheitlichen Auswirkungen des Klimawandels zu begegnen und das Gesundheitswesen einschließlich der Pflege im Sinne von Klimaanpassung, Klimaschutz und Nachhaltigkeit weiterzuentwickeln.⁹

DAS-Monitoring – was im Klimawandel passiert

Extreme Wetter- und Witterungssituationen haben unmittelbaren Einfluss auf die Gesundheit. Seit den 1980er-Jahren zeichnet sich ein Trend zunehmender Hitzeextreme ab (siehe Indikator GE-I-1, Seite 40). Im Extremfall können Hitzewellen tödlich sein. So gab es in Deutschland allein zwischen 2018 und 2020 geschätzte 19.300 Tote infolge von Hitze (siehe Indikator GE-I-2, Seite 42). In den letzten drei Dekaden lässt sich ein leichter Rückgang des Effekts von hohen Temperaturen auf die Mortalität feststellen.

Neben den hitzebedingten Gesundheitsschäden gehören auch Pollenallergien, Erkrankungen wie Hautkrebs infolge von UV-Strahlung sowie Herz-Kreislauf- und Atemwegserkrankungen durch Luftschadstoffe zu den (nichtinfektiösen) Krankheiten, die mit dem Klimawandel in Zusammenhang stehen. Allergien zählen heute zu den am häufigsten auftretenden chronischen Erkrankungen in Deutschland. Dabei sind Pollenallergien besonders bedeutsam. Klimatische Veränderungen haben Einfluss auf die Pollensaison und die Intensität der Pollenbelastung. Birkenpollen führen neben den Gräserpollen die „Hit-Liste“ der Sensibilisierungen in der deutschen Bevölkerung an. Für die Birke sind die Zusammenhänge mit dem Klimawandel inzwischen auch intensiver erforscht worden. Vor allem im östlichen Teil Deutschlands ist die Pollenkonzentration seit Beginn der Messungen im Jahr 1995 angestiegen (siehe Indikator GE-I-3, Seite 44). Die Pollenkonzentration der eingeschleppten, hochallergenen Ambrosie (siehe Indikator GE-I-4, Seite 46) zeigt bisher keinen Trend, im östlichen Deutschland werden aber immer wieder bedenkliche Spitzenwerte erreicht, unter anderem durch Ferntransporte aus den südöstlichen Nachbarländern und / oder durch regionale Pflanzenbestände.

In den Fällen von UV-Strahlung (siehe Indikator GE-I-8, Seite 54) und Luftschadstoffen – hier insbesondere

dem bodennahen Ozon (siehe Indikator GE-I-9, Seite 56) – sind die Zusammenhänge mit dem Klimawandel komplex und noch nicht vollständig verstanden. In beiden Fällen spielen aber die veränderten Strahlungsverhältnisse beziehungsweise die veränderte Strahlungsintensität eine relevante Rolle: Das Gesundheitsrisiko durch UV-Strahlung erhöht sich mit vermehrter Einstrahlung deutlich. Die photochemische Ozonbildung wird vor allem während langanhaltenden Schönwetterperioden angeheizt. Beide Themen wurden vor diesem Hintergrund nun erstmalig in den Monitoringbericht aufgenommen.

Auch für Infektionskrankheiten werden Zusammenhänge mit dem Klimawandel beschrieben. Für tierische Überträger von Infektionserregern wie Stechmücken, Zecken oder Nagetiere können sich unter veränderten Klimabedingungen unter Umständen die Lebensbedingungen verbessern. Dies gilt auch für die Infektionserreger selbst, sodass die Infektionsrisiken für Mensch und Tier steigen. Ein Beispiel sind Tigermücken, die gefährliche Krankheitserreger übertragen können. Sie breiten sich mit der wärmeren Witterung zunehmend aus und sind in der Lage, zu überwintern und Populationen aufzubauen (siehe Indikator GE-I-5, Seite 48).

Analog zum Indikator Belastung mit Cyanobakterien, der die Gefahren beim Baden in Seen beschreibt (siehe Indikator GE-I-6, Seite 50), wird nun im Monitoring auch ein Indikator zur Gesundheitsgefährdung durch Vibrionen für Badende im Meer (siehe Indikator GE-I-7, Seite 52) präsentiert. Vor allem in Jahren mit langanhaltenden Hitzewellen kommt es zu bemerkenswert hohen Belastungen, die die Risiken für die Badegäste deutlich erhöhen.

Die künftigen Klimarisiken – Ergebnisse der KWRA

Den Ergebnissen der Klimawirkungs- und Risikoanalyse 2021 (KWRA, siehe Lesehilfe, Seite 7) zufolge besteht bei den gesundheitlichen Beeinträchtigungen durch Hitze bereits heute ein hohes Risiko. Bis zur Mitte des Jahrhunderts werden hohe Risiken auch für gesundheitliche Beeinträchtigungen durch luftgetragene Allergene und UV-Belastung erwartet. Bis zum Ende des Jahrhunderts wird zusätzlich ein hohes Risiko für Atembeschwerden infolge von Luftverunreinigungen gesehen, wobei diese Einschätzung mit geringer Gewissheit verbunden ist.

Die KWRA 2021 analysierte auch die Auswirkungen auf das Gesundheitssystem. Bis zum Ende des Jahrhunderts wird auch hier ein hohes Risiko erwartet. Dies bedeutet, dass vermutlich, aber mit geringer Gewissheit, ein

deutlich erhöhter Anpassungsbedarf auf das System zukommt.

Das Risiko für die (weitere) Verbreitung von Vektororganismen sowie von potenziell schädlichen Mikroorganismen und Algen wird bis zur Mitte des Jahrhunderts als mittel (in einem Bewertungsraster gering – mittel – hoch) bewertet, mit geringer Gewissheit bei dieser Einschätzung. Dieses Risiko könnte zu einem Ansteigen der Inzidenz von bestimmten (vektorübertragenen) Infektionskrankheiten führen.

Das Risiko für die Zunahme von Verletzungen und Todesfällen infolge von Extremereignissen wird – mit geringer Gewissheit – bis zum Ende des Jahrhunderts als mittel bewertet.

Wo haben wir Daten- und Wissenslücken?

Mit dem Monitoringbericht 2023 konnte das Spektrum der für das Handlungsfeld „Menschliche Gesundheit“ dargestellten Themen deutlich erweitert werden. Es bleibt aber nach wie vor schwierig, die tatsächliche Betroffenheit umfassend abzubilden. Mit den Hitzetoten sind nur die extremsten Folgen von Hitzewellen erfasst, die sehr viel häufigeren hitzebedingten Erkrankungen können mangels Daten nicht quantifiziert werden. Im Falle anderer nichtinfektöser und infektiöser Krankheiten ist es schwierig, unmittelbare kausale Zusammenhänge mit Klimawandelfolgen aufzuzeigen, oder die verfügbaren Daten lassen sich nicht kausal zuordnen. Deshalb liegt der Fokus der Monitoring-Indikatoren auf der Impact-Ebene auf der Beschreibung der potenziellen Risiken.

Trotz der thematischen Erweiterungen können mehrere relevante Klimarisiken im DAS-Monitoring noch nicht angesprochen werden, weil es noch Forschungslücken gibt und geeignete Datenquellen für die Indikatorentwicklung fehlen. Aber auch für die angesprochenen Themen sind Verbesserungen der Datengrundlagen erforderlich. So sieht der Hitzeschutzplan des Bundesministeriums für Gesundheit (BMG) vom Juli 2023 die Verbesserung der Evidenz zur gesundheitlichen Auswirkung von Hitzewellen vor. Dies bezieht sich auf die hitzebezogene Mortalität und Morbidität. Des Weiteren mangelt es beispielsweise an systematisch und bundesweit erhobenen Daten zum Vorkommen und zur Verbreitung von Vektoren wie Mücken und Zecken und deren Durchseuchung mit Erregern.

Forschungsthema ist nach wie vor, wie und in welchem Umfang der Klimawandel die Qualität von Trinkwasser und Nahrungsmitteln beeinflusst und in Zukunft beeinflussen wird. Aktuell gearbeitet wird auch zum Thema Pilzinfektionen und deren Beeinflussung durch den Klimawandel¹⁰. Die Zusammenhänge zwischen dem Klimawandel und einer Zunahme von Antibiotikaresistenzen sind ebenfalls im Forschungsfokus.

Der Klimawandel und die Katastrophen, die in seiner Folge vermehrt und / oder verstärkt auftreten, bringen nicht nur Risiken für die physische Gesundheit (inklusive Verletzungen) mit sich, sondern können auch zu psychischen Belastungen und Störungen führen. Die Zusammenhänge zwischen Klimawandel und psychischer Gesundheit sind jedoch noch nicht ausreichend erforscht, um hierzu schon konkrete Zahlen und Fakten präsentieren zu können.

Nicht zuletzt kann der Klimawandel hohe Kosten und neue fachliche und organisatorische Anforderungen für das Gesundheitswesen, beispielsweise das Gesundheitspersonal, Krankenhäuser, Rettungsdienste oder Krankenkassen bedeuten. Auch hier besteht weiterer Forschungsbedarf.

Was getan wird – einige Beispiele

Im Zentrum von Anpassungsbemühungen im Bereich Gesundheit stehen auf Bundesebene die Vernetzung von Akteursgruppen, geeignete politische Rahmensetzungen, die Unterstützung der Kommunen, das Monitoring sowie die Forschung und ein Wissenschaft-Praxis-Transfer. Zudem engagiert sich der Bund stark für Information und Aufklärung, um die Bürger*innen und insbesondere die vulnerablen Gruppen wie Ältere oder Vorerkrankte zu einem adäquaten Selbstschutz zu motivieren und zu befähigen.

Die Bundeszentrale für gesundheitliche Aufklärung (BZgA) informiert seit 2021 über das Internetportal [klima-mensch-gesundheit.de](https://www.klima-mensch-gesundheit.de) zu den Auswirkungen des Klimawandels auf die menschliche Gesundheit. Auf der Website finden Bürger*innen auch qualitätsgeprüfte Verhaltens- und Handlungsempfehlungen zu Hitze- und UV-Schutz. Das UBA informiert, unter anderem zusammen mit dem DWD, insbesondere zu den Themen Hitze¹¹ sowie Luft- und Wasserverunreinigungen. Das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) informiert zu UV-Strahlung, deren Wirkung und Beeinflussung durch den Klimawandel sowie zu möglichen Schutzmaßnahmen. Von zunehmender Bedeutung sind Apps und gezielt versandte Newsletter, die über Risiken informieren (siehe Indikator GE-R-1, Seite 58) und zusätzlich individuell zugeschnittene Handlungsempfehlungen geben (siehe Indikator GE-R-3, Seite 60). Die intensive Öffentlichkeitsarbeit zeigt bereits Wirkung. So ist das Bewusstsein in der Bevölkerung, dass Hitze die Gesundheit und das Wohlbefinden beeinträchtigen kann, gestiegen (siehe Indikator GE-R-2, Seite 59).

Monitoring und die systematische, kontinuierliche Beobachtung des Krankheitsgeschehens (Surveillance) sind wesentlich, um aktuelle und künftige Gesundheitsrisiken besser einschätzen zu können. Der DWD leistet mit seinem Schwerpunkt Klimamonitoring und Wetterbeobachtung sowie Klimaprojektionen wichtige Beiträge. Das BfS koordiniert die Überwachung der UV-Strahlung, das UBA erhebt Daten zur Luftqualität und führt diese mit Länderdaten zusammen. Zudem untersucht das UBA die Auswirkungen des Klimawandels auch auf Zecken, Nagetiere und Stechmücken und die durch diese übertragbaren Krankheitserreger. Das UBA stellt dabei ein Modell zur bundesweiten Hantavirusprognose zur Verfügung und erarbeitet außerdem Maßnahmen zum nachhaltigen Management von Vektoren. Das Robert Koch-Institut (RKI) monitort seit 2023 im Sommer wöchentlich die hitzebezogene Übersterblichkeit, ist verantwortlich für die Umsetzung des Meldewesens nach dem

Infektionsschutzgesetz (IfSG) und entwickelt die Surveillance nichtübertragbarer Krankheiten und gesundheitsbezogene Risikoprofile weiter. Das Friedrich-Loeffler-Institut (FLI) ist im Monitoring von Vektororganismen aktiv und betreibt zusammen mit dem Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF) den Mückenatlas (siehe Indikator GE-R-4, Seite 62).

Das RKI gibt im 2023 veröffentlichten Sachstandsbericht „Klimawandel und Gesundheit“ einen umfassenden wissenschaftlichen Überblick über die gesundheitlichen Folgen des Klimawandels und die Möglichkeiten, diesen entgegenzutreten. Dabei sind Beiträge einer großen Zahl von (behördlichen) Institutionen, Universitäten und Forschungseinrichtungen zusammengefloßen.¹²

Neben Information und Aufklärung bedarf es aber auch der Unterstützung von Gesundheitseinrichtungen. Hierfür hat das BMUV 2020 das Förderprogramm „Klimaanpassung in sozialen Einrichtungen“ aufgelegt. Es unterstützt soziale Einrichtungen dabei, sich gegen die Folgen des Klimawandels wie Hitze, Starkregen oder Hochwasser zu wappnen. Die Laufzeit war zunächst bis 2023 begrenzt, die Förderung ist nun aber aufgrund der enormen Resonanz über 2023 hinaus bis 2026 verlängert worden. Ein Überblick über weitere Fördermöglichkeiten für Gesundheitseinrichtungen im Bereich Klimaanpassung, Klimaschutz und Ressourceneffizienz wurde im Auftrag des BMG für Deutschland erstellt¹³.

Großer Handlungsbedarf wird auf allen Ebenen, vom Bund bis zu den Kommunen, gesehen. Eine hohe Priorität besteht für die Erstellung von Hitzeaktionsplänen, um Hitze- und UV-bedingten Auswirkungen sowie Erkrankungen vorzubeugen und Todesfälle zu reduzieren. Die vom BMUV geleitete Bund/Länder Ad-hoc Arbeitsgruppe „Gesundheitliche Anpassung an die Folgen des Klimawandels“ hat unter der Federführung des UBA im Jahr 2017 Handlungsempfehlungen für die Ausarbeitung kommunaler Hitzeaktionspläne entwickelt. Das BMUV hat im März 2022 ein Sofortprogramm zur Klimaanpassung für Kommunen auf den Weg gebracht, mit dem auch die Entwicklung und Umsetzung von Hitzeaktionsplänen gefördert wird. Auf Wunsch der Länder und der kommunalen Spitzenverbände startet das im Auftrag des BMUV gegründete Zentrum für KlimaAnpassung (ZKA) zudem ein Beratungsprogramm zu Hitzeaktionsplänen. Mit dem HitzeService-Portal (hitzeservice.de) wurde im Auftrag des BMG eine Plattform geschaffen, die Kommunen zur Planung und Umsetzung von Hitzeschutzmaßnahmen konkret informiert und unterstützt.

Handlungsfeld-relevante Klimaveränderungen

Hitze

Mit der deutlichen Zunahme der Jahresmitteltemperatur sind auch Temperaturextreme häufiger geworden. So hat die Häufigkeit von Heißen Tagen mit einer Höchsttemperatur von mindestens 30°C in ganz Deutschland zugenommen. Zudem treten markante Hitzewellen seit den 1990er-Jahren häufiger auf. Unter Hitzewellen wird hier eine 14-tägige Hitzeperiode mit einem mittleren Tagesmaximum der Lufttemperatur von mindestens 30°C verstanden. Die Betrachtung von acht deutschen Großstädten macht deutlich, dass 24% der seit 1961 ermittelten Hitzewellen in den Zeitraum 1961–1990 fielen, hingegen 76% in den 32-Jahreszeitraum danach. (siehe Abbildung 7, Seite 24)



Foto: © deberarr / stock.adobe.com

Auswirkungen des Klimawandels

GE-I-2 Hitzebedingte Todesfälle

Hitzewellen belasten die Menschen unterschiedlich. Vor allem in der Gruppe der alten und allein lebenden Menschen kommt es während intensiver und langanhaltender Hitzeereignisse regelmäßig zu Todesfällen in relevanten Größenordnungen. Allein für die Jahre 2018 bis 2020 wird geschätzt, dass 19.300 Menschen der Hitze zum Opfer gefallen sind. Diese Zahl überschreitet die von Todesfällen infolge von Unwetterkatastrophen deutlich.



Foto: © Satjawat / stock.adobe.com

Anpassungen – Aktivitäten und Ergebnisse

GE-R-1 Hitzewarndienst

Der vom DWD eingerichtete Hitzewarndienst informiert die Bevölkerung und stationäre Einrichtungen über den Hitze-Newsletter, die GesundheitsWetter-App und die Website www.hitzewarnungen.de über bevorstehende gesundheitsgefährdende Witterungsverhältnisse. Mit diesen Informationen können rechtzeitig präventive Maßnahmen in den Einrichtungen ergriffen werden, und auch die Bevölkerung kann reagieren und Maßnahmen zum Selbstschutz ergreifen.

GE-R-2 Bewusstsein der Bevölkerung für gesundheitliche Folgen von Hitzewellen

Die intensive Öffentlichkeitsarbeit hat dazu beigetragen, dass das Bewusstsein für die gesundheitlichen Folgen von Hitzewellen in den letzten Jahren gewachsen ist. Dies kann auch einer der Gründe sein, dass es trotz der häufigeren und intensiveren Hitzeereignisse gerade in den letzten Jahren nicht noch mehr Tote gegeben hat.



Foto: © Maren Winter / stock.adobe.com



Foto: © MiguelAngel / stock.adobe.com

Hitzebelastung nimmt zu

Neben der steigenden Durchschnittstemperatur wird der Klimawandel voraussichtlich auch vermehrt gesundheitlich belastende Hitzeereignisse mit häufigeren, intensiveren und länger andauernden Hitzewellen mit sich bringen. Hohe Temperaturen sind eine Belastung für die Gesundheit. Vor allem ältere Menschen und Personen mit chronischen Erkrankungen wie Herz-Kreislauf- oder Atemwegserkrankungen sind betroffen.

Im Rückblick zeichnet sich seit den 1970er-Jahren bereits ein Trend zur Zunahme von „Heißen Tagen“ (mit einem Tageshöchstwert der Temperatur von 30 °C oder mehr) und von „Tropennächten“ (mit einem Temperaturminimum von 20 °C oder mehr) ab. Tropennächte treten bislang in unseren Breiten im Gegensatz zu den Heißen Tagen noch relativ selten auf. Allerdings kommt es in Jahren mit ausgeprägten Hitzewellen auch regelmäßig zur Ausbildung von Tropennächten. Tropennächte sind von besonderer gesundheitlicher Relevanz, weil in Tropennächten eine nächtliche Erholung insbesondere nach sehr heißen Tagen nur eingeschränkt stattfinden kann.

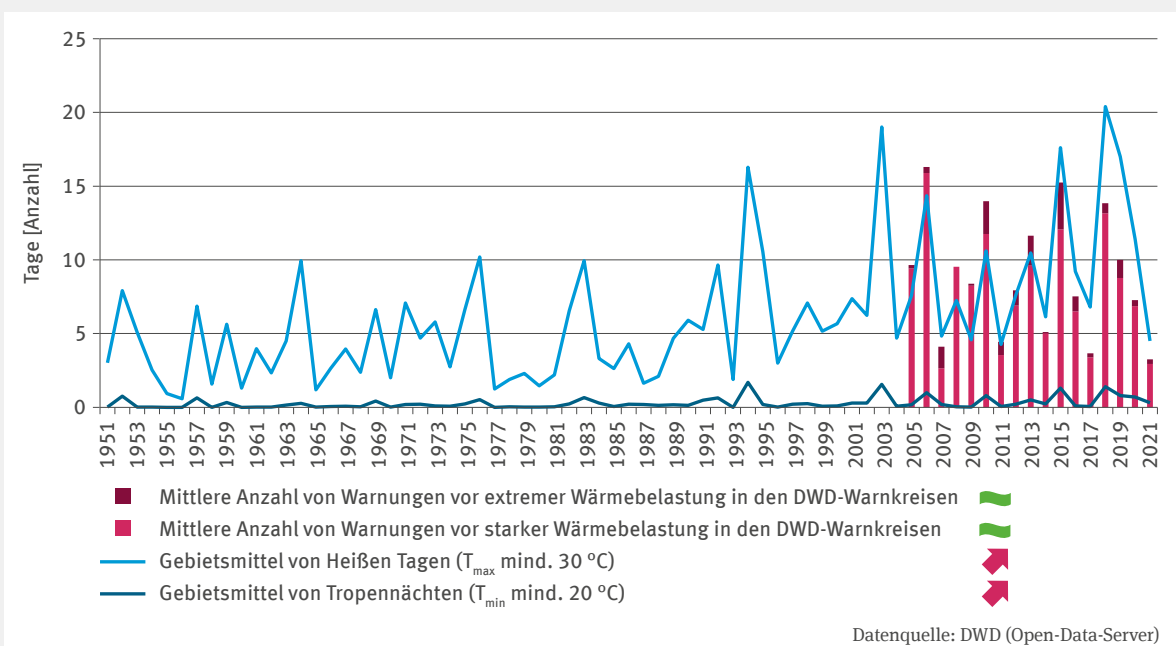
Im Falle der Tropennächte ist bei der Interpretation der Zeitreihe zu berücksichtigen, dass das dargestellte Gebietsmittel über Deutschland die tatsächlichen Belastungen vor allem in den städtischen Bereichen, in denen es hauptsächlich zu Tropennächten kommt, unterschätzt. Im DWD-Messnetz sind die städtischen Messstellen gegenüber den Hintergrundmessstellen in deutlicher Unterzahl. Letztere drücken den Mittelwert für die Tropennächte auf ein niedrigeres Niveau.

Der DWD hat im Jahr 2005 ein Hitzewarnsystem in Betrieb genommen. Die Kriterien für Hitzewarnungen wurden seitdem fortlaufend weiterentwickelt. Aktuell wird die Warnstufe 1 ausgerufen, wenn eine mindestens „starke Wärmebelastung“ von (je nach regionaler Anpassung im Laufe des Sommers) etwa 32 bis 38 °C „Gefühlter Temperatur“ vorhergesagt wird und es nachts nur zu einer unzureichenden Abkühlung in Innenräumen kommt. Warnstufe 2 gilt, wenn der Schwellenwert zur extremen Wärmebelastung von 38 °C „Gefühlter Temperatur“ überschritten wird, auch wenn es nachts in



GE-I-1: Hitzebelastung

Neben der steigenden Jahresmitteltemperatur zeichnet sich insbesondere seit den 1980er-Jahren auch ein Trend zunehmender Hitzeextreme ab. Die Zahl der Heißen Tage und der Tropennächte hat signifikant zugenommen. Bei den Hitzewarnungen, die der DWD seit dem Jahr 2005 ausspricht, gibt es noch keinen klaren Trend. Es gibt aber im deutschlandweiten Mittel kein Jahr ohne Hitzewarnungen.

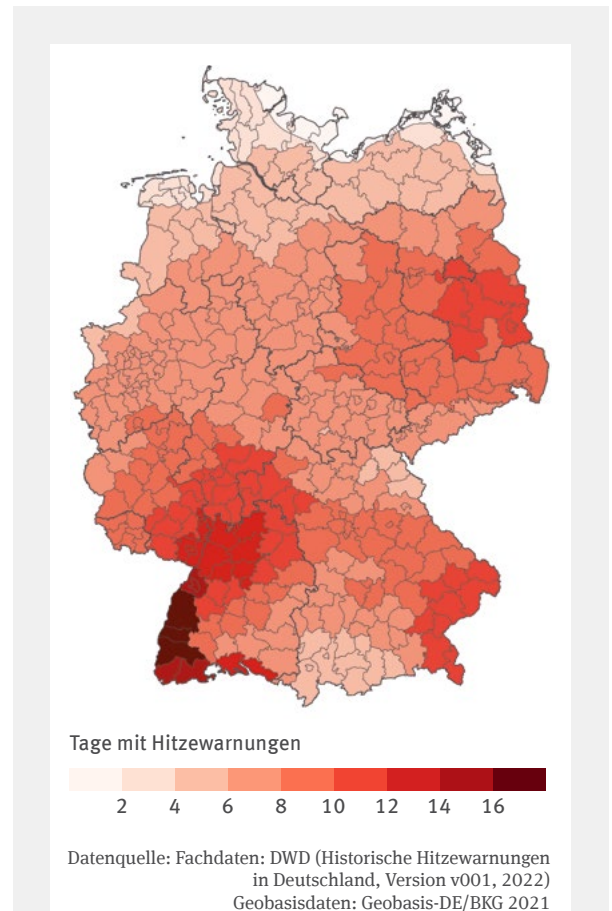


Innenräumen noch ausreichend abkühlt (siehe Indikator GE-R-1, Seite 58).

Seit Bestehen des Hitzewarnsystems schwankte in Abhängigkeit der Witterung die mittlere Anzahl der Hitzewarnungen in den sogenannten Warnkreisen, die in ihrem Zuschnitt den Landkreisen ähnlich sind, von Jahr zu Jahr. Im Gebietsmittel wurden in den Jahren 2006, 2010, 2013, 2015 und 2018 an mehr als zehn Tagen Hitzewarnungen ausgesprochen. Verglichen mit der Zeitreihe der Heißen Tage gibt es sowohl Jahre, in denen die Zahl der Hitzewarntage höher ist als die der Heißen Tage, als auch solche, an denen es sich umgekehrt verhält. Die „Gefühlte Temperatur“, die für Hitzewarnungen relevant ist, wird unter Berücksichtigung des typischen Temperaturempfindens eines Menschen ermittelt. Dabei spielt unter anderem auch die Luftfeuchte eine wesentliche Rolle. Die Heißen Tage basieren hingegen allein auf Daten zur Lufttemperatur. Im Jahr 2018 ging der Sommer mit der bisher höchsten Zahl von „Heißen Tagen“, aber auch mit sehr großer Trockenheit einher. Weil „trockene Hitze“ weniger gesundheitsbelastend ist, kam es im Vergleich zum Jahr 2015 zu einer geringeren Anzahl von Hitzewarntagen. Demgegenüber waren die sommerlichen Hitzewellen 2015 von höherer Feuchtigkeit begleitet: Von Juni bis Mitte Juli und ab Ende Juli kam es aufgrund der damals herrschenden Wetterlagen zur Einströmung subtropischer, feuchter Heißluftmassen aus dem Mittelatlantik und Nordwestafrika nach Mitteleuropa. Von Mitte bis Ende Juli prägte das Azorenhoch das Wetter, es war aber schwül. Diese Situation führte im Jahr 2015 zur bisher höchsten Zahl von Hitzewarnungen vor extremer Hitze.

Die räumlich differenzierte Darstellung der mittleren Anzahl der Hitzewarnungen in den Jahren 2017 bis 2021 macht deutlich, dass es große regionale Unterschiede in der Belastung gibt. Besonders betroffen sind erwartungsgemäß die Warnkreise entlang des Oberrheins vom südlichen Baden-Württemberg bis nach Bingen in Rheinland-Pfalz. Der Oberrheingraben zwischen den Gebirgszügen Schwarzwald und Vogesen wirkt wie ein Wärmespeicher und erhält zudem warmen Zustrom aus dem mediterran geprägten französischen Rhône-Tal. Zudem zeigen nordwestliche Teile von Baden-Württemberg wie der Neckar-Odenwald-Kreis, Heilbronn und Ludwigsburg, die im Bereich des ebenfalls wärmebegünstigten Neckartals liegen, hohe Werte.

Heiße Tage und Tropennächte sowie Hitzewarnungen weisen auf gesundheitlich belastende Witterungssituationen hin. Sie lassen aber keine Rückschlüsse zu, wie viele Menschen tatsächlich von Hitze gesundheitlich betroffen sind (siehe Indikator GE-I-2, Seite 59).



Tage mit Hitzewarnungen in den DWD-Warnkreisen – Mittel der Jahre 2017–2021

Der Südwesten entlang des Oberrheingrabens ist der Hitze-Hotspot Deutschlands. Hier gab es im letzten 5-Jahresmittel an 12 bis über 16 Tagen Hitzewarnungen.

Hitzewellen können tödlich sein

Hitzebelastung führt durch Schwitzen zu einem größeren Flüssigkeits- und Elektrolytverlust des Körpers. Dieser kann zu Dehydrierung (Wassermangel im Körper) führen und unter anderem eine verringerte Blutviskosität nach sich ziehen. Damit steigt das Risiko für Thrombosen und andere Herz-Kreislauf-Erkrankungen. Wenn die Thermoregulation (der Mechanismus des menschlichen Körpers, eine Körpertemperatur von etwa 37 °C konstant aufrecht zu erhalten) eingeschränkt ist, können Störungen im Wasser- und Elektrolythaushalt auftreten, die zu lebensbedrohlichen Beeinträchtigungen des Herz-Kreislauf-Systems führen können. Zu den besonders gefährdeten Personengruppen gehören sehr alte und kranke Menschen, zudem kleine Kinder und isoliert Lebende, die nicht oder nur eingeschränkt für einen ausreichenden Flüssigkeitsausgleich sorgen können. Im Extremfall kann Hitze beziehungsweise Überhitzung zum Tod führen.

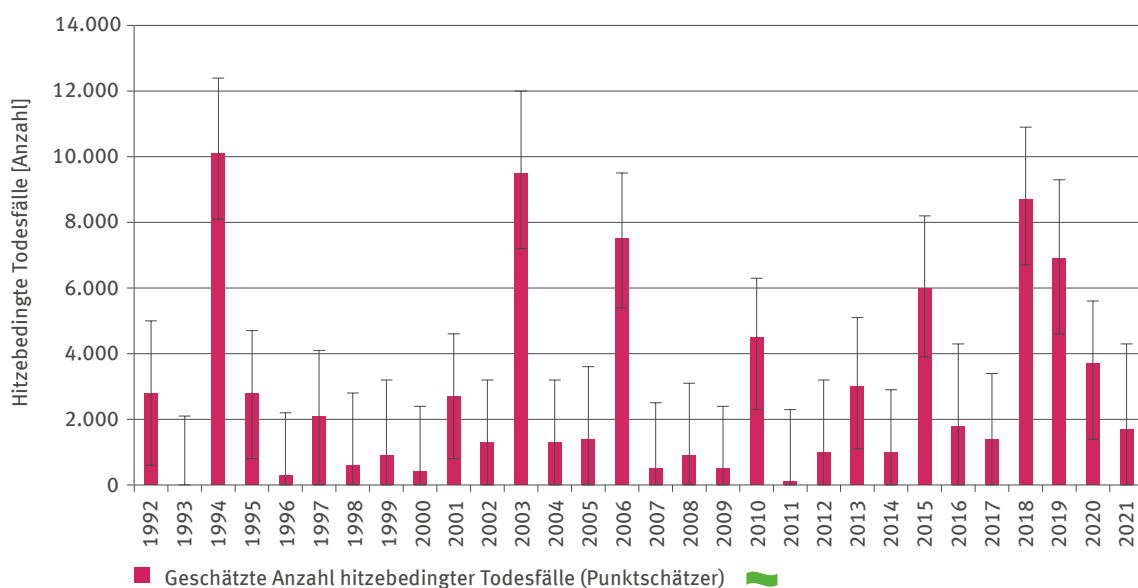
Auch Umgebungsfaktoren haben Einfluss auf die gesundheitliche Gefährdung durch Hitze. Studien belegen, dass in dicht bebauten Stadtgebieten, in denen sich Wärmeinseln ausbilden (siehe Indikator BAU-I-2, Seite 221) und

erhöhte Feinstaubwerte und Ozonkonzentrationen (siehe Indikator GE-I-9, Seite 56) auftreten, die Gesundheitsrisiken erhöht sind.

In Todesfallstatistiken werden Sterbefälle, die mit Hitzeeinflüssen verbunden sind, in der Regel anderen Todesursachen zugeschrieben (beispielsweise Krankheiten des Herz-Kreislauf-Systems). Liegt die Anzahl von Todesfällen über den saisonal üblichen und damit zu erwartenden Werten, ist das ein Hinweis, dass hier außergewöhnliche Ereignisse eine Rolle spielen. Die Zahl der hitzebedingten Todesfälle wird in dem Modell, das dem Indikator zugrunde liegt, als Differenz der modellierten Mortalität und einem hypothetischen Mortalitätsverlauf geschätzt. Letzterer ergäbe sich, wenn die Wochenmitteltemperatur (ermittelt aus allen stündlichen Werten innerhalb einer Woche) nicht über einen festgesetzten Temperaturschwellenwert steigen würde, oberhalb dessen die Temperatur relevant auf die Mortalität einwirkt. Dieser Wert liegt – je nach betrachteter Altersgruppe und Region – in der Nähe von 20 °C. Während in einem Bereich zwischen 10 °C und 20 °C Wochenmitteltemperatur

GE-I-2: Hitzebedingte Todesfälle

Mit den Jahren 2018 bis 2020 folgten erstmalig drei Jahre mit außergewöhnlich vielen hitzebedingten Todesfällen unmittelbar aufeinander. Trotzdem waren die Todeszahlen im Jahr 2018 mit seiner langen und sehr heißen Hitzewelle geringer als im Jahrhundertsommer 2003. Dies könnte ein Effekt präventiver Maßnahmen sein.



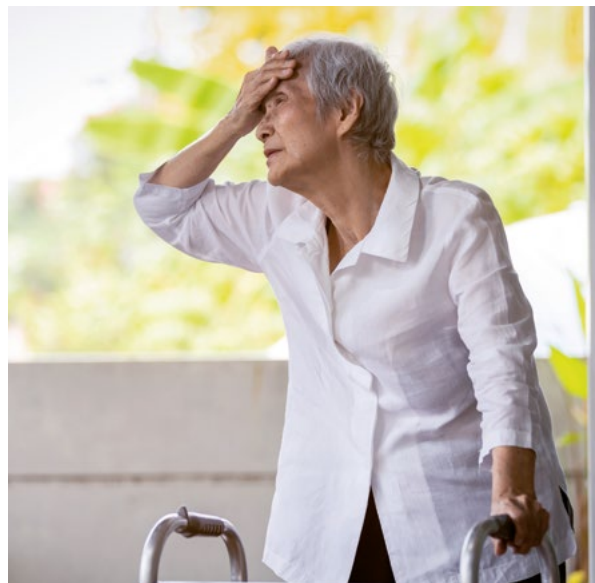
Datenquelle: RKI (eigene Berechnungen)

die Mortalität relativ konstant verläuft, steigt sie bei Wochenmitteltemperaturen über 20 °C deutlich an. In Wochen mit einer Mitteltemperatur über 20 °C gibt es typischerweise mindestens einen Heißen Tag.¹⁴ Das nach dem letzten Monitoringbericht weiterentwickelte Modell berücksichtigt zudem, dass auch bereits vorangegangene heiße Wochen die Mortalität beeinflussen können. Daher werden die mittleren Temperaturen von bis zu drei Vorwochen in die Berechnungen einbezogen. Damit lassen sich verzögerte Effekte von Hitze erfassen, und der beobachtete Verlauf der Mortalität in Deutschland kann deutlich besser nachgebildet werden.

Von hitzebedingten Todesfällen ist in Deutschland die Altersgruppe der über 85-Jährigen am stärksten betroffen. Die Analyse der hitzebedingten Mortalität zeigt, dass es geschlechterspezifische Unterschiede bei der Anzahl hitzebedingter Todesfälle gibt. Dies liegt daran, dass es in der Altersgruppe der Hochbetagten deutlich mehr Frauen als Männer gibt. Die Mortalität ist dagegen in allen Altersgruppen bei Männern etwas höher. Das bedeutet, Männer sterben innerhalb der betrachteten Altersgruppen häufiger an Hitzefolgen. In der Gesamtbilanz entfallen dennoch mehr hitzebedingte Sterbefälle auf Frauen, schlichtweg weil hitzebedingte Todesfälle in der Frauen-starken Altersgruppe der Hochbetagten am häufigsten auftreten.

Die Zeitreihe der hitzebedingten Todesfälle zeigt erwartungsgemäß deutliche Schwankungen zwischen den Jahren. Das liegt daran, dass stärkere oder schwächere Hitzeperioden in den verschiedenen Jahren unterschiedlich häufig und ausgeprägt auftreten. Das Jahr 2018 zeichnete sich in ganz Deutschland durch eine der längsten Hitzeperioden aus, die sich über den gesamten Juli und August erstreckte. Zudem wurden während dieser Hitzeperiode sehr hohe Wochenmitteltemperaturen gemessen¹⁵. 2019 wurden zwar auch sehr hohe Temperaturen gemessen, zwischen den Hitzeperioden gab es aber auch immer wieder Wochen mit niedrigerer Temperatur. Im Jahr 2020 war die ebenfalls vergleichsweise lange Hitzewelle weniger heiß als im Rekordsommer 2018, und 2021 war ein insgesamt deutlich kühleres Jahr.

In den letzten drei Dekaden lässt sich ein leichter Rückgang des Effekts von hohen Temperaturen auf die Mortalität beobachten. Das bedeutet: Trotz der gestiegenen Temperaturen und der extremen Hitzewellen gab es – auch im Sommer 2018 – weniger hitzebedingte Todesfälle als im Sommer 2003. Das liegt vermutlich daran, dass Menschen in Deutschland inzwischen zum Teil besser mit den wiederkehrenden Hitzeperioden umgehen können. Dazu haben sicherlich auch Anpassungsmaßnahmen



Hitze stellt für ältere Menschen und insbesondere für Hochbetagte eine ernst zu nehmende Gesundheitsgefährdung dar. (Foto: © Satjawat / stock.adobe.com)

des öffentlichen Gesundheitswesens beigetragen. Im Jahr 2003 hatte die Hitzewelle Deutschland noch vergleichsweise wenig vorbereitet getroffen. Im Jahr 2018 gab es den Hitzewarndienst (siehe Indikator GE-R-1, Seite 58), und vorsorgende Maßnahmen waren in vielen stationären Pflegeeinrichtungen etabliert.

Trotz aller Anpassungsbemühungen muss konstatiert werden, dass Hitze nach wie vor eine bedeutende Bedrohung für die menschliche Gesundheit in Deutschland darstellt. Allein für die Jahre 2018 bis 2020 wird geschätzt, dass 19.300 Menschen der Hitze zum Opfer gefallen sind. Die potenziellen Hitzeopfer müssen bei präventiven Maßnahmen daher noch stärker in den Fokus rücken, also unter anderem bei der Erstellung kommunaler Hitzeaktionspläne besonders berücksichtigt werden.

Pollenbelastung steigt

Allergien zählen heute zu den am häufigsten auftretenden chronischen Erkrankungen in Deutschland. Bei rund 15 % der Erwachsenen wurde schon einmal in ihrem Leben Heuschnupfen (allergische Rhinitis) und bei 9 % Asthma bronchiale ärztlich festgestellt¹⁶. In der Altersgruppe der Kinder und Jugendlichen erhielten 11 % schon einmal in ihrem Leben die ärztliche Diagnose Heuschnupfen und 6 % die ärztliche Diagnose Asthma¹⁷. Höher noch als die Zahl der Erkrankten ist diejenige sensibilisierter Menschen, was bedeutet, dass nach Allergenkontakt eine höhere Bereitschaft des Körpers besteht, mit Symptomen zu reagieren.

Allergene Pollen sind Hauptauslöser von Heuschnupfen. Das Pollenaufreten wiederum ist stark von der Witterung beziehungsweise dem Klima beeinflusst. Höhere Temperaturen, vor allem verbunden mit Trockenheit, und eine längere Vegetationsperiode begünstigen längere Pollenflugzeiten und höhere Pollenkonzentrationen. Möglicherweise nimmt auch die Allergenität von Pollen mit höheren Temperaturen zu. Es wird auch diskutiert, dass bei zunehmender Häufigkeit und

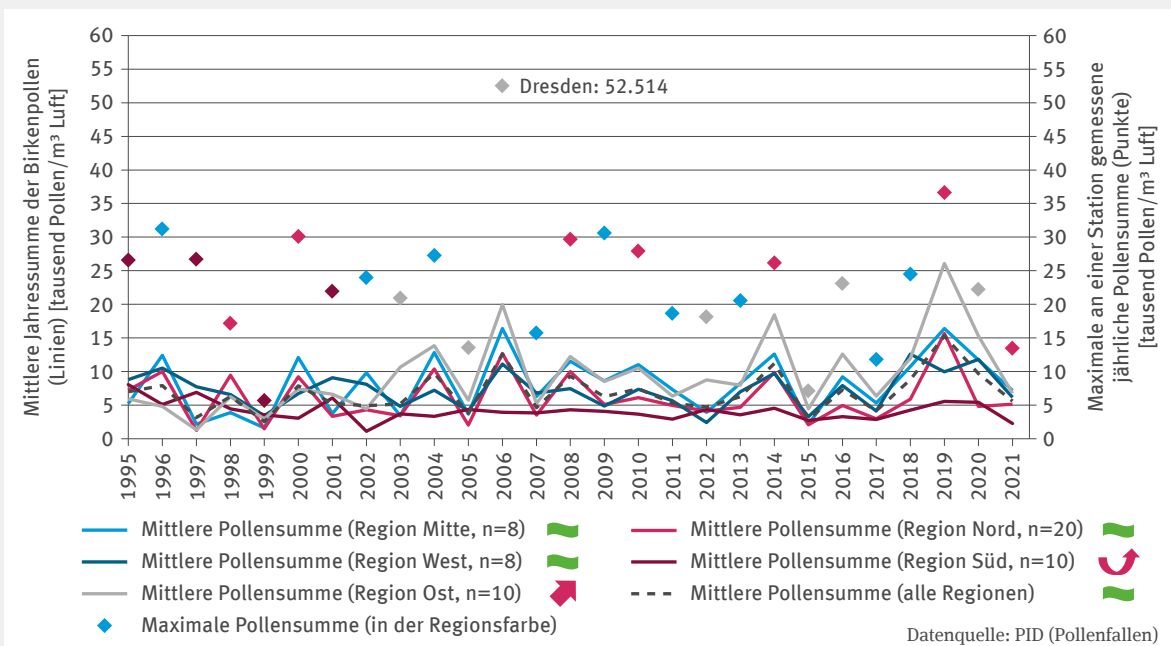
Intensität von Extremwetterereignissen das Phänomen „Gewitterasthma“¹⁸ klinisch bedeutsamer werden könnte. Voraussetzung ist eine hohe Konzentration von Pollen oder Sporen in der Luft. Durch Wetteränderungen wie Niederschlag, Zunahme der Luftfeuchte oder Blitzaktivität können Pollen fragmentiert werden, wodurch kleinere allergene Partikel entstehen, die in tiefere Atemwege gelangen können. Starke Fallwinde transportieren diese Partikel Richtung Boden, wodurch es häufig zu einem sprunghaften Anstieg der Allergenkonzentration in Atemluflhöhe kommt. Dadurch können von Pollenallergien Betroffene besonders schwere Symptome erleiden.

In Deutschland gelten die Pollen von Hasel, Erle, Birke und Esche sowie von Süßgräsern inklusive Roggen, Beifuß und Ambrosie als besonders allergierelevant. Gegen diese acht Pollentypen ist die erwachsene deutsche Bevölkerung am häufigsten sensibilisiert¹⁹. Die Birke führt neben den Gräsern diese „Hit-Liste“ der Sensibilisierungen an. Während der Birkenpollensaison, die meist frühestens Ende März beginnt, können sehr hohe Pollenkonzentrationen auftreten.



GE-I-3: Belastung mit Birkenpollen

Die Birke ist hierzulande neben den Gräsern der bedeutendste Auslöser von Pollenallergien. Vor allem ein warmes und trockenes Frühjahr führt zur Erhöhung der Pollenkonzentration. Die höchste Pollenbelastung wurde zwischen 2006 und 2021 in den östlichen, mittleren und nördlichen Regionen gemessen. In diesen Regionen ist die Birke deutlich verbreiteter als im Süden. Im Osten und Süden stiegen die Pollensummen signifikant an.



Datenquelle: PID (Pollenfallen)

Zwischen dem Auftreten von Birkenpollenbelastungen und dem Klimawandel sind enge Zusammenhänge wissenschaftlich nachgewiesen worden: Bei vermehrter Wärme und Trockenheit im Frühjahr ist die Birkenpollenbelastung erhöht. Dies wird auch anhand der Pollenmessungen der Stiftung Deutscher Polleninformationsdienst (PID) vor allem in den Jahren 2019 und 2020 deutlich. Die Frühjahrsmitteltemperaturen lagen 2019 um 1,3 °C und 2020 um 1,5 °C deutlich über dem langjährigen Durchschnitt des Zeitraums 1961–1990. Zugleich blieben die Niederschläge vor allem im Nordosten Deutschlands unterdurchschnittlich – ausbleibender Niederschlag führt dazu, dass sich Pollen gut verbreiten können und lange in der Außenluft verweilen. In der Uckermark und in Vorpommern kamen im Jahr 2019 örtlich weniger als 70 Liter Regen pro Quadratmeter zustande. Das Frühjahr 2020 erreichte deutschlandweit nur gut 50% seines vieljährigen Durchschnitts und war eines der sechs niederschlagsärmsten seit Beginn der Wetteraufzeichnungen 1881. Auch in 2020 verzeichnete der Osten die stärksten Niederschlagsdefizite²⁰.

Der Indikator beruht auf Daten von 56 bundesweit verteilten Pollenfallen im PID-Messnetz. Nicht alle Stationen liefern in allen Jahren Daten, da die regelmäßige Betreuung der Pollenfallen nicht immer gesichert werden kann. Es gibt gelegentlich auch Standorte, die nach Jahren der Messung aufgegeben werden, und wiederum andere, die neu eingerichtet werden. Aufgrund dieser Dynamik im Messnetz muss für jedes Jahr der Mittelwert aus allen jeweils verfügbaren Messstandorten gebildet werden.

Über ganz Deutschland hinweg zeigt die Zeitreihe bisher keinen statistisch signifikanten Trend. Die Entwicklungen sind allerdings regional differenziert zu betrachten. Die Birkenpollenbelastung ist erwartungsgemäß in den Regionen besonders hoch, in denen die Birke stark verbreitet ist. Die Sandbirke oder auch Hängebirke, die in Europa die bedeutendste baumförmige Birkenart ist, hat aufgrund ihrer Genügsamkeit hinsichtlich Wasser- und Nährstoffbedarf und ihrer Robustheit auch gegen Witterungsextreme eine außerordentlich weite Verbreitung, die von Skandinavien bis nach Süditalien sowie von Frankreich bis nach Russland reicht. Dennoch ist die Birke vor allem ein Baum des Nordens, der zusammen mit Fichte, Kiefer und Aspe in den nördlicheren Regionen auch Schlusswaldgesellschaften bilden kann. In Süddeutschland hingegen ist die Sandbirke Pionierbaumart, die aufgrund ihrer geringen Lebensdauer und ihrer rasch nachlassenden Wuchskraft bei natürlicher Waldentwicklung zunehmend von anderen Baumarten überwachsen wird und aus den Beständen ausfällt. Unabhängig davon kann es auch im Süden und Westen im Zusammenhang mit Birkenvorkommen lokal zu hohen



Die Birke ist in Deutschland einer der Hauptauslöser von Pollenallergien. (Foto: © lochstamper / stock.adobe.com)

Belastungen kommen. So wechseln die Stationen mit der gemessenen Höchstkonzentration jährlich von Region zu Region. Spezifische Untersuchungen zur Entwicklung der Birkenpollensaison am Beispiel von Pollenmessungen in München ergaben, dass die Tage mit besonders hohen Konzentrationen (von über 100 Pollen/m³) inzwischen häufiger sind. Dies ist klinisch von Bedeutung.²¹

Im mittleren, östlichen und nördlichen Deutschland wird die Konzentration an Birkenpollen bei weiter steigenden Temperaturen zunächst zunehmen. Im Osten Deutschlands zeigt die Zeitreihe schon heute einen signifikant steigenden Trend. Modellrechnungen für Bayern zufolge werden in der jetzigen Hauptverbreitungsregion allerdings in 40 Jahren deutlich weniger Birkenpollen die von Heuschnupfen Geplagten belasten, weil es der Sandbirke dann voraussichtlich zu warm und zu trocken wird. Ihr Photosyntheseoptimum liegt unter 20 °C. In höher gelegenen Regionen hingegen, in denen die Temperaturen dann milder sein werden, könnte es zu einer Ausbreitung der Birke und in der Folge auch zu einem Anstieg der Pollenbelastung kommen.²²

Die Ausbreitung der Birke wird zudem in naher Zukunft auch im Zusammenhang mit zunehmenden Kalamitäten im Wald zu sehen sein. Wo Waldbestände wegen Sturm, Hitze und Schaderregerbefall auch großflächig zerstört werden (siehe Indikator FW-I-5, Seite 180), finden Pionierbaumarten wie die Birke neue Wuchsstandorte und könnten – zumindest vorübergehend – die Waldbilder stärker prägen.

Eingeschleppte Ambrosie ist hoch allergen

Neben den heimischen allergenen Pflanzen werden mit wärmeren Witterungsbedingungen auch Pflanzenarten als Allergenproduzenten relevant, die bisher in Deutschland nicht vorkamen oder nur sehr vereinzelt Vorkommen hatten. Ein außerordentlich hohes allergenes Potenzial hat zum Beispiel das ursprünglich aus Nordamerika stammende Beifußblättrige Traubenkraut, kurz Ambrosie (*Ambrosia artemisiifolia*). Die Ambrosie kam in Deutschland lange nur relativ selten und unbeständig vor. Erst seit Anfang der 1990er-Jahre nehmen die Bestände zu. Heute kommt die Ambrosie in allen Bundesländern vor und bildet in Ostdeutschland örtlich auch schon größere, etablierte Bestände mit vielen tausend Pflanzen. Die Pflanze wächst in Gärten, auf nicht genutzten oder brachgefallenen Flächen, Äckern und Schnittblumenfeldern, landwirtschaftlichen Stilllegungsflächen, Baustellen sowie an Straßen- und Wegrändern. Als Ursache der Ausbreitung könnten Verunreinigungen von Wildacker- oder Blumensaaten und von Vogelfutter mit Ambrosiasamen eine Rolle spielen, außerdem der Transport von Erde aus befallenen Gebieten im Zuge von Baumaßnahmen oder das Anhaften an landwirtschaftlichen Maschinen oder an

Mähgeräten, die an Straßenrändern eingesetzt werden. Um einer Ausbreitung unter anderem über Vogelfutter entgegenzuwirken, wurden im Jahr 2011 Höchstgehalte für unerwünschte Ambrosiasamen in Futtermitteln in einer EU-Verordnung festgesetzt.

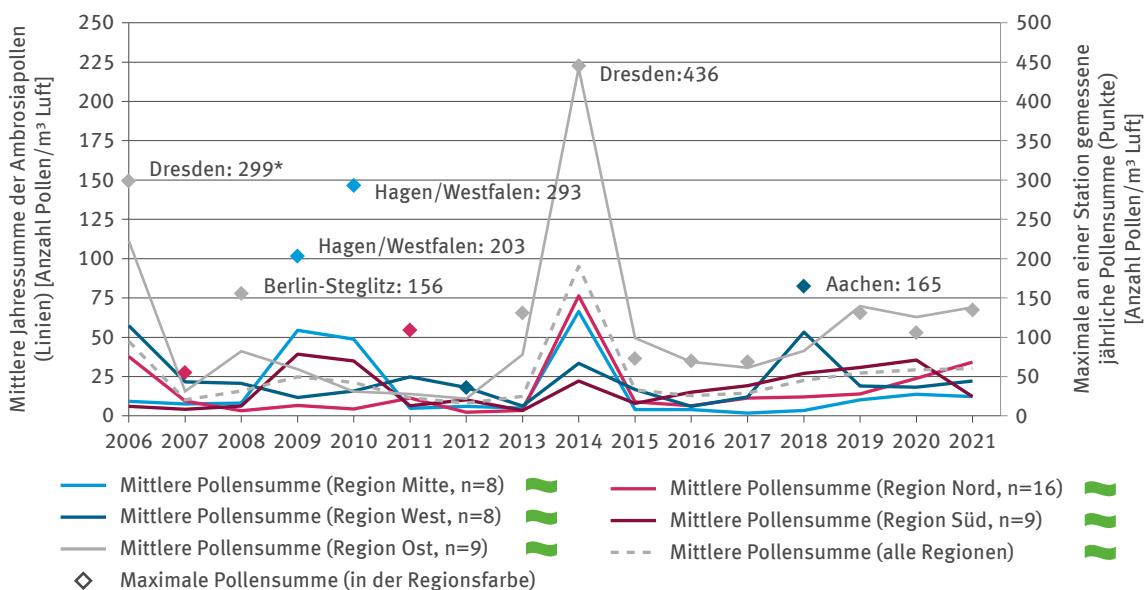
Dass sich die Ambrosie in Deutschland ausbreiten und etablieren kann, wird aber in relevantem Umfang auch mit dem Klimawandel in Verbindung gebracht, denn die einjährige Pflanze erreicht die zur Verbreitung erforderliche Samenreife nur in warmen oder gemäßigten Klimaten mit milden Herbstmonaten. Für andere wärmeliebende Pflanzen mit hoch allergenen Pollen wie das Glaskraut (*Parietaria officinalis*, *P. judaica*) oder den Olivenbaum (*Olea europaea*) gibt es ähnliche Befürchtungen hinsichtlich Ausbreitung und Etablierung.

Die Pollen der Ambrosie können bei sensibilisierten Personen bereits bei geringen Pollenkonzentrationen allergische Symptome und bei bis zu einem Viertel der betroffenen Allergiker*innen Asthma auslösen²³. Ferner wird von seltenen Hautreaktionen nach Hautkontakt mit



GE-I-4: Belastung mit Ambrosiapollen

Die Ausbreitung und Etablierung der Ambrosie wird vermutlich durch den Klimawandel begünstigt. Noch zeigen die Ergebnisse der Pollenmessungen keine signifikanten Trends. Es gab aber Belastungsschwerpunkte, an denen – bedingt durch Ferntransporte und / oder lokale Pflanzenbestände – die Pollenkonzentrationen deutlich höher waren als der entsprechende regionale Mittelwert. Die jeweils maximalen Jahressummen traten meist in der Region Ost auf.



* Standorte mit maximaler Jahrespollensumme ≥ 150

Datenquelle: PID (Pollenfallen)

dem Blütenstand oder anderen Pflanzenbestandteilen berichtet. Hinzu kommt, dass sich mit der Etablierung der Ambrosie die Pollenflugzeit bis in den Oktober hinein verlängert²⁴, da die Pflanze zu den Spätblühern zählt. Durch die zeitliche Ausweitung der Pollenflugzeit verlängert sich auch die Beschwerdezeit. Dies bedeutet eine zusätzliche Belastung für Menschen, die unter Allergien leiden.

Ambrosiapollen werden – wie Pollen von heimischen Pflanzen – in Deutschland zu einem Großteil mit Pollenfallen im PID-Messnetz erfasst. Die hier dargestellte Zeitreihe beruht auf Erhebungen an bundesweit 50 PID-Stationen. Wie im Falle der Birkenpollen (siehe Indikator GE-I-4, Seite 46) liefern nicht alle Stationen in allen Jahren Daten, sodass die Mittelwerte aus einer sich von Jahr zu Jahr ändernden Anzahl von Pollenfallen gebildet werden.

Die Pollenkonzentrationen der Ambrosie in Deutschland sind derzeit gering und liegen im Mittel aller bisherigen Messungen bei rund 25 Pollen pro Kubikmeter Luft pro Jahr. Zum Vergleich: Bei der Birke sind es 6.800 Pollen pro Kubikmeter Luft pro Jahr. In einzelnen Jahren können allerdings an einzelnen Stationen Werte auftreten, die bis um das 20-Fache höher liegen als der genannte Mittelwert. Die Stationen, die in den einzelnen Jahren Spitzenwerte liefern, liegen in deutlicher Überzahl im östlichen Teil Deutschlands. Für diese hohen Pollenkonzentrationen sind in relevantem Umfang auch Ferntransporte aus stärker belasteten Nachbarländern verantwortlich. Der bisherige Spitzenwert von 436 Pollen pro Kubikmeter Luft und Jahr wurde im Jahr 2014 in Dresden gemessen.

Statistisch signifikante Trends gibt es bisher nicht. Dies gilt für alle Regionen. Die regionalen Mittelwerte liegen im Osten aufgrund der oben beschriebenen Beeinflussung durch östliche Nachbarländer in der Regel über denen der anderen Regionen. Eine Sonderrolle nimmt die Region um Dreßkau im südöstlichen Brandenburg ein: Sie stellt einen regionalen Ambrosia-Hot-Spot dar, der durch die hier gezeigten Pollendaten nicht abgebildet wird. Die deutschlandweit hohen Konzentrationen von Ambrosia-Pollen im Jahr 2014 wurden verursacht durch einen langanhaltenden Fernflug von Pollen aus der ungarischen Tiefebene während der Blütezeit der Ambrosie, der durch eine Wetterlage mit südöstlicher Strömung verursacht war. Ein solcher Süd-Ost-Wind gehört zu den eher seltenen Witterungsphänomenen. In Ungarn und umgebenden Ländern, insbesondere der Slowakei, Rumänien, Serbien, Bosnien-Herzegowina und Kroatien, ist die Ambrosie besonders stark verbreitet. Von diesen



Die Ambrosie ist wärmeliebend und hatte bisher nur sehr vereinzelte Vorkommen in Deutschland. Ihre Pollen sind hochallergen. (Foto: © Aleksandr Lesik / stock.adobe.com)

Ländern können die sogenannten „Fernflüge“ der Pollen ausgehen.

Die gemessene Pollensumme erlaubt keine gesicherten Rückschlüsse auf das Risiko der Bevölkerung, tatsächlich mit den Pollen in Kontakt zu kommen oder eine Sensibilisierung oder allergische Reaktionen zu entwickeln. Dennoch sollte aus Gründen der Vorsorge unter Beachtung der Verhältnismäßigkeit alles getan werden, um die weitere Ausbreitung von Ambrosia-Arten in Deutschland zu unterbinden. Für die direkte Bekämpfung von Ambrosia und die Eliminierung von Ambrosia-Beständen stehen vor allem mechanische Möglichkeiten zur Verfügung. Am effizientesten ist das systematische Ausreißen der einjährigen Pflanzen im Juni, da sie sich in dieser Zeit gut erkennen und von anderen Arten unterscheiden lassen und noch keine Pollen freisetzen. Ist eine solche manuelle Bekämpfung nicht möglich, muss zwischen Juni und September in regelmäßigen Abständen mindestens viermal gemäht werden, um die Pflanzen so zu schwächen, dass sie nicht mehr austreiben können.

Gefährliche Tigermücken breiten sich aus

Weltweit sind wir mit neuen und wieder auftretenden Infektionserregern konfrontiert, die oft zwischen Tier und Mensch übertragen werden können und sich aufgrund der stetig wachsenden globalen Mobilität rasch verbreiten. Sowohl langfristige Klimaänderungen (Temperatur, Niederschlag) als auch die Zunahme von extremen Wetterlagen sind von Bedeutung. Bei vektorvermittelten Infektionskrankheiten wie West-Nil-Fieber, Malaria, Dengue, Leishmaniose, Zika, Chikungunya oder Frühsommer-Meningoenzephalitis (FSME) ist zu befürchten, dass in Deutschland unter veränderten Klimabedingungen sowohl für die tierischen Überträger wie Stechmücken oder Zecken als auch für die Erreger günstigere Bedingungen herrschen und infolge dessen auch das Infektionsrisiko für Mensch und Tier steigt. So ist es in den letzten Jahren in Gebieten Mittelostdeutschlands bereits zu autochthonen West-Nil-Virus-Infektionen beim Menschen gekommen, die durch heimische Stechmücken (*Culex*) übertragen wurden.

Die Mechanismen von Aufnahme, Entwicklung und Vermehrung von Krankheitserregern in Vektoren und die Übertragung auf Tiere und Menschen sind in vielen Fällen

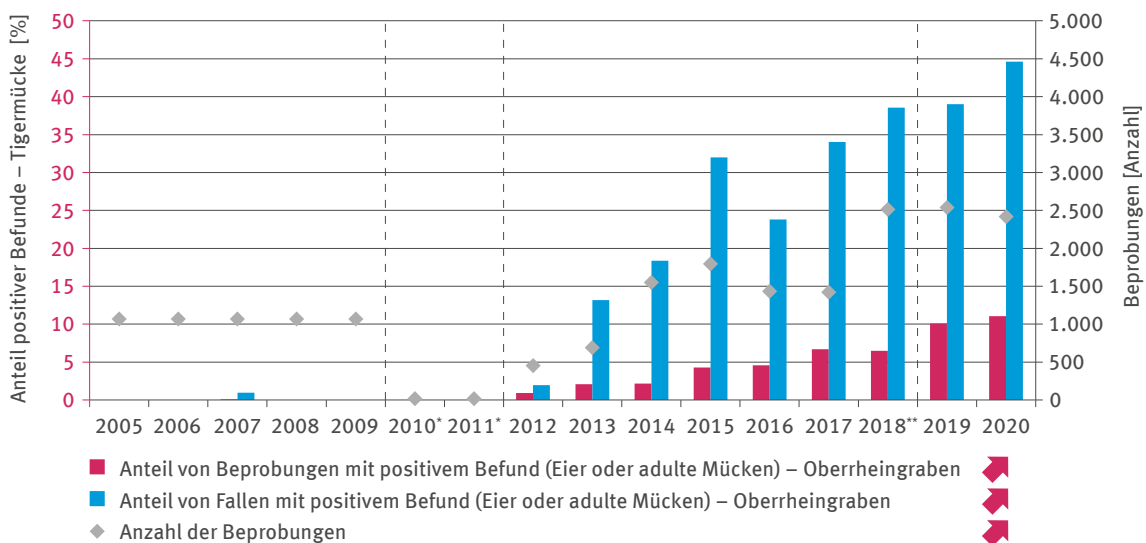
noch nicht vollständig aufgeklärt. Veränderte klimatische Verhältnisse können an mehreren Stellen dieses Zusammenwirkens von Krankheitserregern und Vektoren Einfluss auf die Entwicklungen nehmen. Sie können unter anderem Änderungen in der Vermehrungsrate der tierischen Vektororganismen, ihrer Lebensdauer, ihrem Verhalten oder ihrer Populationsdichte zur Folge haben²⁵. Unter anderem können kurze Winter dazu führen, dass die Tiere längere Zeit im Jahr aktiv sind und mehr Generationen ausbilden. Auch die Effizienz bei der Übertragung von Krankheitserregern kann beeinflusst sein. Es kann dazu kommen, dass sich ursprünglich in Deutschland nicht heimische Vektoren, die aus warmen Ländern eingeschleppt werden, hier etablieren und verbreiten.

Die Untersuchung der Zusammenhänge zwischen Klimawandel auf der einen und Vektor- und Erregerausbreitung auf der anderen Seite ist noch im Aufbau. Während die Erfassung der meisten mit Vektoren assoziierten Infektionskrankheiten aufgrund der Regelungen des Infektionsschutzgesetzes (unter anderem Meldepflichten) bereits systematisch und in der Regel auch bundesweit



GE-I-5: Überträger von Krankheitserregern – Fallstudie

Ein wärmeres Klima kann die Etablierung und Ausbreitung der Asiatischen Tigermücke in Deutschland begünstigen. Damit steigt das Risiko, dass die Erreger gefährlicher Viruserkrankungen, die durch infizierte Personen nach Deutschland eingeschleppt werden, beim Stich von den Mücken aufgenommen und verbreitet werden. Die Funde von Eiern und Mücken in Fallen im Oberrheingebiet nahmen in den letzten 15 Jahren deutlich zu.



* Für die Jahre 2010 und 2011 stehen keine Daten zur Verfügung, ab 2012 Fortsetzung der Erhebungen mit anderen Fallentypen

** Ab 2018 verändertes Monitoringprogramm mit teilweise anderen Fallenstandorten

Datenquelle: KABS (Mückenmonitoring)

stattfindet, mangelt es nach wie vor an systematisch und kontinuierlich erhobenen Daten zum Vorkommen und zur Verbreitung von Vektoren und deren Durchseuchung mit den Erregern. Aufgrund dessen beschränkt sich die Indikator-Darstellung nur auf einen spezifischen Vektor, die Asiatische Tigermücke (*Aedes albopictus*), eine ursprünglich aus Südostasien stammende Stechmückenart. Sie gilt als hocheffizienter Vektor, der mehr als 20 unterschiedliche Viren übertragen kann.

Die Tigermücke ist in Südeuropa und in Teilen Mitteleuropas inzwischen in einer aus den USA stammenden, bereits an nichttropische Verhältnisse angepassten Form weit verbreitet. In Deutschland werden seit einigen Jahren regelmäßig und vermehrt Eier, Larven und erwachsene Tiere gefunden. Der Eintrag erfolgt nach derzeitigem Kenntnisstand vor allem über den Kraftverkehr aus dem Süden (beispielsweise aus Italien). Dort, wo die Tigermücke günstige Bedingungen vorfindet, kann sie sich etablieren, und diese Bestände können dann auch Quelle für eine weitere passive (anthropogene) Verschleppung sein. Begünstigt wird die Ansiedlung der Tigermücke, wenn sie in unmittelbarer Nähe ihrer Freisetzungsstelle genügend Brutstätten, Blutwirte und Rückzugszonen findet, wie in Kleingartenanlagen und Siedlungsbereichen mit hohem Gartenanteil.

Für das Chikungunya-Virus konnte bereits gezeigt werden, dass eine Übertragung durch *Aedes albopictus* auch in Deutschland weniger durch die Außentemperaturen als durch das noch nicht ausreichende Auftreten der Stechmücken begrenzt wird²⁶. Für das Zika-Virus zeigen Laborversuche, dass die Vektorkompetenz von *Aedes albopictus* bei Temperaturen von 27 °C gegenüber Temperaturen von 18 °C deutlich erhöht ist²⁷. Mit der Etablierung dieser Stechmücken sind also erste Voraussetzungen geschaffen, dass sich der Erreger lokal auch hierzulande weiterverbreitet, sofern er durch infizierte Personen eingeschleppt wird.

Die Oberrheinebene ist innerhalb Deutschlands eine wärmebegünstigte Region. Sie gilt (über den Kraftfahrzeugverkehr) als eine wichtige Eintrittspforte wärmeliebender Arten aus den Nachbarländern, unter anderem der Schweiz und Italien, nach Deutschland. Seit dem Jahr 2005 wurde das Auftreten der Tigermücke im Oberrheingebiet erfasst, 2007 gab es einen ersten Nachweis. Damals wurden 105 Fallen untersucht und in einer von über tausend Beprobungen fünf Eier der Tigermücke nachgewiesen. Nach einer Unterbrechung des Monitorings in den Jahren 2010 und 2011 und der Aufstellung neuer Fallentypen kam es im Jahr 2012 erneut zu positiven Befunden, es wurden insgesamt acht Tiere gefangen, damit war 1 % aller Fallenbeprobungen positiv. Ab 2012 wurde die Anzahl der Beprobungen ausgeweitet, und ab 2014 wurden jährlich



Das Risiko, dass Stechmücken in Deutschland gefährliche Viren übertragen, ist zwar noch gering. Dennoch sind Monitoring und lokale Bekämpfung wichtig. (Foto: © noppahat / stock.adobe.com)

etwa 1.500 Beprobungen im Oberrheingebiet durchgeführt. Im Jahr 2013 ergaben bereits 13 % aller Fallen und etwas über 2 % aller Beprobungen Nachweise von Eiern oder ausgewachsenen Mücken. In den Folgejahren stieg die Zahl positiver Befunde weiter an. Im Jahr 2014 konnte bei rund 18 %, 2017 bei rund 34 % und 2020 bei bereits 44 % der Fallen an den Autobahnen A 5 und A 6 ein *Aedes albopictus*-Nachweis geführt werden. Ende 2021 gab es bereits in 14 Landkreisen und kreisfreien Städten entlang des Rheins sowie im bayerischen Fürth und im thüringischen Jena etablierte Populationen²⁸. Das bedeutet, dass die Mücken erfolgreich überwintern und durch Bekämpfungsmaßnahmen nur noch kontrolliert, aber womöglich nicht mehr eliminiert werden können. Die starke Verbreitung entlang des Oberrheins führt dazu, dass die Stechmückenbekämpfung, die hier von der Aktionsgemeinschaft zur Bekämpfung der Schnakenplage (KABS) in ihren Mitgliedsgemeinden durchgeführt wird, zeitweise an ihre Kapazitätsgrenzen stößt. Das gilt vor allem in hochwasserreichen Jahren wie 2021.

Seit 2021 stehen für das Monitoring am Oberrhein keine Mittel mehr zur Verfügung. Das ZALF und das FLI erheben zwar Daten zur Stechmückenverbreitung über den Mückenatlas (siehe Indikator GE-R-4, Seite 62) und geographisch wechselnde Erhebungskampagnen mit Fallen an unterschiedlichen Standorten. Die Erhebungen erfolgen aber für den Aufbau einer Zeitreihe noch nicht ausreichend standardisiert.

Cyanobakterien – Beeinträchtigung der Badegewässer

Wenn in Zukunft die Temperaturen im Sommer ansteigen, wird das Bedürfnis der Menschen nach einem kühlen Bad in Seen und Flüssen sowie im Meer zunehmen. Gleichzeitig kann der Klimawandel aber die Qualität von Badegewässern nachteilig beeinflussen. Ein im Zusammenhang mit dem Klimawandel viel diskutiertes Gesundheitsrisiko ist die Belastung von Badegewässern mit Cyanobakterien, landläufig auch als Blaualgen bezeichnet.

Erhöhte Konzentrationen an Pflanzennährstoffen, vor allem an Gesamtphosphor, in stehenden oder auch langsam fließenden Gewässern sind die Hauptursache für Massenentwicklungen von Cyanobakterien, den sogenannten „Algenblüten“. In noch mäßig mit Nährstoffen belasteten Gewässern müssen Cyanobakterien sowohl mit höheren Wasserpflanzen als auch mit anderem Phytoplankton um die verfügbaren Nährstoffe konkurrieren und kommen dadurch selten zur Dominanz. Zudem werden manche Cyanobakterien durch eine stabile thermische Schichtung des Gewässers, die vor allem bei hohen Temperaturen und stabilen Wetterlagen entsteht, begünstigt. Eine stabile Schichtung bedingt auch, dass manche Cyanobakterien an

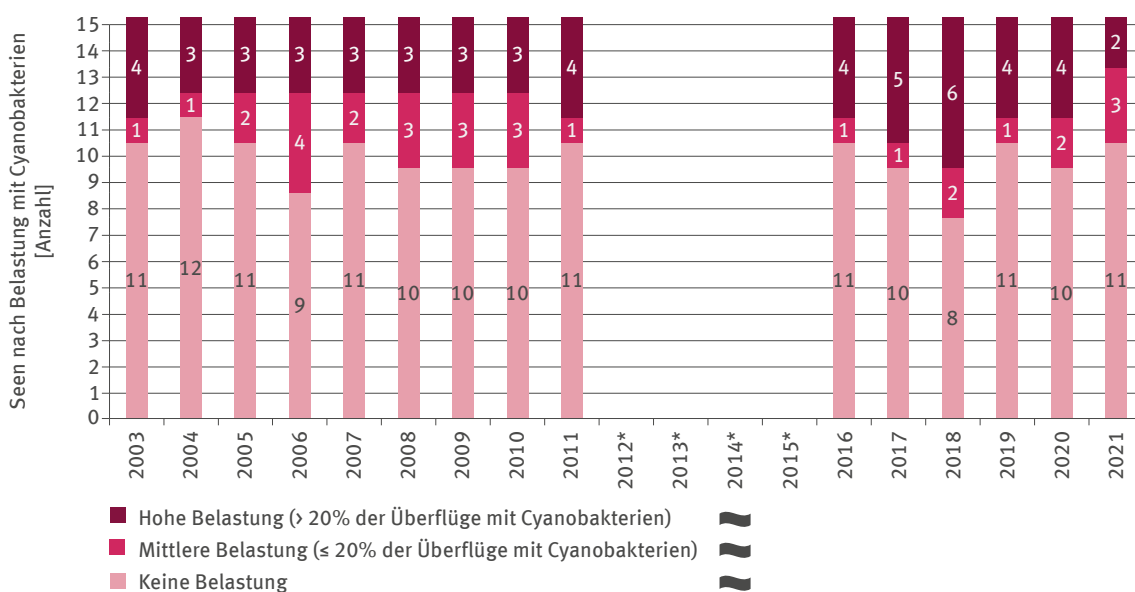
der Oberfläche aufräumen und es lokal zu einer weiteren Anhäufung von Cyanobakterien kommen kann. Aufgrund dieser Zusammenhänge wird der Klimawandel als eine der Ursachen für erhöhte gesundheitliche Risiken durch Cyanobakterien diskutiert.

Bei der Aufnahme größerer Mengen von Cyanotoxinen, den toxischen Inhaltsstoffen der Cyanobakterien (Nervengifte und Lebertoxine), kann es beim Baden oder bei Badeunfällen („beinahe Ertrinken“) zu schwerwiegenden Schädigungen vor allem an Leber, Nieren und Nerven kommen. Besonders gefährdet sind Kleinkinder und Kinder im Grundschulalter, die beim Spielen im Flachwasserbereich unbeabsichtigt auch größere Wassermengen schlucken können. Bei unspezifischen Symptomen wie Haut- und Schleimhautreizungen, allergischen Reaktionen oder Magen-Darm- und Atemwegserkrankungen, die Beobachtungen zufolge durch Baden in stark blaualgenhaltigem Wasser vermehrt auftreten, ist es hingegen wahrscheinlicher, dass diese durch andere pathogene Bakterien oder Substanzen verursacht worden sind. Cyanobakterien werden im Rahmen der Badegewässerüberwachung und



GE-I-6: Cyanobakterienbelastung von Badegewässern

Witterungsabhängig kann es an Badegewässern in der Badesaison zu gesundheitlichen Risiken durch erhöhte Konzentrationen von Cyanobakterien kommen. Satellitenbild-gestützte Auswertungen zu 16 über unterschiedliche Naturräume verteilte Seen machen deutlich, dass sich eindeutige Trends in der noch kurzen und lückenhaften Zeitreihe nicht abzeichnen. In sehr warmen Sommern kann jedoch der Anteil stark belasteter Seen überdurchschnittlich hoch sein.



* keine geeigneten Satelliten in Betrieb

Datenquelle: CAU Kiel, Brockmann Consult GmbH (Auswertung von Satellitendaten)

der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) an Gewässern erfasst, jedoch nicht immer quantitativ oder in ausreichender Frequenz. Zudem kann die Cyanobakterienblüte innerhalb eines Sees sehr unterschiedlich ausgeprägt sein, denn die Cyanobakterien können verdriften oder sich im Tagesverlauf auch in der Wassersäule auf und ab bewegen. So hängt es von vielen Faktoren ab, ob Cyanobakterienvorkommen über (in der Regel monatliche) Messungen vor Ort tatsächlich erfasst werden. Methoden der Fernerkundung sind daher für die Erfassung von Cyanobakterienblüten geeigneter. Es gibt Satelliten, die die Reflexion des in Cyanobakterien für die Photosynthese verantwortlichen Pigments Phycocyanin messen können. Damit lassen sich auch die unterhalb der Wasseroberfläche driftenden Cyanobakterien detektieren und bei wolkenlosem Himmel auch hochfrequent Daten (in einem Turnus von ein bis drei Tagen je nach Gewässergröße) hierzu bereitstellen. Die entsprechenden Auswertungen der Satellitendaten lassen sich mit einzelnen vor Ort durchgeführten Erhebungen validieren.

Für die Jahre 2003 bis 2011 sowie ab 2016 standen geeignete Satelliten zur Verfügung. In den Jahren dazwischen waren hingegen keine Satelliten in Betrieb, die über die erforderlichen sensorischen Eigenschaften verfügten. Dem Indikator liegen die Daten zu vier Seen im Bereich der Alpen und des Alpenvorlands, drei Seen in der zentralen Mittelgebirgsregion und zu acht Seen im Norddeutschen Tiefland zugrunde. Der Bodensee wurde doppelt erfasst (Untersee, Obersee). Es wird an einer Ausweitung dieser Seenauswahl gearbeitet. Die Überflüge in den relevanten Monaten zwischen Juli und September wurden auf das Vorkommen von Cyanobakterien hin ausgewertet. Als Bedingung für ein solches Vorkommen wurde festgelegt, dass in mindestens 30 % der korrekt erfassten Pixel (Rasterzellen) positive Cyanomarker (Phycocyanin) auftreten. Wenn bei höchstens 20 % aller validen Überflüge Cyanobakterienvorkommen erfasst werden, wird von einer mittleren, bei über 20 % aller validen Überflüge von einer hohen Belastung im jeweiligen Jahr ausgegangen.

Aus der bisherigen Zeitreihe ist kein eindeutiger Trend ersichtlich. Aufgrund der vierjährigen Datenlücke ist die Trendanalyse allerdings nur bedingt aussagefähig. Schwankungen der Cyanobakterienbelastung zwischen den Jahren lassen sich unter anderem mit den Witterungsbedingungen und den damit in Zusammenhang stehenden Schichtungsverhältnissen in den Seen begründen. Wenn sich die Schichtung aufgrund höherer Frühjahrstemperaturen früher im Jahr einstellt, kann dies dazu führen, dass Cyanobakterien auch früher im Sommer höhere Biomasse-Maxima ausbilden (siehe Indikator WW-I-9, Seite 86). Viele Arten unter den Cyanobakterien wachsen



Es wird davon abgeraten, in von Cyanobakterien belastetem Wasser zu Baden. (Foto: © mivod / stock.adobe.com)

im Vergleich zu anderen Phytoplanktonarten langsam und profitieren daher besonders stark von länger andauernden hohen Wassertemperaturen. Allerdings sind warme Jahre nicht zwingend mit stabilen Schichtungen verbunden. So war im Hitzesommer 2003 die sommerliche Schichtung deutlich weniger stabil als in 2006, einem Jahr, in dem Mai, Juni, Juli und der gesamte Herbst überdurchschnittlich warm waren und sich extrem stabile Schichtungen ausbildeten, die die Entwicklung der Cyanobakterien forciert haben. Das Jahr 2018 tritt in der Zeitreihe ebenfalls deutlich hervor. Anfang April schaltete das Wetter innerhalb weniger Tage von Winter auf Sommer um und führte zu einer raschen Erwärmung der Wassertemperaturen. Auch Mai und Juni blieben warm, und im Juli und August folgte die bis dahin längste und heftigste Hitzeperiode. Diese Bedingungen waren für die Entwicklung der Cyanobakterien außerordentlich günstig und hatten zur Folge, dass in der Hälfte der erfassten Seen mittlere und hohe Belastungen aufgetreten sind. Allerdings spielt neben dem Temperaturanstieg auch der Nährstoffstatus der Seen eine sehr entscheidende Rolle. Solange die Nährstoffkonzentration im Gewässer unter 30 µg Gesamtphosphat pro Liter liegt, ist das Cyanobakterienwachstum deutlich limitiert. Phosphor gilt in Gewässern als ein wachstumslimitierender Faktor. Die Bemühungen um eine Reduzierung der Nährstoffeinträge in Seen und eine damit verbundene Minderung der Cyanobakterienbelastung könnten durch längere und stabilere Schichtungen konterkariert werden, sofern die Phosphorkonzentrationen die oben genannte Schwelle nicht unterschreiten.

Vibrionen an der Küste – Gesundheitsrisiko für Badende

Nicht nur Einheimische schätzen die deutsche Küste für ihren hohen Freizeit- und Erholungswert: Die Küstengebiete zählen zu den beliebtesten Regionen für Urlaub und Rehabilitation in Deutschland. Vor allem in den Sommermonaten, wenn die Luft- und Wassertemperaturen ihr Maximum erreichen, kommen viele Gäste und Behandelte zahlreicher Rehabilitationseinrichtungen. Die steigenden Lufttemperaturen infolge des Klimawandels lassen Nord- und Ostsee wärmer werden (siehe Indikator KM-I-1, Seite 100) und machen die Küste so noch attraktiver für Badende (siehe Indikator TOU-I-1, Seite 278).

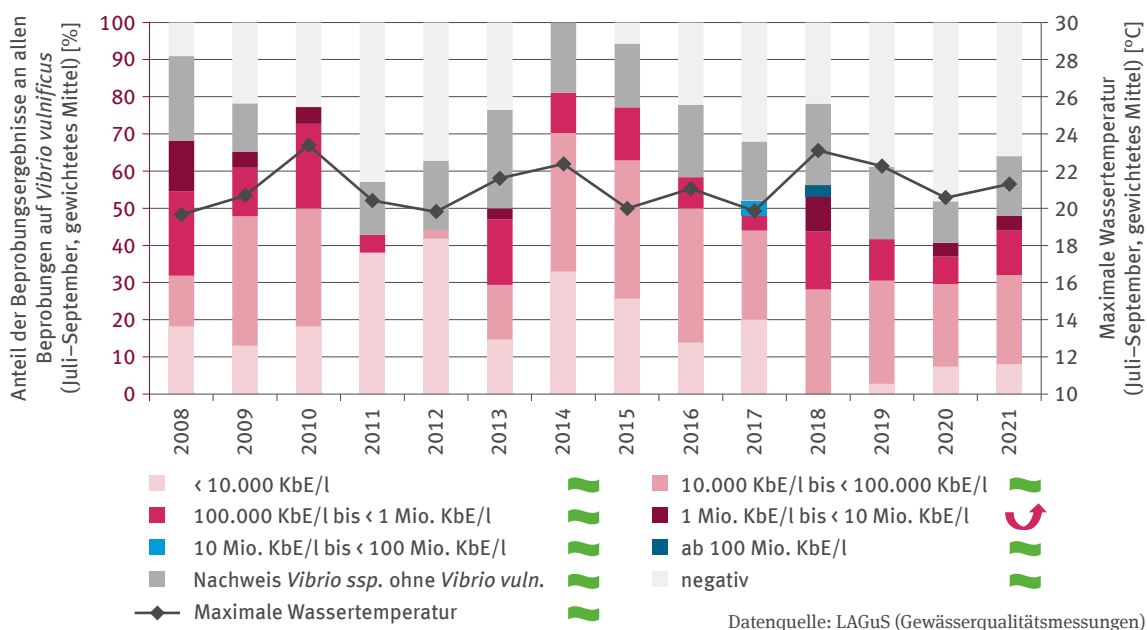
Eine höhere Wassertemperatur begünstigt aber auch das Wachstum und die Vermehrung bestimmter aquatischer Mikroorganismen. Zu den Profiteuren zählen unter anderem Arten der Bakteriengattung *Vibrio*. Die wärmeren, mäßig salzhaltigen Brack- und Meerwasserbereiche an der Nord- und insbesondere der Ostseeküste sind ideale Lebensräume für die landläufig als Vibrionen bezeichneten Bakterien. In hohen Konzentrationen können sie zu einem Gesundheitsrisiko werden: Einige der über hundert

Vibrionen-Arten rufen unter bestimmten Voraussetzungen Infektionen bei Menschen hervor. In der Ostsee gehören dazu unter anderem *Vibrio fluvialis*, *Vibrio parahaemolyticus*, *Vibrio alginolyticus* oder *Vibrio vulnificus*²⁹.

Meist gelangen Vibrionen über offene Wunden in den menschlichen Körper. Seltener ist die Aufnahme durch Verschlucken oder den Verzehr kontaminierter Schalentiere oder Fische. Je nach Erreger äußert sich der Ausbruch einer Infektion unterschiedlich: Neben Durchfallerkrankungen und Leibschmerzen kann es zu Gesundheitsschäden wie dem Absterben von Körpergewebe (Nekrosen) und in schweren Fällen zu einer Blutstrominfektion (Sepsis) oder sogar zum Tod kommen. Das Infektionsrisiko steigt mit höherer Vibrionen-Konzentration im Wasser. Nicht immer allerdings führt die Aufnahme der Vibrionen zum Ausbruch einer Infektion. Auch die gesundheitliche Verfassung der infizierten Person hat Einfluss auf Risiko und Schwere einer Erkrankung. Besonders gefährdet sind chronisch kranke, immungeschwächte sowie ältere Menschen. In diesen

GE-I-7: Gesundheitsgefährdung durch Vibrionen – Fallstudie

Höhere Wassertemperaturen infolge des Klimawandels treiben biologische Prozesse in Gewässern an und begünstigen unter anderem das Wachstum und die Vermehrung von infektiösen Arten der Bakteriengattung *Vibrio*. Die Ergebnisse von Wasserproben an der Ostsee verdeutlichen den starken Einfluss der maximalen Wassertemperatur auf die Bakterienkonzentration von *Vibrio vulnificus*.



Personengruppen kam es 2018 und 2019 zu insgesamt acht Todesfällen, die mit Vibrionen assoziiert waren³⁰.

Um das Infektionsrisiko im Blick zu behalten, erfasst das Landesamt für Gesundheit und Soziales in Mecklenburg-Vorpommern seit 2008 die sommerlichen Konzentrationen verschiedener Vibrionen-Arten in der Ostsee. Die Probenahme erfolgt stichprobenweise an mehreren Badestellen entlang der Küste. Die ermittelte Vibrionen-Konzentration ist dabei jedoch nur ein Näherungswert an die tatsächlichen Verhältnisse in der Ostsee. Die Stichproben enthalten eine kleine Wassermenge, von der wiederum nur ein geringer Teil pipettiert und auf Erreger untersucht wird. Da die Bakterien nicht gleichmäßig im Gewässer verteilt sind, sondern häufig in Klumpen vorliegen, ist eine exakte Bestimmung der Bakterienkonzentration nicht möglich. Dennoch erlauben die Ergebnisse eine Einordnung des Infektionsrisikos für Badende. Im Falle einer erhöhten Gefahrenlage werden Warnungen ausgesprochen.

Der Zusammenhang zwischen steigenden Wassertemperaturen und der Entwicklungs- und Fortpflanzungsaktivität beziehungsweise der Bakterienkonzentration zeigt sich bei *Vibrio vulnificus* besonders deutlich. Die Bakterien dieser Art tolerieren grundsätzlich ein breites Spektrum von Wassertemperaturen. Ein Nachweis gelingt meist ab einer Wassertemperatur von 10 °C. Das Wachstum der Organismen ist bei diesen Temperaturen noch eingeschränkt. Erst in wärmerem Wasser, in der Regel ab etwa 18 °C, beginnen sich die Bakterien stärker zu vermehren. Optimal für das Wachstum sind Wassertemperaturen zwischen 20 °C und etwa 30 °C. Fällt die Wassertemperatur wieder unter diesen Bereich, bleiben die Vibrionen oft noch über längere Zeit aktiv. Wird das Wasser kälter als 10 °C, sterben die Bakterien ab oder – so vermuten Forschende – überdauern zum Teil in einem inaktiven Zustand im Gewässersediment.³¹ Wie auch bei anderen Vibrionen-Arten kann eine durch *Vibrio vulnificus* verursachte Infektion lebensbedrohlich sein.

Steigen die Temperaturen bereits früh im Jahr schnell an oder sind sie im Jahresverlauf besonders hoch, können die Bakterien früher und in höheren Konzentrationen nachgewiesen werden. So erbrachten im Jahr 2010 infolge einer sommerlichen Hitzewelle bei außergewöhnlich vielen Sonnenstunden an der Küste Mecklenburg-Vorpommerns rund 77 % aller Proben einen Nachweis von *Vibrio vulnificus* in der Ostsee. Die Bakterien erreichten zudem Konzentrationen von 1 Mio. bis unter 10 Mio. koloniebildende Einheiten pro Liter (KbE/l). Als koloniebildende Einheit gelten einzelne oder zusammenhängende Mikroorganismen, die nach Vermehrung in



Vibrio-Bakterien werden durch hohe Wassertemperaturen begünstigt. Sie können über offene Wunden in den menschlichen Körper gelangen. (Foto: © LoloStock / stock.adobe.com)

einem Nährmedium eine Kolonie bilden. Diese Größe gibt Aufschluss über die Zahl beziehungsweise Konzentration von Bakterien. Der Anteil positiver Proben lag nur 2014 höher, einem ebenfalls außergewöhnlich warmen Jahr. Die höchste bisher ermittelte Konzentration von über 100 Mio. KbE/l wurde im Rekordhitzejahr 2018 festgestellt, als eine stabile Hochdruckbrücke von den Azoren bis in die Barentssee von Mai bis in den August hinein für hohe Wassertemperaturen sorgte.

Die Entwicklung und Vermehrung von *Vibrio vulnificus* ist nicht an die Wassertemperatur allein gebunden. Weitere Einflussfaktoren führen unter anderem dazu, dass es wie in den Jahren 2008 und 2009 auch in weniger warmem Wasser vereinzelt zu zahlreicheren Nachweisen und erhöhten Bakterienkonzentrationen kommt. Steuernd wirkt dabei vor allem der Salzgehalt des Wassers. Sein Einfluss ist noch nicht gänzlich verstanden, nach bisherigen Erkenntnissen entspricht aber die Salinität der Ostsee mit 0,5 % bis 2,5 % dem Toleranzspektrum von *Vibrio vulnificus*. In den Jahren 2008, 2009 sowie 2014 lag der Salzgehalt zum Zeitpunkt der Probenahmen etwas höher als in den anderen Jahren der Zeitreihe und damit womöglich näher am Idealwert für *Vibrio vulnificus*. Deutlich höhere Gehalte von bis zu 3 % und darüber sind nur vereinzelt im Skagerrak zu verzeichnen. Der Salzgehalt der Nordsee liegt in der Regel noch höher, sodass die Bakterien hier seltener und in geringeren Konzentrationen als in der Ostsee nachgewiesen werden.

UV-Strahlung

UV-Strahlung ist der energiereichste Teil der optischen Strahlung und für den Menschen nicht wahrnehmbar. UV-Strahlung initiiert bei gesunden Menschen die wichtige körpereigene Vitamin-D-Bildung, kann aber gleichzeitig zu ernstesten unmittelbaren oder später im Leben auftretenden Erkrankungen der Augen und der Haut führen³². UV-Strahlung schädigt das Erbgut, ist Hauptursache für Hautkrebs und ist durch die Internationale Agentur für Krebsforschung (IARC) in die höchste Risikogruppe 1 als „krebserregend für den Menschen“ eingestuft³³. UV-bedingte Krebserkrankungen sind eine große gesundheitliche Belastung für die Betroffenen und verursachen hohe Kosten für das Gesundheitswesen³⁴. In Deutschland hat sich die Inzidenz für den hellen Hautkrebs (sowohl Basalzell- als auch Plattenepithelkarzinome) in den letzten 30 Jahren bei den Männern vervierfacht, bei den Frauen verfünffacht. Für den schwarzen Hautkrebs ist die Inzidenz seit den 1970er-Jahren um etwa das Vierfache gestiegen.³⁵ Derzeit erkranken in Deutschland nach Hochrechnungen aus den Daten des Hautkrebsregisters Schleswig-Holstein rund 300.000 Menschen pro Jahr neu an Hautkrebs³⁶.

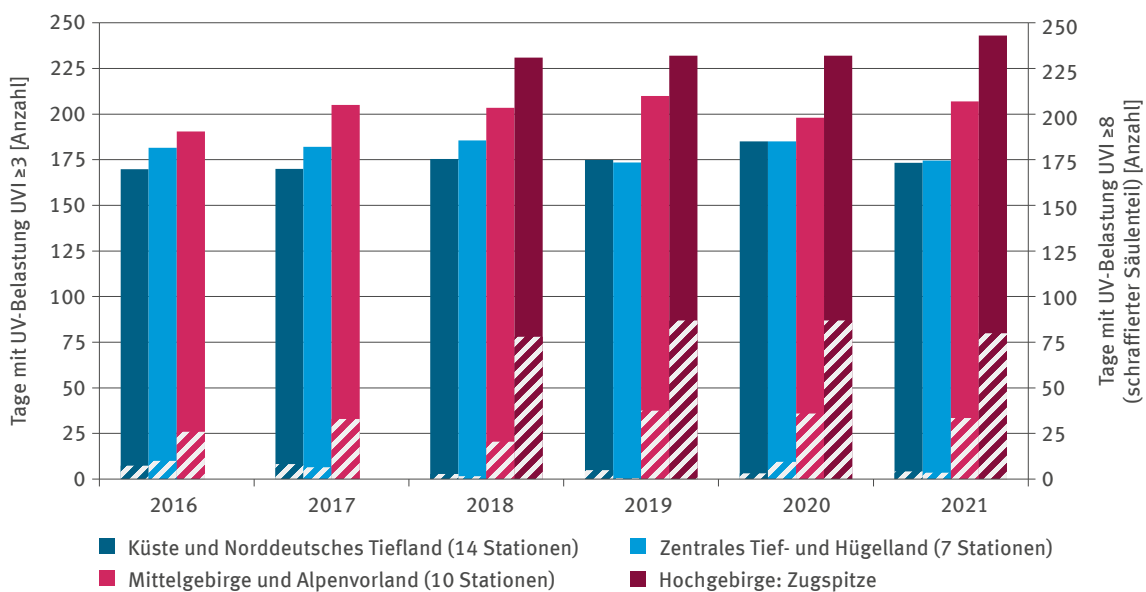
UV-bedingte Gesundheitsschäden können grundsätzlich jeden treffen. Kinder sind besonders betroffen, da ihre Haut und Augen empfindlicher gegenüber UV-Strahlung sind als die von Erwachsenen. Auch Menschen, die im Freien arbeiten und daher besonders lange exponiert sind, unterliegen einem hohen Risiko. Sonnenbrände erhöhen in jedem Alter das Risiko für schwarzen Hautkrebs um rund das Doppelte – in der Kindheit um das Zwei- bis Dreifache. Durch UV-Strahlung gesetzte Schäden kumulieren über die Lebenszeit³⁷.

Der anthropogen verursachte Abbau der stratosphärischen Ozonschicht erhöht die erdbodennahe UV-Bestrahlungsstärke, spielt aber für die UV-Belastung in Deutschland eine eher geringe Rolle. Die Erholung der Ozonschicht scheint sich allerdings aufgrund von mehreren Einflussfaktoren zu verzögern. Eine Rückkehr zu Ozonsäulenwerten von 1980 wird etwa gegen 2035 für die nördliche Hemisphäre erwartet³⁸. Zudem können sogenannte Niedrigozonereignisse auftreten, die für wenige Tage unerwartet hohe UV-Bestrahlungsstärken verursachen können. Ihr Ursprung kann ganzjährig in



GE-I-8: UV-Index – Fallstudie

UV-Strahlung ist Hauptursache für Hautkrebs, an dem in Deutschland jedes Jahr mehr als 300.000 Menschen neu erkranken. Selbst an Stationen im Tiefland werden an fast der Hälfte des Jahres sonnenbrandwirksame UV-Bestrahlungsstärken erreicht (UVI ≥ 3), für die Sonnenschutz empfohlen wird. Die UV-Bestrahlungsstärke variiert mit dem Breitengrad, der Höhenlage und der aktuellen Wettersituation, vor allem der Bewölkung.



Datenquelle: BFS (UV-Messnetz)

dynamischen Prozessen der Atmosphäre liegen und speziell im Frühjahr in einem winterlichen Ozonabbau über der Arktis³⁹. Niedrigozonereignisse im Frühjahr sind besonders gesundheitlich relevant, da zu dieser Jahreszeit die menschliche Haut noch besonders empfindlich gegenüber UV-Strahlung ist. 2020 stieg beispielweise Ende März / Anfang April aufgrund eines solchen Niedrigozonereignisses in Kombination mit den damals herrschenden Wetterbedingungen der UV-Index im Süden Deutschlands (München) von 3 auf 6⁴⁰. Eine Studie deutet darauf hin, dass die Häufigkeit der Niedrigozonereignisse im Frühjahr in den letzten zwei Jahrzehnten abgenommen hat⁴¹. Gleichzeitig zeigt sich in dieser Studie, dass das Frühjahr die am stärksten von Niedrigozonereignissen betroffene Jahreszeit zu sein scheint. Bezüglich der Entwicklung von Niedrigozonereignissen auf der Nordhalbkugel im weiteren Verlauf des 21. Jahrhunderts ist die Studienlage noch uneinheitlich⁴².

In Deutschland hat sich in den letzten Jahrzehnten die Anzahl der Sonnenstunden verändert. Bis in die 1980er-Jahre wurde in Deutschland und der gesamten Nordhalbkugel eine kontinuierliche Abnahme der Sonnenstunden (1951–1980 um rund 11 %, linearer Trend) registriert⁴³. Der Grund für diesen sogenannten „global dimming“-Effekt wird in einer zunehmenden Verschmutzung der Atmosphäre durch Industrieabgase und in einer daraus folgenden vermehrten Wolkenbildung gesehen⁴⁴. Seit ungefähr Mitte der 1980er-Jahre nimmt in Deutschland die mittlere Aerosolkonzentration mit der erfolgreichen Umsetzung von Luftreinigungsmaßnahmen ab⁴⁵, mit der Folge einer ansteigenden Anzahl an jährlichen Sonnenstunden (1981–2022 um rund 19 %). Dieser „global brightening“-Effekt ist im Wesentlichen Ergebnis einer erfolgreichen internationalen Luftreinheitspolitik und keine direkte Folge des Klimawandels⁴⁶. Der prinzipielle Zusammenhang zwischen einer Änderung der UV-Strahlungsintensität und dem Klimawandel ist aktuell ein wichtiger Forschungsschwerpunkt. So zeigen Daten, die im Zeitraum 1996–2017 an vier europäischen Stationen aufgezeichnet wurden, dass langfristige Veränderungen der UV-Strahlung vor allem durch Veränderungen der Aerosole, der Bewölkung und des Oberflächenreflexionsvermögens (Albedo) bedingt sind⁴⁷.

Die UV-Strahlungsintensität wird über den UV-Index (UVI) angezeigt, ein weltweit einheitliches Maß für den am Boden erwarteten Tagesspitzenwert (30-Minuten-Mittel) der sonnenbrandwirksamen UV-Bestrahlungsstärke⁴⁸. Je höher der UVI ist, desto höher ist die UV-Bestrahlungsstärke und desto schneller kann bei ungeschützter Haut ein Sonnenbrand auftreten.



Hohe UV-Strahlungsintensitäten verursachen gesundheitsgefährdenden Sonnenbrand. (Foto: © New Africa / stock.adobe.com)

Die hier dargestellte Fallstudie basiert auf den in Deutschland an den Messstationen des UV-Messnetzes gemessenen Werten. Unter Berücksichtigung des Breitengrads (der UV-Index nimmt von Norden nach Süden zu) und der Höhenlage (der UV-Index ist in den Gebirgen höher als im Flachland) sind die Stationen vier Naturräumen zugeordnet. Es werden alle Tage mit UVI-Werten von 3 und mehr dargestellt, da bereits ab UV-Index 3 Sonnenschutzmaßnahmen zur Anwendung empfohlen sind. Da ab einem UV-Index 8 die Sonnenschutzempfehlungen noch einmal verschärft sind, werden zusätzlich die Tage mit UVI-Werten größer gleich 8 abgebildet. Für jede Station werden die Tage mit den entsprechenden UVI-Werten für das jeweilige Jahr aufsummiert und dann über die Stationen des jeweiligen Naturraums gemittelt.

Es zeigen sich deutlich regionale Unterschiede: Im Tiefland werden an fast der Hälfte des Jahres Bestrahlungsstärken erreicht, für die Sonnenschutz empfohlen wird. In den Mittelgebirgen, im Alpenvorland und im Hochgebirge zeigt sich dies für 200 Tage und mehr im Jahr. Der betrachtete Zeitraum erlaubt noch keine Trendaussagen. Es besteht Forschungsbedarf hinsichtlich der klimawandelbedingten Veränderungen der Einflussfaktoren auf die solare UV-Strahlung in Erdbodennähe.

Witterungsbedingt immer wieder hohe Ozonbelastung

Nach wissenschaftlichen Untersuchungen mehren sich die Hinweise auf den Einfluss der Wetterbedingungen auf die Zunahme atemwegsbedingter Krankheits- und Sterbefälle. Neben der Temperatur ist insbesondere die Luftfeuchte relevant für Atemwegserkrankungen, da trockene Luft die Schleimhäute austrocknet und eine Infektion durch Viren erleichtert. Hohe Luftfeuchte kann allerdings auch das Atmen erschweren und die Anzahl von Allergenen wie Hausstaubmilben und Schimmelpilzen in der Luft erhöhen. Auch Wind, Luftdruck und Gewitter haben Einfluss auf Atemwegsbeschwerden. Der Einfluss des Wettergeschehens auf Herzkrankungen ist inzwischen ebenfalls gut belegt.

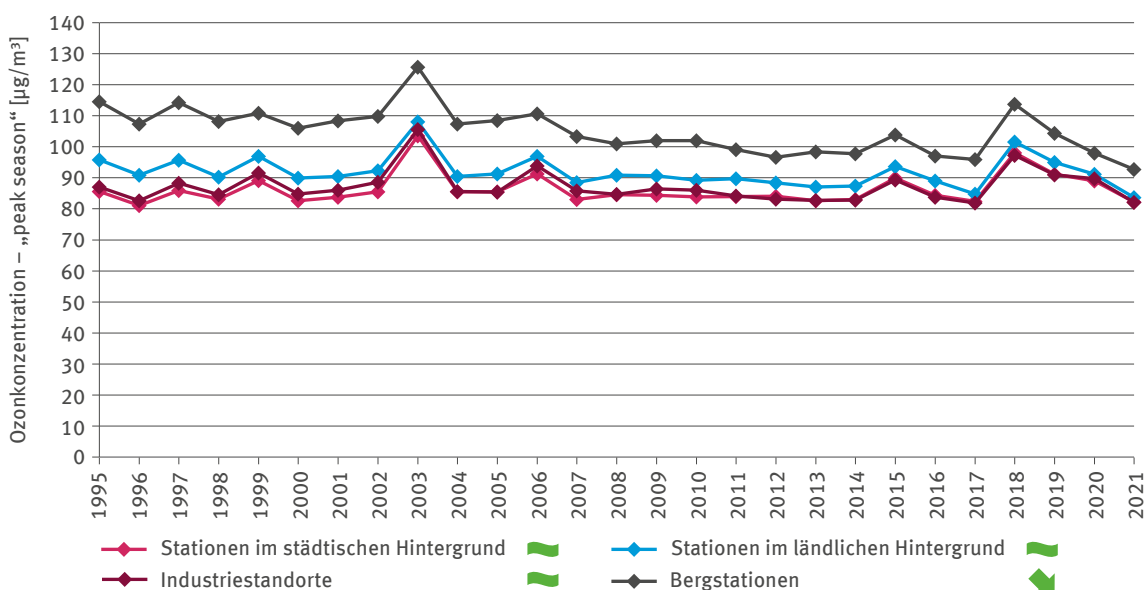
Komplizierter gestalten sich die Zusammenhänge zwischen meteorologischen Faktoren und lufthygienischen Komponenten und deren Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit. Temperatur, Luftfeuchte, Luftdruck und Luftschadstoffe wie Stickstoffdioxid, Ozon und Feinstaub beeinflussen sich wechselseitig. Aufgrund veränderter Durchmischungsprozesse in der Troposphäre, also der untersten Schicht der Erdatmosphäre, und

fotochemischer Reaktionen können hohe Luftschadstoffbelastungen vermehrt auftreten. Zudem verstärken hohe Lufttemperaturen den gesundheitlichen Effekt von Luftschadstoffen. An Feinstaub angelagerte allergene Proteine werden tiefer in die Atemwege transportiert, ebenso erhöhen Ozon und Stickoxide die Allergenität von Pollen (siehe Indikator GE-I-3, Seite 44).

Der Indikator fokussiert auf den Luftschadstoff Ozon, da für die Ozonbildung in besonderem Maße witterungsbedingte Faktoren bedeutsam sind. In Bodennähe auftretendes Ozon wird nicht direkt freigesetzt, sondern bei intensiver Sonneneinstrahlung durch komplexe fotochemische Prozesse aus Vorläufersubstanzen – überwiegend Stickstoffoxiden und flüchtigen organischen Verbindungen – gebildet. Dies führt dazu, dass die Ozonkonzentrationen weniger in Ballungszentren als vielmehr in ländlichen Regionen erhöht sein können. Vor allem für die flüchtigen organischen Verbindungen sind Ausdünstungen aus Laub- und Nadelbäumen relevant, biogene Stickstoffoxide stammen überwiegend aus überdüngten Böden. Die Emissionen der Vorläufersubstanzen

GE-I-9: Ozonbelastung

Ozon bildet sich bei hoher Temperatur und Sonneneinstrahlung aus Stickstoffdioxid und flüchtigen organischen Verbindungen. deren Konzentration nahm seit 1995 deutlich ab, was zu einem Rückgang der Ozonspitzenkonzentrationen führte. Gleichzeitig wurde aber auch weniger Ozon durch Stickstoffmonoxid abgebaut, weshalb die Ozonkonzentrationen der Peak Season zumeist stagnieren. Die extreme Witterung in 2003 und 2018 führte zu hohen Ozonbelastungen.



Datenquelle: UBA (basierend auf Messnetzen der Bundesländer und des Bundes)

haben seit 1995 abgenommen, was zu einem deutlichen Rückgang der Ozonspitzenkonzentrationen führte. Damit einher ging wegen der Verringerung des Titrationseffekts (Ozonabbau durch Stickstoffmonoxid) jedoch ein Anstieg der mittelhohen Ozonkonzentrationen.

Hohe Ozonkonzentrationen sind schädlich für die menschliche Gesundheit. Sie können eine verminderte Lungenfunktion, entzündliche Reaktionen in den Atemwegen und Atemwegsbeschwerden verursachen. Bei körperlicher Anstrengung und verstärkter Atmungsintensität können diese Auswirkungen gravierender ausfallen. Empfindliche oder vorgeschädigte Personen wie Asthmatiker*innen sind besonders anfällig. Ihnen wird geraten, bei hohen Ozonwerten körperliche Anstrengungen im Freien zu vermeiden. Weil Ozon sehr reaktiv ist, liegt zudem die Vermutung nahe, dass es krebserregend sein könnte.

Erreichen oder überschreiten die Ozonwerte einen Stundenmittelwert von $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ Luft, wird die Bevölkerung über die Medien informiert und es werden Verhaltensempfehlungen gegeben, ab einem Stundenwert von $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$ wird gewarnt. Zum Gesundheitsschutz ist zudem ein Zielwert festgelegt: Der maximale 8-Stundenwert eines Tages darf an höchstens 25 Tagen pro Kalenderjahr den Wert von $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ überschreiten. Die Anzahl der Tage wird über drei Jahre gemittelt. Die WHO hat im Jahr 2021 neue Empfehlungen für die Luftqualität veröffentlicht. Diese ergänzen den bisherigen 8-Stundenwert um einen Wert für die sogenannte „ozone peak season“, um die Langzeitwirkung abbilden zu können. Die „ozone peak season“ ist definiert als die Phase von sechs aufeinanderfolgenden Monaten mit den höchsten Ozonkonzentrationen. Für den DAS-Monitoringindikator wurde diese Saison auf April bis September festgelegt, da in Deutschland erhöhte bodennahe Ozonkonzentrationen hauptsächlich in dieser Zeit auftreten. Über diesen Halbjahreszeitraum hinweg werden die täglichen maximalen 8-Stundenwerte gemittelt. Als kritischer Schwellenwert gilt laut WHO eine Konzentration von $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Die Bundesländer und das UBA messen die Ozonkonzentrationen in einem bundesweiten, mehr als 260 Stationen umfassenden Messnetz. Die Messstellen werden in die Kategorien „städtischer Hintergrund“, „ländlicher Hintergrund“, „Industriestandorte“ und „Bergstationen“ eingeteilt, da sich diese durch unterschiedliche Voraussetzungen für die Ozonbildung auszeichnen. An den Bergstationen – das sind Stationen in einer Höhe ab 900 m ü. NN – und an den ländlichen Stationen werden in der Regel höhere Ozonkonzentrationen gemessen als an den städtischen Stationen. Der Grund ist, dass im ländlichen Raum die Konzentrationen von Stickstoffmonoxid,



Bei Hitze und starker Sonneneinstrahlung entsteht gesundheits-schädliches Ozon. (Foto: © Lightspruch / stock.adobe.com)

das in Autoabgasen enthalten ist, geringer sind. Stickstoffmonoxid reagiert mit Ozon und führt vor allem während der Nachtstunden zum Ozonabbau. Zudem werden Ozonvorläuferstoffe mit dem Wind auch aus den Städten heraus transportiert und tragen entfernt von ihren eigentlichen Quellen zur Ozonbildung bei. An den Industriestationen sind die Konzentrationen mit denen der städtischen Stationen vergleichbar.

Seit 1995 sind die Konzentrationen während der „ozone peak season“ nahezu unverändert, an den Bergstationen sind sie sogar zurückgegangen. Grund ist, dass die Emissionen der Ozonvorläuferstoffe rückläufig waren. Die Zeitreihe zeigt aber zwischenjährliche Schwankungen, die sich vor allem mit besonderen sommerlichen Witterungsbedingungen erklären lassen. So konnten sich im „Ozonsommer“ 2003 während einer langanhaltenden sommerlichen Schönwetterperiode mit überdurchschnittlich hohen Temperaturen und langer Sonnenscheindauer hohe Ozonkonzentrationen aufbauen. Ganz anders verhielt es sich im Sommer 2018 mit erneuten Temperaturrekordwerten vor allem im Juli und August: Die mittleren Konzentrationsbereiche waren zwar erhöht, aber hohe Spitzenkonzentrationen blieben nahezu aus. Es wird deutlich, dass auch bei rückläufigen Konzentrationen der Ozonvorläufersubstanzen extreme Witterung nach wie vor zu deutlich erhöhten Ozonkonzentrationen führen kann. Der Klimawandel treibt mit höheren Temperaturen und intensiverer Sonneneinstrahlung die Bildung von bodennahem Ozon an und führt dazu, dass es immer wieder zu gesundheitlichen Belastungen durch zu hohe Ozonkonzentrationen kommen kann.

Hitzewarnungen unterstützen präventive Maßnahmen

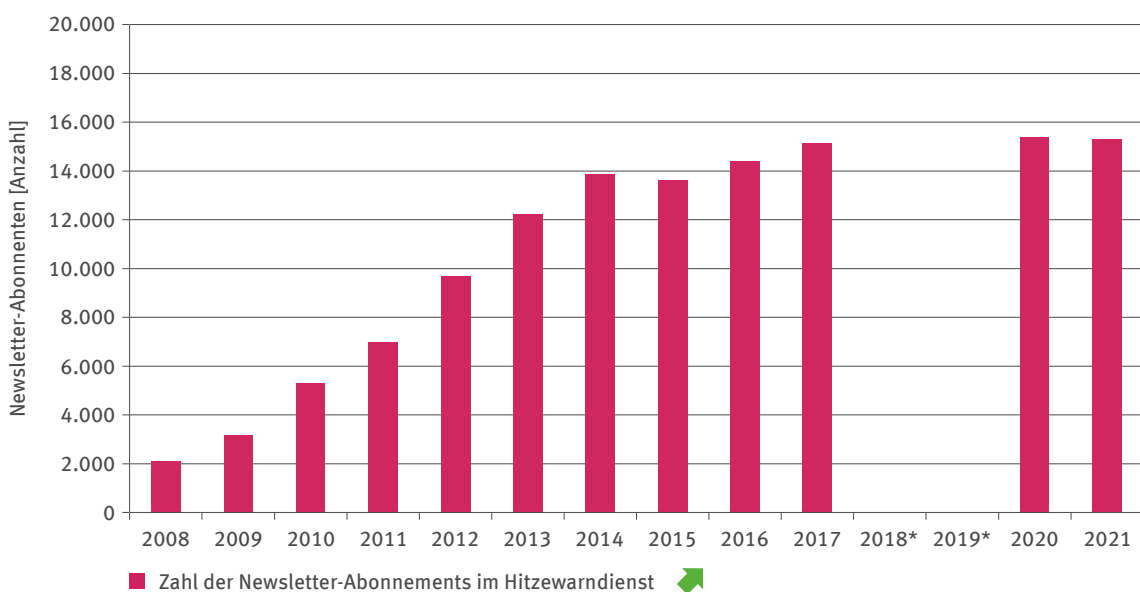
Die hohe Zahl hitzebedingter Todesfälle und Krankenhauseinweisungen im Hitzesommer 2003 (siehe Indikator GE-I-2, Seite 42) machte deutlich, dass wir uns gezielter auf solche gesundheitsgefährdenden Ereignisse vorbereiten müssen. Um vor allem stationären Einrichtungen und alleinlebenden Personen die Möglichkeit zu geben, bei bevorstehenden Hitzewellen rechtzeitig Vorsorge- und Schutzmaßnahmen zu ergreifen, hat der DWD im Jahr 2005 ein Hitzewarnsystem eingerichtet. Differenziert für Warnkreise werden täglich Hitzewarnungen für den aktuellen und den folgenden Tag ausgesprochen, sobald die „Gefühlte Temperatur“ definierte Schwellenwerte erreicht und weitere Faktoren wie besondere thermische Situationen in Städten dies nahelegen (siehe Indikator GE-I-1, Seite 40).

Die Ausgabe von Hitzewarnungen erfolgt auf unterschiedlichen Wegen: über das Internet, das Abonnement des „Newsletter Hitzewarnungen“ (www.hitzewarnungen.de) oder seit Juli 2013 auch über Smartphone-Apps sowie über die Apps zur Katastrophenwarnung (NINA, Katwarn). Der Newsletter wird neben den Einrichtungen des Gesundheitswesens inzwischen auch von Privatpersonen genutzt. Die

Zahl der Abonnements ist in den zurückliegenden Jahren kontinuierlich gestiegen, geriet aber zuletzt in den Jahren 2020 und 2021 ins Stocken. Zahlen für die Jahre 2018 und 2019 stehen nicht zur Verfügung, da sich nach Einführung der Datenschutzgrundverordnung (DSGVO) im Jahr 2018 die Bedingungen für die Datenhaltung geändert haben und ein neues System etabliert werden musste. Die Stagnation der Abonnements des Newsletters liegt vermutlich an der wachsenden Zahl von App-Nutzungen, die dem aktuellen Nutzungsverhalten eher entsprechen. Die 2015 eingeführte Hitze Warn-App wurde im Jahr 2020 abgeschaltet, denn seit Ende Mai 2020 wird die thematisch deutlich breitere DWD GesundheitsWetter-App angeboten. Sie informiert das Gesundheitswesen, besonders betroffene Menschen und Risikogruppen sowie die allgemeine Öffentlichkeit zu aktuellen wetterbedingten Gesundheitsgefährdungen. Konkret beinhaltet sie die amtlichen UV- und Hitzewarnungen und die Information über die „Gefühlte Temperatur“, die Pollenflugvorhersage sowie die Gefahrenindizes zur Wetterfühligkeit. Auch die DWD WarnWetter-App informiert über Hitzewarnungen. Sie ist aber insgesamt komplexer und zielt auf eine andere Nutzengruppe. Eine weitere

GE-R-1: Hitzewarndienst

Der „Newsletter Hitzewarnungen“ des DWD informiert, wenn für den aktuellen oder den nächsten Tag mit einer „starken“ oder „extremen Wärmebelastung“ gerechnet werden muss. In den zurückliegenden Jahren hat sich die Zahl der Newsletter-Abonnenten (stationäre Einrichtungen und Privatpersonen) kontinuierlich erhöht. Die Entwicklung ist aber zuletzt ins Stocken geraten, da vor allem die Nutzung von Warn-Apps zugenommen hat.



* keine Daten

Datenquelle: DWD (Hitzewarndienst, Aufzeichnungen zu den Newsletter-Abonnenten und ausgegebenen Warnungen)

Rolle für die Stagnation 2020/2021 könnte spielen, dass mit der Covid-19-Pandemie andere Gesundheitsprobleme deutlich in den Vordergrund traten.

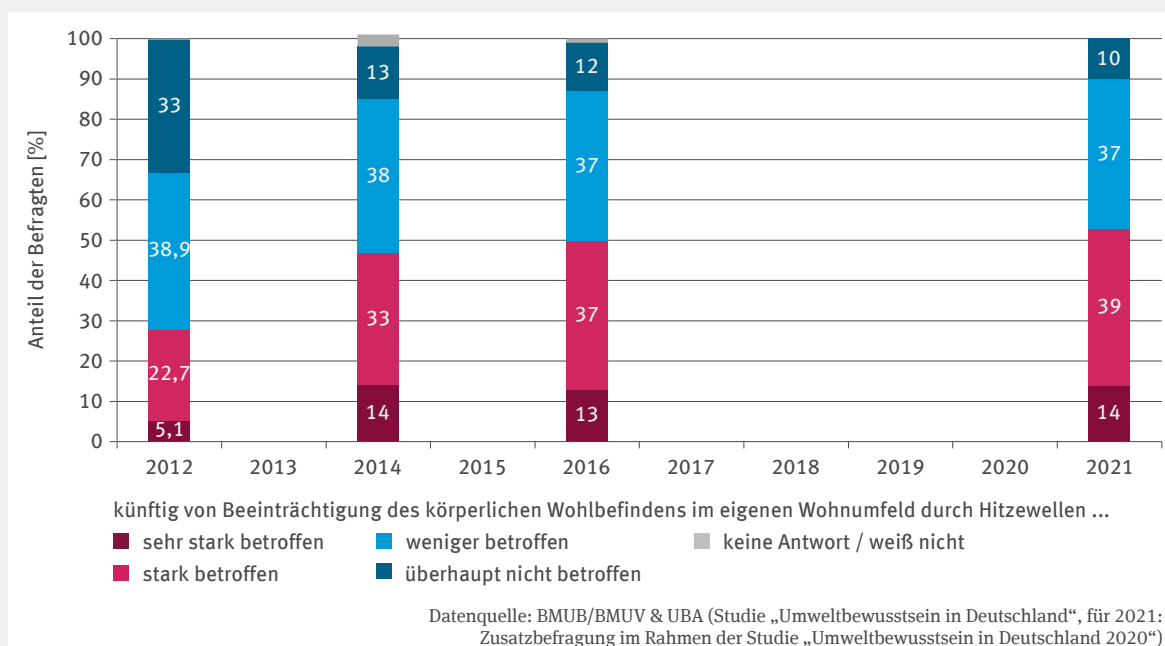
Eine intensivere Öffentlichkeitsarbeit zu Hitzefolgen und die verstärkte Risikokommunikation sowohl von behördlicher als auch ärztlicher Seite sind sicher Gründe, warum das Bewusstsein der Bevölkerung für gesundheitliche Beeinträchtigungen durch Hitzeperioden in den letzten Jahren angestiegen ist. Dies zeigen die Ergebnisse der repräsentativen Bevölkerungsumfrage „Umweltbewusstsein in Deutschland“, die regelmäßig im Auftrag des UBA und des Bundesumweltministeriums durchgeführt wird⁴⁹. Der Anteil der befragten Personen, die subjektiv für sich in Zukunft erwarten, dass Hitzewellen ihr körperliches Wohlbefinden oder ihre Gesundheit sehr stark oder stark betreffen werden, hat seit der Ersterhebung im Jahr 2012 zugenommen. Der Anstieg war zuletzt zwar weniger deutlich als in den Anfangsjahren der Erhebung, aber 2021 gingen bereits 53 % der Befragten von einer starken bis sehr starken Betroffenheit aus. Nur noch 10 % sahen sich 2021 überhaupt nicht betroffen, bei der Erstbefragung galt das noch für 33 % der Befragten. Im Jahr 2021 wurden die Daten erstmalig im Rahmen einer künftig nur

noch 4-jährlichen Sondererhebung zur Umweltbewusstseinsstudie erfasst. Ein weiterer Grund für die stärkere Wahrnehmung der hitzebedingten Risiken ist aber sicher auch, dass gerade in den letzten zehn Jahren wiederholt Rekordtemperaturen und Hitzewellen aufgetreten sind. Die Folgen des Klimawandels sind damit auch im eigenen Erleben angekommen.

Um tatsächlich wirksam zu werden, müssen den Hitze警告ungen konkrete Maßnahmen und Verhaltensanpassungen folgen. Hierzu gehören die Vermeidung starker körperlicher Anstrengungen, die Aufnahme von genug Flüssigkeit, die Sicherstellung des Elektrolytausgleichs sowie Maßnahmen zur aktiven und passiven Kühlung von Räumen. In Einrichtungen der Alten- und Behindertenhilfe inklusive Pflegeheimen sowie Krankenhäusern leben Menschen, die diese Selbstschutzmaßnahmen nicht in jedem Falle selbstständig ergreifen können. Die Betreuungs- und Pflegepersonen müssen daher aktive Unterstützung leisten. Eine systematische bundesweite Prüfung, welche Maßnahmen von den Hitze警告ungen tatsächlich ausgelöst werden, findet derzeit noch nicht statt.

GE-R-2: Bewusstsein der Bevölkerung für gesundheitliche Folgen von Hitzewellen

Das Bewusstsein für die Gesundheitsgefahren, die mit großer und lang andauernder Hitze verbunden sind, ist gewachsen. Im Jahr 2021 gaben bereits 53 % der Befragten an, dass sie für sich selbst in Zukunft von einer starken bis sehr starken eigenen Betroffenheit ausgehen. Nur noch jede*r Zehnte ging davon aus, dass sie*er auch künftig nicht betroffen sein wird.



Menschen mit Pollenallergien brauchen Information

„Heuschnupfen“ ist der landläufige und zugleich verharmlosende Begriff für eine Erkrankung, die durch allergene Pollen ausgelöst wird. Heuschnupfen ist aber nicht harmlos, er kann mit hohen Einbußen an Lebensqualität und schwerwiegenden gesundheitlichen Beeinträchtigungen verbunden sein. Insbesondere wenn die allergische Entzündung von Nase und Augen auf die Bronchien übergreift, kann es zu chronischen Atembeschwerden (allergischem Asthma) und irreversiblen Umbauvorgängen in den Bronchien und der Lunge kommen. Eine*r von drei Betroffenen von Heuschnupfen entwickelt im Laufe seines Lebens ein pollenassoziertes Asthma, das später in ein ganzjähriges Asthma übergehen kann.

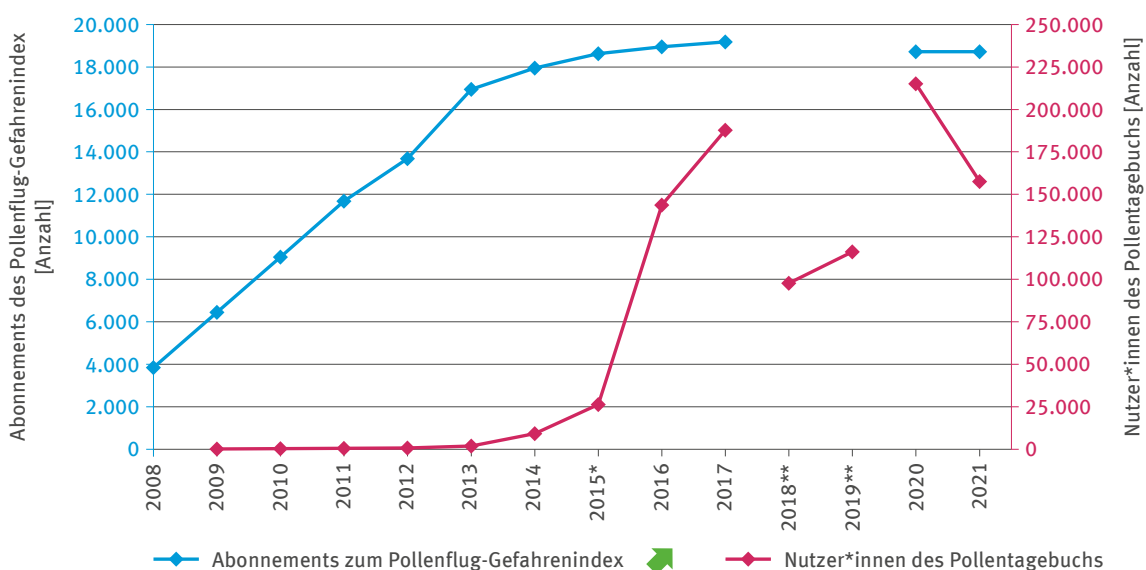
Mit allergenen Pollen in der Umwelt in Berührung zu kommen, ist in vielen Fällen unausweichlich beziehungsweise nur eingeschränkt steuerbar. Daher ist es von großer Bedeutung, den Betroffenen die Möglichkeit zu geben, ihr Krankheitsbild mit den dahinter liegenden Ursachen besser zu verstehen und Ausweichstrategien zu entwickeln. Es gilt: Je mehr Allergiker*innen ihre Krankheit verstehen, umso weniger leiden sie.

Zur besseren und vorbeugenden Information von Menschen mit Pollenallergien gibt der DWD einen Pollenflug-Gefahrenindex und die PID eine Wochenpollenvorhersage für Deutschland heraus. Der Pollenflug-Gefahrenindex informiert über die wahrscheinlichen Belastungsintensitäten der acht allergologisch wichtigsten Pollen (Hasel, Erle, Esche, Birke, Süßgräser, Roggen, Beifuß und Ambrosie) für den aktuellen und die zwei darauffolgenden Tage. Die Wochenpollenvorhersage informiert über die acht oben genannten und eine Anzahl weiterer allergologisch relevanter Pollen für den Zeitraum einer Woche⁵⁰. Die Aktualität der Vorhersage ermöglicht den Betroffenen eine gezielte Prophylaxe in Form von Verhaltensanpassung und angemessener Medikation. Informationen über das zu erwartende Belastungsrisiko lassen sich direkt im Internet auf den Webseiten des DWD und der PID abrufen. Alternativ kann von beiden Institutionen auch ein Newsletter abonniert werden.

Wie im Falle der Hitzewarnungen (siehe Indikator GE-R-1, Seite 58) stehen für die Jahre 2018 und 2019 aufgrund der damals noch ausstehenden Regelungen

GE-R-3: Informationen zu Pollen

Die verfügbaren Informationen zum Pollenflug-Gefahrenindex und das Angebot in Pollentagebuch oder Smartphone-Apps, die eine eigene Dokumentation der Heuschnupfensymptomatik und der benutzten Medikation ermöglichen, werden in zunehmendem Maße genutzt. Knapp 19.000 Personen hatten 2021 ein Abonnement des Pollenflug-Gefahrenindex, knapp 160.000 nutzten das Pollentagebuch.



* bis 2014 nur Pollen-App, ab 2015 summarisch für Pollen-App und Husteblume
** keine Daten für die Husteblume

Datenquelle: DWD (Pollenflug-Gefahrenindex), PID (Pollentagebuch)

im Zusammenhang mit der DSGVO keine Daten zu den DWD Newsletter-Abonnements zur Verfügung. In den Jahren 2020 und 2021 stagnierten die Abonnementzahlen. Vergleichbar der Situation bei den Newslettern mit Hitzewarnungen liegt dies vermutlich an der wachsenden Zahl von App-Nutzungen, die stärker auf das moderne Nutzungsverhalten zugeschnitten sind. In der seit Mai 2020 verfügbaren DWD GesundheitsWetter-App ist der Pollenflug-Gefahrenindex integriert.

Seit 2009 hat die Medizinische Universität Wien / Österreich unter Beteiligung der PID zusätzlich zum Pollenflug-Gefahrenindex weitere Angebote zur Unterstützung von Menschen mit Pollenallergien entwickelt. Zunächst wurde das Online-Pollentagebuch angeboten. Es ermöglicht Menschen mit Heuschnupfen, ihre aktuellen Beschwerden an Augen, Nase und Bronchien sowie die genutzte Medikation mit den Werten der Pollenaktivität an dem Ort, an dem sie sich gerade aufhalten (auch im europäischen Ausland), zu verbinden. Die tägliche Protokollführung im Internet-Pollentagebuch unterstützt die Betroffenen dabei, ihre Beschwerdeintensität und die Stärke des aktuellen Pollenflugs schnell und selbst zu vergleichen. Sie können daraus ersehen, welche Pollenart zu welchen Symptomen führen. Zudem erhalten die Tagebuchnutzenden eine individuelle Auswertung ihrer Pollensaison. Das Pollen-Tagebuch kann auch für das behandelnde ärztliche Fachpersonal ein wertvolles Hilfsmittel für die Diagnostik und die Therapieplanung sein. Der technischen Entwicklung folgend gibt es seit dem Jahr 2013 eine Pollen-App (Version „Pollen 7.3.1“⁵¹) für Smartphones. Sie ermöglicht die Erfassung der individuellen Symptome sowie ihres Schweregrads und liefert individuelle Vorhersagen zu wahrscheinlichen Beschwerden für die folgenden zwei Tage.

Seit 2015 bietet die Techniker Krankenkasse in Zusammenarbeit mit der PID die App „Husteblume“ an⁵². Die Inhalte sind mit der App Pollen 7.3.1 vergleichbar. In der Husteblume werden zusätzlich zur Pollenflugvorhersage und Symptomerfassung auch allgemein gefasste Therapiehinweise gegeben. Zur Pollensaison 2019 wurde die App überarbeitet und um viele neue Funktionen erweitert. Die Zahl der Nutzer*innen, die über die App Pollen 7.3.1 und /oder die App Husteblume unterschiedlich häufig pro Jahr Eintragungen in ihrem Pollentagebuch vornehmen, ist nach 2015 enorm gestiegen. Für die Jahre 2018 und 2019 stehen keine Daten zur Husteblume zur Verfügung, weswegen die Nutzendenzahlen in diesen Jahren deutlich niedriger waren. Im Jahr 2021 machten annähernd 158.000 Nutzende Eintragungen zu ihren Beschwerden an Nase, Augen und Bronchien und der aufgrund der Beschwerden eingenommenen Medikamente. Der starke Einbruch der Zahlen im Jahr 2021 ist zu erheblichen Teilen



Die Pollenflugvorhersage und eine tägliche Protokollführung im Internet-Pollentagebuch ermöglichen die zielgerichtete Prophylaxe. (Foto: © Александра Вишнева / stock.adobe.com)

auf die Folgen der Covid-19-Pandemie zurückzuführen. Es standen andere Gesundheitsthemen stark im Fokus, und möglicherweise hat auch das Tragen von Masken den Kontakt mit Pollenallergenen reduziert. Eine Rolle könnte aber auch spielen, dass aufgrund der Witterung die Pollenbelastung zumindest der Birke im Jahr 2021 deutlich weniger stark war als in den trockenen und heißen Jahren davor (siehe Indikator GE-I-3, Seite 44). Im Jahr 2022 lagen die Zahlen wieder deutlich höher.

Die große Datenmenge, die jedes Jahr durch die vielen Nutzenden der beiden Apps entsteht, ermöglicht es, die Art und Stärke der allergischen Symptome in der „deutschen Heuschnupfenpopulation“ zu analysieren⁵³. Dabei werden für statistische Analysen gerne die Daten von Nutzenden verwendet, die über mindestens fünf Tage hintereinander Informationen in den Apps hinterlegten. Für den Indikator spielt diese Differenzierung jedoch keine Rolle.

Eine Evaluation der App Husteblume ergab, dass 56 % der Nutzenden sich besser über ihre Allergie informiert fühlten, 34 % gaben an, dass sie mit ihrer Allergie besser umgehen können, seit sie die App nutzen. 27 % berichteten, dass sich ihre Lebensqualität durch die App verbessert hat.⁵⁴ Bei jeder elften Person hat sich sogar die Allergie insgesamt gebessert. Die Nutzung der App über ein Jahr beziehungsweise während der Pollen-relevanten Monate zeigte in der Studie, dass Verhaltensänderungen offenbar möglich sind, denn die Nutzenden der App Husteblume suchten im Mittel 7 % weniger häufig ärztliche Hilfe auf.

Mückenatlas – Bürger*innen werden aktiv

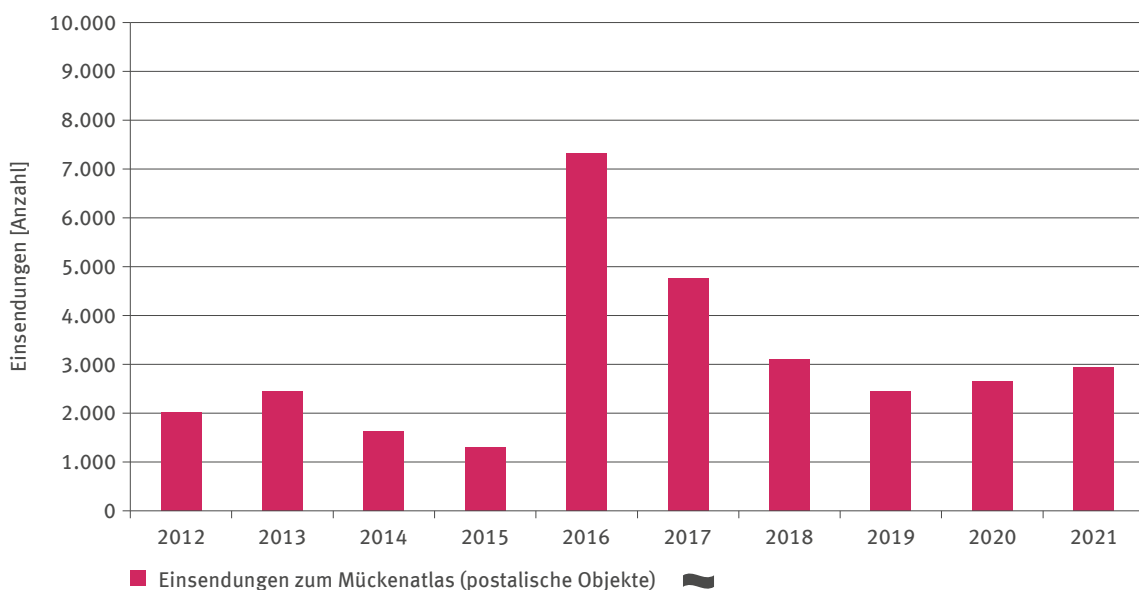
Die Verbreitung von Stechmückenarten, die für den Menschen gefährliche Erreger übertragen können, ist ein relevantes Gesundheitsrisiko. Noch gibt es in Deutschland – von autochthonen Fällen des West-Nil-Fiebers abgesehen – keine Hinweise auf heimisch erworbene Infektionskrankheiten im Zusammenhang mit Stechmücken wie Dengue, Zika oder Chikungunya. Allerdings steigt die Gefahr mit der Ausbreitung von Stechmücken, die als Vektoren dieser Erreger fungieren können (siehe Indikator GE-I-5, Seite 48), und der gleichzeitigen Präsenz der Erreger unter anderem durch rückkehrende Fernreisende. Die Sammlung von Daten und Informationen zur Ausbreitung der Mücken ist eine wichtige Grundvoraussetzung, um präventive Maßnahmen ergreifen zu können. Hierzu gehört neben der Bekämpfung der Mücken – wie es beispielsweise im Oberrheingebiet bereits geschieht – insbesondere die Aufklärung der Bevölkerung, sodass individuelle Schutzmaßnahmen getroffen werden können. Es muss vor allem darum gehen, Stiche zu verhindern und im Falle einer Infektion dem behandelnden ärztlichen Fachpersonal entsprechende Hinweise geben zu können.

Ein systematisches, bundesweites Stechmückenmonitoring mit spezifischen Lockstofffallen kann wegen begrenzter Ressourcen nicht umgesetzt werden. Mit dem „Mückenatlas“ haben das ZALF und das FLI daher im Jahr 2012 ein Citizen-Science-Projekt ins Leben gerufen⁵⁵. Citizen Science ist eine Form der beteiligungsoffenen Wissenschaft, bei der interessierte Laien – häufig in Zusammenarbeit mit hauptamtlich Forschenden – zum wissenschaftlichen Erkenntnisfortschritt beitragen. Durch diese Kooperationen entsteht eine „Win-win-Situation“: Die Forschung erhält in der Breite erhobene Daten, und bei den beteiligten Bürger*innen wächst das Bewusstsein für aktuelle Themen- und Problemstellungen sowie das Gefühl, selbst aktiv und wirksam werden zu können. Vor allem in Bereichen, in denen – wie im Gesundheitsbereich – Eigenvorsorge eine große Rolle spielt, sind solche Ansätze wertvoll.

Im Falle des Mückenatlas können Bürger*innen per Post Stechmücken an die Forschenden schicken, die diese dann wissenschaftlich bestimmen und Auswertungen zur Verbreitung durchführen.

GE-R-4: Einsendungen zum Mückenatlas

Seit 2012 können interessierte Bürger*innen gefangene Stechmücken für den „Mückenatlas“ einschicken. Die Daten werden genutzt, um die Verbreitung von Stechmückenarten in Deutschland zu analysieren. Gleichzeitig sensibilisiert das Instrument die Bevölkerung für die Problematik. Im Jahr 2016 hat rege Pressearbeit zur Zika-Epidemie in Südamerika zur Zeit der Olympischen Spiele für hohe Aufmerksamkeit in Deutschland gesorgt.



Datenquelle: FLI, ZALF (Mückenatlas)

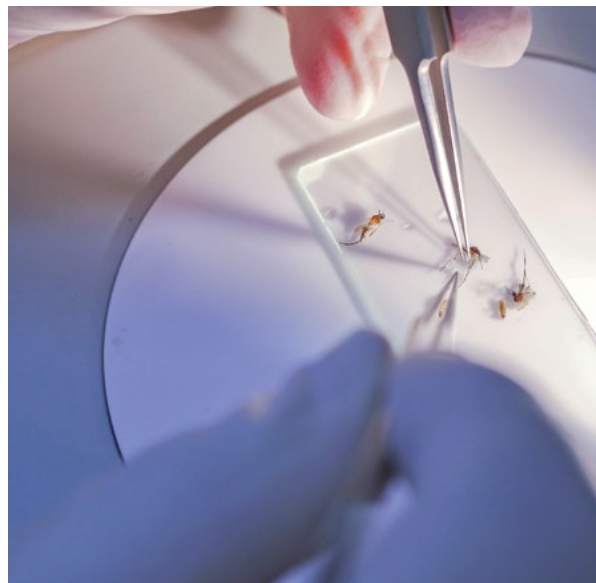
Im Vergleich zu einem systematischen wissenschaftlichen Monitoring der Stechmückenverbreitung hat der Citizen-Science-Ansatz Vor- und Nachteile. Der Fokus der Citizen-Science-Fänge auf das Alltagsumfeld schränkt die Repräsentativität der Funde ein und führt dazu, dass die Funde nur einen Ausschnitt aus der tatsächlichen Verbreitung widerspiegeln. Fast zwei Drittel der eingesendeten Mücken wurden bisher in eher städtischen Gebieten oder auf Sportplätzen gefangen. Ländlich geprägte Räume sind hingegen unterrepräsentiert. Verzerrte Ergebnisse können auch dadurch entstehen, dass die Bürgerwissenschaftler*innen eher nach außergewöhnlichen Mücken suchen und solche auch vermehrt einsenden. Relevante Vorteile des Ansatzes sind, dass sehr viel stärker in der räumlichen Breite erfasst wird und auch Mücken auf Privatgelände gefangen werden, das von Forschenden nicht einfach zu erreichen wäre.

Zwar kann Citizen Science allein die deutsche Mückenpopulation nicht überwachen, der „Mückenatlas“ ist aber eine wichtige Ergänzung zur Überwachung mithilfe von spezialisierten Lockstofffallen.

Der Indikator bildet die Anzahl der postalischen Objekte ab. Das bedeutet, dass jede Einsendung zum Mückenatlas gleich gezählt wird, unabhängig davon, wie viele Mücken die Einsendung enthält. Die meisten Teilnehmenden schicken nur eine bis wenige Mücken pro Sendung. Es gibt aber auch Einsendungen, in denen die über ein ganzes Jahr – auch mit privaten Fallen – gesammelten Mücken auf einmal übermittelt werden.

Die Zeitreihe zu den Mücken-Einsendungen macht deutlich, dass die Bevölkerung für die Thematik und Problematik der Einschleppung und Ausbreitung von nichtheimischen Mücken bereits sensibilisiert ist. So ist der deutliche Sprung bei den Einsendungen im Jahr 2016 nach Einschätzung von Fachleuten im ZALF und FLI wesentlich darauf zurückzuführen, dass die Zika-Epidemie in Südamerika in den Jahren 2015 und 2016 große Aufmerksamkeit auch in Europa erlangt hat. Vor allem im zeitlichen Zusammenhang mit den in 2016 in Brasilien abgehaltenen Olympischen Sommerspielen gab es intensive Presseaktivitäten zur Problematik, die offensichtlich dazu geführt haben, dass die Bevölkerung ein sehr offenes Auge für das Vorkommen potenziell gefährlicher Mücken auch in Deutschland hatte. Dies äußerte sich in einer außerordentlich hohen Anzahl von Einsendungen.

Das Zika-Virus war bis dahin in Europa nahezu unbekannt. Es wird vor allem von der Gelbfiebermücke (*Aedes aegypti*) verbreitet, aber auch andere Arten der Gattung *Aedes* wie die Asiatische Tigermücke (*Aedes albopictus*)



Mit der wissenschaftlichen Bestimmung der über den „Mückenatlas“ eingeschickten Mücken verbessern sich die Datengrundlagen. (Foto: © moxumbic / stock.adobe.com)

können das Zika-Virus übertragen. Bei erwachsenen Infizierten löst das Zika-Virus häufig nur grippeähnliche Symptome aus. Doch bei Ungeborenen, deren schwangere Mütter infiziert waren, kann es schwere Schädigungen (Schädeldefehlbildung) und Behinderungen nach sich ziehen kann. Nach Angaben der WHO gab es im Zeitraum Oktober 2015 bis Juli 2016 in Brasilien geschätzte 1,5 Mio. Zika-Fälle. Es gab europaweit Reisewarnungen für Schwangere.

Die Zeitreihe zu den Einsendungen zum Mückenatlas wird voraussichtlich auch in Zukunft durch solche und ähnliche Ereignisse entweder in Deutschland oder im globalen Maßstab beeinflusst sein. Der Indikator erfüllt aber trotzdem oder gerade deshalb seinen Zweck: Das Thema der Ausbreitung von Mücken und gefährlichen Erregern bedarf einer größeren Aufmerksamkeit, damit aktives Handeln möglich wird.



Foto: © grafxart / stock.adobe.com

Wasserhaushalt und Wasserwirtschaft

Überblick	66
Wirkstrang „Veränderungen der Wasserverfügbarkeit“	69

Auswirkungen des Klimawandels – Impact

WW-I-1	Terrestrisch gespeichertes Wasser.....	70
WW-I-2	Grundwasserstand und Quellschüttung.....	72
WW-I-3	Mittlerer Abfluss	74
WW-I-4	Hochwasser.....	76
WW-I-5	Spitzenabflüsse in Fließgewässern	78
WW-I-6	Niedrigwasser	80
WW-I-7	Wasserstand von Seen.....	82
WW-I-8	Wassertemperatur von Seen	84
WW-I-9	Frühjahrsalgenblüte in Seen	86
WW-I-10	Wassertemperatur von Fließgewässern	88

Anpassungen an den Klimawandel – Response

WW-R-1	Wassernutzungsindex	90
WW-R-2	GAK-Mittel für den Hochwasserschutz.....	92
WW-R-3	Investitionen in den Hochwasserschutz – Fallstudie	93



Zur Bedeutung des Handlungsfelds

Im natürlichen Wasserkreislauf bewegt sich Wasser kontinuierlich in flüssigem, gasförmigem oder auch gefrorenem Zustand durch Land, Meer und Erdatmosphäre. Der Klimawandel treibt mit den höheren Temperaturen diesen Kreislauf an und beschleunigt und intensiviert Prozesse der Verdunstung. Mehr Wasser in der Atmosphäre erhöht die Wahrscheinlichkeit von Niederschlägen. Niederschlagsmuster verändern sich. Die bereits beobachtbaren Veränderungen im Wasserkreislauf haben erhebliche Auswirkungen auf Ökosysteme, Wirtschaft und Gesellschaft, denn nicht nur alle Lebewesen inklusive uns Menschen, sondern nahezu alle Wirtschaftsprozesse sind auf die Verfügbarkeit von Wasser, viele auch von qualitativ hochwertigem Wasser, angewiesen.

Die Wasserwirtschaft umfasst die Gesamtheit der Maßnahmen zur Regulierung des Wasserhaushalts, für die Trinkwassergewinnung und -verteilung sowie die Bewirtschaftung von Abwässern. Für die Wasserwirtschaft ist der Klimawandel eine große Herausforderung. Vor allem zunehmende Extremwetterereignisse erschweren die Planbarkeit. Die Klimafolgen für Gewässer und Grundwasser nehmen zu, die Anforderungen an deren Schutz und die Verbesserung ihrer Resilienz gegenüber den Klimawandelfolgen steigen. Gleichzeitig wachsen die Nutzungsansprüche weiter. Die Erfahrungen mit der Trockenheit in den Sommern der vergangenen Jahre zeigen, dass es in verschiedenen Regionen Deutschlands bereits heute zu Konflikten bei der Nutzung von Wasser kommen kann.

DAS-Monitoring – was im Klimawandel passiert

Bisher konnte man in Deutschland davon ausgehen, dass Wasser jederzeit in ausreichender Menge zur Verfügung steht. Lediglich die Sicherstellung einer hohen Wasserqualität war schon immer im Fokus. Bereits mit dem DAS-Monitoringbericht 2019 wurde deutlich, dass die Entwicklung der Grundwasserstände größerer Aufmerksamkeit bedarf. Die Daten aus den Trockenjahren 2018 bis 2020 zeigen, dass sich der Trend zu sinkenden Grundwasserständen und verringerten Quellschüttungen fortgesetzt hat. Vor allem in Norddeutschland ist die Entwicklung besorgniserregend (siehe Indikator WW-I-2, Seite 72). In ganz Deutschland wurden in den Dürrejahren Rekordunterschreitungen der langjährigen niedrigsten Grundwasserstände an den Messstellen ermittelt. Vergleichbare Trends gibt es auch bei den Wasserständen der Seen, die insbesondere im norddeutschen Tiefland eng an die Grundwasserstände gekoppelt sind: Zwischen 2018 und 2020 kam es zu teilweise massiven Wasserverlusten (siehe Indikator WW-I-7, Seite 82).

Sommerliche Niederschlagsdefizite und hohe Verdunstungsraten machen sich auch bei den Abflüssen der Fließgewässer bemerkbar: Die Mittelwasserabflüsse im Sommerhalbjahr nehmen seit 1961 signifikant ab (siehe Indikator WW-I-3, Seite 74), die Anzahl von Niedrigwassertagen im Sommerhalbjahr, also von Tagen, an denen an den jeweiligen Pegeln der mittlere Niedrigwasserabfluss (MNQ1960–1991) unterschritten wird, nimmt zu (siehe Indikator WW-I-6, Seite 80). Die Reduzierung der Wasserverfügbarkeit ist auch mit satellitengravimetrischen Daten nachweisbar. Das terrestrisch gespeicherte Wasser im Bereich Deutschlands hat in den letzten 20 Jahren signifikant abgenommen (siehe Indikator WW-I-1, Seite 70).

Dem Zu-wenig-Wasser auf der einen Seite steht auf der anderen ein Zu-viel-Wasser gegenüber. Vermehrte Starkregen, teilweise auch extreme Dauerregen infolge sogenannter Vb-Wetterlagen, führen immer wieder zu Hochwasser. Die bisherige Entwicklung der Hochwassertage zeigt allerdings seit 1961 weder für das Sommer- noch für das Winterhalbjahr einen signifikanten Trend (siehe Indikator WW-I-4, Seite 76). Die Entstehung von Hochwasser hängt stets mit besonderen Witterungskonstellationen zusammen, die bisher nicht systematisch und regelmäßig wiederkehren. Eine Analyse von Spitzenabflüssen der Fließgewässer (siehe Indikator WW-I-5, Seite 78) macht deutlich, dass es in den zurückliegenden Jahren vor allem im Sommerhalbjahr zu teilweise sehr extremen Hochwasserereignissen kam, in denen die langjährigen mittleren Hochwasserabflüsse an einigen Pegeln um mehr als das 8-Fache überschritten wurden. Dabei sind die Pegel im Hochwasserkatastrophengebiet von Ahr und Erft in der Pegelauswahl der DAS-Monitoringindikatoren zu den Abflüssen gar nicht enthalten.

Steigende Temperaturen in Kombination mit sommerlichem Wassermangel haben gravierende Auswirkungen auf die Gewässerökosysteme. Die Wassertemperaturen der Seen und Talsperren steigen seit 1961 signifikant (siehe Indikator WW-I-8, Seite 84). Das hat Folgen für das Eintreten der Frühjahrsalgenblüte (siehe Indikator WW-I-9, Seite 86) und die sommerliche Schichtung der Seen, was wiederum die chemischen und biologischen Prozesse in den Seen stark beeinflusst. Auch die Fließgewässertemperaturen stiegen in den letzten drei Dekaden signifikant (siehe Indikator WW-I-10, Seite 88). Hohe Wassertemperaturen mit verringerten Sauerstoffgehalten sind für viele Gewässerorganismen, vor allem für Fische, ein Problem.

Die künftigen Klimarisiken – Ergebnisse der KWRA

In der Klimawirkungs- und Risikoanalyse 2021 (KWRA, siehe Lesehilfe, Seite 7) werden bereits zur Mitte des Jahrhunderts hohe Risiken für Niedrigwasser, Hochwasser und das Versagen von Hochwasserschutzsystemen sowie für Sturzfluten und ein damit verbundenes Versagen von Entwässerungseinrichtungen und Überflutungsschutzsystemen erwartet. Allerdings ist die Gewissheit dieser Einschätzung als gering eingestuft worden. Das Risiko für Einschränkungen der Funktionsfähigkeit von Kanalnetzen, Vorflutern und Kläranlagen wurde zur Mitte und zum Ende des Jahrhunderts (in einem Bewertungsraster gering – mittel – hoch) als mittel eingeschätzt.

Für eine Erhöhung der Gewässertemperatur, eine Reduzierung der Eisbedeckung und eine Beeinträchtigung der biologischen Wasserqualität wird bereits zur Mitte des Jahrhunderts ein hohes Risiko gesehen. Die Gewissheit dieser Einschätzung wurde mit mittel bewertet. Dies

mag auch daran liegen, dass gerade die zurückliegenden extrem heißen und trockenen Jahre 2018–2020 die unmittelbaren Auswirkungen auf die Gewässer deutlich gemacht haben. Mit Blick auf die Entwicklung der chemischen Wasserqualität sind die Gewissheiten noch gering. Es wird hier erst zum Ende des Jahrhunderts von einem mittleren Risiko ausgegangen.

Auch das Risiko nachteiliger Auswirkungen auf Grundwasserstand und -qualität wurde ab Mitte des Jahrhunderts als hoch bewertet, bis zum Ende des Jahrhunderts sogar mit hoher Gewissheit. Diese Entwicklungen sind mit Folgerisiken für Wassernutzungen verbunden. So wird damit gerechnet, dass bis zum Ende des Jahrhunderts das Risiko für einen Mangel an Bewässerungswasser hoch, das für Einschränkungen bei der Bereitstellung von Trinkwasser und Produktionswasser mittel sein wird. Diese Bewertungen erfolgten mit geringer Gewissheit.

Wo haben wir Daten- und Wissenslücken?

Mit der engen Einbeziehung der Bundesländer in die Ausarbeitung der DAS-Monitoringindikatoren im Wasserbereich über die Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) / Kleingruppe Klimaindikatoren konnte eine breite Datenbasis für das DAS-Monitoring erschlossen werden. Die Diskussionen in der Kleingruppe haben außerdem dazu beigetragen, dass weitere Initiativen angestoßen wurden, um die Datenverfügbarkeit zu verbessern und zu weiteren relevanten Themen Monitoringdaten zu liefern. So wurden vom Expertenkreis Seen der LAWA bundesweit Seen ausgewählt, die mit spezieller Messtechnik ausgestattet wurden, um Tiefenstufen-differenzierte Messdaten unter anderem zur Temperatur zu liefern. Damit lassen sich künftig auch aussagekräftige Daten zur Entwicklung der Zirkulations- und Schichtungsverhältnisse der Seen gewinnen. Ferner wurde vom LAWA-Ausschuss Oberirdische Gewässer und Küstengewässer der Auftrag vergeben, die Kartieranleitungen der Gewässerstrukturkartierung stärker über die Bundesländer hinweg zu vereinheitlichen. Damit sollen künftig vergleichbare Daten zur Entwicklung der Struktur der Gewässer und Uferbereiche generiert werden. Vor diesem Hintergrund wurde auf die erneute Präsentation des im Monitoringbericht 2019 eingeführten Response-Indikators zum Uferbewuchs kleiner und mittelgroßer Gewässer verzichtet. Die Fallstudie für Brandenburg, Rheinland-Pfalz und Sachsen ließ sich nicht erweitern.

Im Rahmen eines parallel zur Weiterentwicklung des DAS-Monitorings im Auftrag des UBA durchgeführten

Forschungsvorhabens zur Nutzung von Satellitendaten wurden zur Verbesserung der Monitoringindikatoren im Wasserbereich Möglichkeiten erprobt, Daten zu generieren, deren In-situ-Erhebung mit erheblichem Aufwand verbunden oder flächendeckend gar nicht möglich ist. Es wurde vor allem am Aufbau von Zeitreihen zu Temperatur und Eisbedeckung sowie zum Eintreten der Frühjahrsalgenblüte in Seen gearbeitet. Die Zeitreihe zur Frühjahrsalgenblüte wurde in das Indikatorenset des DAS-Monitorings eingebunden. Für Eisbedeckung und Temperatur sind die Zeitreihen hingegen bisher noch vergleichsweise kurz.

Größere Datendefizite gibt es bei den Qualitätsparametern für die Fließgewässer. Die Erhebungen, die im Rahmen der Umsetzung der WRRL durchgeführt werden, sind zu Zwecken des Klimafolgenmonitorings nur sehr eingeschränkt nutzbar. Die Überblicksüberwachung dient der Bewertung des Gesamtzustands der Oberflächenwasserkörper und findet nur in größeren zeitlichen Abständen statt. Die operative Überwachung ergänzt die Messungen der Überblicksüberwachung, um ausreichend abgesicherte Daten im Hinblick auf Schwankungsbreiten zu erhalten. Sie findet aber nur an wenigen Messstellen statt. Die Überwachung zu Ermittlungszwecken soll weitere Erkenntnisse zu Ursachen von Beeinträchtigungen und zu Möglichkeiten ihrer Beseitigung bringen. Diese Messungen erfolgen in der Regel höherfrequent, die Messstellen liegen aber so, dass sie gezielt anthropogene Beeinträchtigungen erfassen können. Sie entsprechen damit nicht den Auswahlkriterien

für das Klimafolgenmonitoring, denen zufolge anthropogene Einflussfaktoren möglichst ausgeschlossen sein sollen. Für die dem DAS-Monitoringindikator zu den Fließgewässertemperaturen zugrunde gelegten Messstellen (siehe Indikator WW-I-10, Seite 88) wurde bestmöglich abgesichert, dass diese wenig anthropogen beeinflusst sind. Ausgeschlossen werden können diese Einflüsse aber nicht. Für das Klimafolgenmonitoring wäre es erforderlich, gezielt zu diesem Monitoringzweck Messstellen zu identifizieren und dort hochfrequente Erhebungen sicherzustellen.

Mit den bisherigen Indikatoren des DAS-Monitorings lassen sich zu den Auswirkungen des Klimawandels auf die Gewässerökologie nur Risikoassessungen ableiten. Eine direkte Erfassung beziehungsweise Auswertung von Daten zu biologischen oder auch stofflichen Veränderungen der Gewässer gibt es bisher nicht. Dies liegt zum einen an begrenzten Datenverfügbarkeiten vor allem zur Beschreibung und Interpretation von Veränderungen der Gewässerökologie. Im Falle der stofflichen Veränderungen sind aber auch noch viele fachliche Fragen ungeklärt. Es ist schwierig, die

spezifischen Auswirkungen des Klimawandels von anderen, vor allem anthropogenen Einflüssen abzugrenzen.

Während das DAS-Monitoring auf der Impact-Ebene mehrere aussagekräftige Indikatoren enthält, fehlt es auf der Response-Ebene nach wie vor an aussagekräftigen Indikatoren. Auch hier stößt die Indikatorentwicklung an Grenzen der Datenverfügbarkeit. So ist der bundesweite Indikator zum Wassernutzungsindex (WW-R-1, Seite 90) lediglich ein „Proxy“, um die Thematik der nachhaltigen Wassernutzung im Einklang von Wasserverfügbarkeit und -verbrauch im Monitoringbericht thematisieren zu können. Weitere Überlegungen unter anderem zu einer hochfrequenten Erfassung und zur Interpretation von Daten zu Spitzenwasserverbräuchen sind erforderlich. Auch das Thema Abwasserbewirtschaftung ist bisher im Monitoringbericht nicht verankert. Immer wichtiger wird auch der Blick auf den Landschaftswasserhaushalt, den stärkeren Wasserrückhalt in der Fläche und die Wiedervernässung, die bisher auch nur am Rande im Monitoringbericht thematisiert sind.

Was getan wird – einige Beispiele

Mit Blick auf die Stabilisierung des Landschaftswasserhaushalts, den Hochwasserschutz, die Erhaltung und Wiederherstellung eines guten ökologischen Zustands der Gewässer sowie eines guten mengenmäßigen Zustands des Grundwassers gibt es weitgehende Übereinstimmungen von Zielen der Anpassung an den Klimawandel mit den Zielen der WRRL und der EU-Richtlinie zum Hochwasserrisikomanagement (HWRM-RL). Die Umsetzung von Maßnahmen dieser Richtlinien erhält durch den Klimawandel eine höhere Dringlichkeit.

Im Hochwasserschutz gibt es bereits direkte politische Reaktionen auf die gestiegenen Hochwasserrisiken. Hierzu gehören das Nationale Hochwasserschutzprogramm (NHWSP) und der Sonderrahmenplan „Präventiver Hochwasserschutz“, in deren Fokus auch die Wiedergewinnung natürlicher Retentionsfläche liegt. Die Mittelaufwendungen für den Hochwasserschutz konnten in den letzten Jahren deutlich gesteigert werden (siehe Indikatoren WW-R-2, Seite 92, und WW-R-3, Seite 93). Im Kontext des Umgangs mit Niedrigwasser und Trockenheit werden derzeit auf Ebene der Bundesländer vorsorgende Strategien zur nachhaltigen Bewirtschaftung der Wasserressourcen sowie zur Vermeidung von und zum Umgang mit Wassernutzungskonflikten entwickelt. Diese Arbeiten haben infolge der extremen Dürre in 2018 bis 2020 besondere Dringlichkeit erlangt. Der Bund gibt diesen Arbeiten mit der am 15.03.2023 im Bundeskabinett beschlossenen

Nationalen Wasserstrategie⁵⁶ einen strategischen Rahmen. Die Strategie möchte im Zeithorizont bis 2050 einen nachhaltigen Umgang mit der Ressource Wasser für Mensch und Umwelt verwirklichen, den naturnahen Wasserhaushalt schützen und wiederherstellen sowie die Wasserinfrastrukturen klimaangepasst weiterentwickeln. Die Strategie bündelt erstmals die wasserbezogenen Maßnahmen in allen relevanten Sektoren (Landwirtschaft und Naturschutz, Verwaltung und Verkehr, Stadtentwicklung und Industrie) und beteiligt Bund, Länder, Kommunen, die Wasserwirtschaft und alle wassernutzenden Wirtschaftsbereiche und Gruppen. Im Aktionsprogramm sind 78 Maßnahmen vorgesehen, die ab sofort bis 2030 umgesetzt werden. Die Umsetzung der Nationalen Wasserstrategie ist eng verzahnt mit den Fördermitteln aus dem Aktionsprogramm Natürlicher Klimaschutz (ANK), das auch Mittel für klimabezogene Maßnahmen in der Wasserwirtschaft, zur Gewässerentwicklung und für Maßnahmen der wassersensiblen Stadtentwicklung bereitstellt. Weitere Maßnahmen von Bundesseite sind die Bereitstellung von Forschungsergebnissen und Informationsmaterialien wie den Niedrigwasserberichten der Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG), die zudem ein bundesweites, nutzergruppenspezifisches Niedrigwasserinformationssystem „NIWIS“ entwickelt.

Handlungsfeld-relevante Klimaveränderungen

Trockenheit und Starkregen

Auch wenn sich die mittleren Niederschlagsmengen in den letzten Jahrzehnten nur wenig verändert haben, ist es immer wieder phasenweise und regional sowohl zu extremen Wassermangelsituationen als auch zu heftigen Starkregenereignissen gekommen. Seit 2003 traten sommerliche Trockenphasen gehäuft auf. Im Falle der Starkregen erschwert die hohe räumliche und zeitliche Variabilität in Verbindung mit den relativ kurzen Datenreihen gesicherte Trendaussagen. Sowohl Trockenperioden als auch Starkregenereignisse haben Auswirkungen auf die Wasserverfügbarkeit (siehe Seite 24).



Auswirkungen des Klimawandels

WW-I-2 Grundwasserstand und Quellschüttung

Hohe Verdunstung im Sommer einerseits sowie zunehmende, überwiegend an der Oberfläche abfließende Starkregenereignisse andererseits führen zu einer verminderten Grundwasserneubildung und zu mittel- bis langfristig sinkenden Grundwasserständen in Deutschland, vor allem wenn gleichzeitig die Entnahmen durch erhöhten Wasserbedarf zunehmen. In den Dürre Jahren 2018–2020 wurden Rekordunterschreitungen der langjährigen niedrigsten Grundwasserstände und Quellschüttungen an den Messstellen ermittelt. Besonders besorgniserregend ist die Situation im Norden Deutschlands.



WW-I-7 Wasserstand von Seen

Auch die Wasserstände der Seen sinken deutlich und signifikant. Dies gilt sowohl für die Seen der norddeutschen Tiefebene, die im Wesentlichen von Grundwasser gespeist und damit von den sinkenden Grundwasserständen direkt betroffen sind, als auch für die Seen der Alpen und des Alpenvorlands, die zu einem größeren Teil vom Zufluss von Oberflächengewässern abhängen. In den Jahren 2018–2020 kam es teilweise zu massiven Wasserverlusten.



Anpassungen – Aktivitäten und Ergebnisse

Die Nationale Wasserstrategie bündelt wasserbezogene Maßnahmen in allen relevanten Sektoren und mit allen relevanten Akteuren. Im Zuge der Minderung der Wasserverfügbarkeit kann es zu Wassernutzungskonflikten kommen. Der Bund entwickelt gemeinsam mit den Bundesländern eine Leitlinie für transparente Entscheidungen zur Priorisierung von Wasserentnahmen. Viele Bundesländer erarbeiten zudem aktuell Strategien zum Umgang mit Niedrigwasser und Trockenheit sowie zur Sicherstellung der Wasserversorgung. Mit dem ANK werden klimabezogene Maßnahmen in der Wasserwirtschaft, zur Gewässerentwicklung und für Maßnahmen der wassersensiblen Stadtentwicklung gefördert.



Wasserspeicher nimmt ab

Der Klimawandel äußert sich in steigenden Lufttemperaturen und einem sich wandelnden Niederschlagsregime. Es verändern sich die jahreszeitliche Verteilung der Niederschläge und deren Intensität. Diese Veränderungen haben Einfluss auf den gesamten Wasserhaushalt, das bedeutet auf die Verdunstung, das Bodenwasser, die Sickerwasserbildung und die Grundwasserneubildung, den Oberflächenabfluss und den unterirdischen Zufluss zu den Oberflächengewässern.

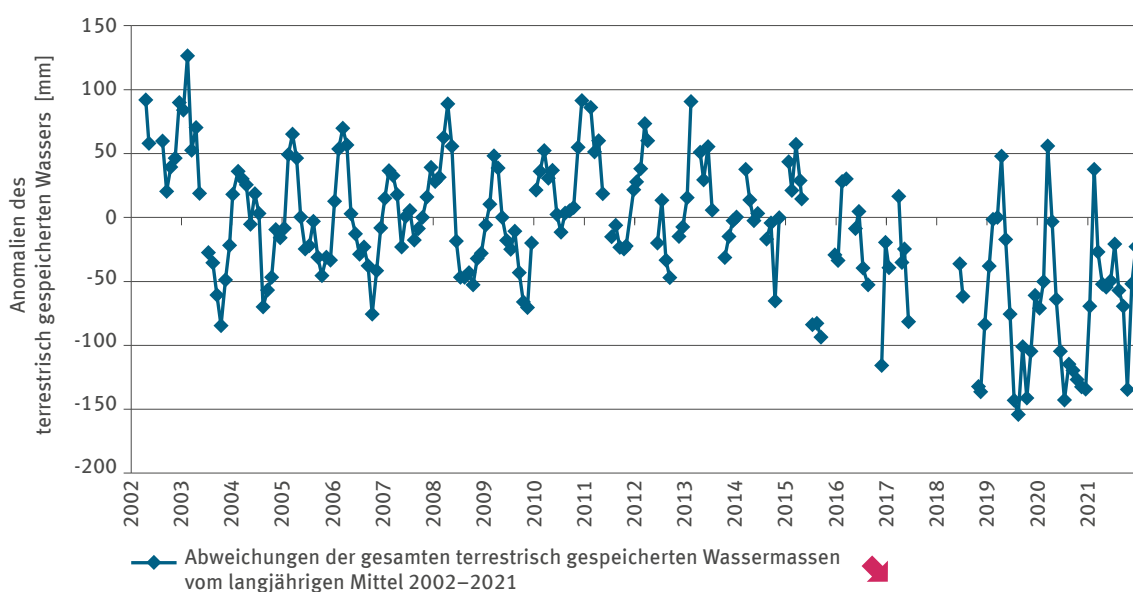
Die Wasserbilanz summiert alle Komponenten des Wasserhaushalts. Dabei entspricht die Differenz zwischen dem Niederschlag, der Verdunstung und dem Gebietsabfluss der Änderung des terrestrischen Wasserspeichers. Letzterer umfasst Wasser in verschiedenen Kompartimenten: Grund- und Bodenwasser, Wasser in Seen, Flüssen und Wasserreservoiren (wie Talsperren) sowie das in Eis und Schnee gebundene Wasser. In den zurückliegenden 20 Jahren hat das terrestrisch gespeicherte Wasser signifikant abgenommen. Das bedeutet stark vereinfacht ausgedrückt, dass es inzwischen in Deutschland insgesamt weniger Wasser gibt als noch vor 20 Jahren.

Bei den Daten, die dem Indikator zugrunde liegen, handelt es sich um Daten der Satellitenmission GRACE (Gravity Recovery and Climate Experiment, 2002–2017) und deren Folgemission GRACE-FO (GRACE Follow-On, 2018–2023). Diese Satelliten beobachten die zeitlichen Schwankungen des Schwerefelds der Erde. Die Massenverteilung auf der Erde ist nicht überall identisch, denn im Erdinneren bewegen sich flüssige Gesteinsmassen, in den Ozeanen und auf den Kontinenten Wassermassen, und auch die Luftmassen sind in ständiger Bewegung. Diese ungleiche Massenverteilung führt dazu, dass sich die Erdanziehungskraft nicht gleichförmig über den Erdball verteilt und das Schwerefeld an Stellen, an denen mehr Masse vorhanden ist, geringfügig stärker ist als an anderen Stellen. Im Gegensatz zu Radarverfahren und optischen Verfahren kann die Satellitengravimetrie nicht nur die oberflächennahen Speicherkompartimente, sondern auch den tiefen Untergrund erfassen.

Die GRACE-Mission wurde spezifisch konzipiert, um die Folgen des Klimawandels besser und umfassender in ihrer globalen Ausdehnung verstehen zu können. Die

WW-I-1: Terrestrisch gespeichertes Wasser

Das terrestrisch gespeicherte Wasser im Bereich der Bundesrepublik hat in den zurückliegenden 20 Jahren signifikant abgenommen. Vor allem in den Dürrejahren 2018–2020 gibt es deutliche negative Abweichungen vom Mittel der gesamten Zeitreihe. Die Zeitreihe basiert auf satellitengravimetrischen Daten der GRACE-Missionen, die das Schwerefeld der Erde vermessen und sowohl oberirdische als auch unterirdische Wasserspeicher erfassen können.



Datenquelle: ISDC, GravIS – GeoForschungsZentrum (Verarbeitung von GRACE-Daten)

Mission erbrachte unter anderem das Ergebnis, dass die Eismassen in Grönland zwischen 2002 und 2016 um rund 270 Mrd. Tonnen pro Jahr zurückgegangen sind⁵⁷.

Nach Eliminierung des atmosphärischen Wassergehalts über der Landmasse Mitteleuropas ermöglicht GRACE, Änderungen des terrestrisch gespeicherten Wassers quantitativ zu erfassen. Damit können nun auch die in hydrologischen Modellen berechneten Wassermengen mit den indirekten Messungen verglichen werden.

Die räumliche Auflösung der Satellitendaten beträgt 300 km. In einer nachgeschalteten Daten-Prozessierung werden daraus höher aufgelöste Rasterdaten (circa 110 km Länge und 70 km Breite) berechnet, die für die Abbildung des gesamten Bundesgebiets mit Ausnahme der Küstengebiete ausreichend detailliert aufgelöst sind. In der Zeitreihe für Deutschland bilden sich sowohl markante Hochwasserereignisse wie zuletzt 2011 und 2013 (siehe WW-I-4, Seite 76) als auch die Effekte der Dürrejahre 2018 bis 2020⁵⁸ sehr deutlich ab. Allerdings sind die Daten für das Jahr 2018 lückenhaft, da die erste GRACE-Mission 2017 endete und GRACE-FO erst im Mai 2018 gestartet wurde. Die Datenabdeckung im Übergang der beiden Missionen war unzureichend. Die ebenfalls größeren Datenlücken im Jahr 2015 lassen sich auf Batterieprobleme an Bord von GRACE zurückführen, weshalb die Instrumente zeitweise abgeschaltet werden mussten. Das mit dem Einsatz von GRACE-FO erkennbare höhere Rauschen, also die größere Amplitude der Daten, ist primär auf eine erhöhte solare Aktivität zurückzuführen, die die Reibung an den Satelliten verstärkt.

Im dargestellten Indikator werden ausgehend von den monatlichen absoluten Werten die Abweichungen zum langjährigen Mittel der gesamten 20-jährigen Zeitreihe 2002–2021 ermittelt. Monate, in denen die Niederschläge den Wasserverlust durch Verdunstung und Abfluss übersteigen, gehen mit einer positiven Anomalie in die Zeitreihe ein. Monate, in denen die Verdunstung überwiegt, zeigen eine negative Anomalie.

In absoluten Zahlen gehört Deutschland zu den Regionen mit dem höchsten Wasserverlust weltweit. Seit der Jahrtausendwende verliert das Land 2,5 Gigatonnen oder Kubikkilometer Wasser pro Jahr. Für die 20 Jahre zusammengefasst entspricht diese Menge dem Wasser des Bodensees. Es handelt sich also um eine enorme Menge von Wasser.⁵⁹

Die Zeitreihe zeigt deutliche Übereinstimmungen mit den im Folgenden präsentierten Messreihen zum Grundwasserstand (siehe Indikator WW-I-2, Seite 72), zu



Die Satelliten der GRACE-Mission ermitteln die terrestrisch gespeicherten Wassermassen. In Deutschland nahmen diese in den letzten 20 Jahren ab. (Foto: © dimazel / stock.adobe.com)

Hochwasser (siehe Indikator WW-I-4, Seite 76) und Niedrigwasser (siehe Indikator WW-I-6, Seite 80) sowie zum Wasserstand von Seen (siehe Indikator WW-I-7, Seite 82).

Sinkende Grundwasserstände

Wie viel Grundwasser sich in einem Gebiet neu bilden kann und welche Grundwasserstände sich einstellen, hängt von einer Vielzahl unterschiedlicher Einflussgrößen. Dazu gehören unter anderem der Abstand der grundwasserleitenden Schicht von der Geländeoberkante, die Beschaffenheit der Deckschichten über dem Grundwasser, die Größe und Gestalt der Hohlräume im Gestein, der unterirdische Zu- und Abfluss von Grundwasser sowie die Entnahmen. Vor allem wird die Grundwasserneubildung aber durch den Niederschlag sowie den oberirdischen Abfluss und das Verdunstungsgeschehen bestimmt. Ändern sich die klimatischen Rahmenbedingungen, hat dies Auswirkungen auf die Grundwasserneubildung.

Steigende Temperaturen sind Auslöser für eine insgesamt höhere potenzielle Verdunstung mit der Folge, dass weniger Wasser versickert und ins Grundwasser infiltriert. Jahre mit einer geringen Gesamtniederschlagsmenge machen sich zwar nicht unmittelbar im Grundwasserstand bemerkbar, weil das Grundwasser im Vergleich zu Oberflächengewässern eher träge auf ein verändertes Niederschlagsregime reagiert. Die Situation kann sich aber zuspitzen,

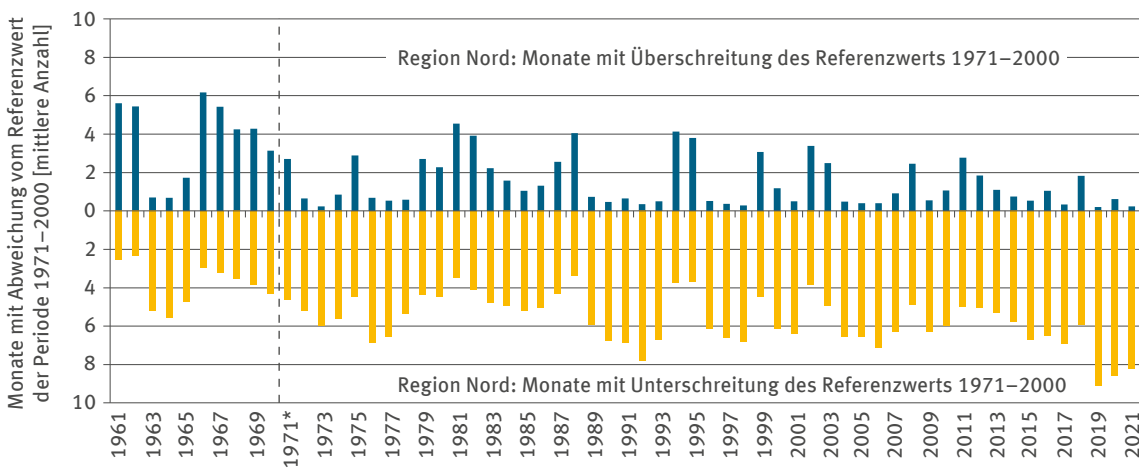
wenn die Wasserverfügbarkeit durch abnehmende Niederschläge und gleichzeitig höhere Verdunstung auf Dauer eingeschränkt wird. Sowohl die Veränderung der Temperaturen als auch der Niederschläge beeinflussen den oberirdischen Abfluss mit Auswirkungen auf das Grundwasser: Fällt der Niederschlag vermehrt im Winter und trifft dabei auf wassergesättigte oder möglicherweise auch gefrorene Böden, kann er nur begrenzt versickern. Im Sommer hingegen trocknen die Böden stärker aus und können die Niederschläge, die zudem häufiger als Starkregen fallen, ebenfalls nicht oder kaum aufnehmen. Die weiter zunehmende Flächenversiegelung (siehe Indikator RO-R-5, Seite 310) und mangelnde Strukturvielfalt in intensiv landwirtschaftlich genutzten Gebieten verstärken die Problematik einer geringeren Grundwasserneubildung.

Um einen Überblick über die Entwicklung der Grundwasserstände in Deutschland zu erhalten, wurden zur Generierung der beiden Indikatoren für alle Flächenländer (mit Ausnahme des Saarlands) und hydrogeologischen Räume 148 Grundwassermessstellen und Quellschüttungen ausgewählt, für die Daten möglichst kontinuierlich ab



WW-I-2a: Grundwasserstand und Quellschüttung Region Nord

In den nördlichen Bundesländern führten die extrem trockenen Jahre 2018 bis 2020 dazu, dass die Grundwasserstände vieler Messstellen zuletzt Rekordtiefstände verzeichneten. Im Durchschnitt der Jahre 2019 bis 2021 lagen – über alle betrachteten Messstellen gemittelt – die Monatsmittel der Grundwasserstände oder Quellschüttungen an mehr als 8,5 Monaten im Jahr unter dem langjährigen Mittel der niedrigsten Grundwasserstände oder Quellschüttungen.



- Überschreitung des mittl. höchsten Grundwasserstands / der mittl. höchsten Quellschüttung 1971–2000
- Unterschreitung des mittl. niedrigsten Grundwasserstands / der mittl. niedrigsten Quellschüttung 1971–2000

Region Nord: Brandenburg, Mecklenburg-Vorpommern, Niedersachsen, Nordrhein-Westfalen, Sachsen-Anhalt, Schleswig-Holstein
 * Erweitertes Messstellenkollektiv ab 1971
 Datenquelle: Grundwassermessnetze der Länder

1971 zur Verfügung stehen; für 117 Messstellen reichen die Beobachtungsreihen sogar bis in das Jahr 1961 zurück. Es handelt sich in allen Fällen um Messstellen, die den obersten Grundwasserleiter erfassen und anthropogen möglichst unbeeinflusst sind. Das heißt, im Einzugsgebiet finden keine relevanten Grundwasserentnahmen oder Beregnungen statt, die Bodenversiegelung ist gering und es gab im Beobachtungszeitraum nur wenig Änderungen in der Flächenbewirtschaftung. So lassen sich die beobachteten Veränderungen zu einem erheblichen Anteil mit dem Wandel des Temperatur- und Niederschlagsregimes in Zusammenhang bringen.

Aufgrund der unterschiedlichen naturräumlichen und klimatischen Voraussetzungen innerhalb Deutschlands wird der Indikator differenziert für den nördlichen und südlichen Teil Deutschlands abgebildet. Dargestellt ist jeweils die über alle Messstellen gemittelte Anzahl von Monaten, in denen die Monatsmittel der Grundwasserstände oder Quellschüttungen niedriger waren als die für die jeweiligen Messstellen über die Jahre 1971 bis 2000 gemittelten niedrigsten Grundwasserstände oder Quellschüttungen. Analog wurde beim Vergleich der Monatsmittel der Grundwasserstände oder Quellschüttungen

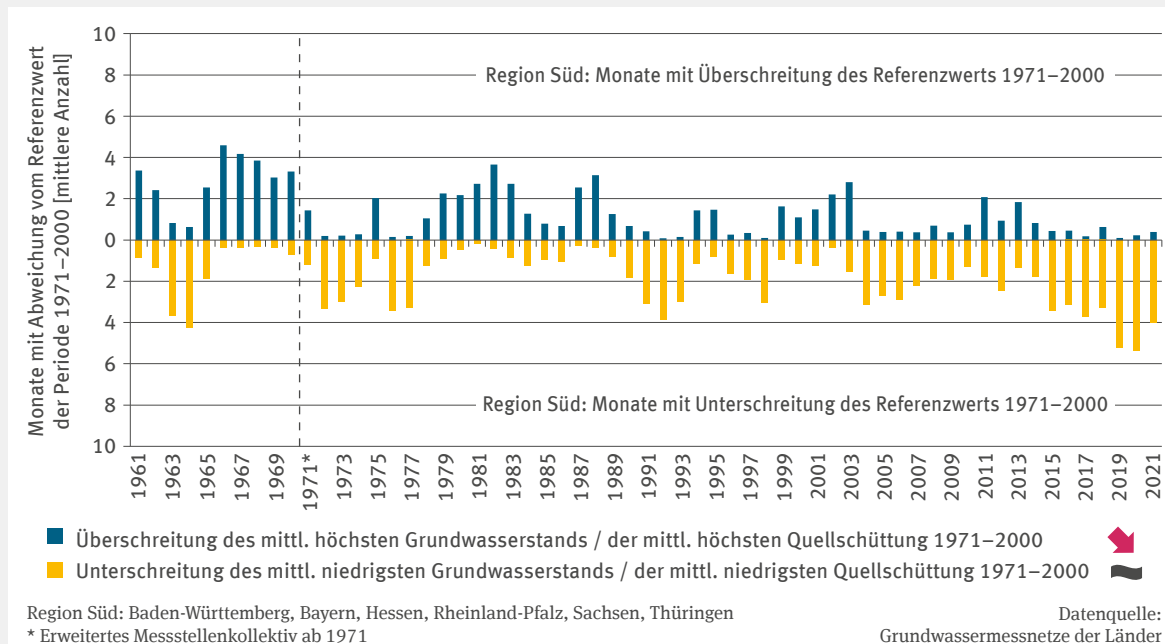
mit den langjährigen höchsten Grundwasserständen oder Quellschüttungen verfahren.

Die Trends einer sinkenden Anzahl von Monaten mit Überschreitung der langjährigen höchsten Grundwasserstände oder Quellschüttungen sowie einer steigenden Anzahl von Monaten mit Unterschreitung der langjährigen niedrigsten Grundwasserstände oder Quellschüttungen sind im Norden deutlicher ausgeprägt als im Süden und statistisch signifikant. Im Süden sind nur die rückläufigen Überschreitungen signifikant. In beiden Regionen kam es aber als Folge der extrem trockenen Jahre 2018 bis 2020 ab 2019 zu Rekordniedrigständen. Es gibt mehrere Messstellen, an denen ab 2019 (fast) ganzjährig die Monatsmittel der Grundwasserstände oder Quellschüttungen unter den langjährigen niedrigsten Grundwasserständen oder Quellschüttungen lagen.

In Deutschland stammen fast drei Viertel des Trinkwassers aus Grundwasser. Die mengenmäßig ausreichende Neubildung von Grundwasser ist daher eine wesentliche Voraussetzung sowohl für eine nachhaltige Trinkwasserbereitstellung als auch für die Wasserversorgung von Ökosystemen.

WW-I-2b: Grundwasserstand und Quellschüttung Region Süd

In den südlichen Bundesländern stellt sich die Situation grundsätzlich ähnlich dar wie im Norden. Auch hier schlagen sich die Folgen der Dürrejahre in außerordentlich niedrigen Grundwasserständen oder Quellschüttungen nieder. War die Zeitreihe bis zur Jahrtausendwende immer wieder von mehr oder weniger zyklisch wiederkehrenden Nassclustern geprägt, sind diese seit 2004 nahezu ausgeblieben oder sind zumindest deutlich weniger ausgeprägt.



Sinkende mittlere Abflüsse im Sommerhalbjahr

Das natürliche Abflussgeschehen der Fließgewässer wird im überwiegenden Teil Deutschlands von Regenfällen bestimmt. In der warmen Jahreszeit spielt zudem die Höhe der Verdunstung eine Rolle. Dadurch treten im Mittel hohe Abflüsse im Winter und im zeitigen Frühjahr auf, niedrige Abflüsse hingegen im Spätsommer und Herbst. Vor allem im Süden Deutschlands ist für das Abflussgeschehen neben dem Regen auch die winterliche Schneebedeckung entscheidend. Da der Niederschlag in den alpin geprägten Einzugsgebieten der großen Flüsse wie Iller, Isar, Lech und Inn im Winter in Form von Schnee angesammelt wird, treten in dieser Jahreszeit die geringsten Abflüsse auf. Aufgrund der Schneeschmelze im Frühjahr und Frühlommer, die häufig zusätzlich von Regenfällen begleitet wird, kommt es zu einem Abflussmaximum in der Jahresmitte. Man spricht in diesem Falle von einem nivalen Abflussregime.

Neben den Niederschlägen spielen zudem das Relief der Einzugsgebiete und der Untergrund eine wichtige Rolle und sind entscheidend dafür, wie schnell die Niederschläge tatsächlich abflusswirksam werden.

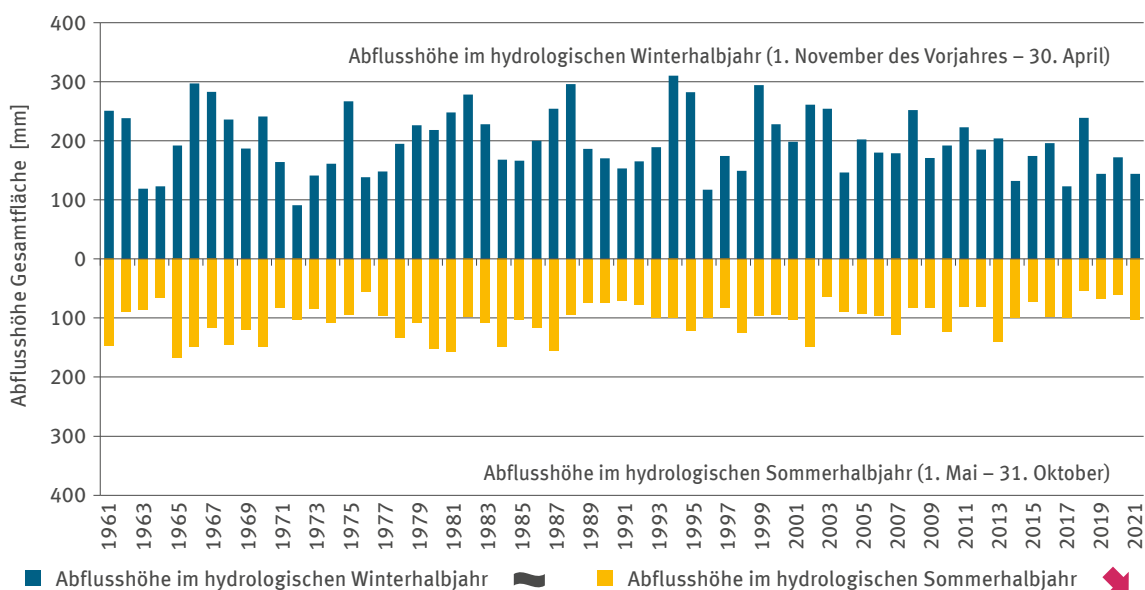
Ändern sich infolge des Klimawandels die Niederschlags- und Temperaturverhältnisse, so wirkt sich dies auch auf das Abflussgeschehen aus. Konsequenzen können sich sowohl für die Menge des insgesamt abfließenden Wassers als auch die jahreszeitliche Verteilung des Abflusses ergeben.

Für die Analyse des Abflussgeschehens und seiner Entwicklung wurden über die Flussgebiete Deutschlands verteilt insgesamt 76 Pegel ausgewählt. Sie repräsentieren mittlere Einzugsgebietsgrößen in einer Größenordnung von 250 bis 2.500 km². Es handelt sich dabei um Pegel, die möglichst wenig anthropogen beeinflusst sind, das heißt an denen Abflusshöhen ermittelt werden, die beispielsweise nicht von Wasserüberleitungen oder Stauhaltungen überprägt sind.

Der Mittelwasserabfluss (MQ) beziehungsweise die daraus unter Berücksichtigung der Einzugsgebietsgröße abgeleitete jährliche Abflusshöhe (Ah) ist ein Indikator für das Wasserdargebot. Er gibt Auskunft über die prinzipielle Wasserverfügbarkeit und somit über das Wasser,

WW-I-3: Mittlerer Abfluss

Die mittlere Abflusshöhe an 76 über die Flussgebiete Deutschlands verteilten Pegeln zeigt deutliche Schwankungen zwischen den Jahren. Die Abflusshöhe im hydrologischen Winterhalbjahr ist seit 1961 leicht, wenn auch nicht signifikant gesunken. Im Sommerhalbjahr ist der Rückgang der mittleren Abflusshöhe hingegen signifikant und deutet auf eine Veränderung der sommerlichen Wasserverfügbarkeit hin.



Datenquelle: Abflusspegel der Länder

das zur Bewirtschaftung und für die verschiedenen Oberflächenwassernutzungen wie Kühlwassernutzung oder Schifffahrt zur Verfügung steht. Veränderungen des mittleren Abflusses können auch Veränderungen der Grundwasserstände in ufernahen Bereichen (siehe Indikator WW-I-2, Seite 72) nach sich ziehen und auf diesem Wege unter anderem die Trink- und Brauchwasserversorgung beeinflussen. Nicht zuletzt sind die Wasserführung und die damit verbundenen Fließgeschwindigkeiten auch für nahezu alle ökologischen Funktionen der Gewässer bedeutsam.

Bei Betrachtung der Zeitreihe seit den 1960er-Jahren zeigt sich für das hydrologische Winterhalbjahr von Anfang November bis Ende April zwar ein leichter Rückgang des mittleren Abflusses, es handelt sich aber nicht um einen statistisch signifikanten Trend. Im hydrologischen Sommerhalbjahr, das heißt von Anfang Mai bis Ende Oktober, lässt sich hingegen bereits ein signifikant abnehmender Trend beobachten. Dieser ist Folge abnehmender Sommerniederschläge und einer temperaturbedingt höheren Verdunstung in diesen Monaten. Die Entwicklungen lassen den Rückschluss zu, dass sich Veränderungen der prinzipiellen Wasserverfügbarkeit im Winter- und Sommerhalbjahr bereits abzeichnen.

Über Deutschland gemittelt sind aufgrund der oben beschriebenen Wirkung von Niederschlag und Verdunstung die winterlichen Abflüsse generell deutlich höher als die Abflüsse im Sommerhalbjahr. Das Niedrigwasserjahr 1972 ist das einzige Jahr in der betrachteten Zeitreihe, in dem die sommerlichen Abflüsse die winterlichen geringfügig übertroffen haben. Seither war dies in keinem Jahr mehr der Fall. Allerdings zeigt das Verhältnis der mittleren Abflüsse im Sommer- und Winterhalbjahr bisher keine statistisch signifikante Veränderung.

Im Flussgebiet der Donau, dessen Abflussgeschehen durch Flüsse mit vorwiegend nivalem Abflussregime geprägt ist, gab es von 1960 bis Ende der 1980er-Jahre noch ebenso viele Jahre, in denen die Sommerabflüsse überwogen, wie solche mit höheren Winterabflüssen. Nach 1990 sind die Jahre, in denen die Abflüsse im Winterhalbjahr die des Sommerhalbjahres übertrafen, deutlich häufiger. Dies deutet darauf hin, dass der Einfluss der Schneedecke auf das Abflussgeschehen abnimmt.



Der mittlere Abfluss deutscher Fließgewässer geht im Sommerhalbjahr zurück. Das bedeutet, dass die Wasserverfügbarkeit in dieser Jahreszeit sinkt. (Foto: © Uwe / stock.adobe.com)

Hochwasserereignisse – nur wenige signifikante Trends

Im Vergleich zu den Schwankungen und Veränderungen des mittleren Abflusses (siehe Indikator WW-I-3, Seite 74) sind Hochwasserereignisse stärker im Bewusstsein der Öffentlichkeit, da sie Menschen und Sachgüter ganz unmittelbar treffen können.

Die Zeitreihe seit 1961 macht deutlich, dass das Hochwassergeschehen von Jahr zu Jahr sehr unterschiedlich ausgeprägt ist. Dies gilt sowohl für das Ausmaß von Hochwasserereignissen als auch deren jahreszeitliche Verteilung. Für den Indikator wurden für 75 über die Flussgebiete Deutschlands verteilte Pegel die Hochwassertage ausgewertet. Hochwassertage sind Tage, an denen der mittlere Tagesabfluss höher ist als der für den jeweiligen Pegel ermittelte mittlere Hochwasserabfluss (MHQ) der Referenzperiode 1961–1990. Der MHQ wird differenziert für das hydrologische Winterhalbjahr (1. November des Vorjahres bis 30. April) und das Sommerhalbjahr (1. Mai bis 31. Oktober) aus den jeweils höchsten Abflüssen (HQ) der einzelnen Halbjahre berechnet.

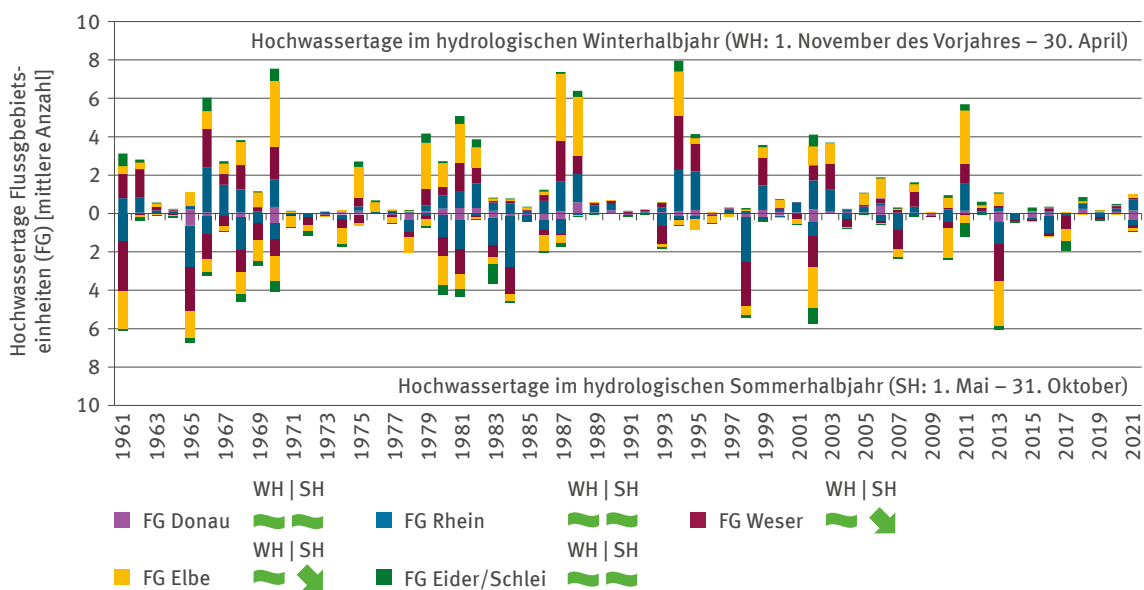
Mittelt man die Anzahl der Hochwassertage über alle betrachteten Pegel eines Flussgebiets, wird deutlich, auf welche Flussgebiete sich das Hochwassergeschehen in welchen Jahren jeweils konzentriert hat. Hochwasserereignisse können durch regional begrenzte Witterungskonstellationen ausgelöst werden. Im Sommer sind dies in der Regel über mehrere Tage anhaltende Regenfälle oder Starkregenereignisse, die häufig sehr lokal begrenzt auftreten. Im Winter führen über mehrere Tage bis Wochen anhaltende Niederschläge oder häufig auch Tauwetterlagen verbunden mit Regenfällen zu Hochwasser, da es unter diesen Bedingungen innerhalb weniger Stunden zum Abfluss großer Wassermengen kommen kann.

Unter den Sommerhochwasserereignissen nach der Jahrtausendwende treten insbesondere die Jahre 2002 und 2013 hervor. Das Hochwasser im August 2002 betraf innerhalb Deutschlands vor allem das Elbe- und Donaugebiet. Es wurde durch tagelange extreme Regenfälle verursacht und führte zu wochenlangen Hilfseinsätzen, um die Flutkatastrophe zu bewältigen. Auch das Hochwasser Ende Mai und Anfang Juni 2013 wurde durch



WW-I-4: Hochwasser

Die Zeitreihen zum Hochwassergeschehen sind durch einzelne Hochwasserereignisse im Winter- und Sommerhalbjahr geprägt. Signifikante Trends gibt es nur in wenigen Fällen. Je nach Witterungskonstellation ergeben sich räumliche Schwerpunkte des Hochwasserauftretens. In der Regel sind davon aber mehrere Flussgebiete betroffen. Aufgrund der eingeschränkten Pegelauswahl für den Indikator werden nicht alle Hochwasserereignisse erfasst.



Datenquelle: Abflusspegel der Länder

mehrtägige Regenfälle ausgelöst. Stark betroffen waren neben Deutschland und Österreich auch weitere Länder in Mittel- und Osteuropa. Der Mai des Jahres 2013 gehörte zu den niederschlagsreichsten seit Beginn der systematischen Wetteraufzeichnungen. Im Jahr 2017 sorgte im Juli das Tiefdruckgebiet Alfred für mehrtägige Regenfälle und führte vor allem im Harz und Harzvorland zu Hochwasser. Entsprechend war auch das Flussgebiet der Weser am stärksten betroffen.

Zum jüngsten großen Winterhochwasser kam es im Januar 2011 mit räumlichem Schwerpunkt im Elbe- und Maingebiet, aber auch die anderen großen Flussgebiete waren betroffen. Dem Hochwasser ging ein vergleichsweise niederschlagsreicher Dezember voraus, in dem sich auch in tieferen Lagen erhebliche Schneehöhen akkumulierten. So war eine beachtliche Wassermenge in der Schneedecke gespeichert, als ab der zweiten Januarwoche mit einem atlantischen Tiefausläufer starkes Tauwetter einsetzte, das zu einem raschen Abschmelzen der Schneedecken auch im Bergland führte. Dem Tauwetter folgten unmittelbar mehrere Regengebiete mit ergiebigen Niederschlägen.

Die schwere Hochwasserkatastrophe im Juli 2021, bei der in Deutschland über 180 Menschen ihr Leben verloren und die vor allem die Länder Rheinland-Pfalz und Nordrhein-Westfalen, aber auch Bayern und Sachsen betraf, spiegelt sich im Indikator nicht mit außergewöhnlich hohen Werten wider. Dies liegt darin begründet, dass der Indikator darauf ausgerichtet ist, regionale Flusshochwasser abzubilden und daher Daten von (anthropogen möglichst unbeeinflussten) Pegeln mittlerer Einzugsgebietsgröße nutzt. Für kleinräumige Hochwasserereignisse oder Sturzfluten ist die Dichte der berücksichtigten Pegel nicht ausreichend. So sind die von der Katastrophe besonders betroffenen Landkreise in Rheinland-Pfalz und Nordrhein-Westfalen mit der dem Indikator zugrunde gelegten Pegelauswahl kaum abgedeckt. Daten der Ahr beispielsweise, deren Hochwasser im Ahrtal zu gravierenden Schäden führte, fließen in den Indikator nicht ein.

Insgesamt zeigt die Entwicklung der Hochwassertage für die bisherige Zeitreihe sowohl für das Sommer- als auch für das Winterhalbjahr in den Flussgebieten nur sehr wenige signifikante Trends. Die Entstehung des Hochwassers hängt stets mit besonderen Witterungskonstellationen zusammen, die aber bisher nicht systematisch und regelmäßig wiederkehrend auftreten. Auch zur Verteilung der Hochwassertage auf das hydrologische Winter- und Sommerhalbjahr lässt sich bisher kein Trend feststellen. Die Ereignisse treten in beiden Halbjahren auf, etwas vermehrt im Winter. An Weser und Elbe ist die Anzahl der Sommerhochwasser rückläufig. Hier scheinen sich die im



Zu schweren Hochwasserereignissen kommt es immer wieder, auch wenn die Anzahl von Hochwasserereignissen statistisch bisher nicht zunahm. (Foto: © Seewald / stock.adobe.com)

Sommer abnehmenden Niederschläge schon im Hochwassergeschehen niederzuschlagen.

Ein einzelnes Hochwasserereignis lässt sich nicht mit dem Klimawandel erklären. Atmosphärenbedingungen und Großwetterlagen, die die Bildung von Hochwasser begünstigen, weisen eine große Variabilität auf. Mit der Erwärmung kann die Atmosphäre grundsätzlich mehr Wasserdampf speichern, also Feuchtigkeit aufnehmen, und das Potenzial für Starkregen nimmt zu. Westwindlagen im Winter könnten künftig ebenso zunehmen wie die Häufigkeit und Ausprägung von sogenannten Vb-Zugbahnen im Sommer. Bei diesen Wetterlagen verlagern sich Tiefdruckgebiete vom Mittelmeer, wo sie sich mit Wasserdampf aufladen, nach Mitteleuropa. Häufig ziehen sie östlich an den Alpen vorbei und regnen sich dann an den östlichen Mittelgebirgen und dem östlichen Alpenvorland ab. Die die Vb-Zugbahn verursachende Wetterlage kann lange Zeit stationär bleiben und für Dauerregen oder auch Hitzewellen sorgen.

Neben dem Klimawandel beeinflussen allerdings auch zahlreiche andere Entwicklungen das Hochwassergeschehen. Zunehmende Versiegelung (siehe Indikator RO-R-5, Seite 310) und Bodenverdichtung in den Einzugsgebieten sowie Begrenzungen natürlicher Überflutungsflächen und Eindeichungen (siehe Indikatoren BD-R-2, Seite 210, und RO-R-6, Seite 312) führen zu höheren und schnelleren Abflüssen in den Flüssen.

Manche Hochwasserereignisse sind extrem

Der Indikator zu den Hochwassertagen (siehe WW-I-4, Seite 76) erlaubt keine Aussagen zur Schwere der Hochwasserereignisse. Als Hochwassertage gelten alle Tage, an denen der langjährige mittlere Hochwasserabfluss (MHQ) des jeweiligen Pegels überschritten wurde, unabhängig davon, wie hoch diese Überschreitung ausgefallen ist.

Extreme Hochwasserereignisse können je nach Ort des Auftretens und der Nutzung in den überschwemmungsgefährdeten Bereichen zu schwerwiegenden Sach- und Personenschäden führen (siehe Indikator BAU-I-5, Seite 226). Die Festsetzung von Überschwemmungsgebieten und die Bemessung von Hochwasserschutzmaßnahmen orientiert sich oftmals an einem 100-jährlichen Hochwasser (HQ100), also einem Hochwasserereignis, das statistisch gesehen mindestens einmal in 100 Jahren auftritt. Bei extremen Hochwasserereignissen, die über ein HQ100 hinausgehen, ist dieser Hochwasserschutz meist nicht ausreichend.

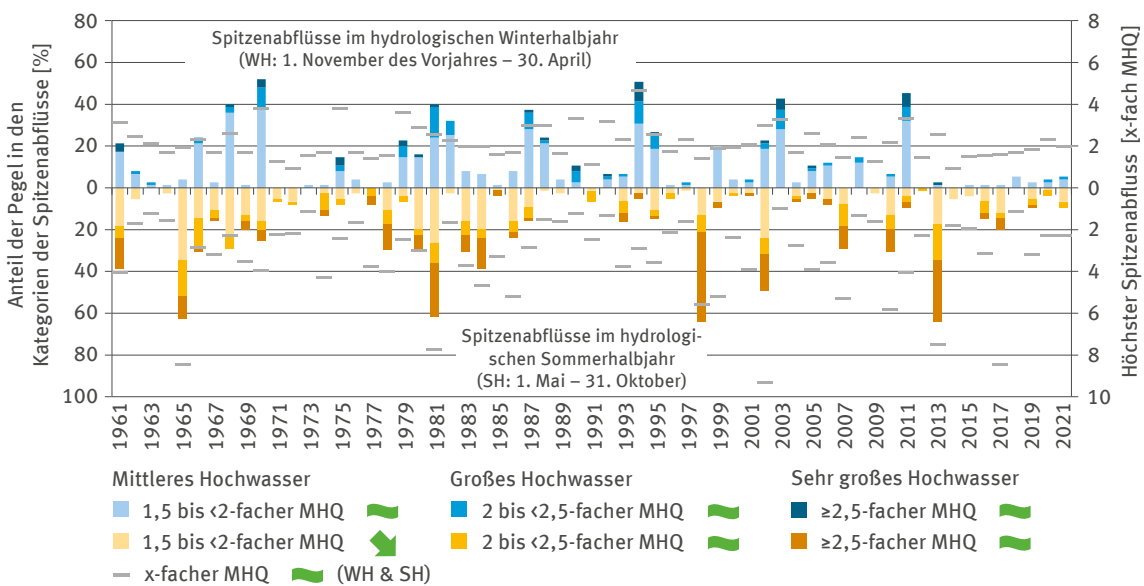
Vereinfachend kann man davon ausgehen, dass eine 1,5- bis weniger als 2-fache Überschreitung des MHQ einem Hochwasserabfluss mit einer Wiederkehrzeit von fünf (HQ5) bis 20 Jahren (HQ20) entspricht. Eine Überschreitung des MHQ um das 2- bis unter 2,5-Fache entspricht einem Abfluss, der nach den bisherigen Beobachtungen rund einmal in 20 Jahren (HQ20) bis einmal in 50 Jahren (HQ50) auftritt. Kommt es zu einem Hochwasserabfluss, der mindestens dem 2,5-Fachen des MHQ gleichkommt, so entspricht dies einem Abfluss, der seltener als einmal in 50 Jahren auftritt. Dabei ist zu berücksichtigen, dass das Auftreten extremer Hochwasser die Statistik verändern kann (aus einem einmaligen HQ100 kann dann beispielsweise ein HQ50 werden).

Die Datenauswertung zu den Spitzenabflüssen macht deutlich, dass die extremeren Hochwasserereignisse bevorzugt in den Sommermonaten auftreten. Das heißt, es kommt dann häufiger zu Ereignissen, die das HQ50 überschreiten. Auch die extremsten Ereignisse mit Überschreitung des mehr als 8- oder 9-Fachen des MHQ fanden im Sommerhalbjahr statt. Statistisch signifikante Trends gibt



WW-I-5: Spitzenabflüsse in Fließgewässern

Extreme Hochwasserereignisse können je nach Ort des Auftretens und Nutzung der überschwemmungsgefährdeten Bereiche zu schwerwiegenden Schäden führen. Zu den extremsten Hochwassern kam es bisher in den Sommermonaten, wenn Starkregen oder Dauerregen dazu führen, dass die Landschaft das Wasser nicht mehr zurückhalten kann. An einzelnen Pegeln kann dann das langjährige MHQ um das mehr als 8- oder 9-Fache überschritten werden.



Datenquelle: Abflusspegel der Länder

es bisher – mit Ausnahme einer Abnahme der Anteile von Pegeln in der Kategorie Mittleres Hochwasser im Sommerhalbjahr – nicht. Auffällig sind aber Jahre wie 1998 und 2013, in denen die Hochwasserstände vieler Pegel in die Kategorie sehr großes Hochwasser eingeordnet werden mussten. Im Jahr 1998 war der Oktober, sonst ein eher wenig niederschlagsreicher Monat, extrem regenreich. Es war der bis dahin nasseste Oktober seit Beginn der systematischen Wetteraufzeichnungen. Deutschlandweit kam es zu Überschwemmungen, besonders extrem war das Hochwasser im Einzugsgebiet von Weser, Aller und Leine. Im Jahr 2013 bahnte sich das Hochwasser entlang der Donau, Saale, Elbe und weiterer Flüsse seinen Weg durch große Teile Deutschlands: Bayern, Thüringen, Sachsen, Sachsen-Anhalt, Brandenburg, Mecklenburg-Vorpommern, Niedersachsen und Schleswig-Holstein waren betroffen.

Auch für diesen Indikator ist der Hinweis wichtig, dass sich die Hochwasserkatastrophe im Ahr- und Erfttal 2021 in den Daten nicht abbildet, da die für dieses Gebiet relevanten Pegel nicht in der Pegelauswahl für den Monitoring-Indikator enthalten sind. Auslöser des Hochwassers im Juli waren ausgeprägte Starkregenereignisse. Insbesondere in Teilen von Nordrhein-Westfalen und Rheinland-Pfalz wurden bis zu $1001/\text{m}^2$ Niederschlag in 72 Stunden, lokal sogar über $1501/\text{m}^2$ Niederschlag in 24 Stunden gemessen. Die Extremniederschläge ließen vor allem die kleinen Gewässer rasch anschwellen und über die Ufer treten. Bei solchen extremen Hochwasserereignissen kann es auch passieren, dass Pegel komplett zerstört werden und infolgedessen gar keine Daten mehr zur Verfügung stehen.

Der Indikator zeigt zusätzlich auch die im jeweiligen Jahre erreichten höchsten Überschreitungen des MHQ der jeweiligen Pegel. Das bedeutet, der Wert wird in der Regel jährlich von einem anderen Pegel „geliefert“. Im Jahr 2002 war es der Pegel Lichtenwalde in der Gemeinde Niederwiesa in Sachsen. An der Mulde waren die Überschwemmungen während des August-Hochwassers 2002 besonders gravierend. Der höchste Tagesmittelwert des Abflusses lag damals um das 9,3-Fache über dem langjährigen MHQ dieser Messstelle.

Im Juli 2017 wurde der Spitzenwert aller Pegel in Bad Salzdetfurth in Niedersachsen erreicht. Niederschläge von bis zu $2201/\text{m}^2$ innerhalb von drei Tagen ließen Alme, Riehe, Lamme und Innerste auf bis dahin unerreichte Pegelstände anschwellen. Die Auswirkungen des Hochwassers waren verheerend.



Hochwasser ist nicht gleich Hochwasser: Hochwasserereignisse können extreme und verheerende Ausmaße annehmen. (Foto: © murat / stock.adobe.com)

2013 war der Pegel Zeitz an der Weißen Elster in Sachsen-Anhalt für den Spitzenwert verantwortlich. Am 3. Juni wurde der MHQ dort nach anhaltendem Dauerregen um das 7,5-Fache überschritten.

Rekordniedrigwasser in den Dürre Jahren

Niedrigwasserereignisse gehören ebenso wie Hochwasser zum natürlichen Abflussgeschehen. In den alpin geprägten Einzugsgebieten kann es im Winter aufgrund der Speicherung der Niederschläge in Form von Schnee zu Niedrigwasserereignissen kommen. In den von Mittelgebirgen geprägten Flussgebieten und bei den Flüssen des Tief- und Flachlands dagegen treten Niedrigwasser vor allem im Sommer und Frühherbst auf, wenn Phasen mit geringem oder ganz ausbleibendem Niederschlag gleichzeitig mit hoher Verdunstung einhergehen. Vor allem sehr lang anhaltende meteorologische Trockenzeiten, das heißt Zeiten mit geringem oder keinem Niederschlag, verschärfen die jahreszeitlich bedingten Niedrigwasser vor allem in den Sommermonaten.

Die mit dem Klimawandel einhergehenden Veränderungen können den Zeitpunkt, die Dauer und die Intensität von Niedrigwasserereignissen auf vielerlei Weise beeinflussen. Mit der projizierten Verringerung des Niederschlags im Sommerhalbjahr sowie einem höheren Verdunstungsanspruch der Atmosphäre können die Abflüsse im Sommerhalbjahr abnehmen.

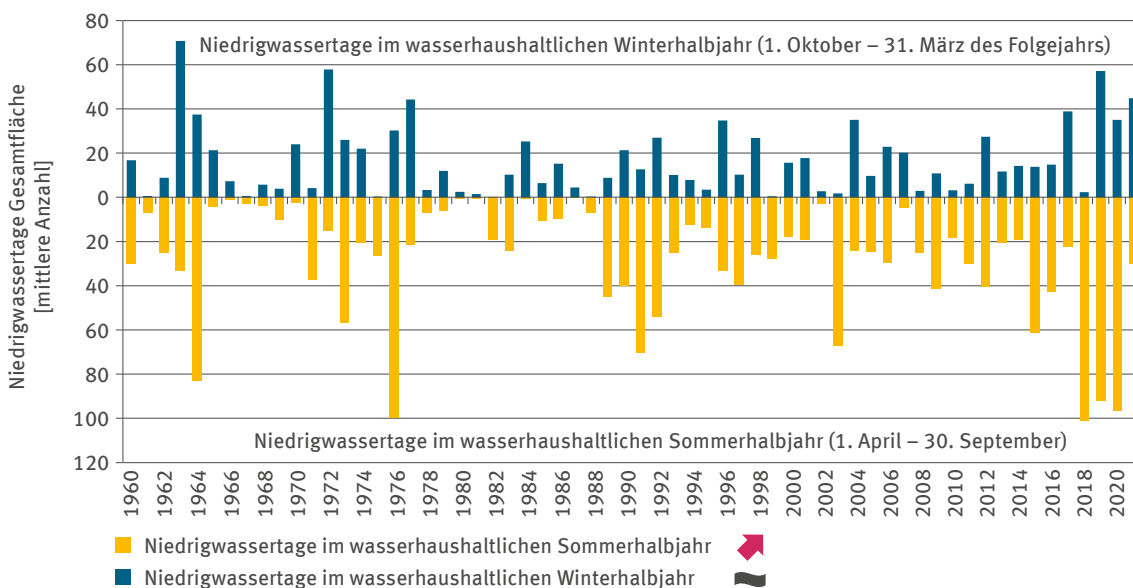
Die Folgen von Niedrigwasserereignissen beeinflussen sowohl die Ökologie der Gewässer als auch deren Nutzung. Durch die geringe Wasserführung bei Niedrigwasser erwärmt sich das Wasser schneller (siehe Indikator WW-I-10, Seite 88). Dies führt unmittelbar und mittelbar zu verstärktem Algenwachstum, vor allem in Flusseen. Durch den danach folgenden Abbau der abgestorbenen Algen kommt es zu starker Sauerstoffzehrung und verringerten Sauerstoffkonzentrationen. Reduzieren sich die Abflüsse, werden zudem Einträge in die Gewässer weniger verdünnt, was zu höheren Nährstoff- und Schadstoffkonzentrationen führt. Beide Prozesse haben weitreichende Auswirkungen auf die Lebewesen in den Gewässern und die Wasserqualität.

Für verschiedene Nutzungen der Gewässer ist ein ausreichender Abfluss beziehungsweise eine ausreichende Wasserverfügbarkeit Grundvoraussetzung. Die Schifffahrt ist unterhalb einer jeweils flussspezifischen Mindestwasserführung nur noch eingeschränkt möglich (siehe Indikator VE-I-2, Seite 249). Außerdem kann bei geringem Abfluss und /oder zu hohen Wassertemperaturen



WW-I-6: Niedrigwasser

Das Niedrigwassergeschehen in den Flussgebieten Deutschlands war in den letzten Jahrzehnten in erheblichem Maß durch einzelne ausgeprägte Niedrigwasserjahre bestimmt. Die heißen und trockenen Sommer der Jahre 2018 bis 2020 aber haben zu drei extremen Jahren in Folge geführt.



Datenquelle: Abflusspegel der Länder

die Wasserentnahme zu Kühlzwecken gefährdet sein, oder die geringe Wassermenge beeinträchtigt Möglichkeit der landwirtschaftlichen Bewässerung (siehe Indikator LW-R-6, Seite 166). Außerdem können unter diesen Bedingungen Beschränkungen für die Einleitung von Abwasser erlassen werden.

Für die dargestellte Zeitreihe wurden die Abflusswerte von 76 Pegeln an deutschen Flüssen daraufhin ausgewertet, an wie vielen Tagen im wasserhaushaltlichen Sommerhalbjahr (1. April bis 30. September) und Winterhalbjahr (1. Oktober bis 31. März des Folgejahres) Niedrigwasser aufgetreten ist. Ein Niedrigwassertag ist definiert als ein Tag, an dem der mittlere jährliche Tagesabfluss niedriger ist als der für den jeweiligen Pegel ermittelte mittlere Niedrigwasserabfluss (MNQ) der Zeitspanne 1961–1990. Der MNQ wird aus den jeweils niedrigsten Abflüssen der einzelnen Wasserhaushaltsjahre (NQ) berechnet. Mittelt man die Anzahl der Niedrigwassertage über alle betrachteten Pegel, wird deutlich, dass es immer wieder einzelne Jahre mit einer extremen Häufung von Niedrigwassertagen gegeben hat. Im Rückblick auf die letzten vier Jahrzehnte traten solche Häufungen vor allem in den Jahren 1991, 2003 und 2015 sowie zuletzt in den Jahren 2018 bis 2020 auf. Hiervon waren besonders stark die Flussgebiete Rhein, Elbe und Weser, etwas weniger ausgeprägt auch die Donau betroffen. In den Flussgebietseinheiten von Eider / Schlei, Schlei / Trave und Warnow / Peene wiesen die Wasserhaushaltsjahre 1996 und 2009 sowie die Jahre 2018 bis 2020 eine hohe Anzahl an Niedrigwassertagen auf. Niedrigwasserereignisse lassen sich in der Regel auf stabile Hochdruckwetterlagen zurückführen. Die Auswirkungen treten daher in der Regel auch sehr großräumig auf.

Eine Abfolge von mehreren extrem trockenen Jahren wie zuletzt 2018 bis 2020 war bisher äußerst ungewöhnlich. Die Dürreperiode begann im April / Mai des Jahres 2018. Beide Monate waren extrem niederschlagsarm, insbesondere im Norden Deutschlands. Mehrere stabile Hochdruckgebiete führten im Sommer und bis in den September hinein zu Hitze und Trockenheit in ganz Deutschland. So fiel beispielsweise im deutschen Teil des Rheineinzugsgebiets nur rund die Hälfte des üblichen Niederschlags⁶⁰. In Folge des daraus resultierenden extremen Niedrigwassers lagen im Rhein Felsformationen und Kiesbänke im Trockenen, die seit dem extremen Niedrigwasser des Jahres 1921 nicht mehr sichtbar gewesen waren. Auch an Elbe, Donau und Weser wurden ausgeprägte Niedrigwasserstände erreicht. An allen großen deutschen Wasserstraßen kam es zu teilweise länger andauernden Einschränkungen für die Schifffahrt. Die Sommermonate des Jahres 2019 waren ebenfalls



Die extrem heißen und trockenen Sommer 2018 bis 2020 brachten viele Bäche zum Austrocknen und führten in Flüssen zu extremem Niedrigwasser. (Foto: © christiane65 / stock.adobe.com)

alle zu trocken und auch der Sommer 2020 brachte in vielen Regionen Deutschlands, beispielsweise am Rhein, erneut Trockenheit. Obwohl die Winter 2018/2019 und 2019/2020 insgesamt eher zu feucht waren, konnten sie den Wassermangel nicht ausgleichen, unter anderem weil in einzelnen Regionen – etwa in Thüringen – auch in den Wintermonaten zu wenig Niederschlag fiel.

Die extreme Trockenheit der letzten Jahre prägen die Ergebnisse der statistischen Trendanalyse. Der Trend der Niedrigwassertage im wasserhaushaltlichen Sommerhalbjahr ist signifikant steigend. Eine statistische Bruchpunktanalyse macht zudem deutlich, dass sich die Situation in beiden wasserhaushaltlichen Halbjahren seit Mitte der 2010er-Jahre deutlich verschärft hat. Die Anzahl der Niedrigwassertage im Winterhalbjahr war zuvor insgesamt leicht rückläufig. In den letzten Jahren aber hat sie zugenommen, insbesondere im Bereich von Weser und Elbe. Im Sommerhalbjahr stieg die Anzahl der Niedrigwassertage bis zur Mitte der 2010er-Jahre leicht, jedoch nicht signifikant an. In den letzten Jahren war die Zunahme dann deutlich – und diese starke sommerliche Zunahme der Niedrigwassertage spiegelt sich in allen betrachteten Flussgebietseinheiten wider.

Wasserstände der Seen sinken

Negative Wasserbilanzen äußern sich nicht nur in sinkenden Pegelständen der Flüsse, sondern sie haben auch Auswirkungen auf die Wasserstände von Seen. Bei steigenden Luft- und Wassertemperaturen (siehe Indikator WW-I-8, Seite 84) und der damit verbundenen höheren Verdunstung auf dem Land und an der Wasseroberfläche nimmt das Wasservolumen in den Seen ab. Fällt gleichzeitig nur wenig Niederschlag, führt dies zu geringeren Zuflüssen in die Seen, sei es direkt über Oberflächenabflüsse oder indirekt über Zuflüsse aus dem Grundwasser⁶¹. Zurückgehende Niederschläge wirken sich insbesondere bei flachen Seen deutlich sichtbar aus. Wenn hier der Wasserspiegel sinkt, fallen gleich viele Meter Ufer trocken und Stege stehen weit über der Wasseroberfläche. Dadurch kann auch die Nutzung beispielsweise durch Badende oder Bootsfahrende stark beeinträchtigt werden.

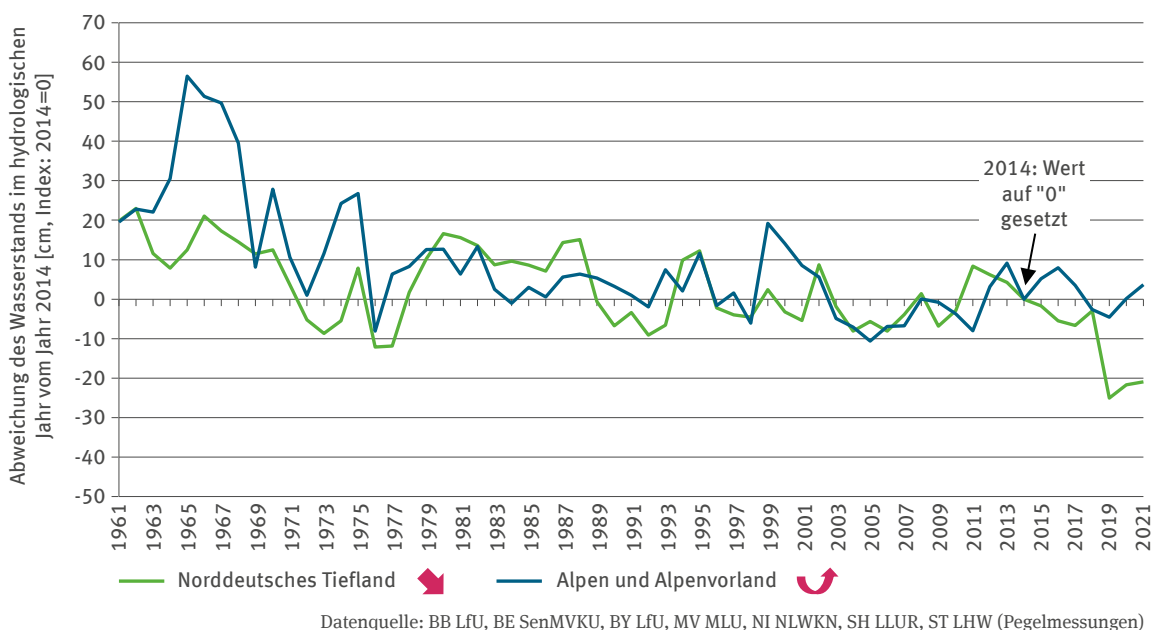
Stark sinkende Wasserstände bringen vielfältige ökologische Probleme mit sich. Am Ufer können Brutgebiete für Vögel oder Laichgebiete für Fische durch den Rückgang des Gelegegürtels aus Rohr, Schilf und

Schwimmpflanzen verkleinert werden oder ganz verloren gehen. Die im Uferbereich lebenden Arten der wirbellosen Fauna sind ebenfalls betroffen. Bei schrumpfenden Seewasservolumina können sich zudem Nähr- und Schadstoffe aufkonzentrieren, und der Wasserkörper heizt sich schneller auf, mit allen damit verbundenen Folgen für die Schichtungsstabilität und Stoffumsätze, die Wasserqualität und die Gewässerökosysteme (siehe Indikator WW-I-9, Seite 86). Die höhere Wassertemperatur wiederum verstärkt die Verdunstung und führt damit zu einem sich selbst verstärkenden Prozess des Wasserverlustes.

Für den Indikator wurden langjährige Daten zum Wasserstand von 21 Seen im Bereich des seenreichen norddeutschen Tieflands ausgewertet. Es wurden dabei unterschiedlich große und tiefe Seen mit unterschiedlich großen Einzugsgebieten aus den Bundesländern Brandenburg, Berlin, Mecklenburg-Vorpommern, Sachsen-Anhalt und Schleswig-Holstein berücksichtigt. Für den ebenfalls seenreichen Landschaftsraum von Alpen und Alpenvorland wurden Daten von zehn bayerischen Seen

WW-I-7: Wasserstand von Seen

Wenig Niederschlag und hohe Verdunstung lassen die Wasserstände der Seen sinken. Sowohl im Norddeutschen Tiefland als auch im Bereich der Alpen und des Alpenvorlands haben die Seen heute deutlich weniger Wasser als noch in den 1960er-Jahren. Sinkende Grundwasserstände haben vor allem in den norddeutschen Seen während und in Folge der extrem trockenen Jahre 2018 bis 2020 zu teilweise massiven Wasserverlusten geführt.



analysiert. Auch diese zeichnen sich durch eine unterschiedliche Größe der Seenfläche und ihres Einzugsgebiets aus. Für die Mittelgebirgsregion konnten bisher keine geeigneten Daten verfügbar gemacht werden. Es handelt sich dort bei der Mehrzahl der Seen um stauge-regelte Seen. Zu den wenigen natürlichen Seen (wie den Maaren) sind die verfügbaren Datenerhebungen nicht ausreichend hochfrequent und die Zeitreihen zu kurz. Für die thüringischen Talsperren gibt es jedoch Hinweise auf rückläufige Abflusspenden zumindest im Sommerhalb-jahr⁶².

Da sich die Seen durch sehr unterschiedliche morpho-logische und ökologische Charakteristika auszeichnen, sind einfache Mittelwertbildungen absoluter Zahlen zwi-schen den verschiedenen Seen nicht möglich. Der Indi-kator basiert daher auf indexierten Werten. Das bedeutet, für jeden See werden die Abweichungen vom Indexjahr 2014, dessen Wasserstandswert auf „0“ gesetzt wird, ermittelt. Die Werte dieser Abweichungen können dann über alle Seen gemittelt werden. Es wurde das Jahr 2014 als Indexjahr gewählt, um eine dem Indikator WW-I-8 (Wassertemperatur von Seen, Seite 84) analoge Dar-stellung zu erzeugen.

Die Seen des Norddeutschen Tieflands sind zu einem erheblichen Teil von Grundwasser gespeist. Das bedeutet, dass mit sinkenden Grundwasserständen auch die Was-serstände der Seen sinken. Dies wird anhand der Daten auch sehr deutlich, denn es gibt starke Übereinstimmun-gen der beiden Datensätze: In den Jahren 1976–1977, 1992–1993, 2004–2006 und 2019–2021, in denen sich deutlich negative Abweichungen der Seewasserstände vom Indexjahr 2014 in der Zeitreihe abzeichnen, waren auch die Monate mit Unterschreitung der langjährig gemittelten niedrigsten Grundwasserstände in der Region Nord (siehe Indikator WW-I-2, Seite 72) besonders zahlreich. Am stärksten sanken die Wasserstände in den sehr trockenen und heißen Jahren 2019 und 2020. So startete der Groß Glienicker See in Berlin im April 2018 mit einem Pegelstand von 192 cm in die Trockenperiode. Bis zum Oktober 2018 war der Pegelstand um mehr als einen halben Meter auf knapp 140 cm gesunken. Der Tiefststand wurde im Oktober 2020 mit 110 cm erreicht. Ähnlich war die Situation auch in der Müritz in Mecklen-burg-Vorpommern – von 227 cm im April 2018 sank der Wasserstand auf nur noch 159 cm im Oktober 2018 – und am Dümmer in Niedersachsen, wo der Wasserstand im selben Zeitraum von 221 auf 166 cm sank. Am Parstei-ner See, dem drittgrößten natürlichen See Brandenburgs, war der Wasserstand bis Ende 2020 so stark gefallen, dass der Pegel zur Wasserstandsmessung fast kom-plett trockenfiel. Der Wasserstand war bis nahe an den



Ausbleibende Niederschläge verbunden mit hoher Verdunstung bei Hitze lassen die Wasserstände von Seen sinken. (Foto: © Robert Poorten / stock.adobe.com)

Pegelnullpunkt gesunken. Bei der Einrichtung des Pegels hatte man mit einem derart niedrigen Wasserstand nicht gerechnet. Während bei den meisten Seen im Jahr 2021 die Wasserstände wieder stiegen, gibt es aber auch Seen wie den Drewitzer See in Mecklenburg-Vorpommern, der auch noch Ende 2021 einen sehr deutlich gesunkenen Wasserstand aufwies.

Für die Seen der Alpen und des Alpenvorlands spielt im Vergleich zu den norddeutschen Seen der Zufluss aus Oberflächengewässern eine größere Rolle. Teilweise haben die Seen alpine Einzugsgebiete, sodass Schnee und Schneeschmelze einen relevanten Einfluss auf die Wasserstände nehmen. In den Alpen und im Alpenvor-land sind zudem die Niederschläge generell höher. Aber auch dort lassen sich in den Seen seit 1961 sinkende Wasserstände beobachten. Die Auswirkungen der letzten Dürrejahre waren jedoch hinsichtlich der Abnahme des Wasserstands deutlich weniger gravierend und wurden durch anhaltende Niederschläge ausgeglichen. Im Januar 2019 kam es in den Alpen und am Alpenrand zu lange nicht mehr erlebten Schneemassen. Im Mai 2019 gab es sehr starken Dauerregen im südlichen Schwaben und in großen Teilen Oberbayerns. Auch im Jahr 2020 fielen im Süden Bayerns immer wieder ergiebige Niederschläge.

Steigende Wassertemperaturen in Seen

Die Wassertemperatur stehender Gewässer wird sehr unmittelbar von der Lufttemperatur beeinflusst. Damit gehören Veränderungen der Wassertemperatur auch zu den direkten Auswirkungen des Klimawandels. Die Wassertemperatur ist eine der zentralen Einflussgrößen auf die in Seen und Talsperren ablaufenden physikalischen, chemischen und biologischen Prozesse. Sie beeinflusst wichtige Faktoren wie die Dauer der Eisbedeckung sowie die Durchmischungs- und Schichtungsverhältnisse. Die Reaktionsgeschwindigkeit vieler chemischer und biochemischer Prozesse nimmt bei höherer Temperatur zu: Unter anderem Salze lösen sich in wärmerem Wasser leichter, Gase wie Sauerstoff hingegen schwerer. Manche Organismen kommen auch mit geringen Sauerstoff- oder hohen Salzkonzentrationen zurecht, wohingegen andere auf einen sehr guten Gewässerzustand angewiesen sind. Neben der Erhöhung der Wassertemperatur selbst haben auch die durch die Temperaturerhöhung ausgelösten stofflichen Veränderungen einen erheblichen Einfluss auf Pflanzen und Tiere in den Gewässern, auf die Zusammensetzung der Lebensgemeinschaften sowie die Strukturen und Funktionen der Nahrungsnetze in den Gewässerökosystemen.

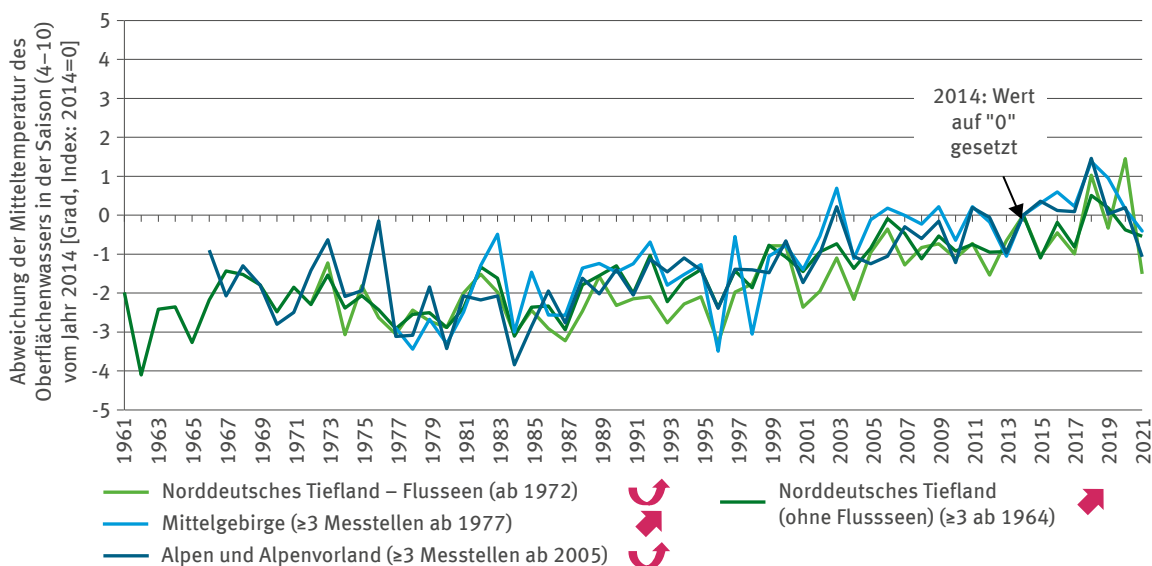
Viele in den Gewässern vorkommende Lebewesen sind an spezifische Temperaturverhältnisse angepasst. Bereits geringfügige Veränderungen können daher Verschiebungen der Artenzusammensetzung in stehenden Gewässern nach sich ziehen. Dabei können die ursprünglich vorkommenden Arten verdrängt werden, die von den höheren Temperaturen profitieren. Außerdem kann es zu Veränderungen im jahreszeitlichen Entwicklungszyklus von Lebewesen kommen. So wird beispielsweise das Eintreten der Frühjahrsalgenentwicklung (siehe Indikator WW-I-9, Seite 86) stark von der Wassertemperatur beeinflusst. In eutrophen Gewässern können im Sommer wärmeliebende, toxinbildende Cyanobakterien in erhöhten Konzentrationen auftreten und gesundheitliche Probleme bei Badenden verursachen (siehe Indikator GE-I-6, Seite 50).

In Deutschland gibt es mehr als 12.000 natürliche Seen⁶³. In Abhängigkeit von ihrer geographischen Lage und den naturräumlichen Voraussetzungen unterscheiden sich diese grundsätzlich unter anderem in der Trophie, im Wasserdurchfluss und in der Gewässertiefe.



WW-I-8: Wassertemperatur von Seen

Die Wassertemperaturen der 38 betrachteten über Deutschland verteilten Seen und Talsperren sind im Mittel der Saison April bis Oktober signifikant angestiegen. Dies gilt sowohl für die Seen im norddeutschen Tiefland, in den Alpen und im Alpenvorland als auch für Talsperren in der Mittelgebirgsregion. Die Erhöhung der Wassertemperatur hat weitreichende Auswirkungen auf chemische, physikalische und biologische Prozesse, die in den Gewässern ablaufen.

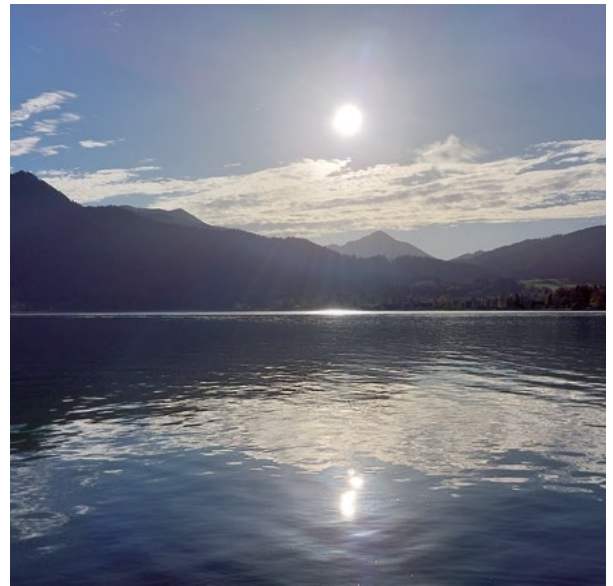


Datenquelle: BE SenMVKU, BW LUBW, BY LfU, BB IGB, MV MLU, NI NLWKN, SN LTV, ST LHW, TH TLUBN, TH TFW (Seenmonitoring, Talsperrenüberwachung)

Um einen bundesweiten Überblick zur Entwicklung der Gewässertemperaturen zu ermöglichen, aber dennoch die Besonderheiten der unterschiedlichen Seentypen annähernd zu berücksichtigen, werden die für den Indikator berücksichtigten 38 Seen und Talsperren für die drei großen Ökoregionen Alpen und Alpenvorland, zentrale Mittelgebirge und norddeutsches Tiefland differenziert betrachtet.

Die Seen der norddeutschen Tiefebene sind durch wärmere Zuflüsse geprägt. Das Spektrum reicht von eiszeitgeprägten Seen mit Tiefen bis zu 70 Metern wie im Falle des Stechlinsees über polymiktische Seen wie den Großen Müggelsee, die aufgrund ihrer verhältnismäßig geringen Wassertiefe keine länger anhaltenden thermischen Schichtungsphasen aufweisen, bis hin zu sehr flachen Flusseen wie der Unteren Havel oder dem Großen Wannensee. Bei Letzteren handelt es sich um seenartige, überwiegend langgestreckte Erweiterungen von Flüssen. Aufgrund ihrer Spezifika werden sie im Indikator separat dargestellt. Da es im Bereich der zentralen Mittelgebirge nur wenige größere natürliche Seen gibt, werden – um diese Region ebenfalls abbilden zu können – auch Talsperren einbezogen. Es werden allerdings nur Talsperren berücksichtigt, bei denen keine betriebsbedingten Wasserentnahmen aus den oberen Wasserschichten, aus denen die Temperaturdaten stammen, stattfinden. Die Seen im Bereich der Alpen (wie der Königsee) und des Alpenvorlands (wie Ammersee, Chiemsee, Schliersee, Starnberger See, Tegernsee und Bodensee) sind sämtlich geschichtete Seen mit überwiegend großen Einzugsbieten und in der Regel auch großer Wassertiefe. Sie werden deutlich überwiegend aus Bächen und kleineren Flüssen gespeist, die in den Alpen entspringen und vergleichsweise kalt sind.

Die Temperaturniveaus der Seentypen sind unterschiedlich. Während die Flusseen in den zehn Jahren vor den Extremjahren 2018 bis 2020 im Mittel der Saison von April bis Oktober Temperaturen von rund 17,7 °C erreichten, waren es bei den Seen der norddeutschen Tiefebene (die Flusseen ausgenommen) um die 16,5 °C. Die Talsperren in den Mittelgebirgen und die Seen des Alpenvorlands erreichten durchschnittlich um die 16 °C, beim Königsee, dem kältesten aller betrachteten Seen, waren es nur knapp 13 °C. Aufgrund der unterschiedlichen Temperaturniveaus der Seen (auch innerhalb der Regionen) sind keine einfachen Mittelwertbildungen absoluter Temperaturdaten zwischen den Seen sinnvoll. Der Indikator basiert daher – wie der Indikator zum Wasserstand (siehe Indikator WW-I-7, Seite 82) – auf indextierten Werten: Für jeden See werden die Abweichungen vom Indexjahr 2014, dessen Temperaturwert auf „0“ gesetzt wird, ermittelt. Die Werte dieser Abweichungen werden dann über



In allen Naturräumen in Deutschland steigen die Wassertemperaturen der Seen. (Foto: © Konstanze Schönthaler)

alle Seen gemittelt. Das Jahr 2014 ist das am weitesten zurückliegende Jahr, für das von allen Seen Daten zur Verfügung stehen.

Die für die Indikatorarstellung verwendeten Daten stammen aus Messungen im obersten Epilimnion, das heißt aus einer Wassertiefe von bis zu 50 cm Tiefe. Diese Schicht ist in der Regel gut durchmischt und reagiert vergleichsweise unmittelbar auf Veränderungen der Lufttemperatur. Die Entwicklung der Wassertemperaturen im tiefer gelegenen Hypolimnion ist hingegen in Abhängigkeit vom Schichtungsmuster der einzelnen Seen sehr unterschiedlich, und die Zusammenhänge mit dem Klimawandel sind deutlich komplexer.

Die Wassertemperaturen aller betrachteten Seen in den drei Regionen sind in den jeweiligen Betrachtungszeiträumen signifikant gestiegen. Jahre mit überdurchschnittlich hohen Lufttemperaturen wie die Jahre 2003, 2018 und 2019 schlagen sich ebenfalls in allen Regionen deutlich nieder. Zu berücksichtigen ist, dass vor allem längere Hitzewellen die Wassertemperaturen anheben. So wirken sich wenige Stunden am Tag mit großer Hitze von über 30 °C weniger stark auf die Temperatur des Wasserkörpers aus als beispielsweise dauerhaft milde Nachttemperaturen von über 20 °C. Außerdem spielt die Intensität der Durchmischung der oberen Wasserschichten eine Rolle: Hohe Temperaturen mit viel Wind sorgen insgesamt für eine stärkere Erwärmung als Hitze bei Windstille.

Frühjahrsalgenblüte setzt immer früher ein

Die Wassertemperatur hat einen wesentlichen Einfluss auf ökologische Prozesse im See. Anhand des Einsetzens der Frühjahrsalgenblüte lassen sich relevante Veränderungen in den Gewässerökosystemen erkennen, denn die Frühjahrsalgenblüte ist auf der einen Seite abhängig von den Zirkulations- beziehungsweise Schichtungsverhältnissen im See, auf der anderen Seite sind die Frühjahrsalgen ein sehr wichtiger Baustein im Nahrungsnetz.

Zwischen dem Klimawandel, der winterlichen Eisbedeckung, dem Einsetzen oder der Beendigung der thermischen Schichtung und der Wassertemperatur eines Sees sowie dem zeitlichen Eintreten der Frühjahrsalgenblüte besteht ein direkter Zusammenhang. Wenn am Ende des Winters mit einer Erwärmung des Oberflächenwassers die winterliche Stagnation endet und die Frühjahrszirkulation einsetzt, gelangt nährstoffreiches Tiefenwasser an die Seeoberfläche und sauerstoffreiches Wasser in die Tiefe. Ist auch ausreichend Licht vorhanden, beginnt damit eine Phase des Phytoplanktonwachstums. Diese Frühjahrsalgenblüte klingt dann ab, wenn die Nährstoffe aufgebraucht sind, die Schichtungsstabilität zunimmt

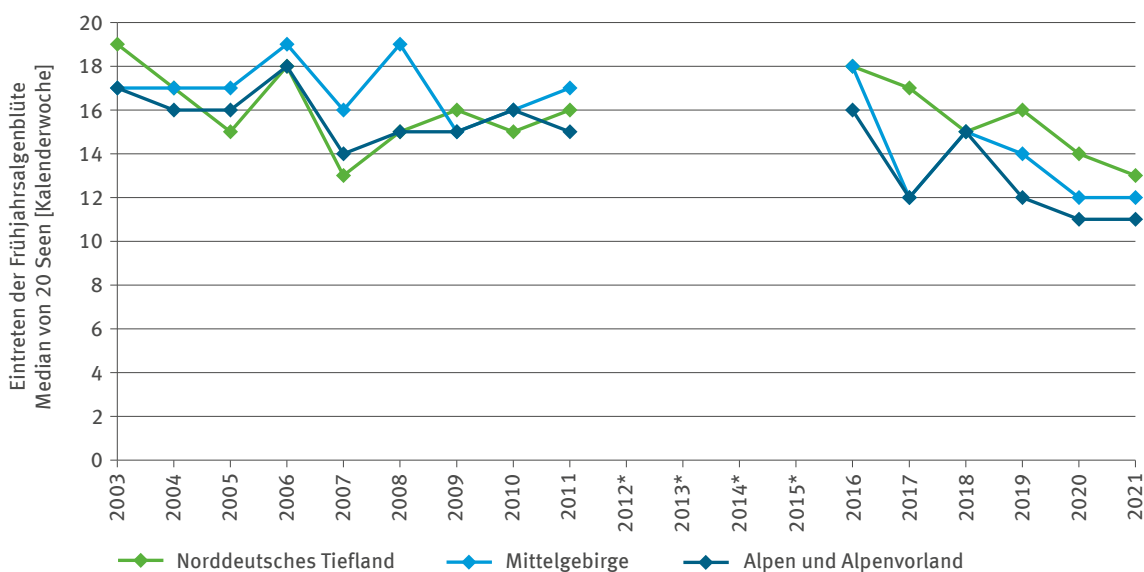
und starker Fraßdruck durch das Zooplankton ein Klarwasserstadium einleitet. Auch erhöhte Filtrationsraten durch Muscheln können das Phytoplankton reduzieren.

Höhere Winter- und Frühjahrstemperaturen können zu einem früheren Eintreten der Algenblüte führen, das Algenwachstum verstärken und die Artenzusammensetzung verändern. Das frühere Eintreten der Algenblüte deutet darauf hin, dass auch die Sommerstagnation früher einsetzt. Die sommerliche Schichtung führt dazu, dass der Austausch von Nährstoffen und Sauerstoff zwischen den Schichten nicht mehr möglich ist. In den tieferen Wasserschichten, dem Hypolimnion, kommt es infolgedessen zur Sauerstoffzehrung, vor allem, wenn die stabile Schichtung bei warmen Herbsttemperaturen auch länger im Jahr bestehen bleibt. Die unter den anaeroben Verhältnissen mögliche Nährstoffrücklösung aus dem Sediment kann eutrophierend wirken.

Der Indikator zeigt die zeitliche Verschiebung des Eintretens der Frühjahrsalgenblüte basierend auf Daten für 20 Seen in Deutschland. Jeweils 5 Seen liegen im Bereich

WW-I-9: Frühjahrsalgenblüte in Seen

Der Zeitpunkt des Eintretens der Frühjahrsalgenblüte ist stark abhängig von den im Spätwinter und Frühjahr herrschenden Temperaturen. Besonders milde Winter und überdurchschnittlich hohe Frühjahrstemperaturen wie in den Jahren 2019 und 2020 führten dazu, dass die Frühjahrsalgenblüte deutlich früher einsetzte. Die Frühjahrsalgen sind ein wichtiger Baustein im Nahrungsnetz von Seeökosystemen.



* keine Daten, da keine geeigneten Satellitensensoren im Einsatz

Datenquelle: Brockmann Consult GmbH, CAU Kiel (Auswertung von Satellitendaten)

der Alpen / des Alpenvorlandes und der Mittelgebirgsregion, 10 Seen im norddeutschen Tiefland. Die regionale Differenzierung ist erforderlich, um den unterschiedlichen makroklimatischen Ausgangsbedingungen und morphologischen Unterschieden der Seen in diesen Regionen gerecht zu werden.

Da nur wenige Daten aus Vor-Ort-Erhebungen zum Eintrittszeitpunkt zur Verfügung stehen, wurden dem Indikator Satellitendaten zugrunde gelegt. Diese ermöglichen eine deutlich breitere räumliche Abdeckung von Seen. Die Reflexion des Chlorophyll-a in den Algen lässt sich mit Satelliten erfassen. Die hohe zeitliche Auflösung der zur Verfügung stehenden Daten ist der entscheidende Faktor für die (rechtzeitige) Erkennung der Frühlingsalgenblüte: Die Wiederholrate der Überflüge liegt zwischen ein und zwei Tagen. Die Bestimmung des (ersten) lokalen Maximums beruht auf validen Satellitenaufnahmen und wird durch Bewölkung, Nebel oder Eisbedeckung eingeschränkt. Die zeitlich exakte Erkennung einer Frühlingsalgenblüte aus Satellitendaten ist also abhängig von wolkenfreien Perioden. Das kann dazu führen, dass eine Frühlingsalgenblüte durch wetterbedingte Einflüsse nicht erfasst wird. Da das erste Maximum meist nur wenige Tage andauert, kann die Blüte so auch zwischen zwei Aufnahmezeitpunkte fallen. So kann auch die Satellitenbild-gestützte Erfassung an Grenzen stoßen. Für alle 20 Seen liegen Datenreihen mit einer räumlichen Auflösung von 300 m für die Jahre 2002–2012 und 2016–2020 vor. In den Jahren dazwischen waren keine Satelliten mit für die Erfassung geeigneten Satellitensensoren unterwegs.

Während im Mittel der ersten vier Jahren der Zeitreihe die Frühlingsalgenblüte in Abhängigkeit von der Region zwischen Ende der 16. und Mitte der 17. Kalenderwoche, also zwischen Mitte und Ende April, eingetreten ist, kam es im Mittel der letzten vier Jahren der Zeitreihe bereits zwischen Anfang der 12. und Mitte der 14. Woche, also zwischen Ende März und Anfang April, zum ersten Maximum der Blüte. Eine statistische Trendanalyse erscheint in Anbetracht der unterbrochenen Zeitreihe nicht sinnvoll. Der Zeitreihenverlauf macht aber deutlich, dass es innerhalb einer relativ kurzen Zeitspanne zu einer merklichen Vorverlegung der Frühlingsalgenblüte in allen Regionen gekommen ist. Diese Diagnose wird auch gestützt durch das frühere Eintreten der phänologischen Frühlingsphasen (siehe Indikator BD-I-1, Seite 202).

Das insgesamt außergewöhnlich warme Jahr 2018 folgte auf einen eher milden Winter, in dem es aber im Februar noch einmal richtig kalt wurde. Deutschlandweit herrschte Dauerfrost mit verbreitet zweistelligen Minusgraden.



Die Frühlingsalgenblüte lässt sich mit Daten aus der Satellitenfernerkundung gut erfassen. (Copernicus Sentinel 2 Daten [2023, verändert]: Kummerower See, Aufnahme vom 07.05.2018)

Auch im März kam es noch einmal zu einem markanten Kaltlufteinbruch. Dies ist ein wesentlicher Grund, dass die Frühlingsalgenblüte 2018 im Vergleich zu den nachfolgenden Jahren später einsetzte: Anfang April schaltete das Wetter in ganz Deutschland innerhalb weniger Tage von Winter auf Sommer um. In der zweiten Aprilwoche kam es über die drei Regionen hinweg mit großer zeitlicher Übereinstimmung zum ersten Maximum der Frühlingsalgenkonzentration.

Der Winter 2018/2019 war ein sehr milder Winter mit viel Sonnenschein, dem dann auch ein milder März und warmer April folgten. Sehr ähnlich waren die Verhältnisse im Jahr 2020: Nach dem bis dahin zweitwärmsten Winter seit Aufzeichnungsbeginn im Jahr 1881 befand sich Deutschland auch im Frühjahr überwiegend im Bereich warmer Luftmassen und es war überdurchschnittlich warm. Dementsprechend früh setzte in diesen beiden Jahren auch die Frühlingsalgenblüte ein. Die ebenso frühe Blüte im Jahre 2021 lässt sich hingegen weniger eindeutig mit den Witterungsverhältnissen erklären. Der Winter 2020/2021 war zwar ebenfalls wieder zu warm, aber das Frühjahr war kühler.

Flüsse werden wärmer

Wie in den Seen führt auch bei den Fließgewässern eine Erhöhung der Lufttemperatur zu erhöhten Wassertemperaturen. Es spielen zwar auch direkte anthropogene Beeinflussungen wie Einleitungen von Kühl- und Abwasser, die Beseitigung von Ufergehölzen sowie die zunehmende Verstädterung eine Rolle, aber gezielte Untersuchungen am Rhein haben deutlich gemacht, dass sich die Wassertemperatur trotz einer Reduzierung der Wärmeleitungen erhöht⁶⁴. Erhöhungen der Wassertemperatur stehen auch im Zusammenhang mit der Wasserführung der Gewässer. Bei Niedrigwasser (siehe Indikator WW-I-6, Seite 80) ist das Risiko einer übermäßigen Erwärmung aufgrund des verminderten Wasservolumens zusätzlich erhöht.

Die Gewässertemperatur steuert und synchronisiert viele Lebensvorgänge im Gewässer und ist daher von besonderer Bedeutung für dessen ökologische Funktionen. Sie bestimmt unmittelbar die Lebensbedingungen von Gewässerorganismen, die zu einem erheblichen Teil wechselwarm sind. Außerdem steht die Gewässertemperatur in einem komplexen Wirkgefüge mit der

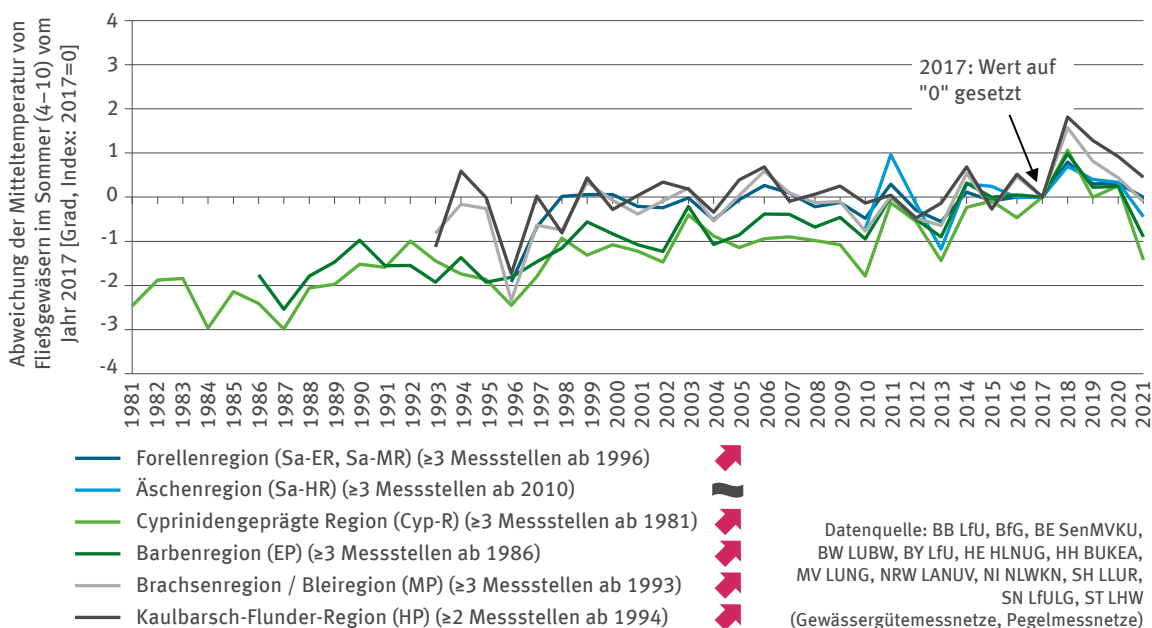
Gewässerchemie. Unter anderem verschlechtert die bei steigender Temperatur sinkende Sauerstofflöslichkeit im Wasser die Atmungsbedingungen.

In ihrem Verlauf werden die Fließgewässer in verschiedene Zonen eingeteilt, die sich nach dem Vorkommen charakteristischer Fischarten unterscheiden. Man spricht daher auch von Fischregionen. Die in der Regel kühle Forellenregion befindet sich am Oberlauf, wo zumeist eine sehr starke Strömung herrscht und das Wasser über Kies und größere Steine umgewälzt und mit Sauerstoff angereichert wird. Es folgen dann im weiteren Verlauf die Äschenregion mit ähnlichen Verhältnissen, aber einem schon intensiveren Pflanzenbewuchs, und die Cyprinidengeprägte Region. In der Barbenregion ist das Fließgewässer dann schon breiter und die Strömung ist schwächer. Die Brachsenregion am Unterlauf ist die artenreichste Fischregion, die sich auch durch einen üppigen Pflanzenbewuchs auszeichnet. Die Kaulbarsch-Flunder-Region zählt bereits zum Brackwasserbereich und ist die letzte Fischregion. Durch ihre Lage im Mündungsdelta zum Meer liegt sie bereits im Einflussbereich von Ebbe und Flut.



WW-I-10: Wassertemperatur von Fließgewässern

Die Wassertemperaturen der Fließgewässer stiegen in allen Fischregionen in den zurückliegenden Dekaden signifikant an. Lediglich in der Äschenregion ergibt sich bisher noch kein signifikanter Trend. Diese Zeitreihe ist allerdings zu kurz, um Aussagen über langzeitige Trends treffen zu können. Bei den extrem hohen Temperaturen im Jahr 2018 und dem damit verbundenen Sauerstoffmangel starben Fische in vielen deutschen Gewässern, unter anderem am Hochrhein.



Vergleichbar den unterschiedlichen Seentypen sind Mittelungen über alle Fließgewässer und Fischregionen hinweg nicht sinnvoll. Daher stellt der Indikator die Auswertungen für die einzelnen Fischregionen separat dar.

Dem Indikator liegen Temperaturmessdaten von 43 Gewässergüte- und 34 Pegelmessstellen zugrunde, die sich deutschlandweit über die Fischregionen verteilen. Wichtige Kriterien bei der Messstellenauswahl waren möglichst lange, lückenlose und auf täglichen Erhebungen basierende Zeitreihen. Zudem wurden Messstellen im direkten Einflussbereich von Stauanlagen sowie von anthropogenen Wärmeeinleitungen, beispielsweise von Kühlwasser, Prozesswasser und Abwasser, ausgeschlossen.

Wie bei den Indikatoren zum Wasserstand von Seen (siehe Indikator WW-I-7, Seite 82) und zur Wassertemperatur von Seen (siehe Indikator WW-I-8, Seite 84) wird auch dieser Indikator in Form indexierter Werte dargestellt. Eine Mittelung absoluter Temperaturwerte ist nicht sinnvoll, da die einzelnen Messstellen auch innerhalb der Fischregionen in Abhängigkeit von den gewässermorphologischen, naturräumlichen und klimatischen Voraussetzungen unterschiedliche Temperaturniveaus anzeigen. Bei der Indexierung werden für jede Messstelle die Abweichungen vom Indexjahr 2017, dessen Temperaturwert auf „0“ gesetzt wird, ermittelt. Die Werte dieser Abweichungen werden dann über alle Messstellen der jeweiligen Fischregion gemittelt. Das Jahr 2017 ist das am weitesten zurückliegende Jahr, für das von allen berücksichtigten Messstellen Daten zur Verfügung stehen.

In allen Fischregionen steigen die Wassertemperaturen statistisch signifikant an. Lediglich in der Äschenregion gibt es derzeit noch keinen klaren Trend. Dies ist aber vermutlich in der bisher nur kurzen Zeitreihe begründet.

Die relativ niedrigen Werte in den Jahren 2010 und 1996 lassen sich auf die vergleichsweise kühle Witterung zurückführen. So lag die Jahresmitteltemperatur in 2010 mit 7,8 °C deutlich unter der im Jahr 2011 mit 9,6 °C. Das Jahr 1996 war mit 7,2 °C Jahresmitteltemperatur das kälteste in der Dekade 1991–2000. Für die hohen Werte in den Jahren 2018 und 2019 spielte neben den hohen Sommertemperaturen auch Niedrigwasser eine Rolle.

Der Indikator erlaubt in seiner aktuellen Konstruktion noch keine Aussagen zur Überschreitung kritischer (beispielsweise fischverträglicher) Temperaturen. Die Oberflächengewässerverordnung hat – differenziert für die Fischregionen – Orientierungswerte für maximale Fließgewässertemperaturen zur Erreichung eines guten



Die Wassertemperaturen der Flüsse steigen in allen Fischregionen, mit allen damit verbundenen Folgen für die Gewässerökologie. (Foto: © Sebastian / stock.adobe.com)

und sehr guten ökologischen Zustands erlassen. Zur Einhaltung des sehr guten ökologischen Zustands gelten in der Forellen- und Äschenregion 18 °C als sommerliche Maximaltemperatur, in der Cyprinidengeprägten Region und Barbenregion 20 °C, in der Brachsen- und Kaulbarsch-Flunder-Region 25 °C.⁶⁵ Im Jahr 2018 wurden diese kritischen Temperaturen vielerorts überschritten. So hatte sich der Rhein im August 2018 stellenweise auf 28 °C aufgeheizt. In vielen deutschen Gewässern wie etwa am Hocht Rhein starben Fische infolge von Sauerstoffmangel. Beim massiven Fischsterben in der Oder von Ende Juli bis August 2022 haben neben der plötzlich angestiegenen Salzkonzentration die Sonneneinstrahlung und die hohen Temperaturen zu dem rasanten Wachstum der giftigen Brackwasserualge *Prymnesium parvum* beigetragen. Das Beispiel macht deutlich, zu welchen fatalen Kettenreaktionen es in Ökosystemen kommen kann.

Besonders kritisch ist die Situation bei Erhöhung der Wassertemperatur in Gewässern, wenn diese zusätzlich deutlich anthropogen beeinflusst sind und wenn ihnen Strukturen und Schatten fehlen. In natürlichen oder naturnahen Gewässern können Fische tiefere und schattige Gewässerabschnitte aufsuchen. Zudem wird in Gewässern mit natürlicher Fließgewässerdynamik durch Strömungen und Turbulenzen mehr Sauerstoff eingetragen. Bei hohen Nähr- und Schadstoffkonzentrationen können sich wärmeliebende, potenziell toxische Algen vermehren, die die Gewässerorganismen beeinträchtigen können.

Wassernutzung weiter zurückgegangen

Die Trockenheit der Jahre 2018 bis 2020 und 2022 zeigt, dass man sich auch in Deutschland deutlich intensiver mit den Herausforderungen eines saisonal und regional reduzierten Wasserangebots auseinandersetzen muss. Im langjährigen Mittel der Jahre 1961–1990 galten rund 188 Mrd. Kubikmeter Grund- und Oberflächenwasser als potenziell verfügbare Wasserressourcen, das Mittel der Jahre 1991–2020 liegt mit rund 176 Mrd. Kubikmeter niedriger.

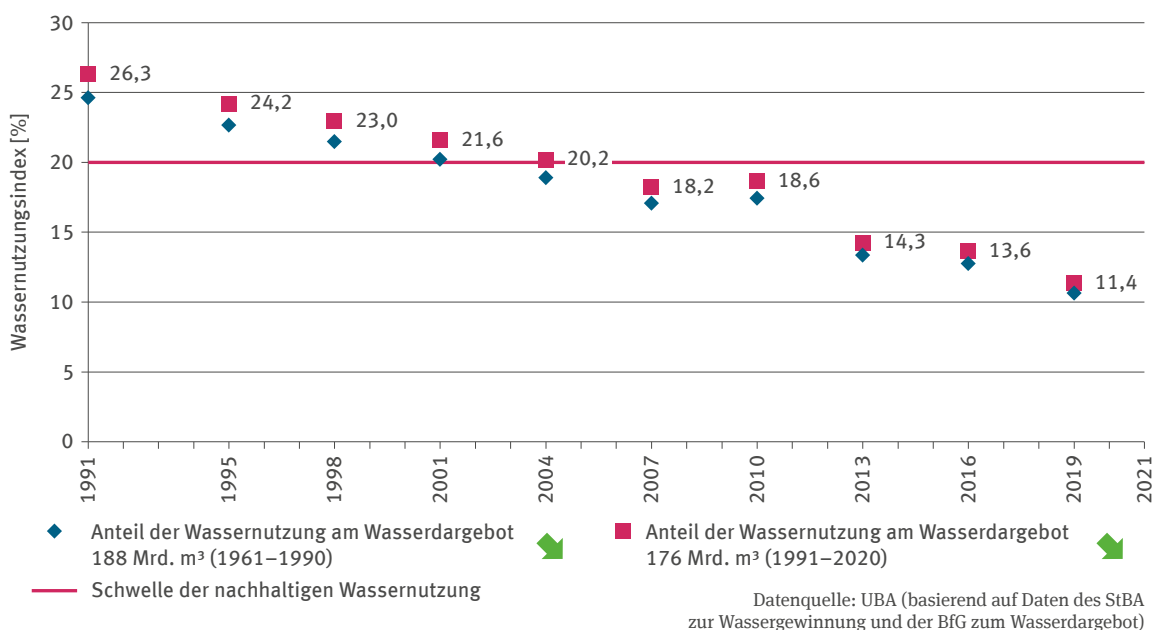
Bei längeren und häufiger auftretenden Trockenheitsphasen und Niedrigwasserperioden kann es infolge eines reduzierten Wasserangebots zu regionalen Nutzungskonflikten bei oberirdischen Gewässern und Grundwasserentnahmen (beispielsweise zu Zwecken der Bewässerung in Landwirtschaft und Gartenbau, siehe Indikator LW-R-6, Seite 166) kommen. Betroffen sind vor allem die zentralen Teile Ostdeutschlands, das nordostdeutsche Tiefland und das südostdeutsche Becken, die ungünstige klimatische Wasserbilanzen aufweisen, das heißt, in denen es vergleichsweise wenig regnet, aber aufgrund hoher Sommertemperaturen viel Wasser verdunstet.

Der Wassernutzungsindex liefert einen ersten Anhaltspunkt, ob die Nutzung der Wasserressourcen in Deutschland nachhaltig ist oder Wasserknappheit entsteht. Als nachhaltig gelten Wasserentnahmen dann, wenn sie die Marke von 20% des verfügbaren Wasserangebots nicht überschreiten. Die 20%-Schwelle ist dabei ein international gültiger Orientierungswert. Übersteigt die Wassernutzung diese Marke, gilt dies als Zeichen von Wasserstress. Ab 40% wird von starkem Wasserstress ausgegangen. Zur Überschreitung der Marke kann es sowohl in Folge einer verstärkten Wasserentnahme als auch aufgrund einer Verknappung des natürlichen Wasserangebots kommen. Für die Berechnung des Indikators wird die öffentliche und nichtöffentliche Wassergewinnung als Wassernutzung eines Jahres dem langjährigen Wasserangebot gegenübergestellt.

Durch einen Rückgang sowohl der gewerblichen als auch der privaten Wassernutzung in Deutschland wird diese 20%-Schwelle seit dem Jahr 2004 unterschritten. Insgesamt sind die Werte des Wassernutzungsindex seit 1991 signifikant rückläufig. Das Maß der Wassernutzung kann

WW-R-1: Wassernutzungsindex

Die Wassernutzung ist in den vergangenen 30 Jahren signifikant zurückgegangen. Im Jahr 2007 unterschritt sie erstmalig den als kritisch bewerteten Wassernutzungsindex von 20%. Das bedeutet, dass nicht mehr als 20% des potenziellen Wasserangebots genutzt werden. Allerdings gibt es deutliche regionale Unterschiede. Der Klimawandel stellt die Wasserversorger vor neue Herausforderungen, um beispielsweise saisonale Spitzenverbräuche decken zu können.



also nach den international gültigen Orientierungswerten als nachhaltig angesehen werden. Zu dem deutlichen Rückgang haben vor allem die Energieerzeuger sowie die Industrie- und Bergbauunternehmen beigetragen, die mit mehr als 70 % den überwiegenden Teil der Wassernutzung ausmachen (siehe Indikator IG-R-1, Seite 266). Da die Kühlwasserentnahmen durch Kraftwerke zur Energiegewinnung den größten Teil gewerblicher Wassernutzungen ausmachen, hatten Effizienzverbesserungen durch Mehrfach- beziehungsweise Kreislaufnutzungen in diesem Bereich zumindest bis zum Jahr 2007 besonders positive Auswirkungen auf die Bilanz. Mit der Stilllegung der letzten Kernkraftwerke nach dem befristeten Streckbetrieb im April 2023 dürften sich die Kühlwasserentnahmen durch Kraftwerke weiter reduzieren.

Auch die Wassernutzung in privaten Haushalten und im Kleingewerbe konnte seit 1991 von 144 Liter pro Person und Tag auf 123 Liter pro Person und Tag im Jahr 2016 deutlich reduziert werden. Danach stieg der Verbrauch allerdings wieder leicht an auf 128 Liter im Jahr 2019. Aktuellere Zahlen stehen nicht zur Verfügung. Es gibt allerdings Hinweise, dass sich in den Jahren 2020 und 2021 die Folgen der Covid-19-Pandemie auch in der Wassernutzung niedergeschlagen haben, da die privaten Haushalte durch Homeoffice und Homeschooling, ausgefallene Reisen und gestiegene Hygieneansprüche mehr Wasser benötigten. Hinzu kommt ein weiterer Trend, der zu privaten Mehrverbräuchen von Wasser vor allem in Zeiten führt, in denen Wasser ohnehin knapper ist: Private Schwimmbecken und Pools erfreuen sich wachsender Beliebtheit. Diese Becken haben in der Regel ein großes Fassungsvermögen und das Wasser wird womöglich mehrmals in der Saison gewechselt. Eine Abschätzung auf der Grundlage einer Befragung unter rund tausend repräsentativ ausgewählten Personen in Hamburg⁶⁶ hat ergeben, dass auf die Poolnutzung in den Hamburger Haushalten während der Sommermonate bis zu 6 % des gesamten jährlichen Trinkwasserverbrauchs der Hansestadt entfallen. Dies sind relevante Größenordnungen. Verbrauchsspitzen der Trinkwassernutzung können in den Sommermonaten zudem durch die Bewässerung von Gärten entstehen.

Der bisher als Indikator genutzte Wassernutzungsindex ist nur bedingt geeignet, den Anpassungsbedarf und die Anpassungsaktivitäten in der Wasserwirtschaft abzubilden. Die Betrachtung der bundesweiten Situation lässt die deutlichen regionalen Unterschiede innerhalb Deutschlands außer Acht. So kann die Wasserbilanz künftig infolge des Klimawandels durch die weitere Abnahme der Sommerniederschläge und eine erhöhte Verdunstung unter anderem im Osten Deutschlands noch



Die Wassernutzung ist insgesamt rückläufig. Trotzdem kann es bei längeren Dürreperioden lokal und temporär zu Wasserknappheit kommen. (Foto: © bai / stock.adobe.com)

ungünstiger werden, und die Wasserverfügbarkeit könnte in diesem Raum zurückgehen (siehe Indikator WW-I-2, Seite 72). Außerdem unterliegt die erneuerbare Wasserressource für Einzeljahre starken Schwankungen und kann das dem Indikator zugrunde gelegte langjährige Mittel deutlich unterschreiten⁶⁷. Gleichzeitig kann es während längerer Hitzeperioden zumindest zeitlich begrenzt zu einer erhöhten Wassernachfrage kommen.

Die insgesamt rückläufige Wassernutzung einerseits und die klimainduziert höheren Spitzenverbräuche andererseits sowie die unterschiedliche regionale Verteilung von Wasserressourcen und Wassernachfrage stellen die Wasserversorger vor neue Herausforderungen. Vor allem Versorger im ländlichen Raum und in Mittelgebirgsregionen, die stark dezentrale und von Niederschlägen abhängige Versorgungsstrukturen (wie gemeindliche Brunnen) haben, können bei längeren Dürreperioden in Bedrängnis geraten. Bei zentraler und auf Fernwasserleitungen basierender Versorgung ließen sich hingegen lokale oder regionale und temporäre Unterschiede in der Wasserverfügbarkeit und -nachfrage bisher weitestgehend ausgleichen. Auch bei mehreren aufeinanderfolgenden Jahren mit anhaltender Dürre muss die Trinkwasserversorgung für die Bevölkerung gesichert sein. Bewusstes Wassersparen ist vor diesem Hintergrund weiterhin wichtig. Wer Wasser spart, spart zudem Energie, denn nicht nur Warmwasser, auch die Wasserbereitstellung und -aufbereitung verbrauchen Energie.

Hochwasserschutz – Ausgaben steigen

Hochwasser sind natürliche Ereignisse. Menschliche Eingriffe wie die Trennung der Auen vom Fluss, die Begradigung von Flüssen, die Abholzung von Auenwäldern und die Bebauung von Überschwemmungsgebieten führen dazu, dass die Landschaft heute weniger Wasser zurückhalten kann und Niederschlagswasser schneller in die Gewässer abfließt. Es wird davon ausgegangen, dass mit dem fortschreitenden Klimawandel das Hochwasserrisiko an Fließgewässern ansteigt. Damit gewinnt das Hochwasserrisikomanagement, das 2007 mit der HWRM-RL einen Rechtsrahmen erhielt, weiter an Bedeutung und Dringlichkeit. Die für alle deutschen Flussgebiete inzwischen erstellten Hochwasserrisikomanagementpläne müssen alle sechs Jahre von den für die Hochwasservorsorge zuständigen Ländern auch unter Berücksichtigung der voraussichtlichen Klimawandelfolgen fortgeschrieben werden. Diese Pläne enthalten Maßnahmen des technischen Hochwasserschutzes, der Wiedergewinnung von Retentionsflächen und der Wiederherstellung naturnaher Gewässerstrukturen. Zusätzliche Maßnahmen wie die Abgrenzung und Festsetzung von Überschwemmungsgebieten oder planerische Vorarbeiten zur Umsetzung

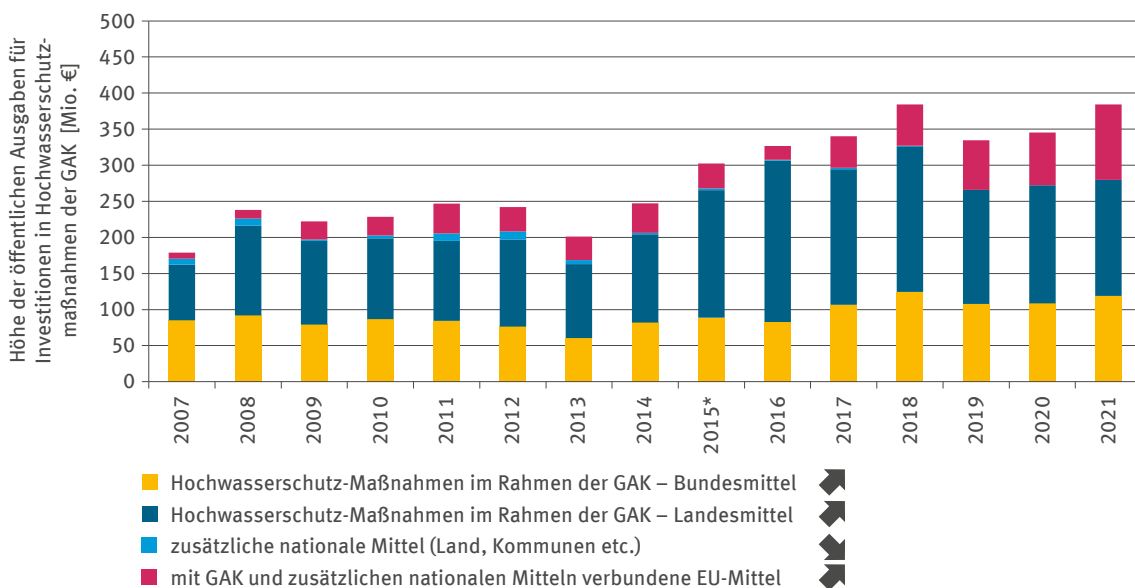
operativer Maßnahmen des Hochwasserschutzes wurden im deutschen Wasserhaushaltsgesetz (WHG) verankert.

Angesichts der enormen volkswirtschaftlichen Kosten, die große Hochwasserereignisse verursachen, unterstützt der Bund die Länder bereits seit 1973 im Rahmen der Gemeinschaftsaufgabe „Verbesserung der Agrarstruktur und des Küstenschutzes“ (GAK) beim Hochwasserschutz. Er erstattet 60% der entstandenen Ausgaben für den Neubau und die Verstärkung von Hochwasserschutzanlagen, für die Rückverlegung von Deichen und für Maßnahmen zur naturnahen Gewässerentwicklung. Nach den verheerenden Hochwassern im Juni 2013 im Elbe- und Donaugebiet wurde zudem die Erarbeitung des NHWSP beschlossen. Es dient in erster Linie der beschleunigten Umsetzung überregional wirkender Maßnahmen des vorbeugenden Hochwasserschutzes wie von Maßnahmen zur Deichrückverlegungen und Wiedergewinnung natürlicher Retentionsfläche sowie von Maßnahmen zur gesteuerten Hochwasserrückhaltung (Hochwasserrückhaltebecken und Polder). Seit 2015 unterstützt der Bund die Länder zusätzlich über den GAK-Sonderrahmenplan „Präventiver



WW-R-2: GAK-Mittel für den Hochwasserschutz

Im Rahmen der GAK erhalten die Länder vom Bund finanzielle Unterstützung für Neubau und Verstärkung von Hochwasserschutzanlagen, Rückverlegung von Deichen und naturnahe Gewässerentwicklung. Zudem gibt die EU im Zusammenhang mit der GAK und zusätzlichen nationalen Mitteln Zuschüsse. Seit 2015 gibt es den SRP „Maßnahmen des präventiven Hochwasserschutzes“. Die Ausgaben insbesondere der Länder sind seitdem deutlich gestiegen.



* ab 2015 inklusive GAK-Sonderrahmenplan „Präventiver Hochwasserschutz“

Datenquelle: BMEL (GAK-Berichterstattung)

Hochwasserschutz“ bei der Umsetzung dieser präventiven Maßnahmen. Dabei fördert der Bund auch erstmalig den Ankauf von Retentionsflächen.

Für die Umsetzung von Maßnahmen zum Hochwasserschutz an Gewässern I. Ordnung wenden die Länder zusätzlich zu den GAK-Mitteln weitere Haushaltsmittel auf. Zudem geben sie Zuwendungen an Kommunen, die im Rahmen ihrer Zuständigkeiten für die Gewässer II. und III. Ordnung Maßnahmen umsetzen. Am Beispiel Hessens werden diese Investitionen abgebildet. Nicht dargestellt sind die Mittel, die die Kommunen ohne Unterstützung des Landes aufbringen. In Hessen sind die Investitionen in den technischen Hochwasserschutz wie in Dämme, Mauern, Regen- und Hochwasserrückhaltebecken, Stauanlagen, Schöpfwerke und Flutmulden in den letzten Jahren zurückgegangen, da die lange währenden Deichsanierungen an Rhein und Main nun im Wesentlichen abgeschlossen sind. Nicht-technische Maßnahmen gewinnen hingegen an Bedeutung. Natürliche oder naturnahe Gewässerstrukturen können Wasser zurückhalten, den Landschaftswasserhaushalt stabilisieren und insbesondere mittlere Hochwasserereignisse an Fließgewässern abmildern. Renaturierungen werden daher – wo immer

möglich – vorangetrieben. Mäandrierende Flüsse und Bäche verringern die Fließgeschwindigkeit und mindern die Abflussspitzen von Hochwasser. Eine durchlässige Gewässersohle aus Sanden und Kiesen erlaubt natürlicherweise einen Austausch zwischen Oberflächen- und Grundwasser und kann dadurch teilweise Hochwasserspitzen oder Wassermangel abpuffern. An den Gewässerlauf angebundene Altarme, Auen und Überflutungsflächen können einen Teil des Hochwasserabflusses aufnehmen. Auch wenn naturschutzfachliche Überlegungen oftmals leitend für die Durchführung vieler Renaturierungsmaßnahmen sind, reduzieren diese mehr oder weniger auch das Hochwasserrisiko. Eine der zentralen Herausforderungen des nicht-technischen Hochwasserschutzes bleibt die Bereitstellung zusätzlicher Retentionsflächen, die im Hochwasserfall überflutet werden können. Zusätzlich zu den Hochwasserschutzmaßnahmen an Gewässern und in Einzugsgebieten sind unter anderem die Bauvorsorge (siehe Indikator RO-R-5, Seite 310) sowie die Hochwasservorhersage und -warnung (siehe Indikator HUE-2, Seite 334) wichtige Anpassungsmaßnahmen.

WW-R-3: Investitionen in den Hochwasserschutz – Fallstudie

In Hessen flossen in den letzten zehn Jahren rund 234 Mio. Euro von Bund und Land in den Hochwasserschutz. Die eigenen Investitionen der Kommunen sind nicht berücksichtigt. Da die Pflicht zur Gewässerunterhaltung nur bei den Rheinaltgewässern dem Land obliegt, werden nicht-technische Hochwasserschutzmaßnahmen an Gewässern I. Ordnung in Hessen in nur geringem (und in der Grafik nicht darstellbarem) Umfang durchgeführt.

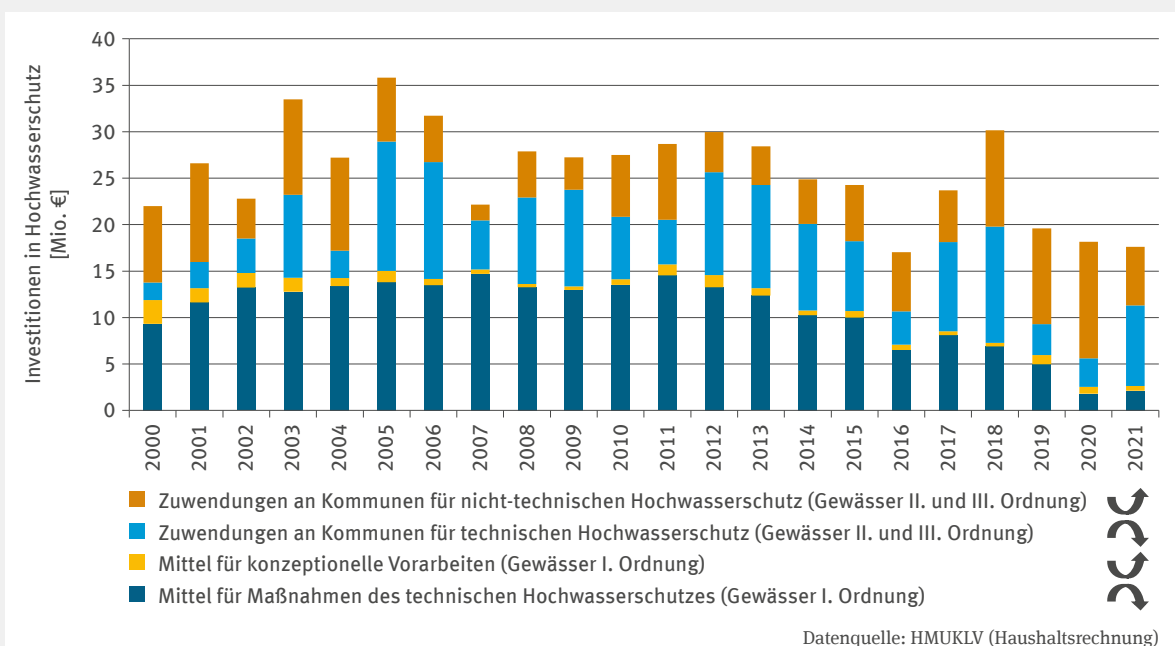




Foto: © helmutvogler / stock.adobe.com

Küsten- und Meeresschutz

Überblick	96
Wirkstrang „Auswirkungen des Meeresspiegelanstiegs“	99

Auswirkungen des Klimawandels – Impact

KM-I-1	Wassertemperatur des Meeres.....	100
KM-I-2	Meeresspiegel.....	102
KM-I-3	Höhe von Sturmfluten	104
KM-I-4	Küstenmorphologie – Fallstudie	106
KM-I-5	Fließrichtungswechsel.....	108
KM-I-6	Leistung von Schöpfwerken – Fallstudie.....	110

Anpassungen an den Klimawandel – Response

KM-R-1	Investitionen in den Küstenschutz	112
KM-R-2	Landesschutzdeiche ohne Sicherheitsdefizit – Fallstudie	114



Zur Bedeutung des Handlungsfelds

Die Küstenregionen sind für Deutschland von besonderer soziokultureller, ökologischer und ökonomischer Bedeutung. Die Lebensräume am Übergang zwischen Land und Meer sind einzigartig und zeichnen sich durch eine hohe Dynamik, aber auch große Sensibilität aus. Sie beherbergen auch viele seltene Tier- und Pflanzenarten. Gleichzeitig sind sowohl das Meer als auch die Küstengebiete von großer wirtschaftlicher Bedeutung. So sind die Seefischerei und die fischverarbeitende Industrie in den Küstengebieten nach wie vor ein bedeutender Arbeitgeber (siehe Handlungsfeld „Fischerei“). Hinzu kommen die maritime Industrie wie der Schiffs- und Bootsbau mit ihren Zulieferern und Dienstleistern sowie die Meeres- und Offshore-Technik inklusive der Windenergieanlagen. Küstennahe

Niederungsgebiete dienen der landwirtschaftlichen Produktion. Nicht zuletzt ermöglicht der hohe Freizeit- und Erholungswert der Küstengebiete den Anrainergemeinden eine hohe touristische Wertschöpfung. Die intensive Nutzung setzt die Meere und den Küstenraum stark unter Druck. Vielerorts leiden der Zustand des Meeres und die angrenzenden Küstengebiete unter den wirtschaftlichen Aktivitäten. Die Auswirkungen des Klimawandels bringen zusätzliche Belastungen und Herausforderungen.

Auch die Meere selbst sind vom Klimawandel massiv betroffen. Die Erwärmung verursacht umfangreiche ökosystemare Veränderungen. Gleichzeitig spielen die Meere als CO₂-Speicher für den Klimaschutz eine wichtige Rolle.

DAS-Monitoring – was im Klimawandel passiert

Durch ihre Speicher-, Puffer- und Austauschfunktion übernehmen die Weltmeere eine Schlüsselrolle im Klimasystem der Erde. Insbesondere in den tieferen Schichten speichern die Ozeane einen Großteil der durch den anthropogenen Treibhauseffekt verursachten zusätzlichen Wärmemenge. Der Einfluss der steigenden Lufttemperatur infolge des Klimawandels lässt sich aber auch an der Wasseroberfläche messen. So belief sich die mittlere Erwärmung der Wasseroberfläche der Nordsee auf 0,26 °C pro Dekade. Die jährlichen Werte unterliegen natürlichen Schwankungen (siehe Indikator KM-I-1, S. 100). Die Erwärmung der Meere hat massive Auswirkungen auf das Meeresökosystem. Unmittelbar äußert sich dies unter anderem in einer veränderten Zusammensetzung der Fischfauna (siehe Indikator FI-I-1, Seite 122) und schrumpfenden Fischbeständen einzelner Arten, beispielsweise beim Hering (siehe Indikator FI-I-2, Seite 124).

Eine weitere unmittelbare Folge der Wärmespeicherung im Ozean ist die Volumenzunahme des Meerwassers. Sie ist eine wesentliche Ursache des Meeresspiegelanstiegs. Pegel an Nord- und Ostsee zeigen einen Anstieg der Wasserstände über die letzten Jahrzehnte (siehe Indikator KM-I-2, Seite 102). Für Küstenregionen, insbesondere für Ästuare, küstennahe Fließgewässer und die teilweise unter dem Meeresspiegel liegenden Niederungsgebiete, bedeutet der Meeresspiegelanstieg ohne Gegenmaßnahmen erhöhte Risiken. Unter anderem steigt die Überschwemmungsgefahr infolge von Sturmfluten, da diese entsprechend dem mittleren Meeresspiegelanstieg höher auflaufen können. Zudem kann bei Sturmfluten vermehrt Meerwasser in die in das Meer mündenden Fließgewässer gedrückt werden und auch in Fließgewässern ohne starken Gezeiteneinfluss

zu einer zeitweisen Umkehr der Fließrichtung führen (siehe Indikator KM-I-5, Seite 108). Die Entwicklung der Sturmflutintensität und -häufigkeit an Nord- und Ostsee zeigt im Verlauf der letzten rund 150 Jahre allerdings kein eindeutiges Bild (siehe Indikator KM-I-3, Seite 104).

Sehr unmittelbar zeigen sich die Auswirkungen des steigenden Meeresspiegels an den Küsten. Laufen die Wellen und Sturmfluten infolge des Meeresspiegelanstiegs höher auf, bieten sich ihnen neue Angriffsflächen entlang der Küste. Aktive Steilufer weichen dadurch noch schneller zurück, bisher stabile Küstenabschnitte können beginnen, zurückzuweichen. Dies deutet eine Fallstudie aus Mecklenburg-Vorpommern an, die auf Daten zu einem repräsentativen Steilküstenabschnitt auf dem Fischland an der Ostsee beruht (siehe Indikator KM-I-4, Seite 106). Hier verlagert sich die Steilküste erosionsbedingt pro Jahr 20 bis 40 cm landeinwärts. Vor allem in Jahren mit häufigen und schweren Sturmfluten verbunden mit hohen hydrodynamischen Belastungen (Seegang und Strömung) kann der Rückgang der Küstenlinie aber auch deutlich mehr betragen.

In Küstenniederungen können klimawandelbedingt intensivere Niederschläge zu häufigeren Überschwemmungen führen. Im Winter fällt Niederschlag zunehmend als Regen, im Sommer steigt das Risiko für Starkregenereignisse. Um Schäden vorzubeugen und insbesondere die landwirtschaftliche Produktion in den Niederungen dauerhaft aufrechterhalten zu können, steigt in Küstennähe der Bedarf für künstliche Entwässerung durch Schöpfwerke. Häufigere Hochwassersituationen erfordern höhere Leistungen der Schöpfwerke und haben einen steigenden Stromverbrauch zur Folge (siehe Indikator KM-I-6, Seite 110).

Die künftigen Klimarisiken – Ergebnisse der KWRA

Im Handlungsfeld „Küsten- und Meeresschutz“ werden nach den Ergebnissen der Klimawirkungs- und Risikoanalyse 2021 (KWRA, siehe Lesehilfe, Seite 7) bis zur Mitte des Jahrhunderts mit hoher Gewissheit die größten Risiken bei der Veränderung von Meerestemperatur und Eisbedeckung gesehen. Hohe Klimarisiken bestehen auch für die Klimawirkungen Meerwasserqualität und Grundwasserversalzung, Meeresspiegelhöhe, Naturräumliche Veränderungen an Küsten sowie Überlastung der Entwässerungseinrichtungen in überflutungsgefährdeten Gebieten. Die Gewissheit der Einschätzung zu diesen Klimawirkungen liegen zwischen mittel und hoch.

Bis zum Ende des Jahrhunderts wird zusätzlich eine hohe Gefahr für eine Beschädigung oder Zerstörung von Siedlungen und Infrastrukturen an der Küste erwartet. Die Wahrscheinlichkeit für hydrodynamische Klimawirkungen wie eine Erhöhung von Sturmflutwasserständen oder Veränderungen in der Strömungs- und Gezeitendynamik wird als mittel eingeschätzt. Dies gilt auch für die sich daraus ergebende steigende Belastung oder das Versagen von Küstenschutzanlagen. Die Risikobewertung ist bei diesen Klimawirkungen jedoch mit geringer Gewissheit verbunden.

Wo haben wir Daten- und Wissenslücken?

Die Küsten- und Meeresgebiete der Nord und Ostsee unterscheiden sich in ihren morphologischen und hydrodynamischen Eigenschaften. Im Küstenverlauf wechseln Steil- und Flachküstenabschnitte, und diese reagieren unterschiedlich auf die Auswirkungen des Klimawandels. Die Nordsee steht zudem unter starkem Einfluss der Tide, während die Gezeiten an der Ostsee nur schwach ausgeprägt sind. Dies erfordert für das Monitoring, dass die Indikatoren stets differenziert mit Blick auf die entsprechenden Bedingungen an der Nordsee und der Ostsee entwickelt und interpretiert werden. Gleichzeitig ermöglicht jedoch der bundesweite Zuschnitt des DAS-Monitorings nur sehr eingeschränkt bundesland- oder gar regionsspezifische Betrachtungen. Um dennoch wichtige Themen wie die Küstenerosion oder die zunehmenden Herausforderungen der Entwässerung der küstennahen Niederungsgebiete im DAS-Monitoring adressieren zu können, wird für den Monitoringbericht 2023 mit Fallstudien gearbeitet (siehe Indikatoren KM-I-4, Seite 106, und KM-I-6, Seite 110). Diese lassen keine allgemeinen Rückschlüsse auf den gesamten deutschen Küstenraum zu. So erlaubt die Fallstudie zur Veränderung der Steilküste auf dem Fischland / Ostsee keine Aussagen zum Küstenrückgang an anderen Küstentypen. Ebenso wenig sind die Entwässerungsbedingungen im Gebiet des in der Fallstudie KM-I-6 dargestellten Eider-Treene-Schöpfwerksverbands mit denen der anderen Schöpfwerksverbände unmittelbar vergleichbar. Mit Blick auf diese Themen gilt es daher, nicht nur zusätzliche Datenquellen zu erschließen, sondern auch weiterführende konzeptionelle Vorstellungen zu entwickeln, wie man unter Berücksichtigung der heterogenen Verhältnisse zu generalisierenden Aussagen kommen kann.

Erhebliche methodische, teilweise auch datentechnische Herausforderungen bestehen ebenso für die Beschreibung

von Phänomenen wie der Verschiebung der Brackwasserzone im Ästuarbereich beziehungsweise bis ins Landesinnere hinein, der Versalzung küstennaher Grundwasservorkommen oder auch der Auswirkungen von Sturmfluten auf den Hochwasserschutz im Binnenbereich. Die Kleingruppe Klimaindikatoren, die von der LAWA zur Entwicklung gemeinsamer Indikatoren im Wasserbereich eingesetzt wurde, diskutierte diese und weitere Themen. Dennoch bedarf es bis zur Entwicklung aussagekräftiger Indikatoren weiterer wissenschaftlicher Auseinandersetzungen. Als besonders schwierig erweist sich, dass gerade die Küstengebiete, auch die hier mündenden Fließgewässer, in erheblichen Teilen stark anthropogen überprägt sind und sich damit sehr vielfältige Einflussfaktoren überlagern. Die unmittelbaren Effekte des Klimawandels herauszuarbeiten, ist vor diesem Hintergrund eine große Herausforderung, teilweise auch gar nicht möglich.

Da Investitionen in den Küstenschutz in Deutschland zum deutlich überwiegenden Teil aus der GAK finanziert werden, sind diese über die bundesdeutsche GAK-Berichterstattung abbildbar (siehe Indikator KM-R-2, Seite 114). Für Schäden, die an Küstenschutzsystemen entstehen, gibt es hingegen keine zentrale Datenhaltung. Ähnlich verhält es sich mit Schäden an Siedlungen und Infrastrukturen im Hinterland. Auch Versicherungsdaten lassen sich nicht spezifisch für diese Regionen auswerten. Möglicherweise werden die Arbeiten zum Aufbau eines bundesweiten Klimaschadenskatasters durch BMUV und UBA weitere Erkenntnisse hervorbringen.

Mögliche Beeinträchtigungen touristischer Nutzungsmöglichkeiten an der Küste werden in den DAS-Handlungsfeldern „Tourismuswirtschaft“ (siehe Indikatoren TOU-I-1, Seite 278, und TOU-I-3, Seite 282) und „Menschliche

Gesundheit“ (siehe Indikator GE-I-7, Seite 52) thematisiert. Eine umfassendere und systematischere Betrachtung kann aber bisher nicht erfolgen. Dies gilt in besonderer Weise auch mit Blick auf Anpassungsmaßnahmen und -aktivitäten. Auch hier gibt es neben den Datenlücken nach wie vor konzeptionelle Herausforderungen.

Generell sind die Verknüpfungen zwischen Meeresschutz und Klimaanpassung im DAS-Monitoring noch kaum

thematisiert, die Meeresökosysteme selbst noch wenig im Blick. Hier gibt es nach wie vor Wissens- und Datenlücken, es besteht aber die Befürchtung, dass sich der Klimawandel zum größten Motor des Artensterbens im Meer entwickelt. Eine vertiefende Diskussion zu möglichen Indikatoren wie zur Versauerung und zum Verlust von Sauerstoff (auch der Zunahme von Todeszonen ohne Sauerstoff) und deren Folgen für die Artenzusammensetzung steht noch aus.

Was getan wird – einige Beispiele

Wirksame Klimaanpassung ist für den Küstenschutz unverzichtbar. Die vorhandenen technischen Einrichtungen und Schutzanlagen müssen infolge des Klimawandels erhöhten hydrologischen Belastungen standhalten. Gleichzeitig steigen die Nutzungsintensität und das Schadenspotenzial in den Küstenregionen weiter. Daher unterliegt die Bemessung für Küstenschutzbauwerke in Deutschland der regelmäßigen Überprüfung und Anpassung der Eingangsparameter. Beispiel für eine umfassende Berücksichtigung der wachsenden Gefährdung durch erhöhte Sturmflutwasserstände ist die Anpassung der Landesschutzdeiche in Schleswig-Holstein (siehe Indikator KM-R-2, Seite 114). Unsichere Deiche werden mit Blick auf den erwarteten Meeresspiegelanstieg bereits seit 2001 mit einem Sicherheitszuschlag von 0,5 m verstärkt. Durch eine breitere Deichkrone und eine flachere Außenböschung, die seit 2009 bei Deichverstärkungen umgesetzt werden, kann ein Meeresspiegelanstieg von bis zu 1,0 m ausgeglichen werden. 2018 folgte das Konzept „Klimadeich“, das seit 2022 im Generalplan Küstenschutz verankert ist. Es sieht vor, die Landesschutzdeiche in mehreren Bauphasen zu erhöhen, um einen Meeresspiegelanstieg von bis zu 2,0 m ausgleichen zu können. Der Anteil von Landesschutzdeichen ohne Sicherheitsdefizit stieg auf zuletzt 81,7 %.

Die Umsetzung von Maßnahmen zum Küstenschutz ist kostenintensiv. Zu den Schutzmaßnahmen zählen neben der Stabilisierung, Erweiterung oder Erhöhung sowie dem Neubau von Schutzbauwerken zunehmend auch Sandvorspülungen. Sie beugen einer zunehmenden Küstenerosion vor und gleichen den Abtrag von Stränden aus. In Deutschland werden die Maßnahmen des technischen Küstenschutzes zum deutlich überwiegenden Teil aus der GAK finanziert (siehe Indikator KM-R-2, Seite 114). Mit dem Ziel der Klimaanpassung stellt der Bund den Küstenbundesländern über einen GAK-Sonderrahmenplan in den Jahren 2009 bis 2025 für Küstenschutzmaßnahmen zusätzlich 25 Mio. Euro pro Jahr zur Verfügung. Mit dem geänderten GAK-Rahmenplan 2023–2026 wurden die Mittel für den Sonderrahmenplan ab dem Jahr 2023 noch

einmal deutlich aufgestockt. Zudem wurde bereits jetzt die Finanzierung der Maßnahmen von Bundesseite bis zum Jahr 2040 abgesichert.

Für die Entwicklung der deutschen Küstengebiete ist die 2006 von der Bundesregierung verabschiedete Nationale Strategie für ein Integriertes Küstenzonenmanagement (IKZM) relevant. Ihr Ziel ist es, den Küstenbereich als ökologisch intakten und wirtschaftlich prosperierenden Lebensraum zu entwickeln und zu erhalten. Es handelt sich um einen informellen Ansatz zu Koordination, Partizipation und Erfahrungsaustausch. Der Klimawandel wird im IKZM-Prozess zwar berücksichtigt, eine spezifische Anpassungsstrategie beinhaltet er allerdings nicht.

Im Bereich des Meeresschutzes wurden bisher keine DAS-Monitoringindikatoren entwickelt. Es ist nach wie vor schwierig, konkrete Anpassungsmaßnahmen zu benennen. Letztendlich muss es darum gehen, den anthropogenen Nutzungsdruck deutlich zu senken, vermehrt Schutzzeiten vorzusehen oder Schutzzonen einzurichten.

Im Bereich der Forschung wurden im Rahmen der Forschungsstrategie „Forschung für Nachhaltigkeit“ (FONA) der Bundesregierung zentrale Forschungsziele für die Meeres-, Küsten- und Polarforschung im ressortübergreifenden Fachprogramm MARE:N definiert. MARE:N besteht aus den drei Säulen Küsten-, Meeres- und Polarforschung und ist als Handlungsrahmen für zukünftige Fördermaßnahmen konzipiert. Mit den MARE:N-Konzeptpapieren „Küste im Wandel“ und „Blauer Ozean“ (2018) sowie „Polarregionen im Wandel“ (2021) wurden die Weichen für die zukünftige Forschungsförderung des BMBF in der Küsten-, Meeres- und Polarforschung gestellt. Mit den beiden erstgenannten Programmen laufen umfangreiche Forschungsaktivitäten zu den Schwerpunkten Klimawandel und Küstendynamik, ökosystemarer Küstenschutz sowie Änderungen der Biodiversität und Stoffflüsse.

Handlungsfeld-relevante Klimaveränderungen

Erwärmung von Luft und Meerwasser

Der Klimawandel drückt sich unter anderem in einer Erhöhung der Lufttemperatur aus. Mit einer Zunahme von 1,7 °C von 1881 bis 2022 lag der Temperaturanstieg in Deutschland um 0,6 °C über dem globalen Mittel (siehe Abbildung 1, Seite 19), das auch die sich weniger schnell erwärmenden Meeresregionen einbezieht. Mit der Lufttemperatur erwärmt sich auch das Meerwasser. Etwa 90% der durch den Klimawandel induzierten zusätzlichen Wärmemenge wird von den Ozeanen aufgenommen. Diese entwickeln sich in der Folge zu einem Speicher gigantischer Wärmemengen.

Auswirkungen des Klimawandels

KM-I-2 Meeresspiegel

Die Erwärmung der Ozeane führt zu einer Volumenzunahme des Meerwassers. Neben dem Abschmelzen der Gletscher und der Eisschilde an den Polen gilt diese Ausdehnung der Meere als wesentliche Ursache für den globalen Meeresspiegelanstieg. Auch an der Nord- und Ostseeküste steigt der Meeresspiegel. Die Anstiegsraten (bereinigt um die Landhebung beziehungsweise Landsenkung) liegen hier für das 20. Jahrhundert zwischen 1,4 und 2,1 mm pro Jahr und damit in der gleichen Größenordnung wie der globale Meeresspiegelanstieg. Nach dem aktuellen Sachstandsbericht (AR6) des Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) ist im Szenario „Der fossile Weg“ (SSP5-8.5) bis zum Ende des Jahrhunderts mit einem wahrscheinlichen Anstieg des Meeresspiegels um 0,63 bis 1,01 m zu rechnen. Die noch nicht ausreichend gut verstandenen Eisschildprozesse in der Antarktis können zusätzlich noch bis zu einem weiteren Meter zum Meeresspiegelanstieg beitragen.

KM-I-3 Höhe von Sturmfluten

Der ansteigende Meeresspiegel bedeutet für Küstenregionen, insbesondere für Ästuare und die küstennahen Niederungsgebiete, eine wachsende Gefährdung durch Sturmfluten und Überschwemmungen. Zwar weisen die Trends derzeit nicht auf häufigere oder intensivere Sturmfluten hin, auf die höheren Ausgangsniveaus durch den Meeresspiegelanstieg folgen jedoch höhere absolute Wasserstände bei Sturmfluten. Das Gefahrenpotenzial steigt zusätzlich dadurch, dass der Nutzungsdruck auf die Küstengebiete weiter wächst.

Anpassungen – Aktivitäten und Ergebnisse

KM-R-2 Landesschutzdeiche ohne Sicherheitsdefizit

Um Infrastrukturen, Gebäude und Menschenleben in gefährdeten Küstenregionen zu schützen, setzen die Küstenländer Küstenschutzmaßnahmen um. In Schleswig-Holstein bewahren Landesschutzdeiche über eine Gesamtlänge von 433 km die dahinterliegenden Küstenniederungen vor Überschwemmungen. Um auch zukünftigen Belastungen sicher standhalten zu können, werden unsichere Deiche (die dem Schutzstandard nicht entsprechen) dem Konzept „Klimadeich“ folgend verstärkt, um einen Meeresspiegelanstieg von bis zu 2,0 m ausgleichen zu können. Der Anteil an Landesschutzdeichen ohne Sicherheitsdefizit stieg auf zuletzt 81,7%.

State



Foto: © peterschreiber.media / stock.adobe.com

Impact



Foto: © Dietmar / stock.adobe.com

Impact



Foto: © bevisphoto / stock.adobe.com

Response



Foto: © Lehnerfoto / Generalplan Küstenschutz SH 2022

Die Nordsee wird wärmer

Die weltweite Erderwärmung äußert sich nicht nur in einer steigenden Lufttemperatur, auch die Meere und Ozeane werden immer wärmer. Vor allem in Jahren mit lang anhaltenden Hitzewellen steigen die Wassertemperaturen deutlich. So kam es an der deutschen Küste im besonders heißen Sommer 2003 zu außergewöhnlich hohen Wassertemperaturen: Im August verfehlte die mittlere Oberflächentemperatur gemittelt über die gesamte Nordsee den bisherigen Höchstwert von rund 17,6 °C aus dem August 1997 um nur 0,2 °C.⁶⁸ Lokal und für einzelne Tage können die Temperaturen dabei noch deutlich höher ausfallen. Im Hitzesommer 2018 kletterten die Maximaltemperaturen an küstennahen Messstationen der Nord- und Ostsee auf bis zu 26 °C und damit auf mediterranes Niveau.⁶⁹ Zuletzt brachen die Wassertemperaturen der Nordsee im Jahr 2022 Wärmerekorde: Das Sommermittel der Oberflächentemperatur lag stellenweise mehr als 1 °C über dem langjährigen Sommermittel von 1997 bis 2021⁷⁰.

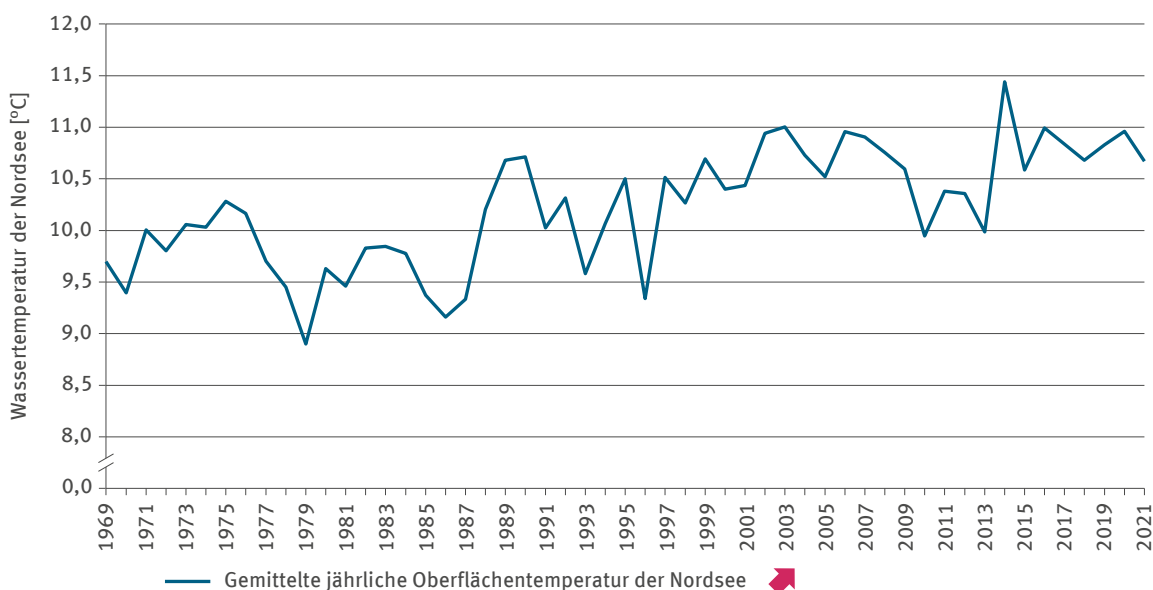
Durch ihre Speicher-, Puffer- und Austauschfunktionen übernehmen die Weltmeere eine zentrale Rolle im

Klimasystem der Erde. Über 90 % der durch den anthropogenen Treibhauseffekt erzeugten zusätzlichen Wärmemenge wird in den Ozeanen gespeichert. Anders als beispielsweise die Lufttemperaturen über dem Festland, die stärker unter dem Einfluss lokaler Wetterereignisse sowie der natürlichen Klimavariation stehen, zeigt der Temperaturverlauf der Ozeane, insbesondere in tieferen Schichten, geringere Schwankungen. Im Zeitraum 1960–2020 ist die Wärmemenge der obersten 2.000 m des Weltozeans um 380±81 Trilliarden Joule (380±81 x 10²¹ J) angestiegen. Über die gesamte Erdoberfläche gemittelt ergibt sich eine Erwärmungsrate von 0,39±0,08 Watt pro Quadratmeter (W/m²). Ein Blick ins Detail offenbart, dass sich der Ozean in den letzten rund 30 Jahren stärker erwärmte als zu Beginn der Aufzeichnungen: Die mittlere jährlich aufgenommene Wärmemenge lag im Zeitraum 1986–2020 etwa 8-mal höher als zwischen 1958 und 1985.⁷¹ In den letzten Jahren haben die Weltmeere stets mehr Wärme aufgenommen als im jeweiligen Vorjahr.

Die Erwärmung der Ozeane und Meere findet nicht nur an der Oberfläche statt, denn die aufgenommene Wärme

KM-I-1: Wassertemperatur des Meeres

Die mittlere jährliche Oberflächentemperatur der Nordsee ist seit 1969 signifikant gestiegen. Die mittlere Erwärmung beläuft sich auf 0,26 °C pro Dekade. Die jährlichen Werte unterliegen natürlichen Schwankungen.



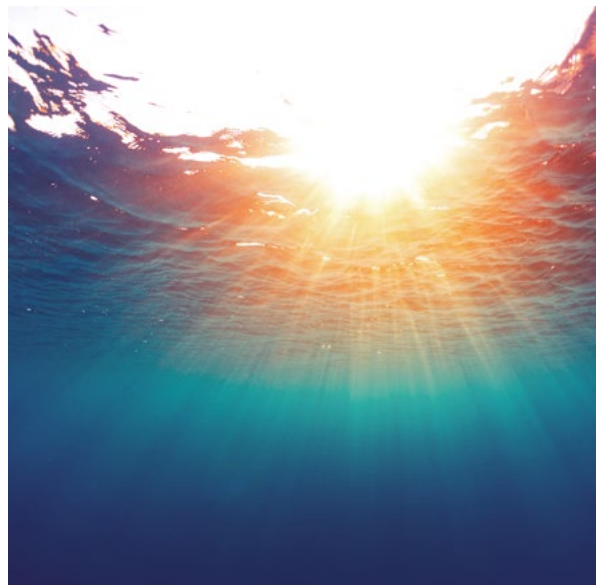
Datenquelle: BSH (Messstationen der Nordsee)

wird ins Meeresinnere weitergeleitet und erreicht auch tiefere und meeresbodennahe Schichten.⁷² Die Klimaerwärmung in erster Linie am Anstieg der global gemittelten Oberflächentemperatur zu messen, kommt daher einer vielfachen Unterschätzung und Fehleinschätzung der Problematik gleich. So wurde die globale Erwärmung sogar in Zweifel gezogen, als die Erwärmung der Oberflächentemperatur im Zeitraum 1998–2013 mehr oder minder stagnierte (global warming hiatus).⁷³

Dass auch Nordsee und Ostsee wärmer geworden sind, belegen insbesondere die großräumigen Oberflächentemperaturanalysen für die Nordsee, die am Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH) seit über 50 Jahren durchgeführt werden und für den Indikator zu Jahresmitteltemperaturen aggregiert wurden. Statistisch lässt sich ein signifikanter linearer Trend für den Gesamtzeitraum angeben. Der linear gemittelte Temperaturanstieg von rund 0,26 °C pro Dekade wird dabei von Schwankungen auf verschiedenen Zeitskalen überlagert. Ursächlich dafür sind verschiedene natürliche Variabilitätsmuster wie die Atlantische Multidekadische Oszillation. Die Zeitreihe der Jahresmittel der Lufttemperatur in Deutschland zeigt eine ähnliche Entwicklung (siehe Abbildung 1, Seite 19). Ähnliche Variabilitätsphänomene sind auch in anderen Teilen der Welt zu beobachten: Aufgrund der Entwicklung der mittleren Oberflächentemperaturen entlang der nordamerikanischen Pazifikküste bis in den Zentralpazifik ist von einem Warmregime im Pazifik seit 2014 auszugehen.⁷⁴

Die bisher höchsten Jahresmitteltemperaturen der Nordsee von 11,0 °C (2003, 2006, 2016, 2020) und darüber (11,4 °C, 2014) ergaben sich in der Regel aus einer extremen Erwärmung in den Sommermonaten, so auch zuletzt im Jahr 2022 (11,2 °C).

Die Konsequenzen der Erwärmung in Nord- und Ostsee und in anderen Weltmeeren auf das marine Ökosystem wurden in verschiedenen wissenschaftlichen Studien dokumentiert⁷⁵. Arten passen ihre Verbreitungsgebiete an oder sterben (lokal oder regional) aus (siehe Indikator FI-I-1, Seite 122). Auch indirekte Begleiterscheinungen des Klimawandels wie der Sauerstoffmangel und die Versauerung der Meere tragen dazu bei, dass sich mit der Artenvielfalt, -zusammensetzung und -verbreitung das gesamte marine Nahrungsnetz verändert. Die ökonomischen Folgen für die Meeresfischerei sind schwer überschaubar (siehe Indikator FI-I-2, Seite 124). An den deutschen Küsten haben hohe Meerwassertemperaturen in den vergangenen Jahren für Schlagzeilen gesorgt, wenn aufgrund erhöhter Konzentrationen von Vibrionen eine Gefahr für die Gesundheit von Badenden bestand



Nicht nur die Oberflächentemperatur der Nordsee steigt. Auch in den tieferen Wasserschichten werden inzwischen immense Wärmemengen gespeichert.

(Foto: © Dudarev Mikhail / stock.adobe.com)

(siehe Indikator GE-I-7, Seite 52) oder der Badetourismus durch Blaualgenblüten beeinträchtigt wurde. Zusätzlich angetrieben werden diese Entwicklungen durch die anhaltende Eutrophierung über Nährstoffeinträge aus den Flüssen. Die zur Erreichung der Ziele des Meeresschutzes für Deutschland festgesetzten maximalen Konzentrationen für Stickstoff am Übergangspunkt limnisch-marin werden im Mittel aller Flüsse für die Nordsee inzwischen eingehalten, aber für die Ostsee nach wie vor überschritten. Einige der Nord- und Ostseezuflüsse weisen noch sehr hohe Konzentrationen auf.⁷⁶

Eine unmittelbare Folge der Wärmespeicherung in den Ozeanen ist zudem die Ausdehnung (Volumenzunahme) des Meerwassers – eine der wesentlichen Ursachen des Meeresspiegelanstiegs (siehe Indikator KM-I-2, Seite 102). Der globale Meeresspiegel lag 2021 97 mm über dem Niveau von 1993 (dem Beginn der Satellitenmessungen) und damit auf Rekordhöhe. Knapp 40% davon sind auf die thermische Ausdehnung des Meerwassers zurückzuführen, der überwiegende Rest auf den Massezuwachs durch Schmelzwasser.⁷⁷

Kontinuierlich steigender Meeresspiegel an Nord- und Ostsee

Infolge des Klimawandels schmelzen die Gletscher und die Eisschilde der Pole. Sie liefern den Meeren große Mengen von Süßwasser. Gleichzeitig dehnt sich bei steigender Wassertemperatur das Meerwasser aus. Weltweit steigt dadurch der Meeresspiegel an. Der 6. IPCC Sachstandsbericht aus dem Jahr 2021 projiziert für dieses Jahrhundert über alle Szenarien möglichen menschlichen Handelns hinweg eine wahrscheinliche Bandbreite des globalen Meeresspiegelanstiegs von 0,3 bis 1,0 m. In diesen Werten sind allerdings nur die Prozesse abgebildet, die gut verstanden sind und modelliert werden können. Beispielsweise sind die Eisschmelzprozesse in der Antarktis derzeit noch nicht ausreichend modellierbar. Diese könnten aber bis zum Jahr 2100 noch zu einem zusätzlichen Anstieg des Meeresspiegels von über einem Meter führen. Für die deutschen Küsten wird von Werten ausgegangen, die von den genannten globalen Mittelwerten kaum abweichen⁷⁸.

Verschiedene Einflussfaktoren wie unter anderem Massenumverteilungen im Ozean, Wind- und Luftdruckverhältnisse können die globale Entwicklung regional

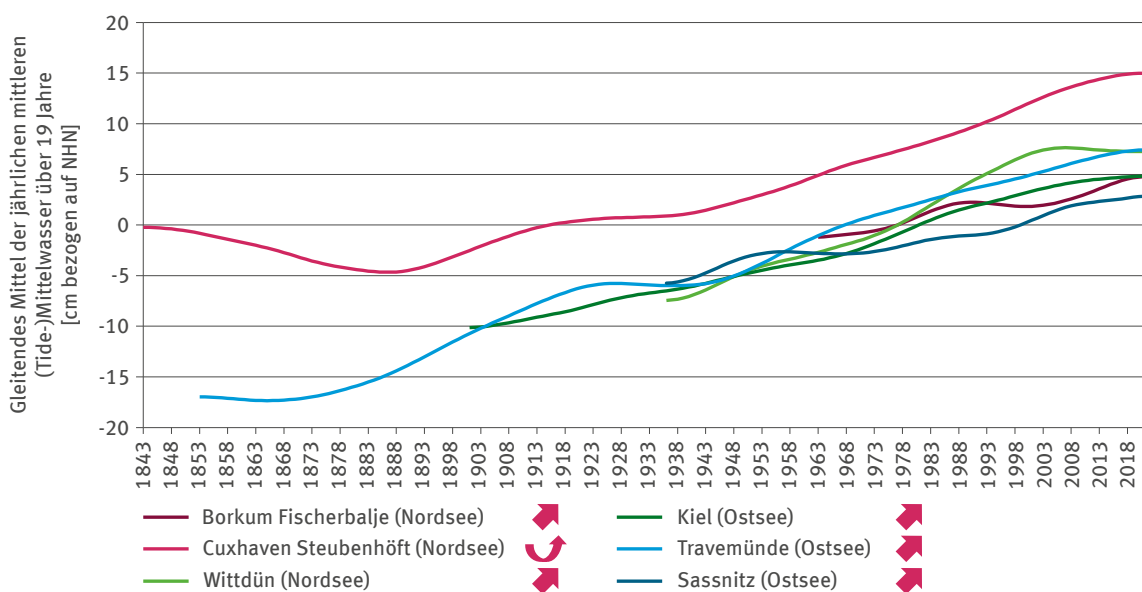
verstärken oder abschwächen. Darüber hinaus haben vertikale Landbewegungen entscheidenden Einfluss auf den absoluten Meeresspiegelanstieg an einem bestimmten Ort: Während der letzten Kaltzeit bedeckten mächtige Eisschilde den Küstenraum der Nord- und Ostsee. Sie ließen die Landmassen durch ihr enormes Gewicht sinken. Mit dem Abschmelzen des Eises setzte vor mehr als 10.000 Jahren eine isostatische Ausgleichsbewegung ein, die bis heute andauert. Diese Faktoren führen dazu, dass sich der Anstieg des Meeresspiegels regional und lokal sehr unterschiedlich ausprägt.

An den deutschen Küsten werden Wasserstände an einzelnen Pegeln bereits seit bis zu 180 Jahren regelmäßig gemessen. Die langen Zeitreihen liefern Erkenntnisse zur historischen Entwicklung des Meeresspiegels an Nord- und Ostsee. Der Indikator zeigt den mittleren jährlichen Wasserstand an ausgewählten Einzelpegeln in cm bezogen auf Normalhöhennull (NHN). Das NHN bezeichnet den Nullpunkt des aktuellen Höhenbezugssystems in Deutschland, dem Deutschen Haupthöhennetz. Die drei Pegel Cuxhaven Steubenhöft, Borkum Fischerbalje und



KM-I-2: Meeresspiegel

Die an ausgewählten Pegeln der Nord- und Ostsee gemessenen, über 19 Jahre gemittelten Wasserstände illustrieren den Meeresspiegelanstieg. An den Pegeln der Nordsee und der Ostsee steigen die Wasserstände signifikant. Der ansteigende Meeresspiegel bedeutet für Küstenregionen, insbesondere für Ästuare und tiefliegende Niederungsgebiete, eine wachsende Gefährdung durch Sturmfluten, die zu Überschwemmungen führen können.



Datenquelle: BfG (Pegeldatenbank der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes)

Wittdün auf Amrum liegen an der Nordseeküste, die Pegel Kiel, Travemünde und Saßnitz bilden die Entwicklung des Meeresspiegels an der Ostsee ab.

Die Nordsee ist vom Gezeitenwechsel geprägt. Der Indikator bildet aus diesem Grund für die entsprechenden Pegel das Mittlere Tidemittelwasser (MTmw) ab. Die Ostsee hingegen unterliegt aufgrund ihrer geografischen Lage mit nur geringer Verbindung zu den Ozeanen einem lediglich schwachen Gezeiteneinfluss, weshalb hier die jährlichen Mittleren Wasserstände (MW) maßgeblich sind. Für diese Kennwerte des Wasserstands wurde mittels eines Tiefpassfilters ein gleitendes Mittel über 19 Jahre ermittelt.

An allen untersuchten Pegeln sind die Mittleren (Tide-mittel-) Wasserstände über die letzten 60 bis 180 Jahre statistisch signifikant steigend. Analog zur Entwicklung des globalen Meeresspiegelanstiegs⁷⁹ ergibt die Trendanalyse am Pegel Cuxhaven Steubenhöft an der Nordsee einen säkularen (statistisch signifikanten quadratischen) Trend, der etwa seit Ende des 19. Jahrhunderts beginnt und von einer jeweils mehrere Dekaden umfassenden Variabilität überlagert ist. Von Beginn der Aufzeichnungen bis etwa zum Ende der 1880er-Jahre ist der Meeresspiegel an diesem Pegel zunächst gesunken, bevor ein kontinuierlicher Anstieg beobachtet wurde. Am Pegel Wittdün waren die Wasserstände zuletzt leicht rückläufig. Dies geht möglicherweise auf morphologische Änderungen im Umfeld des Pegels zurück.

Der ansteigende Meeresspiegel bedeutet für Küstenregionen, insbesondere für Ästuare und Niederungsgebiete, die teilweise sogar unter dem Meeresspiegel liegen, eine wachsende Gefährdung durch Sturmfluten, die zu Überschwemmungen führen können (siehe Indikator KM-I-3, Seite 104). Eine weitere Folgewirkung des ansteigenden Meeresspiegels ist die voranschreitende Küstenerosion, die sandige Brandungsküsten und damit auch Steilküstenabschnitte betrifft (siehe Indikator KM-I-4, Seite 106).

In der Deutschen Bucht und den angrenzenden Ästuaren wirkt der Meeresspiegelanstieg zudem auf die Tidedynamik (Tidewasserstände und Strömungsgeschwindigkeiten). So verändert beispielsweise die modifizierte Tidedynamik den Sedimenttransport in den Wattgebieten und den Ästuaren. Höhere Flutstromgeschwindigkeiten (im Vergleich zu Ebbstromgeschwindigkeiten) tragen mehr Sediment in diese Gebiete. Wie stark die Wattgebiete mit dem Meeresspiegelanstieg mitwachsen, hängt unter anderem von der Sedimentverfügbarkeit ab. Es bestehen nach wie vor Unklarheiten. Dies gilt auch für die Halligen. Auch sie wachsen durch Sedimenteintrag



Der Meeresspiegel steigt immer weiter. Das hat nicht nur Auswirkungen auf Strände, sondern auch auf Wattgebiete, Ästuare und küstennahe Niederungen. (Foto: © Dietmar / stock.adobe.com)

bei Überflutungen in die Höhe. Steigt der Meeresspiegel aber in Zukunft schneller, werden die Halligen und die Salzwiesen ohne gezielte Schutzmaßnahmen massiv bedroht sein⁸⁰. In den Ästuaren, die unter anderem als Schifffahrtsstraßen dienen (beispielsweise Zufahrt zum Hamburger Hafen über die Elbe), könnte ein höherer Sedimenteintrag zu einem höheren Unterhaltsaufwand führen, falls die Verringerung der Wassertiefe durch den erhöhten Sedimenteintrag gegenüber der Erhöhung der Wassertiefe aufgrund des Meeresspiegelanstiegs überwiegt. Zu berücksichtigen ist, dass wasserbauliche Maßnahmen stets auch starken Einfluss auf diese Prozesse haben.

Die Unsicherheiten in den Projektionen des Meeresspiegelanstiegs und die Auswirkungen regionaler und lokaler Veränderungen machen eine gezielte Erfassung von Daten zur Entwicklung der Wasserstände an den Küsten unerlässlich. An ihnen orientieren sich unter anderem die notwendigen Maßnahmen des Küstenschutzes und an anderen küstennahen Bauwerken, die es kontinuierlich an die neuen Herausforderungen anzupassen gilt (siehe Indikator KM-R-2, Seite 114).

Sturmfluten erhöhen die Gefahr für Überschwemmungen

In Küstengebieten zählen Sturmfluten zu den größten Naturgefahren. Sie entstehen, wenn starker Wind in aufländiger Windrichtung größere Wassermassen gegen die Küste drückt. Vor allem Stürme und Orkane führen zu massivem Windstau, der in der Nordsee in Abhängigkeit von den Gezeiten zum Auftreten von Sturmfluten führen kann. Je nach Windintensität, orografischer Beschaffenheit der Küstengewässer sowie in Abhängigkeit etwaiger Maßnahmen des technischen Hochwasserschutzes besteht das Risiko folgenschwerer Überschwemmungen in den küstennahen Niederungsgebieten. An der deutschen Küste sind Sturmfluten insbesondere im Winterhalbjahr keine Seltenheit. An der Nordseeküste Schleswig-Holsteins sind vor allem Wetterlagen mit Winden aus westlicher, für Niedersachsen aus nördlicher Richtung effizient bei der Entstehung von Sturmfluten und damit besonders gefährlich.

Der Anstieg des Meeresspiegels an der Nord- und Ostsee infolge des Klimawandels bietet Sturmfluten ein höheres Ausgangsniveau und lässt die Wassermassen höher auflaufen. In den Ästuaren kam es zu einer zusätzlichen Erhöhung von Sturmflutwasserständen durch lokale

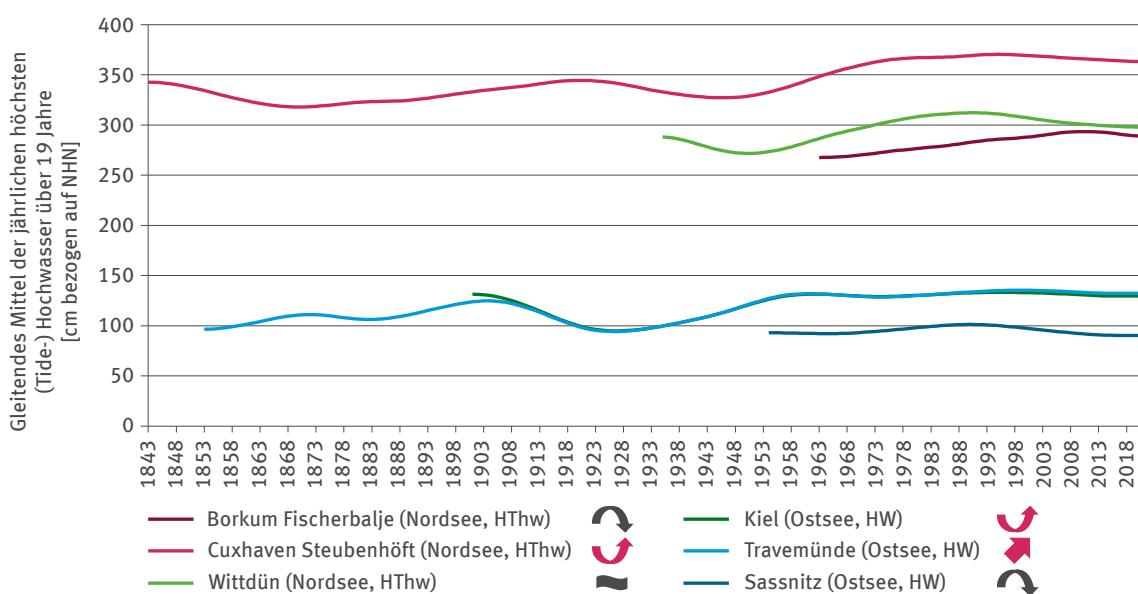
anthropogene Maßnahmen. Dies ist unter anderem an Ems, Weser und Elbe zu beobachten. Mit der Eindeichung und Begradigung von Flüssen gehen natürliche Überflutungsflächen verloren.

An der Nordseeküste wird heutzutage von Sturmfluten gesprochen, wenn der Wasserstand mindestens 1,50 m über dem aktuellen Mittleren Hochwasser (MHW) liegt. Da das Überschreiten dieses Grenzwerts aber an den (schwankenden) mittleren Meeresspiegel (siehe Indikator KM-I-2, Seite 102) gebunden ist, wird sich zukünftig zwar nicht zwangsläufig die Anzahl der Sturmfluten erhöhen, die Sturmfluten werden aber unter der Annahme ansonsten gleicher meteorologischer Rahmenbedingungen höher auflaufen und können höhere Schäden verursachen. Einzelne besonders schwere Sturmfluten führen im Allgemeinen zu Schäden an küstennahen Gebäuden und Infrastrukturen. An der Nordsee sind in der Vergangenheit immer wieder solche schadenreichen Sturmfluten aufgetreten. An den deutschen Küsten werden Sturmfluten seit fast 2.000 Jahren dokumentiert. Zu den verheerendsten Sturmfluten der letzten 100



KM-I-3: Höhe von Sturmfluten

Die höchsten (Tide-)Hochwasser an sechs ausgewählten Pegeln der Nord- und Ostsee zeigen einen zyklischen Verlauf. Die Zeitreihen schwanken mit Phasen steigender und sinkender Sturmflutwasserstände. Aus der Darstellung auf Basis gleitender 19-Jahresmittelwerte sind extreme Einzelereignisse nicht abzulesen. Zwischen den betrachteten Pegel ist die Trendentwicklung unterschiedlich.

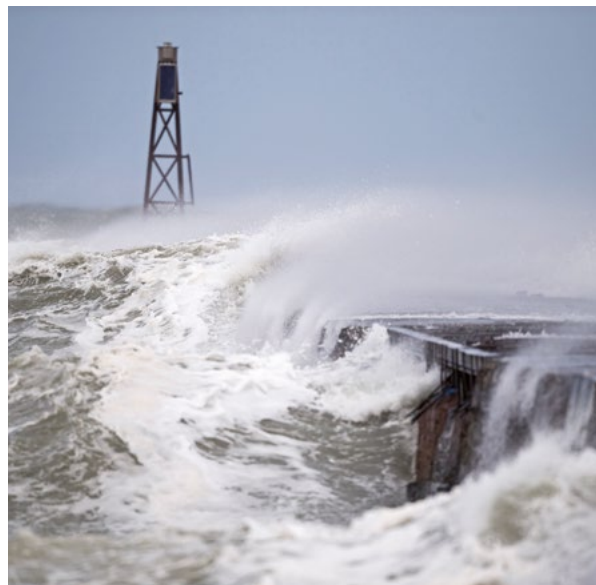


Datenquelle: BfG (Pegeldatenbank der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes)

Jahre zählt die Sturmflut vom 16. Februar 1962, die an der Küste der gesamten Deutschen Bucht, insbesondere aber in Hamburg Schäden verursachte und zahlreiche Todesopfer forderte. Die Sturmflut 1976 lief zwar höher auf, der Küstenschutz war damals aber bereits verstärkt worden. Durch die große Nordfrieslandflut im November 1981 kam es zu umfangreichen Schäden an den Dünen der Nordseeinseln. Der Orkan Anatol im Dezember 1999 erreichte Sturmspitzen von bis zu 200 km/h und führte kurzfristig zu einem sehr hohen Anstieg der Pegelstände im gesamten Nordseegebiet. Im Dezember 2013 war das gesamte Nordseegebiet von Orkan Xaver und einer teils sehr schweren Sturmflut betroffen. Die Deiche am Festland hielten den Wassermassen stand, aber an den Ost- und Westfriesischen Inseln kam es zu starken Dünenabbrüchen. Zuletzt traten zu Beginn des Jahres 2022 mehrere teils schwere und eine sehr schwere (> 3,5 m über MHW) Sturmflut an der Nordseeküste auf. Diese Sturmfluten sind jedoch noch nicht Teil der Datenbasis für den hier dargestellten Indikator KM-I-3.

An der Ostsee bestimmen vor allem Dauer, Richtung und Stärke des Windes, ob eine Sturmflut entsteht. Wasserstände ab einem Meter über dem mittleren Wasserstand gelten hier als Sturmflut. Da die Gezeiten kaum eine Rolle spielen, können in der Ostsee Sturmfluten auch über 1–2 Tage andauern. In geringerem Maße tragen auch die Füllung der Ostsee, Eigenschwingungen (auch „Seiches“ genannt) sowie Luftdruckveränderungen zu Wasserstandsschwankungen bei. Die schwerste Sturmflut in der südwestlichen Ostsee ereignete sich am 13./14. November 1872 und führte zu erheblichen Zerstörungen. Dabei kamen 271 Menschen ums Leben.

An der deutschen Ostseeküste kommt es jedes Jahr zu leichten Sturmfluten. Schwere Sturmfluten sind seltener, traten aber zum Beispiel jeweils am Jahresbeginn 2017 und 2019 auf. Zu den höchsten Wasserständen kam es dabei in Wismar: zum Abend des 4. Januar 2017 mit 1,83 m und am Nachmittag des 2. Januar 2019 mit 1,91 m über dem mittleren Wasserstand. Nach diesen Ereignissen wurden vor allem an den Küsten und Stränden Schäden verzeichnet. Ende Januar 2022 bewirkte Sturmtief Nadia zuerst ein Niedrigwasser und gleich darauf eine Sturmflut. Durch die Verlagerung dieses Tiefs kam es zuerst zu starkem Südwestwind, der die Wasserstände sinken ließ, danach drehte der Wind auf Nord und erfasste auch die zentrale Ostsee. Von dort wurde das Wasser in die westliche Ostsee gedrückt, und zusätzlich drückten lokal orkanartige Böen aus Norden das Wasser zur Küste. In Flensburg nahm dabei der Wasserstand in etwa 16 Stunden von 1,59 m unter auf 1,49 m über dem mittleren Wasserstand zu, stieg also um insgesamt mehr als 3 m.



Sturmfluten sind Extremereignisse. Mit dem steigenden Meeresspiegel können Sturmfluten höher auflaufen. (Foto: © bevisphoto / stock.adobe.com)

Veränderungen von Sturmflutintensitäten durch den Anstieg des Meeresspiegels können über das jährlich höchste Tidehochwasser (HThw) an den Nordseepegeln beziehungsweise das jährlich höchste Hochwasser (HW) an den Ostseepegeln beschrieben werden. Für den Indikator wurden diese Wasserstände durch die BfG unter Verwendung eines Tiefpassfilters als 19-jährige gleitende Mittel bestimmt.

Für die Indikator Darstellung wurden aussagekräftige Einzelpegel ausgewählt, die nicht zu stark durch bauliche Veränderungen in den letzten Jahren oder die lokalen Gegebenheiten geprägt sind. Des Weiteren wurde eine regionale Verteilung der Pegel zwischen Nord- und Ostsee, aber auch an der jeweiligen Küste angestrebt. Bei den drei Nordseepegeln handelt es sich um die Pegel Cuxhaven Steubenhöft, Borkum Fischerbalje sowie Wittdün auf Amrum. Die Pegel Kiel, Travemünde und Sassnitz liegen an der Ostseeküste.

Die Höhe der Sturmfluten an den ausgewählten Pegeln der Nord- und Ostsee zeigt keinen signifikanten Trend. Phasen steigender und sinkender Höchststände wechseln sich mit einer Periodizität von etwa 50 bis 70 Jahren ab. Aus der Darstellung auf Basis gleitender 19-Jahresmittelwerte sind extreme Einzelereignisse nicht abzulesen. Lediglich Häufungen von solchen Ereignissen führen zu ansteigenden Werten.

Die Küste verlagert sich landeinwärts

Als natürliche Grenze zwischen dem Meer und dem Festland sind Küsten kontinuierlich der Kraft des Wassers ausgesetzt. In einem Wechselspiel aus Erosions-, Transport- und Akkumulationsprozessen unterliegen sie ständiger Veränderung: Aus dem Sediment, das mancherorts von Stränden oder Klippen abgetragen wird, kann andernorts durch Anlagerung neues Land entstehen. Die Beschaffenheit einzelner Küstenabschnitte und ihre stetige Formung hängen von ihren geomorphologischen Eigenschaften ab, insbesondere der Festigkeit des Gesteins. Entscheidend sind darüber hinaus hydrodynamische Faktoren wie Meeresströmungen, die Gezeiten, der Wasserstand und der Seegang, aber auch Starkregenereignisse.

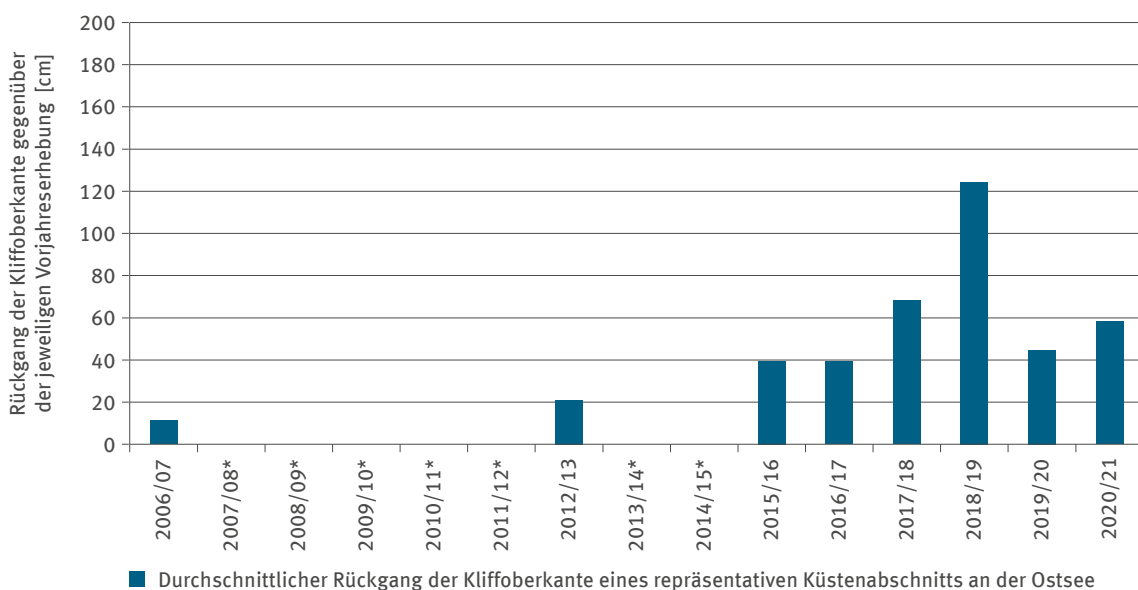
Aufgrund dieser Einflussfaktoren stehen küstenmorphologische Veränderungen in engem Zusammenhang mit den Auswirkungen des Klimawandels. Bei steigendem Meeresspiegel nehmen die Belastungen auf die Küste zu. Sturmfluten laufen höher auf (siehe Indikator KM-I-3, Seite 104) und den Wellen bieten sich neue Angriffsflächen. Insbesondere an Steilküsten können

Extremwetterereignisse wie Starkniederschläge oder häufige Frost-Tau-Wechsel die Erosion begünstigen. Mit Blick auf die facettenreichen Funktionen der Küstenlandschaften erhalten ihre Abtragung oder Verlagerung besonderes Gewicht. Die Küste ist Lebensraum für zahlreiche teils seltene Tier- und Pflanzenarten. Zusätzlich zu ihrem ökologischen Wert gilt die Küste als ein bedeutender Wirtschaftsfaktor mit hohem Freizeit- und Erholungswert. Viele der Anrainergemeinden sind auf den Tourismus ausgerichtet. Die klimatischen Veränderungen in Verbindung mit der hohen Nutzungsintensität setzen die Küsten zunehmend unter Druck und lassen das ökologische und ökonomische Risiko ohne Gegenmaßnahmen steigen.

Auch entlang der deutschen Ostseeküste sind Rückverlagerungen der Kliffkanten sowie Rückgänge von Stränden zu beobachten. Charakteristisch für die Küstenlinie ist ein Wechsel aus Steil- und Flachufern, an denen vor allem Sande und anderes Lockermaterial abgetragen werden. Wie viel Material tatsächlich erodiert, ist ungewiss. Kontinuierliche und flächendeckende Daten zu Küstenrückgängen liegen für die deutsche Küste bisher nicht

KM-I-4: Küstenmorphologie – Fallstudie

Der Klimawandel beeinflusst hydrodynamische Faktoren, die sich auf die Küstenerosion auswirken können. Laserbefliegungsdaten eines repräsentativen Steilküstenabschnitts auf dem Fischland an der Ostseeküste zeigen alljährlich einen weiteren Rückgang der Kliffoberkante. Vor allem Jahre mit schweren Sturmfluten führen zu umfangreichen Materialabbrüchen.



* keine Daten

Datenquelle: StALU Mittleres Mecklenburg (Laserbefliegungen)

vor. Aufgrund der Komplexität von Erosionsprozessen ist die Datenerfassung mit großem technischen Aufwand sowie Ungenauigkeiten verbunden.

Um dennoch Erkenntnisse zum erosionsbedingten Abtrag an der deutschen Ostseeküste zu gewinnen, führt das Staatliche Amt für Landwirtschaft und Umwelt Mittleres Mecklenburg (StALU) inzwischen jährliche Laserbefliegungen an der Küste von Mecklenburg-Vorpommern durch. Der rund drei Kilometer lange repräsentative Steilküstenabschnitt zwischen den Gemeinden Wustrow und Ahrenshoop wird im Herbst eines jeden Jahres digital vermessen. Aus den Daten zur Lage der Kliffoberkante lässt sich der durchschnittliche jährliche Küstenrückgang ermitteln. Die Vermessungsdaten liegen dem hier präsentierten Fallstudien-Indikator zugrunde. Wie die meisten Steilküsten in Mecklenburg-Vorpommern unterliegt auch dieser Küstenabschnitt einer natürlichen Dynamik, die dadurch geprägt ist, dass das erodierte Material der Steilküsten küstenparallel verfrachtet wird und den besiedelten Flachküstenabschnitten zugutekommt.

Die Erosion an der Steilküste folgt einem zyklischen Muster: Zunächst kommt es während Sturmfluten zum Abtrag der vorgelagerten Kliffhalde, einer Anhäufung bereits vom Kliff abgestürzten Sediments. Wird anschließend weiteres Material vom Klifffuß erodiert, entsteht eine Hohlkehle. Der daraus resultierende Überhang und die Instabilität des Kliffs führen, oft in Verbindung mit Starkregenereignissen, zu Abbrüchen und Rutschungen mit Bildung einer neuen Kliffhalde. Im Rahmen dieses kontinuierlichen Prozesses verlagern sich die Steilküsten im beobachteten Küstenabschnitt im Durchschnitt pro Jahr 20 bis 40 cm landeinwärts. Unter extremen Bedingungen, beispielsweise bei Sturmfluten, und entsprechend schnelleren und intensiveren Abtragungsprozessen kommt es zu rascheren und größeren Verlagerungen der Kliffoberkante.

Die Daten der Fallstudie unterstreichen den Einfluss von Sturmfluten auf den Küstenrückgang: In den Zeiträumen 2017/2018 sowie 2018/2019 trugen zum Teil schwere Sturmfluten zu verstärkter Erosion am Fischlandhochufer bei. Im Herbst des Jahres 2018 ließen Ostwinde in Kombination mit einem hohen Füllungsgrad der Ostsee die Pegel an der Küste steigen. Zu Beginn des Jahres 2019 ereigneten sich infolge starker Winde zwei Sturmflutereignisse kurz hintereinander. Die Kliffoberkante am Fischland wanderte 2018/2019 im Vergleich zur Vorjahreserhebung um durchschnittlich mehr als 1,2 m landeinwärts. Im Zeitraum zwischen den Befliegungen der Jahre 2020 und 2021 betrug der Rückgang der Kliffoberkante knapp 60 cm. Aufgrund der Kürze der Zeitreihe und der



Bei steigendem Meeresspiegel nehmen die Belastungen auf die Küste zu. Es kommt wie hier an der Steilküste bei Ahrenshoop zu Materialverlagerungen. (Foto: © fotografc / stock.adobe.com)

Jahre ohne Befliegung kann die Zeitreihe bisher keiner statistischen Trendanalyse unterzogen werden.

Die Daten geben Aufschluss über die Erosion eines ausgewählten Steilküstenabschnitts der Ostsee. Rückschlüsse auf den Küstenrückgang an anderen Küstentypen oder an der Nordsee sind auf Basis dieser Ergebnisse nicht oder nur sehr eingeschränkt möglich. Auch für die Verhältnisse am Fischland stellen die Daten nur eine Näherung dar. Die Lasermessung ist durch die große Distanz vom Flugzeug zum Boden technisch bedingt nicht exakt. Zudem variiert die überflogene Länge des Küstenabschnitts von Jahr zu Jahr um einige Meter. Dadurch werden potenziell sehr stark oder weniger stark erodierende Küstenbereiche an den Enden des Küstenabschnitts möglicherweise nicht in jedem Jahr erfasst. Die Jahresschritte sind darüber hinaus nicht von gleicher Dauer: Die Befliegungen fallen zwar stets in dieselbe Saison, erfolgen aber nicht taggleich.

Trotz dieser Einschränkungen vermag die Fallstudie aufgrund der geringen anthropogenen Einflüsse am Fischland einen Eindruck der natürlichen und klimatisch beeinflussten Erosionsprozesse zu geben. Andernorts wirken Gegenmaßnahmen wie Sandvorspülungen und Buhnen der Abtragung und Verlagerung der Küste effektiv entgegen. An den sandigen Rückgangsküsten von Mecklenburg-Vorpommern sind Dünen in Kombination mit Buhnen die wichtigsten Elemente der Küstenschutzstrategie (siehe Indikator KM-R-1, Seite 112).

Abflüsse küstennaher Fließgewässer durch Sturmfluten beeinflusst

Wo Meer und Flüsse aufeinandertreffen, lässt ein Wechselspiel natürlicher Kräfte einzigartige Naturräume entstehen. In den Mündungsbereichen und küstennahen Fließgewässern wirken Brandung und Gezeiten mit den Flussströmungen aus dem Binnenland zusammen. Aufgrund variabler Süß- und Salzwasseranteile zeichnen sich die dynamischen Landschaften durch besondere ökologische Eigenschaften aus. Die Brackwasserzonen sind Lebensraum für spezialisierte Tier- und Pflanzarten und dienen als „Kinderstube“ für wirtschaftlich bedeutsame Fischarten. Mündungs- und Brackwasserbereiche prägen vielerorts auch die norddeutsche Küste.

Unter Tideeinfluss wie an der Nordsee wirken sich die Gezeiten auf das hydrodynamische Geschehen in küstennahen Fließgewässerabschnitten aus: Während bei Ebbe das Flusswasser ungehindert in den Mündungsbereich fließen kann, wird bei Flut der Abfluss verlangsamt oder das Flusswasser aufgestaut. Bei erhöhtem Zufluss von Meerwasser in die Mündungsbereiche und Binnengewässer,

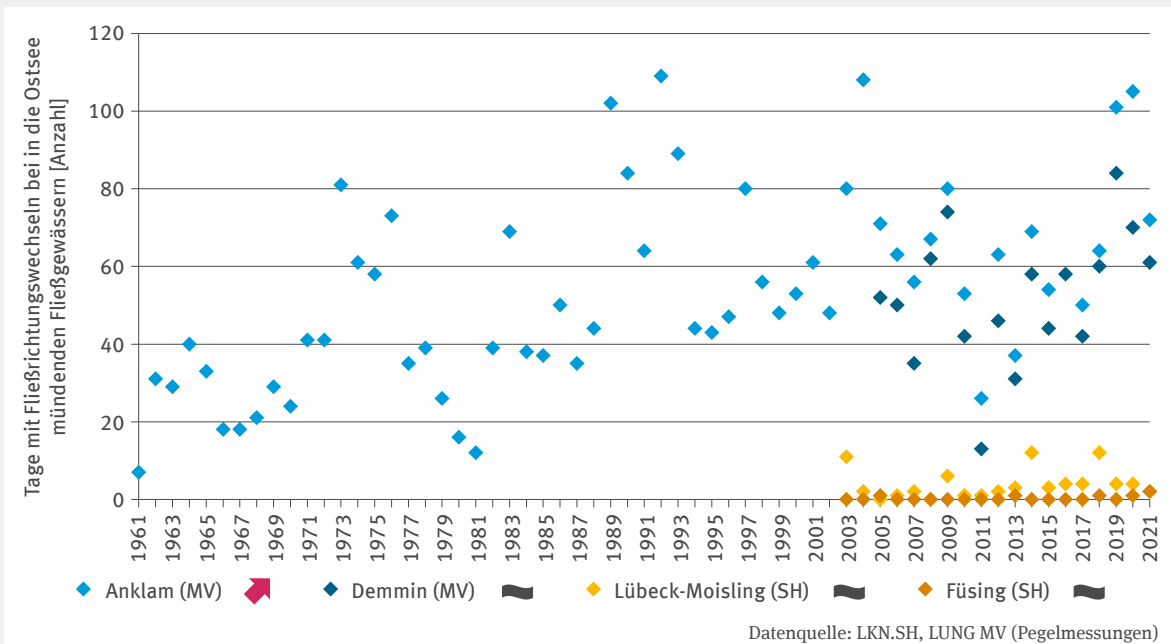
insbesondere aufgrund von starkem Wind und hohem Seegang, kann es dazu kommen, dass sich die Fließrichtung des Wassers in küstennahen Fließgewässerabschnitten zeitweise umkehrt. Im Falle solcher Rückstauereignisse verzeichnen die Messstationen entlang der betroffenen Flussabschnitte negative Abflusswerte. Ist die Tide wie an der Ostsee nur schwach ausgeprägt, sind Stürme stets der bestimmende Faktor für den Rückstau in Fließgewässern. Vor allem bei hohem Wasserspiegel kann starker Wind das Meerwasser weit in die Binnengewässer drücken. Der Klimawandel begünstigt das Auftreten solcher Rückstauereignisse: Durch den steigenden Meeresspiegel kommt es zu grundsätzlich höheren Pegelständen an der Küste. Mit ihnen steigt auch das Ausgangsniveau von Sturmfluten, die infolgedessen höhere Wasserstände erreichen können (siehe Indikator KM-I-3, Seite 104).

Neben dem maritimen Einfluss durch Sturmfluten und Seegang ist das Auftreten von Rückstau in einem Gewässer an bestimmte Gewässercharakteristika gekoppelt.



KM-I-5: Fließrichtungswechsel

An der Ostsee kann es insbesondere infolge von Sturmfluten zu einem Fließrichtungswechsel in küstennahen Fließgewässerabschnitten kommen. Infolge des Klimawandels steigt das Risiko für solche Rückstausituationen. Am Pegel Anklam in Mecklenburg-Vorpommern ist die Zahl der Tage mit Fließrichtungswechseln seit 1961 signifikant gestiegen. Die anderen Pegel zeigen, möglicherweise auch wegen der noch kurzen Zeitreihen, keine Trends.



Datenquelle: LKN.SH, LUNG MV (Pegelmessungen)

Rückstaubeinflusste Fließgewässer zeichnen sich durch einen (sehr) schwachen Wasserabfluss und ein niedriges Talbodengefälle ($< 0,5$ Promille vereinzelt bis ≤ 2 Promille) aus. Diese Bedingungen treffen für die durch die letzte Eiszeit geprägten Jungmoränenlandschaften in Mecklenburg-Vorpommern und im östlichen Schleswig-Holstein zu. Im Bereich der Flachküsten der Ostsee münden die Gewässer in ein schwach brackisches, unterschiedlich stark verlandetes Küstengewässer. Beispielsweise mündet die Peene in das Stettiner Haff, einen durch eine Nehrung beziehungsweise die Insel Usedom vom Hauptteil der Ostsee getrennten Brackwasserbereich. Die mineralische Gewässersohle der rückstaubeinflussten Fließgewässer liegt meist deutlich unterhalb des Ostsee-Meeresspiegels. Infolge natürlicher Sedimentationsprozesse kommt es an der Gewässersohle häufig zu Schlammablagerungen.

Durch Rückstau können sich die ökologischen und hydrodynamischen Charakteristika in und an den betroffenen Fließgewässerabschnitten verändern. So verlagert sich bei Sturmfluten die Mündung der Peene in die Ostsee landeinwärts, wodurch Flächen in den Einfluss des Meeres geraten, die bisher nicht diesen Einflüssen ausgesetzt waren. Aus den Schlammablagerungen können Sauerstoffzehrungen folgen, die sich auf die Gewässerqualität und das ökologische Gefüge auswirken können. Der Rückstau kann entlang des Binnengewässers zudem die Hochwassergefahr verschärfen. Hier übernehmen in erster Linie Deiche den Hochwasserschutz. Diese sind allerdings meist für Hochwasserereignisse bemessen, deren Entstehung im Binnenland liegt.

Der Indikator zeigt anhand von vier ausgewählten Pegeln die Anzahl der Tage mit Fließrichtungswechseln bei ausgewählten in die Ostsee mündenden, rückstaubeinflussten Fließgewässern⁸¹. Für die Auswahl der Pegel war entscheidend, dass diese möglichst wenig anthropogen beeinflusst sind. Unterschiede zwischen den Pegeln bestehen in der Exposition zur Ostsee sowie der topografischen Gestalt der Gewässerbetten und des Talbodengefälles. Zwei Pegel liegen an der Peene: Der Pegel Anklam befindet sich im Mündungsbereich der Peene in das Stettiner Haff. Der Pegel Demmin befindet sich 58 km weiter landeinwärts und zeigt, wie weit sich der Fließgewässerrückstau ins Landesinnere fortsetzt. Der an der Trave gelegene Pegel Lübeck-Moisling liegt in einem sowohl von Küstenhochwasser als auch von Flusshochwasser betroffenen Gebiet. Trotz seiner Entfernung von 20 km von der Küste reagiert der Pegel ebenfalls auf erhöhte Ostseewasserstände und Sturmfluten. Der Pegel Füsing an der Füsinger Au befindet sich im Rückstaubereich der Schlei.



Die Hydrodynamik küstennaher Fließgewässerabschnitte steht unter dem Einfluss der Gezeiten und von Sturmfluten. (Foto: © Peter Engelke / stock.adobe.com)

Die Zeitreihen verlaufen aufgrund des Einflusses einzelner Extremereignisse schwankend. Am Pegel Anklam kam es erstmals im hydrologischen Jahr 1989 an über 100 Tagen zu einem Fließrichtungswechsel aufgrund von Rückstau. Vor allem im August des Jahres wurden negative Abflusswerte registriert, als ein schwerer Sturm mit orkanartigen Böen an der Ostseeküste zu Hochwasser mit meterhohen Wellen und erheblichen Schäden führte. Ähnlich häufig kam es zuletzt in den hydrologischen Jahren 2019 und 2020 zu Rückstausituationen am Pegel Anklam. Zu Beginn des Jahres 2019 trugen gleich zwei Sturmfluten kurz hintereinander zu Fließrichtungswechseln in der Peene bei. In diesem Jahr kam es am Pegel Demmin mit Fließrichtungswechseln an 84 Tagen zum bisherigen Höchstwert der Zeitreihe. Die meisten Tage mit Fließrichtungswechsel am Pegel Lübeck-Moisling wurden im September 2014 gemessen: Ende des Monats beeinflusste Sturmtief „Gudrun“ den Ostseeraum. Als der Wind in der westlichen Ostsee an Stärke gewann und auf Nord drehte, erreichte der Wasserstand an der Küste den Monatshöchstwert und drückte Meerwasser in die küstennahen Fließgewässer.

Die Sommer 1992, 2003, 2018 sowie 2019 waren im norddeutschen Raum von ausgeprägter Hitze und geringen Niederschlägen geprägt. Der Oberwasserabfluss der Gewässer war infolgedessen deutlich reduziert. Die geringen Abflüsse in Peene, Trave und Schlei könnten die in diesen Jahren verzeichneten Fließrichtungswechsel begünstigt haben.

Schöpfwerksbetrieb sichert Niederungen

An der norddeutschen Küste prägen Niederungsgebiete das Landschaftsbild ganzer Regionen. Die oft weitläufigen Ebenen sind unter anderem das Ergebnis glazialer Abtragungs- und Formungsprozesse zum Ende der letzten Kaltzeit, als die bis nach Norddeutschland vorgedrungenen Gletscher abschmolzen. Später stand das fruchtbare Tiefland unter kulturhistorischem Einfluss. Auch heute unterliegen die Niederungen einem breiten Spektrum unterschiedlichster Nutzungen: Einige Teilflächen bieten seltenen Tier- und Pflanzenarten Lebensraum und sind für den Naturschutz von herausragender Bedeutung. Darüber hinaus befinden sich in den Niederungsgebieten Siedlungen sowie vereinzelt Industrie- und Gewerbeflächen. Vor allem in Küstennähe gewinnt die Ausrichtung auf den Tourismus zunehmend an Relevanz. Der überwiegende Teil der Niederungsfläche dient derzeit landwirtschaftlichen Produktionszwecken.

Die niedrigen Geländehöhen von meist nur wenigen Metern über dem mittleren Meeresspiegel und ein geringes Gefälle wirken sich maßgeblich auf den Wasserhaushalt und die hydrologischen Verhältnisse in den

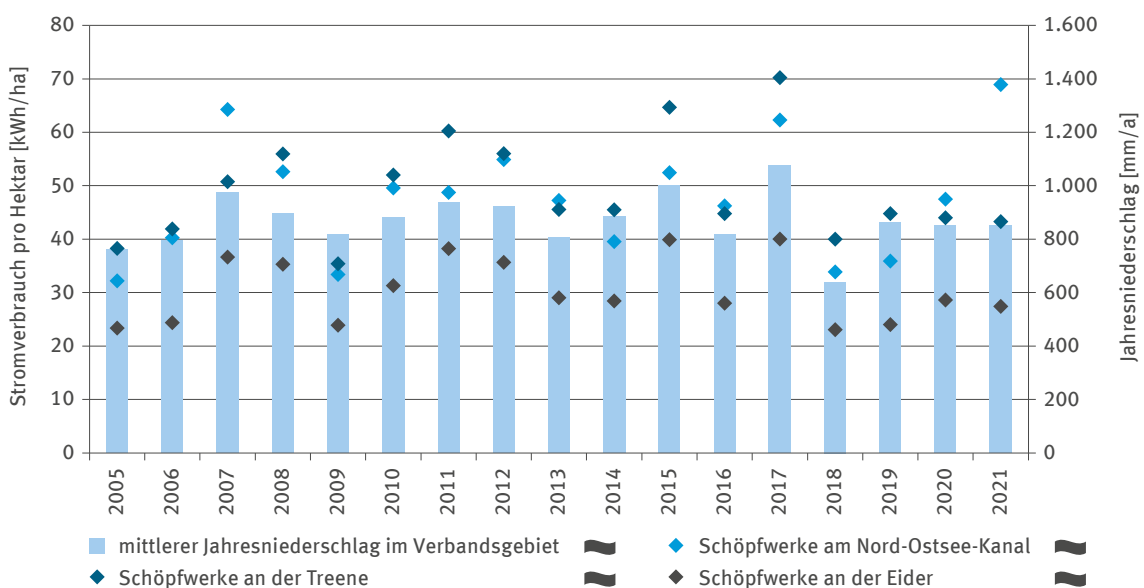
Niederungsgebieten aus. Um die Bedingungen vor allem für die landwirtschaftliche Flächennutzung zu erhalten oder auch zu verbessern, bedarf es häufig einer ergänzenden künstlichen Entwässerung, wo keine kontinuierliche Freigefälleentwässerung möglich ist. Landwirtschaftliche Flächen können in der Regel Überstaudauern von maximal 14 Tagen tolerieren, bevor mit erheblichen Schäden zu rechnen ist. Zur künstlichen Entwässerung kommen technische Bauwerke wie Siele mit Speicherbecken oder Schöpfwerke zum Einsatz. Letztere heben mithilfe von Pumpen das Wasser auf ein höheres Niveau und ermöglichen so den Abfluss in ein Fließgewässer beziehungsweise ins Meer.

Die Niederungen und der Betrieb von Anlagen zur künstlichen Entwässerung sind von den Folgen des Klimawandels direkt betroffen. Für den norddeutschen Raum ist eine Zunahme der winterlichen Niederschläge sowie der sommerlichen Starkregenereignisse zu erwarten. Mit ihnen steigt die Gefahr von Überschwemmungen. Gleichzeitig erschwert der steigende Meeresspiegel die Ableitung von Wasser in die Nord- und Ostsee. Häufigere und



KM-I-6: Leistung von Schöpfwerken – Fallstudie

Um küstennahe Niederungsflächen insbesondere für die landwirtschaftliche Produktion nutzbar zu halten, ist ergänzend zur Freigefälleentwässerung eine künstliche Entwässerung unter anderem über Schöpfwerke erforderlich. Vor allem bei Starkregenereignissen und Hochwasser, die infolge des Klimawandels häufiger auftreten können, steigen der Entwässerungsbedarf und der Stromverbrauch von Schöpfwerken im Eider-Treene-Verband.



Datenquelle: Eider-Treene-Verband (Betriebliche Angaben zum Schöpfwerksbetrieb), DWD (CDC)

längere Sturmfluten können den Entwässerungsbedarf zusätzlich erhöhen. Durch den häufigeren Betrieb der Schöpfwerke steigt der Stromverbrauch. Zudem steigen die Betriebskosten, wenn die Maschinen länger oder öfter laufen und damit der Verschleiß sowie die Wartungshäufigkeit zunehmen.

In Schleswig-Holstein liegt fast ein Viertel der gesamten Landesfläche unter 2,5 m ü. NN und zählt damit zur Niederungsfläche. Der Großteil davon befindet sich an der Nordseeküste in den Bereichen der Elbmarschen, Dithmarschen, von Eiderstedt und Nordfriesland sowie im Gebiet von Eider, Treene und Sorge. Wiederum mehr als die Hälfte dieser Niederungsflächen wird bereits durch Schöpfwerke entwässert. Ihr Betrieb fällt in den Aufgabenbereich der rund 500 Wasser- und Bodenverbände im Land. Diese sind in Hauptverbänden organisiert, zu denen unter anderem der Eider-Treene-Verband zählt. Er ist mit rund 113.000 ha der flächenmäßig größte Deich- und Hauptsieververband in Schleswig-Holstein. Etwa 50.000 ha des Einzugsgebiets entfallen auf die Niederungsflächen. Die Situation im Eider-Treene-Verband wird beispielhaft für diesen Fallstudien-Indikator thematisiert.

Der Indikator zeigt den jährlichen Stromverbrauch ausgewählter Schöpfwerke innerhalb des Verbandsgebiets pro Hektar. Zusätzlich ist der jährliche mittlere Niederschlag im gesamten Verbandsgebiet abgebildet, da der Entwässerungsbedarf in diesem Raum wesentlich vom Niederschlagsgeschehen abhängig ist. Die Daten machen deutlich, dass die Schöpfwerke in den niederschlagsreicheren Jahren den größten Stromverbrauch aufwiesen: Im Jahr 2007 waren die Schöpfwerke am Nord-Ostsee-Kanal mit rund 64 kWh/ha im Einsatz. Der Sommer 2007 war insbesondere im Norden Deutschlands besonders niederschlagsreich. Die Auslastung der Schöpfwerke an Eider und Treene stieg im Jahr 2017 auf ihren jeweiligen Höchstwert. In diesem Jahr kam es auch zur höchsten Niederschlagsmenge im Verbandsgebiet seit 2005. Einen signifikanten Trend gibt es für keine der Zeitreihen.

Die benötigte Energie der Pumpen hängt allerdings nicht allein von ihrer Betriebsdauer und den hydrologischen Erfordernissen ab. Die Wasser- und Bodenverbände sind bestrebt, möglichst energieeffiziente Pumpen zu betreiben. Technische Verbesserungen zur Erhöhung der Energieeffizienz können den Indikatorverlauf beeinflussen. Zudem nutzen die Verbände die Möglichkeit, unter anderem über eine atypische Netznutzung die Kosten zu senken. Dabei wird beispielsweise auf „Vorrat“ gepumpt, wenn die Stromkosten geringer sind, ohne dass zu diesem konkreten Zeitpunkt eine hydrologische Notwendigkeit für den Pumpenbetrieb besteht. Auch der



Das Schöpfwerk Steinschleuse an der Eider leistet einen Beitrag zur Entwässerung der Niederungsgebiete im Bereich des Eider-Treene-Verbands. (Foto: © Rainer Knäpper / Free Art License, (<http://artlibre.org/licence/lal/en/>))

Wasserstand des wasserabführenden Fließgewässers beeinflusst den Schöpfwerksbetrieb: Steigt der Wasserstand in diesem Fließgewässer zum Beispiel infolge eines Starkregenereignisses zu stark, kann es das gepumpte Wasser aus dem Schöpfwerk nicht mehr abführen. Um eine Kreislaufführung des Wassers zu vermeiden, erfolgt die Einstellung des Betriebs. Im Eider-Treene-Gebiet werden solche Abschaltungen im Hochwasserfall bei knapp der Hälfte der Schöpfwerke praktiziert.

Aufgrund dieser Zusammenhänge sind die Daten zum Stromverbrauch nur mit Einschränkungen im Kontext Klimawandel interpretierbar. Viele Einflussfaktoren wirken in komplexer Weise zusammen. Es ist zudem zu berücksichtigen, dass die Verhältnisse in den jeweiligen Zuständigkeitsbereichen der Schöpfwerksverbände sehr unterschiedlich sein können. Manche Verbandsgebiete sind bereits stärker vom Meeresspiegelanstieg beeinflusst. Vor diesem Hintergrund wird an einer Weiterentwicklung des Indikators gearbeitet. Für die Schöpfwerksverbände und die landwirtschaftlichen Betriebe in den Niederungsgebieten ist die Thematik hoch relevant. Für die Zukunft ist davon auszugehen, dass die vorhandenen Entwässerungsstrukturen an ihre (wirtschaftlichen) Grenzen stoßen werden. Eine Intensivierung und Ausdehnung des Schöpfwerksbetriebs werden unvermeidlich sein, wenn die bestehende Nutzung auf den landwirtschaftlichen Flächen und die bestehenden Infrastrukturen aufrecht erhalten werden sollen.

Effektiver Küstenschutz erfordert kontinuierliche Investitionen

Weltweit sind die Küstenregionen von den Auswirkungen des Klimawandels besonders betroffen. Mit dem Anstieg des Meeresspiegels und einer erwarteten Zunahme der Höhe von Sturmfluten wächst in Küstennähe die Gefahr von Überschwemmungen. In Deutschland sind vor allem Niederungsgebiete gefährdet, die nur wenige Meter oberhalb oder sogar unterhalb des Meeresspiegels liegen. Insgesamt sind an den deutschen Küsten über 12.000 km² Küstenniederungen mit einer Bevölkerung von etwa 2,5 Mio. Menschen sturmflutgefährdet.

Das erhöhte Risiko in den Küstenregionen geht neben den klimatischen Veränderungen auch von der besonderen soziokulturellen und ökonomischen Bedeutung der Küsten aus. Sie sind häufig dicht besiedelt und werden intensiv genutzt. Wirtschaftszweige wie die Schifffahrt oder die Fischerei sind auf die Nähe zum Meer angewiesen. Zudem sind die Küsten aufgrund ihres hohen Freizeit- und Erholungswerts als Wohnort, aber auch als Reise- und Urlaubsziel hoch attraktiv. Zahlreiche

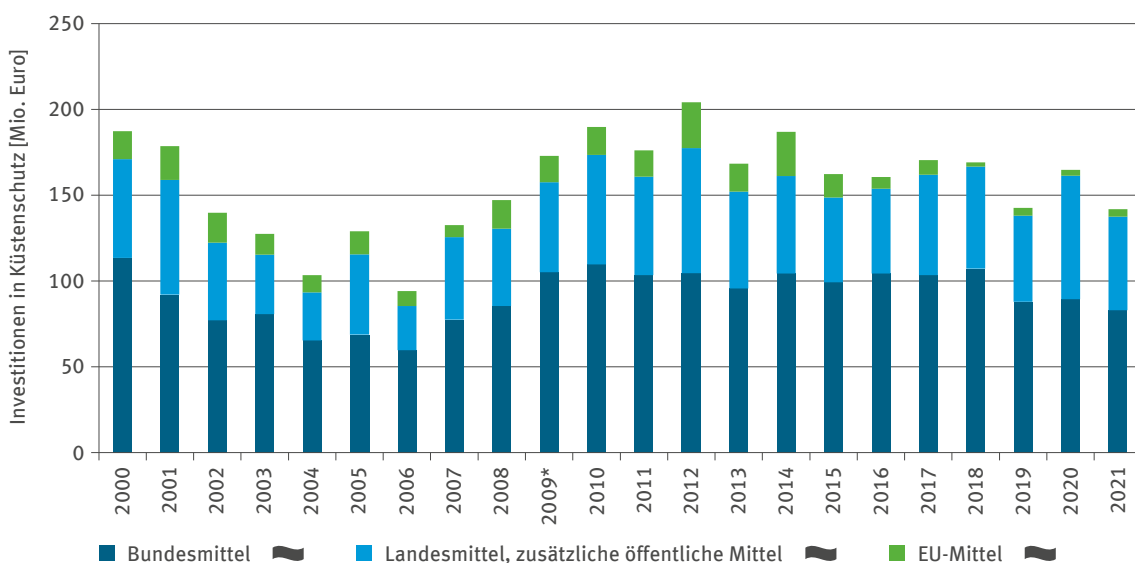
Anrainergemeinden an der Nord- und Ostseeküste richten ihren Fokus zunehmend auf den weiteren Ausbau ihres touristischen Angebots. Diese Entwicklungen lassen auch die Sachwerte in den Küstenregionen steigen: In den norddeutschen Niederungen liegt der Wert aller Güter in dreistelliger Milliardenhöhe.

Der Schutz von Infrastrukturen, Gebäuden und Menschenleben in den gefährdeten Küstenregionen erfordert wirksame Küstenschutzmaßnahmen. Dazu zählen unter anderem der Bau von Deichen, die Unterhaltung von Dünen, Uferschutzanlagen, Wellenbrechern oder Sperrwerken. An den sandigen Rückgangsküsten wirken Sandaufspülungen dem Küstenrückgang entgegen und tragen zur Stabilisierung des Sedimenthaushalts an der Küste bei. Diese Maßnahmen sind mit hohen Kosten verbunden und erfordern umfangreiche Investitionen. Der Klimawandel macht zudem die kostenintensive, kontinuierliche Anpassung der bestehenden Anlagen an zunehmende Schutzanforderungen notwendig. Deiche werden erhöht



KM-R-1: Investitionen in den Küstenschutz

Die durch den Bund zur Verfügung gestellten finanziellen Mittel für den Küstenschutz gingen zwischen 2000 und 2006 zurück. Es folgte ein Wiederanstieg auf über 200 Mio. Euro im Jahr 2012, unter anderem durch zusätzliche Mittel im Rahmen eines GAK-Sonderrahmenplans ab 2009. Seit 2012 sind die Investitionen wieder rückläufig. Dabei ist zu berücksichtigen, dass der Mittelabfluss wegen der langen Planungszeiten nicht kontinuierlich erfolgt.



*ab 2009 inkl. Sonderrahmenplan „Maßnahmen des Küstenschutzes in Folge des Klimawandels“

Datenquelle: BMEL (GAK-Berichterstattung)

oder ertüchtigt, Befestigungsbauwerke verstärkt oder erweitert und Aufspülungsmaßnahmen intensiviert.

Die Bemessung von Küstenschutzbauwerken in Deutschland unterliegt der regelmäßigen Überprüfung und Anpassung der Eingangsparameter, um Klimaänderungen angemessen zu berücksichtigen. Dadurch wird auch im Sinne der Hochwasserrisikomanagement-Richtlinie sichergestellt, dass der mit dem Klimawandel projizierte Meeresspiegelanstieg und die steigende Gefahr durch höhere Sturmfluten bei der Planung, Umsetzung und Anpassung von Küstenschutzmaßnahmen berücksichtigt werden. Die Bemessungsgrundsätze haben erheblichen Einfluss auf die mittelfristige Maßnahmenplanung. Neubauten und Erhöhungen sowie möglicherweise in Zukunft häufigere und umfangreichere Maßnahmedurchführungen spiegeln sich in den Kosten wider. Im Generalplan Küstenschutz in Schleswig-Holstein ist beispielsweise seit 2018 verankert, dass unsichere Landes-schutzdeiche zu sogenannten „Klimadeichen“ verstärkt werden, die über Baureserven für spätere Anpassungen verfügen. Damit kann in zwei bis drei Bauphasen ein Meeresspiegelanstieg von bis zu 2,0 m ausgeglichen werden (siehe Indikator KM-R-2, Seite 114).

In Deutschland werden Maßnahmen des technischen Küstenschutzes zum deutlich überwiegenden Teil aus der GAK finanziert. Bund und Länder, die für den überwiegenden Teil der Förderung aufkommen, teilen sich die Investitionskosten im Verhältnis 70 zu 30. Mit dem Ziel, die laufende Verstärkung der Küstenschutzanlagen zu beschleunigen oder im Einzelfall auch zu ergänzen, stellt der Bund den Küstenländern über einen GAK-Sonderrahmenplan in den Jahren 2009 bis 2025 für Küstenschutzmaßnahmen infolge des Klimawandels zusätzlich 25 Mio. Euro pro Jahr zur Verfügung.

Zu den mit GAK-Mitteln förderfähigen Küstenschutzmaßnahmen zählen der Neubau, die Verstärkung und die Erhöhung von Küstenschutzanlagen wie Deichen, Sperrwerken, Buhnen, Wellenbrechern und Uferschutzwerken. Ebenso werden Vorlandarbeiten vor Deichen ohne Deichvorland bis zu 400 Meter und Sandvorspülungen gefördert. Außerdem sind der notwendige Grunderwerb und die infolge von Küstenschutzmaßnahmen notwendigen Maßnahmen des Naturschutzes und der Landschaftspflege förderfähig.

Zwischen 2000 und 2006 nahmen die Investitionen in den Küstenschutz um etwa die Hälfte ab. Die Ausgaben stiegen anschließend wieder an und erreichten im Jahr 2012 die Summe von rund 200 Mio. Euro. In den Folgejahren pendelten die jährlichen Ausgaben aus Mitteln



Mit den Folgen des Klimawandels steigen die Anforderungen an den Küstenschutz. (Foto: © Image'in / stock.adobe.com)

von Bund, EU und Ländern um jährlich 150 Mio. Euro. Die Investitionen des Bundes lagen zwischen 2009 und 2018 relativ konstant bei knapp über 100 Mio. Euro, bevor sie ab 2019 auf zuletzt etwa 70 Mio. Euro sanken. Auch die aufgewendeten Landes- und EU-Mittel gingen 2021 im Vergleich zum Vorjahr zurück: Das Gesamtvolumen der Investitionen in den Küstenschutz betrug 125 Mio. Euro. Statistisch signifikante Trends liegen aufgrund der schwankenden Entwicklung der Investitionen in den Küstenschutz seit 2000 nicht vor. Dabei ist jedoch zu berücksichtigen, dass sich Küstenschutzmaßnahmen sowohl in der Planung als auch in der Umsetzung über lange Zeiträume erstrecken können und auch nicht kontinuierlich abfließen.

Generell genießt der Küstenschutz bei Bund und Ländern hohe Priorität. Dies macht nicht zuletzt der Beschluss über Änderungen für den GAK-Rahmenplan 2023–2026 deutlich: Um die infolge des Klimawandels vordringlichen Maßnahmen zum Schutz der Küste voranzutreiben und zu beschleunigen, stellt der Bund ab dem Jahr 2023 deutlich erhöhte Mittel für den bereits erwähnten GAK-Sonderrahmenplan bereit. Das Volumen soll künftig mehr als verdoppelt werden. Zudem wurde bereits jetzt die Finanzierung der Maßnahmen bundesseitig bis zum Jahr 2040 abgesichert.

Landesschutzdeiche erfüllen wachsende Schutzstandards

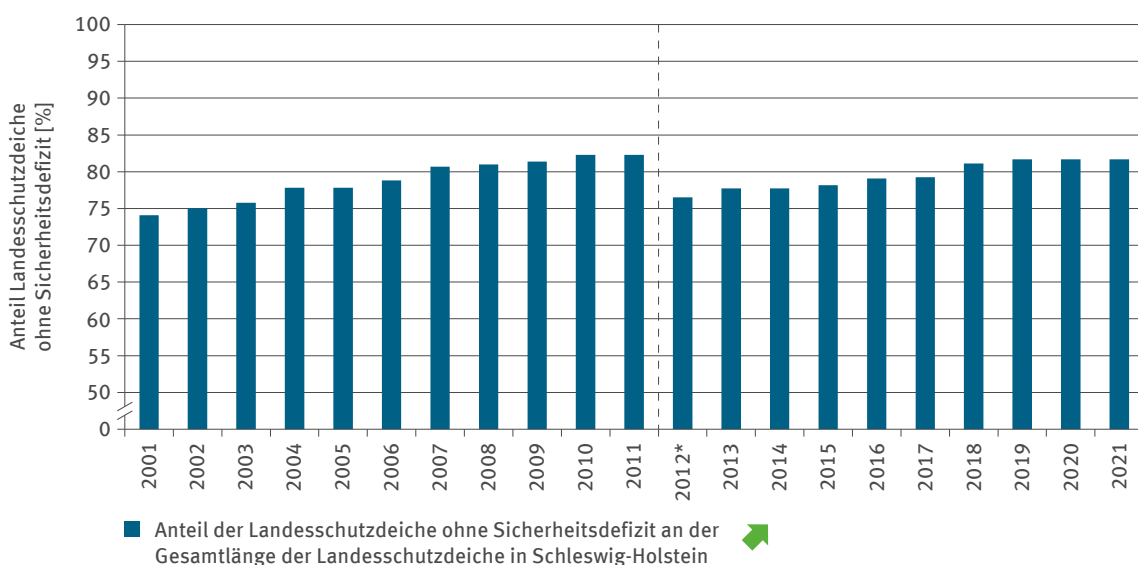
Die Auswirkungen des Klimawandels setzen die Küsten und Küstenschutzanlagen erhöhten hydrologischen Belastungen aus. Damit nachteilige Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit, die Umwelt, das Kulturerbe und wirtschaftliche Tätigkeiten in einem gesellschaftlich akzeptablen Maß bleiben, ist Klimaanpassung auch für den Küstenschutz unverzichtbar. Dieser wird in Schleswig-Holstein maßgeblich durch Landesschutzdeiche gewährleistet. Über eine Gesamtlänge von aktuell 433 km schützen sie unter anderem mehr als 90% der potenziell überflutungsgefährdeten Küstenniederungen des Landes.

Der hier präsentierte Fallstudien-Indikator zu den Landesschutzdeichen ohne Sicherheitsdefizit wurde im Jahr 2019 in Schleswig-Holstein als Indikator zur Überwachung der Umsetzung der UN-Nachhaltigkeitsziele entwickelt. Er bildet als Indikator 47 „Generalplan Küstenschutz“ im Handlungsfeld 5 „Infrastruktur und Klimaschutz“ die Berücksichtigung der Klima-Anpassungsstrategie im Generalplan Küstenschutz (GPK) in Schleswig-Holstein ab.

Der Meeresspiegelanstieg und die künftige Entwicklung des Sturmgeschehens im Nord- und Ostseeraum sind wesentliche Faktoren für die Planung und kontinuierliche Anpassung von Küstenschutz- und -sicherungsmaßnahmen in Schleswig-Holstein. Die zu erfüllenden Schutzstandards und ihre Bemessungsgrundlagen sind als Teil einer staatlichen Strategie im GPK des Landes Schleswig-Holstein festgehalten. Als zentrales Planungs- und Managementinstrument bündelt der Generalplan wichtige Grundsätze, Leitlinien und Maßnahmen für den Küstenschutz. Er wird in einem etwa zehnjährlichen Turnus aktualisiert und an die entsprechenden Gegebenheiten angepasst. In diesem Zuge erfolgt auch eine Sicherheitsüberprüfung der Landesschutzdeiche: Geprüft wird mit einem dem jeweiligen Stand der Technik entsprechenden Verfahren und mit möglichst langfristigen und aktuellen Zeitreihen der Jahreshöchstwasserstände, ob die Landesschutzdeiche einer Sturmflut mit einer statistisch ermittelten jährlichen Wahrscheinlichkeit von 0,5% standhalten würden. Wenn nicht, wird der Deichabschnitt in eine Liste zu verstärkender Landesschutzdeiche aufgenommen.

KM-R-2: Landesschutzdeiche ohne Sicherheitsdefizit – Fallstudie

Landesschutzdeiche schützen in Schleswig-Holstein über eine Gesamtlänge von 433 km die Küstenlandschaften vor Überflutung. Da mit dem steigenden Meeresspiegel die Hochwassergefahr zunimmt, werden die Deiche durch Verstärkungen kontinuierlich an die wachsenden Herausforderungen angepasst. So stieg der Anteil an Landesschutzdeichen ohne Sicherheitsdefizit auf zuletzt 81,7%.



*ab 2012 geänderte Schutzstandards im Rahmen der gewässerkundlichen Sicherheitsüberprüfung

Datenquelle: MELUND Schleswig-Holstein (Erfassung der Landesschutzdeiche im Rahmen des Generalplans Küstenschutz)

Die Verstärkungen berücksichtigen den Klimawandel umfassend. Sie folgen dem Konzept „Klimadeich“, das sich über die letzten zwei Jahrzehnte entwickelte. Bereits seit 2001 werden die Deiche in Schleswig-Holstein (weltweit erstmalig) als Ausgleich für einen zu erwartenden Meeresspiegelanstieg um zusätzliche 0,5 m erhöht. Seit 2009 erhalten sie darüber hinaus eine breitere Deichkrone und eine flachere Außenböschung. Damit kann ein Meeresspiegelanstieg von insgesamt bis zu 1,0 m ausgeglichen werden. Durch die Abflachung wird eine Baureserve für eine weitere spätere Anpassung geschaffen, wodurch letztendlich in mehreren Bauphasen insgesamt etwa 2,0 m Meeresspiegelanstieg (gegenüber heute) ausgeglichen werden können. Damit sind die aktuell ungünstigsten Meeresspiegelprojektionen in der Planung berücksichtigt.

Der Indikator zeigt den prozentualen Anteil der Landes-schutzdeiche ohne Sicherheitsdefizit an der Gesamtlänge der Landesschutzdeiche in Schleswig-Holstein. Er spiegelt somit den aktuellen Zustand der Landesschutzdeiche in Bezug auf die hydrologischen Belastungen durch Sturmfluten wider. Aktuell zeigen 81,7 % der Landes-schutzdeiche kein Sicherheitsdefizit auf. Nach der letzten Sicherheitsüberprüfung im Jahre 2011 waren dies noch 76,5 %. Allerdings wurden im Jahr 2014 als Konsequenz der schweren Sturmflut Xaver 5,6 km Deichlinie zusätzlich als unsicher eingestuft. Der starke Abfall im Jahr 2012 erklärt sich durch die im Jahr 2011 durchgeführte gewässerkundliche Sicherheitsüberprüfung der Landesschutzdeiche, wobei ein gegenüber 2001 erhöhtes Sicherheitskriterium (jährliche Wahrscheinlichkeit 0,5 % anstelle von 1,0 %) zugrunde gelegt wurde. Insbesondere dadurch nahm die Länge der zu verstärkenden Deiche wieder von 72,7 km auf insgesamt 101,5 km beziehungsweise um 23,5 % zu.

Aus der Grafik kann abgeleitet werden, dass in den Jahren 2006 und 2015 keine Deichverstärkung fertiggestellt wurde. Dies darf nicht zu der falschen Schlussfolgerung führen, dass in diesen Jahren keine Deichverstärkung durchgeführt wurde. Deichverstärkungen dauern üblicherweise mehrere Jahre, weshalb in manchen Jahren – trotz Bauarbeiten – keine Fertigstellungen erfolgen. Auch dürfen die Schwankungen nicht unmittelbar mit den zur Verfügung stehenden finanziellen Ressourcen ursächlich verknüpft werden, da die spezifischen Kosten für Deichverstärkungen von vielen Faktoren abhängig sind.

Unter Zugrundelegung der bisherigen Entwicklung wären alle Landesschutzdeiche des Landes Schleswig-Holstein nach 120 Jahren einmal als Klimadeich verstärkt. Ob der tatsächliche Zeitraum noch länger oder kürzer ausfällt,



Am Alten Koog auf Nordstrand in Schleswig-Holstein wurden die Deiche verstärkt. Hier wurde bis 2016 der erste Klimadeich errichtet. (Foto: © Lehnerfoto / Generalplan Küstenschutz SH 2022)

hängt vor allem von den zur Verfügung gestellten personellen und finanziellen Ressourcen ab. Eine weitere Herausforderung stellt die nach wie vor zunehmende Komplexität der Planungs- und Genehmigungsverfahren dar. Anfang Februar 2022, genau 60 Jahre nach der letzten Katastrophenflut an der deutschen Nordseeküste, hat die Landesregierung Schleswig-Holsteins die fünfte Fortschreibung des Generalplans Küstenschutz verabschiedet, einschließlich einer neuerlichen Sicherheitsüberprüfung der Landesschutzdeiche. Die Länge der zu verstärkenden Landesschutzdeiche hat sich dabei nicht wesentlich geändert.

Ziel des Indikators ist es, eine sachgemäße und aktuelle strategische Berücksichtigung des Klimawandels und seiner Konsequenzen in den regelmäßigen Fortschreibungen des GPK darzustellen. Die Angabe eines konkreten Zielwerts ist für diesen Indikator allerdings nicht angebracht, da seine Entwicklung von mehreren externen Rahmenbedingungen, zum Beispiel den von Landtag, Bund und EU zur Verfügung gestellten Haushaltsmitteln oder auch der stochastischen Natur von extremen Sturmfluten, maßgeblich beeinflusst wird.



Foto: © Rico Ködder / stock.adobe.com

Fischerei

Überblick	.....	118
Wirkstrang „Auswirkungen der Wassererwärmung auf die Fischbestände“	.....	121

Auswirkungen des Klimawandels – Impact

FI-I-1	Verbreitung warmadaptierter mariner Arten	.....	122
FI-I-2	Heringslarven im Greifswalder Bodden	.....	124
FI-I-3	Vorkommen wärmeliebender Arten in Binnengewässern – Fallstudie	.....	126



Zur Bedeutung des Handlungsfelds

Wirtschaftlich haben die Seefischerei (Hochsee- und Küstentischerei) und Binnenfischerei (See- und Flussfischerei, Aquakulturen, Teichwirtschaften und Angelfischerei) in Deutschland nur regional eine große Bedeutung. Die Eigenproduktion der deutschen See- und Binnenfischerei deckt einen Anteil von rund 11 % der Inlandsnachfrage. Importe haben somit eine weitaus größere Bedeutung für die Versorgung des deutschen Markts. Die Aquakultur ist sowohl hinsichtlich der Produktionsmenge als auch der erzielten Erlöse der ertragsreichste Sektor. An den Küstengebieten ist die Seefischerei jedoch eine bedeutende Arbeitgeberin. Außerdem sind die See- und Binnenfischerei sowie die Teichwirtschaften ein kulturelles Erbe, das nicht zuletzt auch von touristischer Bedeutung ist.

Aktuell stehen die See- und Binnenfischerei vor großen Herausforderungen, inklusive strenger Naturschutzauflagen. Speziell für die Seefischerei kommen die teils ungünstigen Bestandszustände und der Verlust von Fanggebieten durch den Brexit hinzu. Der Klimawandel und damit veränderte Lebensbedingungen für Fische und andere Wasserlebewesen erhöhen zusätzlich den Druck auf Bestände und Unternehmen.

Insbesondere die Fischerei – also der Fang wildlebender Fische – ist wie die Land- und Forstwirtschaft unmittelbar von der Verfügbarkeit und Regenerationsfähigkeit der natürlichen Ressourcen abhängig. Verändern sich Fischbestände in ihrer Größe und räumlichen Lage, und gibt es Veränderungen in den Artengemeinschaften und dem Nahrungsangebot, hat dies unmittelbar Auswirkungen auf die (Produktions-)Bedingungen für die Fischerei. Teichwirtschaften und Aquakulturen bestimmen die Artenzusammensetzung selbst, sind aber auf eine ausreichende Verfügbarkeit von Frischwasser und somit auch auf natürliche Ressourcen angewiesen.

Nachhaltigkeit ist auf europäischer und nationaler Ebene ein Grundsatz der Fischereipolitik. Er bezieht sich hier nicht nur auf die langfristige Erhaltung der Fischbestände, sondern auch auf die Aufrechterhaltung des Handwerks der Fischerei. Es ist beispielsweise erklärtes Ziel der Bundesregierung, die kleine Hochsee- und Küstentischerei in Deutschland zu bewahren⁸².

DAS-Monitoring – was im Klimawandel passiert

Das Wasser in Meeren, Flüssen, Seen und Teichen wird wärmer. Da Fische – wie alle wechselwarmen Lebewesen – besonders eng an bestimmte Temperaturbereiche gebunden sind, hat die Wassertemperatur direkten Einfluss darauf, wie gesund und wie groß die Bestände sind. Wird das thermische Optimum einer Art überschritten, geraten Fische und auch andere Wasserlebewesen in Stress. Das macht sie anfälliger für Krankheiten. Gibt es Möglichkeiten der Migration, weichen die Tiere in Regionen aus, die ihren thermischen Ansprüchen besser entsprechen. Migrationsbewegungen können auch zustande kommen, wenn sich die Nahrungsquellen der Fische und anderer Meeresfrüchte (essbare Meerestiere, die keine Wirbeltiere sind) räumlich verschieben, etwa weil eine kleinere Art ihrem thermischen Optimum folgend nordwärts wandert und die Jäger folgen. Jäger und Beute können zudem zeitlich voneinander entkoppelt werden, ein sogenannter „Mismatch“. Dies passiert, wenn sich aufgrund der zunehmenden Temperaturen die Phänologie einer der Arten so verändert, dass die Beute nicht mehr zu dem Zeitpunkt zur Verfügung steht, wenn die Jäger sie brauchen.

Infolge der Erwärmung der Meere (siehe Indikator KM-I-1, Seite 100) verschieben sich die Lebensräume

der Arten nach Norden. Dies gilt insbesondere in der Nordsee, einem offenen Randmeer des Atlantiks. Bisher in den deutschen Fangregionen heimische Arten wandern in die nordischen Gewässer aus und Arten aus südlicheren Gewässern, sogenannte lusitanische Arten, rücken nach (zu den lusitanischen Arten siehe Indikator FI-I-1, Seite 122).

Die in der Ostsee heimischen Arten haben kaum Möglichkeiten der Abwanderung. Sie sind in der Regel an die spezifischen Bedingungen dieses vergleichsweise abgeschlossenen, kleinen Meeres angepasst. Doch auch hier verändern die zunehmenden Wassertemperaturen die Bestände, beispielsweise indem sie Nahrungsketten entkoppeln. Der Heringsbestand in der westlichen Ostsee ist gefährdet, weil er früher laicht und seine Larven zu wenig Nahrung haben (siehe Indikator FI-I-2, Seite 124). Brüche dieser Bestand zusammen, würde dies das gesamte Ökosystem der Ostsee deutlich verändern.

In den Flussläufen erfolgen bei einer Erwärmung (siehe Indikator WW-I-10, Seite 88) Migrationsbewegungen nicht nach Norden, sondern – sofern es die Bedingungen erlauben – flussaufwärts. Verlierer des Klimawandels

sind hier vor allem die kälteliebenden Arten, die schon jetzt die Oberläufe besiedeln und daher den zunehmenden Temperaturen nicht ausweichen können. Gleiches gilt für Seen und Teiche, in denen Möglichkeiten der Migration per se gering sind oder gänzlich fehlen. Wärmeliebende Arten hingegen können profitieren, wie das Beispiel des Karpfens im Bodensee zeigt (siehe Indikator FI-I-3, Seite 126).

In der Binnenaquakultur werden mit Blick auf die Folgen des Klimawandels vor allem Engpässe bei der Wasserverfügbarkeit zur Bewirtschaftung von Teichanlagen diskutiert. Nachteilige Auswirkungen können auch die steigenden Wassertemperaturen sowie Starkniederschläge und Hochwasser haben. Insbesondere für die auf schwebstoffreies und sauerstoffhaltiges Wasser angewiesene Zucht von Salmoniden wie Forellen und Saiblingen sind damit potenziell Probleme verbunden.

Die künftigen Klimarisiken – Ergebnisse der KWRA

Die Analysen und Bewertungen der Klimawirkungs- und Risikoanalyse 2021 (KWRA, siehe Lesehilfe, Seite 7) im Handlungsfeld „Fischerei“ haben für die Mitte des Jahrhunderts mit hoher Gewissheit ein hohes Klimarisiko bei der Entkopplung von Nahrungsbeziehungen in der Ostsee festgestellt. Auch hier steht der Hering im Fokus. Hoch könnte auch das Risiko für die Fischerei sein, wenn sich die Verbreitung von Fischarten in Fließgewässern bis zur Mitte des Jahrhunderts in relevantem Maß verändert. Für das Ende des Jahrhunderts wird auch bei der Klimawirkung Stress durch Schädlinge und Krankheiten in

Binnengewässern und Aquakulturen ein hohes Klimarisiko gesehen, in diesem Fall jedoch mit noch sehr geringer Gewissheit.

Ein mittleres Risiko besteht laut KWRA für die Mitte und das Ende des Jahrhunderts für Verluste für die Fischerei dadurch, dass sich wärmeliebende Arten zunehmend in der Nordsee etablieren und sich damit einhergehend das Ökosystem verändert. Auch dass die Aquakulturen im Binnenland Schaden nehmen, unterliegt der Studie nach einem mittleren Risiko.

Wo haben wir Daten- und Wissenslücken?

Die Folgen des Klimawandels auf die Fischbestände sind Gegenstand aktueller Forschung, wobei noch zahlreiche Fragen offen sind. Einzelne Bestände oder Regionen werden teils intensiv beforscht, etwa der Hering in der westlichen Ostsee. Ein umfassender Überblick aber fehlt noch. So stehen die im Monitoringbericht abgebildeten Indikatoren beispielhaft für verschiedene Wirkpfade, die mit der Erderwärmung einhergehen: Verschiebung von Lebensräumen, Entkopplung von Nahrungsbeziehungen, Begünstigung wärmeliebender Arten. In Anbetracht der großen Vielfalt der Meeresökosysteme und der Ökosysteme der Binnengewässer bilden die bisherigen Indikator-Darstellungen jedoch nur einen kleinen Ausschnitt möglicher Klimawirkungen ab.

Im Binnenbereich fehlen bisher bundesweite Erhebungen etwa zu den Temperaturansprüchen und Verbreitungsgebieten der in den deutschen Flüssen heimischen Arten. Auch das Auftreten von Fischkrankheiten wird hier bisher nicht zentral dokumentiert. Die Entwicklung eines bundesweiten Indikators zu diesen Themen war daher für diesen Monitoringbericht nicht möglich. Gleiches gilt für Schäden infolge von Austrocknung oder Überschwemmung von Teichanlagen. Das Fehlen von Daten in

zentralisierter Form, die Klimawirkungen auf Fischereien und Aquakulturbetriebe erkennen lassen, liegt auch an den stark dezentralen und kleinteiligen Produktionsstrukturen in diesem Wirtschaftsbereich.

Ähnlich ist die Situation in der Seefischerei. Vor allem in der Küstenfischerei dominieren sehr kleinteilige Produktionsstrukturen. Zudem sind die Seefischer*innen der Nordsee weniger stark als ihre Kollegenschaft im Binnenbereich an spezielle Zielarten und Fanggebiete gebunden. Das erschwert die Einschätzung der Klimawirkungen auf die Betriebe zusätzlich.

Im Handlungsfeld „Fischerei“ fehlen Response-Indikatoren, was ebenfalls zum Teil auf die kaum zentralisierte Datenhaltung zurückzuführen ist. Im Bereich der Seefischerei kommt die Einhaltung strenger politischer Vorgaben erschwerend hinzu. So bestimmen etwa die Ergebnisse jährlicher internationaler Verhandlungen, wo und wie viel Fisch die deutsche Flotte fangen darf. Dies erschwert die Planungen für eine gezielte Anpassung der Fischereibetriebe und damit auch die Ausarbeitung eines Response-Indikators, der spezifische Anpassungsreaktionen abbilden könnte.

Was getan wird – einige Beispiele

In der Fischerei kann Klimawandelanpassung auf zwei Wegen erfolgen: verstärkter Schutz der Fischbestände und Anpassen der Unternehmen an die veränderten Produktionsbedingungen. Für den Schutz der Fischbestände ist entscheidend, den anthropogenen Druck deutlich zu verringern. Dies bedeutet, dass weniger gefischt wird, aber auch, dass andere Belastungen wie Einträge von Schadstoffen oder Eutrophierung reduziert sowie Revitalisierungsmaßnahmen an Binnengewässern durchgeführt werden.

In der Seefischerei geben Fangquoten vor, wo und wie viel Fisch gefangen werden darf. Die Quoten sind Ergebnis eines politischen Aushandlungsprozesses auf europäischer Ebene. Wie oben angesprochen sind die Fangmöglichkeiten in der Nordsee und im Nordostatlantik das Ergebnis internationaler Verhandlungen, vor allem mit dem Vereinigten Königreich und mit Norwegen. Der International Council for the Exploration of the Sea (ICES) veröffentlicht jährlich vor Festlegung der Fangquoten wissenschaftliche Empfehlungen, wie hoch diese für die einzelnen Bestände sein sollten, um deren nachhaltige Reproduktion sicherzustellen. Wissenschaftler*innen der Thünen-Institute (TI) für Seefischerei und für Ostseefischerei gehören zum wissenschaftlichen Beratungsteam. Sie forschen zu den marinen Ökosystemen und liefern wichtige Erkenntnisse, die Grundlage der wissenschaftlichen Empfehlungen sind. Die politische Verantwortung für die deutsche Seefischerei liegt im Ressort des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL). Das BMEL vertritt entsprechend Deutschland bei den Verhandlungen um die Fangquoten. Das Prinzip des höchstmöglichen Dauerertrags (MSY) und der Vorsorgeansatz sind dabei seit 2013 zentrale Ziele für die Bewirtschaftung der Bestände. Insgesamt hat sich die Nachhaltigkeit der Fischereien, insbesondere im Nordostatlantik, verbessert. Dennoch wird immer noch nicht in allen Fällen den wissenschaftlichen Empfehlungen für Quotenausweisungen gefolgt, und viele Fischbestände haben sich bislang von den Folgen der Überfischung nicht erholen können. Dies gilt insbesondere für das Schwarze Meer und die Ostsee. Dazu kommen Datendefizite und die Auswirkungen auf des Klimawandels unter anderem auf die Verfügbarkeit von Nahrungsfischen.

Mit Blick auf die kritische Lage der Ostseefischerei hat das BMEL im November 2022 eine Leitbildkommission zur Zukunft der deutschen Ostseefischerei ins Leben gerufen. Sie soll ein Leitbild für eine nachhaltige und zukunftsfeste deutsche Ostseefischerei entwickeln und konkrete Maßnahmen zu dessen Umsetzung vorschlagen⁸³. Hintergrund ist die anhaltend kritische Bestandssituation bei Dorsch und Hering und der daraus folgende Wegfall wichtiger

Fangmöglichkeiten. Das BMEL sieht die Notwendigkeit einer Neuausrichtung der Ostseefischerei, um diese erhalten zu können. Zum Strukturwandel in der Küstenfischerei an Nord- und Ostsee forschen die TI für Seefischerei und Ostseefischerei.

Mit seiner „Agenda Anpassung von Land- und Forstwirtschaft sowie Fischerei und Aquakulturen an den Klimawandel“ (AMK)⁸⁴ und dem zugehörigen Maßnahmenprogramm⁸⁵ adressiert das BMEL sowohl Seefischerei als auch Binnenfischerei und Aquakultur. Letztere liegen politisch im Verantwortungsbereich der einzelnen Bundesländer, mit der Agenda wirbt das Ministerium aber explizit für eine engere Zusammenarbeit zwischen Bund und Ländern. Die Agenda ist Teil des Aktionsplans Anpassung III der DAS (APA III) und regt beispielsweise neue Zuchtziele an, etwa die Anpassung an höhere Temperaturen oder die Senkung von Gesundheitsrisiken aufgrund veränderten Parasiten- und Erregerdrucks. Auch Verschattung wird als mögliche Anpassung für Binnengewässer und Aquakulturanlagen diskutiert. Die Klimaanpassung der Seefischerei und des fischereilichen Sektors im Binnenland soll unterstützt werden, indem der Wissenstransfer aus der Wissenschaft in die Praxis gefördert und ein von Bund und Ländern betriebenes nationales Informations- und Datenportal eingerichtet wird. Vorgeschlagen wird auch die Einsetzung einer permanenten Arbeitsgruppe von Bund und Ländern, um die ordnungs- und förderpolitischen Rahmenbedingungen der Klimaanpassung zu überprüfen und Vorschläge zu deren Anpassung zu erarbeiten.

Da die Binnenfischerei Ländersache ist, betreiben mehrere Bundesländer wissenschaftliche Institute, die sich unter anderem mit den Folgen des Klimawandels auf Fischbestände in Fließgewässern und den fischereilichen Sektor im Binnenland beschäftigen. Die Bemühungen, einen bundesweiten Überblick über dieses Thema zu erarbeiten, stehen aber noch ganz am Anfang. Die AMK kann ein Ansatzpunkt sein, die bundesweite Zusammenarbeit in diesem Bereich zu intensivieren.

Letztlich ist es Aufgabe der fischereilichen Betriebe an der Küste und im Binnenland, sich auf die Veränderungen der Produktionsbedingungen vorzubereiten, mit diesen umzugehen und die richtigen innerbetrieblichen Entscheidungen für Anpassungsmaßnahmen zu treffen. Diese können die Fangmethoden, den Zeitpunkt und (begrenzt) den Ort des Fischens, die Zielarten sowie das Bewirtschaften von Aquakulturanlagen und Teichen betreffen. Die öffentliche Hand kann und sollte jedoch günstige Rahmenbedingungen hierfür gestalten.

Handlungsfeld-relevante Klimaveränderungen

Lufttemperaturen

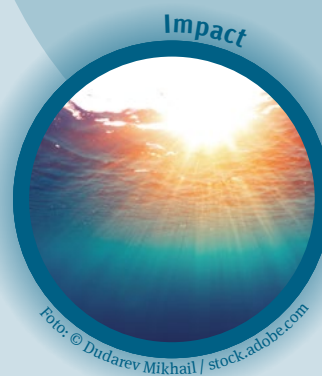
Mit dem Klimawandel steigen die Lufttemperaturen. Von 1881 bis 2022 stieg die Temperatur in Deutschland um 1,7 °C und lag damit um 0,6 °C über dem globalen Mittel (siehe Abbildung 1, Seite 19). Die Geschwindigkeit des Temperaturanstiegs hat in Deutschland in den vergangenen 50 Jahren deutlich zugenommen: Im Gesamtzeitraum 1881–2022 wurde es in Deutschland jedes Jahrzehnt 0,12 °C wärmer, ab 1971 liegt die Erwärmungsrate mit 0,38 °C pro Dekade mehr als dreimal so hoch.



Auswirkungen des Klimawandels

KM-I-1 Wassertemperatur des Meeres

Mit der Lufttemperatur erwärmt sich auch das Meerwasser: Die Meere werden wärmer und damit verändern sich die Ökosystembedingungen für die Fischgemeinschaften und alle anderen Meeresbewohner. Die mittlere jährliche Oberflächentemperatur der Nordsee steigt um 0,26 °C pro Dekade. Die jährlichen Werte unterliegen natürlichen Schwankungen.

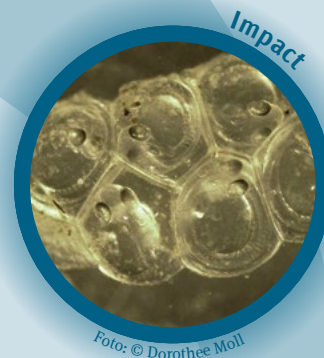


FI-I-2 Rekrutierungserfolg des Herings im Greifswalder Bodden

Mit den steigenden Wassertemperaturen laichen die Heringe der westlichen Ostsee früher und ihre Larven sind früher auf externe Nahrung angewiesen. Diese steht aber zu dieser Zeit noch nicht oder nicht in ausreichendem Umfang zur Verfügung, sodass die Larven verhungern. Der Rekrutierungserfolg des Heringsbestands ist in Folge dessen seit den späten 1990er-Jahren drastisch eingebrochen.

Anpassungen – Aktivitäten und Ergebnisse

Um den Heringsbestand der westlichen Ostsee zu erhalten, ist es wichtig, den fischereilichen Druck auf den Hering zu reduzieren sowie die Quellen der natürlichen Sterblichkeit zu identifizieren und, wo möglich, zu minimieren. Je mehr erwachsene Fische laichen können, desto größer ist der Rekrutierungserfolg, sofern die jungen Lebensstadien des Herings günstige Umweltbedingungen vorfinden. Die Fischereiquoten für diesen Bestand wurden in den vergangenen Jahren bereits stark reduziert. Der ICES hatte für die Jahre 2019 bis 2023 jeweils eine Einstellung der Fischerei empfohlen. Dies ist im sechsten Jahr in Folge auch seine Empfehlung für das Jahr 2024.



Wärmeliebende Fischarten in der Nord- und Ostsee

Steigende Wassertemperaturen (siehe Indikator KM-I-1, Seite 100), veränderte Strömungsverhältnisse und steigende CO₂-Konzentrationen im Meerwasser verändern die Lebensbedingungen für alle Meeresorganismen. Das Wasser der Nordsee erwärmt sich dabei nicht in einem einfachen Nord-Südgefälle. Die Wassererwärmung vollzieht sich in komplexeren räumlichen Mustern. In der Nordsee verlagern sich mit zunehmender Erwärmung die Bestände von kälteliebenden Arten von Fischen, Weichtieren und Krebstieren tendenziell in kühlere Zonen. Ihr Organismus benötigt eine bestimmte Temperaturspanne, die ihnen ihr bisheriger, zu warm gewordener Lebensraum nicht mehr bietet. Außerdem folgen sie Pflanzen, Plankton und anderen Meeresorganismen, von denen sie sich ernähren und die ebenfalls kältere Wassertemperaturen bevorzugen. Gleichzeitig dringen neue Arten in die Nordsee vor, die bisher eher in südlicheren Meeresgebieten beheimatet waren.

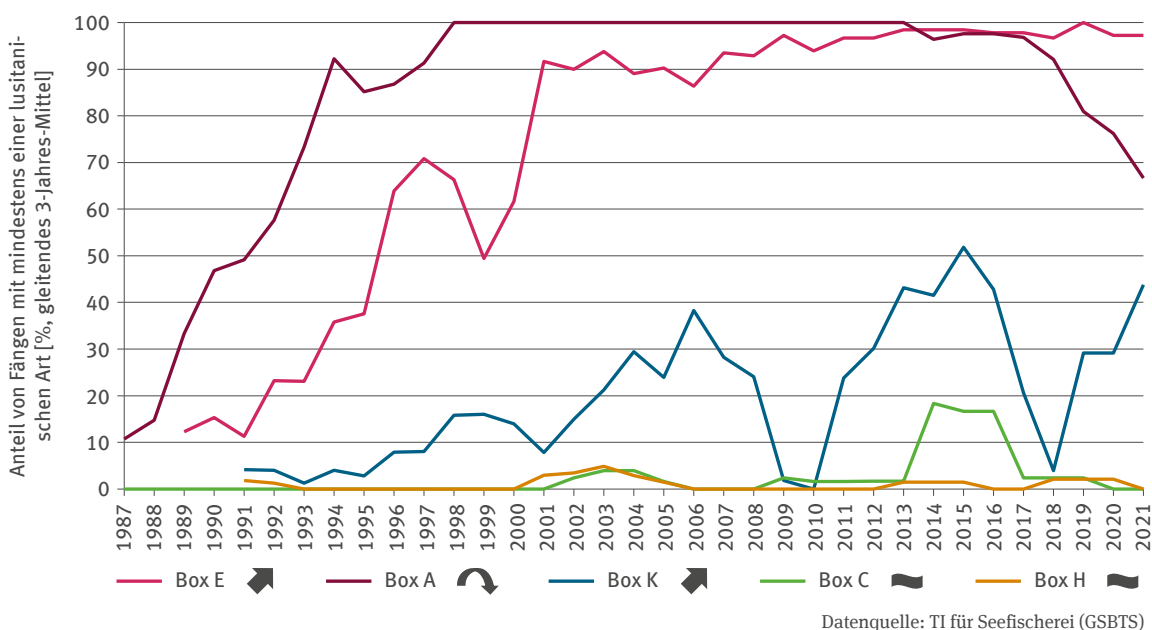
Im Brackwassermilieu der Ostsee, in dem sich Süß- und Salzwasser mischen, haben sich aufgrund der spezifischen Bedingungen labile ökologische Gleichgewichte

eingestellt. Die hohe Variabilität der Umweltbedingungen bietet dort nur wenigen sehr toleranten Fischarten ausreichende Lebens- und Reproduktionsbedingungen. Aufgrund der höheren Toleranz der Arten ist zu erwarten, dass sich die Folgen des Klimawandels in der Ostsee auch weniger deutlich in Artenverschiebungen niederschlagen werden als in der Nordsee. Allerdings sind Veränderungen in der Produktivität der Fischbestände auch für die Ostsee bereits sichtbar (siehe Indikator FI-I-2, Seite 124).

Veränderungen in der Verbreitung von Fischbeständen und in der Artenzusammensetzung stellen die Meeresfischerei vor neue Herausforderungen. So können mit der räumlichen Verschiebung von Fischpopulationen der Nordsee in kühlere Zonen wirtschaftliche Einbußen für die entsprechenden Fischereien einhergehen, wenn die neuen Verbreitungsgebiete der bekannten Arten nur noch schwer und mit deutlich höherem Aufwand zu erreichen sind. Inwieweit solche wirtschaftlichen und ökologischen Effekte durch Änderungen in Verbreitung und Abundanz anderer Arten ausgeglichen werden können, lässt sich bisher nicht

FI-I-1: Verbreitung warmadaptierter mariner Arten

In der Nordsee zeigen sich die Auswirkungen des Klimawandels auf die Fischbestände im Vordringen südeuropäischer, wärmeliebender (lusitanischer) Arten nach Norden. In den am südlichsten und am nächsten zur deutschen Nordseeküste gelegenen Untersuchungsgebieten kommt inzwischen in den meisten Fängen eine südliche Art vor. In einem der nördlicher gelegenen Untersuchungsgebiete gibt es ebenfalls eine Zunahme.



sicher vorhersagen. In der Nordsee lohnt ein gezielter Fang auf diese alternativen Arten derzeit noch nicht.

Wichtige Grundlage für künftige Anpassungen des Fischereimanagements ist die genaue Beobachtung räumlicher Verschiebungen von Fischbeständen und Änderungen der Artengemeinschaften. Im Rahmen des „German Small-scale Bottom Trawl Survey“ (GSBTS) werden in festgelegten Gebieten der Nordsee jährlich standardisierte Fänge durchgeführt. Sie dienen dem Ziel, die natürliche Variabilität der Fangraten diverser Fischarten abzuschätzen und mittel- bis langfristige Veränderungen in den Fischgemeinschaften zu erfassen.

Analysiert man die Fangergebnisse der letzten mehr als 30 Jahre in fünf Untersuchungsgebieten innerhalb der Deutschen Bucht, stellt man fest, dass immer häufiger wärmeliebende südeuropäische (lusitanische) Arten in den Fängen aufgetaucht sind. Typische Vertreter dieser Artengruppe sind beispielsweise der Rote Knurrhahn (*Chelidonichthys lucerna*), die Streifenbarbe (*Mullus surmuletus*), die Zwerg- und Lammzunge (*Buglossidium luteum* und *Arnoglossus laterna*) sowie die Sardelle (*Engraulis encrasicolus*) und die Sardine (*Sardina pilchardus*). In den beiden südlichsten Fanggebieten, die der deutschen Küste am nächsten liegen (Box A und Box E), fand sich in den letzten Jahrzehnten in fast jedem Fang mindestens eine dieser Arten, während Ende der 1980er-Jahre solche Fänge noch eher eine Seltenheit waren. Um die Jahrtausendwende wurden in Box A bereits mit jedem Fang auch wärmeliebende Arten gefangen.

In den vergangenen Jahren jedoch ging die Häufigkeit solcher Fänge in Box A zurück, nach 2017 nahm sie sogar deutlich ab. Dort sank die Fanghäufigkeit der im Indikator repräsentierten lusitanischen Arten zwischen 2017 und 2021 von nahe 100% auf 67% im Jahr 2020. Diese Trendumkehr geht zurück auf ein selteneres Auftreten der beiden kleinen Plattfischarten Lammzunge (*Arnoglossus laterna*) und insbesondere Zwergzunge (*Buglossidium luteum*). Die Gründe dafür werden aktuell untersucht.

In der etwas nördlicher, ungefähr auf der Breite des dänischen Esbjergs gelegenen Box K erschienen seit Mitte der 1990er-Jahre Vertreter der lusitanischen Arten und entwickelten sich in der Folge – allerdings nicht kontinuierlich – auf ein mittleres Häufigkeitsniveau. Sporadisch gab es auch weiter nordwärts in der in der östlichen Nordsee gelegenen Box C Funde, die auf eine potenzielle Verbreitung bei ansteigenden Temperaturen auch in diesen Bereichen hindeuten.



Vor allem in der südlichen und zentralen Nordsee werden bei den Beprobungen häufig auch lusitanische Arten wie die Streifenbarbe gefangen. (Foto: © André LABETAA / stock.adobe.com)

Gleichzeitig mit dem Vordringen der südeuropäischen Arten wird bereits eine Abnahme kälteliebender Arten beobachtet. So ist der Kabeljau (*Gadus morhua*) aus der südlichen Nordsee, die die südliche Grenze seines Verbreitungsgebiets darstellt, inzwischen fast verschwunden. Dies ist nicht nur die Folge intensiver Fischerei, sondern liegt auch daran, dass die wärmeren Bedingungen in diesen Breiten die Ernährungsgrundlage und den Stoffwechsel dieser Fischart nachteilig beeinflussen.

Die zunehmende Erwärmung scheint eine wichtige Rolle bei der räumlichen Verlagerung von Fischbeständen zu spielen, obwohl neben dem Klimawandel auch andere Faktoren wie die kommerzielle Fischerei verantwortlich sind für Veränderungen in der räumlichen Verteilung von Fischbeständen. Die milden Winter ermöglichen einigen südlichen Fischarten, auch in der Nordsee zu überwintern und sich fortzupflanzen.

Dem Hering in der westlichen Ostsee verhungert vermutlich der Nachwuchs

Die Heringsfischerei hat eine lange Tradition in Deutschland und ist regional von großer Bedeutung. Insbesondere in Mecklenburg-Vorpommern gilt der Hering als „Brotfisch“: Im Durchschnitt macht er hier rund 70 % der Fänge aus⁸⁶. Auch international ist der Atlantische Hering (*Clupea harengus* L.) eine wirtschaftlich sehr bedeutende Fischart.

Die Art ist zudem für das Ökosystem der Ostsee von zentraler Bedeutung: Für Schweinswale, Kegelrobben und fischfressende Seevögel ist der Hering ein wichtiger Nahrungsfisch. Zudem steht er in der Nahrungskette zwischen dem Plankton, das er selbst frisst, und den fleischfressenden Raubfischen. Diese Position teilt er sich mit nur einer einzigen weiteren Fischart, der Sprotte. Würde der Bestand des Herings in der westlichen Ostsee zusammenbrechen, hingen die Nahrungsketten dieses Ökosystems allein vom Bestand der Sprotte ab.

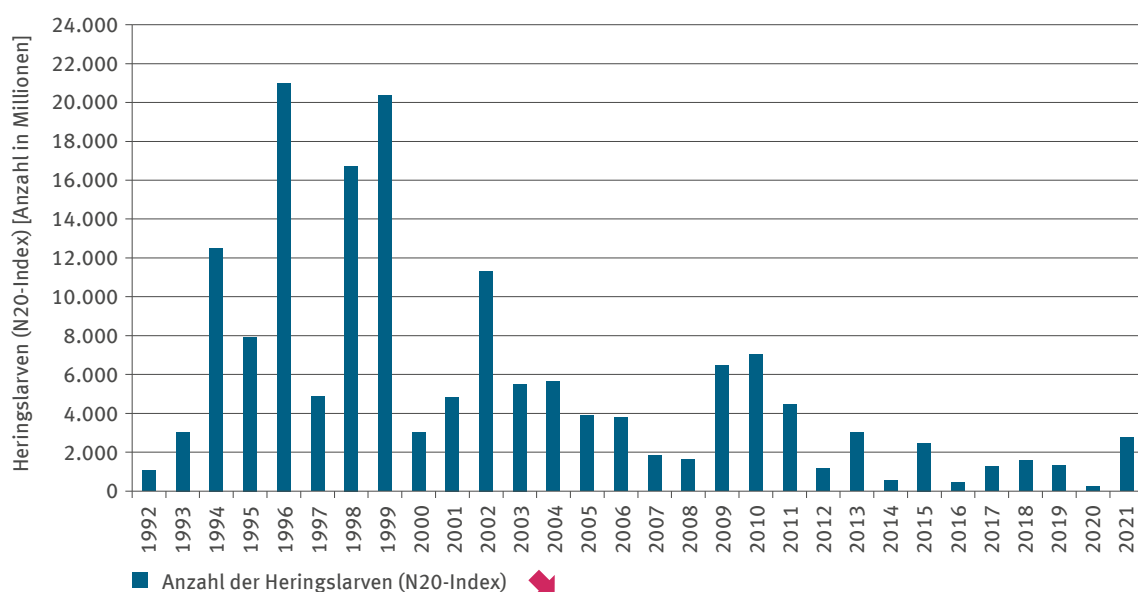
Im Gegensatz zu anderen Beständen, etwa in der Nordsee, laicht der Hering in der westlichen Ostsee im Frühjahr. Für die Eiablage wandern die Heringe aus ihrem Überwinterungsgebiet, dem Öresund, in ihre Laichgebiete. Das sind vor allem der Greifswalder Bodden und der Strelasund – die Meerenge zwischen der Insel Rügen und dem Festland. Dort wird der Laich im flachen Wasser an bestimmten Wasserpflanzen abgelegt. Nachdem die Heringslarven geschlüpft sind, ernähren sie sich zunächst von ihrem Dottersack. Ist dieser aufgebraucht, fressen sie Zooplankton, beispielsweise die Larven von Ruderfußkrebsen.

Die Wassertemperaturen nehmen auf verschiedene Weise Einfluss auf die Reproduktion der Heringe (in der Fischerei auch „Rekrutierung“ genannt). Zum einen bestimmen sie den Zeitpunkt, wann die erwachsenen Heringe den Öresund verlassen und in ihre Laichgebiete ziehen. Ist zu einem früheren Zeitpunkt im Jahr eine bestimmte Wassertemperatur erreicht, machen sich die Heringe eher auf den Weg. Zum anderen beeinflussen die Temperaturen



FI-I-2: Heringslarven im Greifswalder Bodden

Aufgrund des wärmeren Wassers der Ostsee laichen die Heringe im Greifswalder Bodden früher im Jahr. Ihre Larven sind damit früher auf externe Nahrung angewiesen, die dann noch nicht in ausreichendem Umfang zur Verfügung steht. Die Reproduktion der Heringe ist seit den 2000er-Jahren deutlich weniger erfolgreich als in den 1990er-Jahren. Der Heringsbestand ist infolge dessen stark eingebrochen.



Datenquelle: TI für Ostseefischerei (RHLS)

den Zeitpunkt der Eiablage und wie schnell sich die Eier entwickeln. Auch die Heringslarven selbst wachsen in wärmerem Wasser schneller, da sie dann einen beschleunigten Stoffwechsel haben. Im Ergebnis sind die Larven früher auf externe Nahrung, das Zooplankton, angewiesen und haben einen höheren Nahrungsbedarf.

Auch wenn zu den beschriebenen Zusammenhängen noch weitere Forschung notwendig ist, wird in der Wissenschaft stark davon ausgegangen, dass diese veränderte Phänologie des Heringes seinen Nachwuchs zeitlich von dessen Nahrung entkoppelt, denn die Entwicklung des Zooplanktons, das die Larven des Heringes fressen, ist nach jetzigem Kenntnisstand licht- und nicht wärmebeeinflusst. Es steht also nicht früher im Jahr zur Verfügung als bisher und damit nicht so früh, wie die Heringslarven es aufgrund der veränderten Wassertemperaturen bräuchten. Die zu früh geschlüpften und sich schneller entwickelnden Heringslarven verhungern⁸⁷.

Als Indikator für den Rekrutierungserfolg des Heringes in der westlichen Ostsee wird der „N20-Index“ dargestellt. Er ist Ergebnis des Rügen-Heringslarven-Surveys (RHLS), mit dem das TI für Ostseefischerei seit 1992 die Dichte der Heringslarven im Greifswalder Bodden ermittelt. Konkret stellt der Index die modellierte Summe der Heringslarven dar, die bis zum Ende der Laichzeit eine Körperlänge von 20 mm erreichen. Er ist unter anderem eine wichtige Grundlage für die Empfehlungen des ICES zu Fischereiquoten für den Hering in der westlichen Ostsee.

Seit den frühen 2000er-Jahren hat die Zahl der Heringslarven im Greifswalder Bodden drastisch abgenommen. Auch zuvor gab es schon einzelne schlechte Jahre für den Heringnachwuchs. So war die Rekrutierung etwa in den Jahren 1992 und 1993 wenig erfolgreich. Der Winter 1991/1992 war ungewöhnlich mild und auch das Frühjahr 1992 war vergleichsweise warm. In den 1990er-Jahren hatte dies aber immer nur kurzfristige Auswirkungen. Doch seit den 2000er-Jahren sind die Larvenzahlen selbst in den besseren Jahren vergleichsweise gering.

Neben der beschriebenen zeitlichen Entkopplung der Heringslarven von ihrer Nahrung, die als zentraler Einflussfaktor für den abnehmenden Rekrutierungserfolg des Heringes gilt, gibt es weitere Faktoren, die die Vermehrung des Heringes in der westlichen Ostsee beeinflussen. So müssen ausreichend Wasserpflanzen wachsen, an denen die Heringe ihren Laich ablegen können. Die vom Menschen verursachten Nährstoffeinträge in die Ostsee führen jedoch dazu, dass sich für die Eiablage ungeeignete Algen vermehren und die zum Laichen benötigten Pflanzenarten verdrängen. Geeignete Wasserpflanzen wachsen



Der Heringslaich ist im Greifswalder Bodden zunehmend den Frühjahrsstürmen ausgesetzt. Schlüpfen die Larven zu früh im Jahr, fehlt es zudem an Nahrung. (Foto: © Dorothee Moll)

zunehmend in sehr flachem Wasser. Dort ist der Laich den Frühjahrsstürmen aber stärker ausgesetzt und wird daher leichter zerstört. Sollte die Intensität von Sturmfluten in Verbindung mit dem Klimawandel zunehmen (siehe Indikator KM-I-3, Seite 104), wäre dies eine besonders ungünstige Entwicklung. Manche der aufgrund des Nährstoffüberschusses in der Ostsee verstärkt vorkommenden Algen sind zudem giftig für Heringseier. Auch muss davon ausgegangen werden, dass Heringslarven, die aktiver als früher nach Futter suchen müssen, weil das Angebot knapp ist, leichter zur Beute von Jägern werden.

Nicht zuletzt spielt der Fischereidruck eine Rolle: Wenn weniger erwachsene Heringe gefangen werden, ist die Chance auf eine erfolgreiche Rekrutierung größer. Die Fischereiquoten für die westliche Ostsee wurden daher in den vergangenen Jahren zum Schutz des Bestands stark reduziert, wenn auch zu einem späteren Zeitpunkt als empfohlen. Inzwischen gilt ein Verbot der gezielten Fischerei auf den Hering, wobei es Ausnahmeregelungen für die kleine Küstenfischerei gibt, wenn mit passiven Fanggeräten (Stellnetzen und Reusen) gefischt wird. Die Wissenschaftler*innen des ICES hatten den Fangstopp schon länger empfohlen und gehen davon aus, dass sich der Bestand mit dieser Maßnahme innerhalb weniger Jahre erholen könnte, wenn der Fischereidruck danach niedrig bleibt. Die Größe, die der Fischbestand in den 1990er-Jahren hatte, wird er jedoch voraussichtlich nicht mehr wiedererlangen.

Noch unklare Entwicklungen in der Binnenfischerei

In der Binnenfischerei inklusive der Aquakultur und Teichwirtschaft spielen die Auswirkungen des Klimawandels bisher eine gegenüber anderen Einflussfaktoren nur untergeordnete Rolle. Für die Fangergebnisse der Seen- und Flussfischerei sind neben den Einflüssen durch den gezielten Besatz mit ausgewählten, fischereilich interessanten Fischarten in erster Linie die Rahmenbedingungen der Fischereiausübung und kostendeckende Vermarktungsmöglichkeiten entscheidend. So werden derzeit Konflikte im Zusammenhang mit der zunehmenden touristischen Nutzung der Gewässer, Fischverluste an Wasserkraftwerken, Einschränkungen der Fischerei durch naturschutzfachlich begründete Nutzungsaufgaben oder auch Veränderungen der Nährstoffgehalte der Gewässer sehr viel intensiver diskutiert als die möglichen Auswirkungen der Erderwärmung. Langanhaltende Trockenperioden, die eine Folge des voranschreitenden Klimawandels sind, bedrohen allerdings in zunehmend erkennbarem Maße in Klein- und Kleinstgewässern vorkommende Großmuschel-, Krebs- und Kleinfischpopulationen. Ähnlich ist es in der Aquakultur: Hier gelten die durch den Klimawandel beeinflussten

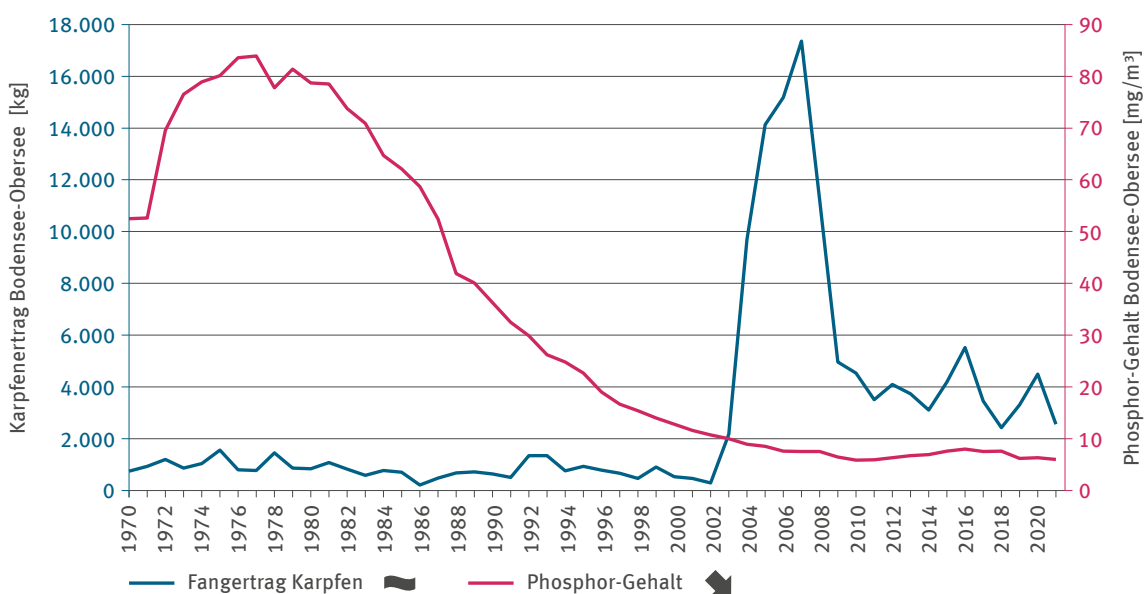
Wassertemperaturen, die Dauer der Eisbedeckung der Winterteiche und die Wasserdurchflussmengen als wichtige Einflussgrößen für die Produktion. Grundsätzlich messen die Fischer*innen und Aquakulturbetriebe der Verbreitung von Fischkrankheiten und den in den vergangenen zwei Jahrzehnten stark angewachsenen Beständen des Kormorans größere Bedeutung bei. Nichtsdestotrotz gibt es zunehmend Forschungsprojekte, die sich mit den Folgen des Klimawandels auf die Fischfauna in den deutschen Binnengewässern beschäftigen.

In der Binnenfischerei inklusive der Aquakulturen herrschen generell dezentrale Produktionsstrukturen und kleine Betriebsgrößen vor. Daher fehlt es an bundesweiten Daten, aus denen sich in systematischer Weise klimaabhängige Veränderungen zu Verschiebungen in der Artenzusammensetzung der Fischfauna in Fließgewässern und Seen sowie zu den Bedingungen in der Aquakultur ableiten ließen.

Für die Zukunft gehen Fachleute jedoch davon aus, dass der Klimawandel einen zunehmenden Einfluss auf die

FI-I-3: Vorkommen wärmeliebender Arten in Binnengewässern – Fallstudie

Trotz stark verminderter Phosphorgehalte kam es am Bodensee-Obersee in Folge des Hitzesommers 2003 zu einer explosiven Vermehrung des wärmeliebenden Karpfens. Vor allem während der Laichzeit und der Entwicklungszeit der Larven verschafften warme Witterungsbedingungen dem Karpfen Konkurrenzvorteile. Der Berufsfischerei bescherte der warme Sommer in den Folgejahren Rekorderträge.



Datenquelle: LAZBW – Fischereiforschungsstelle (Fangstatistik der Berufsfischerei Bodensee-Obersee), IGKB (Seenüberwachung)

Fischbestände, die Ertragsbedingungen und die Erträge der Binnenfischerei haben wird⁸⁸. So haben beispielsweise wärmeliebende Arten, die über den Schiffsverkehr auf Kanälen im Ballastwasser eingeschleppt und verbreitet werden, bei steigenden Wassertemperaturen bessere Etablierungsmöglichkeiten. Für wärmeliebende Arten wie den Karpfen könnten sich die Konkurrenzbedingungen verbessern, während sich für die Bachforelle und andere Arten, die nur in einem engen Bereich niedriger Temperatur existieren können, die Lebensräume bei steigenden Wassertemperaturen einschränken dürften⁸⁹.

Anhand des Bodensees, für den langjährige Fangstatistiken der Berufsfischerei vorliegen, lässt sich beispielhaft zeigen, dass besonders warme Jahre Veränderungen in der Fischfauna zur Folge haben können. Der Bodensee-Obersee und in ähnlicher Weise auch der Bodensee-Untersee wurden in den letzten Jahren infolge von Maßnahmen der Gewässerreinigung wieder zu nährstoffarmen Seen. Der Phosphorgehalt des Bodensees, der Ende der 1970er- und Anfang der 1980er-Jahre noch über 80 mg pro Kubikmeter Wasser betrug, pendelt sich inzwischen auf rund 6–8 mg ein. In solchen Seen werden üblicherweise kaum größere Mengen von Karpfen erwartet.

Der im Jahr 2003 entstandene, überraschend starke Karpfenjahrgang ist daher ganz offensichtlich eine Folge der besonders warmen Bedingungen im Frühjahr und Sommer dieses Jahres. Für eine erfolgreiche Fortpflanzung brauchen Karpfen insbesondere warme Frühjahre⁹⁰. Speziell im Bodensee ist eine frühe und andauernde Erwärmung des Wassers in der Laichzeit der Karpfen und der sich daran anschließenden Entwicklungszeit der Karpfenlarven selten. In den meisten Jahren folgt auf eine warme Periode im Frühsommer eine kühlere Phase, die mit einer Abkühlung des Sees einhergeht. Solche Bedingungen sind für ein Aufkommen von Jungkarpfen nicht förderlich. Aufgrund der günstigen Bedingungen infolge höherer Temperaturen im Jahr 2003 kam es in den nachfolgenden Jahren zu den höchsten Karpfenerträgen, die seit Bestehen der Berufsfischereistatistik am Bodensee erzielt wurden. Zwischen 1970 und 2003 pendelten die Karpfen-Fangerträge um 800 kg pro Jahr, 2007 wurden mehr als 17.000 kg gefangen. Nach 2009 haben sich die Fangerträge gegenüber der Zeit vor 2003 auf einem deutlich höheren Niveau von etwa 4.000 kg eingependelt. Die warmen Sommer 2014 und 2015 sowie 2018 und 2019 haben sich dann wieder mit einer kurzzeitigen Zunahme des Ertrags in der Fangstatistik niedergeschlagen. Eine so starke Zunahme des Karpfenertrags wie in Folge des Rekordsommers 2003 gab es jedoch nicht. Dies könnte verschiedene Ursachen haben. Zum einen ist der Karpfenertrag ein Indikator, der nicht nur von der



Sind Frühjahr und Sommer warm, profitiert die Bodensee-Fischerei davon, dass sich der wärmeliebende Karpfen besonders gut vermehrt. (Foto: © anonym)

Verfügbarkeit der Fische im Bodensee beeinflusst wird. Die Nachfrage nach Karpfen hat ebenso einen starken Einfluss, ob die Fischer*innen diese Fischart fangen. Auch ist die Zahl der Berufsfischer*innen am Bodensee seit Jahren rückläufig. Im Jahr 2002 wurden 152 Fischeireipatente⁹¹ ausgegeben, im Jahr 2021 waren es noch 66 Hochsee- und 17 Haldenpatente⁹². Mit der Zahl der Fischer*innen sinkt auch der im Indikator dargestellte Karpfenertrag der Berufsfischerei. Darüber hinaus bestimmen weitere Faktoren die Überlebenschancen der in den warmen Sommern geschlüpften Karpfen und damit den Karpfenertrag in den kommenden Jahren, beispielsweise die Witterung im darauffolgenden Winter sowie die Zahl der Kormorane, eines natürlichen Fressfeinds des Karpfens. Dennoch gilt der Karpfen als Gewinner des Klimawandels.



Foto: © maxbelchenko / stock.adobe.com

Boden

Überblick	.....	130
Wirkstrang „Veränderung der Bodenwasservorräte und Erosion“	.....	133

Auswirkungen des Klimawandels – Impact

BO-I-1	Bodenwasser in landwirtschaftlich genutzten Böden	134
BO-I-2	Bodenwasser in Waldböden – Fallstudie	135
BO-I-3	Regenerosivität	136
BO-I-4	Temperatur im Oberboden	138

Anpassungen an den Klimawandel – Response

BO-R-1	Humusgehalte von Acker- und Grünlandböden – Fallstudie	140
BO-R-2	Dauergrünlandfläche	142



Zur Bedeutung des Handlungsfelds

Böden erfüllen vielfältige Aufgaben für den Naturhaushalt und für den Menschen. Sie sind Standorte für Biotope und Habitate, in und auf denen Pflanzen, Tiere und Mikroorganismen Lebensraum finden. Vor allem nährstoffarme und / oder besonders nasse und trockene Böden beherbergen seltene und schützenswerte Lebensgemeinschaften. Auch die Böden selbst sind hochkomplexe Ökosysteme. Die Zahl der Lebewesen in einer Handvoll Boden übertrifft die der Weltbevölkerung. Im Wasserhaushalt der Landschaft spielen Böden eine herausragende Rolle, denn sie speichern und filtern Wasser in beträchtlichem Umfang. Damit bilden sie einen natürlichen Puffer gegen Trockenheit und Hochwassergefahren und sorgen für sauberes Grundwasser. Fruchtbare Böden sind Produktionsgrundlage für die Landwirtschaft, und gesunde Böden sind Voraussetzung für die Erzeugung gesunder Lebensmittel. All diese wichtigen Bodenfunktionen sind seit 1999 durch das Bundes-Bodenschutzgesetz (BBodSchG) gesetzlich geschützt.

Der Klimawandel hat Einfluss auf die Bodeneigenschaften und damit auch auf die verschiedenen Bodennutzungen. Zudem gibt es Wechselwirkungen mit Anforderungen des Klimaschutzes, denn Böden stellen den größten terrestrischen Kohlenstoffspeicher der Erde dar. Weltweit speichern sie gegenwärtig insgesamt rund 1.460 Mrd. Tonnen Kohlenstoff. Dementsprechend groß ist aber auch das Risiko, dass Böden durch Zerstörung oder nicht nachhaltige Nutzung zu Quellen von CO₂-Emissionen werden. Mit dem Klimawandel und ausgeprägteren Trocken- und Nässeperioden wird auch die Pufferfunktion der Böden für den Wasserhaushalt immer wichtiger.

Das DAS-Handlungsfeld „Boden“ hat zahlreiche Schnittstellen mit anderen DAS-Handlungsfeldern wie „Landwirtschaft“, „Wald und Forstwirtschaft“ sowie „Wasserhaushalt und Wasserwirtschaft“, auf die im Folgenden hingewiesen wird.

DAS-Monitoring – was im Klimawandel passiert

Das Klima beeinflusst viele Bodenprozesse und damit auch die Bodenbildung, die Bodeneigenschaften und Bodenfunktionen. Bodenprozesse wie Verwitterung, Mineralneubildung, Zersetzung, Humus- und Gefügebildung sind stark von der Temperatur und der Wasserverfügbarkeit abhängig. So vielfältig die Böden sind, so vielfältig sind aber auch die Auswirkungen des Klimawandels.

Wenn sich mit dem Klimawandel das Niederschlags- und Temperaturregime verändern, hat dies unmittelbaren Einfluss auf den Wasserhaushalt der Böden (siehe Indikatoren BO-I-1, Seite 134, und BO-I-2, Seite 135), die Grundwasserneubildung (siehe Indikator WW-I-2, Seite 72) sowie die Temperaturverhältnisse (siehe Indikator BO-I-4, Seite 138) im Boden. In der Folge verändert sich auch der Stoffhaushalt. Veränderungen im Boden haben zwangsläufig Auswirkungen auf die Bodennutzungen. Einschränkungen bei der Bodenwasserverfügbarkeit

führen zu Ertragseinbußen in der Landwirtschaft (siehe Indikator LW-I-2, Seite 152) und zur Verschlechterung des Waldzustands (siehe Indikator FW-I-3, Seite 178), unter extremen Bedingungen auch zu vermehrtem Schadholzaufkommen in der Forstwirtschaft (siehe Indikator FW-I-5, Seite 180).

Auch zu viel Wasser hat nachteilige Auswirkungen auf die Böden. Vermehrte und heftigere Starkregen begünstigen den Bodenabtrag (siehe Indikator BO-I-3, Seite 136). Dieser wiederum führt zu einem Verlust von Bodenfruchtbarkeit und einer Minderung der Wasserhalte- und Speicherkapazität, da in der Regel der besonders humushaltige und nährstoffreiche Oberboden abgetragen wird. Wenn Böden nicht mehr in der Lage sind, große Niederschlagsmengen aufzunehmen, begünstigt dies auch die Hochwasserentstehung (siehe Indikator WW-I-4, Seite 76) mit allen damit verbundenen Konsequenzen.

Die künftigen Klimarisiken – Ergebnisse der KWRA

In der Klimawirkungs- und Risikoanalyse 2021 (KWRA, siehe Lesehilfe, Seite 7) wurden das Risiko für Bodenerosion durch Wasser oder Wind sowie das Risiko für die Produktionsfunktion der Böden bereits für die Mitte des Jahrhunderts als hoch eingeschätzt. Eng damit verbunden wurden die Risiken für die Bodenbiologie sowie für den

Bodenstoffhaushalt und damit die Bodenfruchtbarkeit für die Mitte des Jahrhunderts als mittel bewertet. Hingegen wird für die Veränderung der Filter- und Pufferfunktionen erst bis Ende des Jahrhunderts ein mittleres Risiko erwartet.

Mit Blick auf den Bodenwasserhaushalt hat die KWRA 2021 die folgenden Risiken beschrieben: Die Zunahme der sommerlichen Trockenheit wird in Zukunft zu geringeren Sickerwasserraten in dieser Jahreszeit führen. Starkregenereignisse im Sommer tragen oftmals nicht zur Sickerwasserbildung bei, weil die Niederschläge oberflächlich abfließen. Die Grundwasserneubildung wird vor diesem Hintergrund verstärkt im späten Herbst und Winter stattfinden, also außerhalb der Vegetationsperiode. Damit steigt das Risiko, dass mit dem Sickerwasser ungenutzte Nährstoffe in die Grundwasserleiter geraten. Es wird bereits für die Mitte des Jahrhunderts ein hohes Risiko für Wassermangel im Boden und eine Veränderung

des Sickerwassers erwartet. Für Vernässungen sowie vermehrte Rutschungen und Muren wird für die Mitte des Jahrhunderts ein mittleres Risiko gesehen.

Bei der Einschätzung der Klimarisiken im Handlungsfeld „Boden“ wurden in der KWRA 2021 fast überall geringe Gewissheiten geltend gemacht. Besonders gering ist die Gewissheit bei der Bewertung der Bodenbiologie – hier besteht noch erheblicher Forschungsbedarf, um Aussagen zur Bodenbiologie auf eine fachlich fundierte Grundlage stellen zu können. Etwas höher (mittel in einer Skala von gering – mittel – hoch) ist die Gewissheit bei der Bewertung der Bodenerosion.

Wo haben wir Daten- und Wissenslücken?

Das im vorliegenden Monitoringbericht 2023 verwendete Indikatorenset wurde im Vergleich zum vorherigen Bericht 2019 erweitert und inhaltlich weiter ausgebaut. Dennoch können relevante Themenfelder nach wie vor nicht mit Indikatoren abgebildet werden.

Die in den Monitoringberichten 2015 und 2019 dargestellte Fallstudie zur Bodenerosion konnte für den Monitoringbericht 2023 zu einer bundesweiten Darstellung weiterentwickelt werden. Allerdings lässt sich nach wie vor nur das Erosionsrisiko in Form der Regenerosivität (R-Faktor) abbilden. Über andere Effekte des Klimawandels, die das Erosionsgeschehen beeinflussen, wie die Änderung der Bewirtschaftung, des Kulturartenspektrums oder auch der jahreszeitlichen Verteilung der erosiven Niederschläge, lässt dieser Indikator keine Aussagen zu. Ein flächendeckendes repräsentatives Erosions-Monitoring gibt es aufgrund der Kosten und der noch immer zahlreichen ungelösten (methodischen) Fragen in Deutschland bislang nicht. Vor allem die extreme raum-zeitliche Variabilität des Erosionsgeschehens erschwert repräsentative Erhebungen. Die Winderosion ist im Monitoringbericht noch nicht thematisiert. Es gibt hier allerdings auch noch größere Unsicherheiten, was die Zusammenhänge mit dem Klimawandel betrifft. Zwar ist mit dem Klimawandel die Bedingung trockener Oberböden zunehmend häufig gegeben, aber Projektionen zum Wind sind nach wie vor unsicher.

Die Bodenbiologie wird maßgeblich durch die Temperatur, den Wasserhaushalt und den Bodenkohlenstoff beeinflusst. Es wird daher für die Zusammensetzung der Bodenflora und -fauna sowie für die biologische Aktivität von einem engen Zusammenhang mit dem Klimawandel ausgegangen. Die Komplexität der Zusammenhänge und die Einflüsse von Landnutzung und Bewirtschaftung sind aber so hoch, dass bisher keine geeigneten Indikatoren

vorgeschlagen werden konnten. Im Rahmen eines UBA-Vorhabens und mit Blick auf das neue europäische Soil Monitoring Law werden die bodenbezogenen Indikatoren für die Berichterstattung zu Klimaanpassung und Klimaschutz derzeit weiterentwickelt. Ein besonderer Fokus liegt dabei auf der Bodenbiologie.

Zu Veränderungen des Bodenwasserhaushalts gibt es zwar einen DAS-Monitoringindikator (siehe Indikator BO-I-1, Seite 134). Dieser basiert jedoch auf modellierten Daten. Der Indikator zum Bodenwasser in Waldböden (siehe Indikator BO-I-2, Seite 135) ist nur eine Fallstudie. Hier stellt sich das Problem, dass die in den Bundesländern erhobenen Datenerhebungen bisher nicht ausreichend harmonisiert sind.

Klimawandelbedingte Veränderungen des Bodenstoffhaushalts werden im DAS-Monitoring bisher nicht thematisiert. Für den Stoffhaushalt spielen allerdings neben dem Klimawandel vor allem auf land- und forstwirtschaftlich genutzten Böden sehr viele andere Einflussfaktoren eine Rolle, sodass sich „einfache“ Kausalzusammenhänge bislang nicht herstellen lassen. Ohne zusätzliche wissenschaftliche Erkenntnisgewinne ist die Entwicklung aussagekräftiger Indikatoren nicht möglich.

Die bundesweite Auswertung von Bodendaten ist nach wie vor eine große Herausforderung. Es gibt zwar mehrere bundesweit angelegte Beobachtungsprogramme wie die Boden-Dauerbeobachtungsflächen (BDF) und die Bodenzustandserhebung Wald und Landwirtschaft (BZE), aber die in den Bundesländern eingesetzten Methoden der Probenahme und Analytik unterscheiden sich trotz aller Harmonisierungsbemühungen noch immer, da die Länder daran interessiert sind, die Methodik ihrer Zeitreihenerhebungen möglichst stabil zu halten. Das UBA hat vor

dem Hintergrund der problematischen Datenlage in den letzten Jahren mehrere Forschungsprojekte in Auftrag gegeben, um die Verfügbarkeit bodenbezogener Daten für bundesweite Beschreibungen des Bodenzustands und seiner Veränderungen zu prüfen. Im Ergebnis liegt seit 2022 ein Konzept für einen Klimafolgen-Bodenmonitoring-Verbund vor, auf dessen Grundlage nun am Aufbau eines bundesweiten Bodenmonitoringzentrums gearbeitet wird.

Dieses soll die Fachkompetenz im Bodенbereich ressortübergreifend stärker bündeln und darauf hinwirken, dass nationale und internationale Berichtspflichten den Boden betreffend künftig mit bundesweit harmonisierten, qualitätsgesicherten Bodeninformationen bedient werden können. Parallel zum Aufbau des Bodenmonitoringzentrums wird auch an der Weiterentwicklung bundesweiter Indikatoren gearbeitet.

Was getan wird – einige Beispiele

Für den flächenmäßig größten direkten Eingriff in die natürlichen Bodenstrukturen ist die Landwirtschaft verantwortlich, denn mehr als die Hälfte der Fläche Deutschlands wird landwirtschaftlich genutzt. Für die Stärkung der Widerstandsfähigkeit der Böden kommt ihr daher eine Schlüsselrolle zu. Für die Anpassung der landwirtschaftlichen Bodennutzung ist die Agrarförderung ein wichtiger Hebel. Mit dem „Greening“ der europäischen Direktzahlungen-Durchführungsverordnung, das von 2014–2022 bestand, wurde die Förderung landwirtschaftlicher Betriebe im Rahmen der Gemeinsamen EU-Agrarpolitik (GAP) daran geknüpft, dass diese einen Beitrag zum Umwelt- und Klimaschutz leisten. Mit den Greening-Auflagen wurden auch Maßnahmen des Bodenschutzes gefördert, beispielsweise der Anbau von Zwischenfrüchten. Die bisherigen Greening-Auflagen und die allgemeine Auflagenbindung „Cross Compliance“ wurden ab 2023 zur neuen „Konditionalität“ gebündelt. Diese setzt sich nun aus zwei Teilbereichen zusammen, den Grundanforderungen an die Betriebsführung (GAB) sowie den Standards für einen guten landwirtschaftlichen und ökologischen Zustand (GLÖZ-Standards). Zu den GLÖZ gehören nun weitere und teilweise strengere Maßnahmen, die unter anderem dem Bodenschutz dienen und die Widerstandsfähigkeit der Böden verbessern sollen. Dies sind beispielsweise die Erhaltung von Dauergrünland (siehe Indikator BO-R-2, Seite 142) und die Sicherung einer Mindestbodenbedeckung in den sensibelsten Zeiten unter anderem durch den Anbau von Zwischenfrüchten. Beides dient vor allem dem Schutz vor Erosion und unterstützt den Humusaufbau (siehe Indikator BO-R-1, Seite 140). Zudem sind die EU-Mitgliedsstaaten in der neuen GAP-Förderperiode verpflichtet, freiwillige Öko-Regelungen (ÖR) anzubieten, für die ein Teil der Direktzahlungen verwendet werden muss. Zum ÖR-Katalog gehören ebenfalls Maßnahmen, die den Bodenschutz verbessern und einen Beitrag zur Klimawandelanpassung leisten.

Grundsätzlich gilt Wald als eine bodenschützende Nutzung. Auf besonders erosions- oder verhagerungsgefährdeten Standorten werden daher Wälder auch als

Bodenschutzwälder ausgewiesen, um eine dauerhafte Bodenbedeckung und Durchwurzelung sicherzustellen. Unabhängig davon wird dem Bodenschutz bei der forstlichen Bewirtschaftung eine zunehmende Bedeutung beigemessen. Mit dem im Jahr 2022 vom BMEL aufgelegten Förderprogramm „Klimaangepasstes Waldmanagement“ werden auch Maßnahmen gefördert, die gezielt dem Bodenschutz dienen. Hierzu gehören größere Rückegassenabstände zur Begrenzung der Bodenverdichtung und die Anreicherung von Totholz im Wald, was die Humusanreicherung unterstützt (siehe Indikator FW-R-3, Seite 190).

Böden können ihre wichtigen Funktionen im Naturhaushalt und für die Klimawandelanpassung wie Wasserspeicherung und Landschaftskühlung nur dann erfüllen, wenn sie vor Überbauung und Versiegelung geschützt werden (siehe Indikator RO-R-5, Seite 310). Daher ist die Verringerung der Flächenneuanspruchnahme nicht nur ein zentrales Nachhaltigkeitsziel, sondern auch ein Ziel der Klimawandelanpassung. Die aktualisierte Deutsche Nachhaltigkeitsstrategie der Bundesregierung 2021⁹³ sieht vor, den Anstieg der Siedlungs- und Verkehrsfläche bis 2030 auf unter 30 ha pro Tag zu senken. Das Integrierte Umweltprogramm⁹⁴ des BMUB aus dem Jahr 2016 geht darüber noch hinaus und formuliert 20 ha pro Tag als Zwischenziel für das Jahr 2030 mit der Perspektive, bis 2050 den Übergang zur Flächenkreislaufwirtschaft zu schaffen und die Flächeninanspruchnahme auf Netto-Null zu senken. Um dieses Ziel zu erreichen, sind allerdings verstärkte Anstrengungen erforderlich.

Die Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz (LABO) koordiniert die Anliegen der Bundesländer im Bodenschutz und widmet sich auch dem Themenfeld Klimawandel und Boden. Mit mehreren Positionspapieren hat die LABO zu wichtigen Herausforderungen Stellung bezogen, so im Jahr 2017 mit dem Positionspapier „Bedeutung und Schutz von Moorböden“⁹⁵ oder zusammen mit der LAWa in 2021 mit dem Positionspapier „Degradation von Böden – Bodenerosion durch Wasser“⁹⁶.

Handlungsfeld-relevante Klimaveränderungen

Niederschlag und Trockenperioden

Die mittleren Niederschlagsmengen haben sich zwar in den zurückliegenden Jahren nur wenig verändert, trotzdem kann es phasenweise und regional sowohl zu extremen Wassermangelsituationen als auch zu heftigen Starkregenereignissen kommen. Vor allem wenn die Verdunstung im Sommer durch hohe Temperaturen steigt, können Böden austrocknen. Seit 2003 treten solche sommerlichen Trockenphasen gehäuft auf. Im Falle der Starkregen erschwert die hohe räumliche und zeitliche Variabilität gesicherte Trendaussagen. Es wird aber infolge des Klimawandels von einer Zunahme von Starkregenereignissen ausgegangen. Insbesondere in warmen Jahren kann es vermehrt zu extremen konvektiven Niederschlägen kommen (siehe Seite 24).



State

Foto: © maxbelchenko / stock.adobe.com

Auswirkungen des Klimawandels

BO-I-1 Bodenwasservorrat in landwirtschaftlich genutzten Böden

Für landwirtschaftliche Kulturpflanzen gibt es kritische Entwicklungsphasen, in denen Wasserknappheit zu Ertragseinbußen führt. Modellierungen des DWD machen deutlich, dass das pflanzenverfügbare Wasser während der Vegetationsperiode in den vergangenen 60 Jahren mit signifikantem Trend abgenommen hat. Vor allem seit der Jahrtausendwende ist der Rückgang sehr deutlich.



Impact

Foto: © Bits and Splits / stock.adobe.com

BO-I-3 Regenerosivität

Mit der klimawandelbedingt voraussichtlich größeren Häufigkeit und Intensität von Starkregenereignissen steigt das Risiko für Bodenerosion durch Wasser. Vor allem wenn Starkregen auf unbewachsene oder sehr trockene Böden trifft und nicht ausreichend versickert, kann es schnell zu Abtragsprozessen kommen. Mit der Erosion wird vor allem Oberboden abgetragen, der für die Wasserhaltekapazität und den Nährstoffhaushalt der Böden eine wichtige Rolle spielt und sich nur in sehr langwierigen Prozessen wieder erneuert. Erosion schwächt die Resilienz von Böden gegenüber dem Klimawandel und verstärkt die nachteiligen Klimawandelfolgen.



Impact

Foto: © Inga / stock.adobe.com

Anpassungen – Aktivitäten und Ergebnisse

BO-R-2 Dauergrünlandfläche

Unter Dauergrünland sind landwirtschaftlich genutzte Böden verhältnismäßig gut gegen nachteilige Folgen des Klimawandels wie Humusabbau und Erosion geschützt. Gleichzeitig trägt vor allem Feuchtgrünland zur Stabilisierung des Landschaftswasserhaushalts bei. Seit 2013 gilt deutschlandweit ein Grünlanderhaltungsgebot. Grünland darf demnach nur noch umgebrochen werden, wenn im regionalen Bezugsraum an anderer Stelle neues Grünland geschaffen wird. Bis 2013 nahm die Grünlandfläche kontinuierlich und signifikant ab. Nach 2013 hat sich dieser Trend umgekehrt. Die Grünlandfläche und ihr Anteil an der landwirtschaftlich genutzten Fläche steigen seither langsam wieder an.



Response

Foto: © Superingo / stock.adobe.com

Bodenwasser – Verfügbarkeit nimmt ab

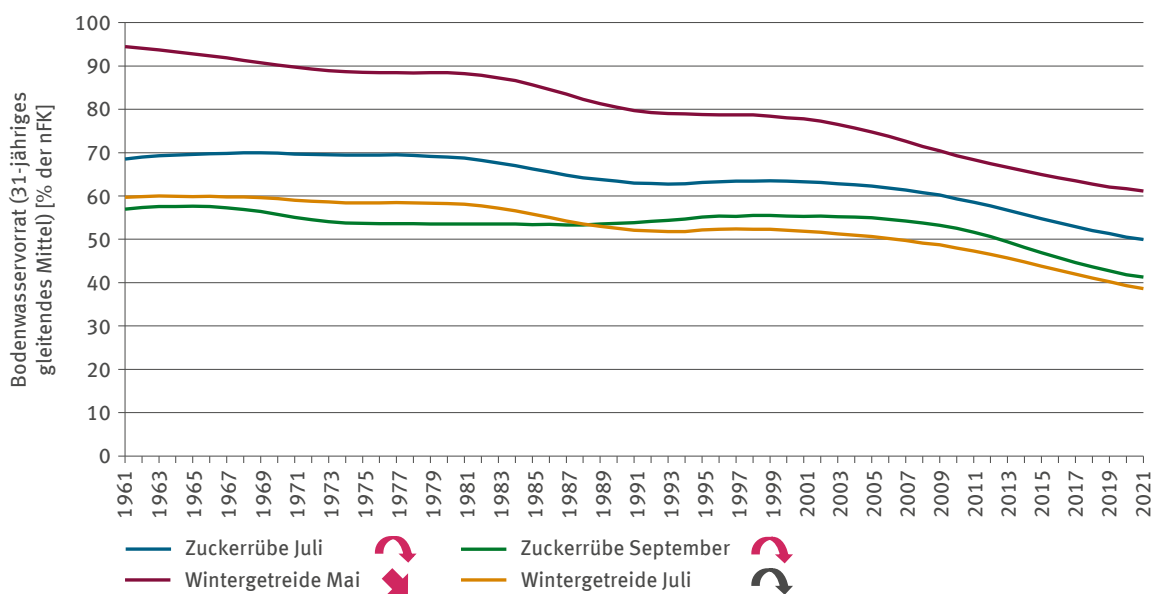
Niederschlag und Temperatur sind wichtige Faktoren für die Bodenbildung und beeinflussen unmittelbar den Wasser- und Stoffhaushalt des Bodens. Verändern sich mit dem Klimawandel die Niederschlagsverhältnisse, so hat dies Folgen für die Böden, und zwar unabhängig davon, ob es sich um land- oder forstwirtschaftlich genutzte Böden, um Böden in urbanen Räumen oder um solche mit naturnaher Vegetation handelt. Es wird erwartet, dass Sickerwassermengen im Sommer durch höhere Verdunstung ab- und im Winter durch mehr Niederschlag zunehmen werden – je nach Bodeneigenschaften in unterschiedlicher Ausprägung. Dies hat zum einen Folgen für die Grundwasserneubildung (siehe Indikator WW-I-2, Seite 72). Zum anderen entscheidet die Höhe der Sickerwassermenge über die Auswaschung von Stoffen wie beispielsweise Nitrat aus dem Boden. Hohe Niederschläge im Winter, die vor allem bei landwirtschaftlicher Nutzung auf nur gering mit Vegetation bedeckte Böden treffen, können zu vermehrten Stoffausträgen führen. Trocknen Böden in den Sommermonaten stärker aus, sinkt ihre Wasserleitfähigkeit. Damit nimmt auch die Infiltrationsgeschwindigkeit ab. Vermehrter Oberflächenabfluss führt dann zu Wasserverlusten

aus der Landschaft und erhöht das Sturzflut- und Erosionsrisiko (siehe Indikator BO-I-3, Seite 136). Trockene Böden und trockene Vegetation erhöhen zudem die Gefahr von Vegetationsbränden. Ist im Wald viel trockene Streu vorhanden, kann selbst bei mittlerer meteorologischer Waldbrandgefahr ein Brand entstehen (siehe Indikator FW-I-8, Seite 184).

Die Bodenfeuchte wird im Indikator als Prozentanteil der nutzbaren Feldkapazität (nFK) angegeben. Diese Größe kennzeichnet den Wasservorrat eines Bodens, der von den Pflanzen genutzt werden kann. Sinkt die Bodenfeuchte aufgrund geringer Niederschläge und hoher Verdunstung unter einen Wert von 50 % nFK, muss bei vielen Pflanzenarten bereits mit Trockenstress gerechnet werden. Sinkt der Bodenwasservorrat unter 40% der nFK, wird bei Wäldern von einer mittleren bis hohen, bei unter 20% von sehr hoher bis extrem hoher Trockenstressgefahr ausgegangen. Werte über 100% nFK treten auf, wenn mehr Wasser im Boden ist, als gehalten werden kann. Dieses kann anschließend versickern, lateral wegfließen oder auch verdunsten.

BO-I-1: Bodenwasser in landwirtschaftlich genutzten Böden

Die Bodenwasserverfügbarkeit beeinflusst wesentlich die Pflanzenentwicklung. Bei landwirtschaftlichen Kulturen können sowohl Trockenstress als auch Vernässung in kritischen Entwicklungsphasen die Erträge negativ beeinflussen. Die für ausgewählte Ackerkulturen modellierte Bodenfeuchte während der Vegetationsperiode hat mit signifikantem Trend abgenommen. Vor allem seit der Jahrtausendwende ist der Rückgang sehr deutlich.



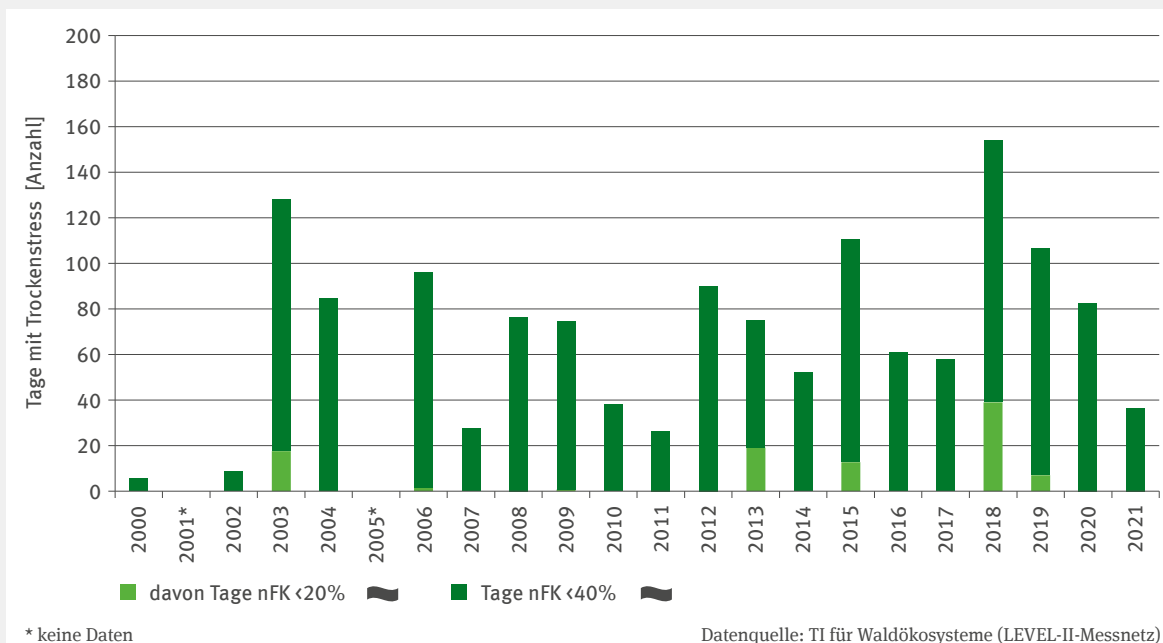
Datenquelle: DWD (Daten des Bodenfeuchteviewers)

Für die Entwicklung landwirtschaftlicher Kulturen ist die Wasserverfügbarkeit im Boden eine hoch relevante Einflussgröße. Wenn in den Frühjahrs- und Sommermonaten Perioden mit hoher Temperatur und geringen Niederschlägen mit einem erhöhten Wasserbedarf der Vegetation zusammenfallen, kann das pflanzenverfügbare Bodenwasser rasch ausgeschöpft sein. Für einjährige Kulturpflanzen (vor allem Getreidearten), die überwiegend in den Monaten April bis Juni ihre Blüten anlegen und stark wachsen, ist Trockenstress in dieser Phase besonders kritisch. Für Kulturen, die wie die Zuckerrübe länger auf dem Feld bleiben, wirken sich zu geringe Bodenfeuchten auch noch im September nachteilig aus. Die Zuckerrübe kann – wie andere Hackfrüchte auch – bei ausreichender Wasserversorgung noch bis kurz vor der Ernte Biomasse zulegen. Beim Getreide hingegen ist eine schlechtere Wasserversorgung im Juli weniger gravierend, denn dann vollzieht sich der Abreifeprozess des Getreides. Zu hohe Bodenfeuchten können in dieser Phase die Erträge sogar nachteilig beeinflussen, wenn aufgrund eingeschränkter Befahrbarkeit eine termingerechte Beerntung der Felder nicht möglich ist. Der DWD modelliert die Bodenfeuchte landwirtschaftlicher Kulturen auf einem 1 km x 1 km-Raster unter Berücksichtigung der Bodeninformationen

aus der Bodenübersichtskarte (BÜK)1000. Grundlage sind die interpolierten meteorologischen Daten und der aktuell beobachtete Entwicklungszustand der Pflanzen. Bundesweite Mittelwertbetrachtungen sind in Anbetracht regional unterschiedlicher Bodeneigenschaften und Niederschlagsverhältnisse zwar vorsichtig zu interpretieren, dennoch lassen sich längerfristige Entwicklungstrends erkennen. Die bisherige Zeitreihe macht deutlich, dass sowohl für Weizen als auch Zuckerrübe signifikant zurückgehende Wasserverfügbarkeiten in der Vegetationsperiode modelliert wurden⁹⁷. Messdaten aus dem Intensivmonitoring im Wald, hier in einer Fallstudie zu den bayerischen Waldklimastationen, zeigen keinen Trend. Der massive Trockenstress, der in 2018 auch in den bayerischen Wäldern herrschte, hatte gravierende Waldschäden zur Folge (siehe Indikator FW-I-3, Seite 178). In der Landwirtschaft kann auf Trockenheit mit dem Anbau trockenheitstoleranterer Kulturen und Sorten (siehe Indikator LW-R-2, Seite 160), angepasster (beispielsweise pflugloser) Bodenbearbeitung oder Bewässerung (siehe Indikator LW-R-6, Seite 166) reagiert werden. In der Forstwirtschaft ist die Baumartenzusammensetzung der wichtigste Hebel.

BO-I-2: Bodenwasser in Waldböden – Fallstudie

Messungen an den bayerischen Waldklimastationen machen deutlich, dass es in Jahren mit Niederschlagsdefiziten zu lang anhaltenden Phasen mit Trockenstress kommt. Im Jahr 2018 gab es im Mittel der fünf betrachteten über Bayern verteilten Stationen an fast 40 Tagen extremen Trockenstress. Im überwiegenden Teil der Vegetationsperiode waren die Böden mit Wasser unterversorgt. Im niederschlagsreicheren Jahr 2021 entspannte sich die Situation.



Klimawandel erhöht Bodenabtragsrisiko

Heute nutzbare Böden sind das Resultat einer jahrtausendelangen Entwicklung, denn die Entstehung einer ein Zentimeter mächtigen Bodenschicht durch die Verwitterung von Gestein und die Zersetzung organischen Materials dauert mindestens hundert Jahre. Bodenverluste, beispielsweise aufgrund von Erosion durch Wasser oder Wind, sind deshalb in der Regel nicht zu ersetzen. Sie bedeuten einen schwerwiegenden ökologischen und wirtschaftlichen Schaden.

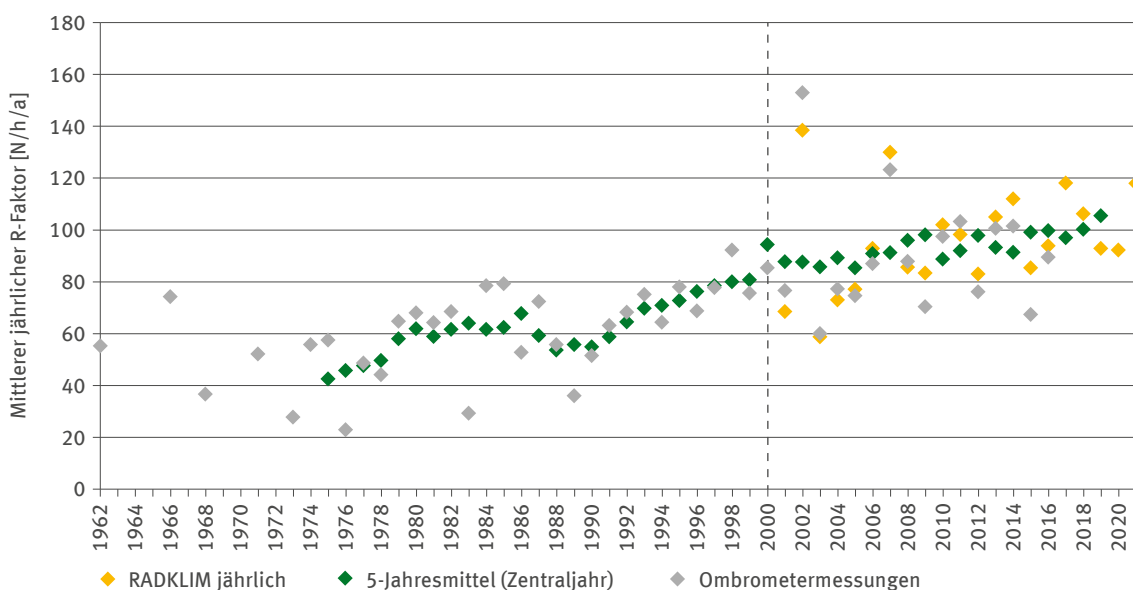
Die Auswirkungen des Klimawandels erhöhen das Risiko für Bodenabtrag. Erosionswirksame Extremwetterereignisse wie Starkregen treten voraussichtlich häufiger und mit höherer Intensität auf. Außerdem können zunehmende Winterniederschläge den Bodenabtrag begünstigen. Wenn im Winter der Niederschlag zudem vermehrt als Regen fällt und bei landwirtschaftlich genutzten Böden auf eine lückenhafte Vegetationsdecke trifft, kann es zu erheblichen Bodenverlusten kommen. Mit Temperaturerhöhungen verschieben sich zudem die Entwicklungsphasen der Pflanzen, auch der landwirtschaftlichen Kulturen (siehe Indikator LW-I-1, S. 150). Die daraus resultierenden

Veränderungen der Bodenbedeckung können das Erosionsrisiko zusätzlich verändern. Als Folge der verstärkten Frühjahrs- und Sommertrockenheit sind erosionsfördernde Lücken in der Vegetation sowie ausgetrocknete Bodenoberflächen zu erwarten. Dadurch steigt zusätzlich das Risiko von Winderosion. Wind spielt vor allem in den nördlichen küstennahen Bundesländern auf den vorwiegend sandigen Böden eine Rolle als Erosionsursache.

Bodenerosion bedeutet in erster Linie eine Verringerung der Bodenmächtigkeit und damit der nutzbaren Feldkapazität (siehe Indikatoren BO-I-1, Seite 134, und BO-I-2, Seite 135) sowie den Verlust von besonders nährstoff- und humusreichem Oberboden. Abgetragenes Bodenmaterial wird auf unterliegende Flächen einschließlich Siedlungs- und Verkehrsflächen verlagert und kann in benachbarte Gewässer eingetragen werden. Dort führen die Stoffeinträge zur Verschlammung (Kolmation) und zu einer unerwünschten Gewässerbelastung mit Nähr- und Schadstoffen. Dies wirkt den Bemühungen zur Verbesserung des Gewässerzustands im Sinne der WRRL entgegen.

BO-I-3: Regenerosivität

In Deutschland hat sich die Regenerosivität in den letzten rund 50 Jahren verdoppelt. Hohe Niederschlagsintensitäten erhöhen das Bodenabtragsrisiko: In Jahren mit heftigen Starkregenereignissen wie 2002 oder zuletzt 2021 waren die mittleren jährlichen R-Faktoren besonders hoch. Gezielte Erosionsschutzmaßnahmen auf empfindlichen Böden und bei großer Hangneigung können selbst bei hoher Regenerosivität den Bodenabtrag reduzieren.

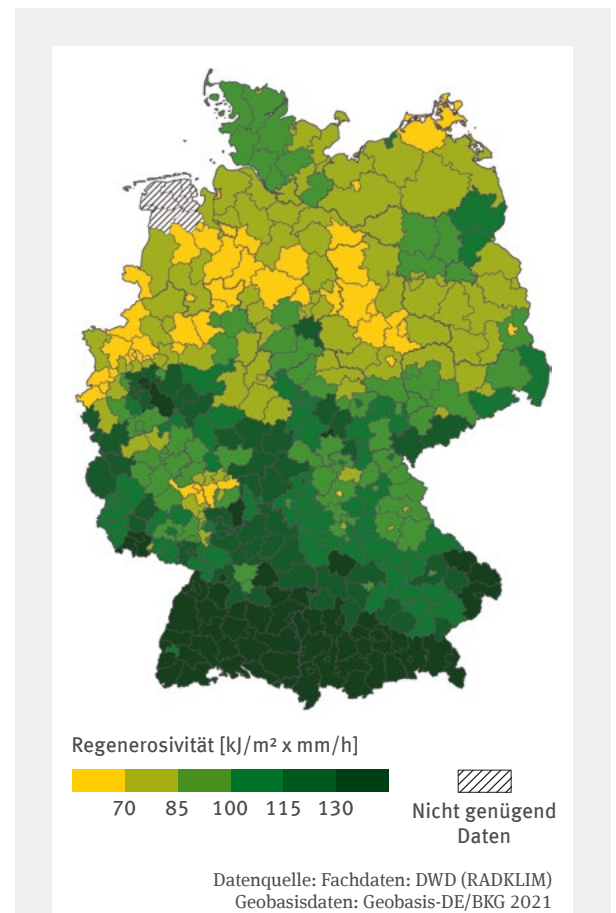


Datenquelle: bis 2000 Literaturrecherchen (Auerswald et al. 2019a und b), ab 2001 DWD (RADKLIM)

Ein flächendeckendes Erosionsmonitoring gibt es in Deutschland bislang nicht. Das Bodenerosionsmonitoring, das auf vorhandenen BDF in einzelnen Bundesländern durchgeführt wird, ist der einzige länderübergreifende Ansatz zur langfristigen Erfassung der Bodenerosion. Vorgehensweise und Intensität der Erhebungen sind aber nicht einheitlich. Daher fehlt es an repräsentativen Monitoringdaten zum tatsächlichen Erosionsgeschehen. Jedoch lassen sich aus Ombrometer- und Radardaten die Regenerosivität (R-Faktor) berechnen und das Gefährdungspotenzial abschätzen. Der R-Faktor ist ein Eingangsparameter der ABAG, der Allgemeinen Bodenabtragsgleichung, mit dem sich die klimarelevanten Einflüsse auf die Erosion abbilden lassen. Die Regenerosivität ergibt sich aus der Menge und Intensität des erosionswirksamen Regens und beschreibt die Fähigkeit des Niederschlags, durch seine kinetische Energie Bodenteilchen aus ihrem Verbund zu lösen („Splash-Effekt“) und durch Oberflächenabfluss zu verlagern.

Der Indikator zeigt den mittleren jährlichen R-Faktor für Deutschland: von 1962 bis 2016 anhand von Ombrometerdaten⁹⁸, ab 2001 bis 2021 zusätzlich auf Basis der radarbasierten Niederschlagsdaten RADKLIM⁹⁹. Wie für Zeitreihen typisch, die von Extremereignissen geprägt sind, zeigt auch die Entwicklung der mittleren jährlichen R-Faktoren in Deutschland einen schwankenden Verlauf. Sowohl die Ombrometer- als auch die Radardaten zeigen Höchstwerte der Regenerosivität für die Jahre 2002 und 2007. Vor allem das Jahr 2002 war geprägt von starken Regenfällen. Im Sommer führten die heftigen Niederschläge zu schweren Überflutungen in Ost- und Norddeutschland. Für das Jahr 2021 ergab sich aus den RADKLIM-Daten die bisher vierthöchste mittlere Regenerosivität. In diesem Jahr ereignete sich in Nordrhein-Westfalen und Rheinland-Pfalz infolge heftiger Regenfälle eine der schwersten Flutkatastrophen in der Geschichte Deutschlands. Mit Blick auf das gleitende 5-Jahresmittel wird deutlich, dass der R-Faktor in den letzten rund 50 Jahren deutlich zugenommen hat. 2019 lag das 5-Jahresmittel etwa 2,5-mal so hoch wie noch 1975.

In Deutschlands folgt die Regenerosivität im Wesentlichen der Niederschlagsverteilung. Im Mittel 2017–2021 konzentrierten sich die niedrigsten R-Werte (RADKLIM-Radardaten) in Sachsen-Anhalt und Niedersachsen, im Nordwesten Nordrhein-Westfalens sowie an der Küste Mecklenburg-Vorpommerns. Im norddeutschen Flachland treten erosionsfördernde Niederschlagsereignisse meist seltener auf als in Zentral- und Süddeutschland, wo das Gelände orographisch stärker gegliedert ist und Hebungs- sowie konvektive Prozesse in der Atmosphäre begünstigt werden. Entsprechend gibt es die höchsten R-Faktoren in den Kammlagen der Mittelgebirge sowie im Alpenraum.



Regenerosivität – Kreismittel der Jahre 2017–2021

Der Regenerosivitätsfaktor folgt in Deutschland im Wesentlichen der Niederschlagsverteilung mit höheren Werten in den Mittelgebirgen und in den Alpen.

Neben dem Niederschlag, der Geländeneigung und den Bodeneigenschaften spielt vor allem auch die Bodenbedeckung eine wichtige Rolle für das Erosionsgeschehen: Als landwirtschaftliche Kulturarten mit besonders hohem Bodenabtragspotenzial gelten unter anderem Kartoffel, Mais und Zuckerrübe sowie viele Sonderkulturen und Wein im Steillagenanbau. Die möglichen Maßnahmen zur Verhinderung von Erosion vor allem für Ackerflächen sind vielfältig. Sie reichen von einer standortangepassten Fruchtfolge, die für eine kontinuierliche Bodenbedeckung über das Jahr hinweg sorgt, über Untersaaten und den Einsatz von Mulchmaterialien bis hin zur Anpassung der Bewirtschaftungsrichtung und einer dauerhaft pfluglosen, konservierenden Bodenbearbeitung, um das natürliche Bodengefüge zu erhalten und eine möglichst hohe Bedeckung mit schützenden Pflanzenresten zu erzielen.

Bodentemperatur steigt

Ebenso wie die Lufttemperatur steigt auch die Bodentemperatur. Dies hat Auswirkungen auf die chemischen und biologischen Prozesse im Boden und die Bodenentwicklung. Die chemische Verwitterung von Gestein läuft bei höheren Temperaturen beschleunigt ab, weil die Temperatur die Reaktionsgeschwindigkeiten und chemischen Lösungsgleichgewichte beeinflusst. Auch die Zersetzung der organischen Substanz erfolgt schneller, da die Bodenorganismen dann aktiver sind.

Die Bodentemperatur bestimmt zudem maßgeblich die Länge der Vegetationsperiode und die Mobilisierung von Nährstoffen im Boden. Wird eine mittlere Tagestemperatur von 5 °C im Oberboden, konkret in der Tiefenstufe zwischen 5 und 10 Zentimeter, überschritten, setzen die Nährstoffmobilisierung und die Entwicklung der meisten Pflanzenarten ein. Bei Unterschreitung dieser Temperaturschwelle kommen die Entwicklungsprozesse zum Erliegen. Im Tiefland Deutschlands herrschen etwa zwischen Anfang März bis Ende November Bodentemperaturen von über 5 °C im Tagesmittel. Es gibt regionale Unterschiede in Abhängigkeit der Höhenlage und geographischen Breite.

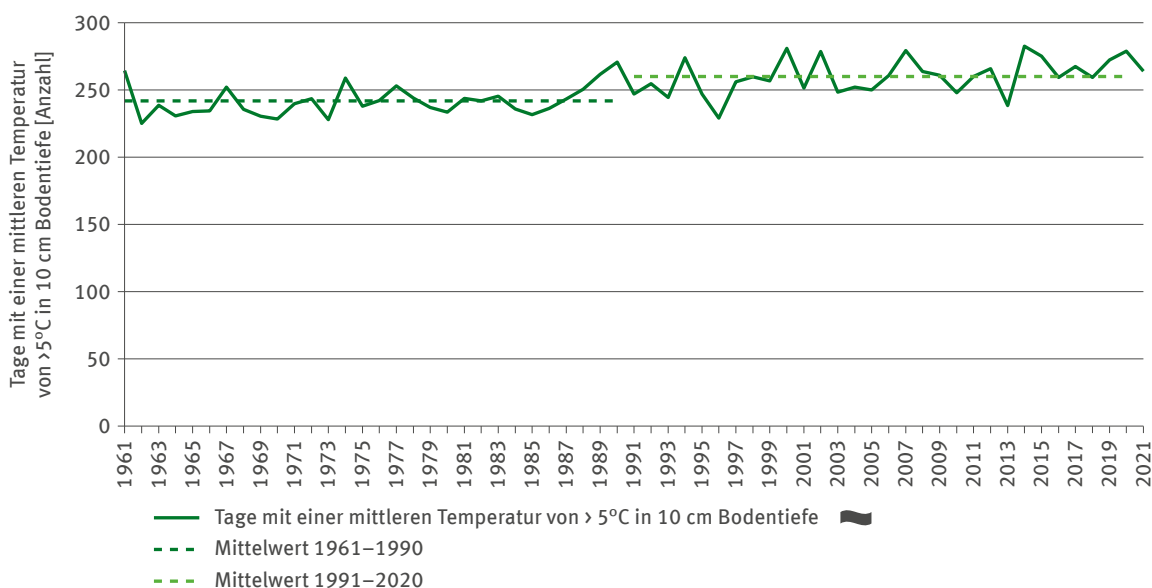
In der Regel werden im Jahresverlauf zuerst im Südwesten Deutschlands Werte von 5 °C überschritten. Nachfolgend werden langsam in Richtung Nordosten ebenfalls Werte von 5 °C und mehr im Boden erreicht.

Voraussetzung für die von der Temperatur angetriebenen Prozesse des Stoffumsatzes und der Stoffverlagerung ist eine ausreichende Wasserversorgung der Böden (siehe Indikatoren BO-I-1, Seite 134, und BO-I-2, Seite 135). Ist es zu trocken, werden viele chemische Prozesse und das Pflanzenwachstum gehemmt. Gleiches gilt, wenn die Böden wassergesättigt sind und anaerobe Bedingungen herrschen, also Sauerstoff in zu geringer Konzentration oder gar nicht vorhanden ist.

Da die Bodentemperatur direkt von der Sonnenstrahlung abhängt, folgt die Bodentemperatur mit gewisser zeitlicher Verzögerung dem Tages- und Jahresgang der Strahlungsbilanz. Allerdings kann es deutliche Unterschiede zwischen der Luft- und der Bodentemperatur geben. So kann sich unbewachsener Boden bei vergleichsweise trockenen Bedingungen gegenüber der Luft deutlich stärker aufheizen.

BO-I-4: Temperatur im Oberboden

Bei einer Bodentemperatur von über 5 °C im Oberboden (Tagesmittel) setzen Nährstoffmobilisierung und Entwicklung der meisten Pflanzenarten ein, bei 5 °C und weniger kommen diese Prozesse wieder zum Stillstand. Die Anzahl von Tagen mit einer Bodentemperatur von mehr als 5 °C hat in den zurückliegenden 60 Jahren signifikant zugenommen. Vor allem ein früh einsetzendes und warmes Frühjahr und ein warmer Herbst führen zu hohen Indikatorwerten.



Datenquelle: DWD (DWD-Messnetz)

Feuchte Böden erwärmen sich hingegen langsamer und können auf ihre Umgebung auch eine kühlende Wirkung entfalten. Während sich Böden mit heller Farbe aufgrund des höheren Reflexionsvermögens weniger stark erwärmen, kann die Temperatur in dunkel gefärbten Böden schnell und stark ansteigen. Bewachsene Böden erwärmen sich verzögert und kühlen auch verzögert ab.

Die im Zuge des Klimawandels steigende Bodentemperatur hat Konsequenzen für den Humushaushalt (siehe Indikator BO-R-1, Seite 140). Eine wärmere Bodentemperatur kann aufgrund der daraus resultierenden höheren biologischen Aktivität zu verstärktem Abbau von Humus führen. Dieser Abbau hat nicht nur nachteilige Auswirkungen auf die Kapazität der Böden, Wasser zu speichern und Nährstoffe zu binden, er reduziert auch die Gefügestabilität, was bei gleichzeitig zunehmendem (Regen-) Erosionsrisiko (siehe Indikator BO-I-3, Seite 136) problematisch ist.

Die Bodentemperatur ist wichtigster Treiber der Bodenatmung. Deren Anstieg führt zu einer zusätzlichen CO_2 -Freisetzung aus den Böden, wodurch sich positive Rückkoppelungseffekte auf eine weitere Verstärkung der Erderwärmung ergeben können. Ein Temperaturanstieg kann allerdings auch die Bindung von Kohlenstoff aus der Atmosphäre im Boden fördern, denn mit der höheren Temperatur und der damit verbundenen längeren Vegetationsperiode bilden die Pflanzen bei ausreichendem Wasserangebot unter Verbrauch von CO_2 aus der Atmosphäre mehr Biomasse, und es wird mehr Kohlenstoff im Boden eingelagert. Auf diese Weise kann es auch – gegenläufig zum oben beschriebenen Humusabbau – zur Humusmehrung kommen. In Anbetracht dieser komplexen, teilweise auch gegenläufigen Entwicklungen wird deutlich, dass aus einer veränderten Bodentemperatur keine einfachen Rückschlüsse auf mögliche Prozessveränderungen im Boden möglich sind.

Die Messdaten, die dem Indikator zugrunde liegen, stammen von standardisierten Messfeldern des DWD. Diese werden ständig bewuchsfrei gehalten. Eine direkte Übertragung der Messergebnisse auf die Bodenbedingungen von landwirtschaftlichen Nutzflächen oder gar Waldböden ist daher nicht möglich. Der Indikator bildet die Anzahl von Tagen ab, an denen die Schwelle von 5°C mittlerer Tagestemperatur im Oberboden überschritten wurde. Der bundesweite Wert ist über 15 Stationen gemittelt, die geographisch über Deutschland verteilt sind. Dieses bundesweite Mittel ist in den letzten 60 Jahren signifikant gestiegen. Gab es im Mittel der Jahre 1961–1990 noch 242 Tage mit über 5°C im Jahr, waren es im Zeitraum 1991–2020 bereits 260 Tage. Einen statistischen Bruchpunkt in der Zeitreihe gibt es aber



Steigen die Bodentemperaturen über 5°C beginnen die Pflanzen zu keimen und zu wachsen.
(Foto: © sandra zuerlein / stock.adobe.com)

nicht. Der Anstieg verlief vergleichsweise kontinuierlich. Allerdings schwanken die Werte deutlich von Jahr zu Jahr. Zu hohen Werten kommt es vor allem dann, wenn der Herbst lange warm und trocken war (siehe Indikator BD-I-1, Seite 202) und die Wärme lange im Boden konserviert wurde. Hohe sommerliche Lufttemperatur hat keine Bedeutung für den Indikatorverlauf. Dies macht das Jahr 2018 deutlich. In diesem Jahr wurde mit $10,5^\circ\text{C}$ die bis dahin höchste Lufttemperatur im Jahresmittel gemessen. Die Anzahl der Tage mit einer mittleren Bodentemperatur von über 5°C war mit 259 Tagen aber vergleichsweise gering. Dies liegt daran, dass der Winter 2017/2018 vergleichsweise niederschlagsreich war. Das heißt, die Böden starteten mit hohen Wassergehalten ins Frühjahr und benötigten entsprechend lange, um sich aufzuwärmen. Das Jahr 2020 zeigt hingegen deutlich höhere Indikatorwerte. Der Winter 2019/2020 war im Deutschlandmittel zwar ebenfalls sehr nass, aber es war der zweitwärmste Winter seit Aufzeichnungsbeginn 1881. Auf diesen Winter folgte ein extrem sonniger und viel zu trockener Frühling. Dies führte zu einer raschen Bodenerwärmung, sodass im Jahr 2020 die Anzahl der Tage mit einer mittleren Bodentemperatur von über 5°C um 20 höher lag als im Jahr 2018.

Für die landwirtschaftliche Bewirtschaftungsplanung ist die Bodenerwärmung im Frühjahr von großer Bedeutung, denn sie bestimmt wesentlich über die Aussaatzeitpunkte der Sommerkulturen (siehe Indikator LW-R-1, Seite 158).

Humus stärkt Widerstandskraft der Böden

Eine wichtige Anpassungsstrategie zum Bodenschutz besteht darin, die Böden widerstandsfähiger gegenüber den Gefahren unter anderem von Austrocknung und / oder Erosion zu machen. Eine herausragende Rolle spielt dabei der Humus, denn er beeinflusst nahezu alle Bodeneigenschaften und -funktionen. Humus ist die Gesamtheit der organischen Substanz im Boden, die sich aus allen in und auf dem Boden befindlichen abgestorbenen pflanzlichen und tierischen Stoffen sowie deren organischen Umwandlungsprodukten zusammensetzt. Er ist wichtiges Speichermedium für Nährstoffe und Wasser und sorgt für ein günstiges Bodengefüge, was den Luft- und Wasserhaushalt des Bodens positiv beeinflusst sowie Bodenverdichtung und Erosion mindert. Zudem reduziert Humus die sommerliche Austrocknung und fördert die Aktivität der Bodenorganismen. Standortangepasste Humusgehalte zu erhalten und Humus zu mehren, ist daher eine wichtige Anpassungsmaßnahme zur Gesunderhaltung der Böden.

Mit Blick auf die vielfältigen Zusammenhänge von Klimawandel und Humus ist zu berücksichtigen, dass der Klimawandel auch unmittelbaren Einfluss auf die Humusgehalte

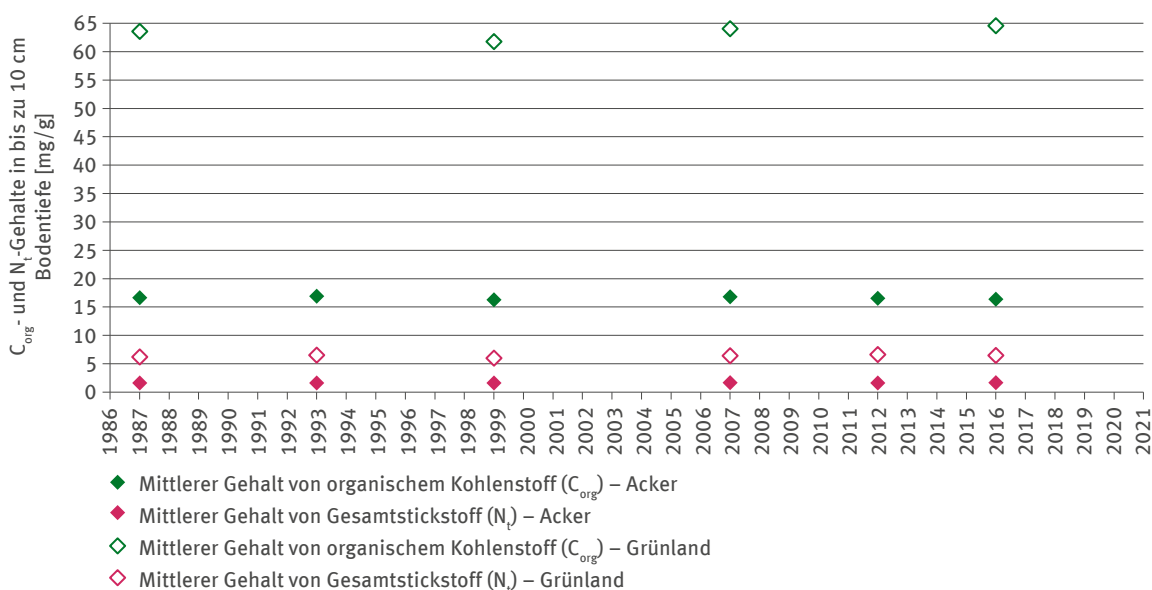
in Böden hat. Höhere Temperatur kann einerseits Mineralisationsprozesse im Boden und den Abbau der organischen Substanz beschleunigen, andererseits aber auch humusmehrende Effekte haben, wenn beispielsweise Pflanzen durch die höhere Temperatur mehr Biomasse bilden und damit mehr Material für die Umwandlung in organische Bodensubstanz zur Verfügung steht (siehe Indikator BO-I-4, Seite 138). Auch veränderte Niederschlagsverhältnisse haben Auswirkungen auf die Humusbildung. Derzeit sind gesicherte Aussagen über klimawandelabhängige Veränderungen der Gehalte und Vorräte an organischer Substanz nicht möglich. Es wird aber davon ausgegangen, dass Witterung und Klima eine nachgeordnete Rolle für den Humusstatus spielen. Die größten Veränderungen werden durch Nutzungsänderungen induziert¹⁰⁰.

Die Gehalte an organischer Substanz in Böden werden im Wesentlichen von den standorttypischen Gegebenheiten (unter anderem der Bodenart und dem Abstand zum Grundwasser) bestimmt und lassen sich daher nicht pauschal durch Zugabe von organischen Materialien erhöhen. Eine wirksame Steuerung erfolgt aber über die



BO-R-1: Humusgehalte von Acker- und Grünlandböden – Fallstudie

Die Humusgehalte auf landwirtschaftlich genutzten Boden-Dauerbeobachtungsflächen in Bayern haben sich im Durchschnitt seit Mitte der 1980er-Jahre nicht relevant verändert. In Abhängigkeit von Standort und Nutzung können die Entwicklungen allerdings sehr unterschiedlich verlaufen. Im Grünland sind die Humusgehalte generell höher. Auf Ackerflächen fördern vermehrter Zwischenfruchtanbau und mehr organische Düngung den Humusaufbau.



Datenquelle: LfL (Auswertungen von Boden-Dauerbeobachtungsflächen in Bayern)

Nutzungspraktiken. Auf forstlich genutzten Böden sind die Baumartenzusammensetzung und der Umfang der Holzernterückstände entscheidende Faktoren für die Humusbildung (siehe Indikator FW-R-3, Seite 190). Auf landwirtschaftlichen Böden dienen beispielsweise Grünlandnutzung, Stallmistwirtschaft, Zwischenfruchtanbau oder das Belassen und Einarbeiten von Ernte- und Wurzelrückständen der Pflege und Akkumulation von Humus. An den langfristigen humusmehrenden Effekten von verringertem Pflugeinsatz und reduzierter Bodenbearbeitung gibt es hingegen Zweifel. Langzeitversuche zeigten, dass sich die Humusvorräte kaum verändern, der Humus nur anders im Bodenprofil verteilt wird¹⁰¹.

Mit den „Greening“-Auflagen der europäischen Direktzahlungen-Durchführungsverordnung wurde die Förderung im Rahmen der GAP von 2014 bis 2022 daran geknüpft, dass die Landwirtschaftsbetriebe einen Beitrag zum Umwelt- und Klimaschutz leisten. Mit den Auflagen konnte der Anbau von Zwischenfrüchten in Deutschland in den letzten Jahren erheblich gesteigert werden¹⁰². Zwischenfruchtanbau kommt dem Humusaufbau nicht nur durch die oberirdische Biomasse, sondern auch den wurzelbürtigen Eintrag von organischer Substanz zugute. Mit der neuen GAP-Förderperiode ab 2023 wurde die Konditionalität des „Greenings“ erweitert. Zu den nun seit 2023 geltenden Standards für den guten landwirtschaftlichen und ökologischen Zustand von Flächen (GLÖZ) gehören Maßnahmen wie die Erhaltung von Dauergrünland (siehe Indikator BO-R-2, Seite 142) und eine Mindestbodenbedeckung in den sensibelsten Zeiten, die auch den Humusaufbau unterstützen. Zudem sind die EU-Mitgliedsstaaten verpflichtet, freiwillige Öko-Regelungen (ÖR) anzubieten. Zum ÖR-Katalog gehört die „Beibehaltung einer agroforstlichen Bewirtschaftungsweise auf Ackerland sowie Dauergrünland“. Diese Kombination von Gehölzen mit Acker- oder Grünlandnutzung fördert ebenfalls den Humusaufbau. Mehrere Bundesländer bereiten zudem gezielte Förderprogramme für die Agroforstwirtschaft vor.

Mit Blick auf eine Begrenzung des Humusabbaus sind vor allem die organischen Böden hoch relevant. In Mooren sind erhebliche Mengen von Kohlenstoff gebunden. Bei land- und forstwirtschaftlicher Nutzung werden Moore entwässert, es gelangt Sauerstoff in den Torf, was die mikrobielle Umsetzung stark beschleunigt und zu einem Abbau der organischen Substanz führt. Im nationalen Treibhausgasinventar sind die entwässerten Moore in den Sektoren Landwirtschaft und Landnutzung für rund 40% der Emissionen und rund 7,5% der gesamten nationalen Treibhausgasemissionen verantwortlich.¹⁰³ Mit Moorrenaturierung oder der Umstellung auf eine nasse Bewirtschaftung in Form von Paludikulturen lässt sich der



Humus gilt als „schwarzes Gold“, das Böden wirksam vor Austrocknung und Erosion schützt.
(Foto: © 994yellow / stock.adobe.com)

Humusabbau stoppen, im Idealfall kommt es wieder zum Torfaufbau.

Regelmäßige Erhebungen zu den Humusgehalten in landwirtschaftlichen Böden führen die Länder im bundesweiten Netz der BDF durch. Ergebnisse von den bayerischen BDF zeigen, dass die mittleren Gehalte der wichtigsten Humusbestandteile, organischer Kohlenstoff (C_{org}) und Gesamtstickstoff (N_t), in Bodentiefen von 0 bis 15 cm über die vergangenen Jahre nahezu gleich geblieben sind. Über alle BDF in Bayern hielten sich Zu- und Abnahmen in den letzten 35 Jahren etwa die Waage. Auf den Ackerflächen kam es im Mittel zu einem leichten Rückgang der C_{org} -Gehalte um 3% gegenüber dem Ausgangszustand, die meisten untersuchten Standorte zeigten aber keine Veränderungen. Bei BDF, auf denen abweichend eine Zunahme des C_{org} -Gehalts beobachtet wurde, ließ sich ein Zusammenhang mit der Umstellung auf Ökolandbau und organische Düngung sowie den Verbleib von Ernterückständen auf den Feldern nachweisen. Deutlicher zeichnet sich hingegen eine generelle Verengung des C/N-Verhältnisses ab, weil gleichzeitig zum leichten C_{org} -Rückgang die N_t -Gehalte zunehmen. Auf den Grünland-BDF ist die Situation ähnlich. Auch hier zeigte der Großteil der Standorte keine auffällenden C_{org} -Veränderungen, und im Mittel ergab sich im Beobachtungszeitraum keine signifikante Veränderung der C_{org} -Gehalte.¹⁰⁴ Grundsätzlich vollziehen sich vor allem Humusmehrungen nur sehr langsam, und es gibt Messungenauigkeiten, sodass es für gesicherte Schlussfolgerungen langer Zeitreihen bedarf.

Mehr Dauergrünland zum Schutz landwirtschaftlicher Böden

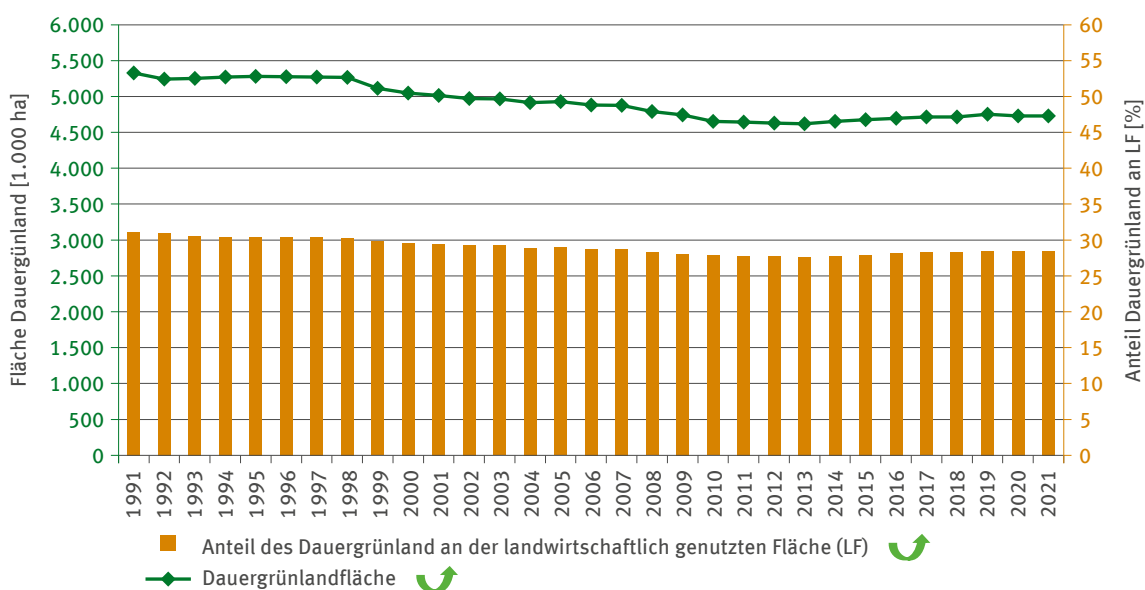
Als Dauergrünland gelten Wiesen und Weiden, die im einen Fall durch Mähen beerntet und im anderen von Tieren beweidet werden. Auf ihnen erfolgt der Anbau von Gras und krautigen Pflanzen als Dauerkulturen. Aufgrund der permanenten Bodenbedeckung, der Humusanreicherung und der Artenvielfalt entfaltet Dauergrünland vor allem im Vergleich zu Ackerland viele günstige ökologische Wirkungen und schützt die Böden gegenüber den projizierten nachteiligen Folgen des Klimawandels vergleichsweise gut. Insbesondere das Bodenabtragsrisiko durch Wasser und Wind (siehe Indikator BO-I-3, Seite 136) ist für Böden unter Grünland deutlich reduziert. Bei Starkniederschlägen kann das Niederschlagswasser in ständig bewachsene Grünlandböden besser eindringen als in unbewachsene Ackerböden. Zudem sind die Humusgehalte im Grünland höher (siehe Indikator BO-R-1, Seite 140). Dauergrünland zu erhalten oder auch auszuweiten, ist aus diesem Grund insbesondere in empfindlichen Lagen wie landwirtschaftlich genutzten Hangbereichen oder Überschwemmungsgebieten eine geeignete Maßnahme zum Schutz des Bodens auch unter veränderten Klimabedingungen.

Der Verlust durch Umbruch von Grünland zu Ackerland ist auch aus Gründen des Klimaschutzes kritisch zu bewerten. Durch Grünlandumbruch wird ein erheblicher Teil des im Boden gespeicherten Kohlenstoffs in Form von Treibhausgasen in die Atmosphäre freigesetzt. Dies gilt vor allem für Grünland auf organischen Böden, die besonders hohe Anteile organischer Substanz aufweisen. Die Erhaltung des Grünlands ist daher auch aus Klimaschutzsicht eine Maßnahme von hoher Relevanz. Außerdem hat Grünland große Bedeutung für den Artenschutz, die Erhaltung der biologischen Vielfalt sowie den Boden- und Gewässerschutz.

Die Grünlandfläche in Deutschland hat sich zwischen 1991 und 2013 um rund 700.000 Hektar verringert: Von ursprünglich 5,3 Mio. Hektar verblieben Anfang der 2010er-Jahre nur noch etwa 4,6 Mio. Hektar. Neben der Nutzungsaufgabe in Gebieten mit ungünstigen Produktionsbedingungen war diese Entwicklung die Folge von Grünlandumbrüchen zu Gunsten des Marktfruchtbaus, des Futterbaus oder des Anbaus von nachwachsenden Rohstoffen. Die Regionen mit den in dieser Zeit größten

BO-R-2: Dauergrünlandfläche

Die Erhaltung von Dauergrünland dient dem Schutz von landwirtschaftlich genutzten Böden gegenüber den nachteiligen Folgen des Klimawandels. Die Grünlandfläche unterlag zwischen 1991 und 2013 einem kontinuierlichen und signifikanten Rückgangstrend. Seit 2013 steigen die Flächen und der Anteil an der landwirtschaftlich genutzten Fläche langsam wieder an. Von 2019 bis 2021 blieb der Anteil mit 28,5 % konstant.



Datenquelle: StBA (Bodennutzungshaupterhebung und Agrarstrukturerhebung)

absoluten Grünlandverlusten – wie Bayern und Niedersachsen – sind in Teilen stark von intensiver Tierhaltung geprägt. Die relativen Verluste waren aber auch in anderen Bundesländern, in denen die Grünlandnutzung weniger verbreitet ist, zum Teil erheblich. Die Intensivierung der Milchviehhaltung und die niedrigen Milchpreise bewogen die Landwirtschaftsbetreibenden, vermehrt Hochleistungskühe zu halten, deren Futtergrundlage neben Grundfutter aus Gras, Heu und Silage auch aus hohen Mengen Kraftfutter in Form von Getreide und Proteinträgern wie Soja- und Rapsextraktionsschrot besteht. Zudem erfolgte in den betroffenen Regionen der größte Zubau an Biogaskapazitäten mit Auswirkungen auf den Grünlandumbruch. Der bundesweite Rückgang der Grünlandfläche bis 2013 hat sich nahezu proportional zum Rückgang der Landwirtschaftsfläche in Deutschland insgesamt entwickelt. Es ist davon auszugehen, dass mit Schwerpunkt Feuchtgrünland umgebrochen und dann trockengelegt worden ist. Dieser Umbruch auf nassen Böden und Moorböden war dabei aus Klimaschutzsicht besonders bedenklich.

Seit 2013 ist wieder ein Zuwachs der Dauergrünlandfläche zu verzeichnen. Auch der Anteil von Grünland an der Landwirtschaftsfläche stieg bis 2019 wieder an. In den letzten drei Jahren der Zeitreihe lag er konstant bei 28,5 %. Als eine Ursache für die Umkehr der Entwicklung Mitte der 2010er-Jahre gilt die EU-Agrarreform, die der Europäische Rat und das Europäische Parlament Ende des Jahres 2013 verabschiedeten. Die neuen Vorschriften wurden in den darauffolgenden Jahren von den einzelnen Mitgliedsstaaten in nationales Recht umgesetzt. So war in Deutschland von 2015 bis 2022 das Dauergrünland-erhaltungsgebot im Rahmen des „Greening“ in Kraft. Es gilt auch weiterhin in der neuen GAP-Förderperiode ab 2023 im Rahmen der GLÖZ-Standards. Das bedeutet, dass Förderungen, die aus der GAP an Landwirtschaftsbetriebe gezahlt werden, daran gebunden sind, dass der Anteil der Dauergrünlandfläche an der landwirtschaftlich genutzten Fläche in einer definierten Region nicht zurückgeht. Eine Umwandlung von Dauergrünland in Ackerland ist grundsätzlich nur nach Genehmigung erlaubt und je nach Flächenlage und Alter des Dauergrünlands überwiegend nur noch möglich, wenn dafür an anderer Stelle neues Dauergrünland angelegt wird. In einigen Bundesländern wie Schleswig-Holstein, Mecklenburg-Vorpommern und Baden-Württemberg gibt es landesrechtliche Bestimmungen, die jegliche Umwandlung von Dauergrünland in Ackerland grundsätzlich untersagen. Mit der neuen GAP-Förderperiode gilt ab 2023 nicht mehr nur in Gebieten, die nach der Fauna-Flora-Habitat-Richtlinie (FFH-Gebiete) ausgewiesen sind, ein striktes Umbruch- und Umwandlungsverbot für Dauergrünland,



Unter Dauergrünlandnutzung ist das Bodenabtragsrisiko reduziert, und die Böden können Starkniederschläge besser aufnehmen als unbewachsene Ackerböden. (Foto: © Superingo / stock.adobe.com)

sondern ebenso für Vogelschutzgebiete sowie Feuchtgebiete und Moore.

Neu angelegtes Grünland kann zur zusätzlichen Kohlenstoffbindung beitragen, in der Regel unabhängig davon, wie es zusammengesetzt ist, denn es kommt in jedem Fall zum Humusaufbau. Mit Blick auf die Biodiversität ist jedoch zu berücksichtigen, dass neu angelegtes Grünland in der Regel artenärmer ist als bereits lang bestehende Grünlandflächen. Deshalb sind die im Rahmen des Grünlanderhaltungsgebots neu angelegten Grünlandflächen für die Artenvielfalt weniger bedeutsam, als es die Erhaltung älterer Flächen ist¹⁰⁵.



Foto: © Johan Larson / stock.adobe.com

Landwirtschaft

Überblick	146
Wirkstrang „Auswirkungen der Klimaerwärmung auf die landwirtschaftlichen Erträge“	149

Auswirkungen des Klimawandels – Impact

LW-I-1	Verschiebung agrarphänologischer Phasen	150
LW-I-2	Ertragsschwankungen	152
LW-I-3	Hagelschäden in der Landwirtschaft	154
LW-I-4	Befall mit Schadorganismen – Fallstudie	156

Anpassungen an den Klimawandel – Response

LW-R-1	Anpassung von Bewirtschaftungsrythmen	158
LW-R-2	Sorten und Vermehrung wärmeliebender Ackerkulturen.....	160
LW-R-3	Anpassung des Sortenspektrums im Weinbau	161
LW-R-4	Anbau wärmeliebender Ackerkulturen.....	162
LW-R-5	Pflanzenschutzmittel-Absatz und -Anwendung.....	164
LW-R-6	Landwirtschaftliche Bewässerung	166



Zur Bedeutung des Handlungsfelds

Mehr als die Hälfte der Fläche Deutschlands wird landwirtschaftlich genutzt. Das bedeutet, dass die Landwirtschaft schon allein aufgrund des Flächenumfangs ein immenses Potenzial hat, die Landschafts- und Biotopstrukturen im Sinne einer „guten“ Klimawandelanpassung zu gestalten. Zugleich sind die Landwirtschaft und die damit verbundenen Vorleistungen und Investitionen sowie die an die landwirtschaftliche Produktion gebundene Ernährungsindustrie und Bioökonomie von großer volkswirtschaftlicher Bedeutung. Im globalen Maßstab ist der Klimawandel inzwischen zu einem relevanten Risikofaktor für die Ernährungssicherheit geworden. In vielen Ländern des Südens kämpfen die Landwirtschaft Betreibenden mit ausgeprägten Dürren und anderen Extremereignissen. Aber auch in Deutschland gibt es inzwischen Regionen, in denen eine produktive und nachhaltige Landwirtschaft möglicherweise nicht mehr wie bisher möglich ist.

Um auch unter Klimawandelbedingungen die Produktionsleistung der Landwirtschaft aufrechtzuerhalten, ist Anpassung in vielen Bereichen der Landwirtschaft, aber auch im Ernährungsverhalten und in der Lebensmittelverarbeitung erforderlich.

Aufgrund der engen Verflechtungen zwischen Landwirtschaft, (hochwertiger) Ernährung und Gesundheit propagieren die UN Organisationen für Gesundheit (WHO), Tiergesundheit (WOAH), Umwelt (UNEP) sowie Ernährung und Landwirtschaft (FAO) das „One Health Konzept“. Es gilt inzwischen als handlungsleitendes Prinzip in der globalen Gesundheitspolitik und soll auch dazu dienen, sowohl die landwirtschaftliche Produktion als auch die Ernährung im globalen Maßstab nachhaltiger zu gestalten.

DAS-Monitoring – was im Klimawandel passiert

Die landwirtschaftliche Bewirtschaftung ist in erheblichem Maße von der europäischen und deutschen Agrarpolitik sowie den internationalen Agrar- und Inputmärkten beeinflusst. Daher lassen sich beobachtbare und mit Daten erfassbare Veränderungen in diesem Sektor in der Regel nicht eindeutig mit dem Klimawandel in ursächlichen Zusammenhang bringen. Monitoringdaten müssen stets vor dem Hintergrund der agrarpolitischen Rahmen- und Marktbedingungen und einzelbetrieblicher Entscheidungen interpretiert werden.

Dass der Klimawandel für die Landwirtschaft relevant ist, zeigt sich unmittelbar an der Veränderung der agrarphänologischen Phasen (siehe Indikator LW-I-1, Seite 150). So trat die Blüte des Winterraps in den zurückliegenden zehn Jahren im bundesweiten Durchschnitt um rund 18 Tage früher ein als im Mittel des Zeitraums 1971–1980, die des Apfels um rund 15 Tage. Auch der Wein treibt früher im Jahr aus. Die Vegetationsperiode wird länger. Diese Veränderungen bergen für die Landwirtschaft und den Gartenbau Risiken und Chancen zugleich.

In der Landwirtschaft „arbeitet“ man seit jeher mit der Witterung und versucht, sich bestmöglich an die aktuellen Bedingungen und beobachteten Veränderungen anzupassen. Auch im Klimawandel gibt es zahlreiche Anpassungsmöglichkeiten, um Beeinträchtigungen von Kulturen zu vermeiden oder zu verringern, Risiken zu senken oder auch neue Chancen zu nutzen. Viele Entwicklungen von Klimawandelfolgen in der Landwirtschaft, die mit den

Impact-Indikatoren des DAS-Monitorings beschrieben werden, sind daher bereits das Ergebnis vorbeugender und umsichtiger Anpassungsbemühungen, beschreiben also nicht allein die isolierten Klimawandeleffekte. Dass die versicherten (um Inflationseffekte und steigende Versicherungssummen bereinigten) Hagelschäden in sensiblen landwirtschaftlichen Kulturen zwischen 1980 und 2021 nicht angestiegen sind (siehe Indikator LW-I-3, Seite 154), kann daran liegen, dass schwere Hagelereignisse in diesem Zeitraum nicht zugenommen haben oder die Hagelzüge landwirtschaftliche Kulturen nicht getroffen haben, aber auch daran, dass die Betriebe Schutzmaßnahmen (wie die Etablierung von Hagelschutznetzen) ergriffen haben, um die Schäden effektiv zu vermeiden oder zu verringern zu können.

Es sind vor allem die Unberechenbarkeiten der jährlichen Witterungsverhältnisse, die es den Landwirtschaftsbetrieben schwer machen, sich ausreichend oder auch rechtzeitig anzupassen. Extremereignisse oder auch unerwartete Witterungskonstellationen können selbst eine solide und vorsorgende betriebliche Planung überfordern. Mittel- und langfristig absehbare Trends wie steigende Temperaturen, zunehmende Trockenheit im Frühjahr oder auch die Begünstigung bestimmter Schadorganismen durch eine sich verändernde Witterung (siehe Indikator LW-I-4, Seite 156) lassen sich durch die Wahl besser angepasster Sorten und Fruchtarten in die betrieblichen Strategien integrieren. Bei einigen Fruchtarten steigen die Erträge – auch infolge der weiterhin zunehmenden Intensivierung in der Landwirtschaft und als Ergebnis

eines vorausschauenden betriebswirtschaftlichen Handelns – nach wie vor an. Es gibt allerdings inzwischen auch Fruchtarten, deren Erträge stagnieren. Immer wieder gibt es mehr oder weniger starke Schwankungen in der Ertragshöhe und -qualität (siehe Indikator LW-I-2, Seite 152). In einem Jahr kommt es durch überraschend

günstige Witterungsverhältnisse zu unerwartet hohen Erträgen, im anderen Jahr durch Extremwetterereignisse zu erheblichen Ertragsseinbußen. Beides bringt Herausforderungen für die landwirtschaftlichen Betriebe mit sich und macht die Abläufe (zunehmend) schwer planbar.

Die künftigen Klimarisiken – Ergebnisse der KWRA

Die Untersuchungen im Rahmen der Klimawirkungs- und Risikoanalyse 2021 (KWRA, siehe Lesehilfe, Seite 7) im Handlungsfeld „Landwirtschaft“ ergaben bereits zur Mitte des Jahrhunderts ein hohes Risiko für abiotischen Stress und Ertragsausfälle. Bis zum Ende des Jahrhunderts wird zusätzlich ein hohes Risiko für eine hitzebedingte Minderung der Gesundheit und Leistungsfähigkeit von Nutztieren erwartet. Die Risiken für eine Qualitätsverschlechterung der Ernteprodukte, Stress durch Schädlinge und Krankheiten sowie die Verschiebung von Anbaugebieten und der agrophänologischen Phasen

werden bis zur Mitte und zum Ende des Jahrhunderts als mittel (in einem Bewertungsraster gering – mittel – hoch) eingeschätzt. Die Gewissheit bei der Risikobewertung von fast allen Klimawirkungen ist mittel bis hoch, nur die Einschätzungen zum Stress durch Schädlinge und Krankheiten und zu den Ertragsausfällen sind mit größeren Unsicherheiten verbunden.

In Zukunft werden vor allem auch Flächen- und Wassernutzungskonflikte die Rahmenbedingungen der landwirtschaftlichen Produktion bestimmen.

Wo haben wir Daten- und Wissenslücken?

Mit den DAS-Monitoringindikatoren lassen sich viele relevante Auswirkungen des Klimawandels auf Landwirtschaft und Gartenbau bisher nicht hinreichend beschreiben. Trotz regelmäßiger agrarstruktureller Erhebungen ist die Datengrundlage in einigen Themenfeldern nicht ausreichend. Viele betriebliche Daten unterliegen zudem dem Datenschutz (hierzu gehören unter anderem auch Versicherungsdaten), oder Daten ließen sich nur mit einem sehr großen Aufwand auswerten (wie die Dokumentationen der Betriebe zur Pflanzenschutzmittelnanwendung).

Landwirtschaftliche Schäden infolge von Hochwasser, Stürmen, Dürre und Spätfrost lassen sich bisher nicht systematisch und bundesweit erfassen, weil in der Forschung hoch aufgelöste, flächendeckende Ertragsdaten fehlen und die Versicherungsdichte in der landwirtschaftlichen Mehrgefahrenversicherung bundesweit noch zu gering ist, um repräsentative Aussagen aus Versicherungsdaten ableiten zu können. Selbst bei einer deutlich steigenden Versicherungsdichte wird es noch mehrere Jahre dauern, um statistisch gesicherte Aussagen treffen zu können.

Wissenslücken bestehen auch im Hinblick auf die Qualität von Ernteprodukten, die durch Klimawandelfolgen beeinflusst werden kann. Neben Hitze und Trockenheit spielt auch die CO₂-Konzentration eine Rolle. Sie könnte den Nährwert der Pflanzen verringern. Beim Weizen hat sie vermutlich auch Einfluss auf die Backqualität. Das Thema

rückt zunehmend in das wissenschaftliche Interesse. Die Besondere Ernteermittlung und Qualitätsermittlung wird in jedem Jahr auf landwirtschaftlichen Betrieben durchgeführt. Bei Getreide und Raps werden in diesem Rahmen auch Beschaffenheitsmerkmale wie Inhaltsstoffe und Verarbeitungseigenschaften ermittelt. Für eine Interpretation solcher Daten im Klimawandelzusammenhang sind aber ein besserer Datenzugang für die Forschung und noch mehr Wissen notwendig.

Eine besonders große Kenntnislücke gibt es bezüglich der Klimawandelfolgen für die Nutztierhaltung. Datenquellen auf Bundesebene fehlen vor allem zur Tiergesundheit. Daten der Veterinärämter, der Schlachthöfe oder auch Tierbeseitigungsanlagen lassen sich nicht zentral abrufen und auswerten. Leistungsparameter wie die erzeugten Milchmengen sind in Abhängigkeit besonderer Wetterereignisse und Witterungsverhältnisse nur dann interpretierbar, wenn Details zu den Haltungsbedingungen bekannt sind. So zeigten Analysen im Rahmen der KWRA 2021, dass die Anzahl der Tage mit Hitzestress für Milchkühe, Schweine und Geflügel in Zukunft deutlich zunehmen könnte. Vor allem bei den in Ställen gehaltenen Tieren lassen sich keine Aussagen zu den tatsächlichen Auswirkungen treffen, da viele Stallanlagen klimatisiert sind. Ferner können Bemühungen um eine Verbesserung des Tierwohls den nachteiligen Auswirkungen von Hitze entgegenwirken.

Was getan wird – einige Beispiele

Die Landwirtschaft hat zahlreiche Möglichkeiten, auf den Klimawandel zu reagieren. Entscheidend sind die Wahl der Kulturarten und Sorten (siehe Indikatoren LW-R-2, Seite 160, LW-R-3, Seite 161, und LW-R-4, Seite 162) und die Form der Bewirtschaftung (siehe Indikatoren LW-R-1, Seite 158, und LW-R-5, Seite 164). Schwieriger ist eine kurzfristige Anpassung bei Dauerkulturen, da hier länger vorausschauende betriebliche Entscheidungen getroffen werden müssen. Vergleichbares gilt auch für einjährige Kulturarten, wenn diese spezifische Bewirtschaftungstechniken und damit verbundene Investitionen voraussetzen oder an bestimmte Verarbeitungs- und Vermarktungsstrukturen gebunden sind. Auch der Aufbau einer Bewässerungsinfrastruktur (siehe Indikator LW-R-6, Seite 166) setzt wohlüberlegte Investitionen sowie die Verfügbarkeit von und den Zugang zu Wasserressourcen voraus.

Auf Bundesebene zielen Anpassungsaktivitäten darauf ab, die Wissensgrundlagen für die landwirtschaftlichen Betriebe zu verbessern. Mit dem Aufbau von Bundesbodeninformationssystemen und der Verbesserung der agrarmeteorologischen Beratung (unter anderem mit der Agrarmeteorologischen Beratungssoftware AMBER) sollen Landwirtschaftsbetriebe differenzierte Informationen erhalten, um ihre Bewirtschaftung gezielter an die sich verändernden Bedingungen anpassen zu können. Die Anfang 2023 von der Bundesregierung verabschiedete „Zukunftsstrategie Forschung und Innovation“ legt in Mission 2 „Klimaschutz, Klimaanpassung, Ernährungssicherheit und Bewahrung der Biodiversität voranbringen“ einen besonderen Fokus auf die Förderung der Pflanzenforschung. Resistente und auch unter Trockenstress ertragssichere Sorten sind erforderlich, um die globale Ernährung zu sichern¹⁰⁶. Mit der Förderinitiative „Agrarsysteme der Zukunft“ unterstützt das BMBF die Entwicklung neuer Wege für eine nachhaltige Gestaltung der Agrarproduktion unter Bedingungen des Klimawandels¹⁰⁷.

Ein wichtiger Hebel auf Bundes- und auch Länderebene ist die Agrarförderung. Die neue Förderperiode der Gemeinsamen Agrarpolitik (GAP) startete nach zwei Übergangsjahren 2021 und 2022 im Januar 2023. Gemäß der GAP-Strategieplan-Verordnung musste erstmals jeder EU-Mitgliedstaat unter Berücksichtigung des auf EU-Ebene gesetzten Rahmens einen Nationalen GAP-Strategieplan erstellen, der festlegt, wofür die Geldmittel verwendet werden. Das BMEL hat diesen in enger Abstimmung mit den Bundesressorts, den Ländern sowie Verbänden und Interessengruppen ausgearbeitet. Für die aktuelle

GAP-Förderperiode wurde eine neue Konditionalität eingeführt. Bei der Konditionalität handelt es sich um allgemeine Grundanforderungen, die alle landwirtschaftlichen Betriebe erfüllen müssen, um Agrarförderung zu erhalten. Zu diesen Grundanforderungen gehört die Einhaltung der Standards für einen guten landwirtschaftlichen und ökologischen Zustand (GLÖZ-Standards). Diese sollen verstärkt zum Klimaschutz, zur Anpassung an den Klimawandel, zur Bewältigung zahlreicher Probleme im Bereich Wasser, zum Schutz des Bodens sowie der Bodenqualität und zur Stärkung der Biodiversität beitragen.

Auch die Förderung des ökologischen Landbaus kann die Anpassung unterstützen, da die im Ökolandbau praktizierten Bewirtschaftungsformen wie diversifizierte Pflanzenbausysteme, vielfältige Fruchtfolgen und kontinuierliche Bodenbedeckung die Widerstandsfähigkeit und Resilienz der Agrarökosysteme stärken können. Zum Umgang mit Klimarisiken in der Landwirtschaft bedarf es aber auch weitreichender Veränderungen der Märkte und der Veränderungsbereitschaft auf der Nachfrageseite hinsichtlich Produktwahl und Preisen, nicht zuletzt da Betrieben höhere Kosten entstehen können.

Ein Ansatz zur Minderung des wirtschaftlichen Risikos in der Landwirtschaft sind die Entwicklung und das Angebot angemessener Versicherungslösungen. Mit der Gewährung eines stark ermäßigten Steuersatzes von nur noch 0,3 Promille der Versicherungssumme wurden 2013 bereits attraktivere Bedingungen für landwirtschaftliche Mehrgefahrenversicherungen geschaffen, indem zusätzlich zum Hagel auch die Risiken Sturm, Starkfrost, Starkregen und Überschwemmungen in die Begünstigung einbezogen wurden. Anfang 2020 wurde die Regelung um die Elementargefahr Dürre erweitert. Da die Prämien für Mehrgefahrenversicherungen aber überwiegend sehr hoch sind, werden in mehreren EU-Staaten an Landwirtschaftsbetriebe inzwischen Zuschüsse für die Versicherung gezahlt. Bayern, Baden-Württemberg, Nordrhein-Westfalen und Thüringen fördern aktuell aus Landes- und / oder EU-Mitteln Mehrgefahrenversicherungen vornehmlich bei Sonderkulturen, indem ein Teil der Versicherungsprämien durch öffentliche Zahlungen übernommen wird. Niedersachsen plant zusammen mit Bremen und Hamburg die Einführung einer Förderung ab 2024.

Handlungsfeld-relevante Klimaveränderungen

Lufttemperatur und Witterungsschwankungen

Das Jahresmittel der Lufttemperatur ist im Flächenmittel von Deutschland von 1881 bis 2022 statistisch gesichert um 1,7 °C gestiegen. In den vergangenen 50 Jahren hat sich zudem das Tempo dieses Temperaturanstiegs deutlich beschleunigt. Vor 2014 gab es in Deutschland noch nie eine Jahresdurchschnittstemperatur von über 10 °C, seither kam es fünfmal zu dieser Überschreitung. Nach wie vor gibt es aber eine große Schwankungsbreite der Witterung von Jahr zu Jahr und viele Unberechenbarkeiten (siehe Seite 19).

Auswirkungen des Klimawandels

LW-I-1 Verschiebung agrarphänologischer Phasen

Der Klimawandel verändert den jahreszeitlichen Entwicklungsgang landwirtschaftlicher Kulturen. Es kommt zu Verschiebungen der agrarphänologischen Phasen. Dies kann für die unterschiedlichen landwirtschaftlichen und gartenbaulichen Kulturen unterschiedliche Konsequenzen haben. Wenn nach warmen Frühjahrstemperaturen Spätfröste auftreten, treffen diese auf schon weit entwickelte Kulturen (beispielsweise im Obstbau), die durch den Frost massiv geschädigt werden können. In anderen Fällen wie bei den Wintergetreiden und beim Winterraps kann eine frühere Entwicklung mit Vorteilen beispielsweise für das Management von Schadorganismen, die Fruchtfolge oder die Ausnutzung der Feuchte aus dem Winter verbunden sein.

LW-I-2 Ertragsschwankungen

Die absoluten Ertragshöhen, die in Deutschland in der Landwirtschaft erzielt werden, hängen von vielen Faktoren, nicht zuletzt sehr wesentlich von den Marktbedingungen ab. Dennoch könnten zumindest in einigen Regionen Deutschlands künftig auch die klimatischen Grenzen für eine weitere Ertragssteigerung erreicht werden. Unmittelbarer mit der Witterung sind die zwischenjährlichen Ertragsschwankungen verbunden, denn auf extreme Witterungssituationen kann sich die Landwirtschaft nur begrenzt einstellen. Seit der Jahrtausendwende lassen sich starke zwischenjährliche Ertragsschwankungen bei Weizen und Mais beobachten.

Anpassungen – Aktivitäten und Ergebnisse

LW-R-4 Anbau wärmeliebender Ackerkulturen

Im Ackerbau gibt es die Möglichkeit, mit der Wahl der Kulturarten und Sorten auf die sich verändernden Klima- und Witterungsbedingungen zu reagieren. Neben der Prävention von Ertragseinbußen eröffnen sich damit auch neue wirtschaftliche Optionen für die Betriebe. So wird der Anbau von Soja, Hartweizen und auch Körnermais in Deutschlands bei wärmeren Verhältnissen zunehmend interessant, und die Anbauflächen weiten sich aus. Im Falle der Hülsenfrüchte wie Soja sind zudem die agrarpolitischen Rahmenbedingungen derzeit günstig, da der Anbau durch die Eiweißpflanzenstrategie des Bundes stark gefördert wird.



Foto: © Volodymyr / stock.adobe.com



Foto: © Mariusz Switulski / stock.adobe.com



Foto: © zoteva87 / stock.adobe.com



Foto: © Johannes Wilke / stock.adobe.com

Frühjahrskulturen starten immer früher

Die landwirtschaftliche Nutzung ist wie kaum eine andere Nutzung in die natürlichen jahreszeitlichen Rhythmen eingebunden. Die in der Landwirtschaft Tätigen müssen mit der Bewirtschaftung der jeweiligen Kulturen auf die jährlich wechselnden Witterungsbedingungen und die jeweils aktuellen Wetterverhältnisse reagieren. Witterungsveränderungen können sich sowohl positiv als auch negativ auf die Kulturen auswirken. So fördern höhere Wärmesummen bei ausreichender Wasserversorgung das Wachstum bestimmter Kulturarten. Zu hohe Temperaturen oder Trockenheit wiederum können Ertrags- oder Qualitätseinbußen beispielsweise durch ein zu frühes Abreifen von Getreide zur Folge haben.

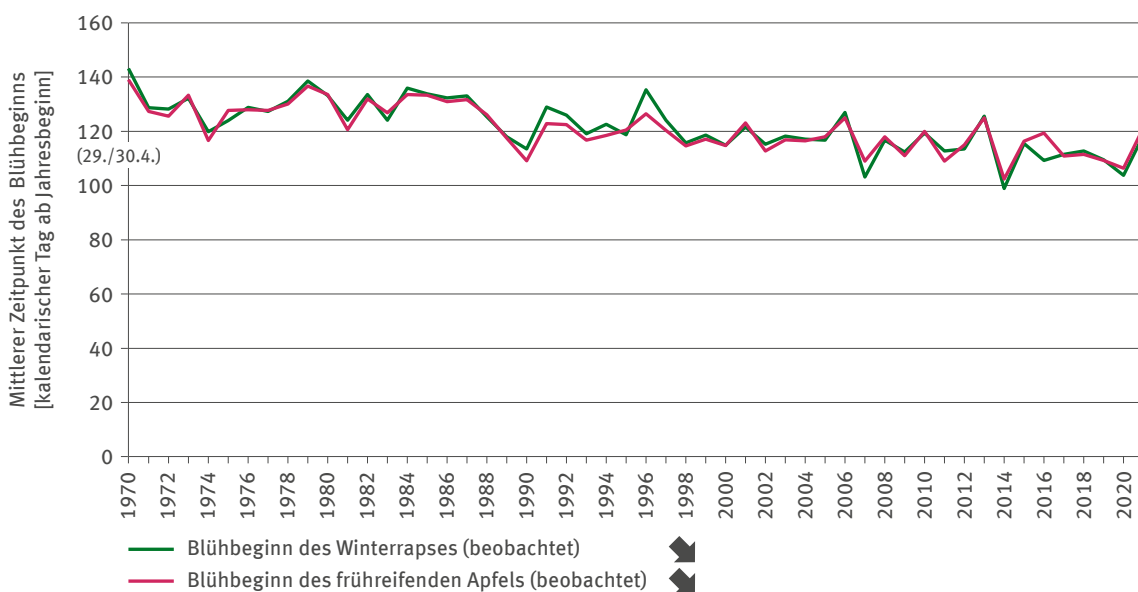
Der Klimawandel hat Auswirkungen auf den jahreszeitlichen Witterungsverlauf und dies wiederum beeinflusst den jahreszeitlichen Entwicklungsgang landwirtschaftlicher Kulturen. Für das Frühjahr werden steigende Temperaturen erwartet, die Sommer können trockener und heißer werden, die Winter sind bereits wärmer und feuchter. Vereinfachte Rückschlüsse auf die Höhe, Qualität und Stabilität von Erträgen lassen sich daraus nicht

ziehen, denn je nach landwirtschaftlicher Kultur und Fruchtfolge können die Auswirkungen der klimatischen Veränderungen unterschiedlich sein. Vor allem gibt es auch große regionale Unterschiede.

Die Veränderung natürlicher jahreszeitlicher Rhythmen und die damit verbundenen zeitlichen Verschiebungen in der Entwicklung von Pflanzen werden seit vielen Jahren anhand sogenannter phänologischer Beobachtungen dokumentiert. Erfasst wird dabei bundesweit das Eintreten bestimmter periodisch wiederkehrender biologischer Erscheinungen wie Blatt- und Knospenaustrieb, Blüte, Fruchtreife oder Blattfall. Das phänologische Beobachtungsnetz des DWD schließt neben Wildpflanzen auch landwirtschaftliche Kulturen und Bewirtschaftungsgänge ein und gibt damit Hinweise auf die Folgen für die landwirtschaftliche Bewirtschaftung, denn aus den Veränderungen der jahreszeitlichen Witterungsverläufe ergeben sich neue Herausforderungen für die Landwirtschaft. Die Betriebe müssen die Wahl der Fruchtart und -sorte, die Fruchtfolgen und die Terminierung der Bewirtschaftungsgänge auf die neuen Verhältnisse abstimmen.

LW-I-1: Verschiebung agrarphänologischer Phasen

Veränderungen des jahreszeitlichen Witterungsverlaufs bringen neue Herausforderungen für die landwirtschaftliche Bewirtschaftungsplanung. Apfel und Winterraps blühen aufgrund der höheren Wärmesummen im Frühjahr immer früher.



Datenquelle: DWD (Phänologisches Beobachtungsnetz)

Der Beginn der Blüte von Apfel und Winterraps markiert in Deutschland den Frühlingsbeginn. Beide Blühzeitpunkte sind unabhängig von vorherigen Einflüssen der landwirtschaftlichen Bewirtschaftung wie beispielsweise dem Zeitpunkt der Aussaat. Äpfel sind Dauerkulturen, und der Winterraps wird bereits im Vorjahr, spätestens Anfang September, gesät. Der Blühzeitpunkt steht daher in unmittelbarem Zusammenhang mit klimatischen Faktoren, vor allem den Wärmesummen, die in den ersten Monaten des neuen Jahres erzielt werden.

Je nach Witterungsverlauf schwanken die Zeitpunkte des Blühbeginns von Apfel und Winterraps von Jahr zu Jahr teilweise erheblich. Die Unterschiede zwischen den Jahren können bis zu drei Wochen betragen. Über die letzten etwas mehr als fünfzig Jahre hinweg betrachtet zeigt sich aber bei beiden Kulturen ein signifikanter Trend zu einem früheren Blühbeginn. Im Vergleich zu den 1970er-Jahren blühten im Mittel der letzten zehn Jahre der Winterraps um 18 Tage, der Apfel um 15 Tage früher.

Im Obstbau kann die frühe Blüte das Risiko von Spätfrostschäden erhöhen: Wenn durch warme Frühjahrstemperaturen die Blüte und Fruchtbildung bereits weit vorgeschritten sind und es dann zu spätem Frost kommt, können die Frostschäden zu erheblichen Ernteausfällen bis hin zu Totalverlust führen. Im Jahr 2016 kam es in den letzten Apriltagen zu einem nochmaligen und sehr heftigen Wintereinbruch mit Schneefall von Südkandinavien bis in den Alpenraum. Auch wenn dieses Jahr mit Blick auf die phänologische Zeitreihe der Apfelblüte nicht als extrem hervortritt, waren die Schäden dennoch aufgrund des sehr späten Spätfrostes immens. Auch im darauffolgenden Jahr 2017 erfasste zwischen dem 17. April und dem 10. Mai 2017 späte Kälte mit zahlreichen Frostnächten große Teile Europas. Aufgrund der vorausgegangenen warmen Witterung von März bis Anfang April war in diesem Frühjahr die Vegetation schon vergleichsweise weit entwickelt. Im Obstbau waren in diesem Jahr weniger die Blüten betroffen, die teilweise bereits abgeblüht waren, als vielmehr die jungen Früchte, die allerdings noch deutlich frostempfindlicher sind als die Blüten. Beim Baumobst nahm das Schadenausmaß regional ein katastrophales Ausmaß an. Zu Spätfrost und Ertragsausfällen kam es auch im Jahr 2020 durch einen frostigen Mai und in 2021 durch mehrere aufeinanderfolgende Frostnächte im April 2021.

Vielorts reagieren die Obstbaubetriebe bereits auf diese Entwicklung und führen vermehrt Frostschutzberegnungen durch, bei denen die Pflanzen gezielt mit sehr feinen Wassertröpfchen besprüht werden. Beim Gefrieren des Wassers wird Kristallisationswärme freigesetzt,



Verschiebungen der agrarphänologischen Phasen können sich positiv wie negativ auf landwirtschaftliche Kulturen auswirken. (Foto: © Mariusz Świtulski / stock.adobe.com)

die Blätter und Blüten vor Frostschäden schützt. Allerdings werden für die Frostschutzberegnung mit 30.000 Liter pro Hektar und Stunde sehr große Wassermengen benötigt, für die riesige Vorratsspeicher angelegt werden müssen. Dies setzt der Frostschutzberegnung auch aus Nachhaltigkeitserwägungen Grenzen. Nachhaltiger ist die Pflanzung weniger frostempfindlicher Sorten in den gefährdeten Lagen.

Beim Winterraps stellt sich die Situation hingegen anders dar. Hier kann die frühe Blüte mit Vorteilen für das Management von Schadorganismen und die Fruchtfolge verbunden sein. Der Befall von Winterraps mit dem Rapsglanzkäfer kann aufgrund der steigenden Winter- und Frühjahrstemperaturen zunehmen (siehe Indikator LW-I-4, Seite 156). Der Einsatz frühblühender Sorten kann ein Instrument sein, um dem Befall im empfindlichen Knospenstadium vorzubeugen. Auch aus diesem Grunde werden in der Landwirtschaft zunehmend die frühblühenden Winterrapssorten bevorzugt. Da bei den phänologischen Beobachtungen aber die jeweilige Sorte nicht berücksichtigt werden kann, schlagen sich die Effekte von Veränderungen bei der Sortennutzung auch in den im Rahmen der phänologischen Beobachtungen erfassten Blühzeitpunkten nieder. Der Indikator ist damit Impact- und Response-Indikator zugleich. Er bildet inzwischen deutlich die beschriebenen kombinierten Effekte ab.

Ertragseinbrüche durch extreme Witterung

Eine verlängerte Vegetationsperiode, höhere Temperatursummen und höhere CO₂-Konzentrationen in der Atmosphäre können Photosynthese und Pflanzenwachstum stimulieren. Allerdings bringen Trockenstress, Stürme, Starkregen, Hagel und Überschwemmungen auch ein zunehmendes Risiko von Ertragseinbußen.

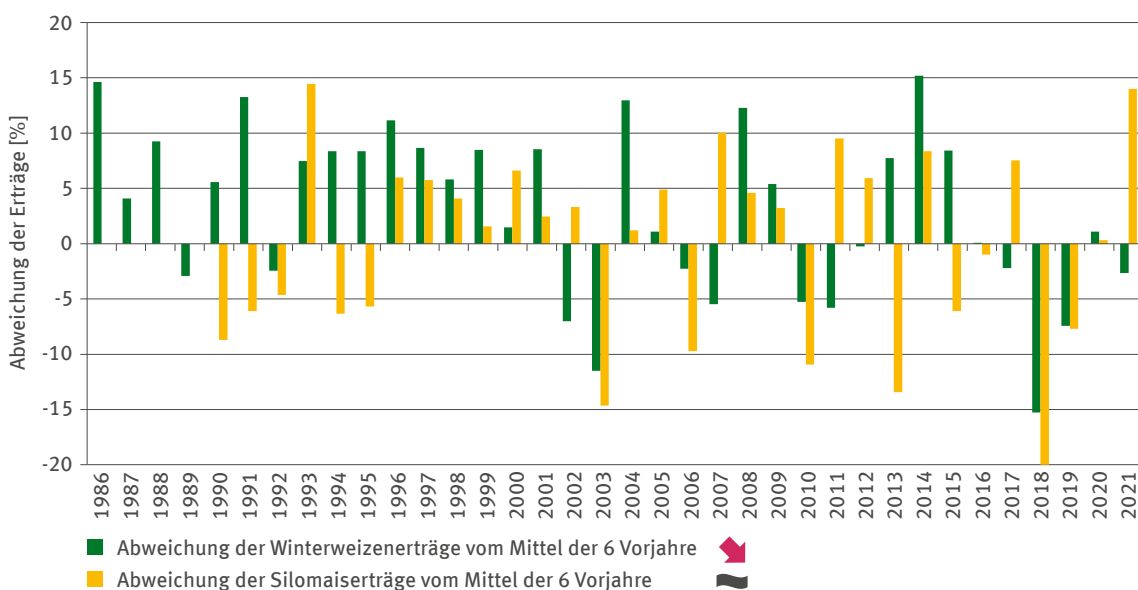
Züchterische und technische Fortschritte haben die landwirtschaftlichen Erträge bei den wichtigen Kulturarten in Deutschland in den letzten fünfzig Jahren ansteigen lassen. Die Züchtung brachte neue Sorten mit verbesserten Eigenschaften hinsichtlich Ertragshöhe und -stabilität, Qualität, Ressourceneffizienz, Stresstoleranz und Krankheitsresistenz hervor. Auch bei den Aussaat-, Pflege- und Erntetechniken sowie bei der Düngung und beim Pflanzenschutz gab es Verbesserungen. Allerdings ist die Ertragshöhe darüber hinaus noch von zahlreichen anderen Faktoren abhängig. Beim Weizen ließ sich vor allem seit der Jahrtausendwende eine Ertragsstagnation feststellen, in den letzten Jahren sogar ein leichter Rückgang. Diese Entwicklung hat komplexe Ursachen, die noch genauer untersucht werden müssen. Neben den bereits erwähnten

Faktoren können hierfür auch der Anbau auf ertragsärmeren Standorten, sogenannten Grenzstandorten, sowie engere Fruchtfolgen eine Rolle spielen. Beim Silomais zeigen die Erträge in der Zeitreihe größere Schwankungen, ein eindeutiger Ertragstrend lässt sich nicht erkennen. In der Landwirtschaft ist es wichtig, Betriebsmanagement und Betriebsmitteleinsatz zu optimieren. In welchem Umfang ertragssteigernde Maßnahmen ergriffen werden, hängt immer auch stark von den erzielbaren Produktpreisen ab. Je höher das Preisniveau, desto eher kann sich der Einsatz ertragssteigernder oder ertragssichernder Betriebsmittel wie unter anderem mineralischer Düngemittel und Pflanzenschutzmittel lohnen. In den letzten beiden Jahren wirkten sich insbesondere die starken Preissteigerungen bei den Düngemitteln auf die Bewirtschaftung aus.

Derzeit lässt sich noch schwer abschätzen, in welchem Ausmaß der Klimawandel die absolute Ertragshöhe hierzulande beeinflusst. Einerseits wird diskutiert, dass zumindest regional die klimatischen Grenzen für eine weitere Ertragssteigerung erreicht werden könnten. Andererseits kann der CO₂-Düngeeffekt wirksam werden, und man geht

LW-I-2: Ertragsschwankungen

Ertragsschwankungen zwischen den Jahren lassen sich unmittelbarer mit Veränderungen des Witterungsgeschehens in Zusammenhang bringen als langfristige Ertragstrends. Nimmt die Ertragsvariabilität zu, bedeutet dies ein steigendes Produktionsrisiko für die Landwirtschaftsbetriebe. Extremjahre führen zu ausgeprägten positiven oder negativen Abweichungen der Erträge von den Vorjahren.



Datenquelle: BMEL (Ernte- und Betriebsberichterstattung sowie Besondere Ernte- und Qualitätsermittlung)

davon aus, dass die Landwirtschaft mit den langfristigen Klimatrends zurecht kommen kann. Vor allem beim Anbau einjähriger Kulturen gibt es viele Möglichkeiten, mit der Wahl von Fruchtarten und Sorten, der Fruchtfolge und der Bewirtschaftungsplanung auf die veränderten Rahmenbedingungen zu reagieren. Solche Anpassungsreaktionen sind schon seit Jahrzehnten geübte landwirtschaftliche Praxis, denn sich verändernde Marktbedingungen haben den Betrieben immer schon hohe Reaktionsbereitschaft abverlangt.

Eine größere Herausforderung werden voraussichtlich die mit dem Klimawandel einhergehenden verstärkten Wetter- oder Witterungsschwankungen zwischen den Jahren sein, auf die sich die Landwirtschaftsbetriebe weniger gut einstellen können. Witterungsextreme wie lange Trockenperioden, aber auch Starkregen (beispielsweise während der Erntezeit) können einerseits zu unvorhersehbaren Ertragseinbrüchen führen. Andererseits ist es auch möglich, dass unerwartet günstige Witterungskonstellationen überraschend hohe Erträge verursachen. Beides erschwert die Betriebsplanung und führt zu Produktionsrisiken, da bei der Kalkulation unter anderem der einzusetzenden Betriebsmittel oder auch von Lagerkapazitäten üblicherweise mit bestimmten Ertragshöhen gerechnet wird.

Betrachtet man für den Winterweizen, die derzeit wichtigste Kulturart in Deutschland, die Abweichungen des Jahresertrags vom durchschnittlichen Ertrag der jeweils vorangegangenen sechs Jahre, zeigt sich, dass es insbesondere ab der Jahrtausendwende ein starkes Auf und Ab der Erträge gab. Der Trend zu vermehrten und stärkeren negativen Ertragsausschlägen ist inzwischen auch signifikant. Im Falle des Silomais ist die Situation ähnlich, aber es gibt noch keinen statistisch eindeutigen Trend. Eine mögliche Erklärung für das reduzierte Ertragsvermögen von Winterweizen ist vor allem eine infolge von Hitze und Trockenheit verkürzte Kornfüllungsphase im Juni. Ist der Erntemonat August zu nass, führt dies zu Lagerschäden und Auswuchs. Für den Silomais, der als Sommerkultur später gesät und geerntet wird, können andere Entwicklungsphasen witterungskritisch sein. Im heißen und trockenen Jahr 2003 lag der Weizenertrag mit 65,5 dt/ha im Bundesdurchschnitt 14,6% unter dem mittleren Ertrag der sechs Jahre zuvor. Neben der Hitze und Trockenheit waren in diesem Jahr auch regionale Auswinterungsschäden durch Kahlfröste ertragsbeeinflussend. Beim Mais hat die heiße und trockene Witterung im Juli und August 2003 vielerorts die Notreife ausgelöst und frühzeitige Erntetermine erzwungen. In 2010 gab es vielerorts Dauerregen im August, und bis in den September hinein waren die Erntebedingungen schlecht, was sich nachteilig auf die Maiserträge ausgewirkt hat. Auffällig sind



Extreme Witterung kann zu massiven Ertragsschwankungen von Jahr zu Jahr führen. (Foto: © zoteva87 / stock.adobe.com)

auch die Einbrüche beim Maisertrag im Jahr 2013. Ende Mai gab es Hochwasser in ganz Deutschland, örtlich auch Spätfröste. In der Folge kam es zur verspäteten Blüte und Problemen bei der Unkrautregulierung. Anfang August führten teilweise Hagel und stürmische Starkregen zu Ertragseinbußen. Die extremen Dürrejahre 2018 und 2019 haben sowohl Winterweizen als auch Silomais stark beeinträchtigt. 2018 wurden die bisher größten durchschnittlichen Ertragseinbrüche verzeichnet. Für den Winterweizen begannen die Schwierigkeiten insbesondere in Norddeutschland bereits im Herbst des Vorjahres. Wegen großer Regenmengen war die Herbstbestellung mit Wintergetreide vielfach unmöglich, und es wurden im Frühjahr 2018 ertragsschwächere Sommergetreidearten angesät. Die ab April 2018 hohen Temperaturen und geringen Niederschläge führten zu einem ungewöhnlich frühen Erntebeginn. Der Weizenertrag des Jahres 2018 lag zwar mit 67,7 dt/ha noch über dem von 2003, bedeutete aber im Vergleich zu den überdurchschnittlichen Weizenerträgen der Jahre 2013 bis 2015 dennoch einen starken Einbruch. Beim Silomais wurde 2018 hingegen mit 352,9 dt/ha das bisherige Ertragstief erreicht.

Zu berücksichtigen ist, dass es innerhalb Deutschlands deutliche regionale Unterschiede gibt. Vor allem im Osten mit seinen leichten sandigen Böden, die auf Niederschlagsextreme besonders schnell und stark reagieren, fielen die zwischenjährlichen Ertragsschwankungen stärker aus als beispielsweise im mittleren und westlichen Teil Deutschlands, wo die Erträge in den eher feuchten, kühlen Mittelgebirgsregionen grundsätzlich stabiler waren.

Ertragsausfälle durch Extremwetterereignisse

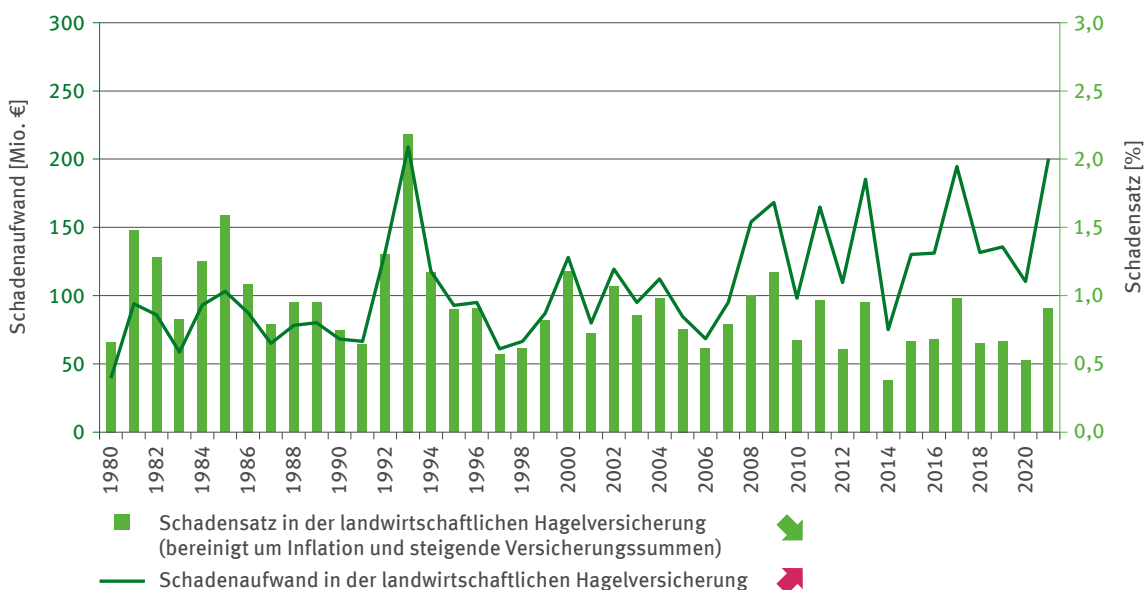
Infolge von Wetterextremen sind in der deutschen Pflanzenproduktion in den letzten Jahren immer wieder zum Teil erhebliche Ertragsausfälle entstanden. Eine Studie des Gesamtverbands der Deutschen Versicherungswirtschaft (GDV) zur landwirtschaftlichen Mehrgefahrenversicherung für Deutschland schätzte, dass die durch Wetterrisiken in Deutschland verursachten jährlichen Ernteschäden zwischen 1990 und 2013 bei rund 510 Mio. Euro jährlich lagen. 54% der Ernteschäden in diesem Zeitraum – also noch vor den Dürrejahren 2018 bis 2020 – gingen auf das Konto von Trockenheit und Dürre, 26% der Schäden waren durch Hagel und nur 20% durch Sturm, Starkregen, Überschwemmung oder Auswinterung und Fröste verursacht¹⁰⁸. Nehmen Extremereignisse infolge des Klimawandels zu, kann auch die Landwirtschaft vermehrt von Ernteschäden oder -ausfällen betroffen sein. Dass die oben genannten durchschnittlichen Ertragsausfälle auch deutlich höher ausfallen können, zeigte der Dürresommer 2018. Viele Landwirtschaftsbetriebe sind in Existenznot geraten. Die betroffenen Betriebe sind von Bund und Ländern mit 340 Mio. Euro unterstützt worden¹⁰⁹.

Bei den Angaben zu witterungsbedingten Ertragsausfällen handelt es sich in der Regel um Näherungswerte. Die zuverlässigsten Daten zu versicherten Schäden könnten grundsätzlich die Versicherungsunternehmen selbst bereitstellen, denn fallweise gezahlte Gelder aus Hilfsprogrammen decken nur einen Teil der Schäden ab. Bisher haben allerdings nur wenige Landwirtschaftsbetriebe einen umfassenden Versicherungsschutz gegen Ernteauffälle infolge von Extremwetterereignissen wie beispielsweise Dürre. So waren einer aktuellen Umfrage des BMEL bei den deutschen Versicherungsunternehmen zufolge in den Jahren 2020 bis 2022 nur rund 1% der Ackerfläche in Deutschland gegen Dürre versichert. Ein Grund für die noch geringe Versicherungsdichte ist, dass die Versicherungen sehr teuer sind. Vor allem Trockenheit, aber auch Frost zählen zu den sogenannten Kumulrisiken, was bedeutet, dass mehrere Regionen gleichzeitig betroffen sein können. Die damit verbundenen hohen Schäden treiben die Beiträge in die Höhe. In mehreren EU-Ländern werden zum Teil schon seit vielen Jahren Mehrgefahrenversicherungen staatlich gefördert, um damit einen Versicherungsabschluss attraktiver zu machen. Nachdem in Deutschland



LW-I-3: Hagelschäden in der Landwirtschaft

Extremwetterereignisse wie Dürre, Hagel, Sturm, Starkregen, Überschwemmung, Frost und Auswinterung können Ertragseinbußen in der Landwirtschaft zur Folge haben. Versichert sind in der Regel aber nur Hagelschäden. Der zunehmende Schadenaufwand ist wesentlich durch steigende Versicherungssummen verursacht. Der Schadensatz erlaubt direktere Rückschlüsse auf Hagelereignisse. Er zeigt einen fallenden Trend.



Datenquelle: GDV (Branchenstatistik)

im Jahr 2020 erstmals Mehrgefahrenversicherungen im Obst- und Weinbau in Baden-Württemberg mit Landesmitteln gefördert wurden, bezuschussen aktuell die Länder Baden-Württemberg, Bayern, Thüringen und Nordrhein-Westfalen mit Landes- und / oder EU-Mitteln Mehrgefahrenversicherungen bei bestimmten Kulturen und Risiken mit bis zu 50% der Versicherungsprämie. Erstmals in Deutschland fördert Bayern 2023 auch Mehrgefahrenversicherungen für Acker- und Grünlandflächen, die das Risiko Dürre einschließen. Niedersachsen plant zusammen mit Bremen und Hamburg eine Förderung von Mehrgefahrenversicherungen ab 2024.

Im Vergleich zur Mehrgefahrenversicherung ist die Absicherung gegen Hagel in der Landwirtschaft weit verbreitet: Mehr als zwei Drittel aller landwirtschaftlich genutzten Flächen sind gegen Hagel versichert¹¹⁰. Über die Meldungen der Hagelversicherungen zu den Aufwendungen für auftretende Versicherungsfälle lassen sich daher zumindest für einen Teil der Schäden Aussagen treffen.

Der Schadenaufwand, das heißt die Bruttoaufwendungen für auftretende Versicherungsfälle für Hagel, ist zwischen 1980 und 2021 signifikant angestiegen. Dies ist allerdings nicht allein Folge vermehrter Schadensereignisse, sondern auch Ergebnis steigender Versicherungssummen. Der Markt für die landwirtschaftliche Hagelversicherung gilt in Deutschland auch heute noch nicht als gesättigt und die versicherten Werte nehmen zu.

Im Gegensatz zum Schadenaufwand ist der Schadensatz in der landwirtschaftlichen Hagelversicherung um die Effekte steigender Versicherungssummen und der Inflation bereinigt. Er lässt daher direktere Rückschlüsse auf die Schadentreiber, sprich Hagelereignisse, zu. Für den Schadensatz zeichnet sich ein fallender Trend ab. Das Jahr 1993 war das im Beobachtungszeitraum bisher schadensreichste Jahr. Im Jahr 2002 führten schwere Hagelunwetter vor allem im Südwesten und Osten Deutschlands vielerorts zu Totalschäden, 2009 waren der Norden und Süden zwischen Ende April und Mitte August von einer Abfolge von Unwettern überdurchschnittlich stark betroffen. 2017 kam es im Sommer durch wechselhafte Witterung mit regionalen Hagelereignissen zu erheblichen Schäden.

Das Jahr 2018 war trotz regional teils heftiger Schäden insgesamt ein vergleichsweise moderates Schadenjahr, auch wenn es zwischen Ende April und Mitte Juni keinen Tag ohne Schadenmeldung bei den Hagelversicherungen gab. Hagelunwetter im August schädigten im Süden und Südwesten kurz vor der Ernte Maisbestände, die im Dürrejahr noch verhältnismäßig gute Erträge erwarten ließen. Auch im Jahr 2019 ging die große Hitze mit schweren Gewittern



Schäden in landwirtschaftlichen Kulturen können durch Hagel, Sturm, Starkregen, Überschwemmung oder auch Auswinterung und Fröste entstehen. (Foto: © brunok1 / stock.adobe.com)

einher. Schwerpunktmonat der Hagelschäden war der Juni. Der Gewittersturm „Jörn“, der an Pfingsten über den Süden und Südosten hinweg zog, war einer der zehn größten Hagelunwetter in der Sachversicherung seit 1997. Weitere Hagelereignisse im Juni in Niedersachsen und im Juli unter anderem in Hessen, Nordbayern, Thüringen und Mecklenburg-Vorpommern trafen viele zu dieser Zeit erntereife Bestände von Raps, Erbsen und Getreide.

2020 sind schwere Hagelereignisse ausgeblieben. Im Juni 2021 haben hingegen Gewitter-Supercellen – das sind rotierende und sehr langlebige Gewitterwolken – mit riesigen Hagelkörnern vor allem in Baden-Württemberg und Bayern enorme Schäden in der Landwirtschaft angerichtet. Deutschlandweit lag der Schadensatz 2021 zwar höher als in den drei vorangegangenen Jahren und auch höher als im Mittel der letzten 30 Jahre, erreichte aber dennoch nicht die Spitzenwerte der 1980er- und 1990er-Jahre.

Die Hagelversicherung ersetzt den Landwirtschaftsbetrieben den konkreten Ernteausfall, allerdings nicht die damit verbundenen Folgewirkungen für den Gesamtbetrieb. Der Verlust der Marktpräsenz in einem Hageljahr, die mangelnde Auslastung vorhandener betrieblicher Infrastruktur oder auch ein erhöhter Ernte- und Sortieraufwand sind durch die Versicherung nicht gedeckt. Auch aus diesem Grunde betrachten viele Betriebe den Abschluss einer Hagelversicherung nicht als alleinige Option. Insbesondere im Obstbau wird zunehmend mit Hagelschutznetzen gearbeitet, um Ernteschäden vorzubeugen.

Erhöhter Druck durch Schadorganismen ist möglich

Mit dem Klimawandel verändern sich nicht nur die Bedingungen für die landwirtschaftlichen Kulturpflanzen, sondern auch für Schadorganismen und Pflanzenkrankheiten. Wärmere Witterung und die Verlängerung der Vegetationsperiode bieten einigen Schadorganismen günstigere Ausbreitungsbedingungen und ermöglichen, dass sich mehr Generationen im Jahr ausbilden können. Andere Schadorganismen hingegen, die zum Beispiel auf längere Feuchteperioden angewiesen sind, könnten zurückgehen. Bedingt durch den Klimawandel ist in den nächsten Jahren daher mit Verschiebungen im Artenspektrum von Pflanzenschädlingen in der Landwirtschaft zu rechnen. Schäden durch Pilzkrankungen können – mit Ausnahme von Krankheiten, die durch wärmeliebende Pilzarten wie beispielsweise die Roste ausgelöst werden – in vielen Bereichen voraussichtlich abnehmen. Die Bedeutung wärmeliebender Ungräser und Unkräuter, tierischer Schädlinge und nichtparasitärer Krankheiten könnte dagegen eher zunehmen. Ferner profitieren Insekten grundsätzlich von wärmeren Temperaturen. Neue Risiken sind von Schadorganismen zu erwarten, die bisher nicht in unseren Breiten vorkamen und sich nach

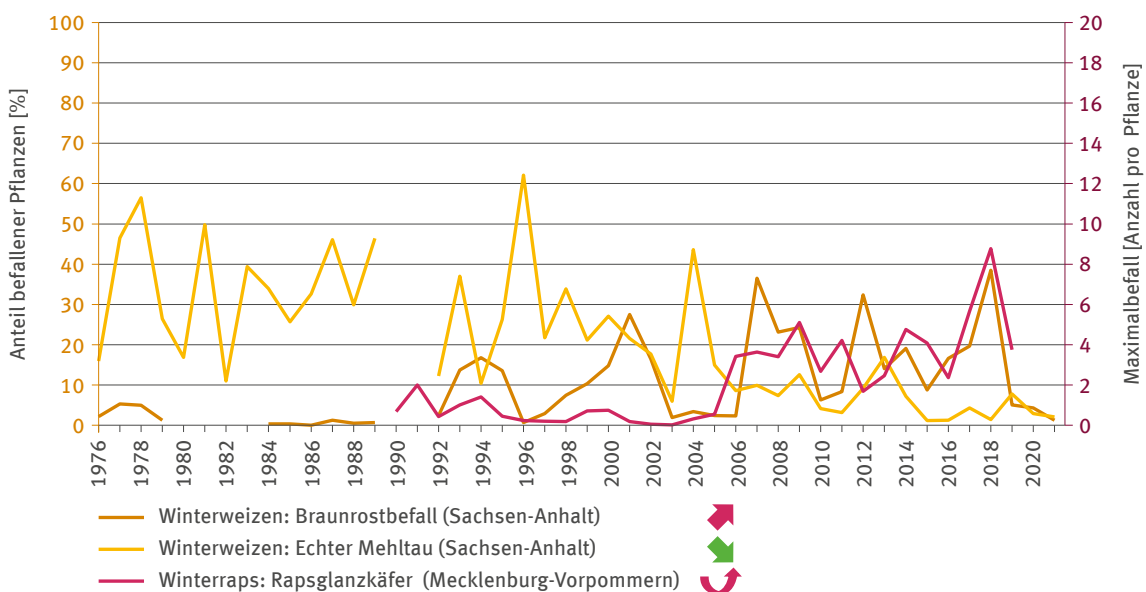
ihrer Einschleppung unter den veränderten klimatischen Rahmenbedingungen ausbreiten und etablieren können. Auf eine Zu- oder Abnahme des Befalls mit Schadorganismen insgesamt lassen die bisherigen Beobachtungen aber nicht schließen. Im Einzelnen sind die Entwicklungen noch nicht oder nur schwer prognostizierbar. Klar ist jedoch, dass viele Schadorganismen sehr empfindlich und spontan auf veränderte Witterungsverhältnisse reagieren können und den in der Landwirtschaft Tätigen damit rasche und flexible Reaktionen auf die akute Pflanzenschutzproblematik abverlangt werden.

Systematische Auswertungen von Befallsdaten eines breiten Spektrums unterschiedlicher Schadorganismen sind erforderlich, um übergeordnete Aussagen zum Einfluss der Klimaänderungen auf Schadorganismen zu ermöglichen. Beim Braunrost (*Puccinia triticina*) an Weizen, Gerste und Triticale, einer Kreuzung aus Weizen und Roggen, sowie beim Rapsglanzkäfer (*Meligethes aeneus*) kann nach derzeitigem Wissensstand davon ausgegangen werden, dass der Klimawandel mit wärmeren Wintern und einem trockeneren und wärmeren Frühjahr die Entwicklung oder



LW-I-4: Befall mit Schadorganismen – Fallstudie

Im Falle des Braunrosts, Echten Mehltaus und Rapsglanzkäfers wird davon ausgegangen, dass der Klimawandel den Befall verändern wird. Für die beiden erstgenannten Arten kann es zu einer steigenden Relevanz kommen. Dennoch verläuft die Entwicklung von Schadorganismen sehr spezifisch. Generalisierende Aussagen zum Einfluss des Klimawandels auf die Befallsituation sind auf der derzeitigen Datengrundlage noch nicht möglich.



Datenquelle: JKI (Auswertungen von Befallsdaten der Länder)

gar die Massenvermehrung fördern kann. Beim Echten Mehltau (*Erysiphe graminis*) an Weizen ist der Zusammenhang derzeit noch nicht ganz klar. Analysen langjähriger Datenreihen zu den Zusammenhängen liegen bundesweit noch nicht vor. Es konnten jedoch Daten aus zwei Bundesländern (Sachsen-Anhalt und Mecklenburg-Vorpommern) aufbereitet werden, die einen ersten Eindruck über zeitliche Trends der Entwicklung der drei oben genannten Schadorganismen liefern. Einflüsse der Klimaänderung lassen sich hieraus aber noch nicht eindeutig ableiten.

Beim Braunrost in Sachsen-Anhalt und beim Rapsglanzkäfer in Mecklenburg-Vorpommern zeigt sich seit den 1970er-Jahren ein signifikant steigender Trend zu einem stärkeren Befall. Beim Echten Mehltau, zu dem auch Daten aus Sachsen-Anhalt vorliegen, gibt es seit den 1970er-Jahren zwar immer wieder Jahre mit einem hohen Befallsniveau, über die gesamte darstellbare Zeitreihe nimmt der Befall aber ab. Die Daten machen auch deutlich, dass der Befall mit dem jeweiligen Schadorganismus in den einzelnen Jahren sehr unterschiedlich stark sein kann. Die eine, den Schädlingsbefall generell fördernde Witterungskonstellation gibt es nicht.

Die Situation im besonders heißen und trockenen Jahr 2018 macht allerdings deutlich, dass spezifische Witterungskonstellationen zu einer massiven Ausbreitung von Schadorganismen führen können. So war 2018 ein ausgeprägtes Braunrost-Jahr. Die meisten pilzlichen Erreger spielen unter diesen schwierigen Bedingungen keine Rolle, aber der Braunrost braucht keinen Regen, Tau ist ausreichend zur Infektion. Der früher insbesondere in wärmeren Anbauregionen beheimatete Pilz ist inzwischen in ganz Deutschland relevant und wird mehr und mehr zur dominierenden Krankheit im Winterweizen. Je früher im Jahr hohe Temperaturen erreicht werden, desto früher kann der Braunrost infizieren und desto günstiger sind die weiteren Entwicklungsbedingungen. Auch der Rapsglanzkäfer profitiert von hohen Temperaturen. Er überwintert als Käfer in lockeren Bodenschichten von Waldrändern oder Hecken und kann daher bei warmen Frühjahrstemperaturen direkt in die „Saison“ starten. Der Käfer legt seine Eier in die Knospen der Rapsblüten. Grundsätzlich könnte der Einsatz frühblühender Sorten (siehe Indikator LW-I-1, Seite 150) den Befall im empfindlichen Knospenstadium mindern, aber bei sehr warmen Frühjahrstemperaturen kann auch diese vorbeugende Maßnahme an Wirkung verlieren. Bei der Interpretation des Trends zu vermehrtem Rapskäferbefall ist jedoch auch zu berücksichtigen, dass es inzwischen vermehrt Resistenzen gegenüber den üblichen Insektiziden gibt. Der Rückgang des Befalls mit Echten Mehltau lässt sich unter anderem durch geringere Temperaturansprüche im Vergleich zum



Zu den Auswirkungen des Klimawandels auf Schadorganismen sind noch viele Fragen offen. (Foto: © Aleksa / stock.adobe.com)

Braunrost erklären. Im Zuge des Klimawandels könnte sein Optimalbereich von etwa 17 bis 18 °C häufiger überschritten werden, was sich nachteilig auf seine Entwicklung und die Befallsbedingungen auswirken kann.

Repräsentative Aussagen zur Entwicklung der Befallsproblematik sind auf der Grundlage der hier vorgestellten Daten noch nicht möglich. Es gibt große Unterschiede im Infektionsrisiko und Befall zwischen den unterschiedlichen Schadorganismen, den Regionen und Jahren. Da die Sortenzüchtung in den letzten Jahren erfolgreich das Resistenzniveau vor allem gegen Pilzkrankheiten steigern konnte, sind Befallshäufigkeit und -stärke zumindest bei einigen Fruchtarten auch stark von den jeweils angebauten Sorten abhängig. Auch die Durchführung von Pflanzenschutzmaßnahmen variiert in den Kulturen stark.

Das Julius-Kühn-Institut führt Analysen zur Klima- und Witterungsabhängigkeit des Schadorganismenbefalls durch, sodass in Zukunft voraussichtlich umfassendere und repräsentativere Aussagen zur Entwicklung des Schädlingsbefalls möglich sind. Eine Weiterentwicklung des Indikators möglichst hin zu einer bundesweiten Darstellung ist für den nächsten DAS-Monitoringbericht 2027 geplant. Voraussichtlich ergeben sich umfangreiche inhaltliche und organisatorische Synergien mit den Erhebungen für die Indikatoren des Nationalen Aktionsplans zur nachhaltigen Anwendung von Pflanzenschutzmitteln 2013 (siehe Indikator LW-R-5, Seite 164) sowie den Aktivitäten im Rahmen des Nationalen Monitorings der biologischen Vielfalt in Agrarlandschaften (MonViA).

Anpassung der Bewirtschaftungsplanung

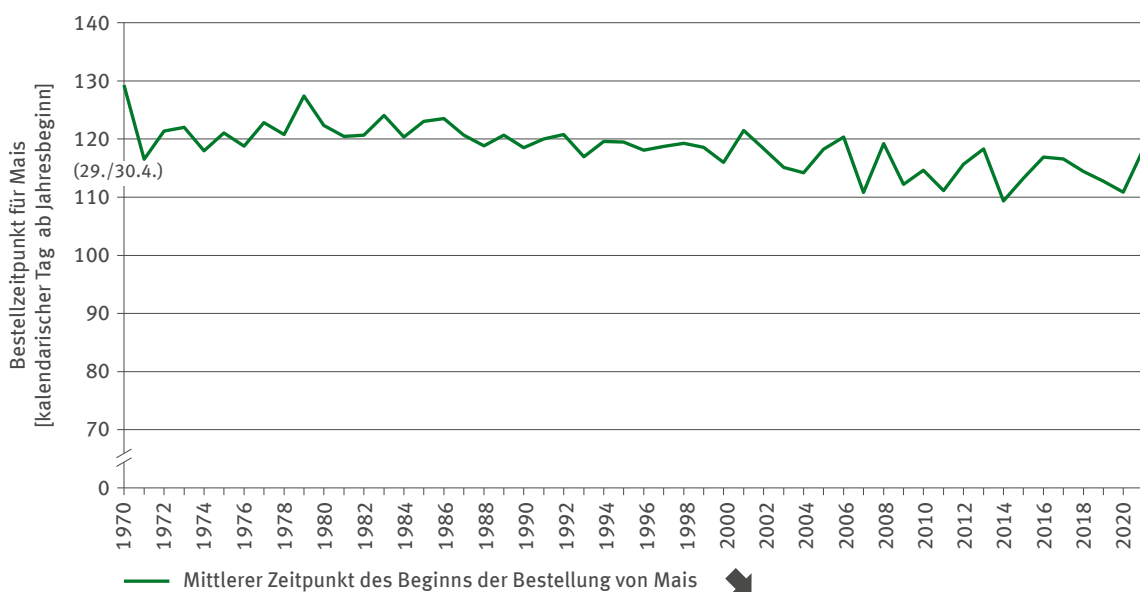
Mit den sich im Zuge des Klimawandels vollziehenden Veränderungen jahreszeitlicher Witterungsverläufe müssen die Landwirtschaftsbetriebe ihre Bewirtschaftungsplanung umstellen. Sie müssen die günstigsten Zeitpunkte für Bestellung, Aussaat und Ernte sowie für die Ausbringung von Dünge- und Pflanzenschutzmitteln in jedem Jahr neu ermitteln. Die Witterungsverhältnisse spielen dabei sowohl direkt als auch indirekt eine entscheidende, wenn auch nicht die alleinige Rolle für die Terminierung der einzelnen Bewirtschaftungsgänge. Direkten Einfluss nimmt die Witterung insofern, als beispielsweise der günstigste Zeitpunkt für die Bodenbearbeitung stark von der Bodenfeuchte abhängig ist, oder im Frühjahr die Aussaat bestimmter Kulturpflanzen wie Mais erst bei Erreichen bestimmter Bodentemperaturen erfolgen kann. Indirekte Einflüsse veränderter Witterungsverhältnisse werden wirksam, indem die Landwirtschaftsbetriebe mit ihrer Kulturarten- und Sortenwahl (siehe Indikatoren LW-R-2, Seite 160, und LW-R-4, Seite 162) beziehungsweise der Fruchtfolge auf die sich verändernden klimatischen Rahmenbedingungen reagieren.

Für die Landwirtschaft stellen diese Anpassungen keine grundsätzlich neuen Herausforderungen dar, da sie mit der Durchführung von Bewirtschaftungsgängen schon immer auf die Jahreszeiten und phänologischen Entwicklungsphasen ihrer Kulturen reagiert hat. Möglicherweise nehmen aber unvorhersehbare Wetter- oder Witterungssituationen zu.

Das bundesweite phänologische Beobachtungsnetz des DWD erfasst neben den zeitlichen Veränderungen der Entwicklung von Pflanzen auch Änderungen bei der Durchführung von Bewirtschaftungsgängen in landwirtschaftlichen Kulturen. Je nach betrachtetem Bewirtschaftungsgang sind die Einflüsse auf die Terminierung unterschiedlich. Neben der Witterung spielen in der Regel auch zahlreiche andere Faktoren eine Rolle. Relevant sind zuallererst die Sorten- und Fruchtfolgenwahl. Gesät werden kann erst dann, wenn die Vorfrucht in der Fruchtfolge geräumt ist. Auch organisatorische Anforderungen in den Betrieben können entscheidend sein. Je nach Größe der Betriebsfläche und Umfang des eigenen Maschinenparks oder der erforderlichen Fremdarbeit

LW-R-1: Anpassung von Bewirtschaftungsrythmen

Die in der Landwirtschaft Tätigen reagieren mit der Terminierung der einzelnen Bewirtschaftungsgänge in den Kulturen auf die sich verändernden Witterungsbedingungen. Die Bestellung von Mais verfrühte sich in den letzten fünfzig Jahren um mehr als eine Woche. Der Trend dieser Verfrüfung ist signifikant. Für die Maiskultur selbst ist die frühere Aussaat von Vorteil, weil dies die Reifebedingungen verbessert.



Datenquelle: DWD (Phänologisches Beobachtungsnetz)

können sich Bewirtschaftungsgänge zeitlich verändern. Dies bedeutet, dass sich solche Verschiebungen von Bewirtschaftungsgängen nicht allein mit veränderten Witterungsverhältnissen erklären lassen. Dennoch können entsprechende Beobachtungen Hinweise auf Anpassungen in der Bewirtschaftungsplanung geben.

Die Bestellung von Mais erfolgt in der Regel im Laufe des April und Mai, wenn der Boden warm, gut abgetrocknet und tragfähig ist und die Bodentemperatur rund 8 bis 10 °C erreicht hat. Die Aussaat zur richtigen Zeit ist wesentlich für die Pflanzenentwicklung, ein gesundes Wachstum und damit auch für die späteren Erträge. Im Frühjahr sind bewirtschaftungsbedingte Einflüsse noch vergleichsweise gering, und die Witterungseinflüsse spielen eine bedeutendere Rolle als bei der Terminierung der Bewirtschaftungsgänge im Sommer und Herbst. Daher sind für Sommerkulturen die Veränderungen der Bestelltermine im Frühjahr auch ein geeigneter Indikationsgegenstand im Klimawandelkontext.

Neben der Frühjahrswitterung spielt für die Aussaat der Sommerkulturen auch eine Rolle, ob und wie gut in den Wintermonaten beziehungsweise am Ende des Winters die Zwischenfrüchte abgefroren sind. Wenn dieses Abfrieren bei zu milden Wintern nicht mehr gewährleistet ist, können zusätzliche Arbeitsgänge für die Saatbettbereitung der Hauptkultur Mais notwendig werden.

In den zurückliegenden fünfzig Jahren wurde mit der Maisbestellung immer früher begonnen. Im Vergleich zu den 1970er-Jahren wurde der Mais im Mittel der zurückliegenden zehn Jahre um mehr als eine Woche früher ausgesät. Auffallend ist auch, dass seit der Jahrtausendwende die Schwankungen zwischen den Jahren sehr deutlich sind. Zu extrem frühen Aussaaten kam es in den Jahren 2014 und 2020. Diese Jahre zeichneten sich auch durch eine überdurchschnittlich hohe Anzahl von Tagen mit Bodentemperaturen von über 5 °C aus (siehe Indikator BO-I-4, Seite 138).

Eine frühe Aussaat beim Mais ist von Vorteil, da der Mais zum Erreichen der Silo- oder Körnerreife eine bestimmte Wärmesumme benötigt. Die optimalen Erntetermine für Silomais lassen sich dann früher erreichen. Beim Körnermais werden bei einer längeren Vegetationsperiode in der Regel niedrigere Wassergehalte im Korn erreicht und damit auch höhere Marktleistungen erzielt (siehe Indikator LW-R-4, Seite 162). Zudem kann ein früherer Aussaattermin die Unkrautkonkurrenz deutlich reduzieren, und der Boden ist früher im Jahr besser vor Erosion geschützt.



Um Bewirtschaftungsgänge gut planen zu können, bedarf es einer genauen Beobachtung der Pflanzenentwicklung und der Witterung. (Foto: © encierro / stock.adobe.com)

Neben der Planung der Bewirtschaftungsgänge spielen für den Bodenschutz und die Verbesserung der Wuchsbedingungen für die Kulturpflanzen auch weitere Maßnahmen eine bedeutende Rolle: Um die Folgen von Extremwetterereignissen abzufangen, Erosion zu vermeiden und die Nachlieferung von Wasser- und Nährstoffen in Trockenperioden zu gewährleisten, müssen mit der Bewirtschaftung eine hohe Infiltrationsrate, die Wasser- und Nährstoffspeicherfähigkeit sowie ein gutes Aggregatgefüge der Böden bewahrt werden. Wichtig ist, die organische Bodensubstanz zu erhalten beziehungsweise standortbezogen zu erhöhen (siehe Indikator BO-R-1, Seite 140). Stabilisierende Maßnahmen in den Betrieben sind Zwischenfruchtanbau, Untersaaten, vielfältige Artenkombinationen, Einarbeitung von Ernterückständen, Anbau von mehrjährigen Kulturen, organische Düngung und angepasste Bodenbearbeitung. Auf höherer Organisationsebene sind wesentliche Elemente einer klimaangepassten Landwirtschaft Futter-Wirtschaftsdünger Kooperationen, die Integration und Nutzung von mehrjährigen Futterpflanzen in Fruchtfolgen, die Erhaltung des Grünlands (siehe Indikator BO-R-2, Seite 142), die Erhaltung viehhaltender Gemischtbetriebe sowie ökologischer Landbau und Landschaftsgestaltung (beispielsweise Agroforstsysteme, Konturbewirtschaftung und Randstreifen).

Verändertes Klima – neue Kulturen und Sorten

Mit der Klimaerwärmung und milderem Witterungsbedingungen eröffnen sich für die Landwirtschaft neue Optionen der Fruchtartenwahl. Der Anbau wärmeliebender Kulturpflanzenarten in Deutschland kann sich ausweiten, wenn zugleich eine ausreichende Nachfrage am Markt besteht und der Anbau wirtschaftlich attraktiv ist. Zu den wärmeliebenden Ackerkulturen gehören unter anderem Körnermais, Sorghum-Hirse, Sojabohne, Sonnenblume und Hartweizen (Durum). Ein steigendes Interesse an wärmeliebenden Fruchtarten drückt sich nicht nur in den Anbauflächen selbst aus (siehe Indikator LW-R-4, Seite 162), sondern auch in den Aktivitäten zur Sortenzüchtung und Saatgutvermehrung. Es steigt die Nachfrage nach Sorten, die unter den gegebenen und absehbaren Bedingungen hohe, qualitativ hochwertige und sichere Erträge versprechen. Die Witterungsbedingungen spielen neben sich abzeichnenden Marktchancen, den individuellen Erfahrungen und Vorlieben der Betriebe, ihrer Bereitschaft zum Experimentieren und weiteren Faktoren eine wichtige Rolle bei der Sorten- und Kulturpflanzenwahl. Die Züchtungsunternehmen richten ihre Sortenentwicklungen auf die neuen Anforderungen aus.

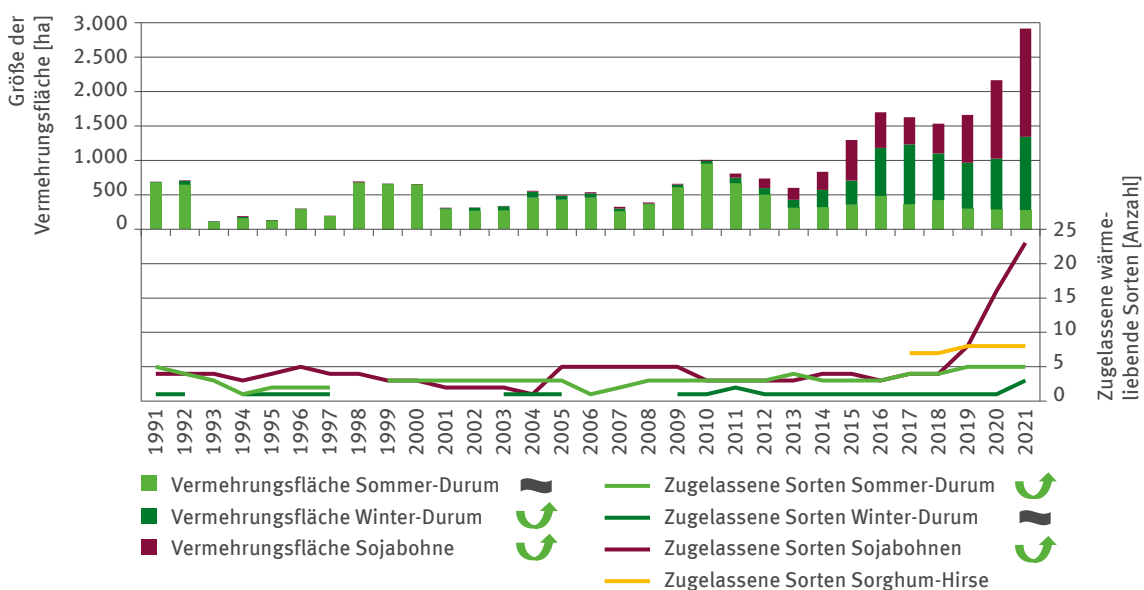
Die Züchtung einer neuen Sorte sowie deren Wertprüfung und Zulassung durch das Bundessortenamt (BSA) beanspruchen allerdings in der Regel einige Jahre, sodass sich eine veränderte Sortennachfrage nicht immer zeitnah in der Zahl der Neuzulassungen niederschlägt. Ein wichtiges Indiz für eine steigende Saatgutnachfrage und ein wachsendes Anbauinteresse ist auch die Entwicklung der Vermehrungsflächen zur Saatguterzeugung.

Vor allem in den letzten sieben Jahren zeigte sich eine deutliche Dynamik bei der Sortenzulassung und Saatguterzeugung von Hartweizen und Soja. Beim Hartweizen ist vor allem der Winterhartweizen immer beliebter, denn die Winterung bringt gegenüber der Sommerung viele Anbauvorteile. Beim Soja machen seit 2013 die Förderungen im Rahmen der Eiweißpflanzenstrategie des BMEL¹¹¹ den Anbau von Soja wirtschaftlich interessant. Zudem forciert die Diskussion um fleischlose oder -ärmere Ernährung die Sortenentwicklung, um heimisches (auch gentechnikfreies) Soja unter den gegebenen Klimabedingungen anbauen zu können. Erste Hirse-Sorten wurden 2017 zugelassen.



LW-R-2: Sorten und Vermehrung wärmeliebender Ackerkulturen

Hartweizen, Soja und Sorghum-Hirse sind wärmeliebende Kulturpflanzen, für die sich im wärmeren Klima Deutschlands die Anbaubedingungen verbessern. Mit zunehmendem Interesse an diesen Fruchtarten nehmen auch die züchterischen Bemühungen zur Entwicklung geeigneter Sorten zu, und es wächst die Fläche, auf der Saatgut vermehrt wird. Vor allem bei Soja verläuft die jüngste Entwicklung sehr dynamisch, weil die Nachfrage nach Soja stark steigt.



Datenquelle: BSA (Sorten-Datenbanken und Datenbank Saatguterzeugung)

Bei den einjährigen Kulturen sind die Landwirtschaftsbetriebe in ihrer Sortenwahl relativ flexibel, bei mehrjährigen Kulturen hingegen legen sie sich mit der Sortenentscheidung für einen längeren Zeitraum fest. Gerade im Weinbau will die Sortenwahl bei Neupflanzungen sorgfältig bedacht sein, denn die Reben haben mit 20 bis 30 Jahren eine lange Lebensdauer. Wein ist außerdem ein landwirtschaftliches Produkt mit außerordentlich hoher Wertschöpfung. Die Sortenwahl ist daher besonders relevant.

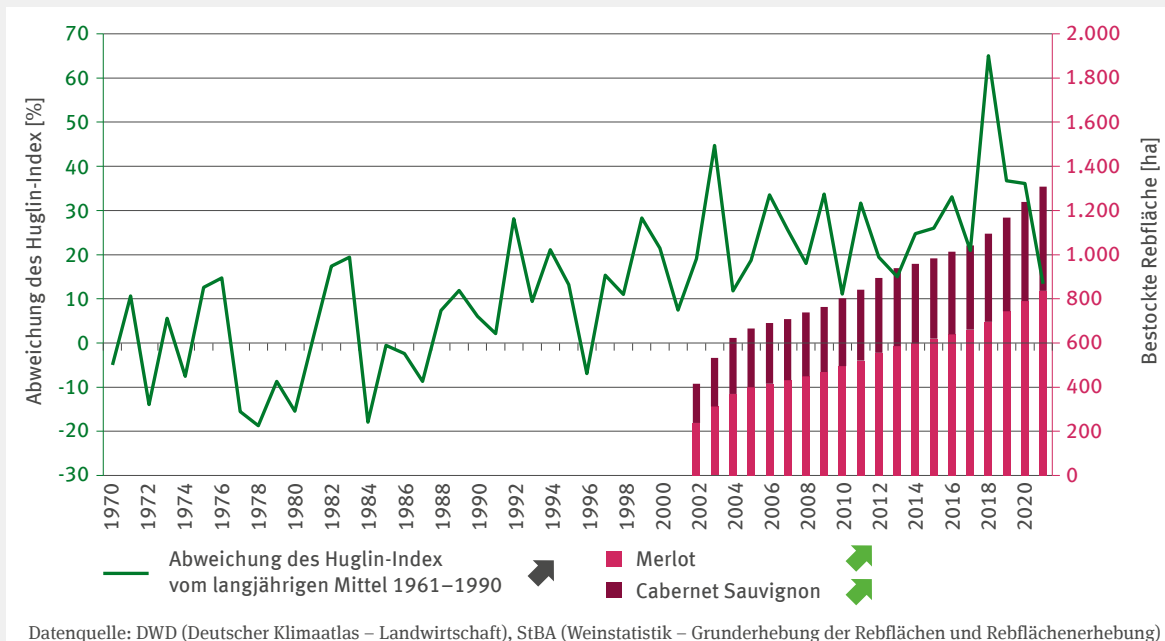
Zur Beurteilung der Anbaufähigkeit bestimmter Rebsorten in den Weinbauregionen wird der sogenannte Huglin-Index eingesetzt. Er summiert die Tage mit Temperaturen von mehr als 10°C für den Zeitraum 1. April bis 30. September und gibt an, ob die Wärmesummen, die eine Rebsorte benötigt, um erfolgreich über längere Zeit kultiviert zu werden, in einer Region erreicht werden. In den letzten fünfzig Jahren ist der Huglin-Index über ganz Deutschland betrachtet signifikant angestiegen. Das hat zur Folge, dass einige bisher auf südlichere Anbauregionen beschränkte, besonders wärmeliebende Rotweinsorten inzwischen auch in deutschen Anbauregionen grundsätzlich Anbaueignung erlangt haben. Hierzu gehören Merlot, Cabernet Sauvignon und Syrah (auch Shiraz). Diese Rebsorten genießen

international eine hohe Reputation, weshalb die Motivation bei einigen Weinbau-Betreibenden groß ist, sie anzubauen, wenn die klimatischen Voraussetzungen erfüllt sind. Die Anbauflächen von Merlot und Cabernet Sauvignon, die seit dem Jahr 2002 in der Weinstatistik erfasst werden, sind zwar noch vergleichsweise gering (ihr Anteil an der mit Rotweinrebsorten bestockten Rebfläche betrug 2021 knapp 4%), die Flächenzunahme weist aber auf ein zunehmendes Anbauinteresse hin. Auch für die seit 2009 in der Statistik erfasste Sorte Syrah wurde die Anbaufläche bis 2021 vervierfacht. Es wird davon ausgegangen, dass der Klimawandel den Rebsortenspiegel in Zukunft beeinflussen wird. Allerdings ist zu berücksichtigen, dass gerade im Weinbau auch die Verbrauchernachfrage und Modetrends die Anbauentscheidungen der Winzer*innen stark beeinflussen.

Vom Klimawandel profitieren besonders Rotweinsorten. Im Weißweinanbau werden die Klimaveränderungen mit Blick auf Weinqualität und Lagerfähigkeit hingegen eher kritisch gesehen: Sehr hohe Temperaturen bringen eher unharmonische Weine mit hohem Alkoholgehalt bei niedrigen Säurewerten hervor. Auf die Anbaufläche von Weißweinen in Deutschland hat dies bisher aber noch keinen Einfluss.

LW-R-3: Anpassung des Sortenspektrums im Weinbau

Mit steigenden Wärmesummen erlangen auch besonders wärmeliebende Rotweinsorten in deutschen Anbauregionen Anbaueignung. Die Anbaufläche der international beliebten Rotweinsorten Merlot und Cabernet Sauvignon bewegt sich zwar noch auf einem geringen Niveau, ist aber seit ihrer Erfassung in der Weinstatistik in einem kontinuierlichen und signifikanten Anstieg begriffen.



Die Anbaufläche wärmeliebender Kulturen steigt

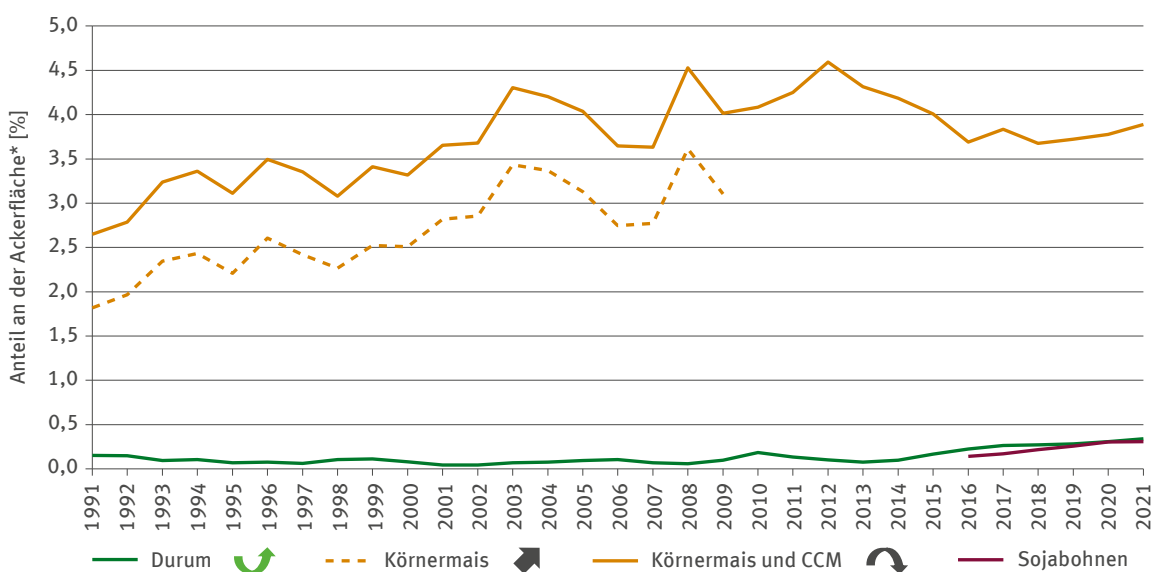
Mit wärmeren Witterungsbedingungen und einem zunehmenden Angebot geeigneter Sorten (siehe Indikator LW-R-2, Seite 160) sowie der steigenden Nachfrage am Markt wird der Anbau von Soja, Hartweizen und auch Mais in Deutschlands zunehmend interessant. Im Falle der Sojabohne hat sich die Anbaufläche seit Beginn der statistischen Erfassung in 2016 mehr als verdoppelt. 2021 wurden auf rund 34.200 ha Sojabohnen angebaut, 2022 waren es bereits 51.500 ha. Die Anbauswerpunkte liegen in Bayern und Baden-Württemberg, wo die Sojabohne vor Erbsen, Ackerbohnen und Lupinen inzwischen zur wichtigsten Körnerleguminose im Anbau geworden ist. Trotzdem lassen sich mit der inländischen Produktion bisher nur rund 3 % des jährlichen Bedarfs decken. Im Rahmen der Eiweißpflanzenstrategie des BMEL wird der Anbau von Leguminosen in Deutschland umfangreich gefördert. Zuletzt wurden die Mittel der Eiweißpflanzenstrategie für 2023 um 3 Mio. Euro auf insgesamt 8,6 Mio. Euro erhöht. Ziel der aktuellen Bundesregierung ist es, pflanzliche Ernährungsalternativen zu stärken. Aufgrund attraktiver Absatzwege und hoher Erzeugerpreise besteht speziell am Sojaanbau und -saatgut sowohl im

konventionellen als auch im ökologischen Landbau ein großes und schon in naher Zukunft weiter steigendes Interesse. Die günstigen marktpolitischen Bedingungen sind entscheidend für die Ausweitung der Sojaanbaufläche, aber die für den Anbau günstigeren Witterungsbedingungen tragen ebenfalls ihren Teil dazu bei, dass der Anbau in Deutschland attraktiver wird.

Die europäischen Anbauswerpunkte des wärmeliebenden und relativ trockenheitstoleranten Hartweizens liegen vor allem in Spanien, Frankreich und Italien. In Deutschland wird er als Nischenkultur schon seit vielen Jahren kultiviert. Heute befinden sich die größten Anbauflächen in Sachsen-Anhalt und Thüringen. Es wird aber inzwischen auch in wärmebegünstigten Regionen Bayerns und Baden-Württembergs sowie in Rheinland-Pfalz Hartweizen kultiviert. Im Anbau ist Durum eine anspruchsvolle und risikoreiche Kultur, denn seine Verwertbarkeit ist stark abhängig von der Freiheit von Pilzen und Krankheiten. Da Durum primär als Grieß für die Nudelherstellung verarbeitet und vermarktet wird, sind Fehler im Erntegut deutlich als schwarze Punkte

LW-R-4: Anbau wärmeliebender Ackerkulturen

Die Anbauflächen der wärmeliebenden Kulturen Soja und Hartweizen (Durum) nehmen zu. Ausschlaggebend hierfür sind die agrarpolitischen Rahmenbedingungen. Vor allem der Sojaanbau wird als pflanzliche Eiweißalternative stark gefördert. Eine wichtige Voraussetzung für die Ausweitung des Anbaus sind aber die günstigeren Klimaverhältnisse. Der Körnermaisbau wird bei höheren Wärmesummen grundsätzlich wirtschaftlicher.



*Ackerfläche = Anbaufläche von Getreide zur Körnergewinnung, Pflanzen zur Grünenernte, Hackfrüchten, Hülsenfrüchten, Handelsgewächsen

Datenquelle: StBA (Bodennutzungshaupterhebung und Erhebung über die Viehbestände)

sichtbar und gelten als Ausschlusskriterium für die Vermarktung. Die Witterungsbedingungen – insbesondere zur Erntezeit – sind also sehr bedeutsam und waren in vielen Regionen bisher noch zu unsicher für eine erfolgreiche Anbauproggnose. Bei stärkerer Sommertrockenheit könnten sich langfristig die Bedingungen für den Anbau hierzulande verbessern. Im Jahr 2022 wurde Durum auf 40.800 ha Fläche angebaut, was gerade einmal 0,37 % der Anbauflächen von Getreide, Pflanzen zur Grünernte, Hülsenfrüchten, Hackfrüchten und Handelsgewächsen entspricht. Mit der vermehrten Sortenzulassung und Vermehrung von Saatgut für Winter-Durum ist eine Ausweitung des Anbaus zu erwarten, da Winter-Durum deutlich ertragreicher als Sommer-Durum ist.

Da das Durum-Korn sehr fest ist, sind für das Vermahlen spezielle Walzen notwendig, über die nicht jede Mühle verfügt. Die gute räumliche Erreichbarkeit geeigneter Mühlen ist aber eine wichtige Voraussetzung für die Ausweitung des Durum-Anbaus. In Deutschland gibt es bisher nur sechs Hartweizenmühlen, die auch Hartweizengrieß herstellen können¹¹². Auch im Falle von Durum spielt damit die Klimaveränderung eine wichtige, aber nicht allein ausschlaggebende Rolle für die weitere Entwicklung der Anbaufläche.

Mais ist eine schon lang in Deutschland kultivierte Fruchtart. Im Gegensatz zur Nutzung der gesamten Maispflanze als Silomais für Tierernährung und Energieerzeugung ist der Körnermais, bei dem nur der Kolben für die Tierernährung oder Lebensmittelerzeugung genutzt wird, zum Ausreifen auf vergleichsweise hohe Wärmesummen angewiesen. Deshalb steht die Ausweitung des Anbaus teilweise mit der günstigeren Witterung in Zusammenhang. Beim Körnermais sind die Perspektiven der Viehhaltung zu berücksichtigen, da bei rückläufigen Viehbeständen (insbesondere von Schweinen) auch der Futtermittelbedarf sinkt. Der Energiepflanzenanbau beeinflusst die Entwicklung hingegen nicht. Weil Körnermais unmittelbar nach der Ernte auf einen Wassergehalt von rund 15 % getrocknet werden muss, sind die Trocknungskosten der entscheidende Rentabilitätsfaktor, vor allem bei steigenden Energiepreisen. Je günstiger die Witterungsverhältnisse sind und je trockener der Körnermais vom Feld kommt, desto wirtschaftlicher ist der Anbau. Die in den letzten Jahren gestiegenen Temperaturen führten außerdem zu einer früheren Abreife und Ernte von Körnermais. Die frühere Feldräumung begünstigt den anschließenden Anbau von Winterweizen und erleichtert damit die Fruchtfolgenplanung. Allerdings leidet auch der Körnermais, wenn es zu trocken wird. So war 2018 die Körnermaisernte verheerend. Im Sommer 2019 war sie hingegen unerwartet gut, da Regenfälle im Spätsommer noch Ertragszuwächse brachten.



Der Anbau wärmeliebender Kulturen wie Soja und Hartweizen wird interessanter. (Foto: © Johannes Wilke / stock.adobe.com)

Unschärfen bei der Interpretation der Zusammenhänge zwischen einer Ausweitung der Körnermaisanbaufläche und den Klimaverhältnissen ergeben sich dadurch, dass Körnermais zu Futterzwecken auch feucht siliert oder zu Corn-Cob-Mix (CCM) weiterverarbeitet werden kann. Bei der Herstellung von CCM wird neben den Körnern auch die Spindel des Maiskolbens verwendet. Für diese Nutzungen sind günstige Trocknungsbedingungen von geringerer wirtschaftlicher Bedeutung als bei der Nutzung von Körnermais zum Ausreifen. Die Statistik unterscheidet ab 2010 nicht mehr zwischen Körnermais zum Ausreifen und CCM. Allerdings war in den Jahren vor der statistischen Zusammenlegung die Körnermaisanbaufläche gleichbleibend drei- bis viermal so groß wie die CCM-Anbaufläche, sodass auch die kombinierten Körnermais-/CCM-Daten Aussagen zulassen. Generell gilt, dass sich die Entwicklung der Körnermaisanbaufläche in den vergangenen Jahren nur unter Einschränkungen mit den Witterungsbedingungen erklären lässt. Für die Zukunft dürften weiterhin die aktuellen agrarpolitischen Rahmensetzungen eine bedeutende Rolle spielen. Da der Körnermais verhältnismäßig schwach auf eine reduzierte Stickstoffdüngermenge reagiert, könnte er als Sommerkultur an Attraktivität gewinnen.

Die Anbaufläche der aus der Sahelzone stammenden Sorghum-Hirse wird in der Agrarstatistik noch nicht separat erfasst. Bisher war es in Deutschland zu kühl für den Anbau, sodass die Anbauflächen noch sehr gering sind. Nachdem es nun aber auch heimische Sortenentwicklungen gibt (siehe Indikator LW-R-2, Seite 160), könnte sich das Anbauinteresse künftig erhöhen.

Differenzierte Anwendung von Pflanzenschutzmitteln

Die Auswirkungen der Klima- und Witterungsverhältnisse auf den Befall landwirtschaftlicher Kulturen mit Schadorganismen lassen sich derzeit noch nicht konkret prognostizieren. Klar ist jedoch, dass Schadorganismen sehr empfindlich und spontan auf veränderte Witterungsverhältnisse reagieren können und dass Landwirtschafts- und Gartenbaubetrieben rasche und flexible Reaktionen auf auftretende Pflanzenschutzprobleme abverlangt werden.

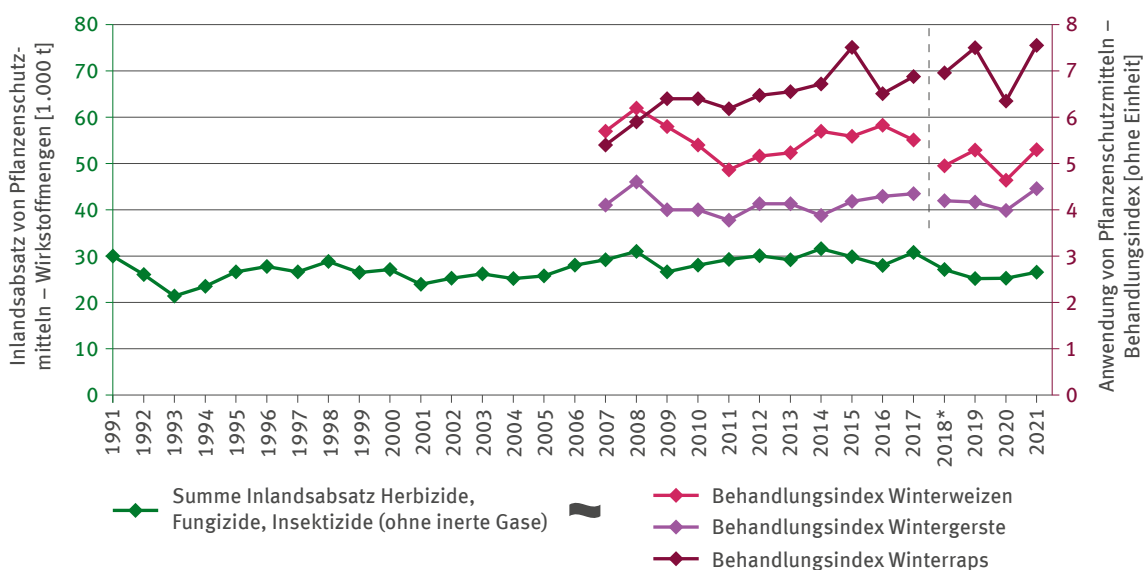
Für Landwirtschaftsbetriebe werden vorbeugende Maßnahmen immer bedeutsamer, um durch gesunde und widerstandsfähige Bestände (Witterungs-)Extreme und latente Befallssituationen abzupuffern. Hierzu gehören die sorgfältige Überwachung der Kulturen im Rahmen des integrierten Pflanzenschutzes und die Berücksichtigung des Resistenzmanagements bei der Anwendung chemischer Pflanzenschutzmittel unter Beachtung des Vorrangs für nicht-chemische Maßnahmen. Der von Bund und Ländern beschlossene Nationale Aktionsplan zur nachhaltigen Anwendung von Pflanzenschutzmitteln (NAP) zielt darauf ab, die Risiken, die durch

die Anwendung von Pflanzenschutzmitteln entstehen können, weiter zu reduzieren und die Anwendung von chemischen Pflanzenschutzmitteln auf das notwendige Maß zu begrenzen. Der NAP soll Teil eines neuen Gesamtkonzepts zur Pflanzenschutzmittel-Reduktion des BMEL werden. Das Konzept folgt dem Ziel der europäischen Farm-to-Fork-Strategie, bis 2030 die Verwendung und das Risiko von Pflanzenschutzmitteln insgesamt um 50 % zu reduzieren¹¹³.

Der Klimawandel kann dazu führen, dass sich das Erstauftreten und die Entwicklung sowie die Infektionsbeziehungsweise Befallsbedingungen für verschiedene Schadorganismen verändern (siehe Indikator LW-I-4, Seite 156). Darauf sollte mit gezielten Bestandsüberwachungen und der Beachtung sowie gegebenenfalls der Anpassung von Bekämpfungsrichtwerten reagiert werden. Für die Praxis bedeutet dies, dass Produktionssysteme anzupassen sind und Investitionen in aktuelle und verbesserte Prognose- und Entscheidungshilfesysteme zunehmen werden.

LW-R-5: Pflanzenschutzmittel-Absatz und -Anwendung

Der Klimawandel wird zu größeren Schwankungen im Auftreten von Schadorganismen und der Kontrolle durch Pflanzenschutzmittel führen. Geeignete Anpassungsstrategien sollten dazu beitragen, dass der Absatz von Pflanzenschutzmitteln und die Intensitäten im Pflanzenschutz nicht steigen. Der Inlandsabsatz von Pflanzenschutzmitteln zeigt bisher keinen Trend. Aussagen zu den Trends beim Behandlungsindex sind derzeit nicht möglich.



* ab 2018 andere Berechnung des Behandlungsindex, daher keine Trendanalyse möglich

Datenquelle: BVL (Meldungen gemäß § 19 Pflanzenschutzgesetz), JKI und Staatliche Pflanzenschutzdienste der Bundesländer (Netz von Vergleichsbetrieben Pflanzenschutz)

Bei der Interpretation langjähriger Datenreihen zum Absatz von Pflanzenschutzmitteln und zu den Intensitäten im Pflanzenschutz ist zu berücksichtigen, dass die Entwicklungen neben witterungsbedingten Ursachen durch zahlreiche weitere Faktoren beeinflusst werden. So kann unter anderem eine steigende Spezialisierung der Betriebe zur Verengung von Fruchtfolgen führen, was unter Umständen zu einer Zunahme von Pflanzenschutzproblemen führen kann. Auch Entscheidungen für eine Minimalbodenbearbeitung mit dem Ziel eines verbesserten Bodenschutzes und eines vermehrten Humusaufbaus können zu einem höheren Unkrautdruck und zur Konkurrenz für die Kulturpflanzen führen. Entscheidungen zur Bewirtschaftung können also eine vermehrte Anwendung von Pflanzenschutzmitteln zur Folge haben, wenn deren Einsatz als „ultima ratio“ gemäß den Prinzipien des integrierten Pflanzenschutzes nicht zu vermeiden ist.

Dargestellt ist im Indikator der Inlandsabsatz von Pflanzenschutzmitteln. Dieser erlaubt keine Rückschlüsse auf die Intensität der Anwendung und das damit entstehende Risiko. In den letzten zwanzig Jahren haben sich die Absatzmengen mengenmäßig nicht in relevantem Umfang verändert. Sollte sich im Zuge des Klimawandels das Spektrum der Schadorganismen verändern, weil einzelne Organismengruppen besonders von der wärmeren Witterung profitieren, wäre es möglich, dass dies in sich verändernden Absatzmengen bestimmter Pflanzenschutzmittelkategorien (Herbizide, Fungizide, Insektizide) beziehungsweise Wirkstoffen / Wirkstoffgruppen einen Niederschlag findet. In den zurückliegenden zwanzig Jahren waren aber – zumindest zwischen den Pflanzenschutzmittelkategorien – noch keine relevanten Verschiebungen erkennbar. Es bedürfte allerdings differenzierterer Untersuchungen, um tatsächlich ursächliche Zusammenhänge dieser Entwicklungen mit dem Klimawandel herstellen zu können.

Bei der Interpretation der Daten zu Absatzmengen ist zudem zu berücksichtigen, dass Pflanzenschutzmittel unterschiedlich hohe Wirkstoffmengen beinhalten. Die ökotoxikologischen Risiken stehen jedoch nicht in einem direkten Zusammenhang mit dem Wirkstoffgehalt. Eine Bewertung des Risikopotenzials ist daher nur mit geeigneten Risikoindikatoren möglich. Grundsätzlich ist bei der Entwicklung des Pflanzenschutzmittelabsatzes zu berücksichtigen, dass auch (globale) politische Bedingungen und die Zulassungssituation starken Einfluss nehmen können. So haben die Lieferengpässe aus China aufgrund der Null-Covid-Politik und jüngst die Energiekrise infolge des Ukrainekriegs zu erheblichen Preissteigerungen bei den Pflanzenschutzmitteln, insbesondere



Die Bestandskontrolle ist Grundvoraussetzung für einen zielgerichteten Pflanzenschutz. (Foto: © Bits and Splits / stock.adobe.com)

bei den Herbiziden, geführt. Diese können zu einem reduzierten Absatz führen.

Aussagen zur Intensität der Pflanzenschutzmittelanwendung ermöglicht der Behandlungsindex¹¹⁴. Er verrechnet die Anzahl der in einem Jahr durchgeführten Anwendungen mit den Aufwandmengen einer jeden Spritzung im Verhältnis zur höchsten zugelassenen Aufwandmenge für die jeweilige Kultur und Indikation. Die Zu- oder Abnahme der Intensität der Pflanzenschutzmittelanwendung wird durch steigende oder sinkende Behandlungsindizes ausgedrückt.

Im Jahr 2018 wurde die Methodik zur Berechnung des Behandlungsindex modifiziert. Der Indikator berechnet nun detaillierter die Intensität der Pflanzenschutzmittelanwendung. Aufgrund dieser Anpassung kommt es zu einem Bruch in der Zeitreihe und es ist derzeit keine Trendanalyse möglich. Trendinterpretationen sind hier allerdings auch grundsätzlich schwierig, weil es neben dem Klima beziehungsweise der jahresspezifischen Witterung vielfältige Einflussfaktoren gibt. Auch hier wären gezielte Analysen nötig, um den Einfluss des Klimawandels quantifizieren zu können.

Geeignete Anpassungsstrategien sollten dazu beitragen, dass es trotz der mit dem Klimawandel verbundenen Herausforderungen im Pflanzenschutz nicht zu einer Zunahme der Intensität der Pflanzenschutzmittelanwendung kommt.

Fläche mit Bewässerung nimmt zu

Eine ausreichende Wasserversorgung ist Grundvoraussetzung für hohe und stabile landwirtschaftliche Erträge. Der Kartoffelanbau und die Gemüseproduktion sowie der Anbau von Sonderkulturen sind besonders bewässerungswürdig. In vielen Regionen ist es nur mit zusätzlicher Bewässerung möglich, auf den betroffenen Flächen vermarktbarere Qualitäten und stabile Erträge zu erzielen. Für die Wasserversorgung landwirtschaftlicher Kulturpflanzen in der Hauptvegetationsperiode, die für die Ertragsbildung eine entscheidende Rolle spielt, sind heute zwei bereits beobachtbare Klimatrends relevant: Zum einen nehmen zumindest regional die (Früh-)Sommerniederschläge ab, zum anderen können diese vermehrt als Starkregen fallen, wodurch sich die Wasserverfügbarkeit für die Pflanzen zusätzlich verschlechtert (siehe Indikator BO-I-1, Seite 134). Beide Entwicklungen wirken sich nachteilig auf die Wasserversorgung landwirtschaftlicher Kulturen aus. Die Landwirtschaft kann unter anderem mit einem verstärkten Anbau trockenstresstoleranterer Sorten und mit angepassten Verfahren der (konservierenden) Bodenbearbeitung und der Humusmehrung (siehe Indikator BO-R-1, Seite 140) für eine Erhöhung der Bodenfeuchte

sorgen; die Auswirkungen solcher agronomischer Maßnahmen können allerdings je nach Standortbedingungen auch sehr begrenzt sein. Eine weitere Möglichkeit besteht darin, mit mehr und effizienterer Bewässerung landwirtschaftlicher Kulturen Wasserengpässe zu reduzieren.

Ein Bewässerungsbedarf landwirtschaftlicher und gärtnerischer Kulturen ergibt sich zumeist bei überdurchschnittlich langen Trockenperioden oder für Regionen, in denen die meteorologischen Bedingungen (beispielsweise durch geringe Niederschläge) und die Bodenverhältnisse generell ungünstiger sind. Zudem ist es auch stark von den angebauten Kulturarten selbst abhängig, ob aufgrund des kulturspezifischen Wasserbedarfs eine zusätzliche Bewässerung erforderlich ist. Regionen mit viel Bewässerung sind also nicht notwendigerweise Trockengebiete. Die (künftige) Entwicklung des Bewässerungsbedarfs und der tatsächlichen Bewässerung wird auch vom „Kulturpflanzen-Mix“ abhängig sein.

In Deutschland wurden 2015 rund 451.800 ha landwirtschaftliche Fläche im Freiland bewässert, 2019 waren es



LW-R-6: Landwirtschaftliche Bewässerung

Unter den Bedingungen des Klimawandels wird die Bewässerungsbedürftigkeit voraussichtlich weiter zunehmen und sich auch auf weitere Kulturen ausweiten. Sowohl die mit Bewässerungstechnik ausgestattete als auch die tatsächlich bewässerte Fläche haben in Deutschland seit 2009 zugenommen. Im Jahr 2019 wurden 506.480 ha im Freiland bewässert. Die Frostschutzberechnung ist darin nicht inbegriffen.



Datenquelle: StBA (Landwirtschaftszählung, Agrarstrukturerhebung)

bereits 506.480 ha; gegenüber 2009 ist das ein Zuwachs um 36 %. Nicht berücksichtigt sind Flächen mit Frostschutzberegnung sowie Kulturen unter hohen begehbaren Schutzabdeckungen wie Gewächshäusern. Niedersachsen ist mit einem Anteil von fast 55 % an der bundesweit bewässerten Fläche das Land, in dem die Bewässerung die größte Rolle spielt, gefolgt von Nordrhein-Westfalen mit 10 %. Alle anderen Bundesländer haben nur Anteile von bis zu 6,3 %.

Die mit Bewässerungstechnik ausgestatteten und damit bewässerbaren Flächen waren mit 676.400 ha in 2015 und 768.317 ha in 2019 noch einmal deutlich größer. Niedersachsen war mit 14 % das Bundesland mit dem höchsten Anteil bewässerbarer Fläche an der landwirtschaftlich genutzten Fläche, die Region Lüneburg mit 25,6 % der Spitzenreiter. Ob in einem Jahr tatsächlich bewässert wird, hängt von der Regenmenge, aber auch von Kosten-Nutzen-Überlegungen der Betriebe sowie der in der jeweiligen Region zur Verfügung stehenden Wassermenge ab. Im trockenen Jahr 2019 wurden 66 % der bewässerbaren Flächen bewässert, im Jahr 2015 war der Anteil mit 58 % niedriger. Dass in der Region Lüneburg eine so intensive Bewässerungslandwirtschaft betrieben wird, hat folgende Gründe: Das Gebiet gehört zu den deutschlandweit stark von Dürre bedrohten und betroffenen Gebieten – allerdings gilt dies ebenso beziehungsweise sogar noch stärker für noch weiter im östlichen Deutschland gelegene Regionen, in denen die bewässerten Flächen jedoch deutlich kleiner sind. Die Region Lüneburg ist aber eines der Hauptanbaubereiche von Kartoffeln. Im Landkreis Uelzen werden auf mehr als 20 % des Ackerlands Kartoffeln kultiviert. Die Böden sind sandig, haben also nur eine begrenzte Wasserhaltekapazität. Beregnungsversuche in Niedersachsen haben gezeigt, dass sowohl Weizen, Winter- und Sommergerste als auch Kartoffeln besonders empfindlich auf Trockenheit reagieren und es zu deutlichen Ertragseinbußen kommt. Eine optimale Bewässerung bringt aber bei der Kartoffel die höchsten Mehrerlöse. Sie gilt damit gefolgt von der Braugerste als die bewässerungswürdigste Kultur.

Um künftig mögliche Interessenkonflikte um Wassernutzung mit anderen Sektoren abzumildern und die begrenzte Ressource Wasser nachhaltig zu nutzen, ist der Einsatz wassersparender Bewässerungstechnologien unabdingbar. Nach einer statistischen Erhebung von 2015 setzten noch immer 79 % der Betriebe Sprinkler für die Bewässerung ein, nur 32 % nutzten (auch) wassersparende Tropfbewässerung¹⁵. Zuwendungen für Bewässerungstechnologie unter anderem aus den Agrarinvestitionsförderprogrammen werden daher in der Regel nur noch gewährt, wenn mit diesen Investitionen relevante Wasser- (und Energie-) einsparungen verbunden sind. Für eine wassereffiziente



Tropfbewässerung ist wassersparend, aber in einjährigen Kulturen nicht immer einsetzbar. (Foto: © HotPhotoPie / stock.adobe.com)

Bewässerung spielen zudem der Zeitpunkt der Bewässerung sowie die eingesetzte Wassermenge eine Rolle: Um Verdunstungsverluste zu minimieren, ist eine Bewässerung in den Morgen- und Abendstunden deutlich effizienter.

In ökologischer Hinsicht ist die Bewässerung nicht in allen Regionen und Situationen gleich zu bewerten. Grundwasserspiegelabsenkungen und Veränderungen im Stoffhaushalt der Böden können nachteilige Folgen sein. Noch ist der Anteil der bewässerten Landwirtschaftsfläche in Deutschland gering (2019 waren es 3 %), und auch der Anteil der landwirtschaftlichen Wasserentnahme für die Bewässerung war mit 2,3 % an den Gesamtwasserentnahmen in 2019 gering, aber im Vergleich zu 2016 bereits höher¹⁶. Allerdings wird die entnommene Wassermenge vermutlich unterschätzt. Nachhaltige Einflüsse auf den Wasserhaushalt in den regionalen Bewässerungsschwerpunkten und Nutzungskonflikte können nicht ausgeschlossen werden. In Nordost-Niedersachsen sind die den Betrieben über wasserrechtliche Erlaubnisse zugewiesenen Wasserkontingente ein begrenzender Faktor für eine weitere Ausdehnung der Bewässerung. Während der Trockenheit 2018 wurden Schätzungen zufolge einige dieser Wasserkontingente schon überschritten. Daher muss die Wassernutzungseffizienz gesteigert werden. Möglichkeiten sind die Erhöhung des Humusgehalts, die Förderung tiefer Durchwurzelung, optimierte Bodenbearbeitung, Fruchtfolgegestaltung sowie Arten- und Sortenwahl, angepasste Bestandsdichten, Beregnungssteuerung und Anpassung der Beregnungstechnik. Zudem gibt es Möglichkeiten für die saisonale Wasserspeicherung.



Foto: © matousekfoto / stock.adobe.com

Wald und Forstwirtschaft

Überblick	170
Wirkstrang „Waldschäden durch Trockenheit und Schädlinge“	173

Auswirkungen des Klimawandels – Impact

FW-I-1	Baumartenzusammensetzung in Naturwaldreservaten – Fallstudie	174
FW-I-2	Holzzuwachs	176
FW-I-3	Waldzustand	178
FW-I-4	Absterberate	179
FW-I-5	Schadholz – Umfang nicht planmäßiger Nutzungen	180
FW-I-6	Gefährdete Fichtenbestände	182
FW-I-7	Schadholzaufkommen durch Buchdrucker – Fallstudie	183
FW-I-8	Waldbrandgefährdung und Waldbrand	184

Anpassungen an den Klimawandel – Response

FW-R-1	Förderung des Waldumbaus	186
FW-R-2	Erhaltung forstgenetischer Ressourcen	188
FW-R-3	Humusvorrat in Waldböden	190
FW-R-4	Rohholzverwendung	192
FW-R-5	Holzbauquote	193
FW-R-6	Forstliche Informationen zum Thema Anpassung	194



Zur Bedeutung des Handlungsfelds

In Deutschland bedecken Wälder rund 11,4 Mio. Hektar Fläche, das entspricht etwa einem Drittel der gesamten Landoberfläche. Aufgrund ihrer vielfältigen ökologischen, wirtschaftlichen und sozialen Funktionen kommt Waldökosystemen eine besondere Bedeutung zu. Das Bundeswaldgesetz sieht daher vor, den Wald mit all seinen Funktionen zu erhalten, falls erforderlich auch zu mehren und seine ordnungsgemäße Bewirtschaftung sicherzustellen.

Die Hitze- und Dürrejahre 2018 bis 2020 und 2022 haben in bisher nicht gekannter Deutlichkeit gezeigt, welche Bedrohung der Klimawandel für die Existenz des Waldes darstellt. Plötzlich geht es nicht mehr „allein“ um

Waldzustand, Zuwachsleistung und gute Waldstruktur, sondern um die Walderhaltung per se. Die bestehende Waldfläche zu sichern, wird zur Herausforderung, die Wiederbewaldung von Kalamitätsflächen zur Herkulesaufgabe, die erhebliche finanzielle und personelle Kapazitäten bindet. Ziel muss bleiben, die im Klimawandel noch bedeutsameren Waldfunktionen für den Schutz von Wasser, Boden, Biodiversität und Regionalklima sowie für die Erholung des Menschen zu erhalten. Nicht zuletzt ist die Walderhaltung auch unverzichtbar für einen erfolgreichen Klimaschutz, denn Wälder sind bedeutende Kohlenstoffsinken. Wenn Wälder großflächig absterben oder brennen, werden sie – ganz entgegen diesem Ziel – zu zusätzlichen Quellen von Treibhausgasemissionen.

DAS-Monitoring – was im Klimawandel passiert

Der Klimawandel und damit einhergehende Witterungsextreme wie Hitze, Trockenheit und möglicherweise auch Stürme sind eine der größten Herausforderungen für die Forstwirtschaft. Die Auswirkungen auf den Wald sind insofern gravierend, als sich die Klimaveränderungen in einer bisher nicht gekannten Geschwindigkeit vollziehen und die natürliche Anpassungsfähigkeit der langlebigen Waldökosysteme überfordern.

Die Folgen des Klimawandels auf die Wälder zeigen sich sowohl in natürlichen, unbewirtschafteten Wäldern ebenso wie in Wäldern, die einer mehr oder weniger intensiven forstlichen Nutzung unterliegen. Seit nun mehr als 30 Jahren wird der Waldzustand erfasst, um ein integrales Bild zur Vitalität der Bäume und Wälder zu erhalten (siehe Indikator FW-I-3, Seite 178). Bis Ende der 1990er-Jahre bildeten die Daten die positiven Folgen verminderter Schadstoffeinträge ab. Erstmals wurde aber nach dem Sommer 2003 deutlich, dass Trockenheit und Hitze die Waldökosysteme stark beeinträchtigen, insbesondere in Wäldern mit nicht standortgerechter Bestockung. Die Dürrejahre 2018 bis 2020 führten dann die ganze Tragweite des Problems vor Augen: Die Kronenverlichtung nahm deutlich zu. Ab 2019 sind auch die Absterberaten (Anteil noch stehender toter Bäume) bei allen Baumarten sprunghaft angestiegen. Bei Fichte und Kiefer erreichte die Absterberate 2020 ihren Höhepunkt, bei den Laubbaumarten Buche und Eiche erhöhten sich die Werte auch 2021 weiter (siehe Indikator FW-I-4, Seite 179). Viele Bäume sind in diesen Jahren auch vollständig abgestorben und mussten aus den Wäldern entnommen werden. Der Anteil sogenannter nicht planmäßiger Nutzung in Form von Schadholz am Gesamteinschlag erreichte in den Jahren

2019 mit 67 % und 2020 mit fast 75 % Rekordwerte (siehe Indikator FW-I-5, Seite 180). In 2021 war dieser Anteil mit knapp 61 % immerhin fast so hoch wie nach Orkan Lothar im Jahr 1991 (66 %). Bis 2018 waren die Spitzenwerte bei der nicht planmäßigen Nutzung noch durch markante Sturmereignisse verursacht. Ab 2019 macht das „Insektenholz“ mit knapp 70 %, 2021 mit bereits mehr als 81 % den deutlich überwiegenden Anteil am Schadholzaufkommen aus. Vor allem die Borkenkäfer konnten bei der warmen Witterung und dem üppigen Brutraumangebot in kürzlich abgestorbenen oder auch geschwächten Bäumen profitieren. Es war eine deutlich höhere Anzahl von Vermehrungszyklen und Bruten (regional bis zu sechs Zyklen) pro Jahr möglich (siehe Indikator FW-I-6, Seite 182). Diese Massenvermehrung von Käfern machte vor allem der Fichte zu schaffen: Die Schadholzmengen infolge von Buchdruckerbefall waren in einigen Bundesländern in den Jahren 2019 bis 2021 um das Hundert- bis Zweihundertfache höher als im Durchschnitt der Jahre 1998–2017 (siehe Indikator FW-I-7, Seite 183).

Hitze und Trockenheit haben sich auch in der Waldbrandstatistik niedergeschlagen. Zwischen 1991 und 2017 gingen die Fläche und Anzahl von Waldbränden trotz der zunehmenden meteorologischen Waldbrandgefährdung noch zurück. Waldbrandprävention und rasches Eingreifen im Brandfall verhinderten große Schäden. In 2018 und 2019 hingegen schlug sich die extreme Witterung auch deutlich im Waldbrandgeschehen nieder. Es kam zu erheblich mehr und in den nordöstlichen Bundesländern auch zu großflächigen Bränden. Der größte Brand zerstörte in Mecklenburg-Vorpommern eine Fläche von 944 ha (siehe Indikator FW-I-8, Seite 184).

Die massiven Waldschäden und das hohe Aufkommen an Kalamitätsholz haben auch Folgen für die Produktionsfunktion des Waldes. Aktuell sind Daten zur Beschreibung der Zuwachsraten allerdings nur für die Periode 2012–2017 verfügbar. Sie zeigen deutlich sinkende Zuwachsraten bei Buche, Eiche und Kiefer (siehe Indikator FW-I-2, Seite 176). Neben Hitze und Trockenheit dürften hier allerdings auch Faktoren wie das generell erhöhte Bestandesalter eine Rolle spielen. Die Zuwachsraten der Fichten lagen 2012–2017 wieder leicht höher als im vorherigen Zeitraum 2008–2012. Nach 2017 sind jedoch insbesondere bei der Fichte massive Einbrüche des Zuwachses zu erwarten. Auch in den Naturwaldreservaten, die frei von direkten steuernden Eingriffen sind, lassen sich Veränderungen beobachten, die mit dem Klimawandel in

ursächlichen Zusammenhang gebracht werden können. So verändert sich die Baumartenzusammensetzung vor allem in Gebieten, die durch Wassermangel gekennzeichnet sind, und zwar dahingehend, dass die Anteile der Buche abnehmen (siehe Indikator FW-I-1, Seite 174). Nicht standortgerechte Fichten spielen in den Naturwaldreservaten keine oder eine nur sehr untergeordnete Rolle. Die zurückgehenden Anteile der Buche deuten darauf hin, dass die Buche an Konkurrenzstärke gegenüber den trockenheitstoleranteren Baumarten verliert. Da Wälder sehr langlebige Ökosysteme sind, vollziehen sich viele Entwicklungen in den Wäldern grundsätzlich in langen Zeiträumen. Allerdings verlaufen die Klimaänderungen mit einer so hohen Dynamik, dass es in der Folge teilweise zu überraschend schnellen Veränderungen der Waldbilder kommt.

Die künftigen Klimarisiken – Ergebnisse der KWRA

Im Rahmen der Klimawirkungs- und Risikoanalyse 2021 (KWRA, siehe Lesehilfe, Seite 7) wurden bereits für die Mitte des Jahrhunderts hohe Risiken für Hitze- und Trockenstress, Stress durch Schädlinge und Krankheiten sowie nachteilige Auswirkungen auf den Holztertrag identifiziert. Zum Ende des Jahrhunderts wird auch für Waldbrände ein hohes Risiko erwartet. Hier ist – wie bei den anderen Klimawirkungen – die Gewissheit gering. Die Erfahrungen der vergangenen Jahre haben gerade in der Forstwirtschaft deutlich gemacht, dass Überraschungen einkalkuliert werden müssen. Bei den Schäden durch Windwurf wurde das Risiko für die Gegenwart bis zum Ende des Jahrhunderts

gleichbleibend (in einem Bewertungsraster gering – mittel – hoch) als mittel eingeschätzt, weil bisher keine Entwicklungstrends von Stürmen erkennbar sind. Auch hier ist die Gewissheit der Abschätzung gering.

Das Risiko für Einschränkungen der Erholungsfunktion der Wälder wird ab der Mitte des Jahrhunderts mit geringer Gewissheit als mittel geschätzt. Großflächige Waldschäden können die Erholungsqualität und Attraktivität von Wäldern stark einschränken. Wenn gleichzeitig die Erholungsfunktion an Bedeutung gewinnt, könnte der Nutzungsdruck auf gesunde Wälder steigen.

Wo haben wir Daten- und Wissenslücken?

Veränderungen in der Baumartenzusammensetzung und im Zuwachs werden im Rahmen der Bundeswaldinventur (BWI) erfasst, die aber nur alle 10 Jahren durchgeführt wird. Dies ist auch der Grund, warum in diesem Monitoringbericht nicht erneut über die inzwischen erreichten Baumartenmischungen beziehungsweise Mischwaldanteile berichtet werden kann. Bereits 2019 war für diesen wichtigen Indikator (damals FW-R-1 Mischbestände) keine Datenaktualisierung gegenüber dem Monitoringbericht 2015 möglich. Für die Aktualisierung sind Daten aus der BWI 2022 erforderlich, die erst nach der Berichterstattung 2024 verfügbar sein werden. Der Indikator Mischbestände ruht deshalb vorübergehend für den Monitoringbericht 2023. Zwischeninventuren erfassen den Zustand des deutschen Waldes mit einem eingeschränkten Merkmalspektrum auf einem Viertel der BWI-Inventurpunkte und liefern vor allem Daten für die Treibhausgasberichterstattung des Bundes. Die Zwischeninventur-Daten aus

dem Jahre 2017 zu den Kohlenstoffvorräten ermöglichten die Aktualisierung und Neuauflage des Indikators zu den Humusvorräten im Wald (siehe Indikator FW-R-3, Seite 190). Außerdem konnten die Inventurdaten für den Indikator zum Holzzuwachs (siehe Indikator FW-I-2, Seite 176) genutzt werden.

In Forschungsvorhaben werden inzwischen Untersuchungen unter anderem zur Nutzung von Satellitenbilddaten durchgeführt, um zeitlich gegenüber der BWI höher aufgelöste Informationen zu Veränderungen der Baumartenzusammensetzung zu erhalten. So ermittelt das TI für Waldökosysteme im Verbundprojekt WaldSpektrum (finanziert aus dem Waldklimafonds) fernerkundungsbasierte Informationen zu den aktuellen Fichtenflächen, um Forstleuten und Waldbesitzenden ein verbessertes Planungsinstrumentarium an die Hand zu geben. Mit Blick auf die rasanten Veränderungen der Waldbilder in

Folge der Dürrejahre und die intensiven Bemühungen zum Waldumbau wird die 10-jährige BWI nicht mehr ausreichen, um die Veränderungen zeitnah abzubilden.

Daten- und Informationslücken bestehen derzeit auch noch bei der Ermittlung von Kalamitätsflächen und Schadholaufkommen. Während die Diagnose flächiger Windwürfe oder großflächiger Absterbeerscheinungen durch Schaderreger operationell und zeitnah mithilfe von Satelliten-Fernerkundungsdaten möglich ist, sind Methoden zur Erfassung des Schadholumfangs noch nicht etabliert. Diese Lücke soll ab 2023 das Waldklimafonds-Projekt „Fernerkundungsbasierte Nationale Erfassungssystem Waldschäden“ (FNEWs) des TI teilweise schließen. Es soll Informationen zu flächigen Absterbeerscheinungen, Schadholumfang und wirtschaftlichen Schäden liefern.

Daten aus dem intensiven Forstlichen Umweltmonitoring (LEVEL II) wurden bisher nicht für Indikatoren im DAS-Handlungsfeld „Wald und Forstwirtschaft“ genutzt. Für

das DAS-Handlungsfeld „Boden“ wurde ein Indikator zu Bodenwasser in Waldböden (siehe Indikator BO-I-2, Seite 135) als Fallstudie für Bayern entwickelt. Für die LEVEL II-Untersuchungen sind trotz Harmonisierungsbemühungen nach wie vor länderübergreifende Auswertungen nur begrenzt möglich. Für das Bodenwassers wird im TI derzeit daran gearbeitet, mit Hilfe von Wasserhaushaltsmodellen homogene und lückenlose Zeitreihen zu erzeugen.

Während im Bereich der Impact-Indikatoren für das Handlungsfeld „Wald und Forstwirtschaft“ bereits ein breites Themenspektrum im DAS-Monitoring abgebildet werden kann, gibt es auf der Response-Ebene noch Lücken in relevanten Handlungsbereichen. So konnte zum Thema Waldschutzmaßnahmen (Reduzierung von Wildschäden, Wildbestandsregulierung, Kontrolle und Bekämpfung von Forstschädlingen) bisher noch kein geeigneter Indikator entwickelt werden. Auch Verbesserungen der Waldbrandprävention und -bekämpfung lassen sich bisher nicht mit Daten abbilden.

Was getan wird – einige Beispiele

Da Wälder sehr langlebige Ökosysteme sind, muss die Forstwirtschaft weitblickend vorausplanen und sich ändernde Wuchsbedingungen berücksichtigen. Die Folgen der Dürrejahre haben deutlich gemacht, dass den Forstbetrieben eine große Reaktionsbereitschaft abverlangt wird. Die planmäßige Bewirtschaftung muss in der Priorität immer wieder zurücktreten, um ausreichend Kapazitäten für die Bewältigung der Extremereignisse bereitzustellen.

Der Waldumbau hin zu klimastabileren Bestockungen wird auf vielen Ebenen politisch und operativ unterstützt. Neben der Forschungsförderung im Rahmen des Waldklimafonds sind die Finanzierung von Waldumbaumaßnahmen im Staatswald sowie die Förderung für den Privatwald insbesondere im Rahmen der GAK stark ausgeweitet worden (siehe Indikator FW-R-1, Seite 186). Ende 2018 wurde in der GAK ein neuer Fördertatbestand „Förderung von Maßnahmen zur Bewältigung der durch Extremwetterereignisse verursachten Folgen im Wald“ eingeführt, um Räumung und Wiederbewaldung von Kalamitätsflächen voranzutreiben. Für private und kommunale Waldbesitzende wurde außerdem 2022 das Förderprogramm „Klimaangepasstes Waldmanagement“ des BMEL etabliert, das mit Mitteln aus dem Klima- und Transformationsfonds (KTF) ausgestattet ist und den beschleunigten Aufbau stabiler und klimaresilienter Wälder fördern soll. Zu den Förderbedingungen gehört unter anderem, dass auch Maßnahmen zur Wasserrückhaltung sowie zur Erhaltung und Pflege von Humus (siehe Indikator FW-R-3,

Seite 190) umgesetzt werden. Auch das BMBF fördert mit der Maßnahme „REGULUS“ innovative Lösungen für eine klimaschützende Wald- und Holzwirtschaft.

Um eine standortgerechte und zukunftsfeste Baumartenwahl bei Verjüngung und Wiederbewaldung sicherzustellen, wurden und werden von den forstlichen Landesämtern und -anstalten Planungshilfen unter anderem mit Baumartenempfehlungen überarbeitet und neu erstellt. Zudem wird die Beratung von Privatwaldbesitzenden vorangetrieben (siehe Indikator FW-R-6, Seite 194), da es insbesondere auch hier großen Handlungsbedarf gibt.

Das 2021 am Julius Kühn-Institut (JKI) gegründete Institut für Waldschutz hat die Aufgabe, zur Biologie, Vermeidung und integrierten Bekämpfung von Schädlingen und Krankheiten im Wald sowie zur Stärkung natürlicher Regulations- und Abwehrmechanismen des Waldes zu forschen. Daraus sollen praxistaugliche Konzepte für den Waldschutz unter Berücksichtigung des Klimawandels abgeleitet werden.

Im Zuge des Waldumbaus und der sich damit verändernden Baumartenzusammensetzungen muss auch der Holzmarkt weiterentwickelt werden. Es gilt, für Laubholz vermehrt stoffliche Verwendungen zu erschließen (siehe Indikator FW-R-4, Seite 192) und dessen Einsatzmöglichkeiten im konstruktiven Holzbau zu erweitern und Praxiserfahrungen zu sammeln (siehe Indikator FW-R-5, Seite 193).

Handlungsfeld-relevante Klimaveränderungen

Hitze und Trockenheit

Die mittlere jährliche Niederschlagsmenge hat seit 1881 in der Summe im Flächenmittel von Deutschland zugenommen. Allerdings gibt es deutliche regionale und auch jahreszeitliche Unterschiede. Im Sommer sind die mittleren Regenmengen weitestgehend unverändert geblieben, die Winter sind hingegen signifikant feuchter geworden. Diese nur wenig veränderten mittleren Niederschlagsmengen bedeuten aber nicht, dass es nicht phasenweise und regional zu extremen Wassermangelsituationen kommen kann. Vor allem wenn die Verdunstung im Sommer durch hohe Temperaturen steigt, können Böden austrocknen. Seit dem Jahrhundertssommer 2003 ist es gehäuft zu solchen sommerlichen Trockenphasen gekommen, in denen die Böden stark und tiefgründig ausgetrocknet sind (siehe Seite 26).



Foto: © Christine / stock.adobe.com

Auswirkungen des Klimawandels

FW-I-6 Gefährdete Fichtenbestände

Während viele Bäume durch die Klimaveränderungen, insbesondere die zunehmende Sommertrockenheit, an Vitalität verlieren, profitieren wärmeliebende Schadinsekten von diesen Bedingungen. Borkenkäfer wie Buchdrucker und Kupferstecher brüten beispielsweise nach Windbruch in frisch abgestorbenem Holz oder dringen in die Rinde der durch Hitze und Trockenheit geschwächten Bäume ein. Sie können in warmen Jahren bis zu sechs Generationen hervorbringen und damit einen immensen Befallsdruck aufbauen.



Foto: © Westwind / stock.adobe.com

FW-I-5 Schadholz – Umfang nicht planmäßiger Nutzungen

Nach Stürmen, Hitze, Trockenheit und Insektenbefall frisch abgestorbene Bäume müssen zumindest teilweise von den Flächen geräumt werden, um eine rasche Wiederbewaldung möglich zu machen und das Brutraumangebot für Schadinsekten zu reduzieren. Solche nicht planmäßigen Nutzungen machten während und nach den letzten Dürrejahre im Mittel fast drei Viertel des jährlichen Gesamteinschlags im deutschen Wald aus. Sie banden in der Forstwirtschaft umfangreiche Kapazitäten, die für die Umsetzung regulärer Waldumbaumaßnahmen erforderlich wären.



Foto: © Alexander / stock.adobe.com

Anpassungen – Aktivitäten und Ergebnisse

FW-R-1 Förderung des Waldumbaus

Der Umbau der Wälder zu klimastabileren Beständen ist die wichtigste forstwirtschaftliche Strategie. Umbauziel sind Baumartenzusammensetzungen, die mit den sich verändernden Standortverhältnissen und Klimabedingungen besser zurecht kommen, und stärker strukturierte Bestände. Die Staatsforstbetriebe investieren seit Jahren massiv in den Waldumbau. Auch für den Privat- und Körperschaftswald wurden die Fördermöglichkeiten unter anderem zur Aufarbeitung der großflächigen Kalamitäten deutlich ausgeweitet.



Foto: © mitifoto / stock.adobe.com

Anpassungsfähigkeit der natürlichen Baumarten

Wälder sind sehr langlebige Ökosysteme. Dementsprechend hat es auch die Forstwirtschaft mit langen Produktionszeiträumen zu tun. Sie muss weit vorausschauend planen und zukünftige Veränderungen der Wuchsbedingungen berücksichtigen. Baumarten, die bislang noch gut mit den Klimabedingungen an ihrem Standort zurechtkommen, können in den kommenden Jahrzehnten anfälliger werden und Zuwachseinbußen erleiden. Im Wirtschaftswald wird die Artenzusammensetzung von der forstlichen Nutzung und Pflege geprägt. Hier überlagern sich die natürliche Waldentwicklung und die Effekte der Waldbewirtschaftung.

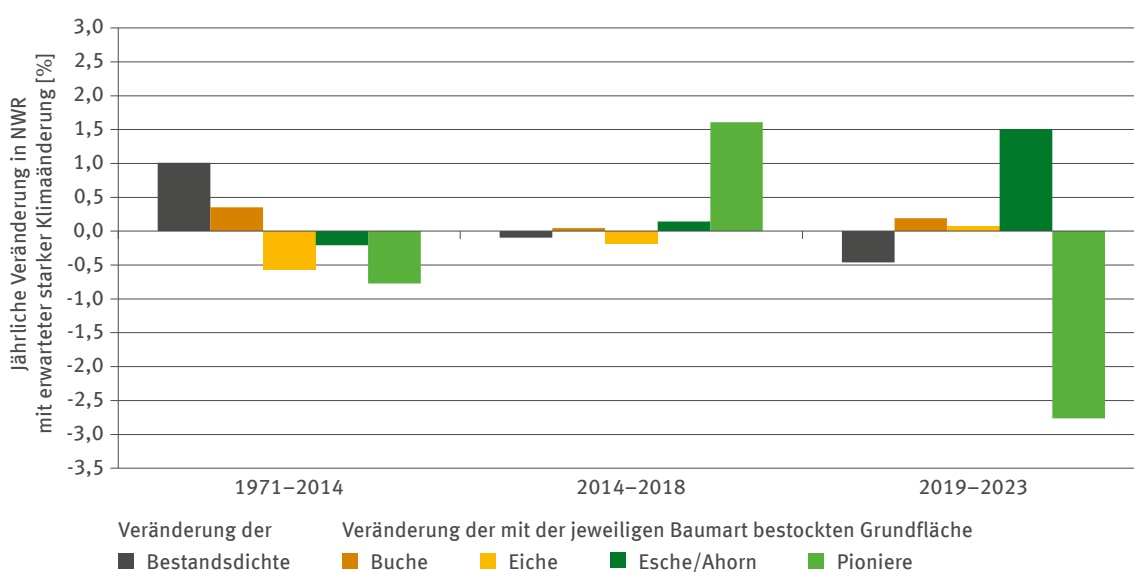
In Naturwaldreservaten entwickeln sich die Wälder ohne direkte menschliche Eingriffe. Im Jahr 2023 gab es in Deutschland 746 Naturwaldreservate mit einer Fläche von insgesamt 36.000 ha. In der überwiegenden Zahl der Naturwaldreservate dominieren die standortheimischen Baumarten. Ob die Grenzen ihrer Anpassungsfähigkeit infolge der Klimaveränderungen überschritten werden, sollen Beobachtungen der natürlichen Walddynamik in den Naturwaldreservaten zeigen. Die Ergebnisse

erleichtern den Waldbewirtschaftenden die Entscheidung, in welchem Umfang wärme- und trockenheitstolerantere Baumarten in forstlich genutzte Bestände eingebracht werden sollten, um den Bestand unserer Wälder mit ihren vielfältigen Ökosystemleistungen einschließlich der Holznutzung auch künftig zu sichern.

Regionale Projektionen des künftigen Klimawandels ermöglichen eine Unterscheidung zwischen Naturwaldreservaten, in denen in Zukunft eher geringe Änderungen der Wasserversorgung zu erwarten sind, und solchen, in denen sich die Wasserbilanz voraussichtlich deutlich negativ verändern wird, sodass der Baumbestand unter Trockenstress geraten könnte. Fasst man innerhalb dieser Gebiete die vorkommenden Baumarten zu Gruppen mit bestimmten Anpassungseigenschaften zusammen und beobachtet deren langfristige Entwicklung, lassen sich Aussagen zum Verlauf von Anpassungsprozessen der Waldökosysteme treffen. Während der Trauben- und Stieleiche, der Esche, dem Berg- und Spitzahorn sowie den sogenannten Pionierarten wie der Salweide, der Aspe und der Eberesche ein vergleichsweise hohes

FW-I-1: Baumartenzusammensetzung in Naturwaldreservaten – Fallstudie

In den Naturwaldreservaten, für die stärkere Klimaänderungen mit höheren Temperaturen und trockeneren Bedingungen sowie mit häufigeren und stärker ausgeprägten Witterungsextremen erwartet werden, sank insbesondere in der jüngsten Beobachtungsperiode von 2019 bis 2023 infolge von erhöhter Baum mortalität die Bestandsdichte. Der Anteil der Buche steigt weiterhin. Vor allem die Entwicklung der Pioniere zeigt starke Schwankungen.



Datenquelle: Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt / Projektgruppe Naturwälder (Daten der Länder aus Forschung und Monitoring in den Naturwaldreservaten)

Anpassungsvermögen an Trockenstress zugeschrieben wird, ist zu vermuten, dass die Rotbuche eher empfindlich reagiert. Zusätzlich ist zu berücksichtigen, dass auch andere Faktoren wie beispielsweise Schädlingsbefall, Windwürfe oder die Konkurrenz um Licht, Wasser und Nährstoffe die Entwicklung der einzelnen Baumarten-gruppen beeinflussen.

In Naturwaldreservaten der Bundesländer Baden-Württemberg, Bayern, Brandenburg, Hessen, Niedersachsen, Nordrhein-Westfalen, Rheinland-Pfalz, Sachsen-Anhalt und Schleswig-Holstein zeichneten sich bis 2014 Verschiebungen in der Baumartenzusammensetzung ab, die sich nicht mit Klimaveränderungen erklären ließen. Überwiegend zeigten die Baumbestände eine Zunahme der Bestandsdichte, was auf eine weiterhin hohe Konkurrenzkraft überwiegend vitaler Bäume schließen lässt. Während die Buche ihren Anteil erhöhen konnte, waren die Anteile der Eichenarten und der Esche / Ahorn-Gruppe zurückgegangen. Diese Entwicklung kann zum einen mit der Konkurrenzkraft der Buche und zum anderen mit krankheitsbedingten Absterbeerscheinungen bei der Eiche und der Esche erklärt werden. Die Gruppe der Pionierbaumarten zeigte nur eine sehr geringfügige Veränderung. Insgesamt deuteten die Ergebnisse nicht darauf hin, dass die Entwicklungen merklich vom Klimawandel beeinflusst waren.

In der zweiten und dritten Beobachtungsperiode von 2014 bis 2018 beziehungsweise von 2019 bis 2023 hat sich die Entwicklungsrichtung in denjenigen Naturwaldreservaten verändert, für die stärkere Klimaänderungen mit höheren Temperaturen und trockeneren Bedingungen sowie häufigeren und stärker ausgeprägten Witterungsextremen erwartet werden. Hier hat die Bestandsdichte insbesondere von 2019 bis 2023 abgenommen. Diese Entwicklung geht offenbar auf eine erhöhte Baum mortalität infolge der ab 2018 gehäuft auftretenden Trockenjahre zurück. Während größere Schwankungen der Anteile bei den Pionierbaumarten und der Gruppe Ahorn / Esche zu verzeichnen waren, erhöhte sich der Anteil der Rotbuche weiterhin – allerdings in einem deutlich geringeren Ausmaß als vor 2014. Die Eichenarten zeigten von 2014 bis 2018 eine geringe Abnahme und von 2019 bis 2023 eine geringe Zunahme.

Auch in Naturwaldreservaten, für die eher günstigere Bedingungen für die Wasserversorgung erwartet werden, sind in der Periode von 2019 bis 2023 eine Verringerung der Bestandsdichte und ein weiter ansteigender Anteil der Buche festzustellen. In diesen Gebieten hatte die Bestandsdichte von 2014 bis 2018 noch deutlich zugenommen.



Naturwaldreservate sind frei von forstlichen Eingriffen: Hier zeigt sich, welche Baumarten unter Klimawandelbedingungen am konkurrenzstärksten sind. (Foto: © Peter Meyer)

Veränderungen im Zuwachs

Wie schnell Bäume wachsen und wie viel Holzvolumen je Zeiteinheit gebildet wird, ist wesentlich von der Nährstoff- und Wasserversorgung ihrer Standorte sowie von den vorherrschenden Temperaturen abhängig. In Berglagen oder kalten Senken, die bisher wärmelimitiert sind, können sich Temperaturerhöhungen positiv auf den Zuwachs der dort stockenden Bäume auswirken. In Bereichen wie der Oberrheinebene, in denen das Wachstum schon heute vielerorts durch Hitze- und Trockenheit begrenzt ist, werden sich weitere Temperaturerhöhungen und zunehmende Trockenheit infolge des Klimawandels dagegen nachteilig auf die Holzzuwächse auswirken. Insgesamt wird erwartet, dass sich die mit dem Klimawandel einhergehenden Witterungsveränderungen standorts- und bestandspezifisch unterschiedlich auf den Holzzuwachs auswirken werden.

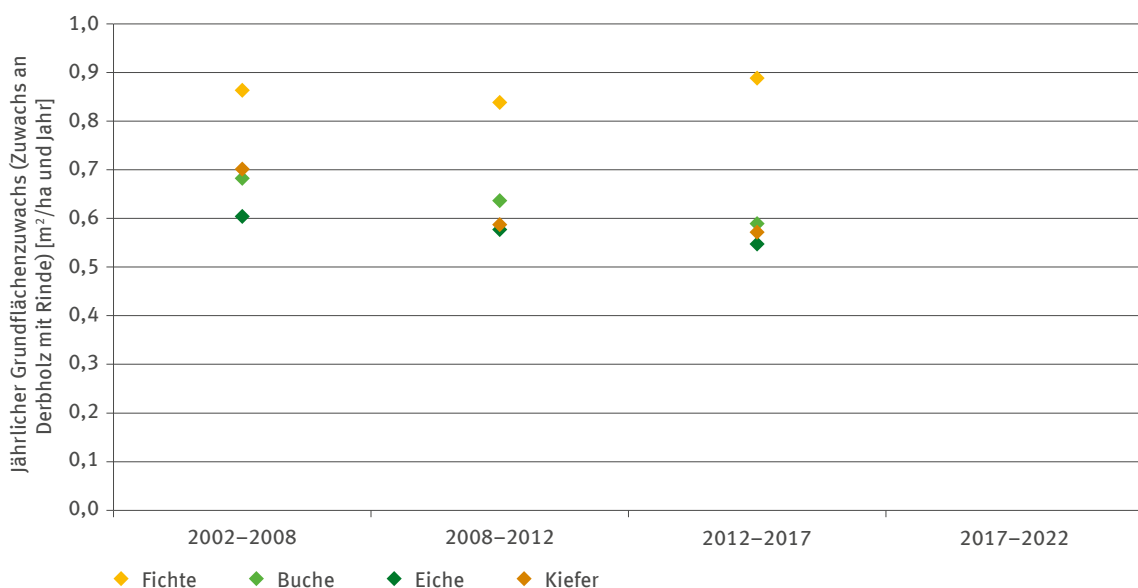
Viel diskutiert wird neben den Witterungseinflüssen auch der düngende Effekt erhöhter CO₂-Konzentrationen in der Atmosphäre. Er kann sich grundsätzlich produktivitätssteigernd auswirken, wenn nicht gleichzeitig andere Faktoren die Kohlenstoffaufnahme begrenzen. Ein weiterer

bedeutender Einflussfaktor ist die Altersstruktur der Bestände: Junge Bäume mit einem Alter von unter 20 Jahren weisen einen geringen Volumenzuwachs auf. Dieser steigt dann in den Folgejahren stark an und sinkt im Alter in Abhängigkeit von der Baumart wieder ab. Analysen von Zuwachsdaten müssen daher stets das Alter berücksichtigen. Die Werte des dargestellten Indikators wurden aus diesen Gründen altersklassenbereinigt.

Das Zusammenwirken aller Einflussfaktoren ist komplex und lässt sich in seinen Auswirkungen für den künftigen Zuwachs nur schwer voraussagen. Klar ist aber bereits, dass es im Wald in Abhängigkeit von den jeweiligen Standortverhältnissen Gewinner und Verlierer des Klimawandels geben wird. Grundsätzlich ist der produktive Holzzuwachs neben der Qualität des Holzes für die Forstwirtschaft eine relevante Größe, denn er entscheidet letztendlich über die Höhe der erzielbaren Holzträge. Sinken in Wirtschaftswäldern unter anderem infolge ungünstigerer Witterungsverhältnisse die Zuwächse beständig in erheblichem Umfang, können gezielte forstliche Managementmaßnahmen wie die Verminderung

FW-I-2: Holzzuwachs

Die Zuwachsraten bei Buche, Eiche und Kiefer sind seit 2002 deutlich zurückgegangen. Es wird davon ausgegangen, dass trockene Jahre und deren Nachwirkungen auf die Waldökosysteme die Zuwächse negativ beeinflussen. Bei der Fichte ist die höhere Zuwachsrate im Zeitraum 2012 bis 2017 wohl darauf zurückzuführen, dass in dieser Periode überregionale Schadereignisse ausgeblieben sind und die Niederschläge durchschnittlich waren.



Datenquelle: TI für Waldökosysteme (Auswertungen auf Basis der BWI und der Kohlenstoffinventur)

der Bestandsdichte und -konkurrenz einem weiteren Absinken des Waldwachstums entgegenwirken. Der Holzzuwachs ist außerdem insofern von Bedeutung, als er Voraussetzung für die Funktion des Waldes als Kohlenstoffspeicher ist. Je mehr Holz in einem Bestand zuwächst, desto mehr Kohlendioxid wird der Atmosphäre entzogen und in Form von Kohlenstoff im Holz festgelegt (siehe Indikator FW-R-4, Seite 192). Man geht davon aus, dass in jedem Kubikmeter Holz rund 250 kg Kohlenstoff gebunden sind. Damit leisten Wälder mit positiver Kohlenstoffbilanz auch einen bedeutenden Beitrag zum Klimaschutz.

Die bisher verfügbaren Ergebnisse der Bundeswaldinventur stellen Startpunkte für den Aufbau einer längeren Zeitreihe zum Holzzuwachs dar. Ab 2002 stehen bundesweite Inventurdaten zur Verfügung. Die Daten lassen vor allem Schlussfolgerungen zu den Wirkungen extremer Witterungssituationen im jeweiligen Beobachtungszeitraum zu. So ließen sich die hohen durchschnittlichen Holzzuwächse der Wälder, die bis zum Ende des 20. Jahrhunderts ermittelt wurden, im Zeitraum 2002 bis 2008 in den alten Bundesländern vor allem für die Fichte nicht mehr in diesem Umfang ermitteln. Es wird davon ausgegangen, dass insbesondere die heißen und trockenen Jahre 2003 und 2006 zu Produktivitätseinbußen geführt haben. Aber auch im Folgezeitraum 2008 bis 2012 ohne Trockenjahre sind die Holzzuwächse im bundesweiten Mittel bei den vier Hauptbaumarten weiter zurückgegangen, am stärksten bei der Kiefer, gefolgt von der Buche. Eine Rolle dürfte dabei das zunehmende Durchschnittsalter aller Hauptbaumarten sein, das zu sinkenden Zuwachsleistungen führt.

Im Beobachtungszeitraum 2012 bis 2017 gingen bei Buche, Eiche und Kiefer die Zuwachsraten weiter zurück. Es überrascht in diesen Jahren aber der Zuwachs der Fichte, der wieder höher lag als in den beiden vorangegangenen Zeiträumen. Die Fichte profitierte mehr als die anderen Hauptbaumarten vom Ausbleiben überregionaler Schadereignisse (durch Sturm, Trockenheit und Insekten) und von durchschnittlichen Niederschlägen in dieser Periode. Dabei ist allerdings zu berücksichtigen, dass die Erhebungen noch vor dem Hitze- und Dürrejahre 2018 bis 2020 abgeschlossen waren. Die aktuelle Situation dürfte sich deutlich anders darstellen.

Mit einer längeren Zeitreihe werden sich künftig die längerfristig wirkenden Effekten des Klimawandels auf den Holzzuwachs abbilden lassen.



Wenn der Holzzuwachs nachlässt, kann bei Einhaltung der Nachhaltigkeitsgrundsätze weniger Holz geerntet werden. (Foto: © Ansario / stock.adobe.com)

Schlechter Waldzustand und Absterben von Bäumen

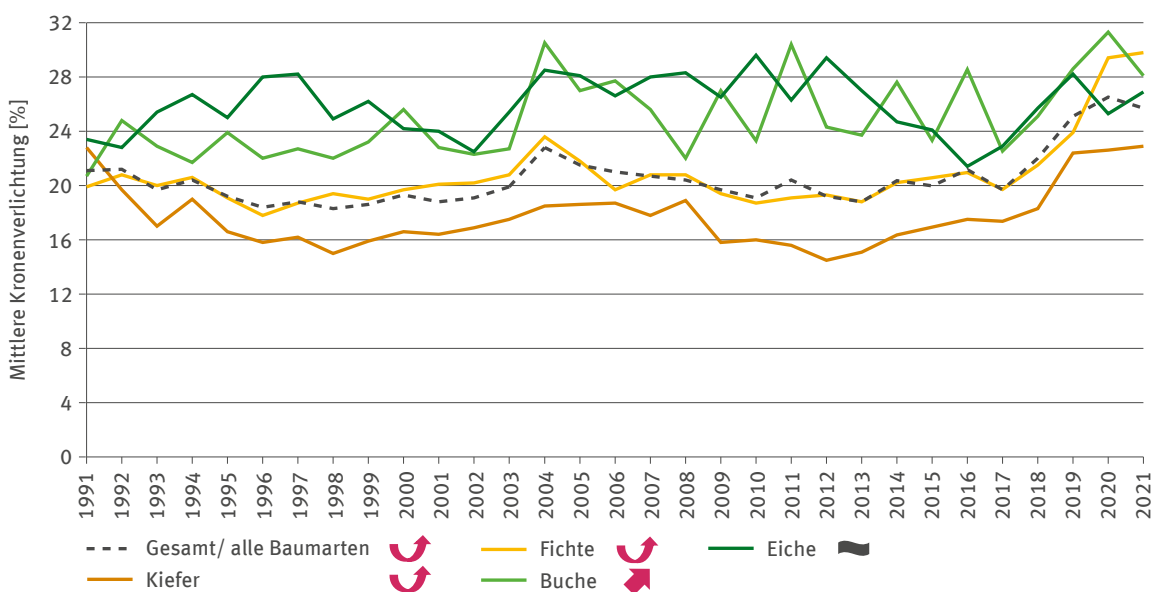
Der Kronenzustand galt viele Jahre als geeigneter Indikator, um die Auswirkungen von Schadstoffbelastungen auf die Vitalität der Waldbäume abzubilden. Heute sind das Witterungsgeschehen und der Schaderregerbefall sehr viel stärker im Fokus der Interpretation von Waldzustandsdaten. Die Zusammenhänge zwischen dem zeitlichen Verlauf der Nadel- und Blattverluste und sommerlicher Hitze und Dürre sind offensichtlich geworden. Bei der Interpretation von Daten zum Kronenzustand ist zunächst Folgendes zu berücksichtigen: Wenn Bäume ihre Blätter und Nadeln verlieren, dann bedeutet dies nicht zwangsläufig eine Schädigung. Bei Laubbäumen ist die spontane Reduzierung der Blattmasse unter ungünstigen Bedingungen zumeist eine angemessene Anpassungsreaktion. Die Bäume können auf diese Weise zu großen Wasserverlusten vorbeugen. Kritisch wird es, wenn infolge einer Häufung von Jahren mit Trockenstress die Kronenverlichtung zum Dauerzustand wird. Dann kommt es zwangsläufig zu Vitalitätseinbußen oder gar zum Absterben von Bäumen. Nadelbäume reagieren hingegen weniger spontan mit Nadelverlusten, da sie mehr in ihre dauerhafteren Nadeln investieren müssen. In

diesen Fällen liegt es daher näher, von einer Schädigung der Bäume auszugehen, wenn die Krone lichter wird. Auch die Zusammenhänge mit der Fruchtbildung sind zu berücksichtigen, da auch diese erheblichen Einfluss auf den Kronenzustand hat. In sogenannten Mastjahren mit besonders starker Fruchtbildung investieren die Bäume weniger in ihre Blatt- und Nadelmasse. Die Krone erscheint dann transparenter. So war beispielsweise das Jahr 2016 ein ausgeprägtes Mastjahr der Buche. Über die Gesetzmäßigkeiten der Fruchtbildung gibt es aber noch wenige Informationen. Es wird auch von Zusammenhängen mit dem Klimawandel ausgegangen. Während es beispielsweise bei der Buche und Eiche früher nur rund alle sechs bis sieben Jahre zu Mastjahren kam, liegt die Häufigkeit heute zwischen zwei und drei Jahren.

Bis 2017 gab es noch keine Anzeichen dafür, dass sich der Waldzustand infolge der Klimaveränderungen kontinuierlich verschlechtert. Dies hat sich nach den Hitze- und Dürrejahren 2018 bis 2020 verändert. Inzwischen gibt es mit Ausnahme der Eiche bei allen Hauptbaumarten signifikant steigende Trends zu einem schlechteren

FW-I-3: Waldzustand

Bis 2017 gab es keine Anzeichen, dass sich der Waldzustand aufgrund von Klimaveränderungen kontinuierlich verschlechtert. Dies hat sich mit den Hitze- und Dürrejahren 2018 bis 2020 geändert. Mit Ausnahme der Eiche zeigte die mittlere Kronenverlichtung bis 2021 einen steigenden Trend. Bei Buche, Fichte und Kiefer übertraf die Verlichtung die nach dem Extremjahr 2003. Bei den Laubbäumen schwankten die Werte stark zwischen den Jahren.



Datenquelle: BMEL (Bundesweite Waldzustandserhebung)

Zustand. Bereits ab 2019, dem ersten Folgejahr nach dem Trockenjahr 2018, war der Waldzustand bei Buche, Fichte und Kiefer schlechter als nach dem „Jahrhundertssommer“ 2003. Bei der Eiche haben sich die Witterungsfolgen in der mittleren Kronenverlichtung weniger stark niedergeschlagen. Sie gilt als Zukunftsbaumart in klimaresilienteren Wäldern.

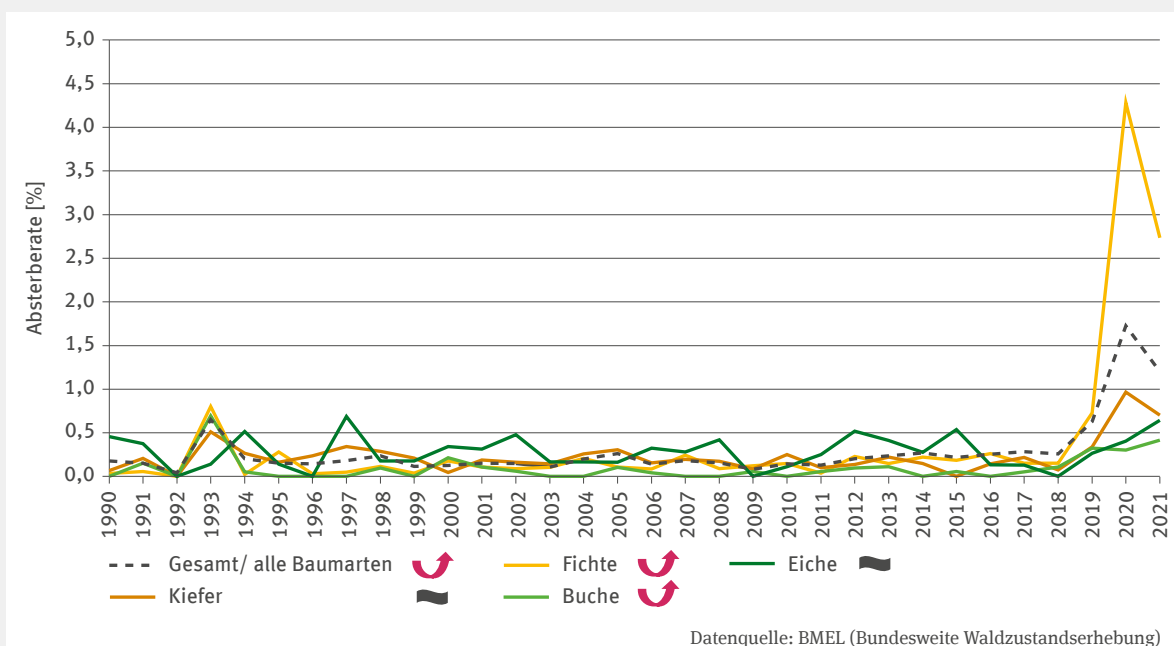
Noch deutlicher als bei der mittleren Kronenverlichtung schlagen sich die Folgen von Hitze und Dürre in der Absterberate nieder. Als abgestorben gelten Bäume, wenn sie keine lebenden Nadeln oder Blätter mehr besitzen und das leitfähige Gewebe im Stamm abgestorben ist, sie aber noch im Bestand stehen, also Teil der Stichprobe der Waldzustandserhebung sind. Erst liegende und aus den Beständen entfernte Bäume (siehe Indikator FW-I-5, Seite 180) werden durch andere Stichprobenbäume ersetzt. Die jährliche Absterberate wird in der Regel nicht kurzfristig von einzelnen Schadereignissen beeinflusst. Sie kann als Folgeschaden auch noch Jahre später erhöht sein, wenn geschädigte Bäume die hohen Blatt- und Nadelverluste nicht mehr kompensieren können oder vitalitätsgeschwächt Schadorganismen zum Opfer fallen. Infolge der jüngsten Dürrejahre waren die Schäden

allerdings so massiv, dass bereits im Folgejahr 2020 die Absterberate enorm in die Höhe geschneilt ist. Bei der Fichte wurde das 20-Fache des Mittelwerts der vorausgegangenen zehn Jahre (2010–2019) erreicht. Das Absterben betraf bei Fichte und abgeschwächt auch bei Kiefer nicht nur einzelne Baumindividuen, sondern ganze Waldbestände sind flächig abgestorben. Auch bei Buche und Eiche zeigen sich die Folgen in erhöhten Absterberaten, wobei hier das Absterben von einzelnen Bäumen und Baumgruppen vorherrschend war.

Flächenhaft abgestorbene Bestände stellen die Wiederbewaldung vor besonders große Herausforderungen. Für eine natürliche Wiederbewaldung fehlt es mitunter an geeigneten Samenbäumen zukünftig angepasster Baumarten in der Umgebung oder das Naturverjüngungspotenzial ist gering. Die Wiederbewaldung durch aktive Pflanzung oder Saat kann durch die großen Mengen von Kalamitätsholz behindert sein. Mit der fehlenden Überschildung durch Altbäume sind die Flächen zudem schutzlos dem Wind und der Sonneneinstrahlung ausgesetzt, was die Aufwuchsbedingungen für Bäume erschwert, die Vergrasung und Verjüngungsschäden durch Mäuse hingegen fördern kann.

FW-I-4: Absterberate

Infolge der Dürrejahre 2018 bis 2020 sind spontan bei allen Hauptbaumarten die Absterberaten deutlich angestiegen. Bei der Fichte kam es zu einem flächenhaften Absterben ganzer Bestände. Die Absterberate war im Jahr 2020 um mehr als das 20-Fache höher als in den vorausgegangenen Jahren 2010 bis 2019. Flächenhaft abgestorbene Bestände bieten grundsätzlich erschwerte Ausgangsbedingungen für die (natürliche) Wiederbewaldung.



Viel Schadholz behindert planmäßige Bewirtschaftung

Der schlechte Waldzustand und die hohen Absterberaten (siehe Indikatoren FW-I-2, Seite 176, und FW-I-4, Seite 179) führen dazu, dass das Schadholzaufkommen in den Wäldern steigt. Wurf- und Bruchholz nach Stürmen sowie „Käferholz“ nach Schaderregerbefall führen zu sogenannten nicht planmäßigen Nutzungen. Das Schadholz kann die Sicherheit der weiteren Produktion beeinträchtigen. Verbleiben insbesondere bei Fichtenbeständen frisch abgestorbene Bäume mit Rinde im Wald, können sie idealer Brutraum für Schadorganismen werden und deren Vermehrung stark begünstigen, sofern keine geeigneten Maßnahmen ergriffen werden. Flächig angefallenes Schadholz erschwert zudem die weitere Bewirtschaftung der Wälder und kann zu einem Sicherheitsrisiko für Erholungssuchende oder für Personen werden, die im Wald arbeiten. Daher sind die Forstbetriebe zumindest regional bestrebt, das Schadholz so rasch wie möglich aus den Beständen zu entfernen. Hinzu kommt, dass vor allem Käferholz, das länger stehen bleibt und dann die Rinde verliert, häufig nur eingeschränkt verwendbar ist. Teilweise ist aber das Belassen von Totholz auch erwünscht, um die Biodiversität und

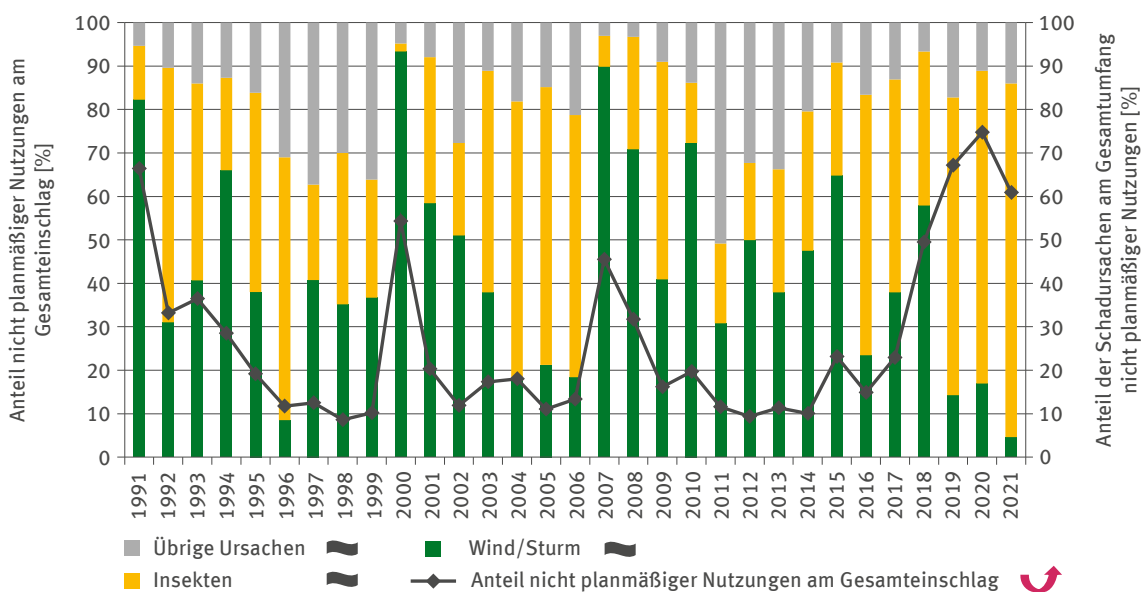
die Bodenfeuchte im Wald zu erhöhen. Totholz ist wichtiger Lebensraum für Pilze, Insekten und Vögel und kann sich positiv auf das Waldinnenklima auswirken.

Unplanmäßige Nutzungen können – vor allem nach regionalen Großschadensereignissen – erhebliche Kapazitäten in der Forstwirtschaft binden. Diese fehlen dann für die Umsetzung gezielter Bewirtschaftungsmaßnahmen, die ja gerade in Anbetracht der erforderlichen Anpassung der Wälder an den Klimawandel dringlich sind. In der Regel dauert es mehrere Jahre, bis die Folgen von Kalamitäten aufgearbeitet sind und die Forstbetriebe wieder unter „normalen“ Nutzungsbedingungen planen und wirtschaften können.

Für die Waldbesitzenden, seien es der Staat, die Kommune oder Private, sind große Mengen von Schadholz zudem mit erheblichen Mindereinnahmen verbunden. So sind die Aufarbeitungskosten in geschädigten Beständen deutlich höher und die Holzqualitäten oftmals schlechter. Gleichzeitig fällt der Holzpreis vor allem nach größeren Schadereignissen deutlich. Holz muss dann zum

FW-I-5: Schadholz – Umfang nicht planmäßiger Nutzungen

Ungeplante Nutzungen durch Wurf-, Bruch- und Befallsholz bringen für die Forstwirtschaft viele Nachteile. Der Anteil nicht planmäßiger Nutzungen am Gesamtschlag stieg bis 2021 signifikant. Die Ursachen sind in den Jahren sehr unterschiedlich: Starke Winterstürme in den Jahren 1990, 1999, 2007, 2010 und 2015 führten zu großen Schadholzmengen. In den Jahren 2019 bis 2021 überwogen hingegen deutlich die Schäden durch Insekten.



Datenquelle: BMEL und StBA (Holzeinschlagsstatistik)

Teil längere Zeit gelagert werden, was zusätzliche Kosten verursacht. Auch die gesetzliche Pflicht zur Wiederaufforstung von Schadflächen im Wald bringt mitunter finanzielle Belastungen für die Forstbetriebe mit sich, denn es entstehen Mehrkosten für die zeitnahe Pflanzung und Waldpflege auf Flächen, auf denen sonst die natürliche Waldverjüngung eine preiswerte und naturnahe Option gewesen wäre. Eine verzögerte Wiederbewaldung führt durch die späteren Erntemöglichkeiten allerdings auch perspektivisch zu wirtschaftlichen Verlusten.

Der Anteil der nicht planmäßigen Nutzungen am Gesamteinschlag in den deutschen Wirtschaftswäldern durch Schadholzanfall ist in den letzten 30 Jahren signifikant gestiegen. Im Durchschnitt dieses Zeitraums betrug der Anteil rund 26 %, im Durchschnitt der Jahre 2019 bis 2021 mit 67,6 % mehr als das Doppelte. Der im Jahr 2020 erreichte Rekordwert von knapp 75 % übertraf den Wert von 66,4 % nach den Orkanen Vivian und Wiebke im Spätwinter 1990. Der von 2018 bis Ende September 2022 erfasste Kalamitätsholzanfall belief sich auf 245 Mio. Festmeter. In der Forstwirtschaft ist in den zurückliegenden Jahren zunehmend der Eindruck entstanden, dass die Phasen ohne relevante Einflüsse von nicht planmäßigen Nutzungen immer kürzer werden.

Noch bis zum Jahr 2018 wurden die extrem hohen Anteile nicht planmäßiger Nutzungen am gesamten Holzeinschlag im Wesentlichen durch Wurf- und Bruchholz, also in der Konsequenz von Stürmen, verursacht. So führten die bereits erwähnten Orkane Vivian und Wiebke im Spätwinter 1990 zur Notwendigkeit umfangreicher Aufarbeitungen im darauffolgenden Jahr 1991, und zwar in großen Teilen Deutschlands. Im Dezember 1999 verwüstete Lothar weite Bereiche Südwestdeutschlands. Im Januar 2007 zerstörte das Orkantief Kyrill insbesondere Wälder in Nordrhein-Westfalen, mit Schwerpunkt im Sauerland. Der Orkan Niklas Ende März 2015 hinterließ viele Schäden in Bayern, verursachte aber geringere Schadholzmengen als vergleichbare Orkane. Der Herbststurm Xavier brachte Anfang Oktober 2017 Schäden in noch voll belaubten Laubwäldern Brandenburgs, und die Sturmtiefs Burglind gleich nach dem Jahreswechsel 2017/2018 und Friederike Mitte Januar führten vor allem in den westlichen und südlichen Wäldern Deutschlands zu Baumbrüchen. Diese Ereignisse ließen das Schadholzaufkommen in der Statistik des Jahres 2018 steigen.

Ab dem Jahr 2019 veränderte sich die Situation dahingehend, dass Schadinsekten für den deutlich überwiegenden Teil der Zwangsnutzungen verantwortlich waren. Im Nachgang des Extremjahrs 2003 (im Mittel der Jahre 2004 bis 2006) verursachten Insekten 63 % aller nicht



Viel Schadholz im Wald bindet umfangreiche Kapazitäten in der Forstwirtschaft und behindert die planmäßige Nutzung. (Foto: © Alexander / stock.adobe.com)

planmäßigen Nutzungen, nach 2018 waren dies 74 % (im Mittel der Jahre 2019 bis 2021). Die Bedeutung biotischer Schaderreger im Schädgeschehen bedarf damit heute einer anderen Bewertung (siehe Indikatoren FW-I-6, Seite 182, und FW-I-7, Seite 183).

Bei der Interpretation von Daten zum Wurf-, Bruch- und Befallsholz ist zu berücksichtigen, dass diese in der Regel keinen vollständigen Überblick über die tatsächlich entstandenen Schäden ermöglichen. Nicht in allen Bundesländern werden neben den Daten zum Staatswald auch Informationen zum Privat- und Körperschaftswald erhoben und übermittelt. Der Schwerpunkt der Erfassung liegt außerdem bislang noch auf den Winterstürmen. Neben den Auswirkungen des Klimawandels können zusätzlich andere Trends die Entwicklung der Zeitreihe stark beeinflussen. Die Altersstruktur der deutschen Wälder tendiert zu höherem Bestandsalter. Ältere und damit höhere Bäume sind aber stärker sturmwurfgefährdet als jüngere, und mit zunehmendem Holzvorrat steigt auch die Schadholzmenge. Letzteres führt auch dazu, dass je nach Örtlichkeit der Kalamität die Schäden unterschiedlich hoch ausfallen können. So werden beispielsweise Stürme in Regionen mit eher locker bestockten Kiefernforsten, die auf den sandigen Böden Brandenburg oder Mecklenburg-Vorpommerns weit verbreitet sind, zu geringeren Schadholzmengen führen als Stürme oder auch Schaderregerbefall in den vorratsreichen Wäldern der Mittelgebirge oder des Voralpenlandes.

Starke Borkenkäfervermehrung

Während viele Bäume durch die projizierten Klimaveränderungen, insbesondere die zunehmende Sommer-trockenheit, an Vitalität verlieren, können wärmeliebende Insekten und Krankheitserreger von diesen Bedingungen profitieren. Für die Fichte werden insbesondere die rindenbrütenden Borkenkäfer wie Buchdrucker und Kupferstecher zum Problem. Aber auch andere Schaderreger werden in ihrer Entwicklung vom Klimawandel begünstigt: Für die Nadelbäume spielen vermehrt auch Schäden durch die Tannentrieblaus und durch Pilze eine Rolle. Bei den Laubbäumen sind es unter anderem der Maikäfer, der Eichenprozessions- und Schwammspinner sowie der Eichenprachtkäfer, die Miniermotte an Rosskastanien sowie der Kleine Buchenborkenkäfer und der Buchenprachtkäfer an der Buche, deren vermehrtes Auftreten mit der zunehmend warmen und sommertrockenen Witterung in Zusammenhang gebracht wird.

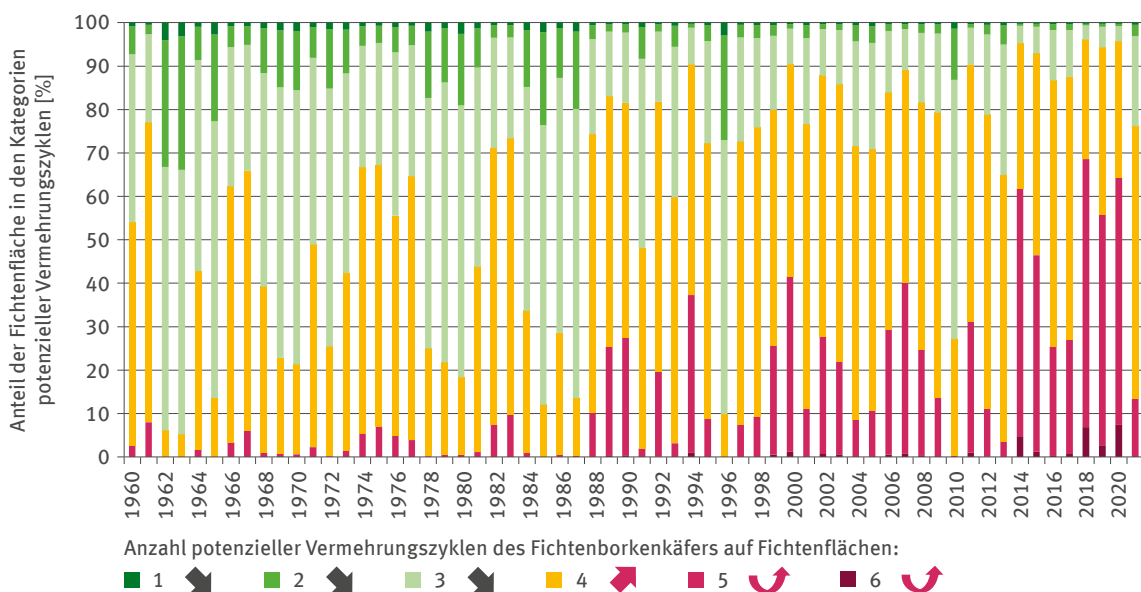
Bei der Fichte nehmen Borkenkäferschäden inzwischen ein so verheerendes Ausmaß an, weil die Baumart heute großflächig auf Standorten stockt, die mit den Klima-veränderungen die bevorzugten kühlen und feuchten

Bedingungen nicht mehr bieten. Diese Problematik hat ihren Ursprung bereits vor über 200 Jahren, als mit der gezielten Ausweitung des Fichtenanbaus in deutschen Wäldern begonnen wurde. Die Wälder waren damals vielerorts durch Waldweide und intensive Holznutzung in einem schlechten, stark aufgelichteten Zustand. Die Fichte galt aufgrund ihrer anspruchslosigkeit, Robustheit und leichten Vermehrbarkeit als ideale Baumart, um Flächen rasch wieder zu bewalden. Das gut und vielseitig verwertbare Holz galt als geeignet, um die befürchtete Holznot zu überwinden. Allerdings ist die Fichte durch ihr meist flaches Wurzelsystem sturm- und trockenheits-empfindlich. Früh zeigte sich daher, dass Fichtenreinbestände ein hohes Anbaurisiko aufweisen. Schon Ende des 19. Jahrhunderts kam es infolge von Schädlingsbefall oder Sturmereignissen immer wieder zu einer Zerstörung lokaler Bestände. Allerdings machten erst die großflächigen Sturmereignisse der letzten Jahrzehnte und nun neuerdings die massiven Folgen von Hitze und Trockenheit das Ausmaß der Anfälligkeit der Fichte unübersehbar (siehe Indikator FW-I-4, Seite 179).



FW-I-6: Gefährdete Fichtenbestände

Die Gefährdung der Fichte durch rindenbrütende Borkenkäfer ist vor allem in und nach heißen und trockenen Jahren gravierend und kann zum Zusammenbrechen ganzer Bestände führen. Borkenkäfer profitieren von mehr Wärme und können bei ausreichendem Brutholz unter diesen Bedingungen bis zu sechs Generationen pro Jahr hervorbringen. Bei extrem hohem Schädlingsdruck können auch gesunde, vitale Bäume abgetötet werden.



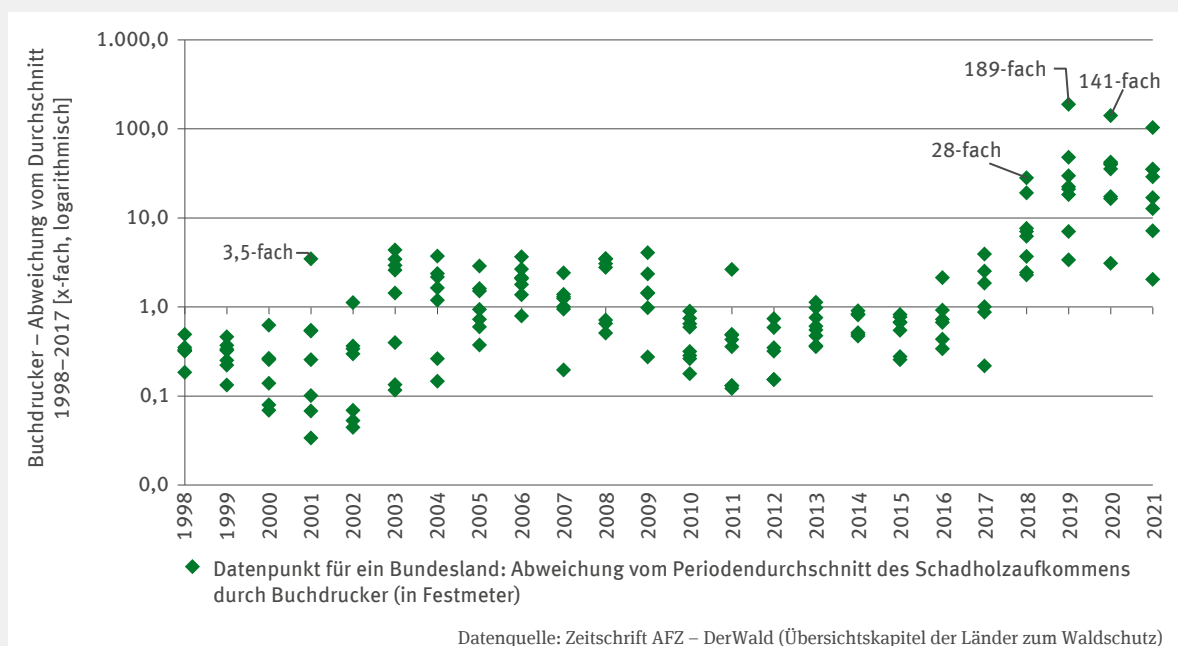
Auch wenn der Klimawandel nicht die einzige Ursache für vermehrten Schädlingsbefall ist, wird beispielsweise im Falle des Buchdruckers davon ausgegangen, dass mit höheren Temperaturen das Schwärmen der Käfer früher im Jahr erfolgt und infolgedessen zusätzliche Käfergenerationen ausgebildet werden können. Aus Daten zum Temperaturverlauf lässt sich die potenzielle Anzahl von Vermehrungszyklen des Fichtenborkenkäfers innerhalb eines Jahres berechnen. Normalerweise bildet der Buchdrucker zwei Generationen pro Sommer aus, wobei ein Weibchen bis zu 80 Eier legen kann. Unter optimalen Bedingungen sind jedoch mehr Generationen sowie Geschwisterbruten möglich. Mit jeder neuen Brut steigen die Zahl der Individuen und damit das Schadenspotenzial exponentiell. In Jahren wie 2018 kann ein Käferweibchen eine sechsstellige Anzahl von Nachkommen erzeugen¹¹⁷. Die Fichtenfläche, auf der infolge der veränderten Witterungsverhältnisse vier und mehr Vermehrungszyklen des Borkenkäfers pro Jahr möglich sind, ist signifikant angestiegen. Die forstwirtschaftlichen Risiken für Schaderregerbefall sind damit deutlich gestiegen. Dieses gestiegene Risiko spiegelt sich auch in Daten, die von acht Bundesländern zum Schadholzaufkommen speziell durch Borkenkäfer erhoben werden.

Diese Daten zeigen, dass der Käferbefall infolge des Hitze- und Trockenjahrs 2003 in nahezu allen der betrachteten Bundesländer sprunghaft angestiegen ist. Die Nachwirkungen hielten in den Folgejahren an, noch einmal verstärkt durch den ebenfalls sehr warmen und trockenen Sommer 2006. Im Jahr 2007 hat sich aufgrund des eher verregneten Monats Mai und eines kalten Septembers die Borkenkäferpopulation weniger stark entwickelt. Erst ab dem Jahr 2010 wurde in etwa wieder das Niveau des Schadholzaufkommens von vor dem Hitzesommer 2003 erreicht. Nach dem warmen Sommer 2015 stieg die Schadholzmenge zunächst wieder leicht an und explodierte dann infolge der Dürrejahre 2018 bis 2020. Im Vergleich zum Periodendurchschnitt 1998 bis 2017 ergab sich eine bis zu 189-fache Abweichung des Schadholzaufkommens. In allen acht berichtenden Bundesländern war das Schadholzaufkommen um ein Vielfaches erhöht.

Ablesbar sind in der Zeitreihe auch die Folgen extremer Sturmjahre (wie nach Lothar 1999 und Kyrill 2007), die in der Regel vermehrten Käferbefall an geschädigten oder umgeworfenen Bäumen nach sich ziehen. Die jüngsten Entwicklungen stellen diese Ereignisse aber in den Schatten.

FW-I-7: Schadholzaufkommen durch Buchdrucker – Fallstudie

Der Buchdrucker profitiert von trocken-heißer Witterung und befällt bevorzugt bereits vorgeschädigte oder geschwächte Bäume. Befallsdaten aus acht Bundesländern machen deutlich, dass das Schadholzaufkommen in der Folge von Hitze- und Trockenjahren sowie Sturmereignissen erhöht ist. Nach den Dürrejahren 2018 bis 2020 war das Käferholzaufkommen um bis zu 189 Mal so hoch wie im langjährigen Durchschnitt 1998–2017.



Waldbrandgefahr steigt, Waldbrände nehmen wieder zu

Gegenüber Schäden durch Sturmwurf, Bruch und Schädlinge spielten jene durch Waldbrände in den meisten Regionen Deutschlands bislang eine eher untergeordnete Rolle. In Brandenburg sowie den klimatisch stärker kontinental geprägten Regionen Mecklenburg-Vorpommerns, Sachsens, Sachsen-Anhalts und Niedersachsens, die zu den klassischen Anbaugebieten der Kiefer gehören und vor allem bei längeren sommerlichen Trockenperioden zu hoher Brandgefährdung neigen können, sind Waldbrände allerdings relevante Gefährdungsfaktoren. Mit den vermehrten Waldbränden in den besonders trockenen und heißen Jahren 2018 und 2019 hat die Waldbrandgefahr wieder größere Aufmerksamkeit erlangt.

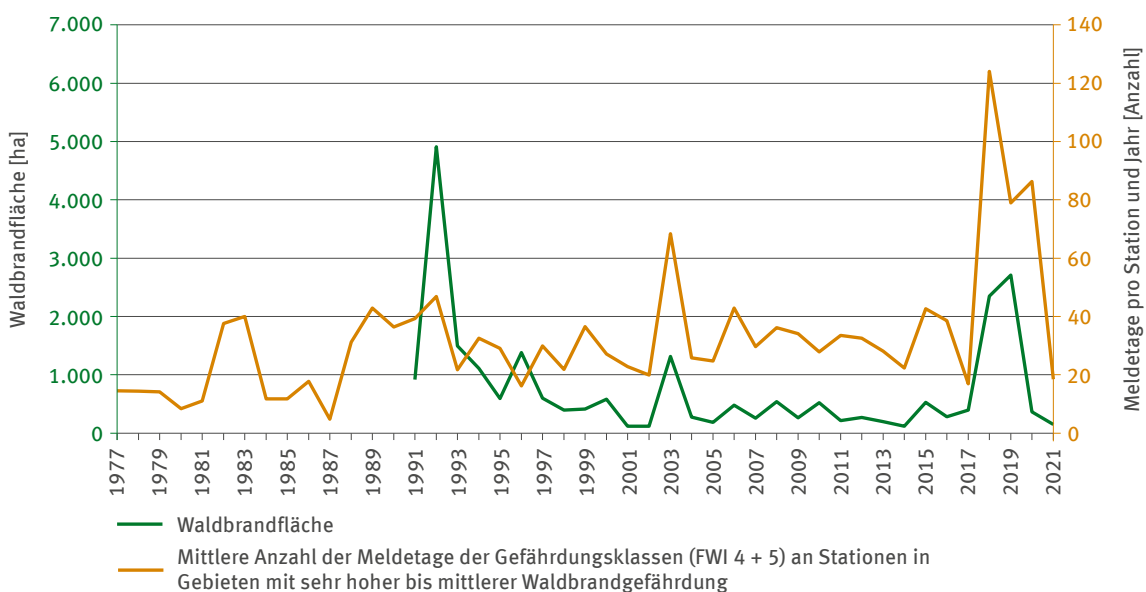
Für die Entstehung von Waldbränden sind zahlreiche Faktoren verantwortlich. Wichtige Zündursachen sind vor allem fahrlässiges Handeln und Brandstiftung. Ob es nach erfolgter Anfangszündung zu einem Waldbrand kommt, hängt im Wesentlichen von der Menge trockenen, brennbaren Materials und damit von der Witterung und Bestandsstruktur ab. Für die Feuerausbreitung sind dagegen die Windgeschwindigkeit sowie

die Feuerüberwachungs- und Feuerlöschkapazitäten entscheidend, also die Zeitdauer bis zur ersten Bekämpfung und deren Intensität. Mit Ausnahme der Witterung verändern sich alle genannten Ursachenfaktoren in der Regel eher kontinuierlich. Kommt es dagegen in einzelnen Jahren zu sprunghaften Veränderungen, wie im Jahr 2003 und zuletzt in den Jahren 2018 und 2019, in denen es besonders häufig auch großflächig zu Waldbränden kam, dann lässt sich das insbesondere auf extreme Witterungsverhältnisse mit starker Trockenheit in den Frühjahrs-, Sommer- und Herbstmonaten und großer Hitze zurückführen. In Kombination mit starken, trockenen Winden breiten sich diese Flächenbrände besonders schnell aus.

Bis zum Jahr 2017 nahmen in Deutschland gemäß der bundesweiten Waldbrandstatistik sowohl die Anzahl der Waldbrände als auch die von Bränden betroffene Fläche signifikant ab. Die Tatsache, dass die Brandfläche stärker zurückging als die Anzahl der Brände, deutete darauf hin, dass es zunehmend besser gelang, Waldbrände bereits in einem frühen Stadium zu erkennen und

FW-I-8: Waldbrandgefährdung und Waldbrand

Zwischen 1991 und 2017 haben die Flächen von Waldbränden signifikant abgenommen. Die witterungsbedingte Waldbrandgefährdung ist in diesem Zeitraum hingegen gleichgeblieben, in einzelnen Gebieten aber auch gestiegen. In 2018 und 2019 schlug sich die extrem trocken-heiße Witterung aber deutlich im Waldbrandgeschehen nieder. Es kam zu deutlich mehr Waldbränden und in den nordöstlichen Bundesländern auch zu Großflächenbränden.



Datenquelle: BLE (Waldbrandstatistik der Bundesrepublik Deutschland), DWD (regionalisierter kanadischer FWI)

erfolgreich einzudämmen. In der Tat haben die Bundesländer in den zurückliegenden Jahren mit finanzieller Unterstützung der EU in erheblichem Umfang in die Waldbrandverhütung und Verbesserung der Infrastruktur zur Früherkennung und Bekämpfung von Waldbränden investiert. So sind beispielsweise die alten Feuerwachtürme in den besonders waldbrandgefährdeten östlichen Bundesländern und im waldbrandgefährdeten Osten Niedersachsens durch digitale und funkgesteuerte optische Sensoren ersetzt worden, die eine unmittelbare Informationsweiterleitung an die Waldbrandzentralen ermöglichen. Ferner wurden klassische Vorsorgemaßnahmen wie die Anlage von Wundstreifen und Wasserentnahmestellen weiter vorangetrieben sowie die Information der Öffentlichkeit verbessert. Letztere ist nicht nur mit Blick auf fahrlässiges Handeln von Bedeutung, sondern unterstützt auch die Bereitschaft von Erholungssuchenden im Wald, im Brandfall frühzeitig (in der Regel über das eigene Mobiltelefon) die Feuerwehr zu alarmieren und damit ein schnelles Eingreifen zu ermöglichen.

Mit der zunehmenden Erderwärmung steigt die Waldbrandgefahr, denn in den kritischen Monaten wird es wärmer und trockener. Die witterungsbedingte Waldbrandgefährdung wird in Deutschland mit einem Indexwert ausgedrückt. Je höher dieser Wert auf der 5-stufigen Skala ist, desto höher ist die Waldbrandgefährdung. Die Zeitreihe zur Anzahl jener Tage, für die in den letzten Jahren hohe Indexwerte der Stufen 4 und 5 gemeldet wurden, zeigt signifikant steigende Werte. Im besonders heißen und trockenen Jahr 2018 wurden für Gebiete, die generell stark waldbrandgefährdet sind, an durchschnittlich 124 Tagen die Gefahrenstufen 4 und 5 gemeldet.

Nachdem in den 1990er-Jahren die Waldbrandprävention und -bekämpfung in den östlichen Bundesländern umstrukturiert wurde, bestehen fortentwickelte und gut funktionierende Strukturen, sodass im Beobachtungszeitraum bis 2017 deutlich geringere Schäden durch Waldbrand zu beklagen waren. In den trockenen Jahren 2003, 2006, 2015 und 2016 wurde aber mit einer höheren Waldbrandgefährdung auch eine im Vergleich zu feuchten Jahren größere Waldbrandfläche beobachtet. Im extrem trockenen Jahr 2018 sind bei bundesweit 1.708 Waldbränden insgesamt 2.349 ha Wald abgebrannt oder stark beschädigt worden. In Brandenburg war die Waldbrandsaison mit 512 Waldbränden und 1.674 ha Fläche besonders katastrophal. Die größte Brandfläche entstand mit 573,72 ha um die Stadt Jüterbog; am stärksten war hier der Privatwald betroffen. Die höchste mediale Aufmerksamkeit erreichte ein Waldbrand bei Treuenbrietzen im August, der sich angetrieben durch böige Winde und Löscharbeiten wegen der im Boden verbliebenen



Bei der trocken-heißen Witterung in 2018 und 2019 kam es vermehrt zu Waldbränden. (Foto: © Rico Löb / stock.adobe.com)

Weltkriegsmunition schnell auf 300 ha ausbreitete. Mehrere Dörfer mussten evakuiert werden. Auch die Zahl der Waldbrände und die davon betroffene Fläche im Bundeswald hat sich 2018 gegenüber dem letzten eher heißen Sommer 2016 nahezu verdoppelt.

Im Jahr 2019 war die Zahl der Brände mit 1.523 zwar etwas niedriger als im Vorjahr, aber es brannten 2.711 ha. Auch in diesem Jahr war der brandenburgische Staatswald mit 1.353 ha der Spitzenreiter. Zum größten Brand kam es Ende Juni auf dem ehemaligen Truppenübungsplatz Lübtheen in Mecklenburg-Vorpommern. Der Brand erreichte eine Ausdehnung von 944 ha. Der Landkreis Ludwigslust-Parchim rief den Katastrophenfall aus. Zeitweise waren mehr als 3.000 Einsatzkräfte aus mehreren Bundesländern im Einsatz. Mehrere angrenzende Dörfer mit insgesamt mehr als 700 Einwohnern wurden evakuiert. Auch auf dem Truppenübungsplatz Lübtheen erschwerten Munitionsaltlasten die Löscharbeiten.

Mit der Zunahme waldbrandbegünstigender Witterungsverhältnisse werden die Herausforderungen in der Waldbrandprävention und -bekämpfung eher zu- als abnehmen. Die kontinuierliche Verbesserung der Systeme sowie der Ausbildung und Organisation derjenigen, die die Brände bekämpfen, sind daher eine Daueraufgabe. Außerdem wird es vor dem Hintergrund der Erfahrungen unter anderem in Treuenbrietzen, Lieberose und Lübtheen immer vordringlicher, gezielt Kampfmittelräumungen vorzunehmen, um im Brandfall Löscheinsätze im erforderlichen Umfang zu ermöglichen.

Aktiver Waldumbau und Wiederbewaldung notwendig

Naturverjüngung gilt in der Regel als eine günstige und natürliche Form der Walderneuerung. Die forstlichen Eingriffe konzentrieren sich dabei oft auf die Entfernung hiebsreifer Einzelbäume und Baumgruppen aus dem Bestand. Dadurch entstehen Lücken, die ausreichen, um den Keimlingen aus Samen der umstehenden Bäume ausreichend Licht zum Aufwachsen zur Verfügung zu stellen. Im traditionellen naturnahen Waldbau wird zumeist ausschließlich mit dem Verfahren der Naturverjüngung gearbeitet.

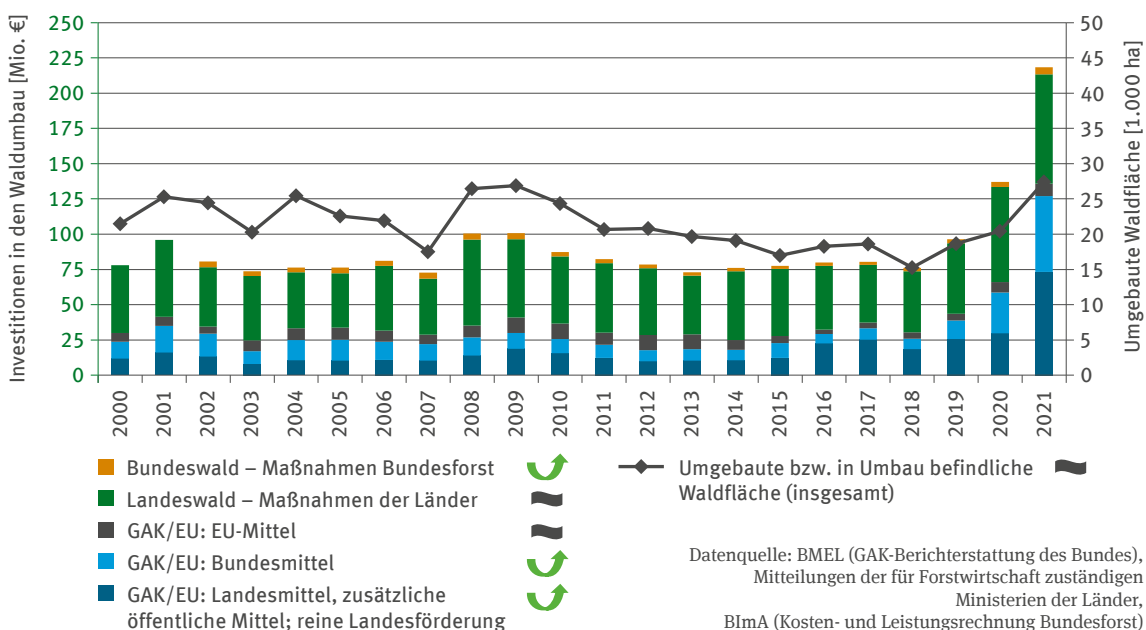
Die Anpassung der Wälder an die veränderten Klimabedingungen erfordert allerdings in vielen Fällen einen Umbau des existierenden Bestands. Naturverjüngung führt nicht immer zu einem Baumartenwechsel, vor allem wenn keine Samenbäume von geeigneten Baumarten in der Umgebung zu finden sind oder der Verbiß zu stark ist. Ausnahmen bilden höchstens Aufwüchse aus natürlichem Samenanflug mit sehr leichten Samen von beispielsweise Kiefern, Birke oder Pappeln, die auch aus größerer Entfernung in einen Bestand eingeweht werden können und durch Hähersaat oder Eichhörnchen verbreitete Eichen und Buchen.

Um nicht standortgerechte Nadelholzbestände in Mischwäldern umzubauen oder auch gezielt wärmetolerantere Arten oder Herkünfte in Bestände einzubringen, sind Verfahren der künstlichen Verjüngung zwingend erforderlich. Dabei werden die gewünschten Baumarten durch Saat oder Pflanzung in die Bestände eingebracht und – wenn es aufgrund eines zu hohen Wildeinflusses notwendig ist – durch Schutzmaßnahmen in ihrem Aufwuchs gesichert. Auf diesem Wege können auch gezielte Ergänzungen der spontanen Naturverjüngung vorgenommen werden.

Nach der verheerenden Dürre in 2018 bis 2020 sind rund 285.000 ha¹¹⁸ Fläche wiederzuwalden; bis 2023 ist durch die Folgewirkung mit einer noch größeren Fläche von bis zu 540.000 ha zu rechnen. Eine natürliche Sukzession auf allen Flächen ist wenig wahrscheinlich, und es muss mit Pflanzungen und Saat eine neue Bestockung begründet werden. Auf Kalamitätsflächen sind oft zusätzlich Räumungen erforderlich, um die Flächen angemessen für die Pflanzung vorzubereiten. Es ist zu prüfen, ob Naturverjüngung (beispielsweise der vorherigen nicht standortgerechten Waldgeneration) als unerwünscht zu entfernen ist.

FW-R-1: Förderung des Waldumbaus

Der Waldumbau im Staats-, Körperschafts- und Privatwald wird über Förderungen mit EU-, Bundes- und Landesmitteln sowie aus Haushaltsmitteln finanziert vorangetrieben. Infolge der verheerenden Auswirkungen der Dürrejahre 2018 bis 2020 haben vor allem der Bund und die Länder in erheblichem Umfang zusätzliche Mittel bereitgestellt, um den Waldumbau zu beschleunigen und die Wiederbewaldung der Kalamitätsflächen zu ermöglichen.



Allerdings hat Naturverjüngung im Vergleich zur Pflanzung durch die ungebrochene Wurzelentwicklung und die mögliche epigenetische Anpassung bessere Startbedingungen.

Der Waldumbau ist als Ziel und zu fördernde Maßnahme inzwischen in den forstlichen Strategien und Programmen auf Bundes- und Landesebene verankert. Von der EU sowie von Bund und Ländern werden entsprechend finanzielle Mittel für den Waldumbau im Privat- und Körperschaftswald sowie im Staatswald bereitgestellt. Zusätzlich gibt es nun auch für die Wiederbewaldung der Kalamitätsflächen umfangreiche Mittel. Die Finanzierungsmechanismen sind in den einzelnen Bundesländern verschieden. Für den Privat- und Körperschaftswald bildeten bisher die aus GAK und ELER bereitgestellten Fördermittel den deutlich überwiegenden Teil der Förderaktivitäten ab. Dabei werden die EU-, Bundes- und Landesmittel von den einzelnen Bundesländern unterschiedlich kombiniert. Zusätzlich unterstützen einige Länder im Rahmen spezifischer Programme Waldumbaumaßnahmen mit alleinigen Landesmitteln. Ende 2018 wurde in der GAK ein neuer Fördertatbestand „Förderung von Maßnahmen zur Bewältigung der durch Extremwetterereignisse verursachten Folgen im Wald“ beschlossen und auch von Bundesseite mit zusätzlichen Mitteln ausgestattet. Vor allem ab 2020 flossen darüber in mehreren Ländern umfangreiche zusätzliche Mittel in den Privat- und Körperschaftswald. Für private und kommunale Waldbesitzende wurde außerdem 2022 das Förderprogramm „Klimaangepasstes Waldmanagement“ des BMEL etabliert und aus dem KTF bis 2026 mit 900 Mio. Euro ausgestattet, um den beschleunigten Aufbau stabiler und klimaresilienter Wälder zu fördern. Die Förderung ist mit Auflagen verbunden. So ist Vorausverjüngung Pflicht. Naturverjüngung hat Vorrang vor Pflanzung. Es müssen überwiegend standortheimische Baumarten verwendet oder gefördert werden. Die Baumartendiversität ist zu erhöhen und mehr Totholz und Habitatbäume sind vorzusehen. Außerdem sind Maßnahmen zum Bodenschutz und zur Wasserrückhaltung verpflichtend. Bis zum Jahresende 2022 standen 200 Mio. Euro bereit. Diese sind in der 2021 endenden Indikator-Zeitreihe noch nicht berücksichtigt. Beim Privatwald ist zudem zu beachten, dass viele Waldbesitzende Waldumbaumaßnahmen durchführen, für die sie keine Förderung beantragen. Der Umfang umgebauter Fläche wird hier also größer sein, als es die Förderflächen nahelegen.

Im Landeswald erfolgt der Waldumbau nahezu ausschließlich im Rahmen der „normalen“ forstwirtschaftlichen Bewirtschaftung, die überwiegend aus Haushaltsmitteln finanziert ist. Aktive Umbaumaßnahmen, die für den Indikator berücksichtigt werden, dienen in der Regel dem Ziel, standortgerechte Baumarten zu etablieren und eine größere



Der Handlungsdruck bei Waldumbau und Wiederbewaldung ist enorm. (Foto: © mitifoto / stock.adobe.com)

Baumartenmischung herbeizuführen. Neben der Wiederaufforstung kommt es auch zur Ergänzung der Naturverjüngung in jungen Beständen sowie zum Vor- und Unterbau. Beim Voranbau werden unter einem noch stockenden, in der Regel einschichtigen Hauptbestand neue Zielbaumarten gepflanzt oder eingesät, die nach Ernte des bestehenden Bestands in den neuen Hauptbestand übernommen werden. In einigen Ländern wurden als Reaktion auf den hohen Wiederbewaldungsbedarf zusätzliche Mittelbereitstellungen für den Staatswald auf den Weg gebracht.

Der bundeseigene Wald umfasst in Deutschland nur 4% der Waldfläche. Es handelt sich im Wesentlichen um Wald auf (ehemaligen) Truppenübungsplätzen sowie entlang von Bundeswasserstraßen und Autobahnen, der von der Bundesanstalt für Immobilienaufgaben (BImA) / Sparte Bundesforst betreut wird. Auch im Bundeswald werden nicht standortgerechte Bestände in stabile und naturnähere Wälder umgebaut. 2021 wurde die Mittel hierfür gegenüber den drei Vorjahren mehr als verdoppelt, bewegte sich aber in der gleichen Größenordnung wie 2017. Gemessen am Anteil des Landeswalds von 29% an der Waldfläche in Deutschland war der Anteil der in den Umbau des Landeswalds fließenden Mittel am bundesweiten Mitteleinsatz von 2011 bis 2020 mit knapp 57% überproportional hoch. Der Anteil der Mittel zum Umbau der Privat- und Körperschaftswälder mit rund 67% der Waldfläche war demgegenüber mit durchschnittlich 40% geringer. Mit dem zusätzlichen GAK-Fördertatbestand hat sich dieses Verhältnis ab 2020 umgekehrt. In die Privat- und Körperschaftswälder flossen in 2020 62% der Mittel.

Genetische Vielfalt erhöht die Anpassungsfähigkeit

Der Waldumbau hat zum Ziel, gemischte und klimastabile Bestockungen aufzubauen. Dabei gilt es, möglichst resiliente heimische Baumarten zu fördern, aber auch beim aktiven Waldumbau möglichst standortangepasste Herkünfte zu etablieren. Wesentlich für die Anpassung an die heutigen und künftigen Standortbedingungen ist die innerartliche genetische Variation. Dies gilt insbesondere für ortsfeste, langlebige Organismen wie Bäume. Genetische Vielfalt entsteht im Zuge molekularbiologischer und populationsgenetischer Prozesse. Im Ergebnis von Anpassungsprozessen an lokale Umweltbedingungen entstehen Populationen mit einer charakteristischen genetischen Zusammensetzung, die sich von anderen Populationen der gleichen Art abgrenzen. Der Verlust an genetischer Vielfalt ist ein wichtiger Indikator für den Verlust der Anpassungsfähigkeit von Populationen.

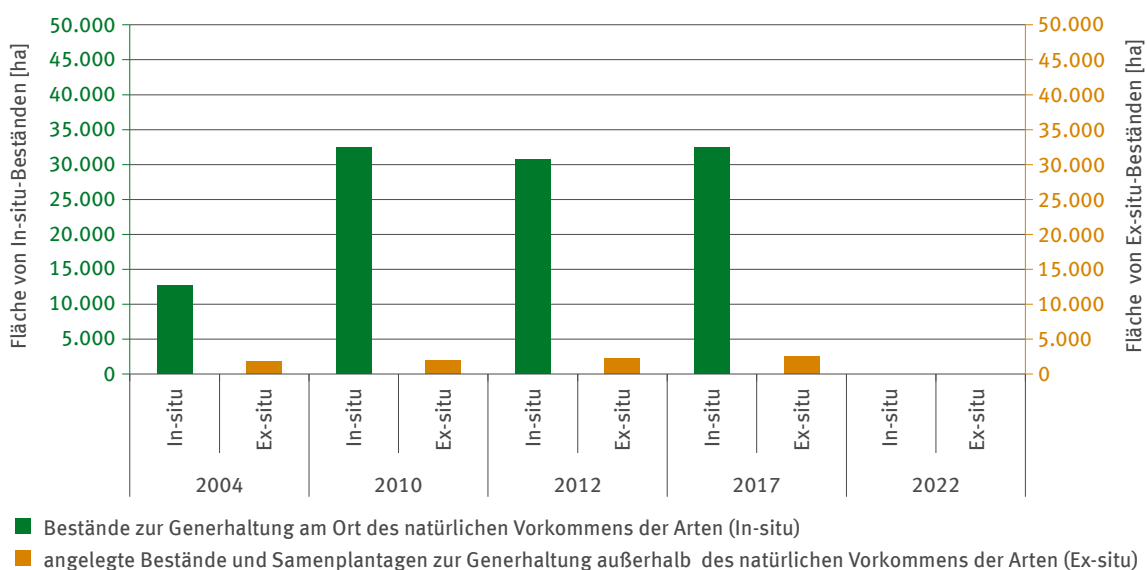
Der fortschreitende Klimawandel mit extremen Witterungsereignissen und deren Folgewirkungen erhöht den Selektionsdruck auf Waldbestände. Nur genetisch anpassungsfähige Baumindividuen können innerhalb größerer Populationen überleben, wachsen und sich fortpflanzen.

Angesichts der Vielzahl der Wechselwirkungen und der Dynamik der Einzelfaktoren lässt sich nicht vorhersagen, welche Individuen oder Populationen das sein werden. Die Lösung dieses Dilemmas besteht in der Aufrechterhaltung einer hinreichend großen Anzahl und Vielfalt potenziell anpassungsfähiger Individuen. Daher stehen die Beobachtung und Erhaltung der genetischen Vielfalt und des genetischen Systems im Fokus von Maßnahmen zur Erhaltung genetischer Ressourcen. Von besonderer Bedeutung ist die weitergehende Erfassung verschiedener räumlicher Vorkommen von vitalen, angepassten und potenziell anpassungsfähigen Baum- und Strauchpopulationen einer Vielzahl von Arten in Deutschland.

Die Maßnahmen zur Erhaltung forstlicher Genressourcen können in In-situ- und Ex-situ-Maßnahmen eingeteilt werden. In-situ-Maßnahmen haben zum Ziel, die jeweiligen genetischen Ressourcen (Generhaltungsobjekte) am Ort ihres Vorkommens unter den jeweils herrschenden Umweltbedingungen dynamisch zu erhalten. Die Sicherung und Verbreitung ihrer genetischen Informationen in die nächste Baumgeneration erfolgen über die natürliche

FW-R-2: Erhaltung forstgenetischer Ressourcen

Die In-situ- und Ex-situ-Erhaltungsbestände konnten bis zum Jahr 2017 ausgeweitet werden. Die Daten der letzten Erhebung stehen noch nicht zur Verfügung. Die Erhaltungsbestände stellen sicher, dass die genetische Vielfalt bei den häufigen und seltenen Baumarten gesichert werden kann. Damit werden grundlegende Voraussetzungen für die Bewahrung der Anpassungsfähigkeit der Wälder geschaffen.



Datenquelle: BLE (Generhaltungsobjekte: GENRES (Informationssystem genetische Ressourcen), FGRDEU-Online (Nationales Inventar forstgenetischer Ressourcen))

und künstliche Verjüngung. Besonders gefährdete Arten oder Varianten werden ex situ in speziell angelegten Archiven, teilweise in Samenplantagen, erhalten. Ex-situ-Maßnahmen sind statische Maßnahmen zur Sicherung der aktuellen Ausprägung der genetischen Vielfalt. Darunter fallen Maßnahmen zur langfristigen Einlagerung von Saatgut, Pollen, Pflanzen oder Pflanzenteilen unter kontrollierten Bedingungen als Träger genetischer Informationen. Diese Erhaltungsstrategien haben unterschiedlich hohe Anforderungen hinsichtlich Flächenbedarf, Anlagekosten, Nutzung und Beobachtung, sodass die finanziell aufwändige Ex-situ-Erhaltung weniger Anwendung findet als die In-situ-Erhaltung. Samenplantagen dienen gleichzeitig der Produktion genetisch vielfältigen Saatguts als Grundlage für einen klimaangepassten Waldaufbau und -umbau.

In Deutschland liegt die Verantwortung für Generhaltungsmaßnahmen bei den Ländern. Deren Konzepte zur Erhaltung forstlicher Genressourcen bilden den Rahmen für notwendige Generhaltungsmaßnahmen. Auf Bundesebene werden die Informationen über die Generhaltungsobjekte in einem Nationalen Inventar forstgenetischer Ressourcen (FGRDEU) zusammengeführt. Die Daten werden im mehrjährigen Turnus aktualisiert und ergänzt.

Eine einfache Interpretation der sich ändernden Anzahl und Flächengröße der Generhaltungsobjekte ist nicht möglich, denn für die genetische Anpassungsfähigkeit an die Klimaveränderung sind zahlreiche Faktoren ausschlaggebend. Die Anzahl der Generhaltungsobjekte je Baumart und die Größe der Erhaltungsflächen dienen lediglich der Orientierung. Die Interpretation dieser Daten erfordert forstwirtschaftliche Detailkenntnisse und die Anwendung spezieller Indikatoren (zum Beispiel Erhaltungsfähigkeit, Ökologischer Erhaltungsindex). So verrät die Anzahl der Generhaltungsobjekte nichts über die Größe der Population. Die Angabe der Anzahl von „In-situ-Erhaltungbeständen“ für seltene und Neben-Baumarten überschätzt angesichts geringer Populationsgrößen oder Individuenzahlen den Erhaltungszustand. Auch genetische Inventuren, die den Grundsätzen des forstlichen Monitorings genügen, stehen erst am Anfang. Von einem eindimensionalen „je mehr Generhaltungsobjekte, desto besser“ kann somit nicht ausgegangen werden, denn für jede Baumart gibt es einen sinnvollen Umfang von Generhaltungsbeständen, über den hinaus eine Steigerung der Fläche oder des Umfangs der Einlagerung von Generhaltungsobjekten keine weitere Verbesserung der Absicherung bringt.

Insgesamt gab es bei der Erhaltung forstgenetischer Ressourcen deutliche Fortschritte: Die Ausweisungskriterien für Generhaltungsobjekte sind nun bundesweit einheitlich, es werden zunehmend genetische Marker zur



Samenplantagen dienen der Generhaltung, die wichtige Grundlage für den Waldaufbau ist. (Foto: © Andreas Meier-Dinkel)

Charakterisierung forstgenetischer Ressourcen angewendet und bundesweite Pilot-Monitoringprogramme für populationsgenetische Fragestellungen sind etabliert. Diese Entwicklungen bieten eine weitere Grundlage für die Bewertung der genetischen Anpassungsfähigkeit von Gehölzen unter den Bedingungen des Klimawandels.

In Deutschland haben die Flächen der In-situ- und Ex-situ-Generhaltungsobjekte bis 2017 zugenommen. Lediglich die Fläche der In-situ-Bestände nahm zwischen 2010 und 2012 geringfügig ab. Bei den häufigeren Waldbaumarten, für die das Forstvermehrungsgutgesetz (FoVG) Erzeugung, Inverkehrbringen sowie Ein- und Ausfuhr von Forstvermehrungsgut regelt, stieg die Fläche der In-situ-Bestände von 2004 bis 2017 von 12.681 auf 32.405 ha. Die Daten der letzten Erfassung mit Stichtag 31.12.2022 lagen bis zur Berichtslegung des Monitoringbericht noch nicht vor, sodass die Zeitreihe nicht fortgeführt werden konnte. Seltene und gefährdete Baumarten unterliegen nicht dem FoVG. Ihnen kommt als Alternativbaumarten im Klimawandel eine größere Rolle zu. Flaum-Eiche, Elsbeere, Speierling, Wild-Apfel, Wild-Birne, Eibe, Feld-Ahorn, Grün-Erle, Grau-Erle und Gemeine Trauben-Kirsche werden systematisch und einheitlich erfasst. Untersucht werden Lage, Populationsgröße, Vitalitätszustand und Altersstruktur der Vorkommen. Bis 2017 wurden die gemeldeten In-situ-Bestände auf rund 4.560 ha ausgeweitet. Auch die Flächen der angelegten Bestände und Samenplantagen zur Generhaltung (ex situ) nahmen von 2004 bis 2017 von 1.777 ha auf bis zu 2.470 ha zu. Aktuelle Daten wird auch hier der nächste Monitoringbericht präsentieren.

Humus – wichtiger Wasser- und Nährstoffspeicher

Neben der Steuerung der Baumartenzusammensetzung (siehe Indikator FW-R-1, Seite 186) und der Auswahl geeigneter Herkünfte (siehe Indikator FW-R-2, Seite 188) haben Forstleute weitere Möglichkeiten, die Anpassungsfähigkeit der Wälder an die sich verändernden Klimabedingungen zu fördern. Die Humuspflge ist dabei ein wichtiger Schlüssel zur Schaffung günstiger Wuchsbedingungen und höherer Stabilität, denn der Humus beziehungsweise dessen wichtigster Bestandteil, der organische Kohlenstoff, sorgt für eine günstige Bodenstruktur und ist von großer Bedeutung für die Nährstoff- und Wasserversorgung der Waldbäume. Vor allem auf nährstoffarmen und eher trockenen Standorten können sich die Bedingungen für Waldbäume bei guter Humusversorgung deutlich verbessern. Allerdings hat die Witterung auch Einfluss auf die Aktivität der Bodenmikroorganismen. Wenn es bei ausreichender Wasserversorgung wärmer wird, kann dies Abbauprozesse von Humus beschleunigen.

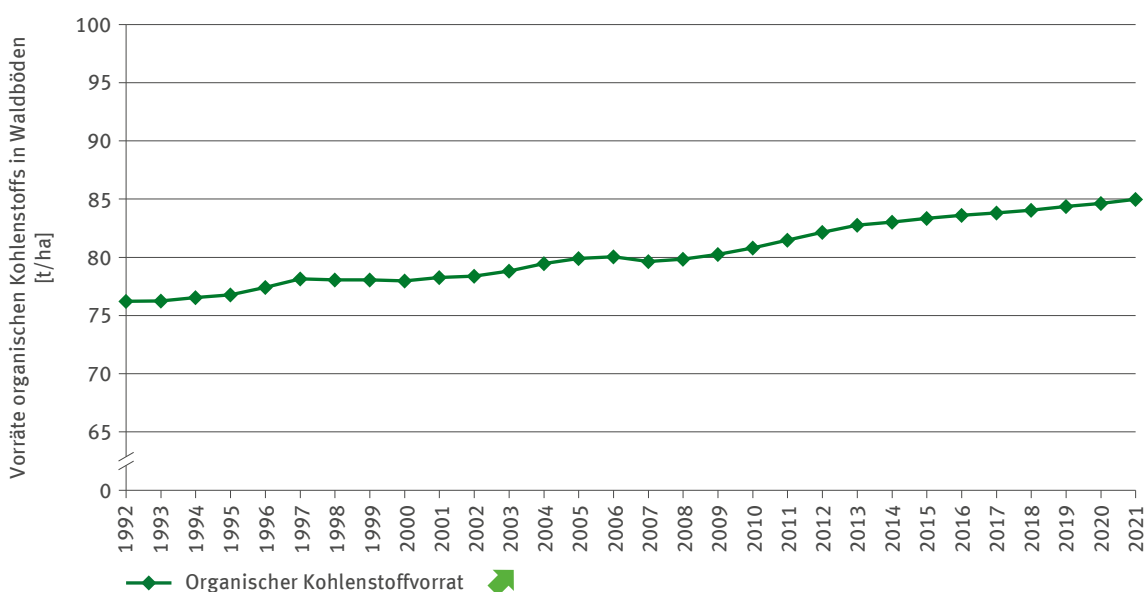
Neben der günstigen Beeinflussung der Anpassungsfähigkeit der Wälder sind ausreichende Humusvorräte

auch mit Blick auf den Klimaschutz erstrebenswert, denn Böden sind die größte terrestrische Senke für organischen Kohlenstoff, können gleichzeitig aber auch eine der wichtigsten natürlichen Quellen für CO₂ in der Atmosphäre sein. Nur der im Boden dauerhaft festgelegte Kohlenstoff gelangt nicht als klimarelevantes CO₂ in der Atmosphäre. Die Humuspflge ist daher sowohl eine Anpassungs- als auch eine Klimaschutzmaßnahme (siehe Indikator BO-R-1, Seite 140).

In Urwäldern ist die organische Substanz, die für die Humusbildung zur Verfügung steht, besonders hoch, da alle Bäume nach dem Absterben zersetzt werden und letztendlich die Humusvorräte aufbauen. Anders ist die Situation in Wirtschaftswäldern, denn mit der Holzernte sind Kohlenstoffverluste aus dem Wald verbunden. Zum einen wird durch den Eingriff der Waldboden gestört, wodurch es zum verstärkten Abbau von Humus kommen kann. Zum anderen werden mit dem Holz erhebliche Kohlenstoffmengen aus dem Wald abtransportiert; deren Umfang hängt in erheblichem Maße von den im Bestand verbliebenen Teilen der geernteten Bäume ab. Je mehr

FW-R-3: Humusvorrat in Waldböden

Hohe Gehalte organischen Kohlenstoffs in Waldböden fördern die Wasserspeicherkapazität und verbessern die Nährstoffversorgung. Sie erleichtern es den Bäumen damit auch, heiße und niederschlagsarme Perioden besser zu überstehen. Zwischen 1992 und 2021 sind die Humusvorräte in den deutschen Waldböden angestiegen. Damit ist aber nicht ausgeschlossen, dass es regional nicht auch zu Humusschwund gekommen ist.



Datenquelle: TI für Waldökosysteme (Auswertung auf der Basis von Daten der BZE Wald)

Blätter, Nadeln oder Äste am Schlagort im Wald verbleiben, desto mehr „Nachschub“ für die Bildung organischer Substanz gibt es. Dabei spielt auch eine Rolle, wie gut der Ernterücklass auf den Hiebsflächen verteilt wird. Mit der Zunahme der Energieholznutzung, gibt es allerdings einen vermehrten Anreiz auch zur Verwertung schwächerer Sortimenten und von Kronenmaterial. Diese Entwicklung wurde durch die im Zusammenhang mit dem Ukrainekrieg und der daraus resultierenden Energiekrise stark gestiegenen Holzpreise ab dem Jahr 2022 noch stärker angetrieben. Da – im Gegensatz zur Landwirtschaft – die technischen Möglichkeiten zu einem Ausgleich von Kohlenstoff- und Nährstoffausträgen im Wald jedoch sehr beschränkt sind, ist es letztendlich entscheidend, dass die Nutzungsintensität den standörtlichen Voraussetzungen bestmöglich angepasst wird. Nur so kann eine ausreichende Humusbildung sichergestellt werden.

Im Rahmen der Bodenzustandserhebung im Wald (BZE-Wald) werden bundesweit Erhebungen zu den Kohlenstoffvorräten in Waldböden durchgeführt. Diese Erhebungen erfolgen jedoch nur in größeren zeitlichen Abständen. Die erste BZE wurde im Zeitraum 1987–1993, die zweite zwischen 2006 und 2008 durchgeführt. Die dritte BZE startete 2022. Mit prozessbasierten Modellierungen, die auf der Grundlage der BZE-Daten für die Treibhausgasberichterstattung des Bundes entwickelt wurden, lassen sich auch jährliche Werte zu den mittleren Vorräten organischen Kohlenstoffs in den deutschen Waldböden ableiten.

Die Zeitreihe zeigt über die letzten vierzig Jahre hinweg einen signifikant steigenden Trend. Ob sich diese Veränderungen bereits auf eine zielgerichtete Humuswirtschaft im Wald zurückführen lassen, ist allerdings eher fraglich, denn der Trend kann von der Art der Bewirtschaftung wie Waldumbau- oder Kalkungsmaßnahmen überlagert werden. Des Weiteren können sich Einträge von Luftschadstoffen und die nach wie vor hohe Stickstoffdeposition auf die Vorratsentwicklung des Bodenkohlenstoffs im Wald auswirken.

Der organische Kohlenstoff in der Humusaufgabe unterliegt vergleichsweise schnellen Auf- und Abbauprozessen und ist somit besonders stark äußeren Einflüssen ausgesetzt. Außerdem schwanken die Humusvorräte kleinräumig sehr stark, was die Interpretation von Änderungsraten erschweren kann. Der hier dargestellte Indikator bildet Änderungen von organischen Kohlenstoffvorräten in der Humusaufgabe und in den oberen 30 cm des Mineralbodens ab.



Humus ist wichtiger Wasser- und Nährstoffspeicher. Umfangreiche Humusvorräte steigern die Widerstandskraft der Wälder. (Foto: © SoilPaparazzi / stock.adobe.com)

Die Entwicklung der Humusvorräte kann sich abweichend vom bundesweiten Mittel regional sehr unterschiedlich darstellen. Im Nordostdeutschen Tiefland stiegen die Bodenkohlenstoffvorräte vergleichsweise stark unter Kiefernbeständen an. Diese Flächen wurden ab der Mitte des letzten Jahrhunderts massiv aufgeforstet und konnten seitdem sowohl Biomasse als auch Humusvorräte aufbauen. Untersuchungen im bayerischen Alpenraum hingegen haben gezeigt, dass es dort deutliche Humusverluste gibt, am stärksten in Böden auf Kalk- oder Dolomitgestein und am deutlichsten in den Gebieten, in denen die Erwärmung besonders hoch ausgefallen ist. Die Abnahme könnte auf eine gesteigerte biologische Aktivität zurückzuführen sein, die vermutlich für einen besonders rasch fortschreitenden Humusabbau sorgt. Die Bewirtschaftung der Bergwälder ist in den letzten 50 Jahren nicht an sich verändernde Standortverhältnisse angepasst worden. Möglicherweise bedarf es auch hier eines humusfördernden Waldmanagements, um den Humusschwund aufhalten zu können.¹¹⁹

Mehr Laubholz in die stoffliche Nutzung!

Sowohl der Waldumbau hin zu vitaleren und klimastabileren Wäldern als auch die Kalamitäten der letzten Jahre (siehe Indikator FW-I-5, Seite 180) haben erhebliche Auswirkungen auf den Holzmarkt. Insgesamt ist die Holzentnahme aus den deutschen Wäldern seit 1994 gestiegen, zuletzt vor allem beim Nadelholz. Dies spiegelt die umfangreichen Bemühungen wider, Holz aus standortuntauglichen Nadelbaumbeständen und von Kalamitätsflächen in eine „kontrollierte Nutzung“ zu bringen. Dies ist dann möglich, wenn die Kapazitäten der holzverarbeitenden Industrie durch die anfallenden Rohholzmengen nicht überlastet werden. Eine solche Überlastung äußert sich in steigenden Lagerbeständen und / oder Ausfuhren und führt in der Regel zu einem Preisverfall des Rohholzes. Die deutlich höheren Nadelholzausfuhren von 2019 bis 2021 deuten darauf hin, dass die großen Mengen von Kalamitätsholz nicht vollständig von der holzverarbeitenden Industrie in Deutschland aufgenommen werden konnten. Vor diesem Hintergrund stellt sich auch die Frage, inwieweit auf Kalamitätsflächen vermehrt auf eine passive Totholzanreicherung, also ein Verzicht auf Räumung, hingewirkt werden könnte, sofern direkte

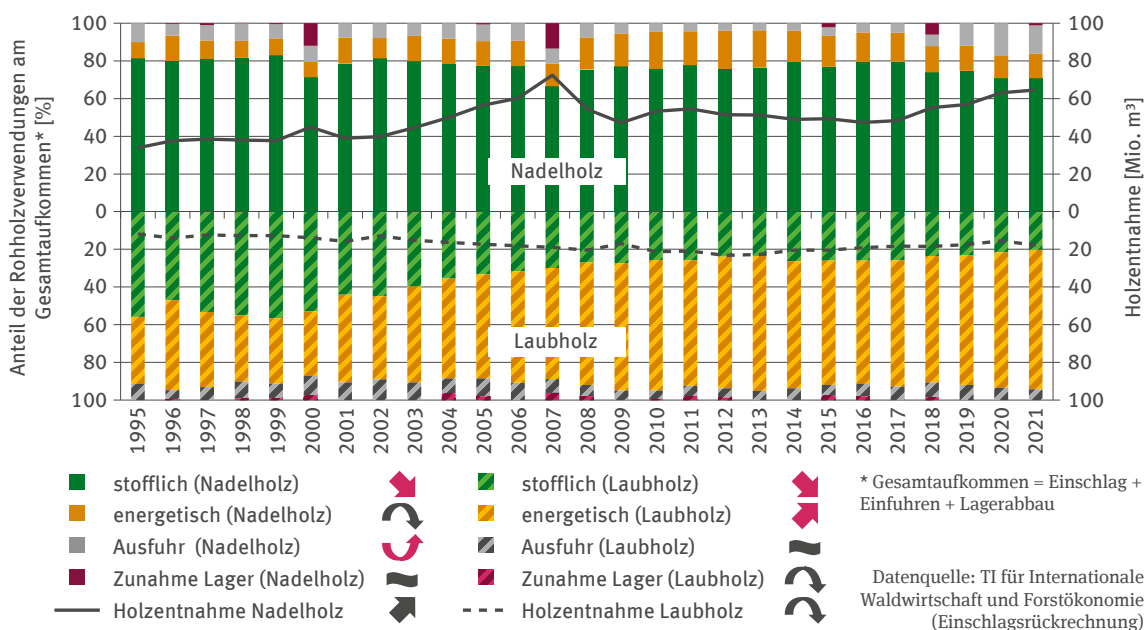
Gefahren für den Wald- und Gesundheitsschutz sowie die Verkehrssicherung ausgeschlossen sind.

Der Waldumbau zielt auf stärker gemischte Bestockungen, in denen insbesondere standortangepasste Laubbaumarten eine bedeutendere Rolle spielen. Damit ist für den Holzmarkt der Zukunft – wenn auch mit erheblicher zeitlicher Verzögerung – ein höheres Laubholzaufkommen zu erwarten. Für dieses Laubholz muss ein vermehrter Absatz und zwar möglichst auf dem inländischen Holzmarkt gefunden werden. Hierfür sind neue Nutzungspotenziale für Laubholz zu erschließen, die Forschung zu forcieren und die Holzverarbeitung in den Sägewerken weiterzuentwickeln. Aus Sicht des Klimaschutzes muss es bei der Laubholznutzung vermehrt um die stoffliche Nutzung gehen, denn Holz soll als langfristige Kohlenstoffsенke wirksam werden. Aktuell wird Laubholz allerdings zu mehr als 70% energetisch genutzt. Brennholz, Hackschnitzel und Pellets zur Erzeugung von Strom und Wärme sind inzwischen ein Massenprodukt. Mit der energetischen Nutzung sollen fossile Energieträger ersetzt und Treibhausgas-Emissionen reduziert



FW-R-4: Rohholzverwendung

Der Waldumbau und die großen Mengen an Kalamitätsholz gerade in den letzten Jahren bringen neue Herausforderungen für den Holzmarkt. Es sollten aus Klimaschutzgründen möglichst stoffliche Holzverwendungen gefunden werden, und dies möglichst auch inländisch. Vor allem beim Laubholz besteht mit Blick auf die noch immer deutlich überwiegende energetische Verwendung die Notwendigkeit, weitere stoffliche Nutzungspotenziale zu erschließen.



werden, was aber dazu führt, dass das zuvor im Holz gespeicherte CO₂ wieder in die Atmosphäre freigesetzt wird. Für die langfristige Kohlenstoffbindung sind daher stoffliche Verwendungen des Laubholzes in langlebigen Produkten zu bevorzugen. Zwischen Klimaschutz, Klimaanpassung und der Entwicklung des Holzmarkts gibt es also enge Zusammenhänge.

Die vermehrte stoffliche Verwendung von Laubholz ist nach wie vor eine Herausforderung. Bauprodukte aus Laubholz sind zwar in der Entwicklung, bisher aber nur in begrenztem Umfang zugelassen. Insgesamt ist der konstruktive Laubholz-Bauholz-Markt noch jung. Für eine breitere Anwendung von Laubholz gibt es noch weiteren Forschungs- und Entwicklungsbedarf, und es müssen weitere Erfahrungen gesammelt werden. Auch mit Blick auf den Innenausbau ist die Situation herausfordernd, da derzeit eher Trends zu perfekt holzimitierenden Böden und großvolumigen leichten Möbeln dominieren.

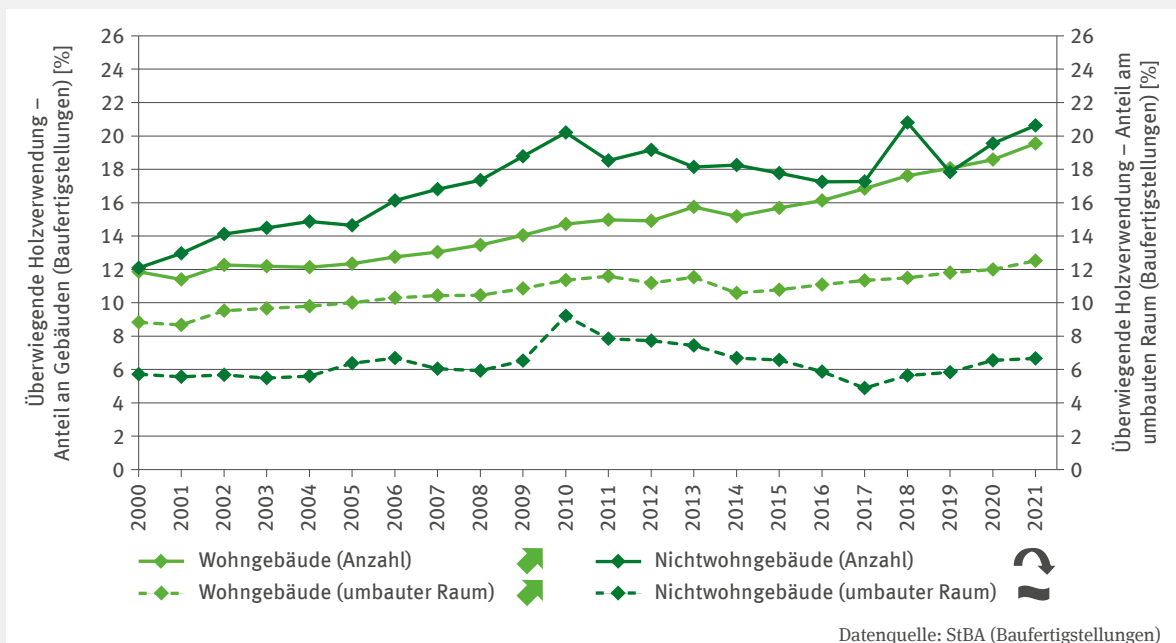
Insgesamt steigt die Holzbauquote, allerdings erlaubt die Statistik bisher keine Differenzierung der Laub- und Nadelholzanteile in den Bauprodukten. Im Jahr 2021 wurde gemessen an der Anzahl der Baugenehmigungen

ein Fünftel aller Wohngebäude überwiegend mit Holz gebaut. Der Schwerpunkt liegt dabei im Bereich der Ein- und Zweifamilienhäuser. Bei Mehrfamilienhäusern steigt die Holzverwendung zwar ebenfalls, aber auf einem noch deutlich niedrigeren Niveau. Im Nichtwohnbereich ist die Holzbauquote stark vom Zubau einzelner Gebäude(-komplexe) in Holzbauweise geprägt. So ließ beispielsweise in 2018 die Fertigstellung zweier Großprojekte (Ferienanlagen) mit insgesamt 680 Gebäuden in Holzbauweise die Holzbauquote über 20% ansteigen¹²⁰.

Um beim Laubholz eine Trendumkehr zu mehr stofflicher Nutzung zu erreichen, gilt es über den Bausektor hinaus gemäß den Zielen der Nationalen Bioökonomiestrategie¹²¹ weitere stoffliche Verwendungen zu erschließen. So wird ein relevantes Einsatzpotenzial für Laubholz in der Substitution unter anderem von erdölbasierten Kunststoffen oder von Metallen durch biogene Rohstoffe gesehen. Die Einsatzmöglichkeiten reichen bis hin zu Bekleidung und Heimtextilien, die aus holzbasierten Cellulosefasern gefertigt werden. Dies ist insofern von steigendem Interesse, als infolge des Klimawandels die Anbaubedingungen für Baumwolle schlechter werden und die Holzfaserverproduktion damit grundsätzlich konkurrenzfähiger wird.

FW-R-5: Holzbauquote

Der Bausektor spielt für die stoffliche Holzverwendung eine bedeutende Rolle. Vor allem im Wohngebäudebereich nimmt die Holzverwendung zu. Es sind aber auch noch viele Potenziale ungenutzt, insbesondere im Bereich der Nichtwohngebäude. Aufgrund seiner günstigeren Eigenschaften wird bisher überwiegend Nadelholz verbaut. Die konstruktive Verwendung von Laubholz steht hingegen noch am Anfang.



Forstliche Information zum Thema Anpassung

Die Waldwirtschaft steht in Anbetracht des Klimawandels in den nächsten Jahrzehnten vor immensen Herausforderungen. Im Zusammenhang mit der Anpassung der Wälder stellen sich viele praxisnahe Entwicklungs- und Managementfragen, die unter anderem die Baumartenwahl, die Technik des Waldumbaus und geeignete Maßnahmen der zielgerichteten Waldpflege betreffen. Handlungsbedarf besteht dabei nicht nur im Staats- und Körperschaftswald, sondern ebenso auch im Privatwald, denn dieser bedeckt in Deutschland immerhin rund 48 % der gesamten Waldfläche¹²².

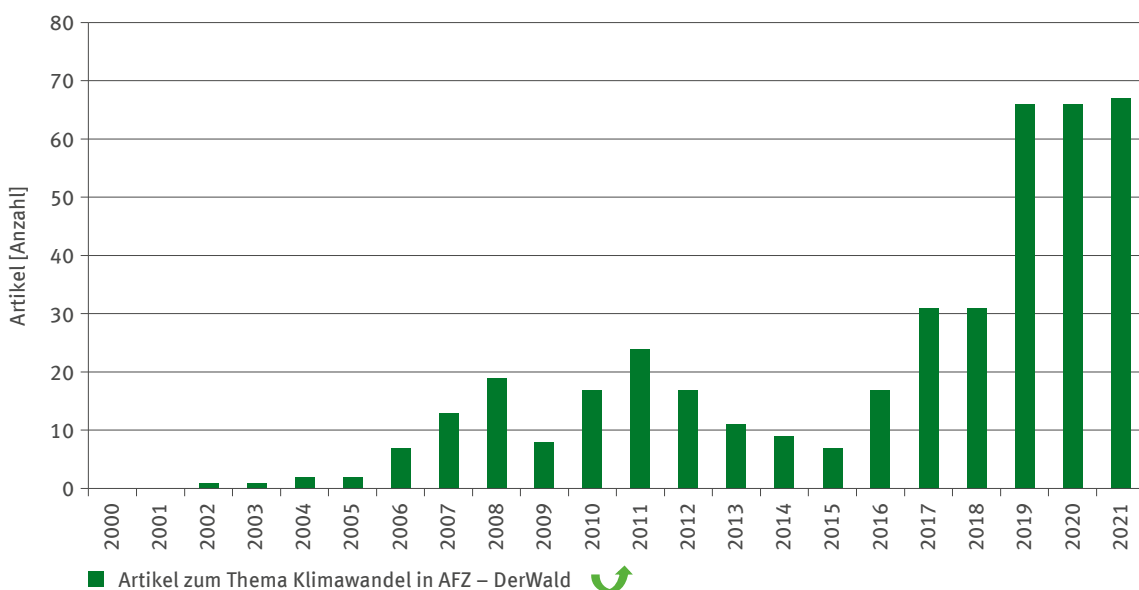
Privatwaldbesitzende verfügen häufig über nur vergleichsweise kleine, im Durchschnitt weniger als 10 ha große Flächen. Sie haben ihren beruflichen Schwerpunkt überwiegend außerhalb der Forstwirtschaft und bewirtschaften ihre Wälder nach sehr individuellen und unterschiedlichen Zielvorstellungen. Der wirtschaftliche Anreiz, sich forstwirtschaftlich zu engagieren und entsprechendes Wissen anzueignen, ist in vielen Fällen eher gering. Für die Pflege und Entwicklung der Wälder sind das ungünstige Bedingungen.

Bisher waren die aus der Waldbewirtschaftung erzielbaren Holzerlöse einschließlich der vorhandenen Förderungen für Waldbesitzende in der Regel ausreichend, um die Lasten des Waldschutzes, der Wiederaufforstungs- sowie der Verkehrssicherungspflicht zu tragen. Die großflächigen Waldschäden der letzten Jahre haben das Betriebskapital der Waldbesitzenden jedoch vielfach deutlich reduziert. Stark betroffene Betriebe können auf Jahrzehnte hinaus kaum noch Holzerlöse erwarten. Es gibt aber ein gesellschaftliches Interesse, dass auch im Privatwald eine nachhaltige und an die neuen klimatischen Rahmenbedingungen angepasste Waldbewirtschaftung stattfindet, damit die Ökosystemleistungen der Wälder erhalten oder auch verbessert werden.¹²³

Vor diesem Hintergrund kommt neben der Ausweitung der finanziellen Förderung (siehe Indikator FW-R-1, Seite 186) der forstlichen Beratung der Privatwaldbesitzenden eine bedeutende Rolle zu. Sie muss die Voraussetzungen schaffen, dass auch die Bewirtschaftung des Privatwalds einen Beitrag zur Anpassung der Wälder leistet. Dabei ist zu berücksichtigen, dass sich

FW-R-6: Forstliche Information zum Thema Anpassung

Über Umfang und Intensität der forstlichen Beratung gibt es bundesweit keine gebündelten Informationen. In einer groben Annäherung bildet die Zahl von Artikeln, die in der viel gelesenen praxisnahen Forstzeitschrift „AFZ Der Wald“ zum Thema Klimawandel veröffentlicht werden, die Intensität der Information und Diskussion ab. Vor allem im Zusammenhang mit den extremen Dürrejahren 2018–2020 gab es deutlich mehr Fachartikel zum Thema.



Datenquelle: TI für Waldökosysteme (Auswertungen der Zeitschrift AFZ – DerWald)

die für große, geschlossene und intensiv bewirtschaftete Staatswaldkomplexe entwickelten und dort angewendeten Waldbauverfahren nicht ohne Weiteres auf den Privatwald übertragen lassen, denn die Ausgangsbedingungen sind dort häufig andere. So sind fichtendominierte Bestände oftmals aufgrund einer zu geringen Durchforstung besonders instabil. Aufgrund der kleinen Flächen und der ungünstigen Ausformung der Bestände sind Schutzmaßnahmen gegen Wildverbiss wie eine Zäunung zu aufwändig und zu teuer. Außerdem fällt es vielen Waldbesitzenden nach wie vor schwer, sich von der traditionellen Fichtenkultur zu verabschieden, oder es fehlt ihnen schlichtweg das Wissen und die Zeit, um sich mit standortangepassten Waldbaukonzepten auseinanderzusetzen.

Forstliche Beratungen werden von zahlreichen unterschiedlichen Einrichtungen durchgeführt. In den Ländern widmen sich unter anderem die Landesforstverwaltungen, Landeswaldbetriebe sowie die Forstbetriebsgemeinschaften und Waldbesitzerverbände dieser Aufgabe. Insgesamt ist das gesamte Feld der forstlichen Beratung vielfältig und zugleich unübersichtlich. Über Form, Umfang und Intensität der Privatwaldberatung lassen sich daher bundesweit keine gebündelten Informationen abrufen.

Ein wichtiges Mittel, forstlich relevante Informationen zu verbreiten, sind Zeitschriften, die insbesondere von Personen aus der forstwirtschaftlichen Praxis gelesen werden. Zu diesen Zeitschriften gehört unter anderem die „AFZ DerWald“, die unter den forstlichen Zeitschriften aufgrund ihrer kurzgefassten Artikel in deutscher Sprache derzeit die öffentlichkeitswirksamste ist. Artikel, die in dieser Zeitschrift zum Thema Klimawandel und Anpassung veröffentlicht werden, erreichen einen sehr großen Kreis von Lesenden, die sich mit forstlichen Bewirtschaftungsfragen auseinandersetzen.

In vielen Fällen werden Themen des Klimaschutzes und der Klimawandelanpassung in den Artikeln gleichermaßen adressiert, so dass eine strikte Zuordnung zur Anpassung nicht immer möglich ist. Ab 2018, als deutlich wurde, dass Trockenheit und Hitze massive Konsequenzen für den Wald haben, gab es eine Vielzahl von Artikeln, die sich spezifisch mit dieser Problematik befassen. Auch wenn in diesen Artikeln die Begriffe Klimaänderung oder Klimaerwärmung nicht immer explizit genannt wurden, sind die Zusammenhänge mit Klimawandelfolgen doch eindeutig. Ab 2020 war die Anzahl der Artikel mit Klimawandelbezug mehr als doppelt so hoch als noch in den beiden Jahren 2017 und 2018. Das thematische Spektrum reichte von der Analyse der Waldzustände und



Der Wissensaustausch mit Privatwaldbesitzenden ist wichtig, damit es auch im Privatwald zum Aufbau klimastabiler Wälder kommen kann. (Foto: © Robert Kneschke / stock.adobe.com)

der Waldschutzsituation bis hin zu Empfehlungen zum Umgang mit Schaderregern, zur Behandlung von Kalamitätsflächen, zur künftigen Baumartenwahl, zum Wildmanagement und Risikomanagement im Allgemeinen bis hin zu den Konsequenzen für den Holzmarkt.

Die Daten erlauben die Schlussfolgerung, dass den Klimawandel betreffende Fragestellungen inzwischen einen hohen Stellenwert in der praxisorientierten Fachdiskussion haben. Nicht erlaubt sind allerdings Rückschlüsse, inwieweit dann – auf diesen Diskussionen und Empfehlungen aufbauend – auch tatsächlich konkrete Umsetzungen in der Praxis vor allem bei der Bewirtschaftung der Privatwälder erfolgen.



© Karin Jähne / stock.adobe.com

Biologische Vielfalt

Überblick	198
-----------------	-----

Auswirkungen des Klimawandels – Impact

BD-I-1	Phänologische Veränderungen bei Wildpflanzenarten	202
BD-I-2	Temperaturindex der Vogelartengemeinschaft	204
BD-I-3	Temperaturindex der Tagfalterartengemeinschaften.....	206

Anpassungen an den Klimawandel – Response

BD-R-1	Berücksichtigung des Klimawandels in Landschaftsprogrammen und -rahmenplänen	208
BD-R-2	Rückgewinnung natürlicher Überflutungsflächen	210
BD-R-3	Gebietsschutz	212



Zur Bedeutung des Handlungsfelds

Biologische Vielfalt ist eine existenzielle Lebensgrundlage für uns Menschen. Tiere, Pflanzen, Pilze und Mikroorganismen sorgen unter anderem für sauberes Wasser, frische Luft, angenehmes Klima und fruchtbaren Boden zum Anbau gesunder Nahrungsmittel. Stabile Ökosysteme binden auch Kohlendioxid aus der Atmosphäre, speichern es langfristig und können zu einem natürlichen

Klimaschutz beitragen, wenn sie in einem stabilen Zustand sind. Doch die biologische Vielfalt ist bedroht. Nach dem Landnutzungswandel gilt der Klimawandel als einer der wichtigsten Einflussfaktoren auf die biologische Vielfalt, denn er beeinflusst sie auf allen Ebenen – von einzelnen Individuen über Artgemeinschaften bis hin zu ganzen Ökosystemen.

DAS-Monitoring – was im Klimawandel passiert

Die zunehmende Erwärmung führt zu einer phänologischen Verschiebung der Jahreszeiten. Die Entwicklungsstadien von Pflanzen setzen im Frühling, Sommer und Herbst früher ein. Der Winter wird dagegen immer kürzer und wärmer. Die Vegetationsperiode verlängert sich insgesamt (siehe Indikator BD-I-1, Seite 202). An kühlere Bedingungen angepasste Lebensräume verschieben sich in Richtung der Pole (siehe Indikator FI-I-1, Seite 122) und in die Höhenlagen der Gebirge. Vor allem die Lebensräume, die spezifische Bedingungen für die daran angepassten Tiere und Pflanzen bieten, verkleinern sich oder gehen ganz verloren, während sich weit verbreitete, aber auch gebietsfremde Arten ausbreiten.

Die Artenvielfalt ist in Gefahr, wenn Fortpflanzungs- oder Nahrungsbeziehungen bestimmter Arten nicht mehr räumlich oder zeitlich aufeinander abgestimmt sind und das komplexe Zusammenwirken von Artengemeinschaften aus den Fugen gerät (siehe Indikator FI-I-2, Seite 124). Werden zum Beispiel Nahrungsangebot und -nachfrage zeitlich von Brut- und Schlüpfzeitpunkten entkoppelt, beeinflusst dies auch die Funktionsfähigkeit, das Bestehen sowie die Resilienz ganzer Ökosysteme. Entkoppelungen zwischenartlicher Beziehungen, wie Wettbewerb, Räuber-Beute-Verhältnisse, Wirt-Parasit-Beziehungen oder Symbiosen, die auch zwischen Tier- und Pflanzenarten bestehen, können weitreichende wirtschaftliche und gesellschaftliche Folgen haben, auf die reagiert werden muss. Auch in der Landwirtschaft betrifft dies wichtige Prozesse, wie die Bestäubung oder die

natürliche Regulierung von Schädlingen (siehe Indikatoren LW-I-4, Seite 156).

Der Klimawandel führt zu Veränderungen von Artengemeinschaften. Dies zeigt sich unter anderem bei den Vogelarten- und Tagfalterartengemeinschaften (siehe Indikatoren BD-I-2, Seite 204, und BD-I-3, Seite 206): Wärmeliebende Arten nehmen zu, kälteadaptierte Arten nehmen ab. Zudem kann die Ausbreitung invasiver Arten (siehe Indikator GE-I-4, Seite 46) zu einer Gefahr für die einheimische Artenvielfalt werden.

Generell gilt, dass sich die direkten Auswirkungen der sich verändernden klimatischen Bedingungen auf die Entwicklung der biologischen Vielfalt bisher nur schwer erfassen oder gar quantifizieren lassen. Das Zusammenwirken unterschiedlicher Einflussfaktoren auf die Ökosysteme und ihre Lebensgemeinschaften ist hoch komplex. Der Klimawandel wirkt nach Einschätzung der Fachleute aber sehr viel stärker indirekt über Landnutzungsveränderungen auf die biologische Vielfalt: Durch Klimaschutz- und Anpassungsmaßnahmen wie die Errichtung von Erneuerbare-Energien-Anlagen, die Produktion von Biomasse, die vermehrte Umsetzung von Agroforstmaßnahmen oder auch die Rückgewinnung natürlicher Überflutungsflächen zum Hochwasserschutz und die Renaturierung von Mooren zur Stärkung der CO₂-Senkenfunktion kommt es zu Landnutzungsveränderungen, die sowohl positive als auch negative Folgewirkungen für die Biodiversität haben können.

Die künftigen Klimarisiken – Ergebnisse der KWRA

In Deutschland ist schon jetzt ein Drittel der vorkommenden Arten in ihren Beständen gefährdet. Neben wachsenden menschlichen Nutzungsansprüchen stellt der Klimawandel durch Temperatur- und Niederschlagsänderungen sowie eine Zunahme von Extremereignissen, wie langanhaltenden Trockenperioden oder Starkregen,

einen wesentlichen Stressfaktor dar. Den Ergebnissen der Klimawirkungs- und Risikoanalyse 2021 (KWRA, siehe Lesehilfe, Seite 7) zufolge können bereits bis zur Mitte des Jahrhunderts hohe Risiken für die Veränderung der Vegetationsperioden und der Phänologie sowie die Ausbreitung invasiver Arten eintreten. Gebirgsökosysteme,

wassergebundene Habitate, Feuchtgebiete und Wälder werden als besonders gefährdet eingeschätzt. Bis Ende des Jahrhunderts werden zusätzlich hohe Risiken durch den Verlust an genetischer Vielfalt, die Verschiebung von Arealen, einen Rückgang von Beständen und den Verlust

an Ökosystemleistungen sowie für die Ökosysteme an der Küste erwartet. Das bedeutet, das im Handlungsfeld „Biologische Vielfalt“ bis Ende des Jahrhunderts für alle in der KWRA 2021 bewerteten Klimawirkungen ein hohes Risiko besteht.

Wo haben wir Daten- und Wissenslücken?

Wissenslücken und Unsicherheiten bestehen darin, in welchem Umfang direkte und indirekte Auswirkungen des Klimawandels die biologische Vielfalt beeinflussen und wie diesen gegengesteuert werden kann, da neben dem Klimawandel in der Regel zahlreiche weitere Faktoren wirken. Es fehlen insbesondere Daten zu Ursache-Wirkungsbeziehungen zwischen sich verändernden klimatischen Phänomenen (beispielsweise zunehmender Sommerdürre) und der biologischen „Antwort“ von Arten, Artgemeinschaften und Ökosystemen sowie zu

Anpassungs- und Ausbreitungsoptionen betroffener Tier- und Pflanzenarten.

Seit Frühjahr 2021 arbeitet das neu gegründete Nationale Monitoringzentrum zur Biodiversität (NMZB) in Leipzig daran, das Wissen zum Zustand der Arten und Lebensräume in Deutschland zusammenzuführen und ein Gesamtkonzept zum bundesweiten Biodiversitätsmonitoring zu erarbeiten.

Was getan wird – einige Beispiele

Um den Schutz der biologischen Vielfalt unter sich verändernden klimatischen Bedingungen zu verbessern, müssen ausreichend große Populationen und ihre genetische Vielfalt erhalten bleiben, die Lebensräume in ausreichender Quantität und Qualität zur Verfügung stehen und gut miteinander vernetzt sein.

Das im Dezember 2022 verabschiedete „Kunming-Montreal Global Biodiversity Framework“ (GBF) setzt globale Ziele zum Schutz und zur Erhaltung der biologischen Vielfalt. Unter anderem sollen weltweit die Vernetzung und Widerstandsfähigkeit von Ökosystemen verbessert oder wiederhergestellt und die Fläche natürlicher Ökosysteme erheblich vergrößert werden. Die 196 Vertragsstaaten der Convention on Biological Diversity (CBD) müssen die Beschlüsse umsetzen. Auf europäischer Ebene wurde 2020 die EU-Biodiversitätsstrategie für 2030 zum Schutz und zur Wiederherstellung der Natur beschlossen¹²⁴.

Die zentrale Naturschutzstrategie der Bundesregierung ist die Nationale Strategie zur biologischen Vielfalt von 2007 (NBS). Aktuell wird an der NBS 2030 gearbeitet. Dabei sollen Auswirkungen des Klimawandels, Anpassung und Klimaschutz stärker als bisher adressiert werden. Auf Ebene der Bundesländer bestehen in 15 der 16 Länder Biodiversitäts- oder Naturschutzstrategien beziehungsweise entsprechende Aktionspläne, die in aller Regel den Zusammenhang von Klimawandel und Biodiversität ebenfalls ansprechen. Auch andere nationale

Strategien sind relevant: Die Nationale Wasserstrategie¹²⁵ (2023) adressiert den Schutz des Grundwassers, der Bäche, Flüsse und Seen und die dauerhafte Sicherung eines naturnahen Wasserhaushalts. Das Bundesprogramm Blaues Band (2017) unterstützt Renaturierungsmaßnahmen an den Auen der Bundeswasserstraßen und zielt auf einen Biotopverbund ab. Mit dem „Förderprogramm Auen“ können Kommunen, Vereine und Verbände Fördermittel für die naturnahe Entwicklung von Biotopverbänden an Auen beantragen. Die Ausweitung natürlicher Überschwemmungszonen dient auch dem Hochwasserschutz und dem Schutz vor Überschwemmungen bei Sturzfluten¹²⁶. Die Rückgewinnung natürlicher Überflutungsflächen durch Deichrückverlegungen schließt Überschwemmungsflächen wieder an Flüsse an. Dies ist auch eine Maßnahme des natürlichen Klimaschutzes. In der Bilanz betrug 2020 die Fläche von wiederhergestellten natürlichen Überschwemmungsflächen insgesamt 7.100 ha. Gegenüber 2019 wurden 716 ha neu hinzugewonnen (siehe Indikator BD-R-2, Seite 210).

Mit der Nationalen Moorschutzstrategie (2022) wurde der politische Rahmen für alle Aspekte des Moorschutzes für die nächsten Jahre gesetzt. Nur wenige Prozent der Moore in Deutschland befinden sich noch in einem naturnahen Zustand. In der Folge ist die für Mooregebiete typische Artenvielfalt stark bedroht. Naturnahe Moore sollen daher konsequent geschützt, ihre Senkenfunktion für CO₂ gestärkt und ihr hydrologischer Zustand auch dergestalt verbessert werden, dass sie mit dem Ziel der

Klimafolgenanpassung als Lebensraum für an feuchte Bedingungen gebundene Arten und als Wasserspeicher in der Landschaft fungieren und zur Kühlung beitragen können.

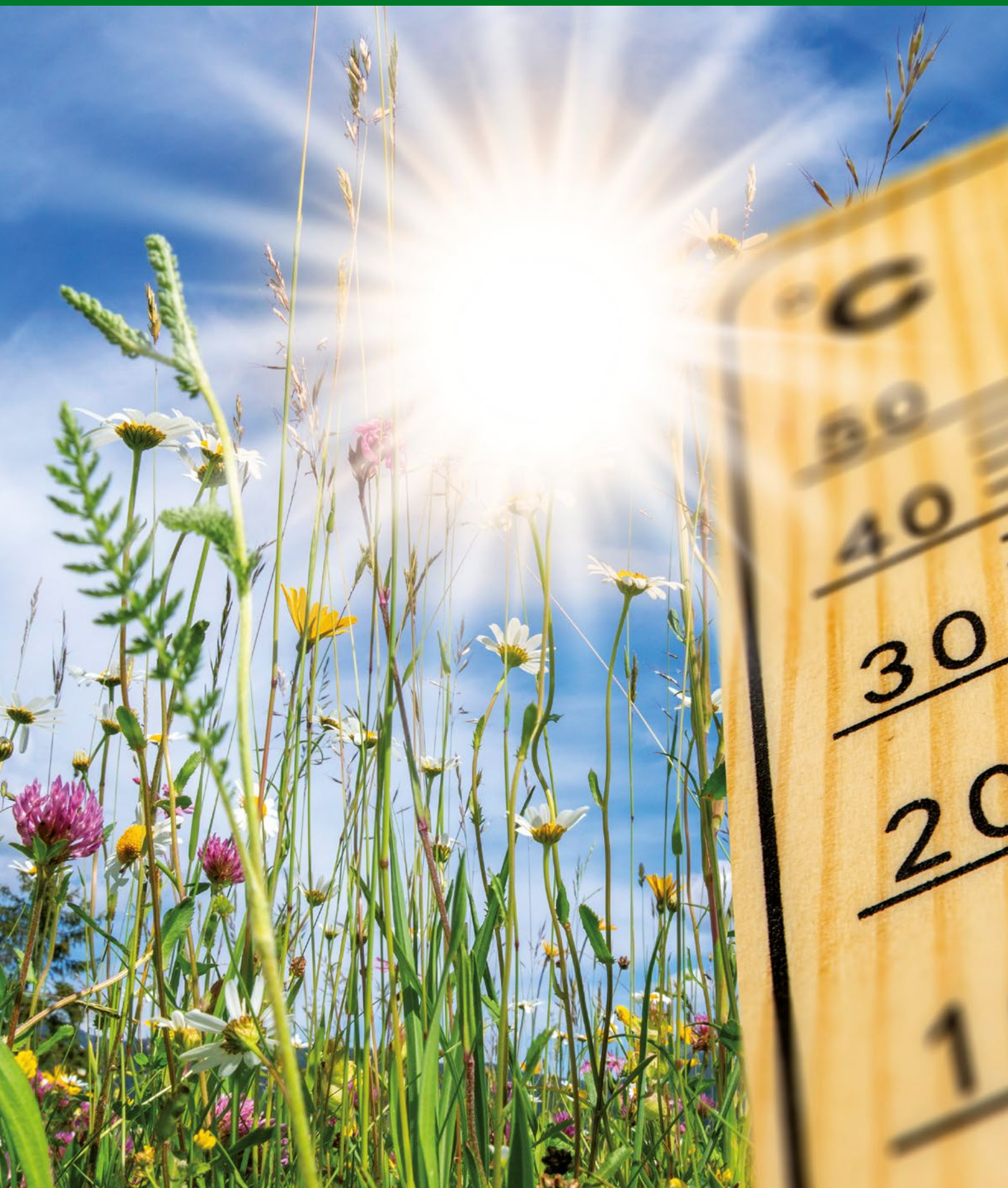
Auch in Landschaftsprogrammen und Landschaftsrahmenplänen wird der Klimawandel stärker berücksichtigt (siehe Indikator BD-R-1, Seite 208). Über zwei Drittel der Landschaftsprogramme der Bundesländer und 50 % der regionalen Landschaftsrahmenpläne thematisieren den Klimawandel in Zusammenhang mit naturschutzfachlichen Fragen.

Naturschutzgebiete und Nationalparke sind als besonders streng geschützte Gebiete wichtige Rückzugsräume, in denen grundsätzlich günstige Voraussetzungen bestehen, um Arten und Lebensräume, die durch den Klimawandel besonders gefährdet sind, zu erhalten. Der Anteil streng geschützter Gebiete ist im Binnenland bis 2020 auf insgesamt knapp 4,6 % gestiegen (siehe Indikator BD-R-3, Seite 212).

Bereits seit 2004 veranstaltet das Bundesamt für Naturschutz (BfN) die Tagung „Biodiversität und Klima – Vernetzung der Akteure in Deutschland“, um einen Austausch von Fachleuten zu Forschungsergebnissen im Überschneidungsbereich der Themen Biodiversität, Naturschutz und Klimawandel zu fördern. Bei der jährlichen Veranstaltung diskutieren die Fachleute, wie mit Maßnahmen zur Erhaltung der biologischen Vielfalt auch Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel unterstützt werden können beziehungsweise wie Anpassungsmaßnahmen so gestaltet werden können, dass sich Synergien mit dem Naturschutz ergeben.

Am 29. März 2023 hat die Bundesregierung das Aktionsprogramm Natürlicher Klimaschutz (ANK) beschlossen. Wälder und Auen, Böden und Moore, Meere und Gewässer, naturnahe Grünflächen in der Stadt und auf dem Land binden CO₂ aus der Atmosphäre und speichern es langfristig. Sie können zudem negative Auswirkungen des Klimawandels abpuffern, indem sie Wasser in der Landschaft zurückhalten, Hochwasserspitzen kappen und bei Hitze für Abkühlung sorgen. Gleichzeitig werden wichtige Lebensräume für Tiere und Pflanzen gesichert. Natur in Städten und Siedlungen sorgt für bessere Luft, spendet Schatten und kühlt an heißen Sommertagen. Zusammenhängende naturnahe Grünflächen bilden Kalt- und Frischluftschneisen und bieten vielen Tierarten einen Lebens- und Rückzugsraum. Eine Vielzahl von Maßnahmen soll dafür sorgen, dass degradierte Ökosysteme wieder gesund, widerstandsfähig und vielfältig werden. Die Finanzierung des Programms erfolgt weitgehend aus

dem neuen Klima- und Transformationsfonds. Bis 2026 stehen für die verschiedenen Maßnahmen insgesamt 4 Mrd. Euro zur Verfügung. Der Schwerpunkt liegt auf der Finanzierung von konkreten Renaturierungsmaßnahmen und Anreizen für klimafreundliche und naturverträgliche Bewirtschaftungsformen.



Frühling, Sommer und Herbst starten immer früher

In unseren Breiten bestimmen insbesondere die klima- und witterungsbedingten Temperaturverläufe den Jahresgang der Entwicklung der Pflanzen. So lässt sich beispielsweise in einem warmen Winter eine sehr frühe Blüte von Gehölzen wie Hasel (*Corylus avellana*) oder Schwarzerle (*Alnus glutinosa*) beobachten. Für diese Entwicklung sind nicht einzelne besonders warme oder kalte Tage entscheidend, sondern längerfristige Witterungsverläufe, die der Blüte vorangehen. Sind die Temperaturen beispielsweise während des Winters über mehrere Wochen hinweg hoch, bauen sich hohe Wärmesummen auf, die die Pflanzenentwicklung beschleunigen.

Veränderungen natürlicher jahreszeitlicher Rhythmen und die damit verbundenen zeitlichen Verschiebungen in der Entwicklung von Pflanzen werden seit vielen Jahren anhand sogenannter phänologischer Beobachtungen dokumentiert. Erfasst wird dabei bundesweit das Eintreten bestimmter periodisch wiederkehrender biologischer Erscheinungen wie Blatt- und Knospenaustrieb, Blüte, Fruchtreife oder Blattfall. Das phänologische Beobachtungsnetz des DWD umfasst unter anderem ein breites

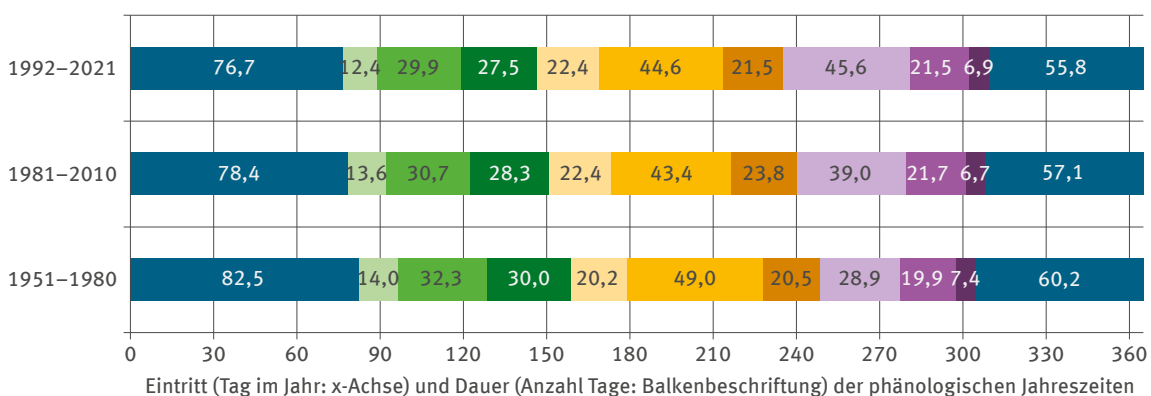
Spektrum von Wildpflanzen, deren spezifische Entwicklungsphasen den Beginn der phänologischen Jahreszeiten markieren. Wildpflanzen eignen sich besonders für die Beobachtung phänologischer Verschiebungen, da ihre Reaktionen nicht durch züchterische Veränderungen oder landbauliche Maßnahmen beeinflusst werden (siehe Indikatoren LW-I-1, Seite 150, und LW-R-1, Seite 158).

Da eine Interpretation der Verschiebungen jahreszeitlicher Zyklen nur über größere Zeiträume betrachtet zu gesicherten Ergebnissen führt, werden phänologische Daten ebenso wie klimatische Daten über Zeiträume von 30 Jahren gemittelt. Vergleicht man in der sogenannten phänologischen Uhr die mittleren Eintrittszeitpunkte der phänologischen Jahreszeiten im Referenzzeitraum 1951–1980 und im Vergleichszeitraum 1981–2010 mit denen im Zeitraum 1992–2021, wird folgendes Muster deutlich: Die phänologischen Jahreszeiten vom Vorfrühling über den Frühsommer bis zum Frühherbst setzten in den beiden Perioden nach 1981 jeweils früher ein als im Referenzzeitraum 1951–1980, Vollherbst, Spätherbst und Winter hingegen jeweils später. Einzig beim Vorfrühling



BD-I-1: Phänologische Veränderungen bei Wildpflanzenarten

Der Beginn des phänologischen Frühlings, Sommers und Herbstes hat sich in den letzten 71 Jahren im Jahresverlauf im Durchschnitt nach vorne verschoben. Der Winter ist deutlich kürzer, der Frühherbst deutlich länger geworden. Diese Veränderungen sind Ausdruck der Anpassungsfähigkeit von Pflanzen an das veränderte Klima. Sie können aber auch Folgen für die biologische Vielfalt bis hin zur Gefährdung von Tier- und Pflanzenarten haben.



Datenquelle: DWD (Phänologisches Beobachtungsnetz)

ist der Unterschied statistisch nicht signifikant. Dadurch war insbesondere der Frühherbst im Mittel der Jahre 1992–2021 um etwa 17 Tage länger als im Referenzzeitraum 1951–1980, der Winter jedoch um etwa zehn Tage kürzer als noch zwischen 1951 und 1980. Aus diesem Vergleich ergibt sich auch, dass der Sommer im Mittel der drei betrachteten Perioden zwar fast unverändert etwa 90 Tage dauerte, aber Beginn und Ende des Sommers in der Periode 1992–2021 durchschnittlich jeweils etwa zwölf Tage früher eintraten als in der Referenzperiode 1951–1980. Analysiert man die Eintrittsdaten der phänologischen Jahreszeiten im Vergleich der Periode 1992–2021 mit dem Referenzzeitraum 1951–1980, so ergeben sich in den meisten Fällen hochsignifikante Unterschiede zwischen den beiden Perioden für alle Jahreszeiten.

Verschiebungen phänologischer Jahreszeiten sind zum einen Ausdruck der Anpassungsfähigkeit von Pflanzen und Tieren an veränderte Klimaverhältnisse. Zum anderen lassen die durch den Klimawandel verursachten Veränderungen von Entwicklungszyklen aber auch auf Folgewirkungen für die biologische Vielfalt schließen. Phänologische Verschiebungen können in bestimmten Fällen das zeitliche Zusammenspiel zwischen Organismen entkoppeln. Dadurch werden etablierte Wechselwirkungen beispielsweise zwischen Pflanzen und deren Bestäubern oder in Räuber-Beute-Beziehungen beeinflusst. Dies wirkt sich auf Strukturen und Funktionen von Ökosystemen aus und kann bis hin zur Gefährdung von Tier- und Pflanzenarten führen. So konnte unter anderem anhand von Populationen des Trauerschnäppers (*Ficedula hypoleuca*) in den Niederlanden nachgewiesen werden, dass die Individuenzahl zurückging, weil es zu einer solchen zeitlichen Entkopplung der Aufzuchtzeit der Nestlinge von der Zeit des optimalen Nahrungsangebots gekommen ist.¹²⁷ Da Trauerschnäpper Langstreckenzieher sind und in Afrika überwintern, können sie auf veränderte Zyklen der Entwicklung ihrer Nahrungsorganismen nicht ausreichend reagieren.

Für Deutschland gibt es keine breit angelegten Untersuchungen oder systematischen Beobachtungen zu den Folgen solcher durch phänologische Verschiebungen veränderter Beziehungen zwischen Pflanzen und Tieren. Es ist daher zum jetzigen Zeitpunkt nur die Aussage möglich, dass mit weiteren Verschiebungen der phänologischen Phasen eine Zunahme solcher Veränderungen erwartet wird.

Gleiches gilt für die beobachtete Verlängerung der phänologischen Vegetationsperiode. Deren Dauer entspricht der Summe der Tage des phänologischen Frühlings, Sommers und Herbstes. Während die Vegetationsperiode



Der Huflattich (*Tussilago farfara*) blühte im Mittel der letzten 30 Jahre eine knappe Woche früher als noch im Zeitraum 1951–1980. (Foto: © ELENA / stock.adobe.com)

in den Jahren 1951–1980 im Mittel lediglich 222 Tage dauerte, verlängerte sie sich im Durchschnitt der Jahre 1981–2010 um 8 Tage auf 230 Tage und im Durchschnitt der Jahre 1992–2021 um 10 Tage auf 232 Tage. Dabei ist zu beachten, dass die Länge über die Jahre hinweg stark variiert. Eine Verlängerung der Vegetationsperiode kann beispielsweise zu einer höheren Produktivität von Ökosystemen führen, was wiederum Beziehungen zwischen verschiedenen Arten beeinflussen kann. Deutschlandweite systematische Untersuchungen zu den Auswirkungen einer verlängerten Vegetationsperiode auf die biologische Vielfalt liegen bisher nicht vor.

Vogelartengemeinschaften: mehr wärmeliebende Arten

Vögel reagieren auf viele Veränderungen ihrer Umwelt vergleichsweise sensibel. Dies führt dazu, dass sich die Zusammensetzung von Vogelgemeinschaften in Abhängigkeit von Umwelteinflüssen stark verändern kann. In der Regel sind diese Veränderungen Ergebnis des Zusammenwirkens vieler unterschiedlicher Einflussfaktoren. Eine alleinige Ursache für den Wandel von Artengemeinschaften und den Rückgang oder Ausfall einzelner Arten gibt es in der Regel nicht. Wissenschaftliche Untersuchungen belegen jedoch, dass Klimaveränderungen hierbei neben dem Landnutzungswandel eine entscheidende Rolle spielen können.

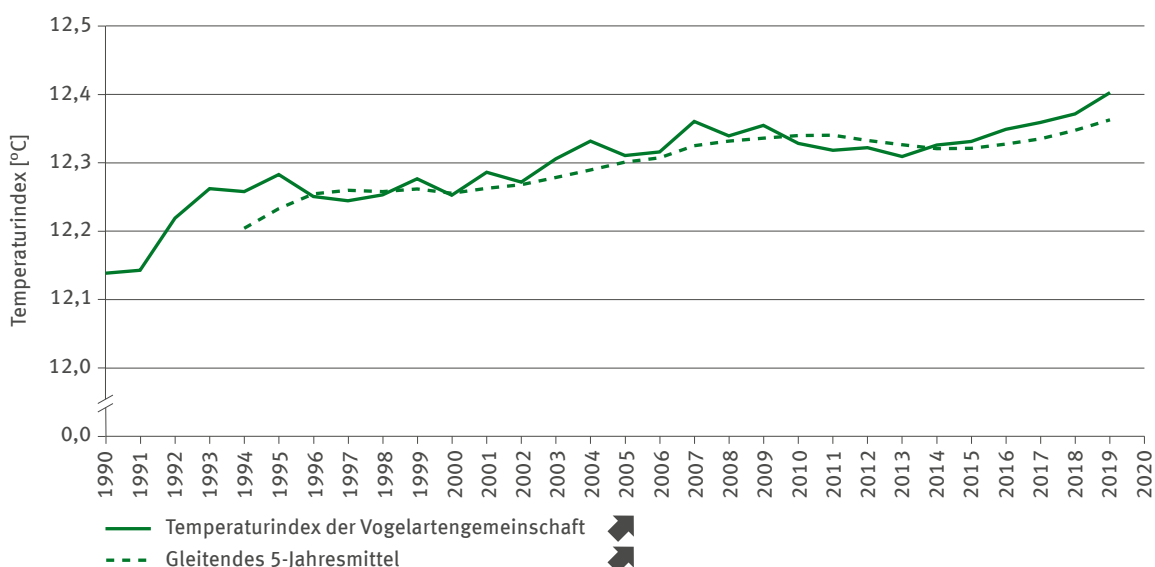
Brutvögel haben in der Brutzeit artspezifische Temperaturansprüche. Diese sind beispielsweise beim Braunkehlchen (*Saxicola rubetra*), dem Sprosser (*Luscinia luscinia*) und dem Gelbspötter (*Hippolais icterina*) niedriger als beim Schwarzkehlchen (*Saxicola rubicola*), der Nachtigall (*Luscinia megarhynchos*) und dem Orpheusspötter (*Hippolais polyglotta*). Nehmen bedingt durch den Klimawandel die Temperaturen in der Brutzeit im langfristigen Mittel zu, dann finden wärmeliebende Arten bessere

Bedingungen vor und werden im Vergleich zu anderen Vogelarten häufiger. Umgekehrt werden kältetolerante Arten im Vergleich zu anderen Vogelarten seltener.

In den Jahren 1990 bis 2019 lässt sich eine solche Entwicklung anhand von 88 in Deutschland häufig vorkommenden Brutvogelarten beobachten. In diesem Zeitraum haben sich – wie der Temperaturindex häufiger Brutvogelarten zeigt – die relativen Häufigkeiten der betrachteten Vogelarten zu Gunsten wärmeliebender Arten beziehungsweise zu Ungunsten kältetoleranter Arten verschoben. Die Entwicklung des gleitenden 5-Jahresmittels des Temperaturindex zeigt seit 1994 zunächst einen Anstieg bis ungefähr 2010, danach eine leicht rückläufige Entwicklung bis 2013, auf die wiederum ein deutlicher Anstieg folgte. Die Entwicklung zwischen 2010 und 2013 lässt sich zunächst auf Witterungseinflüsse zurückführen, die unabhängig vom langfristigen klimatischen Trend wirkten. Von 2009/2010 bis 2012/13 gab es eine Reihe strenger Winter in Folge mit negativen Auswirkungen auf die Bestände vieler Brutvögel. Die Entwicklungen seit 2013 zeigen, dass der längerfristig positive Trend des

BD-I-2: Temperaturindex der Vogelartengemeinschaft

Der Klimawandel führt zu Veränderungen von Artengemeinschaften. Bei 88 in Deutschland häufig vorkommenden Brutvogelarten haben sich in den Jahren 1990 bis 2019 die relativen Häufigkeiten zu Gunsten wärmeliebender Arten beziehungsweise zu Ungunsten kältetoleranter Arten verschoben.



Datenquelle: Dachverband Deutscher Avifaunisten e.V.
(Eigene Auswertung der Daten des Monitorings häufiger Brutvögel)

Indikators trotz kurzfristig nivellierender Effekte durch die genannten Winter zwischen 2009 und 2013 fortbesteht. Es wird aber auch deutlich, dass dem Auftreten von Witterungsextremen für ökologische Veränderungsprozesse auch bei fortschreitender klimatischer Erwärmung eine große Bedeutung zukommt.

Vögel werden in unterschiedlichen Teilen ihres Jahreszyklus von Temperaturveränderungen beeinflusst so bei Brut, Überwinterung und der Rekrutierung neuer Brutvögel in die Population. Daher kann sich infolge des Klimawandels die Phänologie, das heißt der Lebenszyklus von Arten verändern. Insbesondere in Afrika südlich der Sahara überwinternde Vogelarten können durch solche Effekte negativ beeinflusst werden. Beim Trauerschnäpper (*Ficedula hypoleuca*) ist beispielsweise bekannt, dass er bei früherem Frühjahrsbeginn teilweise zu spät aus dem Winterquartier zurückkommt, um die Hauptverfügbarkeit von Raupen als Nahrung für seine Jungvögel nutzen zu können.

Zur Berechnung des Temperaturindex wird jeder der 88 Arten ein artspezifischer Temperaturanspruchswert zugeordnet, der aus der durchschnittlichen Temperatur für den Referenzzeitraum 1961–1990 innerhalb des europäischen Verbreitungsgebiets der Art ermittelt wird. Diese artspezifischen Temperaturanspruchswerte gehen – nach der relativen Häufigkeit der Art im jeweiligen Jahr gewichtet – in die Berechnung des Index ein. Je stärker der Einfluss des Temperaturanstiegs auf die betrachtete Gruppe der Vögel, desto stärker verschieben sich die relativen Häufigkeiten der Arten untereinander zugunsten wärmeliebender Arten und desto stärker nimmt der Temperaturindex häufiger Brutvogelarten langfristig zu. Die gezeigten Indexwerte beziehen sich auf ganz Deutschland, das bedeutet, dass Aussagen zu einer veränderten Zusammensetzung regionaler Brutvogelgemeinschaften hiermit nicht möglich sind.

Auch andere Artengruppen wie Tagfalter oder Gefäßpflanzen können als Zeiger für langfristige Temperaturveränderungen im Klimawandel dienen (siehe Indikatoren BD-I-3, Seite 206, BD-I-1, Seite 202, und FW-I-1, Seite 174). Dabei zeigen sich Artverschiebungen am deutlichsten in ökologischen Grenzregionen wie den Gebirgen. So haben europaweit angelegte Untersuchungen der Vegetation in den Gipfelbereichen der Gebirge oberhalb der Baumgrenzen ergeben, dass sich die dortigen Artengemeinschaften der Gefäßpflanzen in ihrer Zusammensetzung verändern. Hier siedeln sich wärmeliebende Arten aus tiefer gelegenen Gebieten an. Auch in Flüssen, Seen und den Meeren vollziehen sich bereits Veränderungen



Der Trauerschnäpper (*Ficedula hypoleuca*) gehört zu den Klimaverlierern. Bei seiner Rückkehr aus dem Winterquartier sind die Raupen als Futter für seine Jungvögel inzwischen teils knapp. (Foto: OhWeh / Wikimedia Commons, CC BY-SA 2.5)

der Zusammensetzung von Artengemeinschaften (siehe Indikatoren FI-I-1, Seite 122 und FI-I-3, Seite 126).

Neben Verschiebungen der Arthäufigkeiten innerhalb bestehender Artengemeinschaften führt der Klimawandel auch zur Einwanderung und Ausbreitung von Arten, die zuvor nicht in unseren Breiten vorkamen. Diese Entwicklungen vollziehen sich sowohl bei Pflanzen als auch bei Tieren. Beispiele hierfür sind der Orpheusspötter (*Hippolais polyglotta*), der aus Südwesteuropa kommend in den 1980er-Jahren als Brutvogel nach Deutschland eingewandert ist und sich derzeit tendenziell weiter ausbreitet, oder die Gottesanbeterin (*Mantis religiosa*), die sich seit den 1990er-Jahren vom Mittelmeerraum kommend in Deutschland allmählich weiter Richtung Norden ausbreitet.

Insektengemeinschaften reagieren besonders empfindlich

Tagfalter reagieren empfindlich auf eine Vielzahl an Umweltfaktoren, die zudem oftmals miteinander in Wechselwirkung stehen. Insbesondere Prozesse, die mit der Landnutzung in Verbindung stehen, haben einen großen Einfluss auf Bestandstrends und die Zusammensetzung von Artengemeinschaften. Daneben deuten wissenschaftliche Untersuchungen auf eine zunehmende Bedeutung des Klimawandels hin. Tagfalter gehören wie alle Insekten zu den wechselwarmen Organismen, deren Aktivität und Entwicklung direkt von der Umgebungstemperatur abhängt. Diese Eigenschaft macht sie besonders sensibel gegenüber Temperaturveränderungen. Da Tagfalter kurze Entwicklungszyklen aufweisen, reagieren sie zudem besonders schnell auf sich verändernde klimatische Bedingungen.

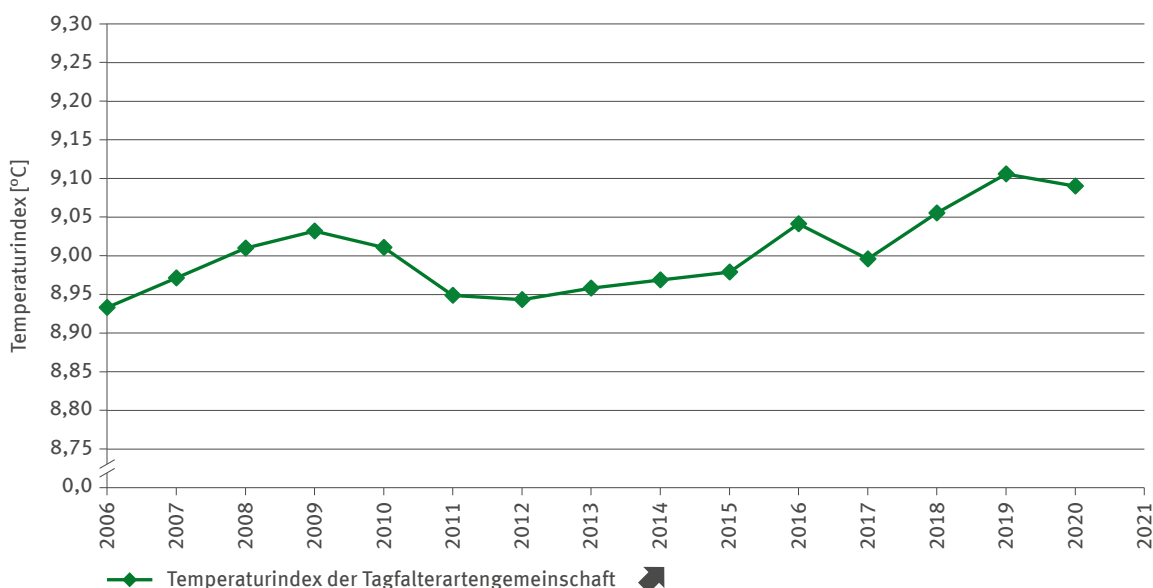
In Deutschland ist ein weites Spektrum an Tagfalterarten beheimatet, die sich in ihren Temperaturansprüchen unterscheiden. Darunter befinden sich sowohl wärmeliebende Arten wie beispielsweise der Brombeer-Perlmutterfalter (*Brenthis daphne*) und der Mauerfuchs (*Lasiommata megera*) als auch kälteliebende Arten wie

der Schornsteinfeger (*Aphantopus hyperantus*) und der Braunfleckige Perlmutterfalter (*Boloria selene*). Im Zuge der klimawandelbedingten Erwärmung verbessern sich die Lebensbedingungen für Arten mit höheren Temperaturansprüchen. Dagegen finden Arten, die an kühle Umgebungen angepasst sind, ungünstigere Bedingungen vor. Durch die tendenzielle Zunahme wärmeliebender Arten und den Rückgang kälteliebender Arten verändert sich die Zusammensetzung lokaler Artengemeinschaften.

Der Temperaturindex der Tagfalterartengemeinschaften illustriert solche Veränderungen anschaulich. Er spiegelt die mittleren Temperaturansprüche der Arten einer Artengemeinschaft wider. Im Zeitraum von 2006 bis 2020 zeigt der Index einen signifikanten Anstieg. Das bedeutet, dass in den Artengemeinschaften wärmeliebende Arten gegenüber kälteliebenden Arten zugenommen haben. Während die Entwicklung bis zum Jahr 2012 nicht eindeutig war, erfolgte ein stetiger Anstieg des Index in der darauffolgenden Zeit. Insbesondere in den überdurchschnittlich warmen Jahren ab 2018 wurden wärmeliebende Arten begünstigt, was zu einem deutlichen

BD-I-3: Temperaturindex der Tagfalterartengemeinschaften

Steigende Temperaturen beeinflussen die Zusammensetzung von Artengemeinschaften. Zwischen den Jahren 2006 und 2020 hat die Häufigkeit wärmeliebender Arten gegenüber kälteliebenden Arten zugenommen. Insbesondere die außergewöhnlich warmen Jahre seit 2018 haben zu einem Anstieg des Temperaturindex der Tagfalterartengemeinschaften beigetragen.



Datenquelle: UFZ (Auswertung des Tagfaltermonitorings Deutschland)

Anstieg des Temperaturindex führte. Die langfristigen Auswirkungen dieser Veränderungen auf die biologische Vielfalt sind noch nicht absehbar.

Um den Temperaturindex der Tagfalterartengemeinschaften zu berechnen, wurde zunächst ein mittlerer Temperaturanspruchswert für jede Tagfalterart ermittelt, der sich aus der im europäischen Verbreitungsgebiet der Art herrschenden durchschnittlichen Temperatur im Referenzzeitraum von 1971–2000 ableitet. Diese artspezifischen Temperaturanspruchswerte wurden – gewichtet mit den Häufigkeiten der jeweiligen Arten – für die Indexbildung gemittelt. Eingang fanden die Daten von 71 häufigen und mittelhäufigen Tagfalterarten, die auf den Transekten des Tagfalter-Monitorings Deutschland erfasst wurden. Ein jährlicher Temperaturindex der Tagfalterartengemeinschaften wurde für jedes Transekt berechnet und anschließend über Deutschland hinweg gemittelt. Ein über die Zeit zunehmender Index zeichnet eine Verschiebung der Häufigkeiten zugunsten wärmeliebender Arten nach.

Nicht nur Tagfaltergemeinschaften verändern sich. Auch Libellen- und Hummelgemeinschaften reagieren in einer ähnlichen Art und Weise auf steigende Temperaturen. Klimawandelbedingte Veränderungen von Artengemeinschaften wurden zudem bei Vögeln (siehe Indikator BD-I-2, Seite 204), Fischen (siehe Indikator FI-I-1, Seite 122) und Pflanzen dokumentiert. Die Entwicklung verläuft oftmals regional unterschiedlich. Insbesondere an den nördlichen Verbreitungsgrenzen der Arten sowie in den Gebirgen finden besonders schnelle Veränderungen statt. Eine veränderte Zusammensetzung von Artengemeinschaften kann auch das Ergebnis sich verschiebender Verbreitungsgebiete sein. Ein Beispiel ist der Karstweißling (*Pieris mannii*), der seinen Verbreitungsschwerpunkt in Südeuropa hat. Seit seinem erstmaligen Auftreten im Jahr 2008 hat er sich über weite Teile Deutschlands ausgebreitet. Die Folgen solcher Prozesse müssen in vielen Fällen noch erforscht werden. Es ist aber davon auszugehen, dass sich insbesondere Interaktionen zwischen verschiedenen Organismen verändern werden, mit potenziellen Auswirkungen auf verschiedene Ökosystemfunktionen und -leistungen.



Der Mauerfuchs (*Lasiommata megera*) ist eine wärmeliebende Tagfalterart und profitiert daher vom Klimawandel. (Foto: © sundodger / stock.adobe.com)

Klimawandelfolgen werden in der Landschaftsplanung zunehmend berücksichtigt

Die Landnutzung hat wesentlichen Einfluss auf die biologische Vielfalt und ist damit auch einer der zentralen Ansatzpunkte zum Schutz von Tieren und Pflanzen und zur Entwicklung geeigneter Lebensräume. Der Klimawandel stellt dabei in mehrfacher Hinsicht neue Anforderungen an eine naturverträgliche und zukunftsorientierte Steuerung der Landnutzung, da die Konkurrenz um Flächen weiter zunehmen wird. Der Ausbau erneuerbarer Energien zu Zwecken des Klimaschutzes, insbesondere aber die Verwendung von Biomasse zur Energiegewinnung führt regional zu einer Intensivierung der Flächennutzung durch Land- und Forstwirtschaft.

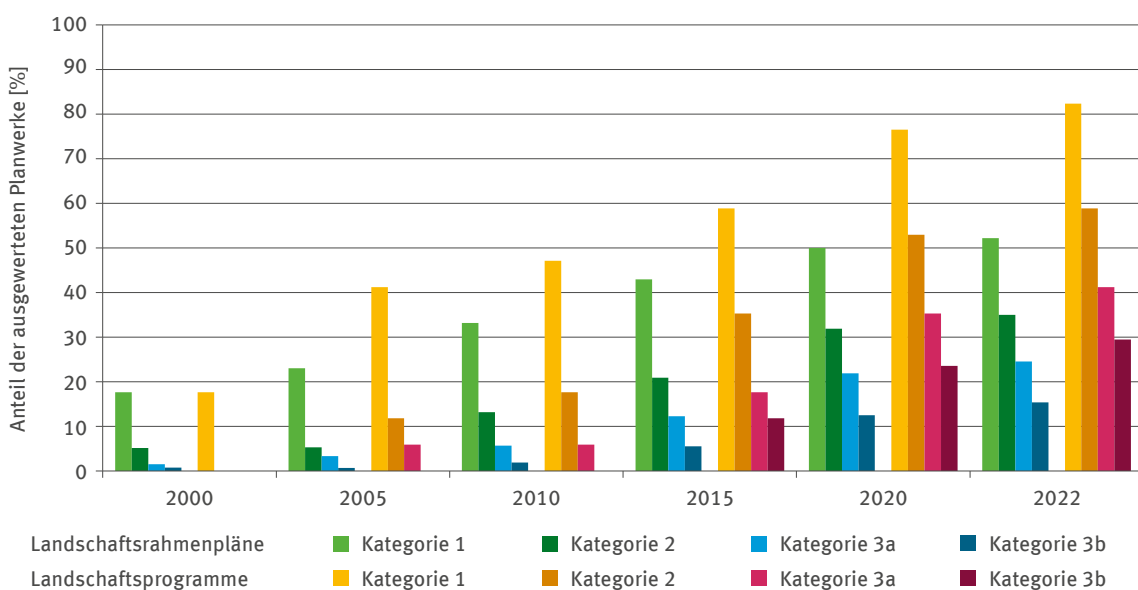
Zur Sicherung der biologischen Vielfalt ist es notwendig, bei naturschutzfachlichen Entscheidungen die direkten und indirekten Auswirkungen des Klimawandels zu berücksichtigen, auf der konzeptionellen und planerischen Ebene die erforderlichen Ziele zu benennen und konkrete Maßnahmen vorzubereiten. Der Landschaftsplanung kommt dabei als flächendeckendem Instrument

des Naturschutzes besondere Bedeutung zu (siehe Indikator RO-R-1, Seite 302). Die Landschaftsprogramme übernehmen auf Ebene der Bundesländer wichtige koordinierende Funktionen und setzen Prioritäten bei der Festlegung landesweit bedeutsamer Erfordernisse und Maßnahmen des Naturschutzes. Sie enthalten neben programmatischen Zielsetzungen und Leitlinien für die Naturschutzpolitik eines Bundeslandes auch raumkonkrete Darstellungen beispielsweise zum landesweiten Biotopverbund oder zu naturschutzfachlich besonders wertvollen Gebieten. Für Planungsregionen beziehungsweise Landkreise oder Regierungsbezirke werden Landschaftsrahmenpläne erstellt. Sie konkretisieren die Vorgaben der Landschaftsprogramme, enthalten Vorschläge zur Festlegung von Vorranggebieten und treffen regionsspezifische Aussagen.

Die Regelungen der einzelnen Landesnaturschutzgesetze zur Aufstellung und Fortschreibung von Landschaftsprogrammen und Landschaftsrahmenplänen sind allerdings

BD-R-1: Berücksichtigung des Klimawandels in Landschaftsprogrammen und -rahmenplänen

Landschaftsprogramme und Landschaftsrahmenpläne konkretisieren Ziele und Grundsätze von Naturschutz und Landschaftspflege auf landesweiter und regionaler Ebene. Die Klimawandelfolgen und die daraus resultierenden Anforderungen an den Biotop- und Artenschutz finden zunehmend Eingang in diese Planwerke. Konkrete Aussagen unter anderem zu Zielen und Maßnahmen mit Klimawandelbezug fehlen bislang aber in der überwiegenden Anzahl der Pläne.



Datenquelle: BfN (eigene Auswertung)

uneinheitlich. So verzichteten die Stadtstaaten Berlin, Bremen und Hamburg sowie das Saarland und seit 2010 auch Hessen auf die Aufstellung von Landschaftsrahmenplänen.¹²⁸ Teilweise führt die aktuelle Rechtslage auch dazu, dass ältere Landschaftsprogramme nicht mehr fortgeschrieben werden müssen. Der Fortschreibungsturnus der Landschaftsrahmenpläne ist ebenfalls unterschiedlich. Nach wie vor gilt jedoch, dass Landschaftsprogramme und Landschaftsrahmenpläne die zentrale planerische Ebene darstellen, auf der die aus dem Klimawandel resultierenden Anforderungen an die Landschaftsplanung und den Naturschutz verankert werden können.

Eine Auswertung der 16 Landschaftsprogramme der Länder sowie der verfügbaren Landschaftsrahmenpläne – im Jahr 2020 waren dies 155 – zeigt, dass die Auswirkungen des Klimawandels und die daraus resultierenden planerischen Anforderungen zwar noch keine breite Berücksichtigung finden, jedoch haben klimawandelbezogene Aussagen in den analysierten Planwerken im Zeitraum zwischen 2000 und 2020 bereits deutlich zugenommen. So finden der Klimawandel sowie Themen des Klimaschutzes und der Anpassung an den Klimawandel im Zusammenhang mit naturschutzfachlichen Fragen inzwischen in etwas mehr als drei Viertel (76 %) der Landschaftsprogramme Erwähnung. Dabei wurde für den Klimaschutz die Berücksichtigung von Flächen mit Speicher- und Senkenfunktion für Kohlenstoff in den Plänen ausgewertet. Demgegenüber lässt die deutliche Mehrzahl der Planwerke Beschreibungen konkreter Auswirkungen des Klimawandels auf die biologische Vielfalt bislang vermissen. Auf dem Stand des Jahres 2020 werden nur in rund 22 % der Landschaftsrahmenpläne einzelne naturschutzfachliche Ziele und Maßnahmen zumindest zum



In der Landschaftsplanung spielen der Klimawandel und seine Folgen eine zunehmend wichtige Rolle.
(Foto: © ronstik / stock.adobe.com)

Teil mit dem Klimawandel begründet. Auf Grundlage der vorgenommenen Analysen sind detaillierte Aussagen zur fachlich-inhaltlichen Tiefe der Berücksichtigung des Klimawandels in den Planwerken nicht möglich. Es lässt sich jedoch feststellen, dass die Landschaftsplanung auf Ebene der Länder und Regionen mit Blick auf die Herausforderungen des Klimawandels bislang nur in geringem Umfang zukunftsweisende Aussagen zu konkreten Zielen und Maßnahmen trifft.

Kategorien der Berücksichtigung des Klimawandels in Landschaftsprogrammen und -rahmenplänen

- 1 Klimawandel beziehungsweise klimawandelrelevante Flächen (mit Speicher- und Senkenfunktion für Kohlenstoff) werden im Zusammenhang mit naturschutzfachlichen Fragen erwähnt.
- 2 Auswirkungen des Klimawandels auf die biologische Vielfalt werden beschrieben.
- 3a Einzelne naturschutzfachliche Ziele und Maßnahmen werden unter anderem mit dem Klimawandel begründet.
- 3b Einzelne naturschutzfachliche Ziele und Maßnahmen werden ausschließlich oder vorwiegend mit dem Klimawandel begründet.

Zunahme natürlicher Überflutungsflächen fördert biologische Vielfalt

Die Erhaltung feuchter beziehungsweise wasserreicher Lebensräume und deren Vernetzung in der Landschaft sind für die Erhaltung klimasensibler Arten von herausragender Bedeutung. Naturnahen Auen kommt dabei eine Schlüsselrolle zu. Auen sind Niederungen, die deutlich von der Dynamik des Flusses und seines Wassersystems geprägt sind und in denen Phasen hoher Wasserstände mit Niedrigwasserphasen abwechseln. Diese Dynamik bedingt ein reichhaltiges Mosaik unterschiedlicher Lebensräume und erklärt die hohe Tier- und Pflanzenvielfalt in diesen Gebieten. Typische Vegetationsform der Auen sind Auenwälder, die von Baumarten wie Weiden, Eichen oder Ulmen geprägt sind, die auch mit längeren Überflutungen gut zurechtkommen.

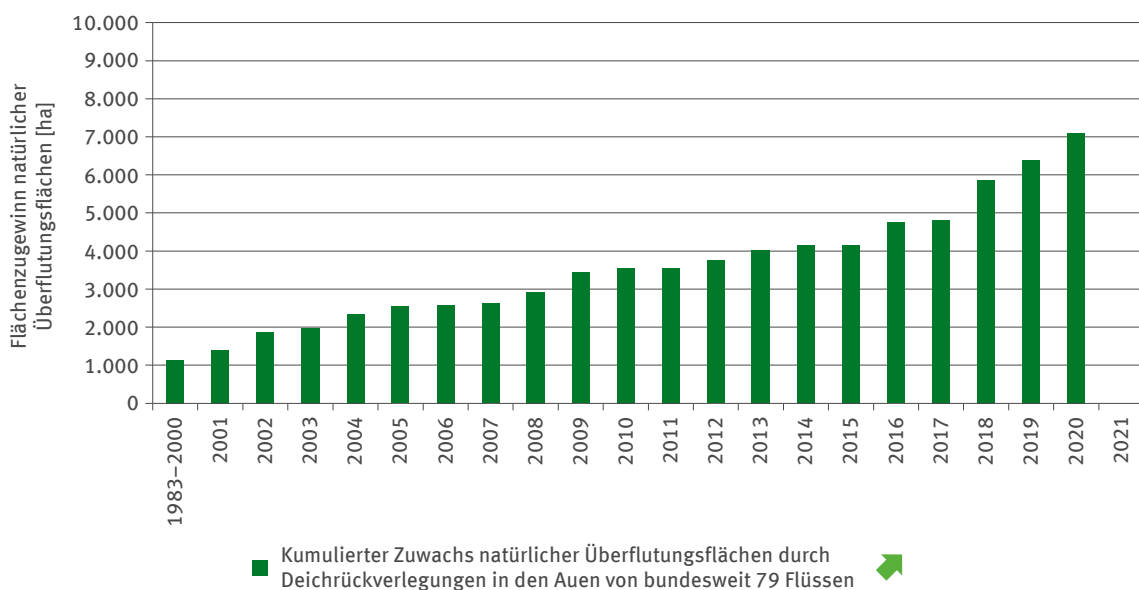
Für die Rückgewinnung natürlicher Überflutungsflächen gibt es umfangreiche Synergien zwischen dem Arten- und Biotopschutz sowie dem Hochwasserschutz. Neben Deicherhöhungen, der Errichtung von Rückhaltebecken oder anderen technisch geprägten Maßnahmen gilt die

dauerhafte Wiederherstellung natürlicher Überflutungsflächen als wirksamer Baustein eines umfassenden Hochwasserrisikomanagements (siehe Indikatoren WW-R-2, Seite 92, und RO-R-3, Seite 306): Können sich Flüsse im Falle von Hochwasserereignissen (siehe Indikator WW-I-4, Seite 76) in diese Überflutungsflächen hinein ausdehnen, wird der Abfluss verlangsamt und die Hochwasserwelle gedämpft. Unter den Bedingungen des Klimawandels und den damit verbunden Veränderungen der Abflussdynamik in den Flusseinzugsgebieten spielt die Rückgewinnung natürlicher Retentionsflächen auch als Anpassungsmaßnahme an den Klimawandel eine immer wichtigere Rolle, um Hochwasserschäden beispielsweise an Siedlungen, Verkehrsinfrastruktur oder landwirtschaftlichen Flächen vorzubeugen.

Solche neu gewonnenen Überflutungsflächen wurden zuvor in vielen Fällen intensiv landwirtschaftlich genutzt. Eine Überführung in Flächen mit natürlicher Hochwasserdynamik ermöglicht eine Wiederbesiedlung mit vielen

BD-R-2: Rückgewinnung natürlicher Überflutungsflächen

Rückverlegung, Rückbau oder Schlitzung von Deichen haben seit 1983 zu einer Zunahme von natürlichen Überflutungsflächen geführt. Durch den Anschluss an die Gewässer und die Wiederherstellung der natürlichen Überschwemmungsdynamik sind neue naturschutzfachlich wertvolle Lebensräume für eine Vielzahl seltener und gefährdeter Tier- und Pflanzenarten sowie naturschutzfachlich bedeutsame Auwälder entstanden.



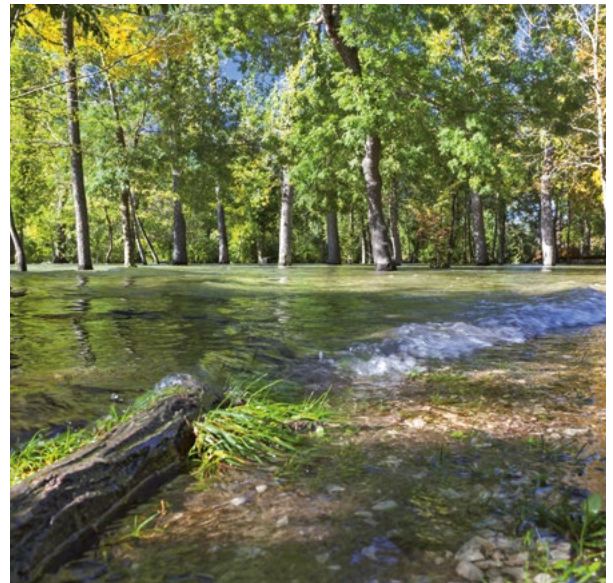
Datenquelle: Möhring et al. 2012, BfN (Eigenrecherche)

auentypischen Pflanzen- und Tierarten. Darunter befinden sich auch zahlreiche seltene und gefährdete Arten, die an die besonderen Bedingungen stark wechselnder Wasserstände angepasst sind, unter anderem Biber (*Castor fiber*), Fischotter (*Lutra lutra*), Eisvogel (*Alcedo atthis*), Uferschwalbe (*Riparia riparia*), Rohrweihe (*Circus aeruginosus*), mehrere Entenarten sowie zahlreiche Libellen- und Amphibienarten. Zudem sind natürlich überflutbare Lebensräume der Auen ein wichtiges Bindeglied im Biotopverbund und im Schutzgebietssystem Natura 2000.

Durch Rückbau, Rückverlegung oder Schlitzung von Deichen an bundesweit 79 Flüssen in den Jahren von 1983 bis 2020 wurden 7.100 ha ehemalige Auenflächen wieder an die natürliche Überflutungsdynamik der Fließgewässer angeschlossen und werden bei Hochwasserereignissen ungesteuert überschwemmt. Die Einrichtung gesteuerter Hochwasserschutzpolder oder sonstige gesteuerte Flutungen der Aue sind dabei nicht berücksichtigt. Der jährliche Netto-Zugewinn ist abhängig von der Größe der fertiggestellten Projekte im jeweiligen Jahr und damit variabel. Die deutlichen jährlichen Zunahmen der letzten drei Jahre sind als positiv zu bewerten.

Der bundesweite Auenzustandsbericht 2021 kommt zu dem Ergebnis, dass von ehemals rund 1,6 Mio. ha Auenfläche an Flüssen heute noch rund 511.900 ha bei Hochwasser als Retentionsraum zu Verfügung stehen.¹²⁹ Die in den Jahren von 1983 bis 2020 erzielte Rückgewinnung natürlich überflutbarer Auenflächen umfasst demgegenüber eine vergleichsweise kleine Fläche. Der Handlungsbedarf ist daher nach wie vor groß.

Die Diskussion um die Bedeutung der Rückgewinnung natürlicher Überflutungsflächen und der Renaturierung von Auen für die Klimawandelanpassung im Handlungsfeld „Biologische Vielfalt“ macht deutlich, wie eng die Verbindungen zwischen Klimaschutz, Klimawandelanpassung und der Entwicklung der Biodiversität sind. So gehen Fachleute davon aus, dass die indirekten Auswirkungen des Klimawandels durch die Umsetzung von Klimaschutz und Anpassungsmaßnahmen größer sind als die direkten Auswirkungen durch die Erderwärmung und die Veränderungen des Niederschlagsregimes. Maßnahmen wie die Errichtung von Erneuerbarer-Energien-Anlagen, die Erzeugung von Anbaubiomasse, die Umsetzung von Agroforstmaßnahmen, die Rückgewinnung natürlicher Überflutungsflächen zum Hochwasserschutz und die Renaturierung von Mooren zur Stärkung der CO₂-Senkenfunktion, die zumindest teilweise sowohl dem Klimaschutz als auch der Klimawandelanpassung dienen, führen zu Landnutzungsveränderungen, die



Bei der Rückgewinnung natürlicher Überflutungsflächen ergeben sich umfangreiche Synergien zwischen dem Hochwasserschutz und der Förderung der Biodiversität.

(Foto: © Fernbach Antal / stock.adobe.com)

sowohl positive als auch negative Folgewirkungen für die Biodiversität haben können.

Fläche streng geschützter Gebiete weiterhin leicht steigend

Wildlebende Tiere und Pflanzen und ihre Lebensräume sind in den fast flächendeckend von menschlichen Nutzungen geprägten Landschaften Deutschlands vielfältigen Einflüssen ausgesetzt. Neben den negativen Wirkungen einer fortschreitenden Intensivierung der Landnutzung verursacht der Klimawandel in vielen Fällen zusätzliche Belastungen. Unter diesen Bedingungen gewinnt die Unterschutzstellung naturschutzfachlich wertvoller Gebiete als Rückzugsräume an Bedeutung für den Fortbestand heimischer und oftmals gefährdeter Tier- und Pflanzenpopulationen (siehe Indikator RO-R-1, Seite 302). Neben der Größe und Qualität von Schutzgebieten spielt vor dem Hintergrund des Klimawandels auch die räumliche Verteilung und Vernetzung dieser Gebiete eine wichtige Rolle.

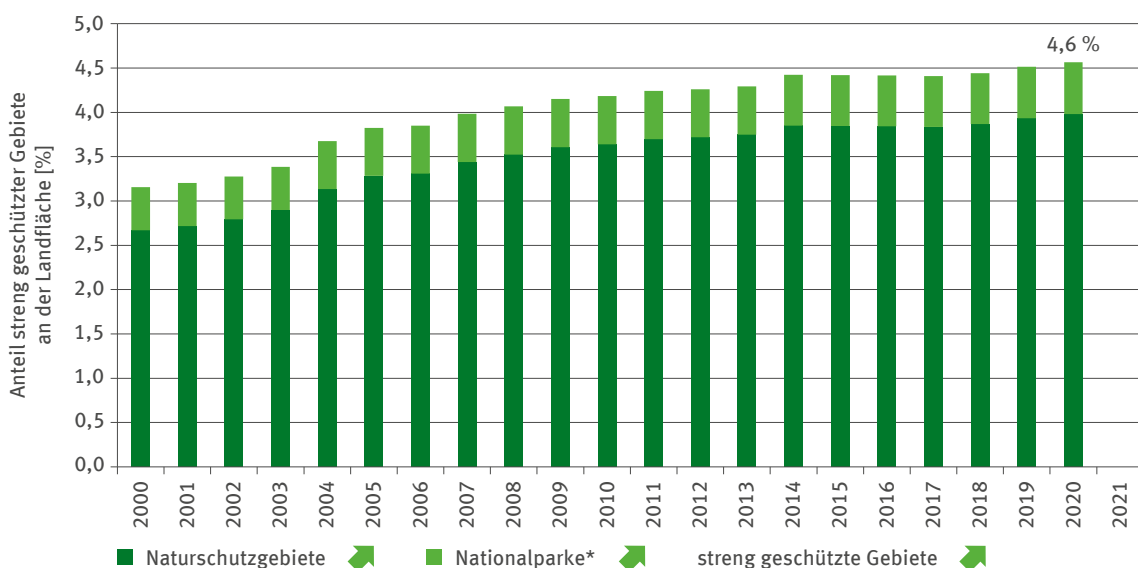
In Naturschutzgebieten und Nationalparks gelten strenge Schutzregelungen, um die Erhaltung und Entwicklung seltener und gefährdeter Arten und Biotope sicherzustellen. Bei Nationalparks spielt zudem die Großräumigkeit eine besondere Rolle. Im überwiegenden Teil eines Nationalparkgebiets soll ein möglichst ungestörter

Ablauf natürlicher Vorgänge möglich sein. Der Indikator bilanziert die Gesamtfläche dieser geschützten Gebiete in Deutschland. Dafür wird der prozentuale Anteil der Flächen der Naturschutzgebiete und der Nationalparke an der Landfläche Deutschlands ermittelt. Natura-2000-Gebiete sowie Kern- und Pflegezonen der Biosphärenreservate sind hierin eingeschlossen, falls sie als Naturschutzgebiete oder Nationalparke ausgewiesen wurden. Die Fläche dieser geschützten Gebiete hat von 1.129.225 ha im Jahr 2000 auf 1.632.691 ha im Jahr 2020 zugenommen. Auf die Landfläche Deutschlands bezogen bedeutet dies eine Steigerung von 3,2 % im Jahr 2000 auf 4,6 % der Fläche im Jahr 2020.

Der Anstieg der Fläche dieser geschützten Gebiete war in der Vergangenheit unter anderem durch die Umsetzung des Natura-2000-Netzwerkes bedingt. Die Fläche dieser geschützten Gebiete, die zum Zweck der rechtlichen Sicherung der gemeldeten Natura-2000-Gebiete neu ausgewiesen werden, wird in Deutschland voraussichtlich nur noch in einem überschaubaren Umfang zunehmen. Dies liegt maßgeblich daran, dass die Natura-2000-Gebiete

BD-R-3: Gebietsschutz

Naturschutzgebiete und Nationalparke sind als besonders geschützte Gebiete wichtige Rückzugsräume, in denen nachteilige Auswirkungen auf Tiere und Pflanzen vermieden oder gemindert werden. Unter diesen Bedingungen schaffen Schutzgebiete günstige Voraussetzungen für die Erhaltung von Arten und Lebensräumen, die durch den Klimawandel besonders gefährdet sind. Der stetige Zuwachs dieser geschützten Gebiete ist positiv zu bewerten.



* Kern- und Pflegezonen der Biosphärenreservate unter Nationalparks geführt, wenn diese als NSG oder NLP ausgewiesen sind

Datenquelle: BfN

bereits größtenteils rechtlich gesichert wurden und die Länder neben der Ausweisung als Naturschutzgebiet oder Nationalpark andere Formen der Unterschutzstellung wählen.

Während die Fläche der Naturschutzgebiete von 2000 bis 2014 stetig angewachsen ist und auch seit 2018 wieder zunimmt, vergrößerte sich die Fläche der Nationalparke nur zwischen den Jahren 2003 und 2004 nach Gründung der Nationalparke „Eifel“ in Nordrhein-Westfalen und „Kellerwald-Edersee“ in Hessen sowie durch die Errichtung der Nationalparke „Schwarzwald“ in Baden-Württemberg im Jahr 2014 und „Hunsrück-Hochwald“ in Rheinland-Pfalz und im Saarland im Jahr 2015.

Die Flächenzunahme dieser geschützten Gebiete ist gerade mit Blick auf die neuen Anforderungen, die sich aus dem Klimawandel für den Arten- und Biotopschutz ergeben, positiv zu bewerten. Die formale Ausweisung eines Schutzgebiets ist allerdings nur ein erster, wenn auch wichtiger Schritt zur Anpassung des Schutzsystems an die mit dem Klimawandel verbundenen Anforderungen. Da vom Klimawandel besonders gefährdete Lebensräume wie Feuchtgebiete oder auch die Gebirge zu den naturschutzfachlich hochwertigen Gebieten gehören, treffen sich Bestrebungen zu deren Unterschutzstellung mit Zielen der Anpassung an den Klimawandel.

Neben der Unterschutzstellung geeigneter Gebiete in ausreichend großem Umfang bedarf es eines effektiven Managements dieser Gebiete im Sinne der festgelegten Ziele des Naturschutzes. Da die Verordnungen der einzelnen Schutzgebiete stark voneinander abweichen können und die Zahl aller Schutzgebiete in Deutschland sehr groß ist, lassen sich umfassende Aussagen über die Qualität der Gebiete und des Managements bislang nicht treffen. Unklar ist auch, in welchem Umfang bereits Aspekte der Klimawandelanpassung beim Management der Schutzgebiete berücksichtigt werden. Möglicherweise vollziehen sich mit den Klimaveränderungen dynamische Entwicklungen, die eine Anpassung der festgelegten Ziele und des Managements in Schutzgebieten künftig erforderlich machen.

Naturschutzgebiete und Nationalparke sollen auch Teile des nach den Vorgaben des Bundesnaturschutzgesetzes aufzubauenden länderübergreifenden Biotopverbunds sichern. Eine ausreichende Vernetzung von Biotopen ermöglicht einen genetischen Austausch zwischen Populationen. Dieser wiederum ist unabdingbare Voraussetzung für die Erhaltung der Arten. Mit dem Klimawandel gewinnt daher der Biotopverbund zunehmend an Bedeutung, um die Wanderungs- und



Für Pflanzen und Tiere ist der Klimawandel eine zunehmende Belastung. In streng geschützten Gebieten sind andere Stressfaktoren reduziert. (Foto: © Makuba / stock.adobe.com)

Ausbreitungsmöglichkeiten zwischen verschiedenen Vorkommen von Tier- und Pflanzenarten großräumig zu verbessern. Wie im Falle der Ausweitung der Schutzgebietsfläche gilt auch für den Biotopverbund, dass die bundesweiten Bemühungen zur Wiedervernetzung von Lebensräumen Ziele der Anpassung an den Klimawandel unterstützen. Allerdings lässt sich mit Hilfe des Indikators keine Aussage treffen, ob die spezifischen Anforderungen, die sich aus dem Klimawandel ergeben, bei der derzeitigen Planung und Umsetzung des Biotopverbunds ausreichend berücksichtigt sind.



Foto: © Stephan / stock.adobe.com

Bauwesen

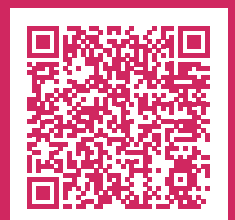
Überblick	216
Wirkstrang „Wärmebelastung von Städten“	219

Auswirkungen des Klimawandels – Impact

BAU-I-1	Wärmebelastung in Städten – Fallstudie	220
BAU-I-2	Sommerlicher Wärmeinseleffekt – Fallstudie.....	221
BAU-I-3	Kühlgradtage	222
BAU-I-4	Starkregen im Siedlungsbereich	224
BAU-I-5	Schadenaufwand in der Sachversicherung	226

Anpassungen an den Klimawandel – Response

BAU-R-1	Erholungsflächen	228
BAU-R-2	Gründächer in Großstädten.....	230
BAU-R-3	Investitionen in die energetische Sanierung der Gebäudehülle	232
BAU-R-4	Versicherungsdichte der erweiterten Elementarschadenversicherung für Wohngebäude	234



Zur Bedeutung des Handlungsfelds

Wohnen und Arbeiten, Handel, Gewerbe und Dienstleistungen, Kultur und Bildung, Gesundheit und Freizeit – sehr viele Bereiche des menschlichen Lebens finden vollständig in Gebäuden statt oder sind eng an Gebäude gebunden. Es ist eine zentrale Aufgabe von Gebäuden, die Nutzer*innen und deren Besitz sowie die innerhalb von Gebäuden stattfindenden Aktivitäten vor Wetter und Witterung zu schützen. Bestehende Baustandards und -normen stellen sicher, dass Gebäude dieser Anforderung unter den klimatischen Bedingungen ihres jeweiligen Standorts gerecht werden und gegen vorhersehbare Schäden weitgehend gesichert sind. Regionale Unterschiede sind zum Beispiel durch Schneelast-, Windlast- und Schlagregenzonen oder in Form von Sommerklimaregionen beschrieben, die architektonisch und ingenieurtechnisch bei der Gestaltung von Gebäuden zu berücksichtigen sind.

Angesichts der großen Auslegungsbreite der bestehenden Standards bringen vor allem die klimawandelbedingte Zunahme und höhere Intensität von Extremereignissen

Herausforderungen für das Bauwesen mit sich. Gebäude und Städte müssen Nutzer*innen und Bewohner*innen auch zukünftig angenehme, gesunde und sichere Aufenthaltsbedingungen bieten und sind mit Blick auf mögliche Wetter- und Witterungsextreme weiterzuentwickeln.

Die Klimawandelanpassung ist aber nur eine der Herausforderungen, mit denen sich das Bauwesen aktuell konfrontiert sieht. Mit der zunehmenden Urbanisierung steigt der Bedarf an bezahlbarem neuen Wohnraum sowie gewerblichen Flächen, vor allem in den wirtschaftsstarken Großstädten und ihrem Umland. Zugleich gilt es, den Gebäudesektor bis Mitte des Jahrhunderts treibhausgasneutral zu machen. Hierfür werden die bestehenden Gebäude in den nächsten Jahrzehnten schrittweise saniert und modernisiert, um ihren Energiebedarf zu verringern und sie auf erneuerbare Energien umzustellen. In der langfristigen Transformation von Gebäuden und Städten liegen Notwendigkeit und Chance, Lösungen zu nutzen oder zu entwickeln, die Klimaschutz und Anpassung gleichermaßen dienen.

DAS-Monitoring – was im Klimawandel passiert

Die vergangenen Jahre haben sehr deutlich gezeigt, welche Folgen die klimatischen Veränderungen für Gebäude, Siedlungen und Städte bedeuten können. Belastungen durch hohe Temperaturen hat in den Jahren 2018, 2019 und zuletzt 2022 besonders die Bevölkerung von Großstädten erfahren. In Berlin, Frankfurt am Main und München treten Heiße Tage mit Tageshöchsttemperaturen von 30 °C und mehr sowie Tropennächte mit Temperaturen nicht unter 20 °C deutlich häufiger auf als im deutschlandweiten Mittel (siehe Indikator BAU-I-1, Seite 220). Dies gilt vor allem für Jahre wie die oben genannten, in denen die Sommermonate Juni, Juli und August überdurchschnittlich heiß sind. Hinzu kommt, dass Heiße Tage in den Städten zunehmend bereits im Mai und bis in den September hinein auftreten. Die besonderen Temperaturbedingungen in Städten sind durch den „städtischen Wärmeineffekt“ gekennzeichnet, dessen maximale Intensität eng unter anderem mit der Größe und Dichte einer Stadt zusammenhängt. In Berlin etwa wurde 2018 zwischen der Innenstadt und dem Umland ein maximaler Temperaturunterschied von über 11 °C beobachtet. Der Effekt verstärkt die innerstädtischen Belastungen der Bevölkerung durch hohe Temperaturen. Ob sich der städtische Wärmeineffekt durch den Klimawandel verstärkt, lässt sich noch nicht beurteilen (siehe Indikator BAU-I-2, Seite 221). Mit der andauernden Urbanisierung und der Verdichtung der Städte wächst aber in jedem Fall die Fläche, die potenziell von dem Effekt betroffen ist. Mit

den zunehmenden Temperaturen steigen in allen Landesteilen die Anforderungen an den sommerlichen Wärmeschutz von Gebäuden an. Dies zeigen die sogenannten Kühlgradtage, die in Deutschland signifikant zunehmen (siehe Indikator BAU-I-3, Seite 222).

Neben der Hitze sind auch häufigere und intensivere Starkregen und Überschwemmungen hoch relevante Gefährdungen für Siedlungen und Gebäude. Im kollektiven Gedächtnis sind die sintflutartigen Regenfälle von Tief Bernd im Juli 2021, die in Rheinland-Pfalz und Nordrhein-Westfalen, aber auch in anderen Bundesländern ein katastrophales Ausmaß annahmen. In keinem anderen Jahr seit Beginn der bundesweiten Radarerfassung von Niederschlägen war bisher der Anteil der Siedlungsfläche, der von Regenfällen der Unwetterwarnstufe betroffen war, so hoch (siehe Indikator BAU-I-4, Seite 224). Durch die katastrophalen Ereignisse des Juli 2021 entstanden an Wohngebäuden, Hausrat und Betrieben versicherte Sachschäden in Höhe von 8,1 Mrd. Euro und damit der bislang höchste Schadenaufwand in der Sachversicherung von Elementarschäden. Neben den Elementargefahren lassen sich Schäden durch Sturm und Hagel mit Sachversicherungen absichern. Auch hier schlagen einzelne extreme Unwetterereignisse, beispielsweise die Hagelunwetter des Jahres 2013, mit einem hohen Schadenaufwand besonders zu Buche (siehe Indikator BAU-I-5, Seite 226).

Die künftigen Klimarisiken – Ergebnisse der KWRA

Die Klimawirkungs- und Risikoanalyse 2021 (KWRA, siehe Lesehilfe, Seite 7) sieht für das DAS-Handlungsfeld „Bauwesen“ bereits bis zur Mitte des Jahrhunderts ein hohes Klimarisiko für die Entstehung von Schäden an Gebäuden durch Hochwasser sowie für zunehmende stadtklimatische Belastungen in Verbindung mit einer Ausdehnung der vom städtischen Wärmeinseleffekt betroffenen Fläche. Ebenso wurde das Risiko für nachteilige Entwicklungen des Innenraumklimas als hoch bewertet. Negative Folgewirkungen können sich bei steigenden Innenraumtemperaturen auch für die Luftqualität und die hygienische

Situation ergeben, da hohe Temperaturen die Freisetzung von Gefahrenstoffen und den Schimmelbefall begünstigen. Für die Vegetation in Siedlungen wurde das Risiko von Beeinträchtigungen durch steigende Temperaturen, vermehrte Trockenheit sowie möglicherweise extremere und häufigere Stürme bis zur Mitte des Jahrhunderts als mittel, bis zum Ende des Jahrhunderts als hoch eingeschätzt. Zudem besteht das Risiko, dass die Vegetation infolge der klimatischen Änderungen anfälliger gegenüber Schaderregerbefall und Krankheiten wird und somit ihre ökologische Funktion unter anderem zur Verbesserung des Stadtklimas verliert.

Wo haben wir Daten- und Wissenslücken?

Die Herausforderungen für das Bauwesen durch zunehmende Wärmebelastungen, vor allem in Städten, und die Auswirkungen von Extremereignissen auf den Gebäudebestand lassen sich mit den DAS-Monitoringindikatoren thematisieren. Für andere Klimawandelfolgen ist die Datensituation dagegen weniger günstig. Dies betrifft zunächst die Auswirkungen des Klimawandels auf das Innenraumklima von Gebäuden. Der Indikator BAU-I-3 Kühlgradtage (Seite 222) nimmt hierzu zwar die äußeren Rahmenbedingungen in den Blick, zu Veränderungen der innenraumklimatischen Behaglichkeit fehlt es bisher aber an In-situ-Daten. Ein weiteres wichtiges Themenfeld, das sich bisher nicht datengestützt abbilden lässt, betrifft die Klimawandelfolgen für die Vegetation in Städten. Die Satellitenfernerkundung schafft Möglichkeiten für ein bundesweites Monitoring der Vitalität der Vegetation. So lässt sich auf Basis von Sentinel 2-Daten der Disease Water Stress Index (DSWI) für Siedlungsbereiche berechnen, um die Auswirkungen von Trockenstress auf das Stadtgrün zu beobachten.¹³⁰

Die Satellitenfernerkundung bietet auch für den Bereich der Response-Indikatoren Ansatzpunkte für Neu- und Weiterentwicklungen. Mit ihrer Hilfe lässt sich der Umfang der Grünausstattung von Städten mit größerem Detail beobachten als mit dem bisherigen Indikator BAU-R-1 Erholungsflächen (Seite 228). Hierfür wäre das im Rahmen des Forschungsvorhabens „Wie grün sind bundesdeutsche Städte?“¹³¹ entwickelte Stadtgrünraster kontinuierlich fortzuführen und auszuwerten. Der Indikator BAU-R-2

(Seite 230) greift ebenfalls auf Daten aus der Satellitenfernerkundung zu. Hier gilt es, Weiterentwicklungen der Datensituation wie etwa eine höhere Auflösung der Satellitenbilddaten im Blick zu behalten und konsequent für eine Optimierung der Indikatoren zu nutzen. An anderer Stelle schränkt die mangelnde Datenverfügbarkeit die Entwicklung von Response-Indikatoren dagegen noch deutlich ein. Zum Beispiel wäre es mit Blick auf die Gefährdung von Siedlungen durch Starkregen und damit verbundene Sturzfluten und Überschwemmungen wünschenswert zu wissen, in welchem Umfang Gemeinden und Landkreise beispielsweise mit kommunalen Starkregengefahrenkarten auf solche Ereignisse vorbereitet sind. Auch zu Anpassungen im Gebäudebestand gibt es keine zentrale Datenquelle. Ein möglicher Ansatzpunkt kann die im Aufbau befindliche Datenerfassung zum Sanierungsgrad des Gebäudebestands sein. Neben Aspekten von Klimaschutz und Energieeffizienz könnte die Erfassung vorsorgende Maßnahmen an Gebäuden einbeziehen wie die Verwendung anpassungsrelevanter Materialien oder bautechnische Maßnahmen zum Schutz vor Überschwemmung, Sturm und Hagel. Auch regelmäßige Informationen zum Stand des Klimawissens und zu den Einstellungen der Hausbesitzenden und der Immobilienwirtschaft wären wünschenswert: Was zum Beispiel ist bekannt zu den Klimarisiken für eigene Gebäude und Grundstücke und zu möglichen Präventivmaßnahmen? In welchem Maß besteht Bereitschaft, Maßnahmen umzusetzen und mit Anforderungen des Klimaschutzes zusammen zu denken?

Was getan wird – einige Beispiele

Der politische Fokus im Bauwesen richtete sich in der Vergangenheit vor allem auf die Versorgung der Bevölkerung mit ausreichendem und bezahlbarem Wohnraum.

Mit der Energiewende kam als weiteres Ziel die sukzessive Entwicklung hin zu einem klimaneutralen Gebäudebestand durch energieeffizientes Bauen und Sanieren

hinzu. In den vergangenen Jahren nimmt auch die Klimawandelanpassung im Bauwesen und Städtebau einen immer breiteren Raum ein. Trockene und heiße Sommer wie in den Jahren 2018 und 2019 sowie die vielerorts auftretenden Starkregen haben das öffentliche Bewusstsein dafür geschärft, dass Gebäude, Dörfer und Städte robuster gegenüber den Folgen des Klimawandels werden müssen.

Im städtischen Umfeld bedarf es eines engen Zusammenspiels von Stadt-, Quartiers- und Infrastrukturentwicklung mit der Objektplanung und -gestaltung. Ein klimaangepasster Städtebau schafft durch gute Versorgung mit grünen und blauen Infrastrukturen die Ausgangsbedingungen für ein gesundes oder wenig belastendes Stadtklima auch bei heißen und trockenen Wetterlagen. Vor allem für Großstädte ist es wegen des hohen Urbanisierungsdrucks eine Herausforderung, Flächen für den stadtklimatischen Ausgleich und zur Erholung zu erhalten oder neu zu schaffen (siehe Indikator BAU-R-1, Seite 228). Ausreichende Grün- und Gewässerstrukturen sind zudem wichtige Komponenten im Konzept der Schwammstadt. Der Begriff bezeichnet ein Regenwassermanagement, bei dem beispielsweise in städtischen Grünanlagen und anderen geeigneten Flächen Rückhaltekapazitäten geschaffen werden, die Regenwasser möglichst lokal speichern, der Wiedernutzung zuführen, ins Grundwasser versickern oder zeitversetzt in das Kanalsystem ableiten. Die überflutungsfähigen Flächen tragen dazu bei, die Kanalisation bei Starkregenfällen zu entlasten und Überschwemmungen von Siedlungsflächen zu vermeiden. Gleichzeitig erhöht das zeitweise auf den Flächen verbleibende Wasser die Verdunstungskälte und bildet ein Reservoir, aus dem städtisches Grün in Trockenzeiten, zusätzlich zu einer verstärkten Nutzung von Grauwasser, mit Wasser versorgt werden kann.

Der Bund unterstützt eine klimagerechte städtebauliche Entwicklung auf verschiedene Weise: Unter anderem untersuchen das Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) und ebenso das BMBF und das UBA in Forschungsvorhaben Fragen zu Klimaanpassung und Stadtentwicklung oder lassen praxisbezogene Materialien und Instrumente für einen klimaresilienten Städtebau entwickeln und erproben. Regelmäßig ist ein unmittelbarer Austausch mit Pilotkommunen Teil dieser Vorhaben, deren Ergebnisse für weitere Städte und Gemeinden zur Anwendung bereitstehen. Ein besonderer Schwerpunkt lag in den vergangenen Jahren auf einer genaueren Erfassung des Umfangs und der Qualität von städtischem Grün und von dessen Wirkung auf das Stadtklima. Zudem wurden kommunale Strategien zur Sicherung und Entwicklung der städtischen Grünausstattung

auf ihre Wirksamkeit untersucht. Die Motivation für die verschiedenen Aktivitäten muss dabei nicht aus der Klimaanpassung herrühren, denn das städtische Grün bringt auch für die Gesundheit, aktive Mobilität, den sozialen Zusammenhalt und die biologische Vielfalt viele positive Effekte (siehe Strategieprozess zum „Weißbuch Stadtgrün“¹³²).

Neben fachlicher und methodischer Hilfe durch Forschungsprojekte unterstützen der Bund und auch die Länder die klimagerechte Stadtentwicklung mit Förderprogrammen: Das Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen (BMWSB) hat im Sommer 2022 das Bundesprogramm „Anpassung urbaner Räume an den Klimawandel“ gestartet, in dem Projekte zur Erhaltung und Entwicklung von öffentlich zugänglichen Grün- und Freiräumen gefördert werden. Im Rahmen der DAS wurde seitens des BMUV das Programm „Maßnahmen zur Anpassung an die Folgen des Klimawandels“ initiiert, um vor allem Kommunen und kommunale Einrichtungen bei der Klimaanpassung zu unterstützen. Möglichkeiten zur Beratung, Fortbildung und Vernetzung im Bereich Klimaanpassung erhalten Verantwortliche und Beteiligte in den Kommunen sowie Träger sozialer Einrichtungen vom Zentrum KlimaAnpassung (www.zentrum-klimaanpassung.de), das das BMUV im Jahr 2021 ins Leben gerufen hat.

Neben dem angepassten Städtebau ist auch die klimagerechte Weiterentwicklung des Gebäudebestands Gegenstand von Forschung und Förderung. Ein wichtiges Thema hierbei ist die Begrünung von Fassaden und Dachflächen. Zahlreiche Städte und Gemeinden fördern die Gebäudebegrünung (siehe Indikator BAU-R-2, Seite 230). Auch von Bundeseite bestehen bereits Möglichkeiten für eine Förderung.¹³³ Außerdem haben Forschung und Förderung den sommerlichen Wärmeschutz von Gebäuden im Fokus, der bei guter Planung synergetisch für Klimaschutz und Anpassung wirken kann (siehe Indikator BAU-R-3, Seite 232). Mit der Klimaerwärmung wird der sommerliche Wärmeschutz für die Funktions- und Aufenthaltsqualität öffentlicher und privater Gebäude immer wichtiger werden. Ein weiteres Thema für die Forschung ist die Notwendigkeit, bautechnische Normen und Regelwerke an geänderte Klimabedingungen anzupassen und dadurch die Klimaanpassung von Grund auf in Planung und Errichtung von Gebäuden zu integrieren.¹³⁴ Um die Vorbildfunktion öffentlicher Gebäude für die Klimaanpassung zu stärken, wird derzeit das Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen (BNB) weiterentwickelt, um die Qualität von Planungs- und Bauleistungen in Bezug auf klimaangepasstes Bauen bewerten zu können und innerhalb des Zertifizierungssystems sichtbar zu machen.

Handlungsfeld-relevante Klimaveränderungen

Hitzewellen

Die Anzahl der Heißen Tage stieg im Flächenmittel Deutschlands seit 1951 von etwa drei Heißen Tagen pro Jahr auf heute etwa zehn Heiße Tage an. Trotz großer Variabilität zwischen den Jahren ist dieser Anstieg statistisch gesichert. Vier der fünf Jahre mit den meisten Heißen Tagen ereigneten sich seit 2015. Mit der deutschlandweiten Zunahme der Heißen Tage kommt es seit den 1990er-Jahren in Städten häufiger zu extremen Hitzewellen, bei denen die mittlere Tageshöchsttemperatur in einem 14-tägigen Zeitraum bei über 30 °C liegt (siehe Abbildung 7, Seite 24).

Auswirkungen des Klimawandels

BAU-I-1 Wärmebelastung in Städten

Aufgrund des Wärmeinseleffekts von großen, zusammenhängend bebauten städtischen Räumen sind die Wärmebelastungen für die Bevölkerung in Großstädten zumeist deutlich höher als im bundesweiten Durchschnitt. In den meisten Jahren treten in den Städten mehr Heiße Tage auf, besonders groß sind die Unterschiede in Jahren mit überdurchschnittlich warmen Sommern wie 2015, 2018 und 2019. Während beispielsweise im Jahr 2018 der bundesweite Durchschnitt bei 20,4 Heißen Tagen lag, wurden in Frankfurt am Main 42 Heiße Tage gezählt. Ein Grund hierfür ist, dass sich Heiße Tage in den Großstädten immer häufiger auch außerhalb der meteorologischen Sommermonate Juni, Juli und August beobachten lassen.

Anpassungen – Aktivitäten und Ergebnisse

BAU-R-2 Gründächer in Großstädten

Vitale Dach- und Fassadenbegrünungen haben vielfältige positive Wirkungen, die sie zu einer wichtigen Anpassungsmaßnahme für städtische Räume machen. Besonders wichtig mit Blick auf zunehmende Wärmebelastungen in Städten ist ihre kühlende Wirkung auf das jeweilige Gebäude und, bei Fassadenbegrünungen, auf das nähere städtische Umfeld. Für das begrünte Gebäude entsteht dieser Effekt durch die verringerte direkte Sonneneinstrahlung auf die Gebäudehülle und indem die Pflanzen, eine ausreichende Wasserversorgung vorausgesetzt, über ihre Blätter Wasser verdunsten. Zudem strahlt das begrünte Gebäude weniger Wärme in die Umgebung ab, da die Begrünung einen Teil der eingestrahnten Energie absorbiert.

BAU-R-3 Investitionen in die energetische Sanierung der Gebäudehülle

Maßnahmen für einen vorbeugenden sommerlichen Wärmeschutz sollen einer Erwärmung von Gebäuden vorbeugen. Dazu sind beispielsweise die Fensterflächenanteile und die Ausrichtung eines Gebäudes sorgfältig zu planen, außerdem können Jalousien und Rollläden auf der Außenseite sowie Sonnenschutzgläser die Sonneneinstrahlung reduzieren. Gute Wärmedämmung und hohe energetische Baustandards können ebenfalls helfen, die Temperaturen in Gebäuden gering zu halten. Im Wohnbau ebenso wie im Nichtwohnbau nehmen, zuletzt bedingt auch durch steigende Preise im Bausektor, Investitionen in die energetische Sanierung, die auch Maßnahmen zur Dämmung von Fassade und Dach einschließen, seit Mitte der 2010er-Jahre zu.



Besondere Wärmebelastungen in Großstädten

In Großstädten herrschen oft klimatische Verhältnisse, die sich deutlich vom Klima in ihrer Umgebung unterscheiden. So ist etwa die relative Luftfeuchte geringer, und die mittleren Temperaturen liegen höher. Mit Blick auf die Temperaturunterschiede zwischen Stadt und Land sprechen Klimafachleute von der „städtischen Wärmeinsel“. Wie stark der städtische Wärmeineffekt ist, hängt vor allem von der Größe der Stadt, ihrer Dichte, der Höhe der Bebauung, dem Versiegelungsgrad und dem Grünflächenanteil sowie den verwendeten Baumaterialien ab. Auch die Wolkenbedeckung und die Windverhältnisse spielen eine wichtige Rolle für die Hitzebelastung in Städten.

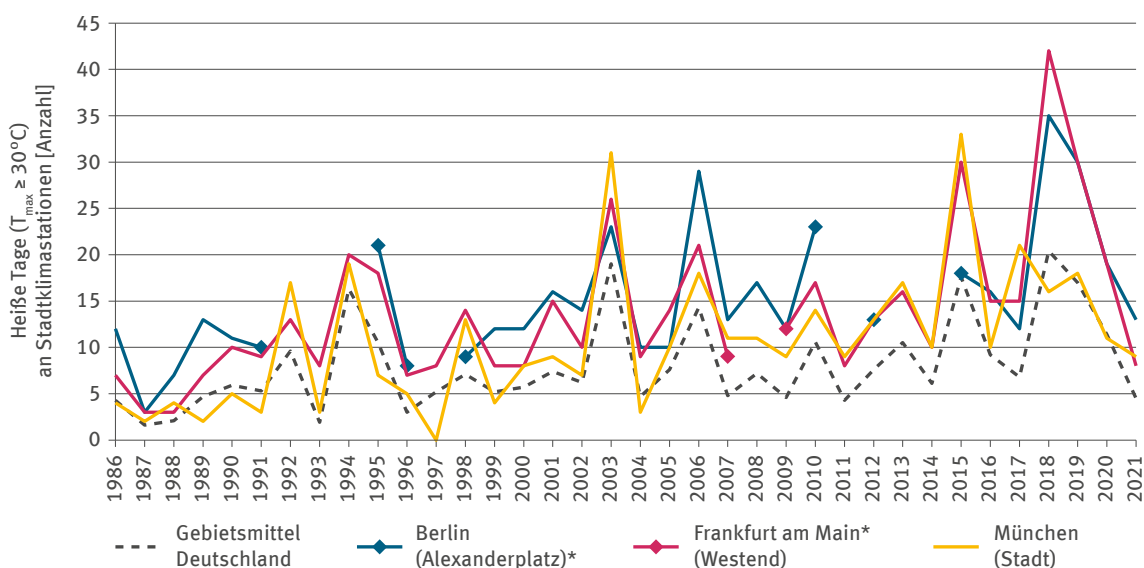
In heißen Sommermonaten können daraus gesundheitliche Belastungen für die Bevölkerung entstehen, wenn sich die Stadträume wegen ihrer spezifischen Charakteristik tagsüber stark aufheizen, ohne sich in der Nacht im gleichen Maße wie das Umland abzukühlen (siehe Indikator GE-I-1, Seite 40). Diese Situationen können sich zukünftig häufen. Klimaprojektionen für Mitteleuropa zeigen, dass die mittleren Temperaturen ansteigen werden und sich die Wettercharakteristik insgesamt ändern wird.

Erwartet werden unter anderem häufigere thermische Extremwerte. So werden beispielsweise die sogenannten „Heißen Tage“ zunehmen, an denen die maximale Lufttemperatur 30 °C erreicht oder überschreitet. Belastend für die Bevölkerung sind zudem „Tropennächte“, in denen das Thermometer nicht unter 20 °C fällt und eine erholsame Nachtruhe nur noch eingeschränkt möglich ist.

Im Flächenmittel Deutschlands hat die Anzahl der Heißen Tage von im Mittel etwa 3 Tagen pro Jahr in den 1950er-Jahren auf derzeit etwa 10 Tage pro Jahr zugenommen (siehe Seite 23). Die Zeitreihen für die Stadtklimastationen in Berlin, Frankfurt am Main und München wurden anhand der Tagesmaxima der Lufttemperatur der täglichen Stationsbeobachtungen ermittelt, für Tropennächte anhand der Tagesminima. Sie reichen nicht bis 1951 zurück. Ein direkter Vergleich mit der bundesweiten Entwicklung ist daher nicht möglich. Schon die kürzeren Zeitreihen belegen aber die Sondersituation der Großstädte. Heiße Tage treten hier – bei regionalen Unterschieden – in den meisten Jahren deutlich häufiger auf als im bundesweiten Mittel. In Jahren mit überdurchschnittlich

BAU-I-1: Wärmebelastung in Städten – Fallstudie

Heiße Tage und ebenso Tropennächte (nicht abgebildet) treten – mit regionalen Unterschieden – in den untersuchten Großstädten in den meisten Jahren deutlich häufiger auf als im deutschlandweiten Flächenmittel. Vor allem in Jahren wie 2015 und 2018 mit überdurchschnittlich warmen Sommermonaten häufen sich in Großstädten Situationen, die zu Wärmebelastungen der Bevölkerung führen können.



* keine ausreichenden Daten für Berlin-Alexanderplatz in den Jahren 1992–1995, 1997, 2011, 2013, 2014; für Frankfurt a. Main im Jahr 2008

Datenquelle: DWD (CDC)

warmen Sommern, wie 2003, 2015 und 2018, sind die Unterschiede besonders groß. 2018 wurde der bis dato höchste bundesweite Mittelwert in Frankfurt am Main mit 42 Heißen Tagen um mehr als das Doppelte übertroffen. Dies hängt auch damit zusammen, dass Heiße Tage in den Städten zunehmend auch außerhalb des meteorologischen Sommers (Juni bis August) auftreten. So lassen sich besonders in Berlin und Frankfurt am Main Heiße Tage immer häufiger schon im Mai und bis in den September hinein beobachten. Noch stärker als bei den Heißen Tagen ist der Unterschied zwischen den Großstädten und dem Gebietsmittel Deutschlands bei den hier nicht dargestellten Tropennächten: Lag der Wert für Deutschland in den genannten Jahren zwischen 1 und 1,5 Tropennächten, wurden in Frankfurt am Main bis zu 13 und in Berlin bis zu 20 solcher Nächte registriert.

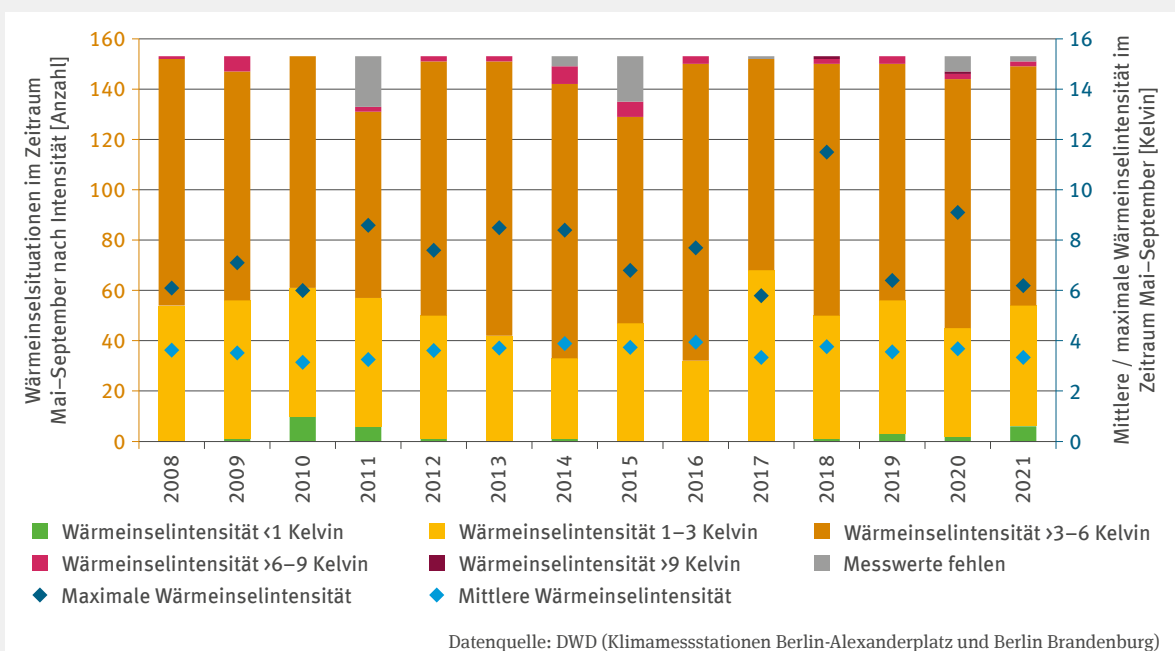
Anders als bei den Heißen Tagen und den Tropennächten bezieht sich die Zeitreihe zum städtischen Wärmeineffekt nicht auf die Häufigkeit von Schwellenwertüberschreitungen, sondern nimmt auf der Basis von 10-minütlich gemessenen Werten für die Stadt Berlin die maximalen täglichen Temperaturunterschiede zwischen dem Zentrum und dem direkten Umland in den Blick.

Im Mittel liegen diese in den Sommermonaten Juni bis August zwischen 3 und 4 Kelvin. An Spitzentagen sind aber wie im Jahr 2018 auch Temperaturunterschiede von annähernd 11 Kelvin möglich. Hohe Temperaturdifferenzen treten vor allem in den Abend- und Nachtstunden auf. Das heißt, die Innenstadt kühlt im Sommer deutlich langsamer und weniger ab als das Umland. Für die Stadtbevölkerung kann es dann häufiger zu warm sein, um ausreichend erholsamen Schlaf zu finden.

Anhand der Zeitreihe lässt sich bislang nicht beurteilen, ob der Klimawandel den städtischen Wärmeineffekt verschärft. Ein Grund hierfür kann sein, dass Wärmebelastungen in Stadt und Umland gleichermaßen zunehmen. Darauf weisen etwa Projektionen für Frankfurt am Main hin¹³⁵. Auch ohne eine Zunahme der städtischen Wärmeinselintensität hieße das für die Zukunft: Belastende Situationen werden wahrscheinlich weiterhin dort am häufigsten auftreten, wo die Wärmebelastung bereits heute hoch ist. Sofern der Temperaturgradient zwischen Stadt und Umland sich nicht verändert, wird mit den steigenden Temperaturen zudem ein immer größerer Teil der Stadtfläche und damit der Bevölkerung von Wärmebelastungen betroffen sein

BAU-I-2: Sommerlicher Wärmeineffekt – Fallstudie

Zwischen der Innenstadt und dem Umland Berlins kann sich in den Monaten Mai bis September ein maximaler Temperaturunterschied von über 11 Kelvin bilden. Ob der Klimawandel den Wärmeineffekt verschärft, kann noch nicht beurteilt werden. Aber auch wenn die Lufttemperaturen in Stadt und im Umland „nur“ im gleichen Maß zunehmen, werden die Wärmebelastungen vor allem für die Stadtbevölkerung besonders oft sehr hoch sein.



Datenquelle: DWD (Klimamessstationen Berlin-Alexanderplatz und Berlin Brandenburg)

Steigende Anforderungen an sommerlichen Wärmeschutz

Die Jahre 2018 und zuletzt 2022 waren die wärmsten Jahre in Deutschland seit Beginn der Wetteraufzeichnungen. Mehr als 20 Heiße Tage, an denen die Temperatur im deutschlandweiten Mittel auf 30 °C und mehr kletterte, gab es bisher nur 2018. Den Herstellern von Klimageräten und Ventilatoren bescherte der damalige heiße Sommer hohe Umsätze, da die Temperatur in vielen Büros und Wohnungen deutlich außerhalb der Komfortzone lag.

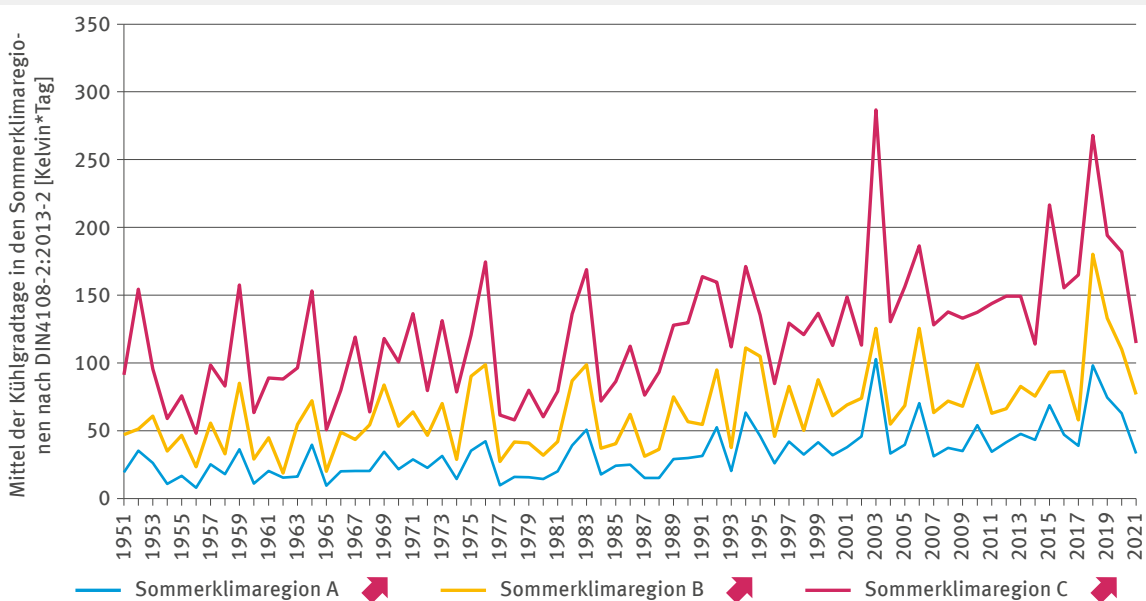
Der bauliche Wärmeschutz soll unter anderem gewährleisten, dass solche Situationen die Ausnahme bleiben und das Innenraumklima in Gebäuden auch bei sommerlich hohen Außenlufttemperaturen erträglich bleibt. Die „Mindestanforderungen an den Wärmeschutz“ einschließlich des sommerlichen Wärmeschutzes beschreibt die gleichnamige DIN 4108-2:2013-02. Die Anforderungen dieser Norm gelten nach dem Gebäudeenergiegesetz (GEG) von 2020 als Mindestanforderung für den sommerlichen Wärmeschutz von Gebäuden und sind sowohl bei Neubauten als auch bei größeren Erweiterungen einzuhalten.

Um diese Mindestanforderungen räumlich zu differenzieren, unterteilt die DIN Deutschland in die drei Sommerklimaregionen A, B und C. Sommerklimaregion A umfasst die Küstengebiete von Nord- und Ostsee sowie die Mittelgebirgslagen und die Alpen, also die tendenziell kühleren Gebiete. Tendenziell wärmere Gebiete sind der Sommerklimaregion C zugeordnet. Hierzu zählen der Bodensee und der Oberrheingraben, das Rhein-Neckar- und das Rhein-Main-Gebiet, das Mosel- und das Mittelrheintal, das Ruhrgebiet sowie die Stadtregionen Leipzig / Halle und Dresden. Die weiteren Gebiete sind in Region B zusammengefasst.

Diese drei Sommerklimaregionen bilden den räumlichen Hintergrund für die im Indikator dargestellten Zeitreihen der Kühlgradtage, die in Anlehnung an ein von der Europäischen Umweltagentur (EEA) verwendetes Verfahren¹³⁶ berechnet wurden. Auswertungen zu Kühlgradtagen werden als Grundlage herangezogen, um die zeitliche Entwicklung des Kühlbedarfs beziehungsweise der Anforderungen an den sommerlichen Wärmeschutz in diesen Regionen abzuschätzen. Die Kühlgradtage sind

BAU-I-3: Kühlgradtage

In den drei Sommerklimaregionen der DIN 4108-2:2013-02, die für den sommerlichen Wärmeschutz von Gebäuden maßgeblich ist, nimmt die Zahl der Kühlgradtage, mit signifikant steigendem Trend zu. Seit 1999 liegen die Kühlgradtage in den drei Regionen durchgängig über dem Mittel der Klimanormalperiode 1961–1990. Die Anforderungen an den sommerlichen Wärmeschutz steigen deutschlandweit.



Datenquelle: DWD Regionales Klimabüro Essen (eigene Auswertung)

eine abgeleitete Größe mit der Einheit Kelvin * Tag. Sie wird ausgehend von der Überschreitung eines Temperaturschwellenwerts, in diesem Fall 22 °C, berechnet, indem man die Höhe der Überschreitung pro Tag für alle Tage eines Jahres in gewichteter Form aufsummiert. Die Gewichtung richtet sich dabei danach, ob das Tagesmaximum, das Tagesmittel oder sogar das Tagesminimum den Schwellenwert überschreiten. Im ersten Fall ist die Gewichtung am geringsten, im Fall des Tagesminimums am höchsten. Die Daten für die Zeitreihe der Sommerklimaregion A lieferten die DWD-Stationen Bremerhaven und Stötten auf der Schwäbischen Alb. Für die Sommerklimaregion B wurden die Werte der Stationen Potsdam, Essen und Hamburg-Fuhlsbüttel verwendet, und Region C wird durch die Station Mannheim repräsentiert.

Alle drei Zeitreihen zeigen seit 1951 einen signifikant steigenden Trend. Dabei nehmen die Kühlgradtage in der Sommerklimaregion C (beziehungsweise an der Station Mannheim) schneller zu als in den beiden anderen Regionen. Unabhängig davon zeigt ein Vergleich mit der Klimanormalperiode 1961–1990, dass die Kühlgradtage in allen drei Regionen seit 1999 durchgängig über dem Mittelwert der Jahre 1961–1990 liegen. Das bedeutet, in ganz Deutschland steigen die Anforderungen an den sommerlichen Wärmeschutz. Folgt man den aktuellen Klimaprojektionen, wird sich diese Entwicklung bis zum Ende des 21. Jahrhunderts weiter fortsetzen.

Mit dieser Perspektive vor Augen und aufgrund internationaler und nationaler Verpflichtungen, den Ausstoß von Treibhausgasen im Gebäudebereich sukzessive und deutlich zu mindern, gilt es, die steigenden Anforderungen an den Wärmeschutz bei der Gebäudeplanung vorausschauend zu berücksichtigen. DIN 4108-2:2013-02 definiert allerdings nur die Anforderungen, die Neubauten, Gebäudeerweiterungen und neu angebaute Bauteile wie etwa Wintergärten mindestens erfüllen müssen und bezieht sich dabei auf das Klima der Jahre 1988 bis 2007. Unter anderem vor dem Hintergrund der sehr warmen Jahre 2018, 2019 und zuletzt 2022 sowie des direkten Bezugs auf die DIN in den Regelungen zum sommerlichen Wärmeschutz im GEG wird derzeit eine Weiterentwicklung von DIN 4108-2:2013-02 vorangetrieben, um die projizierte Klimaerwärmung und ihre Folgen stärker zu berücksichtigen und die Mindestanforderungen an den sommerlichen Wärmeschutz daran anzupassen. Bis dies erfolgt ist, liegt es in der Verantwortung der Bauherren, mit Blick auf die stetig steigenden Temperaturen über die Mindestanforderungen der Norm hinaus Vorsorgemaßnahmen zu treffen. Ansatzpunkte sind beispielsweise eine Reduzierung der Fensterfläche und eine geeignete Fensterneigung und -orientierung,



Mit Jalousien, Sonnenschutzglas oder -folie und zahlreichen weiteren Maßnahmen lässt sich der Wärmeeintrag in Gebäude verringern. (Foto: © MATTHIAS BUEHNER / stock.adobe.com)

eine Verwendung heller Oberflächenfarbe an Dach und Fassade, die Art der Nachtlüftung sowie der Einsatz von Gebäudebegrünung, außenliegender Verschattung, Sonnenschutzverglasung und passiven Kühlungssystemen (siehe Indikatoren BAU-R-2, Seite 230, und BAU-R-3, Seite 232). Unterstützt durch eine präventive Stadt- und Quartiersplanung, die unter anderem für eine gute Durchlüftung und eine hinreichende Ausstattung mit grün-blauer Infrastruktur in den Städten sorgt (siehe Indikator BAU-R-1, Seite 228), kann das Innenklima von Gebäuden so auch bei steigenden Temperaturen in der Komfortzone bleiben.

Starkregen – eine Gefahr für Siedlungen

Starkregen sind Wetterereignisse, bei denen innerhalb kurzer Zeit große Regenmengen niedergehen. Der DWD warnt vor unwetterartigem Starkregen, wenn in einer Stunde mehr als 25 Liter je Quadratmeter (l/m^2) oder in sechs Stunden mehr als $35 l/m^2$ Regen erwartet werden. Als extremes Unwetter werden Regenmengen von mehr als $40 l/m^2$ in einer Stunde beziehungsweise $60 l/m^2$ in drei Stunden eingestuft. Häufig kommt es zu diesen Wolkenbrüchen, wenn durch Konvektion gebildete, massive Wolken ihre Wassermengen in starken Regenfällen auf zumeist kleiner Fläche abregnen.

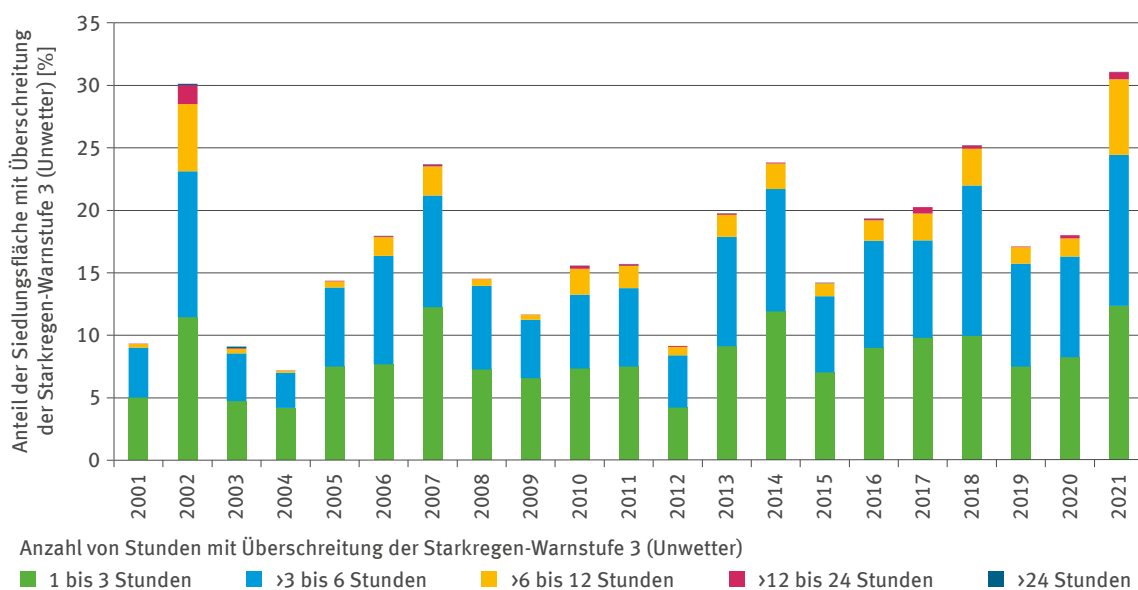
Typisch für die Folgen kurzzeitiger Starkregen sind Bilder wie aus dem baden-württembergischen Braunsbach (Mai 2016) oder aus Berlin (Juni 2017): Binnen weniger Minuten bringen unwetterartige Starkregen die Kanalisation zum Überlaufen und setzen ganze Straßenzüge unter Wasser. Sie lösen Sturzfluten aus, die Autos mit sich reißen und Straßen und Häuser verwüsten. Ereignisse wie diese können in extremen Fällen Leib und Leben der Bevölkerung gefährden, in vielen Fällen sind sie mit hohen Sachschäden verbunden. Im gesamten Jahr 2021

etwa beliefen sich die versicherten Schäden an Wohngebäuden, Hausrat und Betrieben durch Überschwemmung und Starkregen auf rund 9,2 Mrd. Euro.

Schäden entstehen bei oder nach Starkregen vor allem durch sogenannte Sturzfluten. Das sind extreme Hochwasser als Folge der starken Regenfälle. Im Flachland entstehen sie, wenn das Regenwasser nicht rasch genug abfließen oder im Boden versickern kann. Das Wasser sammelt sich an der Oberfläche oder staut sich aus überlasteten Abwasser- und Entwässerungssystemen, deren Bemessungsgrenzen überschritten sind, zurück. Vor allem in Mulden und Unterführungen kann der Wasserstand dann sehr schnell steigen. In hängigem Gelände kann es zu sogenannten Gebirgssturzfluten kommen. Das schnell abfließende Wasser sammelt sich in Rinnen oder Bachbetten und kann extrem schnell zu schwallartigen Hochwasserwellen ansteigen. Diese erreichen mitunter auch Gegenden, in denen es vorher gar nicht geregnet hat.¹³⁷ Wenn solche Gebirgssturzfluten Material wie Bäume oder Steine mit sich reißen, kann es an Gebäuden zu massiven Schäden kommen – bis hin zum Totalverlust.

BAU-I-4: Starkregen im Siedlungsbereich

Die hohe Zahl an Stunden mit Starkregen-Warnungen im Jahr 2021 steht vor allem in Zusammenhang mit den verheerenden Regenfällen, die Mitte Juli des Jahres vor allem Rheinland-Pfalz und Nordrhein-Westfalen sowie Sachsen und Bayern trafen. Die Starkregen-Warnungen zeigen dabei nur einen Teil der Bedrohung von Siedlungen: Vor längeren und ergiebigen Regenfällen warnt der DWD mit dem zusätzlichen Warnkriterium Dauerregen.



Datenquelle: DWD (Radarklimatologie RADKLIM (RW) Version 2017.002), BKG (DLM250)

Starkregen und Sturzfluten können Gebäude aber auch auf andere Art schädigen. So kann das Wasser am Gebäude höher anstehen, als es bei der Gebäudeplanung bedacht war, und beispielsweise durch ebenerdige Hauseingänge, Kellerfenster oder auch durch den Rückstau aus dem Kanal ins Gebäude eindringen. Dort verteilt es in den überschwemmten Räumen Schlamm und Schmutz, der zudem mit Mineralöl, Chemikalien und Fäkalien belastet sein kann. Oberhalb und unter der Erdoberfläche können das anstehende Wasser oder die hohe Bodenfeuchte zu typischen Hochwasserschäden an der Bausubstanz führen, beispielsweise Durchfeuchtung und Wasserstandlinien, Ausblühungen an Oberflächen, abgelöste Beschichtungen oder Schimmel. Um Schäden vorzubeugen, können Hausbesitzende eine Reihe von Maßnahmen ergreifen, etwa auf eine ausreichende Höhe von Gebäudeöffnungen über dem Gelände, wasserdichte Baustoffe und geeignete Entwässerungssysteme mit Rückstausicherung achten.¹³⁸

Nach den gegenwärtigen wissenschaftlichen Erkenntnissen, die der IPCC unter anderem im zweiten Teil des 6. Sachstandsberichts¹³⁹ zusammengetragen und im Februar 2022 veröffentlicht hat, lässt sich eine Zunahme der Häufigkeit und Intensität von Extremereignissen durch den Klimawandel beobachten. Mit der fortschreitenden Klimaerwärmung werden die Klimarisiken weltweit und auch in Deutschland weiter zunehmen. Unter anderem gehen Fachleute der Meteorologie und Klimaforschung für die Zukunft von häufigeren und extremeren Starkniederschlagsereignissen in Deutschland aus. Ein Grund dafür ist, dass die Luft bei höheren Temperaturen mehr Wasser aufnehmen kann – rund sieben Prozent mehr pro Kelvin Temperaturerhöhung. Zudem ist davon auszugehen, dass sich aufgrund der geänderten meteorologischen Verhältnisse bei der Entstehung von Schauern und Gewittern die Wolken- und Niederschlagsbildung intensivieren werden. In der zweiten Hälfte des 21. Jahrhunderts werden in Deutschland – bei starken regionalen und saisonalen Unterschieden – heute noch relativ selten auftretende hohe Tagesniederschläge deutlich häufiger sein.¹⁴⁰

Wie häufig und intensiv Starkregen sind und ob der Klimawandel schon einen Einfluss auf sie hat, lässt sich nur schwierig ermitteln. Da sie oft nur lokal begrenzt auftreten, werden Starkregen nur teilweise durch das meteorologische Stationsmessnetz erfasst. Unter anderem aus diesem Grund hat der DWD eine radargestützte Niederschlags erfassung entwickelt, aus der seit 2001 weitgehend flächendeckende Niederschlagsdaten und nahezu alle Informationen zu Starkregenereignissen vorliegen.¹⁴¹ Diese Datenerfassung wird in Zukunft auch Trendanalysen zur Überschreitungshäufigkeit der vom DWD verwendeten Warnstufen ermöglichen (siehe Tabelle 2, Seite 25).



In heißen und trockenen Sommern ist es besonders wichtig, sich gegen Starkregen nicht nur zu schützen, sondern das Wasser auch speichern zu können. (Foto: © Budimir Jevtic / stock.adobe.com)

Für den dargestellten Indikator wurden die jährlichen Daten aus der radargestützten Niederschlagsmessung mit der Siedlungsfläche in Deutschland überlagert. Im Ergebnis heben sich vor allem die Jahre 2002 und 2021 ab, in denen besonders viel Siedlungsfläche in einer hohen Anzahl von Stunden durch Starkniederschläge betroffen war. Dies hängt zusammen mit jeweils großflächigen und langanhaltenden Dauerregen (nach den Warnkriterien des DWD Regenfälle in einem Zeitraum von 12 bis 72 Stunden), in denen zeitweise auch die Warnschwellen für Starkregen überschritten waren. Im Jahr 2002 verursachten zahlreiche starke Regenfälle über einen langen Zeitraum in Sachsen und Südbayern die Hochwasserkatastrophen an Elbe und Donau. Im Juli 2021 lösten die massiven Regenfälle die Überflutung an Ahr und Erft mit ihren katastrophalen Folgen aus. In einer stabilen Tiefdruckwetterlage fielen damals im gesamten Einzugsgebiet der Ahr fast 951/m² Regen in 24 Stunden. An einigen Stationen in anderen Teilen von Rheinland-Pfalz und Nordrhein-Westfalen wurden Werte von über 1501/m² in 24 Stunden gemessen. Aufgrund der feuchten Witterung der vorangegangenen Wochen konnten die Böden nur wenig Wasser aufnehmen, zudem erschweren die geologischen Gegebenheiten grundsätzlich die Versickerung. Das Wasser floss an den steilen Talhängen der Mittelgebirgsregion schnell an der Oberfläche ab, sammelte sich in den engen, teils dicht bebauten Flusstälern und hinterließ dort eine Spur der Verwüstung (siehe Indikator BAU-I-5, Seite 226).

Immer wieder Jahre mit gravierenden Elementarschäden

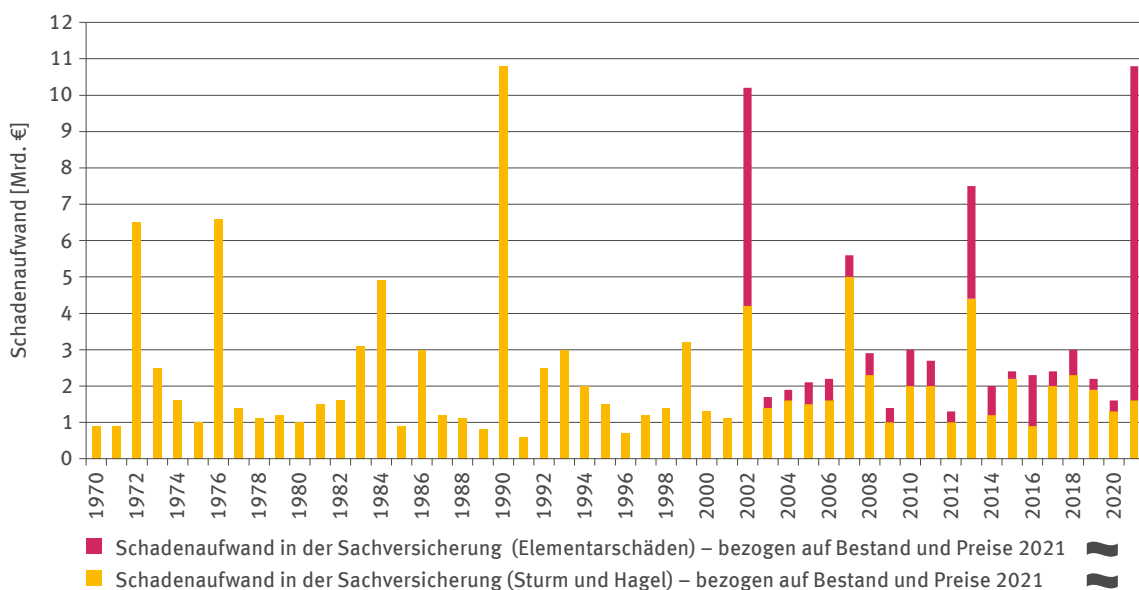
Witterungsbedingte Extremereignisse können Schäden an der Gebäudehülle und im Innern von Gebäuden anrichten. Typische Sturmschäden an Gebäuden sind losgerissene Dachziegel oder Dach- und Fassadenteile und zerbrochene Fenster- oder Türscheiben. Indirekt können Gebäude durch umgefallene oder abgebrochene Bäume und Masten oder Schäden an Gebäuden in der Nachbarschaft beeinträchtigt werden. Hagelkörner haben in Abhängigkeit von ihrer Größe eine enorme Schlagkraft und beschädigen dann Dächer und Photovoltaikanlagen, Fensterscheiben oder Verblendungen. Vor allem wenn Wasser in Gebäude eindringt, sei es durch Hochwasser oder Starkregen, können auch erhebliche Schäden in den Innenräumen von Gebäuden, insbesondere dem Hausrat, entstehen. Die höchsten Einzelschäden an Einfamilienhäusern können sich bei solchen Ereignissen auf über 100.000 Euro belaufen, in besonders extremen Fällen wie bei der Hochwasserkatastrophe 2021 kann ein Einzelschaden an einem Einfamilienhaus aber auch zehnmal so hoch liegen.¹⁴²

Für die Entwicklung der Häufigkeit und Intensität von Starkregeneignissen und Stürmen lässt sich derzeit für Deutschland noch kein klarer Trend erkennen, und auch Projektionen in die Zukunft sind im Gegensatz zu Temperaturvorhersagen nach wie vor schwierig. So lässt sich im regionalen Klimamodellensemble einer Untersuchung des BMDV-Expertenetzwerks zwar eine leichte Abnahme extremer Windgeschwindigkeiten vor allem im Sommer feststellen. Die Änderungen sind aber gering und die Aussagen zu Windgeschwindigkeit grundsätzlich mit Vorsicht zu behandeln.¹⁴³ Ob Stürme wie der Orkan Friederike in der Wintersaison 2017/2018 zukünftig häufiger auftreten oder intensiver ausfallen, lässt sich derzeit für Deutschland daher nicht sicher sagen. Mit Blick auf Starkregen gehen Klimaforschende für die Zukunft hingegen von häufigeren und extremeren Starkniederschlagsereignissen in Deutschland aus (siehe Indikator BAU-I-4, Seite 224).

Der Umfang, in dem Schäden an und in Gebäuden durch Extremereignisse entstehen, lässt sich anhand von Zahlen der Versicherungswirtschaft ersehen. Vor allem bei hohen Versicherungsdichten wie bei der Versicherung

BAU-I-5: Schadenaufwand in der Sachversicherung

Stürme und Hagel sowie wetterbedingte Elementargefahren wie Überflutungen nach Starkregen und Hochwasser können an Gebäuden und deren Inhalten massive Schäden verursachen, die sich mit Sachversicherungen absichern lassen. Einzelne extreme Unwetterereignisse schlagen mit einem hohen Schadenaufwand in der Sachversicherung zu Buche und prägen die Zeitreihe, ein signifikanter Trend zeichnet sich bisher nicht ab.



Datenquelle: GDV (Branchen- und Risikostatistik, Naturgefahrenreport)

privater Gebäude gegen Sturm und Hagel (hier besteht mit 95 % annähernd Marktsättigung) bilden sich auch regional begrenzte Schadenereignisse gut in der Statistik ab. Eine Veränderung der gemeldeten Schäden und der damit verbundenen Leistungen der Versicherungsunternehmen an die Versicherten lässt sich daher unmittelbar mit einer Veränderung der Schadenereignisse in Häufigkeit und Intensität in Zusammenhang bringen.

Mit Blick auf die in der üblichen Sachversicherung abgesicherten Schäden gilt, dass die Schadenssummen durch Brand, Blitzschlag, Explosion und Leitungswasser über die Jahre hinweg annähernd stabil sind. Im Falle der Sturm- und Hagelschäden sowie der Elementarschäden, die durch Erdbeben, Erdbeben, Erdrutsch, Erdsenkung, Schneedruck und Lawinen sowie durch Überschwemmung infolge von Flussausuferung oder Starkregen ausgelöst werden, schwanken die Schäden dagegen stärker von Jahr zu Jahr. Schadenereignisse können in manchen Jahren in Abhängigkeit der Witterung gehäuft auftreten, und einzelne sehr heftige Ereignisse können große Schäden verursachen. Andere Jahre verlaufen dagegen vergleichsweise „ruhig“.

Der Schadenaufwand in der Sachversicherung schließt neben den privaten Wohngebäuden und deren Hausrat auch gewerbliche und industriell genutzte Gebäude und deren Gebäudeinhalte sowie Betriebsunterbrechungen infolge von Schadenereignissen ein. Er umfasst die Zahlungen und Rückstellungen für die im jeweiligen Geschäftsjahr verursachten Schäden einschließlich der Aufwendungen für die Schadenregulierung. Es erfolgt für die Zeitreihe eine Hochrechnung auf Bestand und Preise im Jahr 2021, um Inflationseffekte und Veränderungen im versicherten Bestand auszugleichen und die Zahlen der einzelnen Jahre miteinander vergleichbar zu machen.

Die Zeitreihe des Schadenaufwands in der Sachversicherung zeigt bisher weder für Sturm und Hagel noch für die Elementarschäden einen signifikanten Trend. Es gibt aber immer wieder Jahre, in denen einzelne Extremereignisse den Schadenaufwand in die Höhe treiben. Nach der Jahrtausendwende gehört hierzu zunächst das Jahr 2002, in dem das August-Hochwasser und außerdem mehrere Orkane, insbesondere der Orkan Jeanett, sehr massive Schäden anrichteten. Das Orkantief Kyrill im Januar 2007 beeinträchtigte das öffentliche Leben in weiten Teilen Europas und forderte europaweit 47 Todesopfer. Im Jahr 2013 trieben gleich fünf größere Hagelereignisse die Schäden in die Höhe: Manni und Norbert im Juni, Andreas und Bernd im Juli sowie Ernst im August. Das Juni-Hochwasser im selben Jahr verursachte, hochgerechnet auf Bestand und Preise des Jahres 2021, noch einmal



Die Sturzfluten von Tief Bernd haben im Juli 2021 enorme Schäden an Wohngebäuden, Hausrat und Betrieben verursacht. (Foto: © GordonGrand / stock.adobe.com)

Schäden in Höhe von 2,38 Mrd. Euro. Im Januar 2018 verursachte das Orkantief Friederike in Deutschland Schäden in Höhe von 900 Mio. Euro.

Der höchste Schadenaufwand in der Sachversicherung von Elementarschäden entstand in Deutschland bisher im Juli 2021 durch die Wassermassen, die Tief Bernd in einem Zeitraum von zwei Tagen auf Rheinland-Pfalz und Nordrhein-Westfalen niedergehen ließ. Sie verursachten versicherte Sachschäden an Wohngebäuden, Hausrat und Betrieben in Höhe von 8,1 Mrd. Euro.¹⁴⁴

Städtisches Grün – Kühlung fürs Stadtklima

Thermische Belastungen können bei der Bevölkerung zu gesundheitlichen Problemen und in extremen Fällen auch zu einer erhöhten Sterblichkeit führen. Risikogruppen sind vor allem ältere Menschen, chronisch Kranke, Kinder und isoliert lebende Personen. Aber auch andere Bevölkerungsgruppen können durch zukünftig häufigere Wärmebelastungen beeinträchtigt werden (siehe Indikatoren GE-I-1, Seite 40, GE-I-3, Seite 44). Belastend sind insbesondere auch hohe nächtlichen Temperaturen, die eine erholsame Nachtruhe verhindern oder erschweren (siehe Indikator BAU-I-1, Seite 220). Von wirtschaftlicher Bedeutung ist außerdem, wenn Beschäftigte unter Müdigkeit, Konzentrationsschwäche und Belastungen des Herz-Kreislaufsystems leiden und weniger produktiv sind, wenn die Temperatur am Arbeitsplatz zu hoch ist (siehe Indikator IG-I-1, Seite 264).

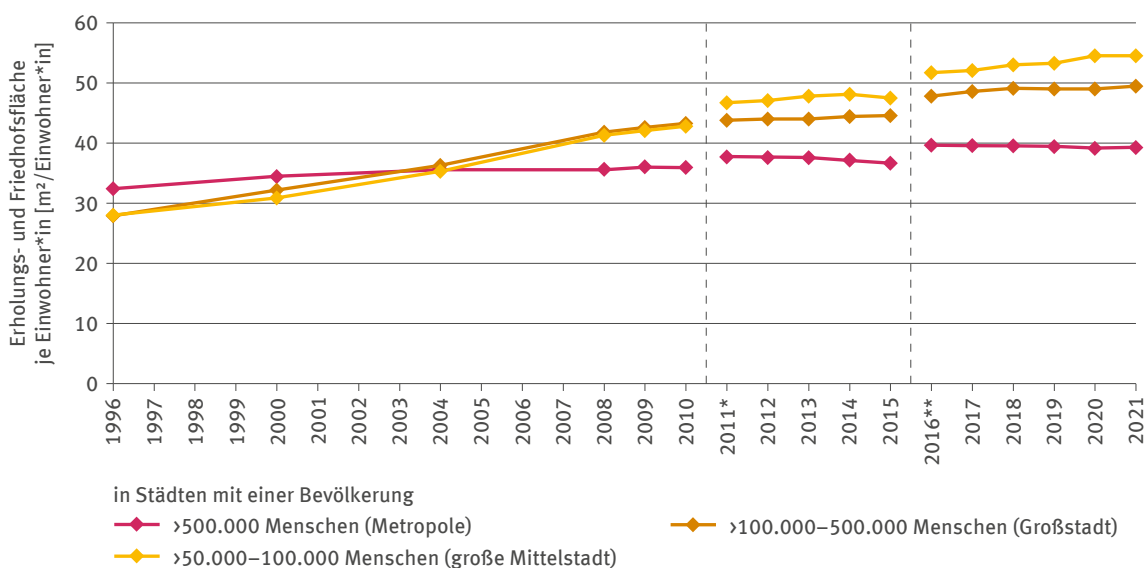
Es wird erwartet, dass sich durch den Klimawandel stadtklimatische Effekte weiter verstärken (siehe Indikator BAU-I-2, Seite 221) und hitzebedingte Gesundheitsprobleme häufiger auftreten können. Um diesen möglichen Klimawandelfolgen entgegenzuwirken oder vorzubeugen,

können Maßnahmen auf verschiedenen Ebenen ansetzen. Einen wichtigen Beitrag dazu leisten eine angepasste Gestaltung von Städten und Quartieren und deren quantitativ und qualitativ ausreichende Ausstattung mit „grünen“ und „blauen“ Infrastrukturen, also mit öffentlichen und privaten Grün- und Gewässerflächen. Überwiegend grüne, wenig versiegelte Flächen, etwa Erholungsflächen wie Sport- und Spielflächen, Grünanlagen und Campingplätze oder auch Friedhofsflächen, übernehmen wichtige Funktionen für das lokale Kleinklima – besonders dann, wenn sie einen zusammenhängenden Verbund bilden.

Die positive Wirkung von Grünflächen auf das Stadtklima sowie die Luftqualität und Lärminderung wird durch die Größe, den Aufbau und die Zusammensetzung der vegetationsbestandenen Flächen bestimmt. Schon mit Gras bepflanzte Flächen lassen gegenüber der bebauten Umgebung günstige Veränderungen in ihrer Strahlungs- und Wärmebilanz erkennen, sofern sie gut mit Wasser versorgt sind. Sträucher und vitale, schattenspendende Bäume mit einer hohen Krone verstärken die positiven bioklimatischen Effekte und erhöhen den thermischen

BAU-R-1: Erholungsflächen

Für die Lebensqualität der Bevölkerung von großen Städten und Metropolen ist es besonders wichtig, Flächen für den stadtklimatischen Ausgleich und zur Erholung in ausreichender Größe und Verteilung in der Stadt zu erhalten und neu zu schaffen. Die Versorgung mit Erholungsflächen blieb in Metropolen und Großstädten in den letzten Jahren unverändert, in den großen Mittelstädten stieg der Versorgungsgrad an.



* gemäß Bevölkerungsfortschreibung auf Grundlage des Zensus 2011

** Methodische Änderung der Flächennutzungsstatistik, Umstellung auf ALKIS

Datenquelle: LiKi mit Daten des AK UGRdL der Statistischen Landesämter (Indikator C4 – Erholungsfläche)

Komfort. Im Vergleich zur Umgebung stellen sich niedrigere Oberflächen- und Lufttemperaturen ein. Zudem zeichnen sich Grünflächen, insbesondere wenn sie mit Bäumen bestanden sind, durch eine höhere relative Luftfeuchtigkeit gegenüber versiegelten Flächen aus. Damit sie ihre Wirkung voll entfalten können, sind Pflanzen- und Baumbestände auf einen ausreichenden Wurzelraum und eine gute Wasserversorgung angewiesen.

In den betrachteten deutschen Städten mit einer Bevölkerungszahl von über 50.000 Personen steht der Bevölkerung in den kleineren Städten im Durchschnitt mehr, in den größeren Städten weniger öffentliche Erholungsfläche zur Verfügung. So ist aktuell die Ausstattung mit Erholungsflächen in den Metropolen, deren Bevölkerungszahl über 500.000 liegt, am geringsten. Die großen Mittelstädte mit einer Bevölkerungszahl zwischen 50.000 und 100.000 Personen sind mengenmäßig derzeit am besten mit Erholungsflächen versorgt.

Die zeitliche Entwicklung der Erholungsfläche je Einwohner ist allerdings schwierig zu interpretieren. Grund sind Änderungen in der Zuordnung und der Bewertung von Flächen, die im Zuge der im Jahr 2015 vollzogenen Einführung des Amtlichen Liegenschaftskatasterinformationssystems (ALKIS) vorgenommen wurden. Hierdurch kam es in der Flächennutzungsstatistik zu Veränderungen, denen keine tatsächlichen Nutzungsänderungen zugrunde lagen. Insbesondere in den Jahren 2000 und 2008 gab es in einigen Bundesländern massive Umwidmungen, die die Datenreihe maßgeblich beeinflussen. Unabhängig davon zeigt die Datenreihe für die Jahre von 2011 bis 2015, dass der Versorgungsgrad mit Erholungsflächen in den Metropolen und den großen Mittelstädten rückläufig war. Seit 2016 blieb die Versorgung in Großstädten und Metropolen mit einer Bevölkerungszahl von über 100.000 Personen weitgehend unverändert, in den großen Mittelstädten verbesserte sich der Versorgungsgrad. Die Gründe für die Entwicklungen lassen sich auf Grundlage der Daten, die dem Indikator zugrunde liegen, nicht im Detail nachvollziehen.

Grundsätzlich können die Kommunen, denen eine besondere Verantwortung für das Siedlungsklima zukommt, die Entwicklung positiv beeinflussen, indem sie zum Beispiel bestehende grüne Flächen erhalten, miteinander vernetzen und zusätzlich neues Grün schaffen. Idealerweise sind die Grünflächen über Ventilationsbahnen an Kaltluftentstehungsgebiete wie Wiesen und Felder im ländlichen Umland angebunden. In den urbanen Gebieten werten die Kommunen damit zudem die ökologischen Funktionen der Siedlungsgebiete auf und steigern Lebens- und Wohnqualität. Eine



Übers Stadtgebiet verteilte, miteinander vernetzte Grünanlagen mit vitalen Bäumen und Sträuchern sind für Städte in heißen Sommern elementar. (Foto: © marcus_hofmann / stock.adobe.com)

besondere Herausforderung für Kommunen ist es bei dem aktuell herrschenden Siedlungsdruck, auch bei einer Innenverdichtung ausreichend große Grünflächen für Einwohner*innen zu erhalten. Gerade in Metropolen gilt es, diese Entwicklung genau zu beobachten und zu steuern, damit das Wachstum nicht zu Lasten des Stadtklimas und damit der Lebensqualität geht.

Grüne Dächer in Großstädten – gut für Klimaanpassung und biologische Vielfalt

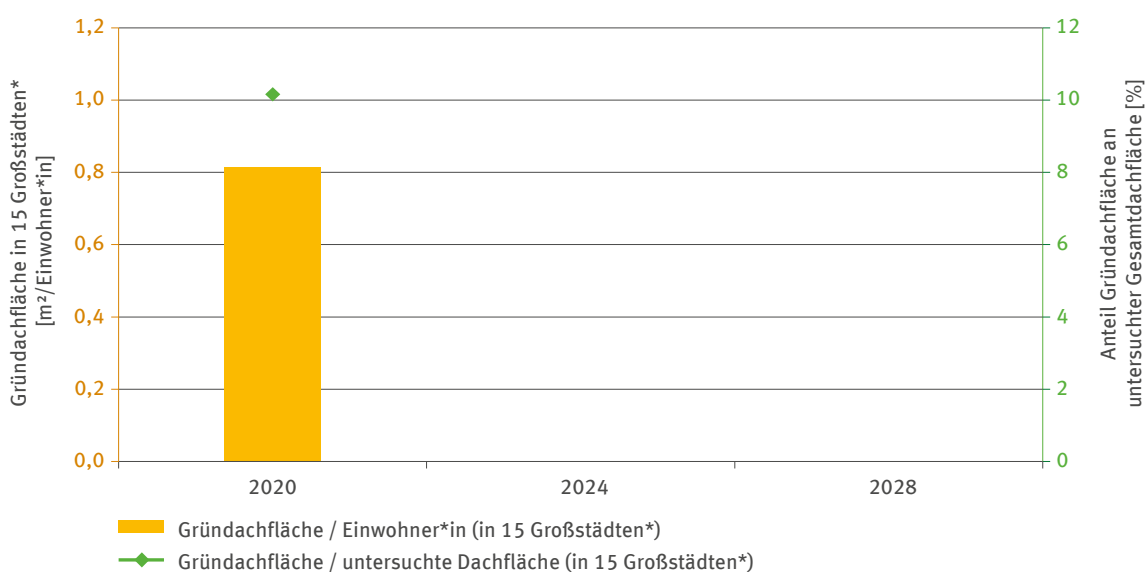
Grün in der Stadt ist nicht auf Parks und Grünanlagen, Straßenbegrünungen und private Gärten begrenzt. Auch Fassaden und Dächer von Gebäuden bieten viel Raum für Grün. Bei Fassaden reichen die Möglichkeiten von einer Begrünung mit Kletterpflanzen bis hin zu intensiv bepflanzten vertikalen Gärten. Dächer können je nach Gebäudestatik sehr unterschiedliche Vegetationsformen tragen – von einer sich weitgehend selbst erhaltenden extensiven Begrünung mit Moosen, Kräutern und Gräsern bis zu intensiven Pflanzungen mit Nutzpflanzen, Stauden und Gehölzen. Dächer und Fassaden mit einer vitalen Begrünung haben vielfältige Wirkungen, die für das einzelne Gebäude und die einzelne Liegenschaft die negativen Folgen des Klimawandels abmildern können. Im städtischen Raum können diese positiven Wirkungen zumindest teilweise auch auf das Umfeld der Gebäude ausstrahlen.

Indem begrünte Dächer und Fassaden die Sonneneinstrahlung verringern und die Pflanzen über ihre Blätter Wasser verdunsten, kühlen sie das Gebäude

und die Umgebungsluft ab¹⁴⁵. An heißen Sommertagen oder in Hitzeperioden profitieren davon zum einen die Nutzer*innen der Gebäude. Zum anderen verringern Gebäudebegrünungen durch die Absorption der einstrahlten Energie und die Verdunstung den städtischen Wärmeinseleffekt insbesondere in dicht bebauten und besiedelten Städten.¹⁴⁶ Wichtig: Die Verdunstungswirkung und damit verbundene stadtklimatische Effekte können nur eintreten, wenn das Substrat der Dachbegrünungen Feuchtigkeit aufnehmen und halten kann. Dies ist insbesondere bei extensiven Begrünungen zu beachten, die in der Regel nicht gepflegt werden, in heißen Sommermonaten aber möglicherweise bewässert werden müssen. Um zusätzlich zum stadtklimatischen Effekt auch im direkten Umfeld auf Straßenniveau wirksam zu sein, ist eine Begrünung der Fassade notwendig. Ein weiterer positiver Effekt von Begrünungen ist deren lufthygienische Wirkung. Die Vegetationsoberfläche bremst den Luftstrom ab, sodass sich Feinstäube und Schadstoffe leichter absetzen können.¹⁴⁷

BAU-R-2: Gründächer in Großstädten

Vitale Dach- und Fassadenbegrünungen können viele positive Effekte haben – für das Klima im Stadtquartier und im Gebäude, den Regenrückhalt, die Luftqualität und die biologische Vielfalt – und damit lokale Klimawandelfolgen abschwächen. Darauf sind eng bebaute und stark versiegelte Großstädte besonders angewiesen. Sie können Gründächer gezielt fördern, um Klimawandelfolgen entgegenzuwirken.



* bezogen auf 15 Großstädte mit einer Bevölkerungszahl >500.000 Menschen

Datenquelle: CAU Kiel, Brockmann Consult GmbH (Auswertung von Satellitenbildern und LoD2-Daten des BKG)

Gründächer helfen auch bei zu viel Niederschlag. In Abhängigkeit von ihrem Aufbau und ihrer technischen Ausstattung können Gründächer mitunter beträchtliche Mengen an Regenwasser speichern und später verdunsten, wenn die Niederschläge abgezogen sind. Mit Blick auf möglicherweise häufigere und intensivere Starkregenfälle bilden die Begrünungen einen Puffer, der das Regenwasser wie ein Schwamm aufnimmt und verzögert wieder in den Wasserkreislauf abgibt. Dadurch können Gründächer einen Beitrag leisten, die Entwässerungssysteme von Liegenschaften und von ganzen Stadtquartieren zu entlasten und Überstauungen sowie Schäden durch Überflutung zu reduzieren.

Außerdem tragen begrünte Dächer und Fassaden zum Schutz von Gebäude- und Bauteilen bei. Sie können beispielsweise die Schäden von Starkregen und Hagelschlag an Fassaden und Dächern verringern, und sie verlangsamen oder verhindern die Verwitterung von Dachabdichtungen. „Nebenbei“ sind Dach- und Fassadenbegrünungen auch Lebensraum für Flora und Fauna: Sie bieten Vögeln, Wildbienen, Schmetterlingen und Laufkäfern ein Zuhause und erhöhen dadurch die biologische Vielfalt in der Stadt.

Für den Indikator wurde für 15 Großstädte mit einer Bevölkerungszahl über 500.000 eine Auswertung vorgenommen, die Satellitenbilder mit einer räumlichen Auflösung von 10 m mit Daten von 3D-Gebäudemodellen kombiniert. Dabei wurden, stark vereinfacht ausgedrückt, anhand der Satellitenbilder die Vegetationsflächen innerhalb der Großstädte ermittelt und mithilfe der Daten aus 3D-Gebäudemodellen auf Gebäude mit einem Flach- oder Pultdach zugeschnitten. Begrünte Tiefgaragen ließen sich mit den verwendeten Daten nicht berücksichtigen. Um Fehlinterpretation zu vermeiden, wurden aufgrund der räumlichen Auflösung der Satellitenbilder in der Auswertung nur Dächer mit einer Mindestgröße über 400 m² und einer Mindestbegrünung von 20 % berücksichtigt. Damit wurde beispielsweise vermieden, dass hohe Bäume, die über eine Flachdachfläche ragen, fälschlicherweise als Dachbegrünung eingestuft werden. Die Beschränkung auf Flach- und Pultdachflächen über 400 m² Fläche hat zur Folge, dass nur rund 60 % der Flach- und Pultdachfläche beziehungsweise nur rund 30 % der gesamten Dachfläche der 15 Großstädte untersucht werden konnten.

Von der untersuchten Dachfläche in den 15 Großstädten mit einer Bevölkerungszahl größer 500.000 wurden im Mittel rund 10 % als begrünt eingestuft (entsprechend einer Fläche von rund 0,8 m² je Einwohner*in). Die Spanne reicht dabei von rund 5 % bis 19 % (entsprechend einer Fläche von 0,3 bis 1,3 m² je Einwohner*in). Unabhängig von den datentechnischen Beschränkungen zeigt der



Viele Kommunen fördern begrünte Dächer und Fassaden und damit deren vielfältige positive Wirkungen etwa fürs Stadtklima und die biologische Vielfalt. (Foto: © Heiner / stock.adobe.com)

dargestellte Ausgangsbestand für das Jahr 2020, dass in den Städten bislang nur ein vergleichsweise kleiner Teil der Flach- und Pultdachfläche begrünt ist.

Um den Flächenanteil von Dachbegrünungen zu erhöhen, bezuschussen viele Großstädte die Begrünung von Dächern und auch Fassaden direkt oder indirekt, zum Beispiel über verringerte Abwassergebühren für die Eigentümer*innen von Gebäuden mit Dachbegrünung. Außerdem treffen viele Städte in ihren Bebauungsplänen Festlegungen zur Gebäudebegrünung. Auf diese Weise versuchen sie, auf eine sukzessive Ausdehnung der begrünten Dachfläche hinzuwirken, um das Potenzial von begrünten Dachflächen mit ihren vielfältigen positiven Wirkungen für die Stadt zu erschließen – auch für die Klimaanpassung.

Neben einzelnen Kommunen fördern auch Bund und Länder die Begrünung von Gebäuden. Von Bundeseite ermöglichen beispielsweise die Programme der Städtebauförderung eine Bezuschussung von Dach- und Fassadenbegrünungen, ebenso das Programm zur Förderung von „Maßnahmen zur Anpassung an die Folgen des Klimawandels“ oder die „Bundesförderung für effiziente Gebäude“. Der Bund selbst hat es sich für Immobilien in seinem eigenen Verantwortungsbereich zum Ziel gesetzt, in geeigneten Fällen zukünftig die Möglichkeiten für Bauwerksbegrünungen verstärkt auszuloten und zu nutzen. In seiner Rolle als Bauherr und Eigentümer nimmt er dabei auch eine wichtige Vorbildfunktion wahr.¹⁴⁸

Energetische Sanierung unterstützt Gebäudeanpassung

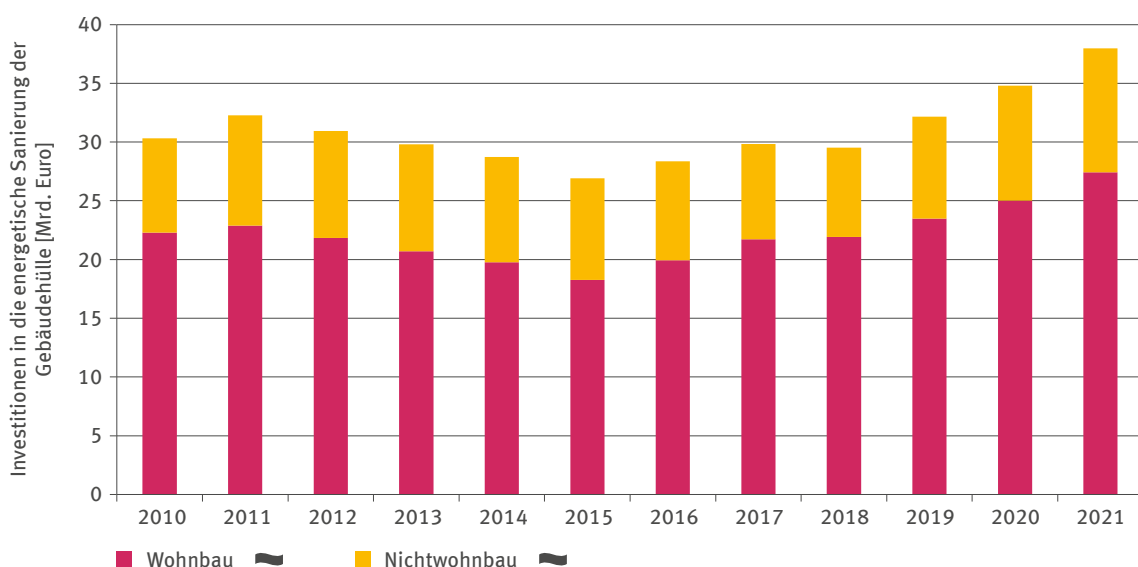
Eine klimagerechte städtebauliche Gestaltung, die die urbane grün-blaue Infrastruktur bewahrt und weiterentwickelt, ist ein Weg, um Wärmebelastungen vorzubeugen oder sie zumindest zu mindern. Andere Maßnahmen setzen direkt am Gebäudebestand an. Um eine Überwärmung von Innenräumen zu vermeiden, kommt in wärmeren Klimazonen vielfach eine aktive technische Kühlung von Wohn- und Arbeitsstätten zum Einsatz. In den heißen Sommern der vergangenen Jahre war diese Reaktion auch in Deutschland zu beobachten: Der Verkauf mobiler Klimaanlage zur aktiven Kühlung von Wohnungen und Häusern stieg außergewöhnlich stark an. Allerdings ist die Nutzung von Klimaanlage mit einem höheren Stromverbrauch verbunden, der wiederum zu einem verstärkten CO₂-Ausstoß führt, solange der Strommix nicht ausschließlich auf erneuerbaren Energien beruht. Solche Maßnahmen können daher den Bemühungen um mehr Klimaschutz zuwider laufen. Hinzu kommt, dass die Abluft der Klimaanlage lokal an ihrem Einsatzort die Stadtatmosphäre zusätzlich erwärmt und damit die bioklimatischen Belastungen verstärken kann. Maßnahmen der passiven Kühlung sollten aus diesem Grund sowohl

bei der Sanierung des Gebäudebestands als auch beim Neubau größere Priorität genießen.

Um das Klima in Innenräumen in einem angenehmen Bereich zu halten und baulich vor Sommerhitze zu schützen, sind bei der Planung und Umsetzung von Baumaßnahmen zwei Strategien gleichzeitig zu verfolgen: Die erste lässt eine Erwärmung innerhalb des Gebäudes erst gar nicht zu, die zweite führt die vorhandene Wärme ohne oder mit möglichst geringem Energieeinsatz nach draußen ab. Möglichkeiten für einen vorbeugenden sommerlichen Wärmeschutz – die erste Strategie – bestehen beispielsweise darin, Fensterflächenanteile und Gebäudeausrichtung sorgfältig zu planen, außen liegende Verschattungselemente und Sonnenschutzgläser einzusetzen, Gebäudefassaden und -dächer zu begrünen, Gebäude mit einer guten Wärmedämmung zu versehen und hohe energetische Baustandards einzuhalten. Das Abführen von Wärme als zweite Strategie lässt sich zum Beispiel durch natürliche Lüftungs- und Ventilationsysteme, eine kontrollierte nächtliche Lüftung oder eine antizyklische Speicherung oder Abgabe von Wärme oder

BAU-R-3: Investitionen in die energetische Sanierung der Gebäudehülle

Seit Mitte der 2010er-Jahre steigen die Investitionen in die energetische Sanierung der Gebäudehülle, das heißt von Fassade und Dämmung sowie von Außentüren und Fenstern im Wohn- und Nichtwohnbau wieder an. In den Jahren 2020 und 2021 ist die Entwicklung allerdings auch durch die steigenden Preise im Bausektor beeinflusst. Ein signifikanter Trend zeigt sich in den beiden Zeitreihen bislang nicht.



Datenquelle: DIW (eigene Auswertung auf Basis von Daten aus der Baufach- und -tätigkeitsstatistik des StBA sowie von Befragungsergebnissen der Heinze GmbH)

Kälte erreichen. Weitere Maßnahmen bestehen in der Reduzierung innerer Wärmequellen oder dem Einsatz massiver Bauteile zum Temperatenausgleich.

Für neugebaute Gebäude stellen die gesetzlichen Vorgaben des GEG in Verbindung mit verschiedenen technischen Vorgaben, beispielsweise die DIN-4108-2:2013-02 zu Mindestanforderungen an den Wärmeschutz, weitgehend sicher, dass in ihrem Innern auch unter heißeren klimatischen Verhältnissen geeignete thermische Bedingungen herrschen. Für ältere Gebäude kann hiervon, je nach Alter, nicht ohne Weiteres ausgegangen werden. Werden an diesen Gebäuden bauliche Maßnahmen zur energetischen Sanierung der Gebäudehülle durchgeführt, etwa zur Dämmung von Dach und Fassade sowie zur Installation moderner Fenster und Außentüren, werden diese in der Regel mit einer Verbesserung des Wärmeschutzes verbunden sein. Denn auch bei der Durchführung dieser Maßnahmen sind rechtliche und technische Regelungen aus dem GEG oder der DIN 4108-2:2013-2 einzuhalten. Zudem setzt das GEG Mindeststandards fest, die bei baulichen Veränderungen zu erreichen sind. Im Falle einer energetischen Sanierung von Dach und Fassade sollten Klimaanpassungsmaßnahmen wie eine zusätzliche außenliegende Verschattung oder eine Gebäudebegrünung direkt mit umgesetzt werden.

Der Indikator stellt für Wohnbau und Nichtwohnbau die Investitionsmittel dar, die jährlich für die energetische Sanierung der Gebäudehülle eingesetzt werden. Berücksichtigt sind Investitionen in die Produktbereiche Dämmung / Fassade sowie Fenster / Außentüren, die in der Regel den Wärmeverlust des Gebäudes verringern beziehungsweise den sommerlichen Wärmeschutz verbessern. Die Daten stammen aus einer Sonderauswertung zur Bauvolumenrechnung des Deutschen Instituts für Wirtschaftsforschung e.V. (DIW)¹⁴⁹. Nach einem Rückgang zu Beginn der Zeitreihen stiegen sowohl im Wohnbau als auch im Nichtwohnbau die Investitionen für die energetische Sanierung seit Mitte der 2010er-Jahre wieder an. Auch wenn die Zeitreihe nicht preisbereinigt ist und der Anstieg zum Teil auch die infolge der hohen Baunachfrage und der Materialknappheit steigenden Baupreise widerspiegelt, deutet die Entwicklung darauf hin, dass im Gebäudebestand nun vermehrt Maßnahmen umgesetzt werden, die neben einer höheren Energieeffizienz auch dem sommerlichen Wärmeschutz und damit der Klimaanpassung dienen.

Neben dem sommerlichen Wärmeschutz ist ein breites Spektrum weiterer Maßnahmen notwendig, um neue und bestehende Gebäude auf die Folgewirkungen des Klimawandels vorzubereiten. Vor allem zunehmende Extremwetterereignisse wie Starkniederschläge und Schlagregen,



Mit der Dämmung von Dächern und Fassaden im Zuge der energetischen Sanierung lässt sich auch der sommerliche Wärmeschutz verbessern. (Foto: © Marco Becker / stock.adobe.com)

Stürme und Tornados, Hagel oder Schneelasten machen, trotz der hohen Standards von Bauplanung, -technik und -ausführung in Deutschland, bauliche Anpassungen zum Gebäudeschutz erforderlich. Dazu können an einzelnen Gebäuden etwa der Einbau von Schutzgittern und Schutzglas gegen Hagelschäden, die Befestigung von Dachmaterial, eine zusätzliche Sicherung von Solarthermie- und Photovoltaik-Anlagen oder alternativ deren sturmsichere Integration in den Dachaufbau gehören. Maßnahmen zum Schutz gegen Hochwasser und Starkregen reichen von der Gebäudeabdichtung durch den Einsatz von Feuchtigkeitssperren oder wasserdichtem Beton über Drainagen und Pumpen bis zur Rückstausicherung der Abwasserleitungen. Auch für diese Sicherungsmaßnahmen gilt, dass sie sich im Zuge von Neubauten, etwa durch die Auswahl robusterer Materialien und stabilerer Konstruktionsweisen, bereits in der Planung berücksichtigen und direkt umsetzen lassen. Oberhalb eines Schutzziels, in der Regel 30 cm über dem Bemessungswasserstand, können dabei ökologischere und regionaltypische Bauweisen verwendet werden. Für bestehende Gebäude bedeutet Anpassung in der Regel nachträgliches Umbauen, beispielsweise zur Abdichtung von Kellern gegen drückendes Wasser, und ist meist schwieriger und kostspieliger. Dennoch lassen sich klimabedingte Probleme aller Voraussicht nach auch im Gebäudebestand in den Griff bekommen. Grundsätzlich liegt es in der Verantwortung der den Bau Beauftragenden oder der Immobilieneigentümer*innen, solche baulichen Maßnahmen umzusetzen und sich so gegen Klimarisiken abzusichern.

Bestand an Elementarschadenversicherungen ausbaufähig

Die Wohngebäudeversicherung gegenüber Sturm und Hagel ist für Hauseigentümer*innen inzwischen eine Selbstverständlichkeit. Mittlerweile setzt sich auch der Abschluss von Versicherungen gegen andere extreme Naturereignisse wie Starkregen und Hochwasser immer weiter durch. Für diese Gefahren ist infolge des Klimawandels eine Zunahme zu befürchten. Starkregenereignisse können zudem ortsunabhängig auftreten (siehe Indikator BAU-I-4, Seite 224). Schäden an der Immobilie oder am Hausrat können also alle treffen. Im Schadensfall haben die geschädigten Privatleute und Gewerbetreibenden in der Vergangenheit häufig staatliche und nicht-staatliche Hilfen erhalten, so zum Beispiel nach den extremen Hochwasserereignissen unter anderem an Elbe und Donau im Mai und Juni 2013. Diese verursachten Schäden in einer Höhe von insgesamt über 8,2 Mrd. Euro an öffentlichen Infrastrukturen, für gewerbliche Wirtschaft und Privathaushalte. Nur ein Teil davon war versichert (siehe Indikator BAU-I-5, Seite 226). Für Schadensbeseitigung und Wiederaufbau wurde damals der Bundesländer-Fonds „Aufbauhilfe“ mit einem Volumen von 8 Mrd. Euro eingerichtet. Daraus wurden bis 2021 rund

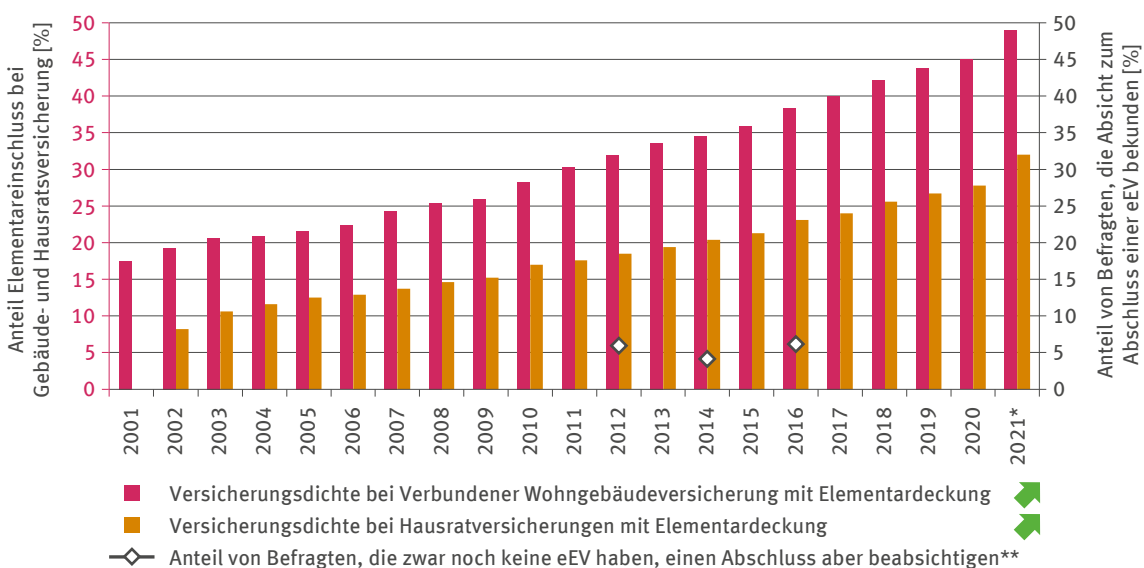
500 Mio. Euro für die Instandsetzung beschädigter Wohngebäude sowie in die Erneuerung beschädigter oder zerstörter Bauteile aufgewendet. Nach der Hochwasserkatastrophe 2021 in Rheinland-Pfalz und Nordrhein-Westfalen stellten Bund und Länder Soforthilfen in Höhe von rund 770 Mio. Euro bereit. Für den Wiederaufbau in den Hochwasser-Regionen legte der Bund einen Aufbauhilfefonds auf, für den bis zu 30 Mrd. Euro aus dem eigens eingerichteten Sondervermögen „Aufbauhilfe 2021“ bereitstehen. Zur Unterstützung von Privathaushalten und Wohnungsunternehmen wurden davon bislang rund 1,5 Mrd. Euro eingestellt oder verwendet.

In Anbetracht der erheblichen Mittel, die immer wieder von staatlicher Seite in die Fluthilfe fließen, haben Staat und Gesellschaft ein hohes Interesse an einer angemessenen Eigenvorsorge durch Hauseigentümer*innen und Mieter*innen, um die staatlichen Hilfen möglichst zu reduzieren. Der Staat kann nicht sicherstellen, dass im Schadensfall alle privaten Schäden gedeckt werden. Zudem gibt es auch gesetzliche Verpflichtungen zur Eigenvorsorge: Wer von Hochwasser betroffen sein kann,



BAU-R-4: Versicherungsdichte der erweiterten Elementarschadenversicherung für Wohngebäude

Der Einschluss der Elementardeckung (eEV) ergänzt die Verbundene Wohngebäudeversicherung und die Hausratversicherung um eine Absicherung von Schäden unter anderem durch Überschwemmung, Starkregen, Schneedruck und Lawinen. Die Versicherungsdichte der eEV nahm seit 2001 kontinuierlich und signifikant zu, sie ist mit bundesweit 49 % bei der Gebäude- und 32 % bei der Hausratversicherung aber noch eher gering.



* Wert vorläufig

** Versicherungsabsicht bei Befragung 2021 nicht erfragt

Datenquelle: GDV (Branchen- und Risikostatistik), BMUB & UBA (Umweltbewusstsein in Deutschland)

muss gemäß WHG Vorsorgemaßnahmen treffen¹⁵⁰. Neben baulichen Verbesserungen zur Vermeidung oder Reduzierung der Entstehung von Schäden (siehe Indikator BAU-R-3, Seite 232) gehört zur Eigenvorsorge auch ein ausreichender Versicherungsschutz.

Schäden durch Naturgefahren wie Überschwemmungen infolge von Starkregen und Hochwasser, Schneedruck, Lawinen oder auch Erdbeben, Erdsenkungen und Erdbeben, sogenannte Elementarschäden, lassen sich mit einer erweiterten Elementarschadenversicherung (eEV) versichern. Diese ist mittlerweile ein etabliertes Produkt am Versicherungsmarkt. Dennoch war bundesweit Ende 2021 nur für 49 % der Wohngebäude eine eEV abgeschlossen. Für Mieter*innen sind Hausratsversicherungen mit Elementardeckung relevant, denn mit Elementarschäden an Gebäuden können vor allem in Erdgeschosswohnungen oder Kellerräumen auch Schäden am Hausrat der Mieter*innen einhergehen. Ende 2021 schlossen 32 % aller Hausratsversicherungen eine Elementardeckung ein. Immerhin: Bei beiden Versicherungen nahm die Versicherungsdichte seit dem Jahr 2001 kontinuierlich und signifikant zu. Vermutlich als Reaktion auf die Hochwasserkatastrophe an Ahr und Erft stieg sie zuletzt im Jahr 2021 nochmals deutlich an.

Trotz dieses Anstiegs ist es unklar, ob das Bewusstsein für die Notwendigkeit einer eEV in der Bevölkerung ausreichend verankert ist. Beispielsweise beklagten im Rahmen der repräsentativen Bevölkerungsumfrage „Umweltbewusstsein in Deutschland“ im Jahr 2016, dem letzten Jahr mit der entsprechenden Fragestellung, nur knapp 6 % aller Befragten, dass sie zwar noch keine eEV abgeschlossen haben, eine solche Versicherung aber in Zukunft abschließen möchten¹⁵¹. Extremereignisse hatten in der Vergangenheit immer nur sehr kurzfristig eine Steigerung der Versicherungsbereitschaft zur Folge. Insgesamt werden die Gefahren unterschätzt, die Kenntnis über die mit den abgeschlossenen Versicherungen tatsächlich abgedeckten Schäden reicht nicht aus. Dabei ist es den Versicherern möglich, nahezu alle Gebäude und Wohnungen in Deutschland und zu einem deutlich überwiegenden Teil auch zu bezahlbaren Preisen gegen Elementarschäden zu versichern. Ausnahmen gelten nur für wenige Gebiete mit besonders hoher Gefährdung. Auch hier lassen sich aber durch die Vereinbarung von hohen Selbstbehalten und risikoadäquaten, höheren Prämien individuelle Versicherungslösungen finden.

In vielen Bundesländern wurde von Politik, Verbänden, Versicherungswirtschaft und Verbraucherschutz mit gemeinsamen Kampagnen und Initiativen dafür geworben, die Eigenvorsorge für Gebäude und Hausrat



Die Elementarschadenversicherung von Gebäuden und Hausrat ist Teil der Vorsorge gegen materielle Schäden durch Klimarisiken wie Überschwemmungen. (Foto: © Christian / stock.adobe.com)

durch eEV angesichts der erwarteten Zunahme extremer Wetterereignisse weiter zu stärken. Nach der Hochwasserkatastrophe des Jahres 2021 an Ahr und Erft nahmen auch die Diskussionen um gesetzliche Maßnahmen für eine stärkere Verbreitung der eEV bis hin zu einer Versicherungspflicht wieder an Fahrt auf, wobei die Versicherungspflicht noch immer kontrovers diskutiert wird¹⁵². Aber auch ohne eine solche Verpflichtung ließe sich die Versicherungsdichte der eEV fördern, zum Beispiel durch eine Absenkung des Steuersatzes für die erweiterte Elementarschadendeckung oder durch die Möglichkeit, Versicherungskosten durch individuelle Vorsorgemaßnahmen senken zu können. Dies würde gleichzeitig Anreize für eine stärkere Eigenvorsorge schaffen.

Unabhängig von einem Versicherungsschutz sollten sich alle Bürger*innen mit gezielten Maßnahmen gegen mögliche Schäden schützen. Die öffentliche Hand ihrerseits muss das Baurecht weiterentwickeln und dafür Sorge tragen, dass Gefahrenbereiche zukünftig wirksam von neuer Bebauung freigehalten werden (siehe Indikator RO-R-6, Seite 312).



Foto: © Andreas Gruhl / stock.adobe.com

Energiewirtschaft

Überblick 238

Auswirkungen des Klimawandels – Impact

EW-I-1 **Wetterbedingte Unterbrechungen der Stromversorgung** 240

EW-I-2 **Wetterbedingte Nichtverfügbarkeit der Stromversorgung** 241



Zur Bedeutung des Handlungsfelds

Eine sichere, umwelt- und klimaverträgliche sowie bezahlbare Energieversorgung ist elementar für Wirtschaft und Gesellschaft in Deutschland. Die Energiewende hat das Ziel, das Energiesystem umzubauen und mit erneuerbaren Energien sowie sparsamer und effizienter Energienutzung dauerhaft eine Energieversorgung zu gewährleisten, die diesen Anforderungen gerecht wird. Für die Energiewende wurde das Ende der Nutzung fossiler und nuklearer Energieträger beschlossen: Der Ausstieg aus der Kernenergie wurde im Jahr 2023 vollzogen, bis 2038 wird die Strom- und Wärmeerzeugung aus Kohle beendet. Der Umbau des Energiesystems erfordert weitreichende strukturelle und infrastrukturelle Anpassungen in allen Bereichen der Energiewirtschaft. Diese umfassen den Ausbau der Übertragungs- und Verteilnetze, die

Umstellung der Strom-, Wärme- und Kälteversorgung auf erneuerbare Energie und die Flexibilisierung des Energiesystems. Durch den russischen Angriffskrieg gegen die Ukraine ist zusätzlicher Handlungsbedarf zur Sicherung der Energieversorgung entstanden.

Mit der vorrangigen Nutzung erneuerbarer Energien nimmt der Bestand an Anlagen zu, die Wetter und Witterung und damit den sich ändernden klimatischen Bedingungen ausgesetzt sind. Bei Planung und Umsetzung der notwendigen Maßnahmen sind die Klimaänderungen zu berücksichtigen, um – auch mit Blick auf die Langfristigkeit der Investitionen – negative Folgen und spätere Anpassungskosten zu vermeiden.

DAS-Monitoring – was im Klimawandel passiert

Extreme Wetterlagen, die mit dem Klimawandel voraussichtlich zunehmen, können die Energieversorgung vor Herausforderungen stellen. Hierzu zählen zum Beispiel Hitzeperioden wie 2018 und 2022, als in Deutschland und in anderen Staaten des europäischen Stromverbunds die Stromproduktion in Kern- und Kohlekraftwerken teilweise massiv eingeschränkt war. Wegen hoher Gewässertemperaturen stand zum einen nicht mehr genügend Kühlwasser zur Verfügung, zum anderen konnte die Kohlebelieferung wegen Niedrigwasser nur reduziert erfolgen. In einem erneuerbaren Energieversorgungssystem nehmen wasserabhängige Risiken deutlich ab. Betroffen können dann unter den erneuerbaren Energien vor allem Wasserkraftwerke sein, deren Stromproduktion beispielsweise in den Jahren 2018 und 2022 als Folge der Dürre deutlich zurückging.

Die Versorgung mit elektrischer Energie ist in Deutschland insgesamt sehr sicher. Extremereignisse wie Hitzeperioden, Stürme, Unwetter mit Blitzschlag und Starkregen, die im Zuge des Klimawandels wahrscheinlicher werden, können dennoch zu Versorgungsunterbrechungen führen. Der Indikator zur wetterbedingten Nichtverfügbarkeit der Stromversorgung bildet die kumulierte Dauer von wetterbedingten Versorgungsunterbrechungen ab. Sie erreichte im Jahr 2021, vor allem als Folge der Auswirkungen von Tief Bernd im Juli, mit durchschnittlich knapp 23 Minuten je Letztverbraucher im Sinne des Energiewirtschaftsgesetzes (EnWG) den bislang höchsten Wert (siehe Indikator EW-I-2, Seite 241). In der Häufigkeit der wetterbedingten Unterbrechungen an allen ungeplanten Unterbrechungen schlugen sich die Folgen von Tief Bernd dagegen nicht markant nieder (siehe Indikator EW-I-1, Seite 240).

Die künftigen Klimarisiken – Ergebnisse der KWRA

Für das DAS-Handlungsfeld „Energiewirtschaft“ wurde in der Klimawirkungs- und Risikoanalyse 2021 (KWRA, siehe Lesehilfe, Seite 7) sowohl für die einzelnen Klimawirkungen als auch insgesamt ein geringes Klimarisiko ermittelt. Wesentlich für die Bewertung sind unter anderem der Ausstieg aus der Kernenergie bis 2023 und aus der Kohle (nach derzeitigem Stand) bis 2038. Durch die Umstellung auf erneuerbare Energien wird die Strom- und Wärmeversorgung insgesamt unabhängiger von einer ausreichenden quantitativen und qualitativen Wasserverfügbarkeit für Kühlzwecke oder für den Transport von Primärenergieträgern.

Beim Energiebedarf wird die wesentliche klimawandelbedingte Änderung beim Kühlenergiebedarf gesehen. Neben klimatischen Einflüssen bestimmen Faktoren wie der Gebäudebestand und das Nutzungsverhalten die Höhe des Energiebedarfs. Konkrete Aussagen über den zukünftigen Kühlenergiebedarf unterliegen daher einer hohen Unsicherheit. Es wird aber davon ausgegangen, dass wegen des geringen Anteils der Kühlenergie am Gesamtenergiebedarf keine Stromdefizite zu erwarten sind. Die KWRA 2021 hat für die behandelten Klimawirkungen keine dringenden Handlungserfordernisse festgestellt.

Wo haben wir Daten- und Wissenslücken?

Die Umsetzung der Energiewende bedeutet die vollständige Umstellung des Energieversorgungssystems auf erneuerbare Energien. Zudem wird der Bedarf an elektrischer Energie stark steigen, um fossile Energieträger in verschiedenen Anwendungsbereichen zu ersetzen. So sollen vermehrt elektrisch betriebene Wärmepumpen für die Wärmeerzeugung genutzt werden. In der Mobilität sollen Elektrofahrzeuge fossil betriebene Verbrennerfahrzeuge ersetzen. Der Zuverlässigkeit der erneuerbaren Stromerzeugung und den Flexibilisierungsoptionen im System wird daher eine immer höhere Relevanz zukommen.

Mit Blick auf mögliche Wirkungen des Klimawandels auf die Stromerzeugung bestehen Unsicherheiten vor allem zur Ertragssituation von Windenergieanlagen. Nach den Ergebnissen der KWRA 2021 wird für Windenergieanlagen davon ausgegangen, dass Starkwinde weiterhin kaum zu Unterbrechungen führen werden. Zur Ertragssituation der Windenergie insgesamt sind bisher aber keine ausreichend zuverlässigen Aussagen möglich, da Projektionen zukünftiger Windgeschwindigkeiten mit großer Unsicherheit behaftet sind. Grundsätzlich wird zwar angenommen, dass sich die Windverhältnisse nur in einem begrenzten Maß ändern¹⁵³, dennoch wäre eine zukünftige Präzisierung der Windprojektionen – insbesondere auf Nabenhöhe der Windkraftanlagen – wünschenswert, um die Auswirkungen des Klimawandels besser abschätzen zu können¹⁵⁴. Es ist zu prüfen, inwieweit neben meteorologischen Messungen auch Windmessungen an Windenergieanlagen für spezifische Projektionen herangezogen werden können. Die Wasserkraft trägt nur einen kleinen Teil zum erneuerbaren Energiemix bei. In trockenen Jahren wie 2018 und 2022 ist Stromerzeugung aus der Wasserkraft mitunter stark eingeschränkt. Ebenso sind Einschränkungen bei der

Produktion von Biomasse denkbar¹⁵⁵. Eine genauere Einschätzung der diesbezüglichen Klimawandelfolgen wäre hilfreich. In einem auf erneuerbaren Energien basierendem Energiesystem können Beeinträchtigungen der marktseitigen Versorgungssicherheit insbesondere in längeren Phasen einer kalten Dunkelflaute entstehen, wenn bei einer stabilen winterlichen Wetterlage nur wenig Wind- und Sonnenenergie verfügbar ist. Bislang liegen keine Untersuchungen zum Einfluss des Klimawandels auf die Häufigkeit und Dauer von Dunkelflauten vor. Wünschenswert wäre ein datengestütztes Monitoring von Dunkelflauten.

Die Resilienz des erneuerbaren Energieversorgungssystems ist eng mit seiner Flexibilität verbunden. Optionen zur Flexibilisierung können Speicherkraftwerke und Batteriespeicher ebenso sein wie die Erzeugung von Wasserstoff oder anderen Energieträgern aus überschüssigem erneuerbarem Strom. Auch flexibel abschaltbare oder steuerbare Verbrauchsstellen gehören zu diesen Optionen. Der weitere Ausbau der Stromnetze und der europäische Stromverbund spielen eine relevante Rolle, um Stromangebot und -nachfrage großräumig ausgleichen und Frequenzschwankungen abpuffern zu können. Meteorologische Daten können helfen, großräumige Ausgleichsmöglichkeiten bei kritischen Wetterlagen aufzuzeigen¹⁵⁶. Die Flexibilisierungsoptionen unterstützen die Resilienz des Stromsystems auch gegenüber Störungen, unter anderem durch meteorologische Extreme. Die Diversifizierung der Vorsorgemaßnahmen ist dabei von hoher Bedeutung, um adäquat auf unterschiedliche Situationen reagieren zu können. Für die Zukunft wäre ein zusammenfassendes Monitoring der Nutzung von Flexibilisierungsoptionen zur Abbildung der Reaktionsfähigkeit des Systems wünschenswert. Hierzu bedürfte es aber grundlegender methodischer Überlegungen.

Was getan wird – einige Beispiele

Angesichts der Herausforderungen der Energiewende rückt die Klimaanpassung als Faktor für die Weiterentwicklung des Energieversorgungssystems oft in den Hintergrund. Ungeachtet dessen führt der Transformationsprozess dazu, dass die Klimarisiken einer eher fossilen oder nuklearen Energieversorgung für Deutschland künftig abnehmen – siehe die Kühl- und Niedrigwasserproblematik –, und Maßnahmen ergriffen werden, die die allgemeine Resilienz des Energieversorgungssystems erhöhen. Teil der Energiewende ist etwa die Erweiterung der oben angesprochenen Flexibilisierungsoptionen, beispielsweise durch den Ausbau von Batterie- und sonstigen Speicherkapazitäten oder durch die Wasserstoffherzeugung aus

überschüssiger elektrischer Energie. Diese Maßnahmen erhöhen die Resilienz des Stromversorgungssystems gegenüber Schwankungen von Stromangebot und -nachfrage, die in einem erneuerbaren Energieversorgungssystem aufgrund der Wettersensitivität der erneuerbaren Energien per se zunehmen werden. Auch der Energiebedarf ist im Fokus der Energiewende. In einem erneuerbaren Energieversorgungssystem können ein verringerter Energiebedarf und eine höhere Energieeffizienz dazu beitragen, den Ausgleich zwischen Energieumwandlung und -anwendung einfacher sicherzustellen. Dies gilt in ähnlicher Weise, wenn sich ändernde Klimabedingungen einen vermehrten Ausgleich von Stromnachfrage und -angebot erfordern.

Extremwetter beeinträchtigen die Stromversorgung

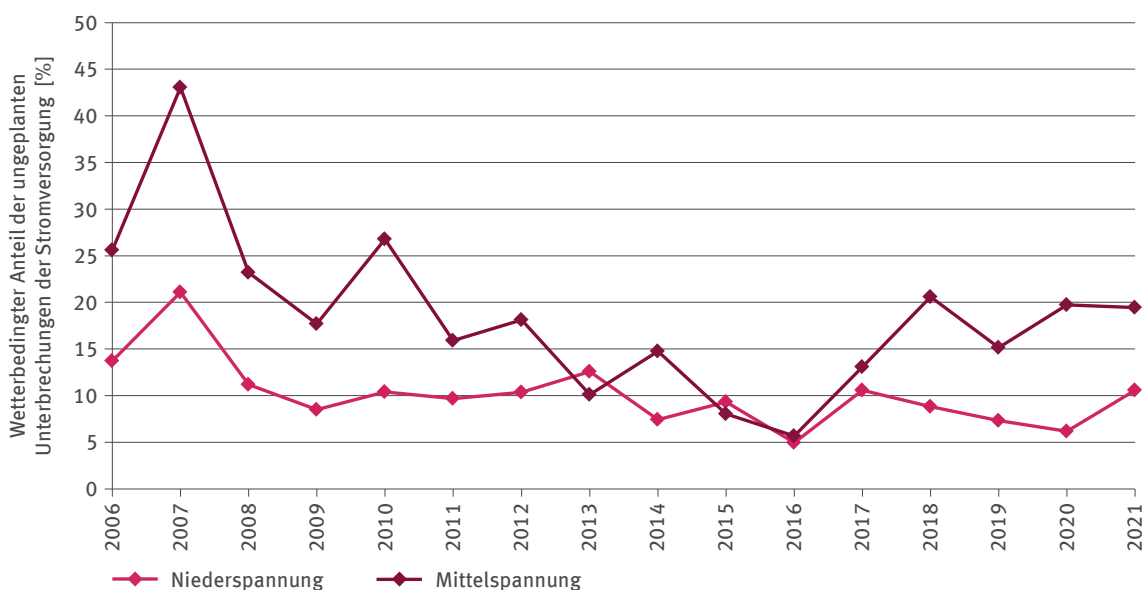
Die Stromversorgung in Deutschland ist insgesamt sehr zuverlässig. Sie zeichnet sich unter anderem dadurch aus, dass Unterbrechungen nur selten und mit kurzer Dauer auftreten. Erfasst wird das Unterbrechungsgeschehen in Deutschland durch die Bundesnetzagentur (BNetzA). Im Rahmen ihrer Zuständigkeit wertet sie die Meldungen der Netzbetreiber zu Unterbrechungen mit einer Dauer von mehr als drei Minuten auf der Mittel- und Niederspannungsebene aus, die das verbrauchernahe Verteilnetz bilden. Die BNetzA unterscheidet verschiedene Ursachen von Netzunterbrechungen. Unter dem Begriff „Atmosphärische Einwirkungen“ fasst sie beispielsweise Wind- und Temperatureinwirkungen oder Überspannungen durch Blitze zusammen. Als „Höhere Gewalt“ werden Ereignisse besonderer Schwere wie außergewöhnliche Hochwasser oder Orkane klassifiziert. Vor allem diese Ereignisse können längere Beeinträchtigungen nach sich ziehen, wenn beispielsweise Leitungsnetze auf größerer Strecke unterbrochen sind und die notwendigen Reparaturen viel Zeit in Anspruch nehmen. Auch im deutschen Stromnetz, das eines der stabilsten weltweit ist, können extreme Wetter- und Witterungsereignisse die Elektrizitätsübertragung

und -verteilung beeinflussen. Besonders markant waren die Auswirkungen des Orkans Kyrill im Jahr 2007. Der Anteil der wetterbedingten Unterbrechungen lag in diesem Jahr sowohl auf der Ebene der Nieder- als auch der Mittelspannung um mehr als das Doppelte über dem Durchschnitt der Jahre 2006–2021. Ein ähnlich hoher Wert wurde seither nicht mehr erreicht. 2007 waren Letztverbraucher im Sinn des EnWG durchschnittlich knapp 22 Minuten aufgrund von Wetter und Witterung ohne Strom – in den meisten Jahren liegt dieser Wert unter 10 Minuten.

In anderen Jahren besteht kein solch direkter Zusammenhang zwischen der Zahl der Unterbrechungen und ihrer kumulierten Dauer. 2013 etwa musste aufgrund von Hochwasser in einigen Versorgungsgebieten die Stromversorgung vorübergehend abgeschaltet werden, sodass Letztverbraucher im deutschlandweiten Mittel circa 20 Minuten keinen Strom hatten. Auch die Starkregenfälle, die Tief Bernd im Juli 2021 mit sich brachte, führten an einigen Flüssen zu extremem Hochwasser. Die Fluten erreichten unter anderem mehrere Umspannwerke, die aus Sicherheitsgründen abgeschaltet wurden. Die Folge waren

EW-I-1: Wetterbedingte Unterbrechungen der Stromversorgung

Bis zum Jahr 2010 schlugen sich Extremwetterereignisse wie die Orkane Kyrill (2007) und Xynthia (2010) im Anteil wetterbedingter Unterbrechungen in der Stromversorgung deutlich nieder, danach treten Sturmtiefs wie Friederike (2018) und Bernd (2021) hingegen nicht mehr markant hervor. In der Niederspannung nahm der Anteil wetterbedingter Unterbrechungen seit 2006 signifikant ab, in der Mittelspannung stieg er zuletzt wieder an.



Datenquelle: BNetzA (Störungsstatistik)

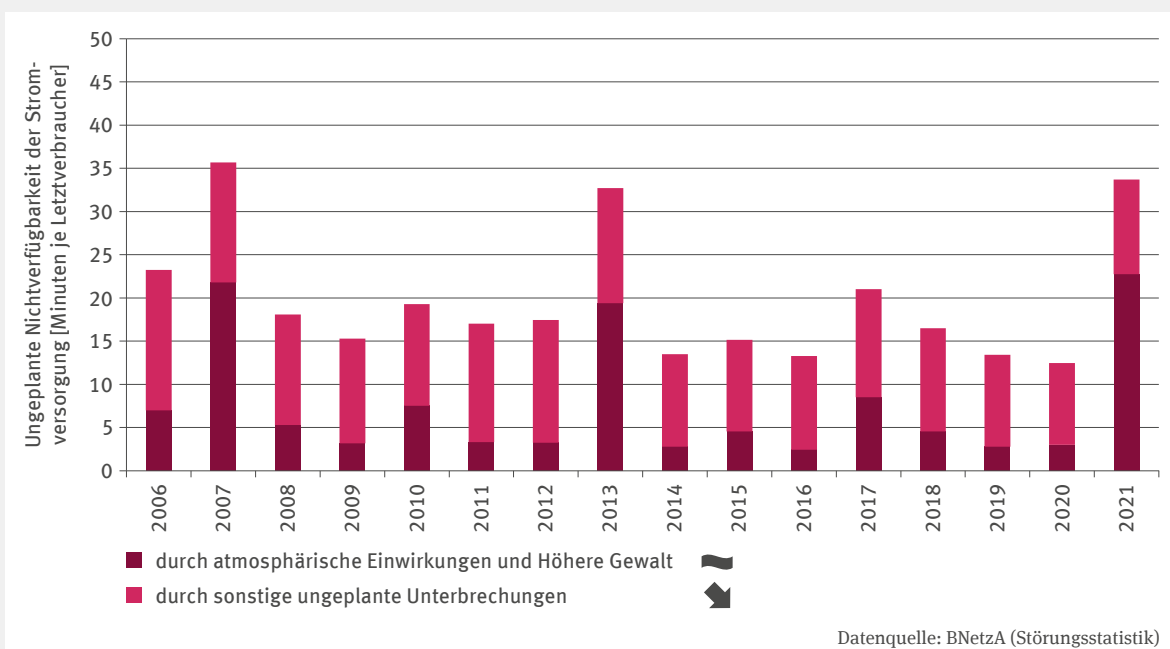
großflächige Stromausfälle, von denen zeitweilig über 100.000 Haushalte betroffen waren. Mit durchschnittlich knapp 23 Minuten deutschlandweit erreichte die wetterbedingte Nichtverfügbarkeit den bislang höchsten Wert. Anzahl und Anteil der wetterbedingten Unterbrechungen waren in beiden Jahren weniger auffällig.

Nehmen extreme Wettersituationen wie schwere Stürme, Orkane und auch Starkregen infolge des Klimawandels zu, können sich dadurch verursachte Unterbrechungen der Stromversorgung künftig möglicherweise mehr und länger andauern, wenn die Netze nicht entsprechend ausgerüstet und gewartet sind. Die Betroffenheit der Elektrizitätsnetze hängt neben den atmosphärischen Einwirkungen unter anderem auch von Qualität, Wartungszustand und Alter der im Netz verwendeten technischen Komponenten ab. Seit 2010 stiegen die Investitionen und Aufwendungen für Neuinstallationen, Ausbau, Erweiterungen, Erhaltung und Erneuerungen deutlich an. Seit 2015 fließen jährlich rund 10 Mrd. Euro ins deutsche Stromnetz, im Jahr 2021 waren es rund 13,6 Mrd. Euro¹⁵⁷. Der Zustand von Leitungen, Transformatoren und Leistungsschaltern des Stromnetzes wird daher als funktionsgerecht eingeschätzt.

Eine weitere wichtige Einflussgröße ist die Netzstruktur. Bisher verlaufen Höchst- und Hochspannungsnetz zu etwa 91,5 % oberirdisch und sind Wind und Wetter direkt ausgesetzt. Die Knotenpunkte des Netzes sind aber miteinander verknüpft (Vermaschung). Ein hoher Vermaschungsgrad trägt zu hoher Versorgungszuverlässigkeit bei. Fallen einzelne Leitungen aus, kann die Versorgung in der Regel über redundante andere Leitungen erfolgen (n-1-Sicherheit). Für Letztverbraucher bedeuten Unterbrechungen im Übertragungsnetz daher in der Regel keinen Stromausfall. Einen wirksamen Schutz vor Stürmen, Schnee- oder Eislasten kann die unterirdische Verlegung von Stromleitungen (Verkabelung) bieten, insbesondere für die Mittel- und Hochspannungsebene. Auf Höchstspannungsebene ist seit 2015 für neue Höchstspannung-Gleichstrom-Übertragungsleitungen (HGÜ) ein Vorrang der Erdverkabelung als Planungsgrundsatz in der Bundesfachplanung verankert. Dies kann neben der Steigerung der Akzeptanz des Netzausbaus auch zu einer besseren Resilienz des Netzes gegenüber klimawandelbedingten Einflüssen beitragen. Daneben wird auf ausgewählten Pilotstrecken die Möglichkeit zur Erdverkabelung im Drehstrombereich untersucht.

EW-I-2: Wetterbedingte Nichtverfügbarkeit der Stromversorgung

Im Jahr 2021 wurde mit durchschnittlich knapp 23 Minuten je Letztverbraucher der bislang höchste Wert der wetterbedingten Nichtverfügbarkeit der Stromversorgung in Deutschland erreicht. Grund dafür waren vor allem die Folgen von Tief Bernd im Juli 2021. Während die Nichtverfügbarkeit infolge sonstiger ungeplanter Unterbrechungen abnimmt, ist für wetterbedingte Ursachen bisher kein signifikanter Trend erkennbar.



Datenquelle: BNetzA (Störungsstatistik)



Foto: © Carola Vahldiek / stock.adobe.com

Verkehr, Verkehrsinfrastruktur

Überblick	244
Wirkstrang „Beschränkungen der Schifffahrt bei Niedrigwasser“	247

Auswirkungen des Klimawandels – Impact

VE-I-1	Hochwassersperrungen am Rhein	248
VE-I-2	Niedrigwassereinschränkungen am Rhein.....	249
VE-I-3	Starkregen und Straße.....	250
VE-I-4	Wetter- und witterungsbedingte Straßenverkehrsunfälle.....	252
VE-I-5	Wetter- und witterungsbedingte Beeinträchtigungen von Straßen.....	254
VE-I-6	Wetter- und witterungsbedingte Störungen der Schieneninfrastruktur	256



Zur Bedeutung des Handlungsfelds

Eine moderne Industrie- und Dienstleistungsgesellschaft wie die deutsche ist eine in hohem Maße mobile Gesellschaft. Die meisten Menschen sind täglich unterwegs, sie pendeln zu ihren Arbeitsstätten, gehen oder fahren zu ihren Schulen oder Ausbildungsstätten und legen in ihrer Freizeit und beim Einkaufen mit unterschiedlichen Verkehrsmitteln mehr oder weniger lange Wege zurück. Das Funktionieren der modernen Wirtschaft hängt von einem zuverlässigen Gütertransport ab, also dem Transport von Energieträgern und Rohstoffen, von Betriebsmitteln und Vorprodukten, von der Auslieferung der produzierten Güter zu den Verkaufsstellen oder direkt zu den Endkunden.

Sowohl die Verkehrsinfrastrukturen als auch die Verkehrsmittel sind Wetter und Witterung in aller Regel

unmittelbar ausgesetzt. Extreme Wetter- und Witterungsbedingungen gehen sehr oft mit Störungen der Mobilität einher und können mitunter Leib und Leben der Verkehrsteilnehmenden gefährden. Im harmloseren Fall äußern sich Störungen in einer Verlangsamung und Verspätung des Verkehrs. In Ausnahmefällen können Verkehrsverbindungen infolge von Schäden an der Infrastruktur aber auch über längere Zeiträume bis hin zu Wochen oder Monaten beeinträchtigt sein oder vollständig ausfallen. Solche Einschränkungen der Mobilität von Gütern und Personen können verschiedene wirtschaftliche Folgewirkungen wie höhere Kosten und Verluste für Unternehmen, Liefer- und Versorgungsengpässe oder steigende Preise beispielsweise für Kraftstoffe und Energie nach sich ziehen.

DAS-Monitoring – was im Klimawandel passiert

In den vergangenen Jahren haben Wetter- und Witterungsextreme immer wieder größere Störungen des Güter- und Personenverkehrs verursacht. Diese Ereignisse werden zunehmend mit den sich ändernden klimatischen Bedingungen in Verbindung gebracht und zeigen, dass Klimawandelfolgen sowohl die Verkehrsträger Straße und Schiene, die Binnen- und Seeschifffahrt als auch den Flugverkehr betreffen.

Für den Gütertransport in der Binnenschifffahrt spielt der Rhein in Deutschland mit seinen Nebenflüssen eine herausragende Rolle: Über 75 % der Güterbeförderung der Binnenschifffahrt finden im Rheingebiet statt. Hochwasser beeinträchtigen die Binnenschifffahrt, wenn sie den Höchsten Schifffahrtswasserstand (HSW) überschreiten und der jeweilige Rheinabschnitt für die Schifffahrt vollständig gesperrt ist (siehe Indikator VE-I-1, Seite 248). Auf dem Oberrhein summierten sich die Sperrungen im Jahr 2021 auf eine Dauer von 18 Tagen; der höchste Wert seit 1999. Am Nieder- und Mittelrhein werden nur in Ausnahmefällen mehr als 5 Tage erreicht. Deutlich länger können Einschränkungen durch Niedrigwasser dauern (siehe Indikator VE-I-2, Seite 249). Anders als bei Hochwassersperrungen ist die Binnenschifffahrt bei Niedrigwasser in der Regel noch möglich, ihre Wirtschaftlichkeit hängt dann aber von der zulässigen Abladetiefe des jeweiligen Schiffs ab. Im besonders heißen und trockenen Jahr 2018 wurde auf den deutschen Rheinabschnitten die bisher höchste Anzahl an Niedrigwassereinschränkungen verzeichnet. Der Gütertransport per Binnenschiff auf dem Oberrhein war an 80 Tagen, am Mittel- und Niederrhein sogar an deutlich über 100 Tagen nur eingeschränkt

möglich. Am Niederrhein nehmen die Niedrigwassereinschränkungen seit 1997 signifikant zu.

Beeinträchtigungen des Straßenverkehrs und Schäden an Straßenverkehrsinfrastrukturen entstanden in den letzten beiden Jahrzehnten vor allem durch Orkane sowie durch Überschwemmungen infolge von Starkregen und Hochwasser. Unwetterartige Starkregen betreffen in Deutschland jedes Jahr zwischen 5 bis über 30 % der Bundesfernstraßen (siehe Indikator VE-I-3, Seite 250). Solche Starkregen waren unter anderem auch an der Entstehung der Hochwasserkatastrophen im Jahr 2021 beteiligt. In weniger extremer Form beeinträchtigen sie die Straßen- und Sichtverhältnisse, wodurch sich die Unfallgefahr erhöht. Die Bedeutung von Glätte durch Regen als mitverursachender Faktor von Unfällen ging in den vergangenen 25 Jahren aber signifikant zurück (siehe Indikator VE-I-4, Seite 252). Für den Straßenbetriebsdienst bedeuteten die Folgen der Orkane Kyrill (2007) und Xynthia (2010) bislang die höchsten Arbeitsaufwände. Aber auch in anderen Jahren, zuletzt vor allem 2018 und 2021, sorgten Unwetter mit Sturm, Hagel und Starkregen für hohe Belastungen.

Für den Verkehrsträger Schiene sind solche Unwetter ebenfalls relevante Faktoren, die zu Beeinträchtigungen des Verkehrsablaufs oder zu Schäden an den Infrastrukturen führen können. Relevant sind außerdem Winterstürme mit starkem Schneefall und Schneeverwehungen oder Überschwemmungen infolge von Hochwasser und Starkregen. In Jahren mit hohen Hitzebelastungen spielen auch Beeinträchtigungen durch Störungen von

technischen Komponenten an Stellwerken und Weichen, aber auch an Fahrzeugen eine Rolle. Hinzu kommen

Vegetationsbrände an Böschungen, die ebenfalls zu Einschränkungen führen (siehe Indikator VE-I-6, Seite 256).

Die künftigen Klimarisiken – Ergebnisse der KWRA

Die Klimawirkungs- und Risikoanalyse 2021 (KWRA, siehe Lesehilfe, Seite 7) erwartet für das DAS-Handlungsfeld „Verkehr, Verkehrsinfrastruktur“ für die Schiffbarkeit der Binnenschiffahrtsstraßen bereits bis zur Mitte des Jahrhunderts ein hohes Klimarisiko durch die Niedrigwasserproblematik. Für weitere Klimawirkungen wie Schäden oder Hindernisse bei Straßen und

Schienenwegen infolge von Hochwasser oder gravitativen Massenbewegungen wurde bis zur Mitte des Jahrhunderts ein mittleres Klimarisiko ermittelt. Für Schäden an Verkehrsleitsystemen, Oberleitungen und Stromversorgungsanlagen wurde ebenfalls ein mittleres Klimarisiko gesehen. Allerdings ist die Risikoeinschätzung hier mit größeren Unsicherheiten verbunden.

Wo haben wir Daten- und Wissenslücken?

Mit dem Indikator zu den wetter- und witterungsbedingten Störungen der Schieneninfrastruktur konnte im Monitoringbericht 2023 neben dem Straßenverkehr und der Binnenschiffahrt erstmals ein dritter Verkehrsträger berücksichtigt werden. Nicht thematisiert ist nach wie vor der Luftverkehr, für den zum Zeitpunkt der Entwicklung der DAS verschiedene Analysen ergeben hatten, dass dieser nur bedingt von möglichen Klimaänderungen betroffen sein wird¹⁵⁸. Zwischenzeitlich wurde sowohl auf nationaler als auch internationaler Ebene zu möglichen Auswirkungen des Klimawandels auf den Luftverkehr intensiver gearbeitet, und es wurden verschiedene relevante Themenfelder identifiziert, die im Rahmen von Wirkstudien mit Beteiligung unter anderem des DWD untersucht werden. Die Untersuchungen können künftig gegebenenfalls eine Grundlage für eine Erweiterung des Indikatorensets zum Themenfeld Luftverkehr sein¹⁵⁹. Der Öffentliche Personennahverkehr (ÖPNV) ist als weiterer Verkehrssektor bislang nur ansatzweise mit dem Indikator zu den Störungen der Schieneninfrastruktur adressiert. Grund hierfür ist, dass für den ÖPNV bislang zu wenige Informationen und Daten zu möglichen Klimawandelfolgen und notwendigen Anpassungsmaßnahmen vorliegen, um das Thema im Indikatorenset abzubilden.

Wesentliche Auswirkungen des Klimawandels auf den Verkehr sind Schäden an Verkehrsinfrastrukturen, die insbesondere als Folge von extremen Wetter- und Witterungsereignissen auftreten, sowie daraus resultierende Störungen im Verkehrsablauf und Unfallgefahren. Für den Verkehrsträger Straße erlauben die verfügbaren Daten aus der Unfallstatistik eine Annäherung an diese Themen. Um ein genaueres Bild von den Auswirkungen auf den Verkehrsablauf zeichnen zu können, wären aber Daten zur Häufigkeit und Dauer von Verkehrsbehinderungen oder Stauungen infolge wetterbezogener Ursachen wie

Starkregen oder Sturm erforderlich. Mit Blick auf das Unfallgeschehen im Straßenverkehr sind vertiefende Informationen über mögliche Auswirkungen sommerlicher Hitze und Hitzeperioden auf das Fahrverhalten und Unfallgeschehen erforderlich, um den diesbezüglichen Indikator weiter zu schärfen. Für den Schienenverkehr liegen Daten zur Störungsursache teilweise nicht im gewünschten Detailgrad vor; zum Beispiel können im Großstörungsfall nicht alle gewünschten Informationen erfasst werden. Für das DAS-Monitoring ließe sich der Indikator durch die Einbeziehung der Dauer von Störfällen weiter verbessern.

Insgesamt fehlen bislang für alle Verkehrsträger systematisch erfasste und auswertbare Daten, mit denen sich die Folgewirkungen von Wetter- und Witterungsextremen auf die Verkehrsinfrastrukturen quantitativ beschreiben lassen. Sowohl für Straße und Schiene als auch für die Binnenschiffahrt wären ursachenbezogene Informationen hilfreich, die beispielsweise die Kosten für die Behebung von Schäden oder für die Instandhaltung von Verkehrsinfrastrukturen abbilden. Dies gilt auch für Infrastrukturen des Luftverkehrs, soweit dieser zukünftig in das DAS-Monitoring integriert wird. Grundsätzlich wären Daten wünschenswert, die verschiedene Regionen wie Flussniederungen, Küsten oder Mittelgebirge mit ihren jeweiligen Betroffenheiten differenziert darstellen können.

Im Verkehrsbereich lassen sich Anpassungsmaßnahmen bislang nicht anhand von Response-Indikatoren abbilden, obwohl es auch in diesem Handlungsfeld gezielte Anpassungsaktivitäten gibt. Die in Entwicklung oder schon in Umsetzung befindlichen Anpassungsmaßnahmen entziehen sich aber in vielen Fällen einer kontinuierlichen Datenerhebung, auf der eine regelmäßige Darstellung mittels Indikatoren aufgebaut werden kann. Dies gilt für informatorische Maßnahmen wie die Bereitstellung von

Datendiensten, Management-Instrumenten oder Leitfäden ebenso wie für regulatorische Maßnahmen, etwa die Anpassung von Regelwerken und Bemessungsgrundlagen. Um ingenieurtechnische Ansätze zur Anpassung erfassen zu können, zum Beispiel die Entschärfung abflussschwacher Bereiche an Straßen oder die flussbauliche Sicherung einer Mindestwassertiefe an Wasserstraßen, wäre die Einführung eines „Anpassungsmarkers“ wünschenswert, mit dem sich die hierfür investierten Mittel der Klimaanpassung zuordnen lassen. Der Aufwand für regelmäßig durchzuführende Maßnahmen des operativen Managements von Verkehrsinfrastrukturen, zum Beispiel für Unterhaltungsbaggerungen an Wasserstraßen oder das Vegetationsmanagement an Bahntrassen, variiert in Abhängigkeit von

verschiedenen, unter anderem klimatischen Größen. Viele dieser Maßnahmen werden an die Herausforderungen des Klimawandels anzupassen sein. Um einen sich ändernden Umfang solcher Maßnahmen quantitativ abzubilden, bedarf es einer ausreichend differenzierten Erfassung des Arbeitszeit- beziehungsweise Kostenaufwands. Eine Darstellung von operativen Maßnahmen zur Optimierung von Verkehrsabläufen und zu zeitlichen, räumlichen oder auch intermodalen Verlagerungen von Personen- und Güterverkehr würde eine aufwändige Auswertung von feingranularen Daten zu Verkehrsflüssen erfordern. Hierzu bedarf es weiterer Forschungsarbeiten, um gezielte Hinweise auf geeignete Ansätze für Monitoringindikatoren zu erhalten.

Was getan wird – einige Beispiele

Für das Handlungsfeld „Verkehr, Verkehrsinfrastruktur“ trägt auf Bundesebene das BMDV die Verantwortung. Übergeordnetes Ziel der Klimaanpassung im Verkehrsbereich ist es, die Leistungsfähigkeit des Verkehrssystems angesichts von sich ändernden klimatischen Anforderungen und häufigeren Wetterextremen sicherzustellen, sodass es auch zukünftig den Anforderungen einer mobilen Gesellschaft gerecht wird. Dieses Ziel spiegelt sich im strategischen Rahmen der Ressortforschung des BMDV für die 20. Legislaturperiode wider, der unter dem Motto steht „Mobilität nachhaltig transformieren und die digitale Leistungsfähigkeit vorantreiben“. Forschungsaktivitäten zur Entwicklung einer gegenüber den Folgen des Klimawandels resilienten Infrastruktur, zur Erarbeitung von Anpassungsmaßnahmen, zur Verbesserung von Datenerhebungen und Vorhersagen sowie zur (Weiter-)Entwicklung von Warnmeldesystemen umfasst dieser strategische Rahmen unter anderem in den Schwerpunkten „Fortentwicklung digitaler Anwendungen“ sowie „Resiliente Verkehrs- und Datensysteme & Verkehrssicherheit“.

Seit 2016 werden Forschungstätigkeiten im Kontext der Folgen des Klimawandels auf die Verkehrsinfrastruktur und daraus resultierender Anpassungserfordernisse im Themenfeld 1 „Klimawandelfolgen und Anpassung“ des BMDV-Expertenetzwerks „Wissen – Können – Handeln“ gebündelt. In dem Netzwerk arbeiten sieben Oberbehörden und Ressortforschungseinrichtungen des BMDV gemeinsam an Lösungen für die wesentlichen Herausforderungen und Zukunftsfragen im Bereich Verkehr und Mobilität. Die Beschäftigung des BMDV-Expertenetzwerks mit dem Klimawandel als Herausforderung für Verkehr und Verkehrsinfrastruktur ist als Maßnahme in den dritten Aktionsplan Anpassung (APA III) der Bundesregierung eingebettet. Zu den weiteren

Maßnahmen des APA III, die das BMDV-Expertenetzwerk bearbeitet oder unterstützt, gehören unter anderem der DAS-Basisdienst „Klima und Wasser“, ein operationeller Daten- und Beratungsdienst, die durch den DAS-Basisdienst mit Daten versorgte Anpassungsstrategie an die Folgen des Klimawandels für Bundeswasserstraßen und weitere wasserbezogene Infrastrukturen der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV) sowie der Aktionsplan „Niedrigwasser Rhein“. Maßnahmen für andere Verkehrsträger im APA III sind unter anderem die Ermittlung der Vulnerabilität der Schienenverkehrsnetze und eine Evaluierung der Anpassung von Regelwerken der DB Netz AG. Mit Blick auf den Straßenverkehr enthält der APA III die Förderung von Mehrinvestitionen für die Straßenverkehrsinfrastruktur im Rahmen der Bundesverkehrswegeplanung, um die bestehende Straßenverkehrsinfrastruktur robuster gegen potenzielle Schäden durch extreme Wetterereignisse zu machen. Hierzu soll zukünftig ein Prognoseszenario „Extremwetterereignisse 2080“ in die Planung einbezogen werden.

Im Bereich des Schienenverkehrs ist der Bund auch in seiner Rolle als Eigentümer der Deutschen Bahn AG für die Klimaanpassung aktiv. Die Deutsche Bahn AG arbeitet aktuell eine Klima-Resilienz-Strategie aus. Zu deren Maßnahmen gehören zum Beispiel ein optimiertes Vegetationsmanagement entlang der Gleise und der Einsatz einer robusteren Technik bei Stellwerken oder Energieanlagen.

Weitere Akteure der Klimaanpassung im Verkehrsbereich sind die Bundesländer, die im Rahmen ihrer jeweiligen Zuständigkeiten mit Maßnahmen befasst sind. Diese reichen von der Ermittlung von Klimarisiken für Verkehrswege bis zur Planung und Umsetzung konkreter ingenieurtechnischer Maßnahmen oder Managementmaßnahmen.

Handlungsfeld-relevante Klimaveränderungen

Hitze und Trockenheit

In Deutschland treten immer häufiger heiße und trockene Jahre auf. Wenn wie in den Jahren 2018, 2019 und zuletzt auch 2022 hohe Temperaturen mit geringen sommerlichen Niederschlägen einhergehen (siehe Abbildung 4, Seite 22), können intensive und auch längere Trockenphasen entstehen, in denen die Bodenfeuchte gering ist. Die mittlere Anzahl der Tage mit geringen Bodenfeuchtwerten hat in Deutschland seit 1961 signifikant zugenommen (siehe Abbildung 10, Seite 27). Weitere Symptome der Trockenheit waren in den angesprochenen Jahren eine geringe Grundwasserneubildung und niedrige Grundwasserstände (siehe Indikator WW-I-2, Seite 72) sowie ausgeprägte Niedrigwasserphasen – die heißen und trockenen Sommer der Jahre 2018 bis 2020 haben zu drei extremen Niedrigwasserjahren in Folge geführt (siehe Indikator WW-I-6, Seite 80).



Foto: © shokokoart / stock.adobe.com

Auswirkungen des Klimawandels

VE-I-2 Niedrigwassereinschränkungen am Rhein

Bleibt im Einzugsgebiet des Rheins auf großer Fläche und über längere Zeiträume der Niederschlag aus, und sind dort zudem die Temperaturen dauerhaft sehr hoch, kann es zu langanhaltenden Niedrigwassersituationen kommen. Für den Schiffsverkehr bedeutet der geringe Rheinwasserstand geringere Ladungsmengen, da die Abladetiefe aufgrund der niedrigen Pegelstände reduziert werden muss. Die Folge können Lieferengpässe und Preissteigerungen für Transportgüter der Binnenschifffahrt sein.



Foto: © kathomenden / stock.adobe.com

Anpassungen – Aktivitäten und Ergebnisse

Aktionsplan „Niedrigwasser Rhein“

Ein Jahr nach den massiven niedrigwasserbedingten Einschränkungen für die Rheinschifffahrt und den damit verbundenen ökonomischen Folgen legte das damalige Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) im Sommer 2019 den Aktionsplan „Niedrigwasser Rhein“ vor. Gemeinsam mit Vertreter*innen großer Industrieunternehmen im Rheineinzugsgebiet und des Binnenschifffahrtsgewerbes wurden acht Maßnahmen entwickelt, um die Bedingungen für den Gütertransport auf dem Rhein zuverlässiger und zukunftssicher zu gestalten.

Ein wichtiger Baustein des Aktionsplans sind die Pflege und Weiterentwicklung von Vorhersagesystemen. Die Früherkennung extremer Abflusssituationen ist wichtig für ein effektives Mittel- und Niedrigwassermanagement und die Transportplanung. Unternehmen können dadurch ihre Transporte rechtzeitig umplanen oder – soweit vorhanden – kleinere Schiffe mit weniger Tiefgang einsetzen. Zusätzliche Lagerkapazitäten können helfen, Engpässe zu überbrücken, wenn die Schifffahrt stark eingeschränkt ist.



Bild: © BMDV

Lange Niedrigwasserphasen haben die gravierendsten Folgen

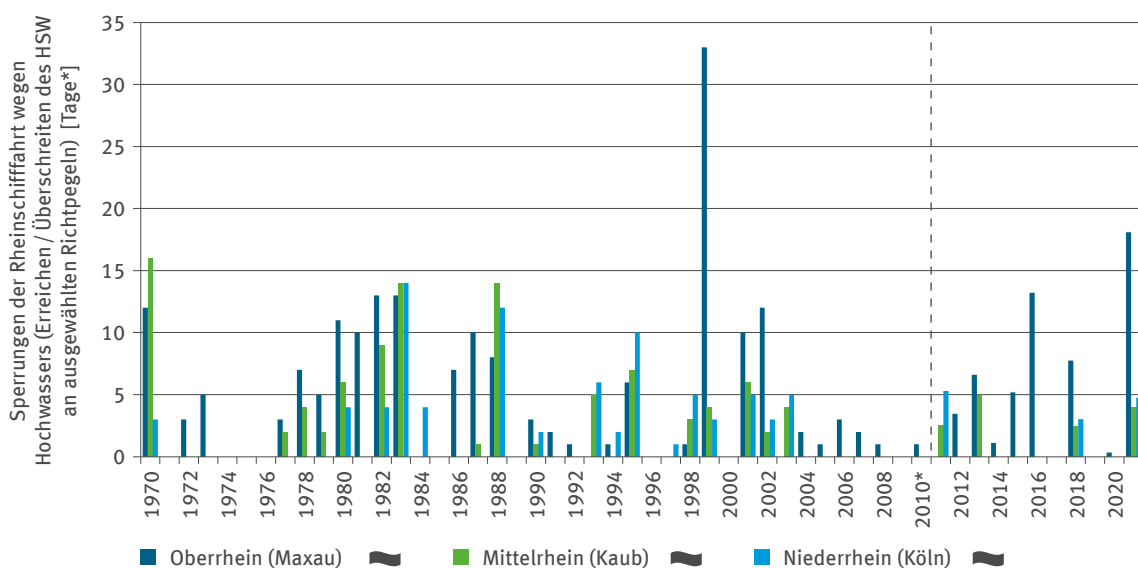
Das meteorologisch und hydrologisch außergewöhnliche Jahr 2018 zeigte, wie abhängig die Rheinschifffahrt von Wetter und Witterung ist. Im warmen Januar fielen größere Niederschlagsmengen vor allem als Regen und ließen Bäche und Flüsse unmittelbar anschwellen. Am Rhein überschritten die Wasserstände die geltenden Hochwassermarken, die Schifffahrt musste auf allen Stromabschnitten zeitweilig eingestellt werden. Im weiteren Jahresverlauf blieben die Temperaturen hoch, nennenswerte Niederschläge blieben aber bis Anfang Dezember weitgehend aus. Das führte am Rhein zu einer ungewöhnlich langen Niedrigwasserphase im Spätsommer und Herbst, die mit Abladebeschränkungen in der Binnenschifffahrt einherging. Die Auswirkungen waren für die Verbraucher*innen an steigenden Kraftstoffpreisen zu spüren. Da die Tanklastschiffe den Rhein nicht mehr bis zur vollen Abladetiefe befahren konnten und zudem in Bayern eine Raffinerie längerfristig ausfiel, wurden Kraftstoffe in Süddeutschland an den Tankstellen knapp und teuer.¹⁶⁰ Insgesamt transportierten Deutschlands Binnenschiffe im Jahr 2018 rund 25 Mio. Tonnen Güter weniger als im Vorjahr, das entspricht einem Rückgang um 11,1%.

Der Rhein ist die wichtigste Binnenwasserstraße in Deutschland. Er ermöglicht einen kostengünstigen und umweltfreundlichen Transport von Waren, den Im- und Export über die Nordseehäfen in Belgien und den Niederlanden und verbindet wichtige industrielle Zentren in Deutschland¹⁶¹. Über drei Viertel der Güterbeförderung der Binnenschifffahrt in Deutschland finden im Rheingebiet statt¹⁶². Wenn Hoch- oder Niedrigwasser die Rheinschifffahrt einschränken, kann dies auf einzelne Unternehmen oder ganze Produktions- und Lieferketten mitunter erhebliche Auswirkungen haben. Die Binnenschifffahrt transportiert auf den verschiedenen Wasserstraßen vor allem feste und flüssige Massengüter, die sich nur begrenzt auf andere Verkehrsträger verlagern lassen.

Die Regeln für den Schiffsverkehr auf dem Rhein gibt die Rheinschifffahrtspolizeiverordnung vor. Danach müssen die Schiffe unter anderem die Geschwindigkeit verringern und mit einer Sprechfunkanlage ausgerüstet sein, wenn der Wasserstand die Hochwassermarke I überschreitet. Wird der Höchste Schifffahrtswasserstand (HSW) überschritten, sind die betroffenen Abschnitte für

VE-I-1: Hochwassersperrungen am Rhein

In den vergangenen rund 30 Jahren beeinträchtigten Hochwassersperrungen die Rheinschifffahrt vor allem auf dem Oberrhein. In den Jahren 1999, 2016 und 2021 konnten Binnenschiffe den Oberrhein wegen Hochwasser über einen längeren Zeitraum nicht befahren.



* bis 2010: Anzahl der Tage mit Hochwassersperrungen; seit 2011: aggregierte Dauer der Sperrungen in Tagen, bezogen auf 1/4-stündliche Wasserstandsmessung

Datenquelle: GDWS (Sperrungen der Schifffahrt)

die Schifffahrt zu sperren. Besonders prägnant waren die Sperrungen im Spätwinter und Frühjahr des Jahres 1999, als der Oberrhein infolge zweier Hochwasser über mehrere Wochen nicht für die Schifffahrt freigegeben war. 2021 gab es am Oberrhein zunächst Ende Januar sowie später im Juli infolge ergiebiger Regenfälle längere Sperrungen. An Mittel- und Niederrhein kam es seit dem Jahr 2000 nur zu kürzeren Sperrungen, die zumeist nach weniger als einer Woche wieder aufgehoben wurden. Signifikante Trends zu mehr Hochwassersperrungen auf dem Rhein sind bislang nicht zu verzeichnen.

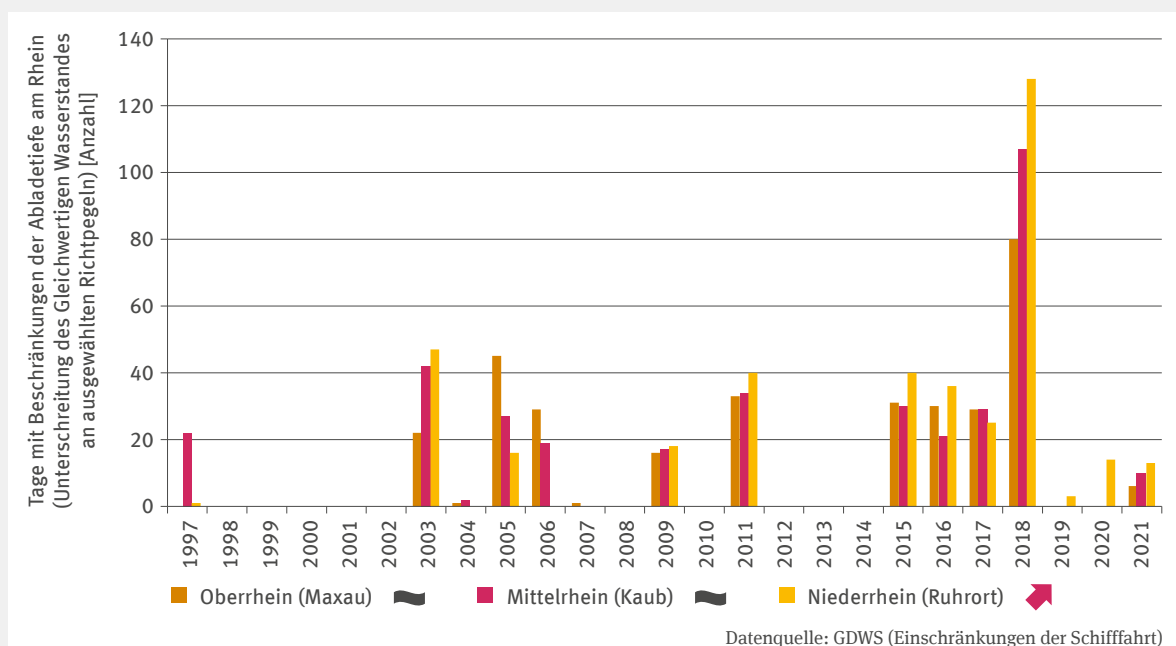
Unterschreiten die Wasserstände einen flussabschnittsbezogenen Schwellenwert, bei dem die Solltiefe der Fahrrinne noch sicher gegeben ist (am Rhein definiert der sogenannte gleichwertige Wasserstand diese Schwelle), ist die Binnenschifffahrt in aller Regel noch möglich, jedoch in Abhängigkeit vom Ausmaß der Unterschreitung sowie von der Größe und Bauweise der Binnenschiffe unterschiedlich stark eingeschränkt. Am Rhein treten solche Niedrigwasserphasen in der Regel im Spätsommer von August bis Oktober auf. In den letzten Jahren dauern die Niedrigwasserphasen aber auch bis in den November oder Dezember. So war es in den Jahren 2011 und 2015 sowie zuletzt besonders ausgeprägt in 2018.

Für den Niederrhein zeigt die Zeitreihe seit 1997 eine signifikante Zunahme der Niedrigwassereinschränkungen.

Die Risikoanalyse „Dürre“¹⁶³ des Bundes aus dem Jahr 2018 verdeutlicht die möglichen gravierenden Auswirkungen von länger anhaltendem Niedrigwasser auf die Binnenschifffahrt. In dem konstruierten Szenario der Risikoanalyse – einer sechsjährigen, teils extremen Trockenphase – herrschen am Rhein längere ausgeprägte Niedrigwasserphasen. Die Binnenschifffahrt ist dann nur eingeschränkt möglich, streckenweise wird sie vorübergehend eingestellt. Im Süden Deutschlands sowie in der Schweiz kann es zu massiven Versorgungsengpässen bei Massengütern kommen. Für Unternehmen verschiedener Branchen entstehen wirtschaftliche Einbußen; es fallen höhere Transportkosten an, mitunter müssen sie ihre Produktion drosseln oder ganz einstellen, da ihnen Rohstoffe fehlen und fertige Produkte nicht versendet werden können. Auch bei der allgemeinen Versorgung mit Strom und Wärme sowie Kraftstoffen kann es zu Einschränkungen und Preissteigerungen kommen, da Kohle, Heizöl und Mineralölprodukte nur in begrenztem Umfang transportiert werden können. Das Jahr 2018 hat diese möglichen Folgen von Niedrigwasser konkret vor Augen geführt.

VE-I-2: Niedrigwassereinschränkungen am Rhein

Ausgedehnte Niedrigwasserphasen haben in den zurückliegenden Jahren die Schifffahrt auf dem Ober-, Mittel- und Niederrhein immer wieder deutlich eingeschränkt, besonders lang anhaltend im Jahr 2018. Ursache hierfür waren in aller Regel sommerliche Trockenheit und Hitze. Die Auswirkungen waren teilweise bis in den Dezember hinein zu spüren. Am Niederrhein nehmen die Niedrigwassereinschränkungen seit 1997 mit signifikantem Trend zu.



Starkregen können überall auftreten

Die Flutkatastrophen an Ahr und Erft im Jahr 2021 haben deutlich gezeigt, wie verletzlich Verkehrsinfrastrukturen sind, wenn sie in einer topografisch ungünstigen Tallage verlaufen und anhaltende Starkregenfälle dort zu Sturzfluten und Hochwasser führen. Zahlreiche Brücken und Straßen wurden beschädigt oder zerstört und müssen wiederaufgebaut werden. Viele Verkehrsverbindungen waren über Wochen und Monate oder sind noch immer unterbrochen. Aber auch Niederschläge von nur kürzerer Dauer können den Straßenverkehr empfindlich beeinträchtigen. So mussten im Juni 2021 infolge heftiger Unwetter zum Beispiel in Landshut, Darmstadt, Krefeld und Magdeburg Straßen gesperrt werden, weil sie überschwemmt oder von Schlammmassen bedeckt waren und erst wieder sicher passierbar gemacht werden mussten.

Vor den kurzen und intensiven Regenereignissen, die Ursache dieser Sperrungen waren, wird vom DWD unter dem Begriff Starkregen gewarnt. Sie regnen innerhalb einer kurzen Zeit (nach den Warnkriterien des DWD bis zu 6 Stunden) zumeist in einem lokal begrenzten Gebiet ab. In Deutschland umfasst die Starkregensaison die

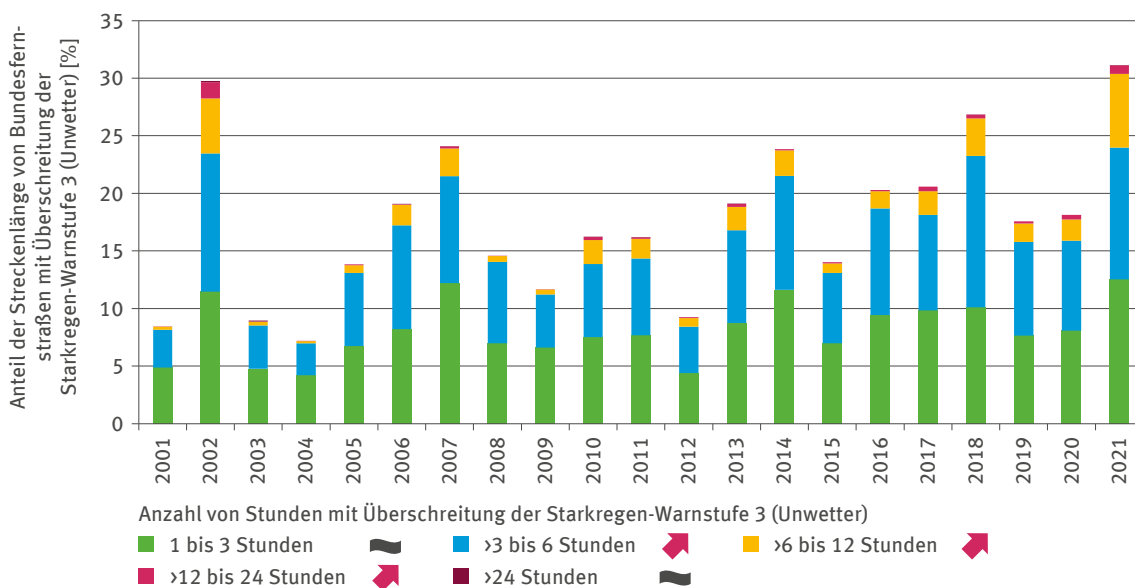
Monate Mai bis September, wobei der Schwerpunkt in der Zeit von Juni bis August liegt. Starkregen treten häufig in Verbindung mit heftigen Gewittern auf, man spricht dann von konvektiven Starkregenereignissen.

Die kurzen und heftigen Regenfälle können schwerwiegende Folgen für die Verkehrsinfrastruktur und den Verkehrsablauf haben. Welche dies im jeweiligen Fall sind und welche Schäden sie auslösen, hängt neben der Intensität und Dauer der Regenfälle auch vom Ort des Ereignisses ab. In ebenem Gelände kann das viele Wasser weder schnell abfließen, noch kann der Boden es vollumfänglich aufnehmen. Die Folge können mitunter lang andauernde Überflutungen von Straßen in Troglage und von Unterführungen sein. Dort sammelt sich das Wasser, das von Entwässerungsanlagen nicht mehr aufgenommen und abgeleitet werden kann. In Mittelgebirgsregionen oder im Alpenraum fließt das Wasser dagegen in der Regel an der Oberfläche und – je nach Gefälle – sehr schnell ab. Bei einem sehr heftigen Starkregen können kleinere Bäche hier zu reißenden Flüssen werden, wenn schnell ansteigende Hochwasserwellen sich durch enge



VE-I-3: Starkregen und Straße

Starkregen können für den Straßenverkehr schwerwiegende Folgen haben. Jedes Jahr sind in Deutschland zwischen 5 bis über 30 % der Bundesfernstraßen von unwetterartigen Starkregen der Warnstufe 3 betroffen. Der gesamte zeitliche Umfang dieser Ereignisse beläuft sich für die meisten betroffenen Straßenabschnitte auf 1 bis 6 Stunden je Jahr.



Datenquelle: DWD (Radarklimatologie RADKLIM (RW) Version 2017.002), BAST (BISStra)

Bachbetten zwingen. Die Ausläufer dieser Sturzfluten erreichen immer wieder auch Gegenden, die vom Starkregen gar nicht selbst betroffen waren. Die abfließenden Wassermassen oder der hohe Wasserdruck können wie oben beschrieben in extremen Fällen Infrastrukturen schädigen.¹⁶⁴

Häufiger sind Fälle, in denen schlechte Straßen- und Sichtverhältnisse die Unfallgefahr erhöhen, etwa bei Aquaplaning. Oder es kommt zu Behinderungen des Straßenverkehrs, beispielsweise wenn Treibgut an Nadelöhren wie Brücken oder Unterführungen zu Verklausungen führt und Verkehrsflächen überstaut werden. Behinderungen können auch auftreten, wenn Hänge und Böschungen nach starken Regenfällen ins Rutschen kommen oder unterspült werden und die Straßen dadurch verschmutzt oder beschädigt werden.

In den Jahren 2001 bis 2021 sind Starkregen praktisch in ganz Deutschland beobachtet worden und damit kein Phänomen der Mittelgebirgs- und Gebirgsregionen allein (siehe Abbildung 8, Seite 25). Dies ist das Ergebnis einer Auswertung auf Grundlage der Radarklimatologie (RADKLIM) des DWD.¹⁶⁵ Für die Zukunft erwarten Klimaforschende, dass die Häufigkeit von Starkregen und deren Intensität allgemein zunehmen werden. Ein Grund dafür ist, dass die Luft bei höheren Temperaturen mehr Wasser aufnehmen kann – rund 7 % mehr Wasser bei einer Temperaturerhöhung um 1 Kelvin. Des Weiteren führen die sich ändernden meteorologischen Verhältnisse zu einer intensivierten Wolken- und Niederschlagsbildung.¹⁶⁶ Für Deutschland wird, bei starken regionalen und jahreszeitlichen Unterschieden, insbesondere für die zweite Hälfte des 21. Jahrhunderts davon ausgegangen, dass derzeit noch relativ selten auftretende hohe Tagesniederschlagsmengen häufiger vorkommen werden. Am vergleichsweise stärksten soll die Zunahme bei den heute noch seltenen Ereignissen ausfallen.¹⁶⁷ Treten diese Entwicklungen ein, wird die Gefahr von Störungen des Straßenverkehrs und, im extremeren Fall, von Schäden an Straßen und Infrastrukturen steigen. Öffentlich zugängliche Daten, mit denen sich der Umfang solcher Störungen und Schäden zuverlässig und ursachenbezogen abbilden ließe, gibt es bisher nicht. Der hier dargestellte Indikator nimmt daher „nur“ in den Blick, in welchem zeitlichen Umfang das Netz der Bundesfernstraßen von unwetterartigen Starkregenfällen, die mithilfe von Radar daten räumlich konkret ermittelt wurden, betroffen war. Er leistet damit nur eine Risikobeschreibung.

Dass es durch alle mit dem Indikator erfassten Starkregen zu Schäden an Infrastrukturen kommt, ist eher unwahrscheinlich. Der DWD warnt vor unwetterartigem



Starkregen können in kurzer Zeit zu Aquaplaning oder Überschwemmungen auf Straßen führen.
(Foto: © DRBURHAN / stock.adobe.com)

Starkregen, wenn Regenmengen über 25 l/m² in 1 Stunde oder über 35 l/m² in 6 Stunden erwartet werden. Werden diese Warnwerte nur geringfügig überschritten, sind die Starkregen in der Regel von einer Intensität, die noch nicht zu Schäden an Straßeninfrastrukturen führt. Aber: Der DWD kennzeichnet mit der Warnstufe 3 „Unwetter“ Wettersituationen, die als sehr gefährlich eingestuft werden, und er empfiehlt, Aufenthalte im Freien zu vermeiden.

Wetter und Witterung beeinflussen Sicherheit auf der Straße

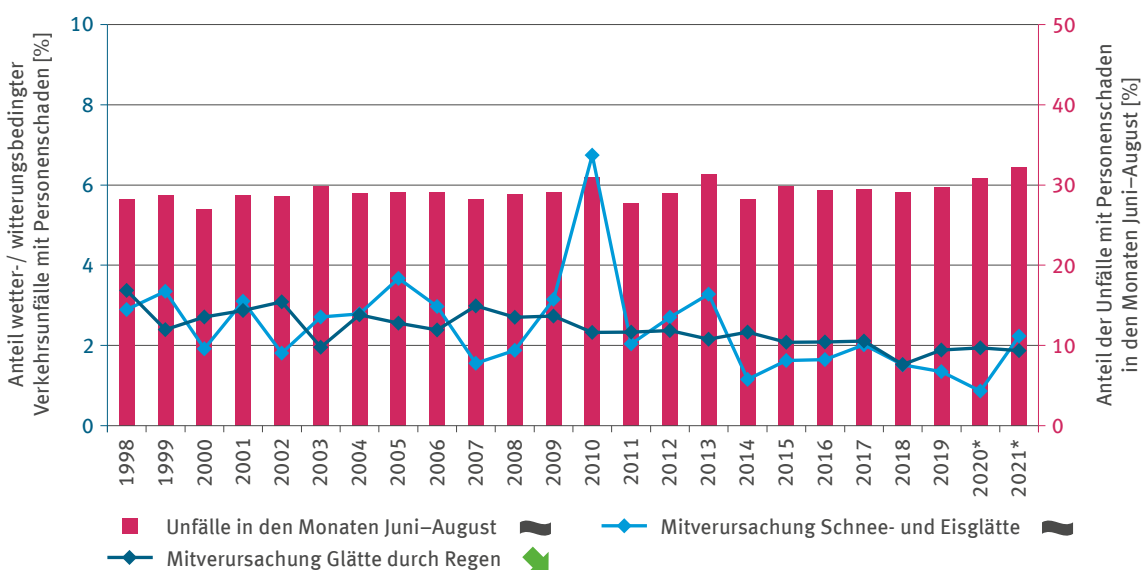
Die Verkehrssicherheit und das Unfallgeschehen auf Deutschlands Straßen hängen von zahlreichen Einflussfaktoren ab. Dazu zählen neben der vorhandenen Infrastruktur, der Dichte und der Struktur des Verkehrs und dem Verhalten der Verkehrsteilnehmenden auch Wetter und Witterung. Regen und Schnee sowie Eis und Hagel beeinflussen die Straßenverhältnisse und sorgen für widrige Fahrbahnbedingungen wie etwa Aquaplaning oder Glätte, auch auf Geh- und Radwegen. Niederschlag und Nebel trüben die Sichtverhältnisse. Die Unfallgefahr ist daher in den Herbst- und Wintermonaten in der Regel höher als im Frühjahr und Sommer. Es kommt insgesamt zu mehr Unfällen. Da die Verkehrsteilnehmenden ihre Geschwindigkeit aber den schlechten Bedingungen anpassen, sind Unfälle mit Personenschaden im Verhältnis seltener als in den warmen Monaten. Dazu trägt auch die durch das schlechte Wetter beeinflusste Verkehrsmittelwahl bei: Die Menschen nutzen bevorzugt den Pkw oder öffentliche Verkehrsmittel, sodass sich weniger ungeschützte und besonders verletzbare Personen im Straßenverkehr bewegen.

In der warmen Jahreszeit sind gegenläufige Verhaltensmuster zu beobachten. Die Menschen nutzen die angenehmen Temperaturen und die längeren Tage. Sie sind mehr im öffentlichen Raum unterwegs und erledigen mehr Wege zu Fuß, mit dem Fahrrad oder E-Bike oder mit dem Motorrad. Das Verkehrsgeschehen wird insgesamt komplexer, der Anteil der schwächeren Verkehrsteilnehmenden ist höher. Zudem fahren motorisierte Verkehrsteilnehmende bei guter und trockener Witterung schneller als bei rutschiger oder nasser Fahrbahn und provozieren damit auch folgenschwerere Unfälle. Obwohl also in den Sommermonaten die Unfallzahlen im Jahresvergleich eher durchschnittlich sind, ist der Anteil von Unfällen mit Personenschaden, bei denen Personen verletzt oder getötet werden, in diesem Zeitraum besonders hoch.

Das Unfallgeschehen des Jahres 2010 zeigt einer Auswertung des Statistischen Bundesamts zufolge¹⁶⁸ beispielhaft, in welcher Weise Wetter und Witterung die Verkehrssicherheit beeinflussen können. In den Monaten Januar, Februar und Dezember herrschten jeweils stark

VE-I-4: Wetter- und witterungsbedingte Straßenverkehrsunfälle

Stark winterliche Straßenverhältnisse sowohl in Januar und Februar als auch im Dezember waren im Jahr 2010 die Ursache für eine außergewöhnlich hohe Zahl von Unfällen, die durch Schnee- und Eisglätte mitverursacht wurden. Ein signifikanter Trend zeichnet sich hier nicht ab, ebenso wenig für Unfälle mit Personenschaden in den Monaten Juni bis August. Glätte durch Regen nahm als mitverursachender Faktor von Unfällen signifikant ab.



*Die Jahre 2020 und 2021 der Covid-19-Pandemie wurden in der Trendanalyse nicht berücksichtigt.

Datenquelle: StBA (Straßenverkehrsunfallstatistik)

winterliche Straßenverhältnisse. Schnee- und Eisglätte waren infolgedessen Mitursachen von annähernd doppelt so vielen Unfällen mit Personenschaden wie in den anderen Jahren des betrachteten Zeitraums. Insgesamt gab es in diesen Monaten (und auch im gesamten Jahr 2010) aber vergleichsweise wenige Unfälle mit Personenschaden, sodass der relative Anteil der Unfälle mit Personenschaden in diesen Monaten auf dem niedrigsten Stand seit 1991 lag. Insgesamt ereigneten sich also mehr Unfälle, wegen einer grundsätzlich vorsichtigen Fahrweise blieb es aber in vielen Fällen bei Sachschäden. Demgegenüber war der Anteil der Unfälle mit Personenschaden in den Sommermonaten in den Jahren 2010 und 2013 überdurchschnittlich hoch. Für das Jahr 2010 kann eine „Teilschuld“ daran der Witterung zugeschrieben werden, denn der Juni und der Juli waren in diesem Jahr insgesamt sehr sonnig und die ersten Juliwochen zudem sehr heiß. Im Jahr 2013 haben sich im Vergleich der letzten zehn Jahre insgesamt wenige Unfälle mit Personenschaden ereignet. Der relativ heiße Juli 2013 war allerdings der unfallträchtigste Juli im betrachteten Zeitraum und ist der Grund für den hohen Anteil an Unfällen in den Sommermonaten in diesem Jahr. Der Anstieg in den Jahren 2020 und 2021 ist als ein Nebeneffekt der Covid-19-Pandemie einzustufen: Aufgrund der in den Sommermonaten gelockerten Regelungen gab es in den Monaten Juni bis August keinen so ausgeprägten Rückgang im Vergleich zur Vor-Pandemie-Zeit wie in den meisten Monaten dieser Jahre. Dies spiegelt sich im höheren Anteil der Sommermonate am jährlichen Unfallgeschehen wider.

In Anbetracht der Einflüsse, die Wetter und Witterung auf das Unfallgeschehen haben, wird diskutiert, dass der Klimawandel möglicherweise relevante Auswirkungen auf die Verkehrssicherheit und das Unfallgeschehen hat. Für die winterlichen Gefahren wird dabei für die Zukunft allgemein von einer Abnahme ausgegangen, während es in Frühjahr, Sommer und Herbst unter anderem infolge größerer Hitze und vermehrter Starkregen häufiger zu Unfällen kommen könnte. Regional sind in den vergangenen Jahren auch Staub- und Sandstürme als Unfallursachen in Erscheinung getreten. Auch dies könnte bei zunehmender sommerlicher Bodentrockenheit künftig häufiger auftreten. Bislang zeichnet sich in den abgebildeten Zeitreihen bei den Verkehrsunfällen mit einer Mitverursachung durch Schnee- und Eisglätte kein signifikanter Trend ab. Gleiches gilt für die Zahl der Verkehrsunfälle in den Sommermonaten, wobei hier die durch den Pandemie-Effekt beeinflussten Werte der Jahre 2020 und 2021 nicht in der Trendanalyse berücksichtigt wurden. Die Unfälle mit einer Mitverursachung durch Glätte durch Regen nehmen seit 1998 mit einem signifikanten Trend ab.



Schlechte Straßenverhältnisse bei Regen oder Schnee- und Eisglätte können ebenso wie sommerliche Hitze das Unfallgeschehen beeinflussen.

(Foto: © Animaflora PicsStock / stock.adobe.com)

Es liegt in der Verantwortung der Verkehrsteilnehmenden, sich über bestehende Gefahren zu informieren, Warnhinweise zu beachten und sich in extremen Situationen richtig und angemessen zu verhalten. Sie sind aber grundsätzlich darauf angewiesen, dass Verkehrsinfrastrukturen auch unter extremen Bedingungen funktionieren und keine witterungsbedingten Schäden entstehen. Zu den Aufgaben von Bund und Ländern gehört es, die Verkehrsinfrastrukturen an die sich ändernden klimatischen Verhältnisse anzupassen. Um hierfür die notwendigen Grundlagen zu schaffen, wurde in der Bundesanstalt für Straßenwesen mit Start im Jahr 2011 das Forschungsprogramm „Adaptation der Straßenverkehrsinfrastruktur an den Klimawandel (AdSVIS)“ aufgelegt. In einer ersten Phase wurde unter anderem im Projekt „RIVA – Risikoanalyse wichtiger Verkehrsachsen des Bundesfernstraßennetzes im Kontext des Klimawandels“ eine Methodik entwickelt, um Klimarisiken für das Bundesfernstraßennetz einfacher ermitteln zu können.¹⁶⁹ Seit 2016 sind die klimawandelbezogenen Aktivitäten der Bundesanstalt für Straßenwesen (BAST) in das Themenfeld 1 „Klimafolgen und Anpassung“ des BMDV-Expertenetzwerks „Wissen – Können – Handeln“ eingebettet.

Aufräumen nach Sturm und Starkregen

In den vergangenen Jahren wurden Straßenverkehrsinfrastrukturen in unterschiedlichen Teilen Deutschlands immer wieder von Unwettern und deren Folgen getroffen: Flüsse traten über die Ufer und überschwemmten Verkehrswege, auch Bundesstraßen und Autobahnen. Starkregenfälle lösten lokale Sturzfluten aus, die Autos fort- und Straßen unterspülten und zu Schäden an weiteren Infrastrukturen, beispielsweise Regenrückhaltebecken, führten (siehe Indikator VE-I-3, Seite 250); Schlammlawinen, umgestürzte Bäume und Windbruch oder auch Hagelmassen blockierten Straßen und hinterließen Fahrbahnen und Bankette so stark verschmutzt oder beschädigt, dass die Straßen für den Verkehr gesperrt werden mussten.

Das ganze Ausmaß der Schäden an Straßen und Infrastrukturen wird oft erst sichtbar, wenn ein Unwetter abgezogen oder das Hochwasser abgelaufen ist. Die Aufgabe, diese Schäden zu beheben, fällt den Straßenbauverwaltungen der Bundesländer zu, die Verantwortung für die Autobahnen wurde, mit Aufnahme ihrer Tätigkeit im Jahr 2021, der Autobahn GmbH des Bundes (AdB) übertragen. Größere Sanierungsarbeiten an Bauwerken

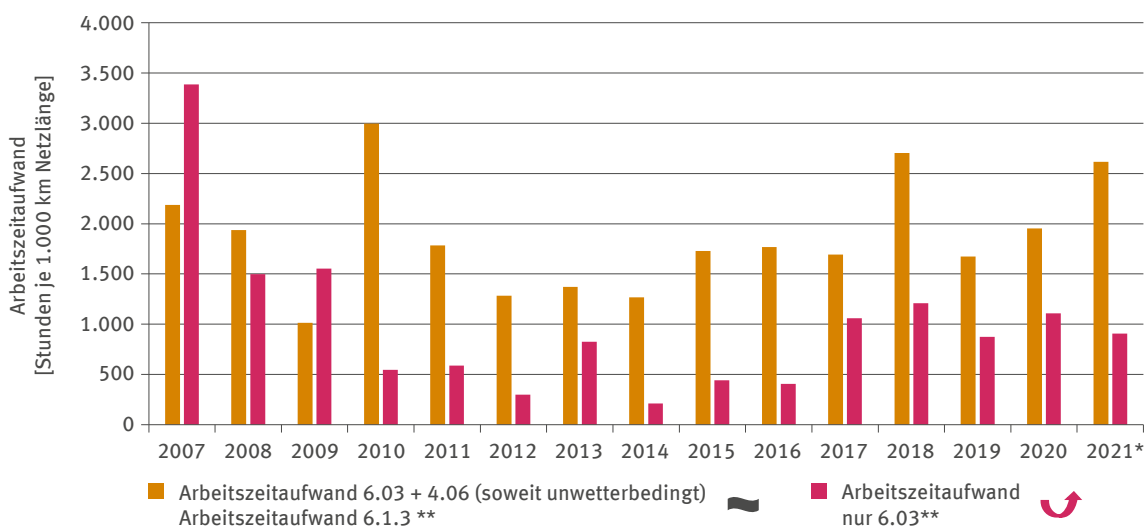
oder Böschungen werden in der Regel an private Firmen vergeben. Kleinere Instandsetzungen und Reinigungsarbeiten werden vom Straßenbetriebsdienst durchgeführt. Als Straßenbetriebsdienst bezeichnet man die Mitarbeitenden der Autobahn- und Straßenmeistereien. Sie sorgen für einen verkehrssicheren und funktionsfähigen Zustand des Straßennetzes. Alle hierfür erforderlichen Maßnahmen zur Kontrolle, Wartung und Unterhaltung der Straßen erfolgen unter der Prämisse, den Verkehrsablauf so wenig wie möglich zu beeinträchtigen.

Die Aufgaben des Straßenbetriebsdienstes während und nach Stürmen und Orkanen, Hochwasser, Überschwemmungen nach Starkregen sowie sonstigen Katastrophenfällen beschreibt das zu Beginn des Jahres 2022 eingeführte „Leistungsheft für den Straßenbetriebsdienst auf Bundesfernstraßen – Ausgabe 2021“¹⁷⁰. Laut der weiterentwickelten Leistungsposition 6.1.3 „Maßnahmen bei außergewöhnlichen Witterungsereignissen und Katastrophenfällen“ gehört es zu den Aufgaben des Straßenbetriebsdienstes, nach Unwettern Straßenschäden, die die Verkehrssicherheit beeinträchtigen könnten, sofort zu



VE-I-5: Wetter- und witterungsbedingte Beeinträchtigungen von Straßen

Besonders viel hatte der Straßenbetriebsdienst in den Jahren 2007, 2010, 2018 und 2021 zu tun. In 2007 und 2010 waren vor allem die Schäden der Orkane Kyrill beziehungsweise Xynthia zu beseitigen. 2018 beschäftigten die Folgen von Sturm, Hagel und Starkregen den Straßenbetriebsdienst in Hessen, Rheinland-Pfalz und Nordrhein-Westfalen außergewöhnlich stark, 2021 war Tief Bernd für den hohen Arbeitszeitaufwand verantwortlich.



*ohne Autobahnen

** RP ab 2007, HE ab 2013, MV ab 2014, ST ab 2017, BW ab 2021

*** BB ab 2007, BY ab 2010, SN ab 2011, NI ab 2012, BW 2017–2020, NRW ab 2018

Datenquelle: Bundesländer (Arbeitszeiterfassung des Straßenbetriebsdienstes), BMDV (Längenstatistik der Straßen des überörtlichen Verkehrs)

beseitigen. Außerdem übernimmt er es, Straßen von Gegenständen wie Ästen zu befreien und Verschmutzungen zu beseitigen, beschädigte Verkehrszeichen und Markierungen in Ordnung zu bringen, Bankette zu sanieren und Gräben zu räumen. Sind einzelne Abschnitte nicht passierbar, greift der Straßenbetriebsdienst mit den notwendigen Schildern und Absperrungen verkehrsregelnd ein.

Der Indikator zeigt, je nach Datenverfügbarkeit in den Bundesländern, den Aufwand für Leistungen im Zusammenhang mit außergewöhnlichen Wetter- und Witterungsereignissen in der Zuständigkeit verschiedener Bundesländer. Dabei ist zu berücksichtigen, dass in einigen Ländern im Zusammenhang mit solchen Ereignissen nach dem bisherigen Leistungsheft 2004 nur die Aufwände für „verkehrsregelnde Maßnahmen bei besonderen Witterungsereignissen“ erfasst wurden (Position 6.03). In anderen Bundesländern wurden darüber hinaus bezogen auf außergewöhnliche Wetter- und Witterungsereignisse auch die notwendigen Maßnahmen zur Beseitigung von verkehrsbehindernden und -gefährdenden Verschmutzungen auf Verkehrsflächen erfasst (Position 6.03 zuzüglich ausgewählte Aufwände nach Position 4.06). Der letztgenannte Ansatz ist der „Vorläufer“ der Aufwandserfassung für Position 6.1.3 nach dem Leistungsheft ab Ausgabe 2021. Aufgrund der Unterschiede im berücksichtigten Leistungsumfang stellt das Diagramm die beiden Ansätze getrennt dar. Um die Aufwände aus den verschiedenen Bundesländern miteinander verrechnen zu können, wurden sie jeweils auf die Länge des Straßennetzes in der Zuständigkeit der jeweiligen Straßenbauverwaltung bezogen.

Besonders hoch war der Arbeitszeitaufwand für den Umgang mit außergewöhnlichen Witterungsereignissen und Katastrophenfällen in den Jahren 2007 und 2010 sowie in den Jahren 2018 und 2021. In den erstgenannten Jahren wurde Deutschland auf großer Fläche von den Orkanen Kyrill beziehungsweise Xynthia heimgesucht. In Waldgebieten wurden in großer Zahl Bäume entwurzelt und Äste abgerissen. Es entstanden Behinderungen und Schäden an Straßen, die der Straßenbetriebsdienst beheben musste und die einen deutlichen Zusatzaufwand verursachten. Im Jahr 2018 brachte der Mai in vielen Bundesländern eine Reihe heftiger Unwetter mit sich. Besonders betroffen waren Hessen, Rheinland-Pfalz und Nordrhein-Westfalen, wo der Straßenbetriebsdienst hohe Aufwände leistete, um die Folgen von Überschwemmungen, Schlammlawinen, Hagelstürmen und Starkregen zu beseitigen. Demgegenüber scheint der Arbeitszeitaufwand des Jahres 2021 die Auswirkungen von Tief Bernd nur zum Teil widerzuspiegeln. Grund hierfür war das katastrophale Ausmaß der Hochwasser und Überschwemmungen. Für die Schadensbeseitigung waren und sind Maßnahmen außerhalb des



Bei Unwettern sperrt der Straßenbetriebsdienst nicht passierbare Straßenabschnitte, er befreit die Fahrbahn von Schlamm und Ästen und behebt kleinere Schäden.
(Foto: © Chris / stock.adobe.com)

Leistungsspektrums des Straßenbetriebsdiensts erforderlich, die von privaten Unternehmen erbracht werden und sich nicht in der Zeitreihe widerspiegeln.

Zukünftig werden sich mit der Etablierung und einheitlichen Nutzung des weiterentwickelten Leistungshefts in allen Bundesländern und bei der AdB deutschlandweit vergleichbare Aussagen zu dem Arbeitszeitaufwand treffen lassen, den außergewöhnliche Witterungsereignisse und Katastrophenfälle für den Straßenbetriebsdienst nach sich ziehen. Für diesen Bereich hat die Bund-Länder-AG BEKORS (Betriebskostenrechnung im Straßenbetriebsdienst) das Leistungsheft bei der Überarbeitung auch mit dem Ziel weiterentwickelt, diesen Arbeitszeitaufwand einheitlich und vergleichbar zu erfassen. Dafür wurden die zu erfassenden Leistungen konkret beschrieben, und es wurde geklärt, dass der Arbeitszeitaufwand nicht nur für die Erst-, sondern auch für die Folgemaßnahmen der Position 6.1.3. „Maßnahmen bei außergewöhnlichen Witterungsereignissen und Katastrophenfällen“ zuzuordnen ist.

Auf dieser Grundlage kann der Indikator zukünftig noch auf weitere oder alle Bundesländer ausgedehnt werden. Daran wird sich beobachten lassen, ob deutschlandweit der Arbeitsaufwand für den Straßenbetriebsdienst steigt, weil es in einem verstärkten Maß zu Schäden und Behinderungen an Straßen durch wetter- und witterungsbedingte Extremereignisse kommt – eine der wesentlichen erwarteten Klimawandelfolgen für den Verkehrsbereich.

Klimawandelfolgen für die Schieneninfrastruktur

Mit knapp 9% der Personen- und rund 19% der Güterverkehrsleistung (Personen- beziehungsweise Tonnenkilometer) im Vor-Corona-Jahr 2019 ist der Schienenverkehr ein wichtiger Baustein des deutschen Verkehrssystems. Ein störungsfreier oder zumindest möglichst störungsarmer Betrieb ist einerseits der eigene Anspruch der Eisenbahnen, andererseits sind Unternehmen und Personen, die die Eisenbahn für ihre Logistik und Mobilität nutzen, auf pünktliche und störungsfreie Abläufe angewiesen.

Wetter und Witterung zählen zu den wichtigen Faktoren, die Störungen an der Schieneninfrastruktur und im Schienenverkehr verursachen können, wenn sie außerhalb des „Normalbereichs“ liegen. Im Rahmen einer Analyse des Klimawandels für die Deutsche Bahn mit Blick auf dessen räumliche Ausprägung hat das Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung e.V. (PIK) das Störungsgeschehen untersucht. Die Ergebnisse zeigen, dass die Schieneninfrastruktur in Deutschland zunehmend intensiveren Extremwetterereignissen ausgesetzt sein wird und Hitze, Starkregen und Sturm in der Vergangenheit häufig die Ursachen waren, wenn vermehrt Störungen gemeldet wurden.¹⁷¹

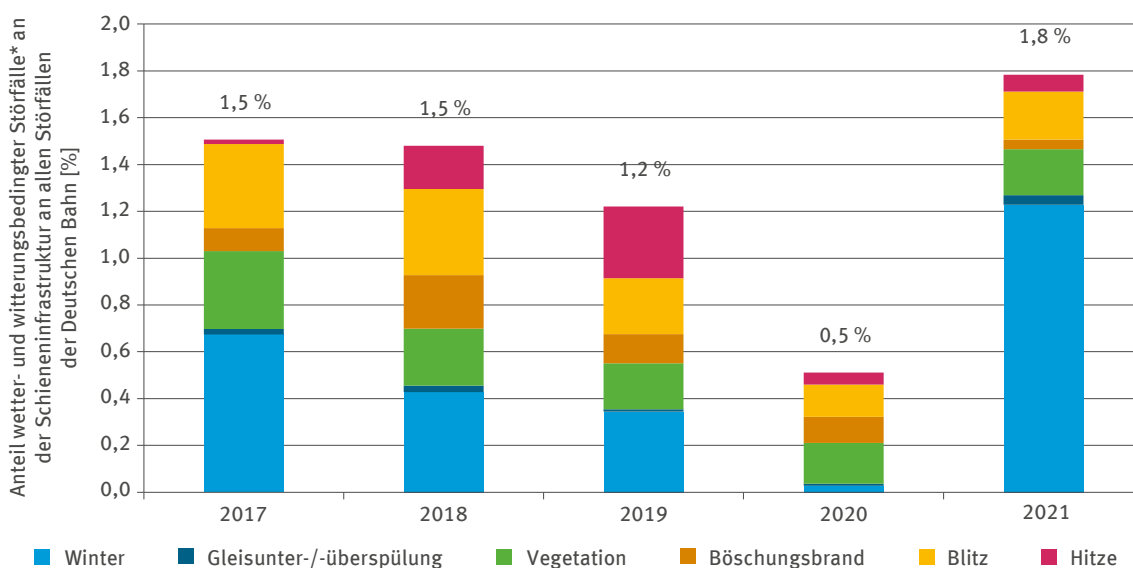
Hitze kann sich auf die Schieneninfrastruktur auswirken, indem sie beispielsweise Ausfälle von elektronischen Schaltelementen oder Stell- und Überwachungssystemen von Weichen verursacht. Aus Stark- oder Dauerregen können, wie es die Katastrophen an Ahr und Erft im Jahr 2021 drastisch vor Augen geführt haben, Hochwasserwellen entstehen, die Schienenwege entlang von Tälern und Flussläufen überschwemmen, dabei Bahntrassen unterspülen und Bahndämme und Gleisbetten in Mitleidenschaft ziehen. An Bahntrassen mit steilen Böschungen können solche Niederschläge Schlammlawinen, Hangrutschungen oder Murenabgänge auslösen, die die Verkehrsinfrastrukturen und -leitsysteme beschädigen oder vollständig zerstören.

Der Indikator basiert auf Daten aus der Störfall-Datenbank der DB Netz AG und zeigt den Anteil der wetter- und witterungsbedingten Störfälle an der Schieneninfrastruktur der DB Netz AG an allen erfassten Störfällen der DB. Störfälle sind dabei Ereignisse, die zu Verspätungen oder Zugausfällen führen. In der Störfall-Datenbank werden Störfälle an der Schieneninfrastruktur mit ihrer jeweiligen



VE-I-6: Wetter- und witterungsbedingte Störungen der Schieneninfrastruktur

Das Jahr 2021 fällt nicht nur im Vergleich zu den niedrigen Zahlen des Pandemie-Jahres 2020 durch viele wetter- und witterungsbedingte Störungen an der Schieneninfrastruktur auf. Damals behinderte Wintersturm Tristan durch Eisregen, Schneefall und -verwehungen den Bahnverkehr massiv. In den Jahren 2018 und 2019 sorgte die sommerliche Hitze für auffällig viele Störungen. Eine Trendschätzung ist für die kurze Zeitreihe noch nicht möglich.



*Störfall, der eindeutig einer der Ursachenkategorien „Blitz“, „Hitze“, „Böschungsbrand“, „Vegetation“, „Winter“ sowie „Gleisunter-/überspülung“ zugeordnet ist

Datenquelle: DB Netz AG (Störfall-Datenbank)

Primärursache erfasst. Als wetter- und witterungsbedingt berücksichtigt der Indikator Störfälle, die in der Datenbank eindeutig einer der sechs Ursachenkategorien „Blitz“, „Hitze“, „Böschungsbrand“, „Vegetation“, „Winter“ sowie „Gleisunter-/überspülung“ zugeordnet sind.

Aus der noch kurzen Zeitreihe sticht das Jahr 2021 durch die hohe Zahl an winterlichen Störfällen heraus. Diese sind Wintersturm Tristan mit seinen massiven Schneefällen und Schneeverwehungen geschuldet: Oberleitungen und Weichen waren vereist, Bäume drohten in Oberleitungen und auf Gleise zu stürzen, Schneeverwehungen machten Gleise unpassierbar. Um zu vermeiden, dass Züge auf offener Strecke liegen bleiben, stellte die Bahn zahlreiche Verbindungen vorsorglich ein und hielt Aufenthaltszüge in Bahnhöfen für diejenigen Fahrgäste bereit, denen eine Weiterreise dadurch nicht mehr möglich war. Die Auswirkungen der Hochwasser in Ahr- und Erfttal in diesem Jahr fließen in den Indikator nur zu einem kleinen Teil ein, da wegen der langfristigen Streckensperrung aus dem Fahrplan gestrichene Züge nicht in der zugrundeliegenden Störfall-Datenbank erfasst werden.

Das geringe Störgeschehen im Jahr 2020 ist neben einem leicht unterdurchschnittlichen Auftreten von extremen Wetterereignissen auch auf die reduzierte Verkehrsleistung während der Covid-19-Pandemie zurückzuführen. Da insgesamt weniger Fahrten stattfanden, waren auch weniger Fahrten von Extremwetter und deren Auswirkungen betroffen. Aufgetretene Beschädigungen durch Wetter- und Witterungseinflüsse ließen sich oftmals beheben, bevor es zu Störfällen im Betriebsablauf kam.

In den Jahren 2018 und 2019 waren dagegen hohe Temperaturen in besonders starkem Maß für Störungen im Streckennetz der Bahn verantwortlich. Die Hitze sorgte unter anderem für Störungen an Weichen und Signalen wegen Überhitzung. Außerdem mussten Bauarbeiten an Strecken umgeplant werden, da Schienen nur in einem vorgegebenen Temperaturbereich eingebaut oder aufgetrennt werden dürfen, um zu hohe Druck- oder Zugspannungen im Stahl während jahreszeitlicher Temperaturschwankungen zu vermeiden. Zusätzliche Ausfälle wurden durch Böschungsbrände verursacht, die sich wegen Trockenheit und Hitze entlang von Bahntrassen entzündeten. Technische Defekte an Klimaanlagen und anderen Bauteilen können ebenfalls zu hitzebedingten Zugausfällen führen; diese sind aber in dem auf die Schieneninfrastruktur bezogenen Indikator nicht enthalten.

Störungen durch Äste und Bäume, die infolge von Sturm und Starkwind in Oberleitungen oder auf die Gleise stürzten (Kategorie Vegetation), traten in den abgebildeten



Bäume und Äste im Gleis oder der Oberleitung sind eine mögliche Ursache von Störungen an der Schieneninfrastruktur. (Foto: © Turner / stock.adobe.com)

Jahren in relativ gleichbleibendem Umfang auf. Um Störungen durch Windbruch zu vermeiden, ist eine angepasste Trassenpflege wichtig, die im trassennahen Bereich den Bewuchs mit Bäumen und Sträuchern reguliert.

Für die Zukunft zeigt die PIK-Analyse der Klimafolgen für die Deutsche Bahn, dass Hitzesituationen häufiger und intensiver auftreten werden. Ebenso wird mit dem fortschreitenden Klimawandel eine Zunahme von Starkregenfällen erwartet. Für Starkwind und Sturm bestehen Unsicherheiten, inwieweit sich die Häufigkeit ihres Auftretens ändern wird. Allerdings können hier auch jahreszeitliche Verschiebungen zu mehr Störungen führen, zum Beispiel wenn Stürme vermehrt im Sommer oder Herbst auftreten und Bäume in belaubtem Zustand treffen. Ausgeprägte winterliche Bedingungen nehmen hingegen ab und werden seltener Ursache von Störungen sein, wenngleich vereinzelt Extremereignisse weiterhin auftreten können.¹⁷²

Um den Herausforderungen des Klimawandels für die Infrastruktur zu begegnen, setzt der Schienenverkehrssektor bereits zahlreiche Maßnahmen um. Dazu gehören etwa planerische und technische Lösungen zur Minimierung von Klimarisiken bei Sanierung, Aus- und Neubau von Bahnstrecken oder eine Anhebung der technischen Standards für Bauteile von Stellwerken und Weichen bis hin zu Klimaanlagen. Auch das angepasste Vegetationsmanagement entlang der Trassen zur Vermeidung von Windbruch und zur Reduzierung von Böschungsbränden ist Teil dieser Maßnahmen.



Foto: © Dirschl / stock.adobe.com

Industrie und Gewerbe

Überblick 260

**Wirkstrang „Einschränkungen der Wasserverfügbarkeit in Industrie
und Gewerbe bei Hitze und Trockenheit 263**

Auswirkungen des Klimawandels – Impact

IG-I-1 Hitzebedingte Minderung der Leistungsfähigkeit 264

Anpassungen an den Klimawandel – Response

**IG-R-1 Wahrnehmung der Relevanz physischer Klimarisiken
in Industrie und Gewerbe 266**

**IG-R-2 Exposition des deutschen Außenhandels gegenüber
dem globalen Klimawandel 268**

IG-R-3 Wasserbezug des Verarbeitenden Gewerbes 270



Zur Bedeutung des Handlungsfelds

Industrie und Gewerbe (hier zusammen definiert als Verarbeitendes Gewerbe) sind ein wichtiger Wirtschaftsbereich der deutschen Volkswirtschaft. Hier arbeitete im Jahr 2022 rund ein Sechstel der Beschäftigten in Deutschland und erwirtschaftete mehr als 20 % der Bruttowertschöpfung. Die Unternehmen aus dem industriell-gewerblichen Bereich sind dabei in hohem Maße in globale Produktions- und Lieferketten eingebunden. Rohstoffe und Vorprodukte aus einer Vielzahl an Ländern werden nach Deutschland importiert und hier verarbeitet, die von deutschen Unternehmen hergestellten Produkte wiederum werden weltweit abgesetzt. Die hohe Nachfrage nach Produkten „made in Germany“, vor allem nach Maschinen, Kfz und Kfz-Teilen sowie chemischen Erzeugnissen, beschert Deutschland regelmäßig Exportüberschüsse in der Handelsbilanz.

Der sich verschärfende Klimawandel ist in vielerlei Hinsicht eine große Herausforderung für die Unternehmen. Neben einem sich verändernden Marktumfeld infolge der wachsenden Klimaschutzanforderungen erhöhen sich für die Unternehmen in Abhängigkeit von Branche, Standort und Größe auch die Risiken, denen sie durch Klimawandelfolgen ausgesetzt sind. Dies bezieht sich sowohl auf die Risiken von Schäden oder Einschränkungen infolge von Wetterextremen als auch auf veränderte Marktbedingungen, die Wertschöpfungs- und Geschäftsmodelle gefährden. Durch vorausschauendes unternehmerisches Handeln können diese Risiken verringert und zugleich neue Wertschöpfungspotenziale entwickelt werden.

DAS-Monitoring – was im Klimawandel passiert

Der allgemeine Temperaturanstieg im Zuge der Klimaerwärmung kann sich auf die Leistungsfähigkeit der Beschäftigten am Arbeitsplatz auswirken. Je nach Intensität der Hitzebelastungen gehen wissenschaftliche Untersuchungen für Mitteleuropa von Einbußen der Arbeitsproduktivität von bis zu 12 % aus. Für die Jahre 2018 und 2019 wurden auf Basis dieser Annahme direkte Schäden durch Produktionseinbußen infolge der sommerlichen Hitzewellen von insgesamt 5 Mrd. Euro geschätzt.¹⁷³ Für die Zukunft erwarten die Menschen in Deutschland, dass Belastungen durch sommerliche Hitze am Arbeitsplatz sowohl in Gebäuden als auch im Freien zunehmen und sich stark oder sehr stark auf ihre Leistungsfähigkeit auswirken werden (siehe Indikator IG-I-1, Seite 264).

Sommerliche Hitze war, verbunden mit lang anhaltender Trockenheit, auch ein wesentlicher Grund dafür, dass im Spätsommer und Herbst 2018 auf dem Rhein eine ungewöhnlich langen Niedrigwasserphase herrschte. Infolgedessen kam es zu Abladebeschränkungen für die Binnenschifffahrt. Der Gütertransport auf dem Rhein war dadurch lange nur eingeschränkt möglich und ging im Vergleich zum Jahr 2017 um 11,1 % zurück (siehe Indikator VE-I-2, Seite 249). Das Jahr 2018 war der Auftakt einer langanhaltenden Dürreperiode, von deren Folgen Unternehmen aus vielen Wirtschaftszweigen betroffen waren. Dazu gehörten neben den Folgen für den Gütertransport auch eine verringerte Verfügbarkeit von Kühl- und Produktionswasser sowie Beschränkungen für die Einleitung von Abwasser und erwärmtem Kühlwasser.

Die künftigen Klimarisiken – Ergebnisse der KWRA

Für das Handlungsfeld „Industrie und Gewerbe“ wurden in der Klimawirkungs- und Risikoanalyse 2021 (KWRA, siehe Lesehilfe, Seite 7) für drei Klimawirkungen hohe Risiken ermittelt: Bereits zur Mitte des 21. Jahrhunderts besteht erwartungsgemäß ein hohes Risiko für eine Beeinträchtigung des Warenverkehrs auf inländischen Wasserstraßen, ebenso für eine Beeinträchtigung der Versorgung der Unternehmen mit Rohstoffen sowie Zwischenprodukten aus dem Ausland, beispielsweise Kaffee, Kakao oder Baumwolle. Für die letztgenannte Klimawirkung wird die Gewissheit allerdings als gering eingestuft. Bis zum Ende des Jahrhunderts wird zudem ein hohes

Risiko für Leistungseinbußen bei Beschäftigten erwartet. Zur Mitte des Jahrhunderts wird das Risiko hierfür in dem dreistufigen Bewertungsraster (gering – mittel – hoch) noch als mittel bewertet.

Für weitere für Industrie und Gewerbe relevante Klimawirkungen werden die Risiken bis zur Mitte des Jahrhunderts ebenfalls als mittel eingestuft. Dies betrifft die Beeinträchtigungen des internationalen Warenverkehrs und die Freisetzung gefährlicher Stoffe. Zudem wird ein mittleres Klimarisiko für die Bedingungen auf internationalen Absatzmärkten, die Beeinträchtigung

des landgestützten Warenverkehrs sowie einen erhöhten Wasserbedarf bis Mitte des Jahrhunderts gesehen. Diese Einschätzungen können allerdings nur mit geringer

Gewissheit bewertet werden, wie auch das bis Ende des Jahrhunderts ermittelte mittlere Klimarisiko für die Beeinträchtigung von Produktionsprozessen.

Wo haben wir Daten- und Wissenslücken?

Die potenzielle Betroffenheit von Unternehmen im Bereich Industrie und Gewerbe durch Klimawandelfolgen und der damit verbundene Bedarf zur Anpassung kann spezifisch und sehr unterschiedlich sein. Beides hängt unter anderem von der Größe der Unternehmen, ihren Standorten, den von ihnen hergestellten Produkten und angebotenen Dienstleistungen sowie dem Grad ihrer Einbindung in regionale, nationale oder auch internationale Produktions- und Lieferketten ab. Verfügbare ökonomische Daten der öffentlichen Statistik lassen sich mit Blick auf Klimawandelfolgen nicht interpretieren, zumal sie grundsätzlich von vielfältigen Faktoren beeinflusst sind. Jenseits der öffentlichen Statistik gibt es nur wenige Quellen, die über den Bereich Industrie und Gewerbe zusammenfassend auf Basis quantitativer Daten berichten. Da diese Quellen den Kreis der berücksichtigten Unternehmen etwa hinsichtlich Größe oder Branche unterschiedlich abgrenzen, ist auch der Bezugsrahmen der Indikatoren mitunter verschieden. Dies schränkt die Aussagekraft und Vergleichbarkeit der vorliegenden Daten insgesamt ein.

Eine Quelle für die datenbasierte Darstellung von wetter- und witterungsbedingten physischen Schäden an Gebäuden, Liegenschaften oder Infrastrukturen von Unternehmen fehlt bislang gänzlich. Eine dem Handlungsfeld „Bauwesen“ vergleichbare Darstellung der Betroffenheit von Unternehmen durch Wetter und Witterung anhand der Entwicklung von versicherten Schäden ist nicht möglich, da Unternehmen spezifische Risiken gemäß ihrem jeweiligen Bedarf versichern, also keine standardisierten Versicherungsprodukte nutzen. Repräsentative Befragungen zu wetter- und witterungsbedingten physischen Schäden, die eine alternative Informationsquelle sein könnten, werden bislang nicht durchgeführt.

Relevante Informationen könnte auch eine kontinuierliche Datenerfassung zu den Auswirkungen von Hitze auf die Leistungsfähigkeit der Beschäftigten liefern. Einen Ansatzpunkt hierzu bietet die Gesundheitsberichterstattung der Länder, zu der in den Jahren von 1998 bis 2018 insgesamt viermal Daten zusammengestellt wurden. Ein Teilindikator der Berichterstattung stellt auf Basis einer Befragung des Bundesinstituts für Berufsbildung (BIBB) sowie des Bundesinstituts für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA) die Umgebungsbedingungen am

Arbeitsplatz dar. Diese beinhalten unter anderem den Parameter Hitze. Ohne eine weitere Konkretisierung sind diese Daten allerdings nicht nutzbar. Für eine Darstellung von hitzebedingten Fehltagen am Arbeitsplatz oder von hitzebedingten Unfällen gibt es keine Datengrundlagen.

Für eine Darstellung der wirtschaftlichen Auswirkungen von Niedrigwasser auf Produktions- und Lieferketten besteht ebenfalls keine Datenquelle. Informationen hierzu wurden bislang vereinzelt im Rahmen von Studien aufbereitet.¹⁷⁴ Um belastbare Daten zur Beschreibung der Entwicklung zu erhalten, wäre die Entwicklung einer kontinuierlichen und regelmäßigen Erhebung Voraussetzung. Dies gilt gleichermaßen für die Auswirkungen von meteorologischen Ereignissen auf internationale Warenflüsse beziehungsweise grundsätzlich für die Sicherheit der Versorgung mit Rohstoffen und Vorprodukten oder der Vertriebswege von Unternehmen.

Wesentliche Datenlücken bestehen zudem für den Bereich der konkreten Anpassungsaktivitäten und Maßnahmen von Unternehmen, beispielsweise zu ergriffenen Maßnahmen für die Gefahrenabwehr oder Notfallversorgung, zur Sicherung der Produktion oder zum Schutz industrieller und gewerblicher Anlagen. Mit neuen Nachhaltigkeits-Berichtspflichten auf Grundlage der im Jahr 2022 umfassend erweiterten „Corporate Sustainability Reporting Directive – CSRD“ sowie der EU-Taxonomie-Verordnung müssen Unternehmen künftig unter anderem ihre klimabezogenen Risiken und Maßnahmen offenlegen und für taxonomiekonforme Wirtschaftstätigkeiten systematische Klimarisiko- und Vulnerabilitätsanalysen durchführen. Damit ist für die Zukunft eine deutlich verbesserte Datenlage zu erwarten.

Grundsätzlich ist die Indikation von Klimawandelfolgen und unternehmerischen Reaktionen zur Anpassung mit der Schwierigkeit konfrontiert, dass stets viele Einflussfaktoren in komplexer Weise zusammenwirken. So sind Unternehmen neben dem Klimawandel mit vielen weiteren strategischen Herausforderungen konfrontiert. Hierzu gehören neben einem wachsenden Fachkräftemangel in immer mehr Branchen besonders auch die Auswirkungen der Covid-19-Pandemie und die Energiepreiskrise infolge des Ukrainekriegs. Die Krisen haben eindrücklich

deutlich gemacht, in welchem Umfang Unternehmen in ihrer Geschäftstätigkeit betroffen sind, wenn nationale

und internationale Produktionsketten und Warenflüsse nicht mehr reibungslos funktionieren.

Was getan wird – einige Beispiele

Wesentliche Voraussetzung für einen angemessenen Umgang mit den Folgen des Klimawandels in den Unternehmen von Industrie und Gewerbe ist es, ein Bewusstsein für die Klimarisiken der eigenen wirtschaftlichen Tätigkeit zu entwickeln. Werden physische Klimarisiken, also die direkten und indirekten Auswirkungen von Extremwetterereignissen und deren Folgen sowie von graduellen Klimaveränderung, in Unternehmen nur unzureichend wahrgenommen, ist davon auszugehen, dass Prävention nicht oder nicht in ausreichendem Maß stattfindet (siehe Indikator IG-R-1, Seite 266). Die möglichen Konsequenzen einer mangelhaften Vorsorge können aber auch über das einzelne Unternehmen hinausgehen und Produktions- und Lieferketten insgesamt betreffen.

Physische Klimarisiken bestehen für die exportorientierte Volkswirtschaft Deutschlands sowohl für Klimawirkungen im Inland als auch im Ausland. Aufgrund der hohen Bedeutung des Außenhandels, internationaler Absatzmärkte und internationaler Produktions- und Lieferketten besitzt auch die globale Dimension der Klimarisiken Relevanz. Eine Abschätzung der Exposition des deutschen Außenhandels gegenüber dem Klimawandel zeigt, dass rund ein Drittel der 35 wichtigsten internationalen Handelspartner außerhalb der EU zu Ländern mit einem besonderen Klimarisiko zählt. Das Außenhandelsvolumen mit diesen Ländern und dessen Anteil an allen Importen und Exporten nahm seit 2008 zu (siehe Indikator IG-R-2, Seite 268). Durch die global zunehmenden Folgen des Klimawandels kann zukünftig auch die Zahl der wichtigen Außenhandelspartner mit einem besonderen Klimarisiko steigen. Insgesamt ist mit einer steigenden Bedeutung von Strategien für einen angemessenen Umgang mit den grenzüberschreitenden Klimarisiken zu rechnen. Die stärkere Differenzierung von Handelsbeziehungen oder risikomindernde Maßnahmen in ausgewählten, besonders durch den Klimawandel gefährdeten Ländern können Bestandteile solcher Strategien sein.

Entsprechend den verschiedenen potenziellen Klimawandelfolgen, die die einzelnen Unternehmen betreffen können, unterscheiden sich auch ihre Erfordernisse, sich an die wandelnden klimatischen Verhältnisse anzupassen. Zumindest in Teilen geben dabei bestehende rechtliche Regelungen den Rahmen vor oder stoßen die Umsetzung von Maßnahmen an. Dies gilt beispielsweise mit Blick auf die Auswirkungen von Hitze auf die Beschäftigten. Für

Beschäftigte, die in Gebäuden arbeiten, formulieren die Arbeitsstättenregeln Vorgaben, um die Gesundheit und Leistungsfähigkeit der Beschäftigten bei hohen Außenlufttemperaturen zu erhalten. Für Arbeiten im Freien sieht das Arbeitsschutzrecht entsprechende Maßnahmen vor. Auch im Bereich der Normung sind Anpassungen von Bedeutung. So sind DIN- und ISO-Normen für Unternehmen wichtige Arbeitsgrundlagen in der praktischen Umsetzung von Klimaanpassungsmaßnahmen¹⁷⁵.

Ein sparsamer Umgang mit potenziell knapper werdenden Ressourcen wie Wasser kommt auch den Unternehmen zugute. Im Verarbeitenden Gewerbe ist die Wassereffizienz, also die je Einheit Wasser erzeugte Bruttowertschöpfung, bereits seit 1991 angestiegen, der Wasserbezug ist zurückgegangen (siehe Indikator IG-R-3, Seite 270). Dies ist im Kontext der Klimaanpassung positiv zu bewerten, da wassersparende Betriebe grundsätzlich besser gegen die Auswirkungen von Hitze und Trockenheit gewappnet sind. Da die Industrie zu den großen wassernutzenden Bereichen gehört, enthält die Nationale Wasserstrategie auch für die industrielle und gewerbliche Produktion Ziele und Maßnahmen. Unter anderem sollen Mindeststandards für eine effiziente Wassernutzung festgelegt, Möglichkeiten zur Verwendung von Betriebs-, Regen- oder Grauwasser gestärkt und die Weiterentwicklung und Harmonisierung von Wasserentnahmeentgelten geprüft werden.¹⁷⁶

Um Unternehmen zu unterstützen, stellt das UBA seit 2022 bezogen auf die EU-Taxonomieverordnung Empfehlungen für die Erstellung einer rechtskonformen Klimarisiko- und Vulnerabilitätsbewertung bereit, die eine notwendige Grundlage für ein systematisches Klimarisikomanagement in Unternehmen ist¹⁷⁷. Darauf aufbauend gibt eine Broschüre Hinweise zur Integration des Klimarisikomanagements in die Unternehmensorganisation.¹⁷⁸

Zudem stellen viele Bundesländer Informationsmaterialien zur Klimaanpassung in Unternehmen zur Verfügung oder organisieren Unternehmensnetzwerke zum Thema Klimaanpassung, in denen Unternehmen bei Fragen zur Analyse eigener Betroffenheiten oder zu geeigneten Vorsorgemaßnahmen und deren Finanzierung Unterstützung erhalten.

Handlungsfeld-relevante Klimaveränderungen

Heiße Tage, Bodenfeuchte

In Deutschland treten immer häufiger heiße und trockene Jahre auf. So gab es vor 2014 keine Jahre, in denen das Jahresmittel der Temperatur über 10 °C lag. Seit 2018 lag die Jahresmitteltemperatur nur für das Jahr 2021 noch unter diesem Wert. 2018 und 2022 wurde mit jeweils 10,5 °C der bislang höchste Wert erreicht. Gleichzeitig zu den zunehmenden mittleren Temperaturen kommt es auch immer häufiger zu heißen Tagen, an denen die Temperatur auf 30 °C und mehr steigt. Deutschlandweit sind es derzeit durchschnittlich rund 10 heiße Tage pro Jahr gegenüber 3 heißen Tagen Mitte des 20. Jahrhunderts (siehe Abbildung 5, Seite 23). Wenn wie in den Jahren 2018, 2019 und 2022 hohe Temperaturen mit geringen sommerlichen Niederschlägen einhergehen, können intensive und auch längere Trockenphasen entstehen.

State



Foto: © Sergei Malkov / stock.adobe.com

Auswirkungen des Klimawandels

WW-I-10: Wassertemperatur von Fließgewässern

Mit steigender Lufttemperatur nimmt auch die Temperatur von Fließgewässern zu, insbesondere wenn wegen Trockenheit die Wasserstände niedrig sind. In allen untersuchten Fischregionen, ausgenommen die Äschenregion, stieg die Wassertemperatur in den vergangenen Dekaden signifikant an. Extrem hohe Wassertemperaturen wie im Jahr 2018 und der damit verbundene Sauerstoffmangel haben massive ökologische Auswirkungen. Zum Schutz der Gewässer ist die industrielle und gewerbliche Wassernutzung für Produktion und Kühlung an eine Zulassung geknüpft. Darin wird unter anderem festgelegt, mit welcher Temperatur und in welcher Qualität und Menge Wasser nach seiner Benutzung wieder ins Gewässer einzuleiten ist. In den heißen Sommern der Jahre 2003, 2006, 2018 und zuletzt auch 2022 wurden infolge der langanhaltenden Hitze und Trockenheit die Wärmeleitungen an verschiedenen Gewässern beschränkt. Einzelne Unternehmen beispielsweise der Chemieindustrie mussten ihre Produktion drosseln, um die in der Genehmigung festgelegten Einleitungsbedingungen weiterhin einhalten zu können.

Impact



Foto: © Sebastian / stock.adobe.com

Anpassungen – Aktivitäten und Ergebnisse

IG-R-3: Wasserbezug des Verarbeitenden Gewerbes

Insbesondere für wasserintensive Wirtschaftszweige wie die Chemie-, Metall- oder Papierindustrie ist die Reduzierung des Wasserbedarfs eine wichtige Maßnahme, um die Resilienz zu steigern und die Abhängigkeit von der Ressource Wasser zu reduzieren. Um möglichst wenig Wasser als Roh- oder Betriebsstoff einzusetzen und das entnommene oder bezogene Wasser möglichst effizient zu nutzen, können Unternehmen im Rahmen ihres Umweltmanagements beispielsweise ein innerbetriebliches Wassermanagement einrichten, Wasser in Kreislaufsystemen nutzen, wassersparende Technologien einsetzen oder Wasser durch andere Substanzen wie Emulsionen ersetzen. Insgesamt nahm der Wasserbezug im Verarbeitenden Gewerbe seit 1991 signifikant ab, wobei der Rückgang sich seit 2001 verlangsamt hat. Von staatlicher Seite kann das Wassersparen in Industrie und Gewerbe durch Anreize und Vorgaben gestärkt werden, beispielsweise durch Mindeststandards für die effiziente industrielle Wassernutzung nach einem festzulegenden Stand der Technik.

Response



Foto: © Ratchapon / stock.adobe.com

Auswirkungen hoher Temperaturen auf die Leistungsfähigkeit

Steigende Temperaturen und steigende absolute Luftfeuchtigkeit haben einen erheblichen Einfluss auf die Gesundheit und Arbeitsproduktivität der Beschäftigten. Auswirkungen entstehen nicht nur in Form einer erhöhten Krankheitsanfälligkeit, eine abnehmende Konzentration führt auch zu erhöhter Fehler- und Unfallanfälligkeit, die ebenfalls zu Produktivitätseinbußen führt.¹⁷⁹ Extreme Hitzewellen bringen zusätzliche Gesundheitsrisiken: Steigen die Außentemperaturen über die menschliche Solltemperatur von 37 °C, kann der Körper seine Kerntemperatur nur durch Schwitzen in einem gesunden Bereich halten. Eine hohe Luftfeuchtigkeit und die gegebenenfalls notwendige Arbeitskleidung können die Schweißverdunstung einschränken und damit die Fähigkeit des Körpers, seine Temperatur zu regulieren. Die Folgen können starke Dehydrierung, Hitzeerschöpfung, ein Sonnenstich oder ein Hitzekollaps sein. Auch ein Anstieg der Körpertemperaturen in lebensbedrohliche Bereiche über 40 °C ist unter widrigen Umständen möglich, was einen lebensbedrohlichen Hitzeschlag zur Folge haben kann.¹⁸⁰

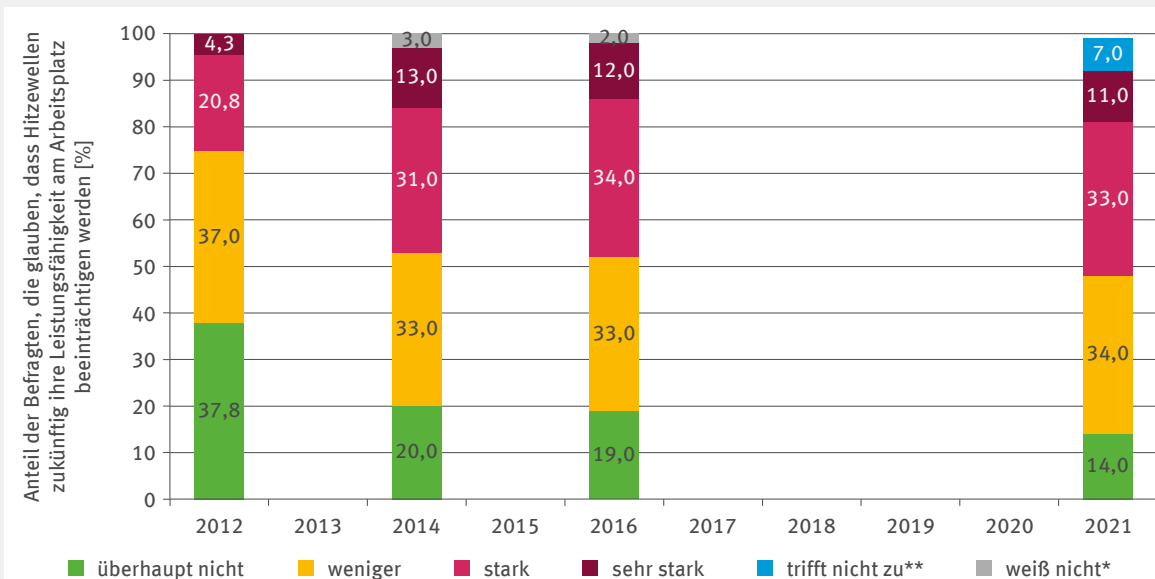
Für Innenraumarbeitsplätze zeigte sich in vielen der Studien ein signifikanter Zusammenhang zwischen der Leistungsfähigkeit und dem sogenannten thermischen Behaglichkeitsbereich. Weichen die Raumtemperaturen von diesem Bereich nach unten oder oben ab, nimmt die Leistungsfähigkeit ab. Als thermisch behaglich wird ein Raumklima dann bezeichnet, wenn der Mensch Lufttemperatur, Luftfeuchte, Luftbewegung und Wärmestrahlung in seiner Umgebung als optimal empfindet und weder wärmere noch kältere, weder trockenere noch feuchtere Raumluft wünscht. Für die Sommermonate werden für Beschäftigte mit sitzenden und leichten Tätigkeiten Temperaturen zwischen 23 °C bis 26 °C als Behaglichkeitsbereich angesehen. Maßnahmen zum sommerlichen Wärmeschutz, beispielsweise eine Verschattung oder Klimatisierung mit energieeffizienten regenerativen Kühltechniken, können in Innenräumen helfen, die Temperaturen klimafreundlich in diesem Bereich zu halten.

In Deutschland arbeiten rund 2 bis 3 Millionen Menschen überwiegend oder zeitweise im Freien und sind ganzjährig den herrschenden Wetter- und Witterungsbedingungen



IG-I-1: Hitzebedingte Minderung der Leistungsfähigkeit

Durch die Klimaerwärmung können Belastungen durch sommerliche Hitze am Arbeitsplatz künftig zunehmen – sowohl in Gebäuden als auch im Freien. Über 40% der Befragten der Umweltbewusstseinsstudie erwarten, dass Hitze sich künftig stark oder sehr stark auf ihre Leistungsfähigkeit am Arbeitsplatz auswirkt. Das Arbeitsschutzrecht sieht Maßnahmen vor, um an Arbeitsplätzen ein gesundheitlich zuträgliches Raumklima zu gewährleisten.



* seit 2014

** seit 2021

Datenquelle: BMUB/BMUV & UBA (Studie „Umweltbewusstsein in Deutschland“, für 2021: Zusatzbefragung im Rahmen der Studie „Umweltbewusstsein in Deutschland“)

ausgesetzt. Zunehmende Belastung durch Hitze, natürliche UV-Strahlung und andere klimatische Veränderungen betreffen diese Menschen deutlich unmittelbarer als solche, die ihrer beruflichen Betätigung in Gebäuden nachgehen. Die Tätigkeiten im Freien erbringen geschätzte 10 bis 15 % der Wertschöpfung der Volkswirtschaft und sind hauptsächlich in den Sektoren Land- und Forstwirtschaft und Baugewerbe sowie in Teilbereichen der Industrie- und der Dienstleistungssektoren angesiedelt.

Der Vergleich der Ergebnisse der Studien „Umweltbewusstsein in Deutschland“ aus den Jahren 2012 bis 2021 zeigt, dass seit 2014 ein stabil hoher Anteil von über 40 % der Befragten erwartet, in ihrer Leistungsfähigkeit am Arbeitsplatz künftig stark oder sehr stark von einer zunehmenden Hitzebelastung betroffen zu sein. 2021 lag dieser Anteil bei 44 %.¹⁸¹ Im Jahr 2012 rechnete nur ein Viertel der Befragten mit solchen hitzebedingten Auswirkungen auf ihre Leistungsfähigkeit am Arbeitsplatz.

Der thermische Komfort von Beschäftigten beeinflusst ihre Arbeitsfähigkeit und hat daher direkten Einfluss auf die Produktivität von Unternehmen beziehungsweise letztendlich der gesamten Volkswirtschaft. Studien nehmen für Zeiten hoher Hitzebelastung für Mitteleuropa als Folge unter anderem von verringerter Konzentrationsfähigkeit und daraus entstehenden Fehlern sowie häufigeren und schwereren Arbeitsunfällen Produktivitätsabnahmen von bis zu 12 % an, wobei das Ausmaß der erwarteten Einbußen unter anderem mit der Intensität der Hitzebelastung zusammenhängt.¹⁸² In einer Abschätzung auf Basis dieser Annahmen wurden für die Jahre 2018 und 2019 die Auswirkungen sommerlicher Hitzewellen auf die Arbeitsproduktivität berechnet. Aufgrund der aufgetretenen Hitzetage und unter Berücksichtigung von unterschiedlichen Anpassungsmöglichkeiten in den Wirtschaftszweigen wurden die direkten Schäden durch hitzebedingte Produktionseinbußen für die beiden Jahre auf insgesamt 5 Mrd. Euro geschätzt. Hinzu kommen der Schätzung zufolge indirekte Schäden, etwa durch fehlende, verspätete oder qualitativ schlechtere Vorleistungen, in Höhe von 3,5 bis 5,3 Mrd. Euro, sodass sich der Gesamtschaden für die beiden Jahre in einer Größenordnung von 8,5 bis 10,3 Mrd. Euro bewegt.¹⁸³ Allerdings unterliegen diese Abschätzungen erheblichen Unsicherheiten. In einigen Studien werden etwa für die Baubranche sogar Produktivitätszuwächse angenommen, da sich die Zeitfenster für Arbeiten im Freien im Jahresverlauf verlängern können.¹⁸⁴ Insgesamt ergibt sich kein eindeutiges Bild der Klimawandelfolgen auf Produktivität und wirtschaftliche Leistungsfähigkeit.

Die einschlägigen Arbeitsstättenregeln formulieren verschiedene Vorgaben, um die Gesundheit und damit auch



Sommerliche Hitze kann zu deutlichen Einbußen der Arbeitsproduktivität führen. (Foto: © Andrey Popov / stock.adobe.com)

die Leistungsfähigkeit der Beschäftigten in Gebäuden auch bei hohen Außenlufttemperaturen von über 26 °C zu erhalten. Überschreiten die Raumlufttemperaturen in Arbeitsräumen die Schwelle von 26 °C beziehungsweise 30 °C, sollen beziehungsweise müssen Maßnahmen ergriffen werden. Unternehmen können beispielsweise dafür sorgen, dass geeignete Sonnenschutzvorrichtungen installiert und effektiv eingesetzt, die Räumlichkeiten in den frühen Morgenstunden ausreichend gelüftet, innere Wärmelasten reduziert, Arbeitszeiten verschoben und Erfrischungsgetränke bereitgestellt werden. Auch kann es sinnvoll sein, bestehende Bekleidungsordnungen zu lockern. Dabei ist technischen Maßnahmen wie Ventilatoren und organisatorischen Maßnahmen, zum Beispiel Pausen in kühleren Räumen, Vorrang gegenüber personenbezogenen Maßnahmen zu geben. Ab über 35 °C ist der Arbeitsraum als solcher nicht mehr geeignet, es sei denn, es werden Maßnahmen wie bei Hitzearbeit ergriffen.¹⁸⁵

In vergleichbarer Weise sieht das Arbeitsschutzrecht für Arbeiten im Freien Maßnahmen vor, um Beschäftigte vor negativen gesundheitlichen Folgen von Hitze zu schützen. Unternehmen können beispielsweise auf Baustellen Anlagen einrichten lassen, mit denen Arbeitsorte beschattet oder belüftet werden können. Vor allem können sie organisatorische Maßnahmen ergreifen, indem die Arbeitszeiten der Witterung angepasst, ausreichend lange Pausenzeiten angeordnet, eine gute Getränkeversorgung sichergestellt und die Mitarbeitenden im Rahmen von Schulungen auf mögliche Gefahren und die entsprechenden Gegenmaßnahmen hingewiesen werden.

Wahrnehmung klimabezogener Risiken von Unternehmen

Der Klimawandel mit allen seinen Konsequenzen führt zu hohen volkswirtschaftlichen Schäden und stellt auch einzelne Unternehmen vor große Herausforderungen. Ihre Geschäftstätigkeiten sind infolge des Klimawandels verschiedenen Risiken ausgesetzt. Transitorische oder auch Übergangsrisiken entstehen für Unternehmen aus dem Handlungsdruck, der sich aus klimawandelbedingt ändernden politischen und rechtlichen Rahmenbedingungen, neuen technologischen Herausforderungen und wachsenden gesellschaftlichen Erwartungen resultiert. Schätzen sie das veränderte Marktumfeld nicht richtig ein, reagieren sie nicht rechtzeitig oder sind sie zu wenig flexibel, um den Übergang zu einem nachhaltigen Wirtschaften mitzugestalten, kann dies mit erheblichen betriebswirtschaftlichen Einbußen verbunden sein. Zu weiteren relevanten Risiken gehören physische Risiken, die als Folge von extremen Wetter- und Witterungsereignissen oder schleichenden Umweltveränderungen entstehen können. Mögliche Auswirkungen sind beispielsweise Produktivitätseinbußen, Gebäudeschäden, Nachfrageveränderungen oder Beeinträchtigungen von Lieferketten

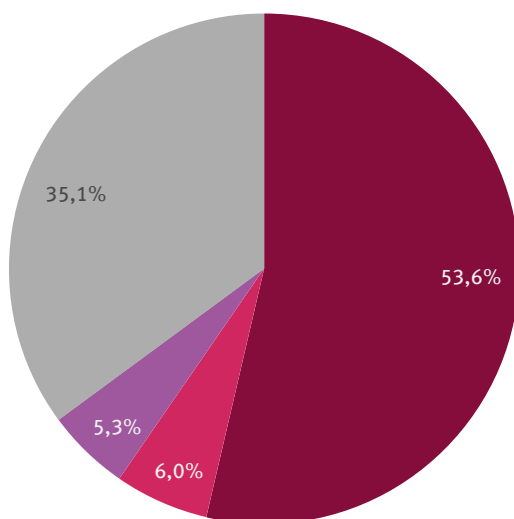
(siehe Indikator IG-R-2, Seite 268, VE-I-1 und VE-I-2, Seiten 248 und 249).

Nicht nur Politik und Gesellschaft, auch die Finanzwirtschaft und die Kapitalmärkte, die den Unternehmen Eigen- und Fremdkapital bereitstellen, sind daran interessiert, die Stabilität von Unternehmen einschätzen zu können. Hierfür ist es zunehmend relevant, dass sich Unternehmen in angemessener Weise mit klimabezogenen Risiken befassen und präventive Maßnahmen umsetzen (siehe Indikator FiW-R-1, Seite 294). CDP (ehemals Carbon Disclosure Project) hat vor rund 20 Jahren begonnen, eine Datenbank mit Informationen zu den Klimabelastungen von Unternehmen aufzubauen. Die Zulieferung von Informationen erfolgt durch die Unternehmen auf freiwilliger Basis. Lag zunächst der Fokus auf der Berichterstattung zu den klimaschädlichen Treibhausgasemissionen, werden inzwischen auch weitere Umweltauswirkungen unter anderem von Unternehmen der Wasser- und Forstwirtschaft erfasst. Für die Teil-Datenbank zu Klima (kurz CDP-Klima) werden von Unternehmen jährlich Angaben zu Treibhausgasemissionen, physischen und transitorischen Klimarisiken



IG-R-1: Wahrnehmung der Relevanz physischer Klimarisiken in Industrie und Gewerbe

Eine unzureichende Wahrnehmung physischer Klimarisiken in Unternehmen lässt vermuten, dass die erforderliche Prävention nicht stattfindet. Von 151 Unternehmen, die 2021 im Rahmen des CDP freiwillig berichteten, schätzte gut die Hälfte die Relevanz physischer Klimarisiken als hoch ein. Mit strengeren Auflagen zur Berichterstattung werden künftig validere Aussagen möglich sein.



Anteil von Unternehmen der Realwirtschaft, die im Jahr 2021 freiwillig im Rahmen des CDP Bericht erstattet haben [%]
N = 151

Wahrnehmung physischer Klimarisiken als:

- hoch relevant
- teilweise relevant
- nicht relevant
- keine Angaben

Datenquelle: Datenbank CDP-Klima
(Auswertung von Datensätzen aus der Demo-Version durch die Bosch & Partner GmbH)

sowie zu organisatorischen Vorkehrungen abgefragt. Im Jahr 2021 machten 151 Unternehmen im Rahmen ihrer freiwilligen Beteiligung am CDP auch Angaben dazu, wie sie die physischen Klimarisiken für ihre Unternehmens-tätigkeit einschätzen. Darunter waren 23 Unternehmen der DAX-40-Gruppe sowie weitere größere und mittelständische Unternehmen. Mehr als die Hälfte erachtete physische Klimarisiken als hoch relevant, nur rund 5 % als nicht relevant. Je höher der Anteil von Unternehmen ist, die physische Klimarisiken als relevant einstufen, desto höher ist vermutlich auch die Wahrscheinlichkeit, dass die Unternehmen Bemühungen zur Minderung der materiellen physischen Klimarisiken unternehmen.

Die CDP-Ergebnisse aus 2021 können allerdings nicht als repräsentativ für die deutschen Unternehmen gelten. Zum einen handelt es sich nur um eine geringe Anzahl von berichtenden Unternehmen. Zum anderen kann man davon ausgehen, dass die Umfrageergebnisse die allgemeine Wahrnehmung physischer Risiken überschätzen, weil die Unternehmen, die freiwillig an CDP berichten, vermutlich stärker für die Problematik sensibilisiert sind als diejenigen, die sich nicht am CDP beteiligen. Zudem gibt es vermutlich Branchenunterschiede, die hier nicht berücksichtigt sind. So dürften etwa Unternehmen, die landwirtschaftliche Rohstoffe erzeugen oder verarbeiten, deutlich stärker physischen Klimarisiken ausgesetzt sein als beispielsweise Softwareunternehmen. Weitere Studien, die mit größeren Datenpools gearbeitet haben, kommen jedoch zu grundsätzlich ähnlichen Ergebnissen.¹⁸⁶ Physische Risiken werden demnach nicht grundsätzlich übersehen, aber die meisten Unternehmen, die sich mit klimabezogenen Risiken befassen, sehen die größeren Risiken in der Transition zu einer CO₂-armen oder -neutralen Wirtschaft.

In Anbetracht der wirtschaftlichen Risiken, die durch eine ungenügende Risikowahrnehmung und Prävention entstehen können, besteht seitens der Bundesregierung ein großes Interesse daran, Unternehmen weiter verstärkt für diese Risiken zu sensibilisieren. Klar geregelte Berichterstattungs- und Offenlegungsverpflichtungen für Unternehmen können hierzu beitragen. Seit Mitte der 2010er-Jahre arbeitet das „Financial Stability Board“ (FSB) für die G20. Es hat die Task Force on Climate-related Financial Disclosures (TCFD) eingerichtet, die sich aus Sachverständigen der Real- und Finanzwirtschaft zusammensetzt. Die TCFD hat im Jahr 2017 Empfehlungen für eine künftig verpflichtende Berichterstattung unter anderem zur Governance, also zu den Zuständigkeiten im Vorstand und in den obersten Managementebenen für klimabezogene Themen, und zum Risikomanagement herausgegeben.¹⁸⁷ Die TCFD-Empfehlungen wurden auf



Unternehmen, die physische Klimarisiken erkennen, können präventiv gegensteuern. (Foto: © CinemaF / stock.adobe.com)

EU-Ebene aufgegriffen. So wurde die seit 2014 bestehende „Corporate Social Responsibility“-Richtlinie (CSR-Richtlinie) im Jahr 2022 umfassend überarbeitet und zur „Corporate Sustainability Reporting Directive – CSRD“ weiterentwickelt. Damit wurden die nichtfinanziellen Berichtspflichten für die Unternehmen und auch der Kreis der Berichtspflichtigen deutlich ausgeweitet. Die Berichtspflichten gelten ab dem Geschäftsjahr 2025 für alle großen Unternehmen mit mindestens 250 Mitarbeitenden, ab dem Geschäftsjahr 2026 auch für börsennotierte kleine und mittelständischen Unternehmen.

In engem Zusammenhang mit der CSR-Richtlinie beziehungsweise der neuen CSRD steht die europäische Taxonomie-Verordnung, die seit 2020 in Kraft ist. Demnach müssen Unternehmen der Realwirtschaft, die aufgrund der CSR-Richtlinie beziehungsweise künftig der CSRD berichtspflichtig sind, in ihren nichtfinanziellen Erklärungen angeben, welche Anteile ihres Umsatzes, ihrer Investitionsausgaben und bestimmter Betriebsausgaben im Zusammenhang mit taxonomiekonformen Wirtschaftstätigkeiten stehen. Damit verbunden ist auch die Anforderung, für diese Wirtschaftstätigkeiten eine systematische Klimarisiko- und Vulnerabilitätsanalyse durchzuführen.

Für die Zukunft lassen die erweiterten Berichtspflichten erwarten, dass Risikowahrnehmung und Prävention für Klimarisiken auf Unternehmensebene in der Breite verbessert werden. Zudem könnte durch Offenlegungsregelungen eine verbesserte Datenlage geschaffen werden, mit der sich der hier dargestellte Indikator weiterentwickeln lässt.

Klimarisiken für den Außenhandel Deutschlands

Deutschlands Wirtschaft ist in starkem Maße mit anderen Ländern verflochten. Im Jahr 2021 exportierten Unternehmen aus Deutschland Waren und Dienstleistungen im Wert von 1.379 Mrd. Euro, die Einfuhren beliefen sich auf 1.204 Mrd. Euro. Rund 30% des Bruttoinlandsprodukts werden durch die Auslandsnachfrage induziert, rund ein Viertel der Erwerbstätigen in Deutschland ist für den Export tätig. Deutschland hat also einerseits in großem Umfang internationale Märkte für seine Produkte erschlossen, andererseits bezieht es Rohstoffe, Vor- und Endprodukte in großem Umfang aus anderen Ländern. Die starke Exportorientierung ist seit vielen Jahrzehnten ein Erfolgsmodell für die deutsche Wirtschaft. Neben geopolitischen Risiken beispielsweise durch kriegerische Auseinandersetzungen oder völkerrechtliche Konflikte bergen die Auswirkungen des globalen Klimawandels darum besondere Risiken für die deutsche Wirtschaft.

Der Klimawandel ist ein globales Phänomen. Weltweit treten Extremwetterereignisse und ihre Folgen häufiger und mit höherer Intensität auf. Sie betreffen ebenso wie die graduellen klimatischen Veränderungen alle Länder,

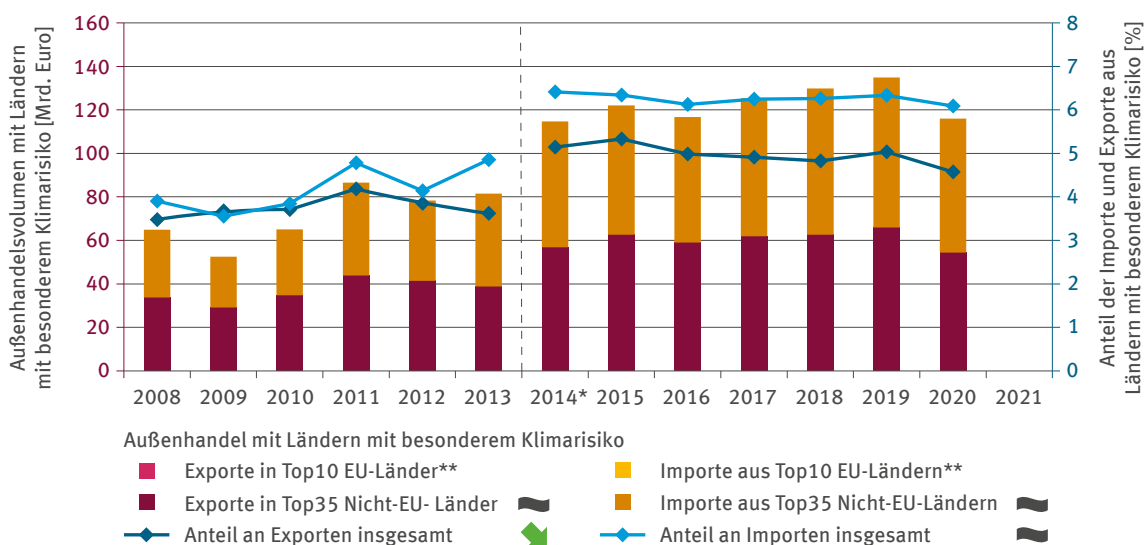
unabhängig von politischen Grenzen. Für die globalisierte Wirtschaft mit ihren weitreichenden internationalen Verflechtungen können daraus sowohl direkte Betroffenheiten, beispielsweise an eigenen Standorten, als auch indirekte Betroffenheiten entstehen, zum Beispiel wenn Lieferketten oder Absatzwege beeinträchtigt oder ganze Absatzmärkte dauerhaft geschwächt werden. Dies gilt umso mehr, je enger verflochten die Handelsbeziehungen sind – insbesondere, wenn es sich bei den Handelspartnern um Länder mit einem besonderen Klimarisiko handelt. Für Deutschland zeigten szenarienbasierte Analysen, dass Klimawandelfolgen, die außerhalb Europas entstehen, über den Welthandel deutlich stärker auf Deutschlands Volkswirtschaft wirken als Klimawandelfolgen innerhalb Europas. Zudem zeigte sich, dass die Importe im Vergleich zu den Exporten stärkere Risiken aufweisen.¹⁸⁸

Der Indikator geht der Fragen nach, welches konkrete Handelsvolumen und welche prozentualen Anteile an den Aus- und Einfuhren von und nach Deutschland aus dem Handel mit Partnerländern stammen, die einem besonderen Klimarisiko ausgesetzt sind. Für die Beurteilung



IG-R-2: Exposition des deutschen Außenhandels gegenüber dem globalen Klimawandel

Rund ein Drittel der 35 wichtigsten internationalen Handelspartner außerhalb der EU zählt zu Ländern mit einem besonderen Klimarisiko. Der Anteil der Exporte in Länder mit einem besonderen Klimarisiko an den Exporten insgesamt nahm seit 2014 signifikant ab, für die anderen Zeitreihen lässt sich bislang kein Trend ermitteln. Unter den 10 wichtigsten Außenhandelspartnern in Europa sind keine Länder mit besonderem Klimarisiko.



* Änderung der Bewertungsmethode des ND-Gain-Index
 ** Unter den Top10-Handelspartnern in der EU sind bislang keine Länder mit besonderem Klimarisiko. Sie sind im Diagramm daher nicht dargestellt.

Datenquelle: StBA (Aus- und Einfuhr (Außenhandel)), University of Notre Dame (ND-GAIN-Index)

des Klimarisikos der einzelnen Länder wird der ND-GAIN-Index herangezogen, den die Global Adaptation Initiative an der University of Notre Dame (USA) ermittelt. Der Index wird Indikatoren-basiert bestimmt und umfasst die Vulnerabilität der Länder gegenüber dem Klimawandel und anderen globalen Herausforderungen sowie deren Bereitschaft, den Folgen durch Investitionen zu begegnen und die eigene Resilienz zu erhöhen. Ein besonderes Klimarisiko wird Ländern zugeschrieben, die nicht zu den ersten 75 Ländern nach dem ND-GAIN-Index zählen. Europäische Länder verfügen über vergleichsweise starke Möglichkeiten, dem Klimawandel zu begegnen, entsprechend wird den EU-Staaten in der Regel kein besonderes Klimarisiko attestiert. Zur Berücksichtigung der Relevanz der Länder für den Handel mit Deutschland fließen die Daten zu den Aus- und Einfuhren aus der Außenhandelsstatistik des StBA in den Indikator ein. Berücksichtigt werden die 10 wichtigsten Handelspartner innerhalb der EU mit einem Anteil am Außenhandelsvolumen Deutschlands mit EU-Staaten von rund 84 % sowie die 35 wichtigsten Handelspartner außerhalb der EU mit einem Anteil am Außenhandelsvolumen Deutschlands mit Nicht-EU-Staaten von circa 96 %. Aus- und Einfuhren werden jeweils separat und bezogen auf die einzelnen Jahr berücksichtigt. Anhand dieser zusammengeführten Informationen lässt sich beobachten, wie sich, bezogen auf die wichtigsten Handelspartner, die Exposition der Aus- und Einfuhren Deutschlands gegenüber dem Einfluss des Klimawandels entwickelt.

Die Ergebnisse zeigen, dass von den 10 wichtigsten Handelspartnern innerhalb der EU kein Land einen niedrigen ND-GAIN-Index aufweist. Hingegen zählt rund ein Drittel der 35 wichtigsten internationalen Handelspartner außerhalb der EU zu den Ländern mit einem besonderen Klimarisiko, etwa Indien oder Südafrika. Insgesamt sind darunter mehr Länder, die Waren nach Deutschland liefern, als Länder, die Waren aus Deutschland einführen. Aufgrund einer methodischen Änderung bei einem Teil-Indikator des ND-Gain-Index ab dem Jahr 2014 lässt sich die zeitliche Entwicklung des Indikators nur eingeschränkt bewerten. Die Änderung führte zu einer höheren Risikobewertung von drei wichtigen Außenhandelspartnern Deutschlands, nämlich Brasilien, Mexiko und Indonesien. In der Folge wurde einem größeren Teil des Außenhandels ein höheres Klimarisiko zugeschrieben; dies ist die Ursache für den Sprung in der Zeitreihe im Jahr 2014. Bezogen auf den kurzen Zeitraum seit 2014 zeigt sich, dass der Anteil der Exporte in Länder mit einem besonderen Klimarisiko an den Exporten insgesamt signifikant abnahm. Für die anderen Zeitreihen lässt sich für den betrachteten Zeitraum kein Trend feststellen. Der Rückgang zwischen den Jahren 2019 und 2022 ist auf einen Rückgang im Außenhandelsvolumen im Zuge der Covid-19-Pandemie zurückzuführen.



Klimarisiken können globale Liefer- und Wertschöpfungsketten beeinträchtigen. (Foto: © m.mphoto / stock.adobe.com)

Zudem ist bei der Interpretation des Indikators zu beachten, dass dieser lediglich eine theoretische potenzielle Exposition gegenüber Klimawandelfolgen darstellt. Der Indikator liefert keine Aussage, in welchem Umfang Importe aus oder Exporte in Länder mit einem besonderen Klimarisiko tatsächlich von Klimawandelfolgen betroffen waren oder sind. Zudem kann mit dem Indikator nicht beurteilt werden, ob Ein- oder Ausfuhren aus besonders vulnerablen Regionen innerhalb der berücksichtigten Länder stammen beziehungsweise dorthin ausgeliefert werden sollen. Mit dem Indikator werden Länder ungeachtet regional unterschiedlicher Klimarisiken nur in ihrer Gesamtheit betrachtet. Außerdem: Auch Ein- und Ausfuhren in Länder, deren Klimarisiken nicht erhöht sind, können von Klimawandelfolgen betroffen sein – vor Ort oder auf den Lieferwegen der jeweiligen Produkte.

Ungeachtet dessen kann ein zunehmendes Volumen der potenziell betroffenen Warenströme als Indiz für einen höheren Bedarf gesehen werden, grenzüberschreitende Risiken des Klimawandels gezielt in den Blick zu nehmen und entsprechende Maßnahmen zu planen – beispielsweise eine stärkere Differenzierung von Handelsbeziehungen auf Unternehmensebene¹⁸⁹ oder, auf politischer Ebene, Finanzierungshilfen für risikomindernde Maßnahmen an Länder, die durch den Klimawandel besonders gefährdet und für den Außenhandel Deutschlands relevant sind¹⁹⁰. Für Deutschland bestehen aber auch Exportchancen, wenn es Güter in besonders klimawandelexponierte Länder liefern kann, die dort für die Anpassung an den Klimawandel eingesetzt werden.

Sparsame Wassernutzung unterstützt Klimaanpassung

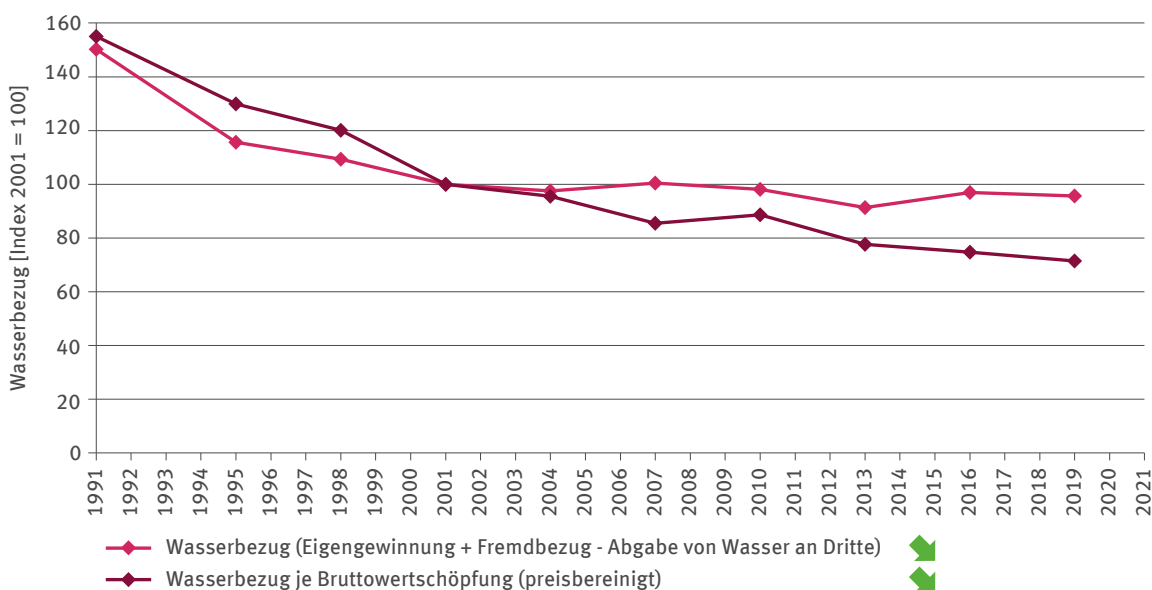
Wärmeeinleitungen industrieller und gewerblicher Betriebe unterliegen grundsätzlich den gleichen gesetzlichen Vorschriften wie diejenigen energiewirtschaftlicher Betriebe. Auch Industrie- und Gewerbebetriebe können daher in die Situation kommen, ihre Wärmeeinleitungen und damit ihre Produktion zurückfahren zu müssen, um die in der Genehmigung festgelegten Einleitungsbedingungen weiterhin einzuhalten. Dieses oft als eher abstrakt wahrgenommene Risiko wurde beispielsweise in den heißen Sommern der Jahre 2003, 2006 und 2018 konkret, als infolge der langanhaltenden Hitze und Trockenheit an verschiedenen Gewässern die Wärmeeinleitungen beschränkt wurden. In den Sommern 2020 und 2022 musste die Produktion nicht reduziert werden. Allerdings wurde unter anderem am Rhein Warnstufe 1 wegen hoher Gewässertemperaturen ausgerufen.

Unter den sich ändernden klimatischen Bedingungen können Trocken- und Hitzeperioden zukünftig häufiger, intensiver und länger auftreten. Wie es die heißen und trockenen Sommer der vergangenen Jahre gezeigt haben, steigen dann auch die Temperaturen in Fließgewässern

in den Sommermonaten an (siehe Indikator WW-I-10, Seite 88) und die Abflussmengen nehmen ab (siehe Indikator WW-I-3, Seite 74). Neben den Herausforderungen durch Niedrigwasser (siehe Indikatoren WW-I-6, Seite 80, und VE-I-2, Seite 249) können dann auch Situationen häufiger eintreten, in denen die Rückführung von gebrauchtem und erwärmtem Kühlwasser beziehungsweise die Entnahme von Kühlwasser nur noch eingeschränkt möglich wäre. Industrieprozesse, die durch entsprechende Maßnahmen möglichst unabhängig von der Ressource Wasser sind, sind für diese Auswirkung des Klimawandels besser gerüstet als solche mit einem hohen Wasserbedarf. Um möglichst wenig Wasser als Roh- oder Betriebsstoff einzusetzen und das entnommene oder bezogene Wasser möglichst effizient zu nutzen, können Unternehmen beispielsweise ein innerbetriebliches Wassermanagement einrichten, die Wassernutzung in Kreislaufsystemen betreiben, wassersparende Technologien einsetzen oder Wasser durch andere Substanzen, zum Beispiel Emulsionen, ersetzen.

IG-R-3: Wasserbezug des Verarbeitenden Gewerbes

Wassersparende Betriebe sind für Auswirkungen des Klimawandels besser gerüstet. Der Wasserbezug im Verarbeitenden Gewerbe nahm seit 1991 signifikant ab, seit 2001 allerdings nur noch geringfügig. Setzt man den Wasserbezug ins Verhältnis zur Bruttowertschöpfung, zeigt sich ein stärkerer, ebenfalls signifikanter Rückgang. Das heißt, mit der gleichen Menge Wasser wird mehr Wertschöpfung erzielt, das Wasser wird also effizienter genutzt.



Datenquelle: StBA (Nichtöffentliche Wasserversorgung und Abwasserentsorgung; Volkswirtschaftliche Gesamtrechnungen)

Wichtiger Ansatzpunkt für das Verarbeitende Gewerbe ist dabei vor allem der sparsame Einsatz von Kühlwasser in Produktionsprozessen und bei der unternehmensinternen Stromerzeugung. Aktuell macht die Kühlwassernutzung etwa drei Viertel der gesamten Wassernutzung des Sektors aus. Hinzu kommt, dass vor allem die Wasserentnahme für Kühlzwecke sowie die Einleitung von Kühlwasser temperaturbezogenen Regelungen unterliegen, die zu Einschränkungen der Produktion bei sommerlicher Hitze führen können. Die Entnahme von Wasser für produktionsspezifische oder belegschaftsbezogene Zwecke ist dagegen weniger temperaturabhängig.

Der Wasserbezug im Verarbeitenden Gewerbe setzt sich aus der Eigengewinnung der Unternehmen und dem Fremdbezug zusammen, beispielsweise aus der öffentlichen Wasserversorgung oder von anderen Betrieben, Einrichtungen und Verbänden, abzüglich der Wasserabgabe an Dritte. Nach dem Jahr 1991 ging der Wasserbezug zunächst stark zurück, damals lag er mit rund 8.700 Mio. Kubikmeter noch um die Hälfte über dem Bezug des Jahres 2001. Seither schwankte er um den Wert von 5.500 Mio. Kubikmeter jährlich.

Bezieht man den Wasserbezug auf die preisbereinigte Wertschöpfung, setzt sich der starke Rückgang der Jahre nach 1991 auch nach dem Jahr 2001 fort. Im Verarbeitenden Gewerbe lag der Wasserbezug je Bruttowertschöpfung im Jahr 2019 beinahe 30 % unter dem Wert des Jahres 2001. Das bedeutet, dass die Effizienz der Wassernutzung auch nach der Jahrtausendwende kontinuierlich gesteigert und mit der annähernd gleichen Wassermenge eine höhere Wertschöpfung erzielt werden konnte. Gleichzeitig zeigen die Zahlen aber auch, dass im Verarbeitenden Gewerbe bei einer deutlich steigenden Wertschöpfung der Wasserbezug seit dem Jahr 2001 insgesamt noch geringfügig gesenkt werden konnte.



Bei Hitze und Trockenheit gibt es für Unternehmen Grenzen bei der Wasserentnahme und -einleitung aus Gewässern – das kann die Produktion einschränken.
(Foto: © Ratchapon / stock.adobe.com)



Foto: © Volker Loche / stock.adobe.com

Tourismuswirtschaft

Überblick 274

**Wirkstrang „Chancen und Anforderungen der Klimaerwärmung
für die Saisonalität im Tourismus“ 277**

Auswirkungen des Klimawandels – Impact

TOU-I-1 Badetemperaturen an der Küste 278

TOU-I-2 Schneedecke für den Wintertourismus 280

TOU-I-3 Marktanteile der touristischen Großräume 282

Anpassungen an den Klimawandel – Response

**TOU-R-1 Saisonalität der Übernachtungen in den
touristischen Großräumen 284**



Zur Bedeutung des Handlungsfelds

Die deutsche Tourismuswirtschaft ist eine umsatzstarke Branche mit gesamtwirtschaftlicher Bedeutung. Im Jahr 2019 erwirtschaftete die Branche mit 2,8 Mio. Beschäftigten eine Bruttowertschöpfung in Höhe von knapp 124 Mrd. Euro. Das sind rund 4 % der gesamten Bruttowertschöpfung Deutschlands. Der Anteil der Beschäftigten der Branche an allen Erwerbstätigen liegt hierzulande bei 6,1%.¹⁹¹ Deutschland bietet vielfältige Tourismusangebote in allen Landesteilen, die vom Gesundheitstourismus über Aktivurlaube, Naturtourismus, flussgebundene Tourismusformen sowie Städte- und Kulturreisen bis zu Geschäftsreisen reichen. Die Struktur der Tourismuswirtschaft ist klein- und mittelständisch geprägt und umfasst das Beherbergungs- und Gaststättengewerbe, Reisebüros, Reiseveranstalter, Anbieter von Touren und Transportdienstleistungen sowie Betreibende touristischer Infrastrukturen oder Einrichtungen in den Bereichen Sport und Kultur, Gesundheit und Wellness sowie Geschäftsreisen, Tagungen und Kongresse. Bundesländer, Landkreise und Gemeinden engagieren sich für den Tourismus in ihrer Region und betreiben ein aktives Tourismusmarketing. Das

breite touristische Angebot Deutschlands fragen sowohl ausländische Gäste, vor allem aber auch Reisende und Erholungssuchende aus dem Inland nach.

Angebot und Nachfrage in den verschiedenen Tourismusbereichen und Destinationen in Deutschland werden unterschiedlich stark von Wetter und Witterung bestimmt. Während die äußeren Bedingungen einzelne Tourismussegmente wie den Geschäfts- und Tagungstourismus, der sich vor allem in Gebäuden abspielt, kaum beeinflussen, ist die konkrete Nachfrage zum Beispiel im Wintersport- oder Badetourismus deutlich stärker an eine geeignete Witterung geknüpft. Weitgehend unabhängig von Standort und Tourismusform können touristische Infrastrukturen klimawandelbedingt zunehmenden physischen Risiken durch extreme Wetterereignisse ausgesetzt sein. Die Antworten, die die Tourismuswirtschaft in Deutschland auf diese Herausforderungen finden muss, müssen in der Regel spezifisch auf die jeweilige Tourismusform und die konkreten Klimawandelfolgen für das jeweilige Angebot zugeschnitten werden.

DAS-Monitoring – was im Klimawandel passiert

Der fortschreitende Klimawandel beginnt, die meteorologischen Bedingungen für den Tourismus in Deutschland zu verändern. In den deutschen Küstenregionen an Nord- und Ostsee werden die Verhältnisse günstiger. Dort verlängert sich – bei starken Schwankungen zwischen den Jahren – die Zeitspanne, in der die Meerwassertemperatur in einem badetauglichen Bereich liegt. In beiden Regionen treten die ersten potenziellen Badetage immer früher im Jahr auf, die letzten verschieben sich immer später in den Herbst. Zudem steigen die durchschnittlichen Lufttemperaturen in den Sommerferienmonaten Juni bis September an (siehe Indikator TOU-I-1, Seite 278). Die Schneelage in den skitouristischen Räumen in Deutschland schwankt zwischen den Jahren stark. Bisher lässt sich, aggregiert für die skitouristischen Räume, noch kein statistisch gesicherter Trend für die Anzahl der Tage ermitteln, an denen eine natürliche Schneehöhe von mindestens 30 cm erreicht ist. Im Schwarzwald sowie den westlichen und zentralen Mittelgebirgsregionen zeigen sich längere Phasen schneeärmerer Winter. In den Alpen und östlichen Mittelgebirgen

treten schneearme Winter bislang eher vereinzelt auf (siehe Indikator TOU-I-2, Seite 280).

Ein Einfluss der veränderten meteorologischen Bedingungen auf die Marktanteile der touristischen Großräume am Übernachtungsgeschehen ist bisher nicht erkennbar. Dies deckt sich mit den Ergebnissen eines Forschungsprojekts des UBA. Danach können aktuelle Wetterereignisse die Nachfrage kurzfristig und regional zwar stark beeinflussen, Auswirkungen sich ändernder Klimaparameter auf die touristische Nachfrage lassen sich bisher aber nicht eindeutig feststellen¹⁹². Der Indikator TOU-I-3 (siehe Seite 282) zeigt eine steigende Nachfrage nach Übernachtungen in urbanen Gebieten, die zulasten der anderen touristischen Großräume ging. In den Jahren 2020 und 2021 beeinflusste vor allem die Covid-19-Pandemie die Entwicklung: Der allgemeine Rückgang der Übernachtungen traf in den beiden Jahren insbesondere die urbanen Gebiete, hingegen profitierten vor allem die Urlaubsregionen an der Küste und in den Alpen.

Die künftigen Klimarisiken – Ergebnisse der KWRA

Nach den Ergebnissen der Klimawirkungs- und Risikoanalyse 2021 (KWRA, siehe Lesehilfe, Seite 7) besteht

für das Handlungsfeld „Tourismuswirtschaft“ zum Ende des Jahrhunderts ein hohes Risiko für eine Einschränkung

touristischer Angebote infolge fehlender Schneesicherheit. Ebenso wird bis Ende des Jahrhunderts von hohen Risiken für Schäden an touristischen Infrastrukturen und Betriebsunterbrechungen sowie von hohen Chancen oder auch Risiken für den wirtschaftlichen Erfolg von Tourismusangeboten ausgegangen. Beiden Einschätzungen wurde allerdings eine geringe Gewissheit beigemessen.

Bis zur Mitte des Jahrhunderts werden die Risiken für diese Klimawirkungen in dem dreistufigen Bewertungsraster (gering – mittel – hoch) jeweils als mittel bewertet. Gleiches gilt für die Risiken der Auswirkungen von Hitze auf den Gesundheitstourismus sowie einer Verlagerung der Nachfrage. Für die beiden letztgenannten Klimawirkungen besteht eine geringe Gewissheit bei der Bewertung.

Wo haben wir Daten- und Wissenslücken?

Das Monitoring zum Handlungsfeld „Tourismuswirtschaft“ ist durch eine mangelnde Datenverfügbarkeit erheblich eingeschränkt. Ein Grund hierfür ist, dass sich die Diskussion um Klimawandelfolgen für den Tourismus oft auf bestimmte Segmente der Tourismuswirtschaft bezieht – Beispiele sind der Naturtourismus, Gesundheitstourismus, Radtourismus oder Badetourismus im Binnenbereich. Diese Segmente spiegeln sich nicht oder nur zum Teil in verfügbaren, regelmäßig erhobenen Daten wider und lassen sich daher nicht quantitativ beschreiben. Regelmäßig erhobene Daten der amtlichen Tourismusstatistik liegen auf der Ebene von Gemeinden, Landkreisen und Reisegebieten oder nach Gemeindegruppen für das Gastgewerbe vor. Für eine regional differenzierte Beschreibung der touristischen Nachfrage lassen sich insbesondere Daten zu den Übernachtungen in Beherbergungsbetrieben heranziehen. Eine eindeutige Zuordnung von Gemeinden, Kreisen oder Reisegebieten zu bestimmten Tourismussegmenten oder zu einem Schwerpunktsegment des Tourismus besteht jedoch nicht. Damit erlauben die verfügbaren statistischen Daten keine Rückschlüsse, wie sich einzelne touristische Segmente entwickeln, geschweige denn, wie diese möglicherweise von Klimawandelfolgen beeinflusst sind. Für die Indikatoren TOU-I-3 und TOU-R-1 werden die Reisegebiete fünf touristischen Großräumen zugeordnet¹⁹³, wodurch ein grober Bezug zu den jeweiligen naturräumlichen Potenzialen möglich ist. Allerdings orientiert sich die Abgrenzung der Reisegebiete neben naturräumlichen Gegebenheiten auch an der Zugehörigkeit von Gemeinden und Kreisen zu Tourismusverbänden. Schon die Reisegebiete fassen daher Gebiete mit unterschiedlichen touristischen Schwerpunkten und Betroffenheiten durch den Klimawandel zusammen, in Baden-Württemberg beispielsweise Teile des Oberrheingraben mit Teilen des Schwarzwalds. Eine Interpretation von Daten zur touristischen (Übernachtungs-)Nachfrage in den Reisegebieten und den touristischen Großräumen mit Bezug auf Klimawandelfolgen ist daher nur sehr eingeschränkt möglich.

Neben dem Übernachtungstourismus ist der Tagestourismus von großer wirtschaftlicher Bedeutung. Mit Blick auf Klimawandelfolgen ist er insofern von besonderem

Interesse, als gerade für touristische Tagesausflüge die Witterung entscheidend sein kann. Um diesbezügliche Änderungen der Nachfrage erfassen zu können, wären aber über die statistischen Daten zur Beherbergung hinaus zusätzlich regionale Daten zum Tagestourismus (beispielsweise zur Auslastung touristischer Infrastruktur) erforderlich. Diese werden aber nicht kontinuierlich erhoben beziehungsweise sind nicht zentral zugänglich.

Reisende und Erholungssuchende beziehen eine Vielzahl an Faktoren in ihre Reiseentscheidungen ein. Die klimatischen Bedingungen und Veränderungen sind dabei nur ein Faktor unter vielen. Verwendet man Daten zur touristischen Nachfrage, um Auswirkungen des Klimawandels auf den Tourismus zu beobachten, besteht daher grundsätzlich die Schwierigkeit, die Bedeutung der Klimaparameter abzuschätzen. Nach den bisher vorliegenden Erkenntnissen wird deren Einfluss als eher gering eingeschätzt.¹⁹⁴

Auch für die touristische Infrastruktur können klimawandelbedingte physische Schäden eine Rolle spielen. Eine dem Handlungsfeld „Bauwesen“ vergleichbare Darstellung zur Entwicklung von versicherten Schäden ist allerdings nicht möglich, da die Daten keine sektorale Zuordnung erlauben oder Tourismusanbieter wie andere Unternehmen auch spezifische Risiken gemäß ihrem jeweiligen Bedarf versichern, also keine standardisierten Versicherungsprodukte nutzen. Repräsentative Befragungen unter Tourismusangeboten zu physischen Schäden, die eine alternative Informationsquelle sein könnten, sind bislang nicht bekannt.

Mit Blick auf die Darstellung von Maßnahmen gibt es ebenfalls Einschränkungen aufgrund der Datenlage. In Anbetracht der in den vergangenen Jahren zunehmend auftretenden Dürren und der damit verbundenen Einschränkungen auch für touristische Anbieter könnte ein Monitoring der touristischen Wassernutzung ein sinnvoller Ansatz sein. Bislang liegen hierfür aber keine spezifischen Daten vor. Grundsätzlich entzieht sich die Umsetzung vieler, oft destinations- oder anbieterspezifischer Maßnahmen einer quantitativen Darstellung. Dies gilt zum Beispiel

für Maßnahmen wie die Ausweitung wetterunabhängiger, ganzjährig nutzbarer Angebote, die Stärkung des Sommertourismus durch neue touristische Produkte oder Maßnahmen für eine erhöhte Klimaresilienz in den Betrieben. Grundsätzlich können Anpassungsmaßnahmen auch Teil

einer integrierten nachhaltigen Entwicklung von Betrieben oder Destinationen sein. Die bestehenden Zertifizierungssysteme zur touristischen Nachhaltigkeit lassen sich bisher aber nicht oder nur eingeschränkt auf Klimaanpassungsbemühungen hin auswerten.

Was getan wird – einige Beispiele

Die Herausforderungen, die der Klimawandel für die unterschiedlichen Tourismussegmente, Regionen und Akteursgruppen mit sich bringt, sind ebenso vielfältig wie die Möglichkeiten und Erfordernisse zur Anpassung. Es liegt in der Verantwortung der Anbieter von touristischen Produkten und Dienstleistungen, mit technischen Maßnahmen an eigenen Immobilien und Infrastrukturen Vorsorge gegenüber möglichen Klimawandelfolgen zu treffen. Beispielsweise sollten touristisch genutzte Gebäude zum Schutz vor Hitze hohe Standards für den sommerlichen Wärmeschutz einhalten und Aufenthaltsflächen im Freien einen ausreichenden Schutz vor Sonneneinstrahlung bieten. Aus dem gleichen Grund sollten auch touristisch genutzte Rad- und Fußwege mit einer ausreichenden Beschattung ausgestattet sein. Darüber hinaus sind auch nicht technische Anpassungsmaßnahmen von Bedeutung. Eine wichtige Anpassungsaufgabe für Tourismusanbieter kann es sein, ein gezieltes Risikomanagement zu etablieren, das beispielsweise Notfallmaßnahmen oder Maßnahmen zur Gesundheitsvorsorge gegen Hitze beinhaltet. Außerdem beinhaltet Klimaanpassung für Tourismusanbieter Maßnahmen der Information und Kommunikation, die zum Ziel haben, Gäste über Klimarisiken zu informieren oder Besucherströme in risikoarme Bereiche zu lenken. Auch kann ein gezieltes Marketing von touristischen Angeboten sinnvoll sein, die eine gleichmäßigere saisonale Auslastung des eigenen Betriebs oder der Destination unterstützen (siehe Indikator TOU-R-1, Seite 284). Die Basis hierfür kann eine strategische Diversifizierung und Erweiterung des Angebots schaffen. Grundsätzlich ist die Anpassung an den Klimawandel auch im Tourismus ein kontinuierlicher Prozess, der bei der Weiterentwicklung von Destinationen und Betrieben stets mitzudenken und zu berücksichtigen ist.

Um Anpassungsprozesse zielgerichtet durchführen zu können, sind Tourismusanbieter angesichts der vielfältigen Herausforderungen und Möglichkeiten der Anpassung auf eine fundierte Wissensbasis und Instrumente der Entscheidungsunterstützung angewiesen. Bund und Länder unterstützen die Klimaanpassung im Tourismus unter anderem mit der Erarbeitung notwendiger Grundlagen. Beispielsweise wird der Aspekt der Klimaanpassung

als Teil des Kernthemas „Klimaneutralität / Umwelt- und Naturschutz“ im Dialogprozess der „Nationalen Plattform Zukunft des Tourismus“ mit verschiedenen touristischen Akteuren adressiert. In einem UBA-Projekt wurden die Folgen des Klimawandels für deutsche Tourismusdestinationen und die hierzu bestehenden Anpassungsmöglichkeiten untersucht¹⁹⁵. Um die Ergebnisse für Tourismusverantwortliche in der Praxis gut nutzbar zu machen, entstanden aus dem Projekt ein Leitfaden zur Klimaanpassung in Destinationen und weitere Informationsangebote.¹⁹⁶

Neben der Forschungsförderung unterstützt die öffentliche Hand die Anpassung im Tourismus auch finanziell über verschiedene Förderprogramme. Angesichts der Bandbreite an möglichen Maßnahmen und den Schnittstellen zu anderen Handlungsfeldern, beispielsweise bei der Sicherung von Infrastrukturen, sind hierbei neben tourismus- und anpassungsspezifischen auch weitergehende Förderprogramme zu berücksichtigen. In dem oben bereits erwähnten UBA-Projekt wurden im Jahr 2018 insgesamt 30 relevante Förderprogramme auf Bundes- und Landesebene ermittelt; zudem wurden auch verschiedene Förderinstrumente der EU als relevant eingestuft. Von Bundesseite zählten oder zählen zu den Fördermöglichkeiten beispielsweise das Programm „Maßnahmen zur Anpassung an die Folgen des Klimawandels“, das KfW-Umweltprogramm und die Umweltschutzförderung der Deutschen Bundesstiftung Umwelt. Auch in den meisten Bundesländern gibt es nach den Ergebnissen des UBA-Projekts Förderprogramme, die eine Anpassung an den Klimawandel im Tourismus unterstützen. Vor allem mit Blick auf die Anpassung des Wintertourismus wird allerdings verstärkt diskutiert, die Förderung von touristischen Investitionen auf ganzjährig nutzbare Urlaubs- und Freizeitangebote zu beschränken.

In etlichen Bundesländern bestehen zudem regional-spezifische Informationsangebote, die eine Anpassung an den Klimawandel im Tourismus unterstützen. Des Weiteren integrieren Länder und Verbände das Thema Klimaanpassung zusehends in bestehende Netzwerke für Tourismusanbieter, um für das Thema zu sensibilisieren und auf Informationsmöglichkeiten hinzuweisen.

Handlungsfeld-relevante Klimaveränderungen

Jahresmittel der Lufttemperatur

Die globale Klimaerwärmung drückt sich auch in Deutschland in einer steigenden mittleren Lufttemperatur aus. Im Flächenmittel nahm das Jahresmittel der Lufttemperatur von 1881 bis 2022 um 1,7 °C zu. Die Erwärmung beschleunigt sich dabei zusehends. In den letzten fünf Jahrzehnten betrug der Temperaturanstieg je Dekade 0,38 °C und lag damit mehr als dreimal über dem Wert von 0,12 °C je Dekade, der sich für den gesamten Zeitraum seit 1881 ergibt. Seit den 1960er-Jahren war in Deutschland jedes Jahrzehnt deutlich wärmer als das Jahrzehnt davor. Neun der zehn wärmsten Jahre in Deutschland wurden nach der Jahrtausendwende gemessen (siehe Seite 19).

Auswirkungen des Klimawandels

TOU-I-1: Badetemperaturen an der Küste

Auch die Meerwassertemperatur ist in den vergangenen Jahrzehnten angestiegen (siehe Indikator KM-I-1, Seite 100). An der deutschen Nord- und Ostseeküste wirkt sich das positiv auf die Dauer der potenziellen Badeperiode aus, also die Zeitspanne, in der die Meerwassertemperatur einen Badeurlaub oder Badeaktivitäten potenziell ermöglicht. In der Regel stellen sich geeignete Temperaturbedingungen im Laufe des Juni ein und dauern bis in den Oktober hinein an. Seit Ende der 1980er-Jahre treten die ersten potenziellen Badetage dabei immer früher im Jahr auf, die letzten dieser Tage verschieben sich immer später in den Herbst. Auch wenn es zwischen den Jahren starke Schwankungen gibt, nimmt die Länge der potenziellen Badeperiode an Nord- und Ostsee signifikant zu.

Anpassungen – Aktivitäten und Ergebnisse

TOU-R-1: Saisonalität der Übernachtungen in den touristischen Großräumen

Für viele touristische Destinationen in Deutschland können günstiger werdende klimatische Bedingungen eine Chance bieten, ihr touristisches Angebot zu erweitern und die Nachfrage saisonübergreifend zu erhöhen. Vor allem Destinationen mit einem bislang starken saisonalen Fokus können sich dadurch unabhängiger von einer Kernsaison machen, die an einzelne touristische Aktivitäten oder Attraktionen gebunden ist. Dies gilt in Deutschland besonders für den touristischen Großraum Küste, in dem die Saisonalität – gemessen als Verhältnis der Übernachtungen im nachfragestärksten zum nachfragegeschwächsten Monat eines Kalenderjahres – am stärksten ausgeprägt ist. Im Jahr 2019 reichte die Spanne der Übernachtungszahlen von knapp 2 Mio. Übernachtungen im Januar bis zu über 12 Mio. Übernachtungen im Juli. Im Sommerhalbjahr der Tourismusstatistik (Mai bis Oktober) wurden hier beinahe drei Viertel (73 %) der Übernachtungen verbucht.

In der Küstenregion hat, wie auch in allen anderen touristischen Großräumen in Deutschland, die Saisonalität der Übernachtungsnachfrage signifikant abgenommen. Dies deutet auf eine steigende Auslastung in Monaten hin, in denen bislang wenig Übernachtungen verzeichnet wurden. Sofern damit eine wachsende Unabhängigkeit von einzelnen besonders nachfragestarken Monaten verbunden ist, kann dies als eine chancenorientierte Anpassung an den Klimawandel gewertet werden.



Foto: © Thaut Images / stock.adobe.com



Foto: © Holger Luck / stock.adobe.com



Foto: © Micha Trillhaase / stock.adobe.com

Wärmere Temperaturen für den Küstenurlaub

Viele Deutsche erholen sich im Urlaub gerne am Strand in der Sonne. Wichtigstes Ziel für die Urlaubsreisen der Deutschen ist daher die Mittelmeerregion, die im Jahr 2019 vor der Covid-19-Pandemie laut der FUR-Reiseanalyse¹⁹⁷ 38 % der Urlaubsreisen auf sich verbuchen konnte. Vor allem Spanien, Italien und die Türkei sind bei den Deutschen als Reiseländer beliebt. Innerhalb Deutschlands sind die Küstenbundesländer Mecklenburg-Vorpommern, Schleswig-Holstein und Niedersachsen nach Bayern die wichtigsten Reiseziele. Das Reiseverhalten der Deutschen während der Covid-19-Pandemie unterstreicht die Attraktivität des Küstentourismus: Bei den Auslandsreisen nahmen nach der Aufhebung der pandemiebedingten Einschränkungen im Jahr 2021 vor allem Reisen nach Spanien, Italien, Türkei, Portugal, Kroatien und Griechenland zu¹⁹⁸. In Deutschland lag der Marktanteil bei den Übernachtungen in der Küstenregion an Nord- und Ostsee in den Jahren 2020 und 2021 um rund 5 Prozentpunkte über dem Niveau der Vorjahre (siehe Indikator TOU-I-3, Seite 282).

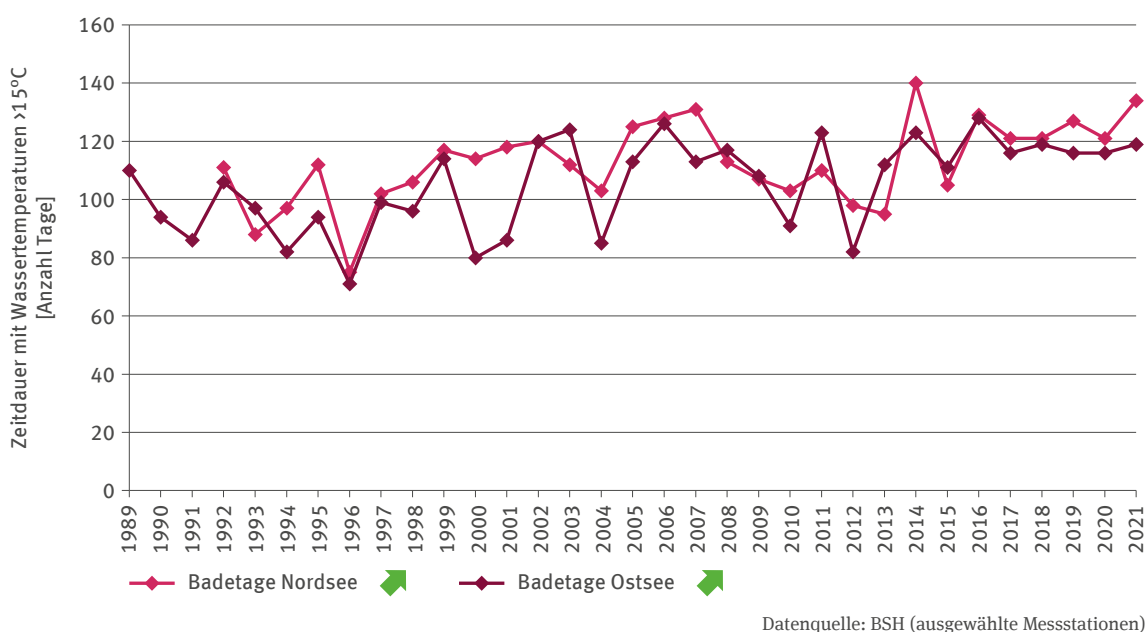
Für Deutschland könnte der Strand- und Badeurlaub an den Küsten als eine typische Form des Sommertourismus

grundsätzlich von steigenden Luft- und höheren Meerwassertemperaturen in Folge des Klimawandels profitieren. Infolge der Erwärmung könnte die Badesaison länger andauern und sich dadurch die Attraktivität der Badeorte erhöhen. Eine Tendenz zu höheren Meerwassertemperaturen in den deutschen Küstengewässern der Nord- und Ostsee wurde in Messungen im Stationsnetz des BSH bereits nachgewiesen. Die über die gesamte Nordsee gemittelte jährliche Meeresoberflächentemperatur, die auf wöchentlich durchgeführten Analysen des BSH basiert, ist seit Beginn dieser Analyse 1968 um rund 1 °C angestiegen (siehe Indikator KM-I-1, Seite 100).

Um bezogen auf die Meerwassertemperaturen das Potenzial für den Badetourismus an den Küsten abzuschätzen, wird die Dauer der potenziellen Badeperiode als Anzahl sogenannter Badetage dargestellt, an denen der Tagesmittelwert der Meerwassertemperatur in den deutschen Küstengewässern der Nord- und Ostsee einen Schwellenwert von 15 °C überschreitet. Für den ersten Badetag einer Saison muss außerdem das Kriterium erfüllt sein, dass die Temperatur nach dem Überschreiten des Schwellenwerts

TOU-I-1: Badetemperaturen an der Küste

Die Zeitdauer, in der die Meerwassertemperaturen einen Badeurlaub an den deutschen Nord- und Ostseeküsten potenziell ermöglichen, unterliegt sehr starken Schwankungen zwischen den Jahren. In der Regel stellen sich geeignete Temperaturbedingungen im Laufe des Juni ein und dauern bis in den Oktober hinein an. Die Zeitspanne entsprechender Temperaturbedingungen nimmt an Nord- und Ostsee signifikant zu.



nicht mehr unter den Wert von 14 °C im Tagesmittel sinkt. Der letzte Badetag ist der letzte Tag im Jahr, an dem die Wassertemperatur noch größer als 15 °C ist.

Dem Indikator liegen Wassertemperaturen zugrunde, die an den BSH-Messstationen Deutsche Bucht (Nordsee) sowie Leuchtturm Kiel (Ostsee) des BSH und damit in einiger Entfernung von der Küste nahezu kontinuierlich erhoben werden. Diese Messungen haben den Vorteil, dass sie homogener und von kurzfristigen Einflüssen unabhängiger sind als direkt an der Küste gemessene Werte. Die Lage der Messstationen floss auch bei der Wahl des Schwellenwerts für die Beurteilung der Badetemperaturen ein. Die Meerwassertemperaturen liegen in den Badegewässern an der Küste tendenziell höher als an den küstenfernen Messstationen und sind ab diesem Wert – auch durch einen stärkeren Tagesgang – potenziell „badetauglich“. Zur Einordnung: Im heißen Jahr 2018 lag das Maximum der mittleren Oberflächentemperatur der Nordsee bei 16,3 °C, das der Ostsee bei 20 °C.¹⁹⁹ In Küstennähe lagen die maximalen Wassertemperaturen (Tagesmittel) an einzelnen Stationen noch deutlich darüber: In Hörnum auf Sylt wurden beispielsweise 24,5 °C und in Neustadt (Holstein) 26,0 °C gemessen.

Die beiden Zeitreihen des Indikators zeigen seit Beginn der 1990er-Jahre (Nordsee) beziehungsweise Ende der 1980er-Jahre (Ostsee) einen signifikant steigenden Trend. Das bedeutet, die Zeitspanne mit potenziell badetauglichen Meerwassertemperaturen an Nord- und Ostseeküste dehnte sich aus. An beiden Küsten traten die ersten potenziellen Badetage immer früher im Jahr auf, die letzten verschoben sich mit signifikantem Trend immer später in den Herbst. Parallel zu den wärmeren Wassertemperaturen wurden auch die Lufttemperaturbedingungen – berücksichtigt wurde die Entwicklung an den DWD-Messstationen Norderney (Nordsee) beziehungsweise Kiel-Holtenau (Ostsee) – günstiger: Die durchschnittlichen Tagesmittel- und -höchstwerte der Lufttemperatur in den Sommerferienmonaten Juni bis September stiegen an beiden Stationen an. Der Indikator gibt Hinweise darauf, dass die klimatischen Rahmenbedingungen für den Tourismus in den deutschen Küstenregionen badefreundlicher werden. Allerdings können höhere Meerwasser- und Lufttemperaturen auch negative Effekte mit sich bringen. So begünstigen die steigenden Temperaturen das Auftreten von Krankheitserregern wie Vibrionen (siehe Indikator GE-I-7, Seite 52).

Grundsätzlich gibt es eine Reihe weiterer Faktoren, die die Attraktivität der Nord- und Ostseeküste als Destination für den Strand- und Badetourismus beeinflussen. Dazu gehören weitere meteorologische Größen wie die



Steigende Temperaturen machen Nord- und Ostsee für den Badeurlaub attraktiver, allerdings können auch Krankheitserreger verstärkt auftreten. (Foto: © Holger Luck / stock.adobe.com)

Sonnenscheindauer, die Luftqualität oder die bioklimatischen Verhältnisse im Zusammenspiel von Lufttemperatur, Wind, Strahlungsverhältnissen und Luftfeuchte. Daneben spielt auch das Auftreten von Algen und Quallen eine Rolle. Zukünftig können der steigende Meeresspiegel, häufigere und intensivere Sturmfluten und der Küstenabtrag die Bedingungen für den Tourismus an den Küsten verändern (siehe Indikatoren KM-I-2, Seite 102, KM-I-3, Seite 104, und KM-I-4, Seite 106).

Ob sich diese Änderungen in der touristischen Nachfrage positiv oder negativ niederschlagen oder überhaupt bemerkbar machen, hängt auch von zahlreichen weiteren Faktoren ab, beispielsweise von aktuellen Reisetrends, dem demografischen Wandel oder der konjunkturellen Entwicklung. Bisher ist nicht zu beobachten, dass Urlaubssuchende aus Deutschland die heißen Regionen am Mittelmeer bewusst meiden und stattdessen in kühlere nördliche Gefilde fahren. Zwar gaben in einer Zusatzbefragung zur repräsentativen Bevölkerungsumfrage „Umweltbewusstsein in Deutschland“²⁰⁰ im Jahr 2021 rund zwei Drittel der Befragten an, ihre Freizeit- oder Urlaubsplanung umzustellen und beispielsweise anstrengende Aktivitäten bei Hitze oder heiße Urlaubsregionen zu meiden, weitere 10% gaben an, dies zukünftig zu beabsichtigen. Der oben skizzierte Wiederanstieg der Nachfrage nach Reisen in den Mittelmeerraum nach dem Wegfall der Covid-19-bedingten Reisebeschränkungen deutet aber darauf hin, dass der Bedarf hierfür bei der tatsächlichen Reiseplanung noch nicht gesehen wird.

Unsichere Schneelage in Alpen und Mittelgebirgen

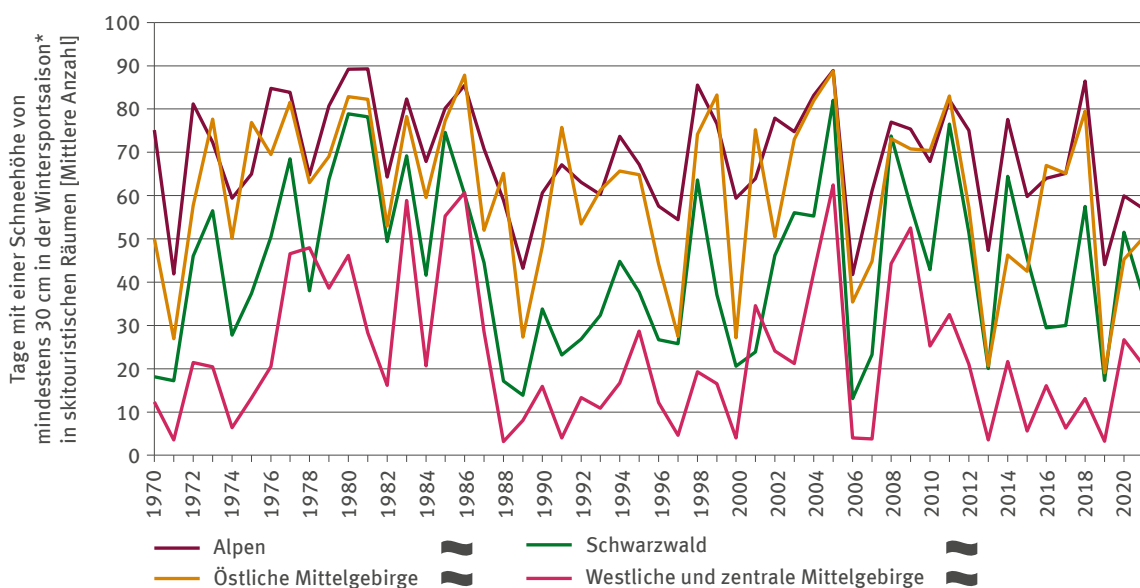
Ob zum Skifahren oder Snowboarden, zum Langlaufen, Tourengehen oder Schneewandern – schneebedeckte Berge, verschneite Wälder und strahlender Sonnenschein sind das Ideal vieler Menschen für Winterurlaub und Wintersport. Fehlt eine ausreichende Schneeauflage, mangelt es an der notwendigen Grundlage für schneegebundene Tourismusformen. Für die Tourismusdestinationen in Hoch- und Mittelgebirgen ergeben sich deutliche wirtschaftliche Einschränkungen, wenn die Schneebedeckung rückläufig ist, die Grenze der Schneesicherheit in immer höhere Lagen zurückweicht und die Zeiträume mit Schneebedeckung unbeständiger werden oder sich verschieben. Welche Schneeauflage erforderlich ist, hängt vor allem von der jeweiligen Aktivität und dem Gelände ab. Bereits wenige Zentimeter Schneebedeckung können für ein winterliches Ambiente bei einem Spaziergang sorgen. Für Langlauf sind in der Regel Schneehöhen von 10 bis 15 cm ausreichend. Für den Alpinskibetrieb bestimmt vor allem die Pistencharakteristik, welche Schneehöhe mindestens notwendig ist, um Pisten präparieren zu können, den Boden zu schützen, einen sicheren Skibetrieb zu gewährleisten und den Skifahrenden angenehme

Skierlebnisse zu ermöglichen. Allgemein gilt eine Schneehöhe von 30 cm als ausreichend, 50 cm gelten als gut.²⁰¹ Steinige und felsige Pisten können aber auch eine sehr viel größere Schneehöhe von bis zu 1 m erfordern, um befahrbar zu sein.

Eine Analyse der Schneehöhendaten für die Alpen und ausgewählte Mittelgebirge der letzten fünf Jahrzehnte zeigt, dass die Schneesituation zwischen 1970 und 2021 in allen skitouristischen Räumen („Alpen“, „Schwarzwald“, „Östliche Mittelgebirge“, „Westliche und zentrale Mittelgebirge“) sehr wechselhaft war. Eine durchgängige natürliche Schneedecke innerhalb der Wintersaison (15.12 bis 15.03) von 91 Tagen (oder 92 Tagen in einem Schaltjahr) wird, bezogen auf die mittlere Meereshöhe der dortigen Skigebiete, nur in wenigen skitouristischen Räumen gebietsweise und nur in einzelnen Jahren erreicht. Die insgesamt besten Schneebedingungen herrschten aufgrund der Höhenlage, bei teils sehr starken Schwankungen zwischen den Jahren, in den Skiregionen der Alpen. Im langjährigen Durchschnitt 1970–2021 gab es dort, im mit der Pistenlänge gewichteten Mittel der

TOU-I-2: Schneedecke für den Wintertourismus

Die Schneelage in Deutschland unterlag in den letzten fünf Jahrzehnten starken Schwankungen. Ein signifikanter Trend für die Anzahl der Tage mit einer natürlichen Schneehöhe von mindestens 30 cm zeigt sich in keinem der skitouristischen Räume. Traten in den Alpen und den östlichen Mittelgebirgen schneearme Winter eher vereinzelt auf, gab es in den beiden weiteren Mittelgebirgsregionen längere Phasen mit schneearmen Wintern.



* Zeitraum vom 15.12. bis 15.03. des Folgejahres

Datenquelle: DWD (Schneedeckenbeobachtung)

berücksichtigten Skigebiete, je Wintersaison 70 Tage mit einer Schneedecke von mindestens 30 cm. Die östlichen Mittelgebirge können im langjährigen Mittel rund 60 Tage mit einer ausreichenden Schneedecke verzeichnen. Anders als in den Alpen treten dort immer wieder auch sehr schneearme Jahre auf. Im Schwarzwald und insbesondere in den westlichen und zentralen Mittelgebirgen, also in Harz, Sauerland, Rhön, Thüringer Wald und Fichtelgebirge, sind die Bedingungen grundsätzlich anders. Hier erreichte die natürliche Schneeeauflage im langjährigen Mittel nur an 44 beziehungsweise 23 Tagen eine Höhe von 30 cm. Im Sauerland und in der Rhön wurde diese Schneehöhe in mehreren der letzten zehn Jahre nicht mehr erreicht.

Mit diesen Daten wird ausdrücklich nur das natürliche Potenzial für den Wintersporttourismus in den skitouristischen Räumen und ihren jeweiligen Regionen beschrieben. Zu den tatsächlichen Schneeverhältnissen in den Skigebieten lässt diese Größe keine Aussage zu. Dort kann eine für den Wintersport erforderliche Schneeeauflage durch technische Beschneieung hergestellt oder deutlich erhöht werden. Als Reaktion auf Phasen mit mehreren aufeinanderfolgenden schneearmen Wintern, aber auch mit Blick auf die entsprechenden Aktivitäten der internationalen Konkurrenz haben die Betreibenden von Skigebieten mit der Einrichtung teilweise umfangreicher Infrastrukturen zur künstlichen Beschneieung reagiert. Kunstschnee ist die am weitesten verbreitete Maßnahme, um die Saison zu verlängern oder den Skibetrieb bei starken Wetterschwankungen aufrecht zu erhalten. Im alpenweiten Durchschnitt konnten im Jahr 2015 mehr als zwei Drittel der Pistenfläche künstlich beschneit werden²⁰², in den bayerischen Alpen liegt der Anteil der beschneibaren Fläche bei etwa einem Viertel²⁰³. In Bayern insgesamt wuchs die beschneibare Fläche zwischen 2005 und 2020 um über 500 ha auf zuletzt rund 920 ha.

Allerdings sind der Beschneieung physische und ökonomische Grenzen gesetzt. Um Kunstschnee effizient erzeugen zu können, sind über einen längeren Zeitraum geringe Minusgrade im Bereich unter $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$ und eine Luftfeuchte unter 80% günstig. Zusatzstoffe, die eine Herstellung von Kunstschnee auch bei höheren Temperaturen vereinfachen oder ermöglichen, sind in Deutschland nicht genehmigt. Die Kosten der Kunstschneeerzeugung (Investitions-, Betriebs- und Unterhaltungskosten) sind ohnehin erheblich, und bei steigenden Temperaturen oder einer höheren Luftfeuchte steigen diese Kosten überproportional an. Sind die Infrastrukturen wie in den Mittelgebirgen wegen häufiger schneearmer Winter zudem nicht kontinuierlich ausgelastet, ist eine Wirtschaftlichkeit der Anlagen stark in Frage gestellt. Die Maßnahme eignet



In warmen, schneearmen Wintern sind alternative Erholungs- und Urlaubsangebote zum Pistensport gefragt. (Foto: © were / stock.adobe.com)

sich daher schon aus ökonomischer Sicht nur begrenzt zur Anpassung. Hinzu kommt, dass die Beschneieung aufgrund des hohen Energie- und Wasserbedarfs sowie der notwendigen Baumaßnahmen, etwa der Anlage von Speicherbecken und (Bau-)Straßen oder Pistenplanierungen, zu Beeinträchtigungen von Natur und Umwelt führt. Dies ist ein Grund, warum sich die Alpenstaaten in der Alpenkonvention²⁰⁴, die auf den Schutz und die nachhaltige Entwicklung der Alpen zielt, darauf verständigt haben, die Erzeugung von Schnee nur in den Kälteperioden zuzulassen, gekoppelt an die Voraussetzung, dass die jeweiligen örtlichen hydrologischen, klimatischen und ökologischen Bedingungen es erlauben.

Machen Urlaubsgäste in deutschen Wintertourismusregionen häufiger negative Erfahrungen mit Schneemangel, werden sie zukünftig möglicherweise ihre Urlaubsaktivitäten oder Urlaubszielregion verändern. In der repräsentativen Bevölkerungsumfrage „Umweltbewusstsein in Deutschland“²⁰⁵ gaben im Jahr 2012 gut ein Viertel der Befragten an, ihre Wintersportaktivitäten anpassen zu wollen, wenn es die klimatischen Rahmenbedingungen erfordern. Nachdem es in den Folgebefragungen 2014 und 2016 jeweils 17 % waren, lag der Wert 2021 noch bei 14%.²⁰⁶ Dieses Ergebnis und auch die gleichbleibend hohe Zahl an Ersteintritten an Seilbahnen, Sessel- und Schleppliften in der Wintersaison deuten darauf hin, dass deutsche Urlaubsgäste für ihren Winterurlaub noch nicht verstärkt Destinationen in europäischen Nachbarländern ansteuern.

Tourismusräume: kein Klimaeinfluss auf Marktanteile sichtbar

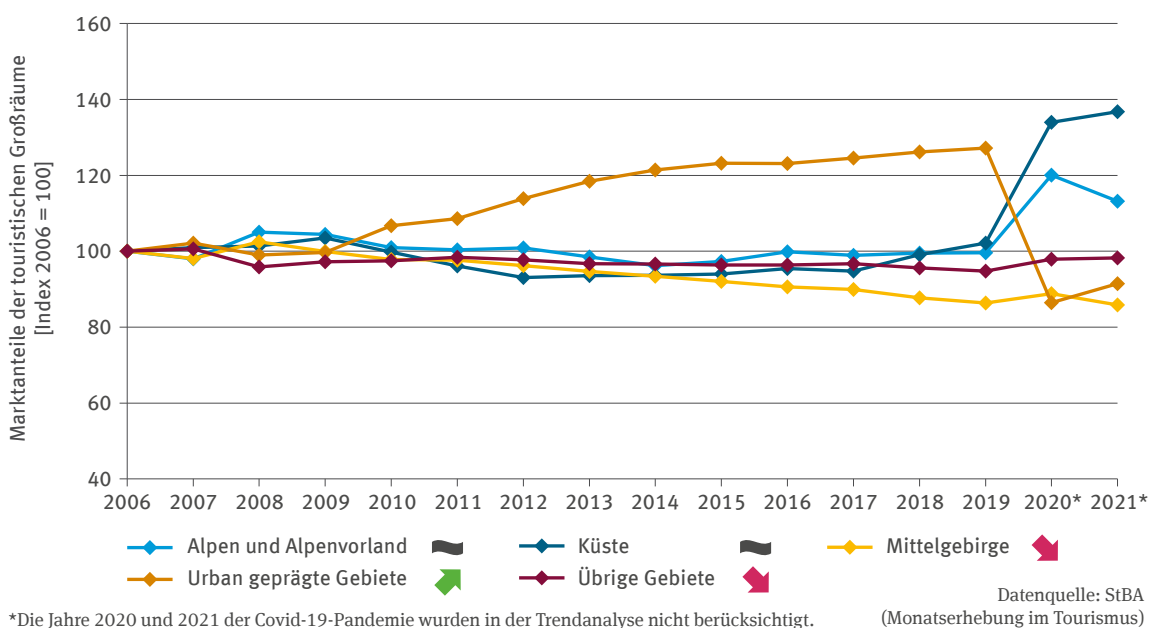
Neben den Küstengebieten an Nord- und Ostsee sowie den Alpen und Alpenvorland sind die Reisegebiete in Deutschland noch zu drei weiteren touristischen Großräumen zusammengefasst²⁰⁷: Mittelgebirge, urban geprägte Gebiete und übrige Gebiete (zur räumlichen Verteilung siehe die nebenstehende Karte). Die touristischen Großräume zeichnen sich durch eine unterschiedliche Charakteristik von Natur, Landschaft und Landnutzung, aber auch durch eine unterschiedlich hohe Bedeutung und Intensität des Tourismus aus. Einzelne Tourismusformen in den touristischen Großräumen sind neben den landschaftlichen Gegebenheiten sehr direkt an bestimmte klimatische Bedingungen geknüpft, zum Beispiel der Badetourismus an den Küsten oder der Wintertourismus in den Alpen und Mittelgebirgen. Für andere Tourismusformen wie den Städtetourismus, den Geschäfts- und Tagungstourismus oder den Wander- und Radtourismus ist die Verbindung weniger direkt, aber ebenfalls gegeben. Ändern sich diese Bedingungen mit dem fortschreitenden Klimawandel, kann dies die Attraktivität der Großräume für den Tourismus negativ oder positiv beeinflussen. Wie stark dieser Einfluss ist, hängt neben der Klimaveränderung unter

anderem davon ab, wie stark klimasensible Tourismusformen die Nachfrage prägen und wie vielfältig das touristische Angebot im jeweiligen Großraum ist.

Für den Sommertourismus können steigende Temperaturen und geringere Niederschläge die Attraktivität deutscher Tourismusgebiete grundsätzlich erhöhen, beispielsweise für Outdoor-Aktivitäten wie Wanderungen, Rad- oder Bootstouren. Auch kann sich, unterstützt durch ebenfalls steigende Wassertemperaturen, die Badesaison an Nord- und Ostseeküste (siehe Indikator TOU-I-1, Seite 278) sowie an Binnengewässern vom Bodensee bis zur Mecklenburgischen Seenplatte erheblich verlängern. Höhere Wassertemperaturen können aber auch die Gewässergüte beeinträchtigen und etwa das nachteilig zu bewertende Wachstum von Algen oder Cyanobakterien begünstigen (siehe Indikator GE-I-6, Seite 50). An den Küsten können häufigere Stürme und der Meeresspiegelanstieg Küstenlinien und Strände verändern oder abtragen und küstennahe touristische Aktivitäten beeinträchtigen (siehe Indikator KM-I-4, Seite 106), in urban geprägten Gebieten sommerliche Hitzewellen die

TOU-I-3: Marktanteile der touristischen Großräume

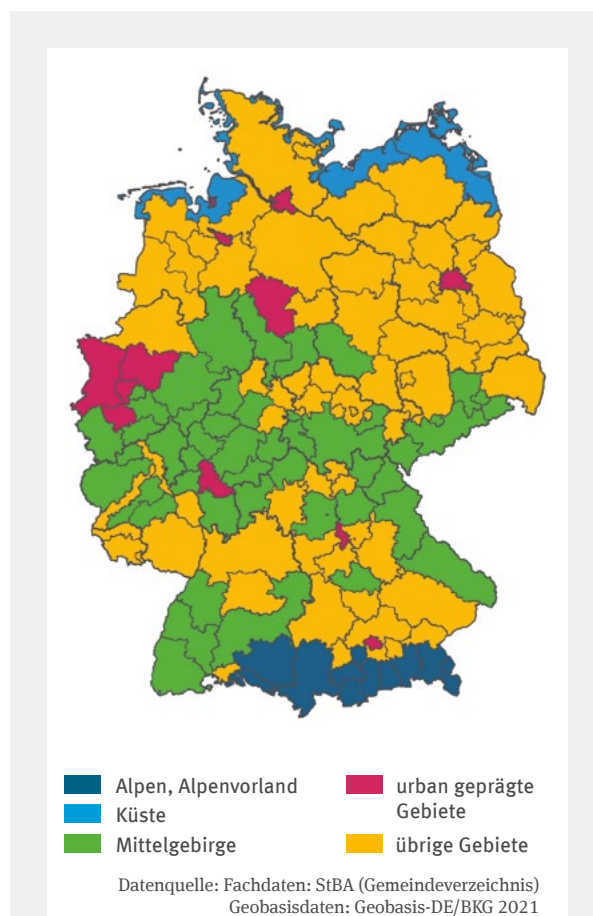
Ein Einfluss klimatischer Veränderungen auf die Marktanteile der touristischen Großräume am Übernachtungsgeschehen ist bisher nicht erkennbar. Bis 2019 prägte die steigende Bedeutung der urbanen Gebiete zulasten der anderen Räume die Entwicklung. In den Covid-19-Jahren 2020 und 2021 traf der allgemeine Rückgang der Übernachtungen besonders die urbanen Gebiete; die Großräume Küste und Alpen konnten Marktanteile gewinnen.



Nachfrage nach Städtereisen reduzieren. Wintertourismusgebiete in den Alpen und Mittelgebirgen können an touristischer Attraktivität in der Wintersaison einbüßen, wenn Schneebedeckung und Schneesicherheit abnehmen und die Gebiete nicht mehr die winterliche Landschaftsästhetik und die Wintersportmöglichkeiten bieten können (siehe Indikator TOU-I-2, Seite 280). Positiv wird dagegen ein längerer und wärmerer Herbst gesehen, der die Spielräume unter anderem für Kurzurlaube in Deutschland erhöht.²⁰⁸ Zusätzlich zu den Auswirkungen der sich ändernden mittleren Wetter- und Witterungsbedingungen können auch klimawandelbedingt häufiger und intensiver auftretende Extremwetterereignisse die Reisegebiete in Deutschland treffen. So waren in den vergangenen Jahren Tourismusangebote und Destinationen in verschiedenen Teilen Deutschlands von Stürmen, Starkregen und Überschwemmungen oder auch von Hitzewellen, Waldbränden und Wassermangel betroffen.

Ändert sich durch die graduellen oder akuten Klimawandelfolgen die Attraktivität der touristischen Großräume, kann sich das wiederum auf ihre Marktanteile auswirken. Um dies abzubilden stellt der Indikator für die touristischen Großräume „Alpen und Alpenvorland“, „Küste“, „Mittelgebirge“, „Urban geprägte Gebiete“ und „Übrige Gebiete“ die Entwicklung der Marktanteile an den deutschlandweiten Übernachtungen in Beherbergungsbetrieben dar. Er erlaubt damit einen einfachen vergleichenden Überblick über die Entwicklung der Reisenachfrage in diesen Räumen.

Die Entwicklung der Marktanteile ist im Zeitraum von 2006 bis 2019 bei einem insgesamt starken deutschlandweiten Anstieg von rund 350 auf 500 Mio. Übernachtungen vor allem von einem stark steigenden Marktanteil der urbanen Gebiete zulasten der anderen Räume, insbesondere der Mittelgebirge und der übrigen Gebiete, geprägt. Diese Entwicklung wurde 2020 und 2021 durch die – innerhalb Deutschlands unterschiedlichen – Reisebeschränkungen und die Reisewarnungen des Auswärtigen Amtes während der Covid-19-Pandemie gestoppt. Die Beschränkungen führten dazu, dass die Bevölkerung Deutschlands insgesamt deutlich weniger Urlaubsreisen und diese verstärkt zu inländischen Zielen unternahm. Zudem brach die Zahl der Übernachtungen ausländischer Gäste von rund 90 Mio. im Jahr 2019 auf 32 Mio. Übernachtungen 2020 ein.²⁰⁹ Insgesamt fiel die Nachfrage in Deutschland auf rund 300 Mio. Übernachtungen, also deutlich unter das Niveau des Jahres 2006. Dieser Rückgang traf grundsätzlich alle touristischen Großräume, besonders stark aber die urban geprägten Gebiete, wo internationale Gäste aufgrund der Reisebeschränkungen ausblieben und Messen und sonstige Veranstaltungen nicht stattfanden.



Touristische Großräume in Deutschland

Die Reisegebiete in Deutschland sind fünf touristischen Großräumen zugeordnet. „Alpen, Alpenvorland“, „Küste“ sowie „Urbane Gebiete“ haben sehr spezifische Eigenschaften, „Mittelgebirge“ und „Übrige Gebiete“ sind großflächig und heterogen.

Hier gingen die Übernachtungen um fast 60% zurück. Am geringsten fiel der Rückgang im touristischen Großraum Küste (-20%) aus. Den Destinationen an Nord- und Ostsee kam dabei offenbar die hohe Präferenz der Deutschen für den Strandurlaub zugute.

Die beschriebene Entwicklung zeigt, dass der Indikator grundsätzlich Verschiebungen in der Beliebtheit der touristischen Großräume in Deutschland abbildet – beispielsweise den über längere Zeit bestehenden Trend zu Städtereisen oder die Veränderungen während der Covid-19-Pandemie. Ein erkennbarer Einfluss klimatischer Veränderungen auf die Marktanteile der touristischen Großräume am Übernachtungsgeschehen spiegelt sich im Indikator bislang aber nicht wider.

Unabhängiger von der Hauptsaison

Den touristischen Destinationen stehen verschiedene grundsätzliche Möglichkeiten zur Verfügung, um Klimawandelfolgen vorzubeugen und sich für den Umgang mit ihnen zu wappnen und anzupassen. Diese können sich nach einem 2021 abgeschlossenen UBA-Vorhaben von technischen Maßnahmen über Maßnahmen von Krisenprävention und -management sowie Produkthanpassung und -management bis hin zur Lenkung von Besucherströmen erstrecken.²¹⁰

Zur Anpassung an den Klimawandel gehört auf einer grundlegenden Ebene auch die Weiterentwicklung von Destinationsstrategien mit Blick auf eine Diversifizierung des Angebots. Durch ein vielfältiges und saisonübergreifendes wetter- und witterungsunabhängiges Angebot sind Destinationen weniger abhängig von einzelnen touristischen Aktivitäten oder Attraktionen. Sie können dann eine zeitweise geringere Auslastung oder auch Betriebsunterbrechungen als Folge der sich ändernden klimatischen Rahmenbedingungen besser kompensieren. Steigende Temperaturen und geringere Niederschläge vom Frühling bis in den Herbst sowie eine Zunahme von

thermisch komfortablen Bedingungen bieten Destinationen eine Chance, beispielsweise ihr Angebot in der Nebensaison zu erweitern oder von einer verlängerten Hauptsaison zu profitieren.

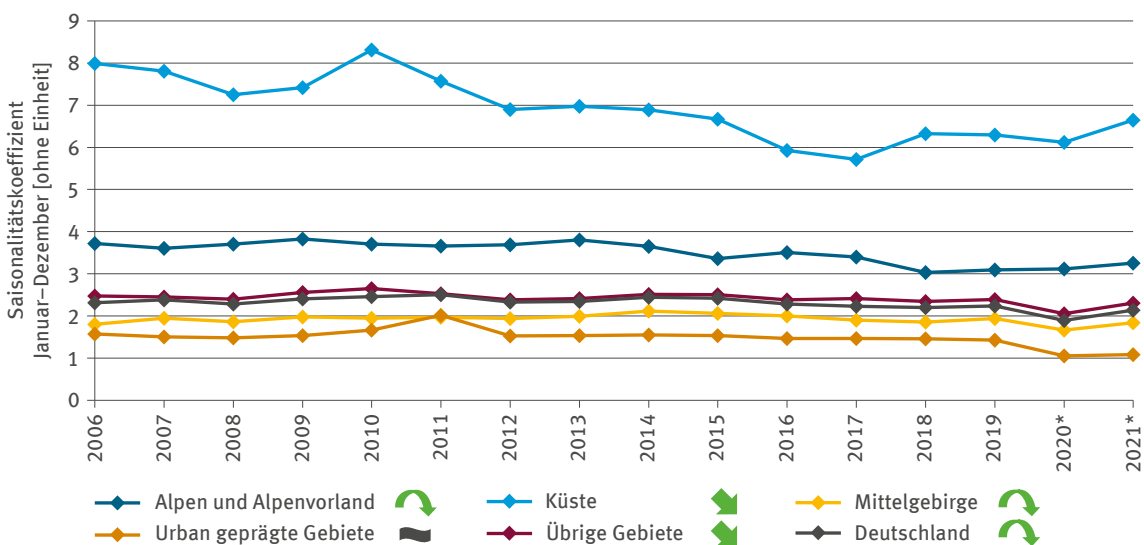
Eine Verstetigung der saisonalen Auslastung touristischer Infrastrukturen auf einem sowohl für die Umwelt als auch für die Bevölkerung und die Beschäftigten verträglichen Niveau ist auch ein Baustein für eine nachhaltige Entwicklung von Tourismusdestinationen. Sie kann dazu beitragen, Überlastungen der Umwelt zu vermeiden und ein verlässliches Arbeitsplatzangebot für Beschäftigte zu ermöglichen.

Diese Überlegungen bilden den Hintergrund für den Indikator zur Saisonalität der touristischen Großräume „Alpen und Alpenvorland“, „Küste“, Mittelgebirge, „Urban geprägte Gebiete“ sowie „Übrige Gebiete“. Der abgebildete Saisonalitätskoeffizient zeigt das Verhältnis der Anzahl der Übernachtungen im Monat mit der höchsten und der niedrigsten Anzahl an Übernachtungen innerhalb eines Kalenderjahres. Ein hoher Indikatorwert bedeutet dabei



TOU-R-1: Saisonalität der Übernachtungen in den touristischen Großräumen

In allen touristischen Großräumen mit Ausnahme der urban geprägten Gebiete hat, bezogen auf die Anzahl an Übernachtungen, die Saisonalität der Nachfrage signifikant abgenommen. Dies deutet auf eine gleichmäßigere saisonale Auslastung hin, die für die Destination eine sinnvolle Entwicklung in Richtung Klimaanpassung sein kann.



*Für 2020 und 2021 wurde der Saisonalitätskoeffizient zur Berücksichtigung der während der Covid-19-Pandemie geltenden Beschränkungen bezogen auf das Minimum der Übernachtungen des Jahres 2019 ermittelt. Die beiden Jahre wurden in der Trendanalyse nicht berücksichtigt.

Datenquelle: StBA (Monatserhebung im Tourismus)

eine starke Saisonalität, also einen großen Unterschied zwischen dem nachfragestärksten und dem nachfragegeschwächsten Monat. Touristische Großräume mit einer hohen Saisonalität sind also besonders abhängig von der Nachfrage in einzelnen Monaten und der Inanspruchnahme weniger, aber spezifischer Tourismusangebote. Sie tragen damit ein besonderes Risiko für Nachfrageeinbußen, wenn sich die klimatischen oder klimaverbundene Voraussetzungen für die touristische Kernsaison zum Schlechteren ändern. Mit einer Stärkung beispielsweise von Angeboten, die wetterunabhängig sind oder gezielt die Nachfrage in den schwächeren Monaten fördern, können sie dieses Risiko mindern.

Von den touristischen Großräumen in Deutschland weisen die Küstenregionen die stärkste Saisonalität auf. Im Jahr 2019 vor der Covid-19-Pandemie reichte die Spanne der Übernachtungszahlen hier von knapp 2 Mio. Übernachtungen im Januar bis zu über 12 Mio. Übernachtungen im Juli. Im Sommerhalbjahr der Tourismusstatistik (Mai bis Oktober) wurden hier beinahe drei Viertel (73 %) der Übernachtungen verbucht. Auch im touristischen Großraum „Alpen und Alpenvorland“ ist die Bedeutung des Sommerhalbjahrs für den Übernachtungstourismus sehr hoch – rund zwei Drittel (65 %) der Übernachtungen finden in diesem Zeitraum statt. Durch den Wintertourismus ist die Auslastung außerhalb der Sommermonate aber im Vergleich zur Küste höher, die Saisonalität daher weniger stark ausgeprägt. Auch hier wurden 2019 im nachfrageschwächsten Monat knapp 2 Mio. Übernachtungen gezählt, im stärksten Monat erreichte die Nachfrage knapp 6 Mio. Übernachtungen. Die touristische Bedeutung der Wintersaison in den Alpen manifestiert sich zudem in einem starken Tagestourismus und einer damit verbundenen hohen Wertschöpfung vor allem in den Skigebieten.

Die weiteren touristischen Großräume, also die Mittelgebirgsregionen, die urbanen Gebiete und alle übrigen Regionen, weisen bezogen auf die Übernachtungszahlen eine deutlich gleichmäßigere Nachfrage im Jahresverlauf auf. Vor allem der Tourismus in den urbanen Gebieten ist in hohem Maße saisonunabhängig. Die genannten Regionen profitieren davon, dass die dort vorhandenen Angebote wie Kultur- und Städtereisen, Veranstaltungstourismus und Geschäftsreisen, Gesundheits- und Bildungsreisen weniger abhängig von Wetter und Witterung sind. Zwar gibt es auch hier Nachfragespitzen im Sommer, diese fallen aber weniger markant im Vergleich zu den Küstenregionen oder den Alpen aus. Zu berücksichtigen ist bei der Interpretation allerdings auch, dass die Einteilung der touristischen Großräume unterschiedlich fein ist: Die Räume „Alpen und Alpenvorland“



Vielfältige und saisonübergreifende Angebote können in stark saisonal geprägten Reisezielen für mehr Unabhängigkeit von der Kernsaison sorgen. (Foto: © Micha Trillhaase / stock.adobe.com)

sowie „Küste“ sind sehr eng abgegrenzt und damit auf bestimmte touristische Angebote zugeschnitten, die „Mittelgebirge“ und vor allem die „Übrigen Gebiete“ sind dagegen sehr viel großzügiger zusammengefasst – letztere umfassen beispielsweise den verdichteten Großraum Stuttgart ebenso wie das ländliche Ostfriesland, das Rheintal, die Lüneburger Heide oder die Mecklenburgische Schweiz und Seenplatte. In diesen weiter gefassten touristischen Großräumen gleichen sich Nachfrageunterschiede zwischen den unterschiedlichen Reisegebieten mit ihrer Angebotsvielfalt stärker aus. Des Weiteren ist zu berücksichtigen, dass die Nachfrage und auch ihre saisonale Verteilung von einer Vielzahl allgemeiner Faktoren beeinflusst sind, beispielsweise den Terminen der Schulferien, der wirtschaftlichen Entwicklung einschließlich der Inflation oder dem demografischen Wandel.

Insgesamt hat die Saisonalität der Übernachtungen in den vergangenen Jahren in allen Tourismusräumen mit Ausnahme der urban geprägten Gebiete signifikant abgenommen. Bis einschließlich 2019 bedeutete das, dass die deutschlandweit zunehmenden Übernachtungszahlen in den bis dato nachfragestarken Monaten etwas weniger anstiegen als in den nachfrageschwächeren Monaten. Solange die touristische Nachfrage ein ökologisch und sozial vertretbares Maß einhält, kann eine solche Entwicklung einen Beitrag auch zur Klimaanpassung der Destinationen leisten.



Foto: © Jirapong / stock.adobe.com

Finanzwirtschaft

Überblick 288

**Wirkstrang „Extreme Witterungsereignisse und
Elementarschadenversicherung“** 291

Auswirkungen des Klimawandels – Impact

FiW-I-1 **Schadenquote, Schaden-Kosten-Quote bei der
Verbundenen Wohngebäudeversicherung** 292

Anpassungen an den Klimawandel – Response

FiW-R-1 **Bewusstsein der Bevölkerung für Sturm- und
Hochwasserrisiken** 294

FiW-R-2 **Wahrnehmung der Relevanz physischer Klimarisiken
bei Finanzdienstleistern** 296



Zur Bedeutung des Handlungsfelds

Banken, Sparkassen und Versicherungen sind wichtige Akteure bei der Transformation zu einer CO₂-neutralen und klimaresilienten Wirtschaft. Sie spielen eine Schlüsselrolle für die Umsetzung des europäischen „Green Deal“, mit dem bis 2050 der Übergang zu einer klimaneutralen, ressourceneffizienten und wettbewerbsfähigen Wirtschaft geschaffen werden soll. Kreditinstitute müssen dafür sorgen, dass sowohl für den Klimaschutz als auch für klimabedingte Schadenfälle ausreichend Liquidität

für benötigte Investitionen bereitgestellt werden kann. Versicherer spielen eine wichtige Rolle für die kollektive Risikoübernahme und Risikoteilung. Die Umsetzung des Green Deal erfordert einen sehr grundlegenden Transformationsprozess, der aber nur dann erfolgreich gelingen kann, wenn das Finanzsystem stabil ist. Es muss daher selbst auf der Grundlage eines gut funktionierenden Risikomanagements sowohl wirtschaftlich resilient als auch klimaresilient aufgestellt sein.

DAS-Monitoring – was im Klimawandel passiert

Finanzdienstleister sind nicht nur wichtige Akteure bei Klimaschutz und Klimaanpassung, sie sind auch selbst von den Folgen des Klimawandels betroffen. Die Versicherungen und Kreditinstitute sind in Sachen Risiko sehr eng mit ihrer Kundschaft, also Privatpersonen und Unternehmen, verbunden. Das heißt, physische Klimarisiken, also die Auswirkungen extremer Wetter- und Witterungsereignisse sowie schleichender klimatischer Veränderungen, denen ihre Kundschaft ausgesetzt ist, können auch schnell zu wirtschaftlichen Risiken der Finanzinstitute werden. Die Versicherungsunternehmen beschäftigen sich vor diesem Hintergrund schon seit Längerem intensiv mit den möglichen Folgen des Klimawandels. Bei den Kreditinstituten hingegen werden negative Auswirkungen des Klimawandels auf die Bonität und Liquidität sowie die Sicherheit der Kreditnehmenden oder auch mögliche Wertverluste von Vermögensanlagen bislang weniger als Risiko bewertet. Dies gilt insbesondere für die regionalen Kreditinstitute, die nahezu ausschließlich innerhalb Deutschlands aktiv sind.

Die generellen wirtschaftlichen Risiken, mit denen Versicherungen umgehen müssen, unterscheiden sich deutlich zwischen den verschiedenen Versicherungsprodukten, und die Risiken haben Auswirkungen auf die Profitabilität der Versicherungsprodukte. So lassen sich mit Haftpflichtversicherungen oder der Hausratsversicherung in der Regel höhere Versicherungsgewinne erzielen, während es in der Verbundenen Gebäudeversicherung regelmäßig zu versicherungstechnischen Verlusten kommt. Die Profitabilität wird anhand der Schaden-Kosten-Quote ermittelt. Liegt sie über 100 %, macht das Unternehmen mit dem Versicherungsgeschäft Verlust. Extremwetterereignisse haben in den letzten zwanzig Jahren immer wieder zu versicherungstechnischen Verlusten in der Gebäudeversicherung geführt (siehe Indikator FiW-I-1, Seite 292). Das Jahr 2021 ist mit versicherten Schäden in Höhe von 11 Mrd. Euro infolge der Hochwasserkatastrophe mit Schwerpunkt im Ahrtal bisher das teuerste Schadensjahr.

Die künftigen Klimarisiken – Ergebnisse der KWRA

Die Finanzwirtschaft allgemein ist in der Klimawirkungs- und Risikoanalyse 2021 (KWRA, siehe Lesehilfe, Seite 7) als Querschnittsfeld geführt. Es wurden daher keine Klimawirkungen beschrieben und keine Klimawirkungs-

bewertungen durchgeführt. Die Versicherungswirtschaft und das Bankenwesen spezifisch werden aufgrund ihrer relevanten Bedeutung für die Steigerung der Anpassungskapazität in den DAS-Handlungsfeldern hervorgehoben.

Wo haben wir Daten- und Wissenslücken?

Das Indikatorenset für das DAS-Handlungsfeld „Finanzwirtschaft“ konnte gegenüber dem letzten DAS-Monitoringbericht 2019 um einen zusätzlichen Response-Indikator (FiW-R-2) erweitert werden. Dennoch lassen sich vor allem für das Bankenwesen wichtige Themen bisher nicht mit quantitativen Indikatoren fassen: Weder die Betroffenheit von Bankgeschäften durch Klimawandelfolgen noch

das diesbezügliche Risikomanagement der Banken lässt sich mit repräsentativen Daten beschreiben: Die Banken in Deutschland haben gerade erst begonnen, sich systematischer mit dem Thema Klimawandel zu befassen. Aufsichtsbehörden und politisch Verantwortliche nehmen jedoch die klimabedingten Auswirkungen auf die Branche immer genauer unter die Lupe.

Auf europäischer Ebene wurden mit der Neufassung der „Corporate Sustainability Reporting Directive – CSRD“ von 2022 und der 2020 in Kraft getretenen europäischen Taxonomie-Verordnung die Anforderungen an die nichtfinanzielle Berichterstattung deutlich erweitert. Die Resilienz gegenüber dem Klimawandel und der Klimaschutz rücken damit stark in den Fokus der Unternehmensberichterstattung. Zudem stehen neue Regulierungen seitens der European Banking Authority (EBA) und der deutschen Bundesanstalt für Finanzdienstleistungsaufsicht (BaFin) bevor, die systemrelevante Banken dazu verpflichten, zukünftig die Kreditsummen, die gegenüber physischen Klimarisiken exponiert sind, differenziert offenzulegen. Mit Daten aus diesen Berichterstattungen wird es künftig mehr Transparenz geben. Da die Daten, zumindest teilweise, auch öffentlich zugänglich sein werden, entstehen neue Möglichkeiten, den Umgang mit Klimarisiken in der Finanzwirtschaft mit DAS-Monitoring-Indikatoren abzubilden. Der im Monitoringbericht 2023 erstmals präsentierte Indikator zur Wahrnehmung physischer Klimarisiken durch die Finanzdienstleister (FiW-R-2, Seite 296) ist vor diesem Hintergrund als Proxy-Indikator zu verstehen. Er basiert auf einem kleinen Datensatz zu wenigen Finanzdienstleistern, die im Rahmen des CDP freiwillig berichten, und dient primär dem Zweck, die wichtige Thematik des Klimarisikomanagements in der Finanzwirtschaft im DAS-Monitoring zu verankern.

Die beschriebenen Erweiterungen der europäischen und deutschen Berichtspflichten gelten nicht nur für das Bankenwesen, sondern auch für die Versicherungsunternehmen. Auch in der Versicherungswirtschaft gibt es nach wie vor Defizite in der systematischen Bewertung von

Klimarisiken und im Risikomanagement. Da sich Klimarisiken teilweise sehr direkt auf die Profitabilität bestimmter Versicherungsprodukte auswirken, setzen sich die Versicherungsunternehmen grundsätzlich aktiver mit den Klimawandelfolgen für den Versicherungsmarkt auseinander. Der GDV publiziert seit 2012 jährlich den Naturgefahrenreport als Schaden-Chronik der deutschen Versicherer. Auch bei den Rückversicherern wie der Munich Re sind die Auswirkungen des Klimawandels schon länger im Blick. Auf der Grundlage der GDV-Daten lassen sich für die bereits am Markt etablierten Versicherungsprodukte wie die Elementarschadenversicherung für Gebäude (eEV), die seit Mitte der 1990er-Jahre angeboten wird, Indikatoren zu Schadendaten generieren (siehe Indikatoren BAU-I-5, Seite 226, und FiW-I-1, Seite 292). Bei Versicherungsprodukten, die noch wenig am Markt etabliert sind und für die die Versicherungsdichten noch gering sind, sind diese Schadendaten noch nicht ausreichend repräsentativ.

Neben der bereits erwähnten eEV wird an weiteren Versicherungsprodukten gearbeitet, mit denen sich Klimarisiken insbesondere auch in der Landwirtschaft künftig absichern lassen. Der GDV unterstützt zwar die Diskussion um die Entwicklung von Klimarisikoversicherungen und entwickelt Produktdesigns, hat aber keinen Überblick darüber, ob und wie seine Mitgliedsunternehmen diese letztendlich in gängige Marktprodukte umsetzen. Aufgrund starker Konkurrenzen auf dem Versicherungsmarkt verhalten sich die Mitgliedsunternehmen selbst sehr diskret hinsichtlich der Veröffentlichung ihrer Strategien und Produktentwicklungen. Die Marktentwicklung lässt sich daher nicht mit Indikatoren abbilden.

Was getan wird – einige Beispiele

Versicherungsunternehmen, Kreditinstitute und weitere Akteure des Finanzsektors sind aufgrund des Klimawandels in vielfältiger Weise gefordert. Die Kreditinstitute müssen bei der Prüfung von Kreditwünschen dafür sorgen, dass Klimaschutz und Anpassung berücksichtigt werden und nach klimabedingten Schadenfällen durch Kreditvergabe ausreichende Liquidität zur Schadenbewältigung und zum Wiederaufbau bereitgestellt wird. Versicherer spielen eine wichtige Rolle für die kollektive Risikoübernahme und Risikoteilung.

Wissenschaftliche Analysen zeigen, dass bei den Banken die Themen Risikomanagement und Klimawandelanpassung noch immer unzureichend und zu wenig systematisch adressiert werden (siehe Indikator FiW-R-2, Seite 296). Im Vordergrund der Wahrnehmung stehen nach wie vor die transitorischen Risiken.

Das sind regulatorische Risiken, die aus verschärften Klimaschutzauflagen für die Kundschaft entstehen, sowie Reputationsrisiken, die mit Investitionen der Banken in klimaschädliche Projekte einhergehen können. Diesen Risiken wird insgesamt ein größeres Schadenspotential zugerechnet als den physischen Klimarisiken. Vor allem für international agierende Banken, die Bankgeschäfte auch in hoch vulnerablen Ländern betreiben (siehe Indikator IG-R-2, Seite 268), birgt dieser „blinde Fleck“ erhebliches Risikopotenzial. Aber auch für regional agierende Banken sind physische Risiken direkt oder indirekt relevant.

Die Entwicklungen zur Verbesserung der Transparenz im Risikomanagement von Finanzdienstleistern (CSRD, Taxonomie-Verordnung und neue Regulierungen durch EPA und BaFin) werden künftig zu einer intensiveren Analyse

physischer Risiken und erwartungsgemäß zur Umsetzung risikomindernder Maßnahmen beitragen. Eine höhere Transparenz ist zum einen bedeutsam, um die Leistungsfähigkeit und Stabilität der Banken auch im Krisenfall zu prüfen. Zum anderen trägt sie dazu bei, dass diejenigen, die Geld anlegen, informierte Entscheidungen treffen können. Mit dem allgemein steigenden Bewusstsein für Klimaschutz und Nachhaltigkeit entsteht auch eine wachsende Nachfrage nach nachhaltigen Kapitalanlagen.

Die Versicherungswirtschaft leistet mit ihren Produkten grundsätzlich einen wichtigen Beitrag zum gesellschaftlichen Risikotransfer. Klimarisikoversicherungen werden als ein zentrales strategisches Instrument für die Klimawandelanpassung gesehen. So wurde im Sendai Rahmenwerk für Katastrophenvorsorge 2015–2030 die Bedeutung von Versicherungen zur Verringerung von Katastrophenrisiken und Erhöhung der Widerstandsfähigkeit von Bevölkerung und Institutionen gegenüber Katastrophen hervorgehoben. Auch in der EU-Anpassungsstrategie 2021 wird die Schließung der Lücke beim Versicherungsschutz gegen Klimarisiken als wichtiger Schritt hin zu einer klimaresilienten EU gesehen. Europaweit sind im Durchschnitt derzeit nur etwa 35 % der klimabedingten wirtschaftlichen Verluste versichert, in einigen Teilen Europas sogar nur 5 % oder weniger²¹¹.

Wesentliche Voraussetzungen für einen umfangreicheren Versicherungsschutz sind zum einen die Verfügbarkeit attraktiver Versicherungsangebote, zum anderen die Bereitschaft der Bevölkerung, Versicherungsprodukte in Anspruch zu nehmen. An der Weiterentwicklung geeigneter Versicherungsinstrumente wird weltweit gearbeitet. In Deutschland ist die eEV inzwischen etabliert, allerdings noch immer mit einer zu geringen Versicherungsdichte (siehe Indikator BAU-R-4, Seite 234). Für die Land- und Forstwirtschaft fehlt es nach wie vor an passfähigen Angeboten für Klimarisikoversicherungen. Bestehende Angebote werden wegen hoher Kosten und fehlender staatlicher Unterstützung derzeit kaum nachgefragt. Generell hat die Finanzwirtschaft ein großes Potenzial, entsprechend benötigte Innovationen bei Versicherungsprodukten voranzutreiben. Begleitende wissenschaftliche Studien könnten diese Bestrebungen zusätzlich unterstützen²¹².

In Anbetracht des noch immer unzureichenden Risikobewusstseins in der Bevölkerung (siehe Indikator FiW-R-1, Seite 294) erscheint eine noch intensivere und stärker gebündelte Information zu Klimarisiken erforderlich. Zur Aufklärung über die Risiken von Gebäudeschäden und zur Erhöhung der Versicherungsbereitschaft wurden in den letzten Jahren von mehreren Bundesländern Elementarschadenkampagnen durchgeführt. Im Ergebnis waren

diese aber nur eingeschränkt erfolgreich und haben vor allem die ohnehin bereits sensibilisierten Personen angesprochen. Auch Instrumente wie der Hochwasser-Pass, die für die Sensibilisierung konzipiert wurden, wurden nicht effektiv weitergeführt. Mit dem internetgestützten Informationsinstrument Naturgefahren-Check, den der GDV anbietet, können sich Personen, die mieten oder ein Haus besitzen, sowie Unternehmen darüber informieren, wie stark ihr Gebäude gegenüber Naturgefahren exponiert ist und welche Anpassungsmaßnahmen möglich sind. Auch dieses Angebot wird aber erwartungsgemäß nur die ohnehin bereits interessierte Öffentlichkeit ansprechen. Um mit einem stärker gebündelten Informationsangebot breiter in die Gesellschaft hineinzuwirken, hat der DWD im Jahr 2022 angekündigt, in Kooperation mit der LAWA und dem Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (BBK) ein Naturgefahrenportal aufzubauen, mit dem sich künftig die konkreten Gefahren an einem bestimmten Ort digital abrufen lassen und darauf basierend Entscheidungen zur Prävention ermöglicht werden.

Risikotransfer über passfähige Versicherungslösungen reicht aber nicht immer aus, denn Versicherungen sollten bestenfalls nur Teil eines umfassenderen Risikomanagements sein. Im optimalen Fall flankieren Strategien zur operativen Risikominderung den Risikotransfer. So führen viele Versicherer inzwischen selbst individuelle Beratungen beispielsweise zu hochwasserangepassten Bauweisen durch und binden den Abschluss von Versicherungspolice teilweise an Anpassungsstandards, um Risiken zu mindern und damit auch Versicherungsprämien zu reduzieren. Insgesamt bedarf es aber einer deutlich intensiveren Kooperation zwischen Versicherungsunternehmen, der öffentlichen Hand, den Verbraucherschutzverbänden und den Versicherungsnehmenden. Diskutiert werden unter anderem die stärkere Verankerung von Anpassungsverpflichtungen in gesetzlichen und planerischen Grundlagen sowie Regularien, die beispielsweise die Siedlungsentwicklung in klimarisikoarme Gebiete lenkt (siehe Indikator RO-R-6, Seite 312). Weitere Ansatzpunkte sind die Gestaltung der Versicherungssteuer dahingehend, dass Versicherungsprämien bezahlbar werden, oder auch die Festsetzung eines staatlichen Mindestabsicherungsschutzes mit Aufbau eines staatlichen Pools, aus dem im Schadensfall finanzielle Unterstützungen möglich sind, ohne die Steuerzahlenden zu belasten und die Schäden zu vergemeinschaften. Auch eine enge Kooperation mit den Banken ist in diesem Kontext bedeutsam. So könnte beispielsweise die Vergabe von Hypothekenkrediten an einen Elementarschadenversicherungsnachweis gebunden werden oder dieser könnte zu einer Zinsverbilligung des Kredits führen.

Handlungsfeld-relevante Klimaveränderungen

Extremereignisse – Starkregen

Es wird davon ausgegangen, dass es infolge der geänderten meteorologischen Verhältnisse zu einer Intensivierung von wolken- und niederschlagsbildenden Prozessen kommt. Extremereignisse wie Starkniederschläge und Dauerregen könnten daher zunehmen. Da solche Ereignisse selten und mit hoher Variabilität auftreten, sind Trends bisher nicht statistisch signifikant. Es gibt aber für die letzten 20 Jahre Hinweise auf einen leichten Anstieg bei den Starkregenereignissen. Vor allem in den warmen Jahren kam es vermehrt zu extremen konvektiven Niederschlägen (siehe Seite 24). Diese Entwicklungen beeinflussen das Risiko von Hochwasser.



Foto: © Riocool / stock.adobe.com

Auswirkungen des Klimawandels

FiW-I-1 Schadenquote, Schaden-Kosten-Quote bei der Verbundenen Wohngebäudeversicherung

Physische Klimarisiken durch Extremwetterereignisse und langfristige Veränderungen der klimatischen Bedingungen können die Geschäftstätigkeit von Finanzdienstleistern stark beeinflussen. Insbesondere für die Versicherer führen meteorologische Extremereignisse zu hohen Forderungen beim Schadenausgleich. Die Schaden-Kosten-Quote zeigt an, ob ein Versicherungssegment profitabel ist. Die Verbundene Wohngebäudeversicherung mit und ohne Einschluss von Elementarschäden gilt generell als weniger rentables Segment. Schon einzelne regionale Extremereignisse können die bundesweiten Rentabilitätswerte in diesem Versicherungssegment negativ beeinflussen.



Foto: © Stillkost / stock.adobe.com

Anpassungen – Aktivitäten und Ergebnisse

BAU-R-4 Versicherungsdichte der erweiterten Elementarschadenversicherung für Wohngebäude

Der Einschluss der Elementardeckung (eEV) ergänzt die Verbundene Wohngebäudeversicherung, die unter anderem Sturm- und Hagelschäden abdeckt, um eine Absicherung von Schäden durch Überschwemmung, Starkregen, Schneedruck und Lawinen. Ein umfangreicherer Versicherungsschutz gegenüber diesen Schäden ist für einen gut funktionierenden Risikotransfer dringend erforderlich. Die Versicherungsdichte der eEV nahm seit 2001 kontinuierlich und signifikant zu, ist aber nach wie vor gering, sodass bei Extremereignissen noch immer zu viele Schäden nicht versichert sind.



Foto: © Christian / stock.adobe.com

FiW-R-1 Bewusstsein der Bevölkerung für Sturm- und Hochwasserrisiken

Trotz der aufrüttelnden Extremereignisse der letzten Jahre ist das Risikobewusstsein in der deutschen Bevölkerung noch immer gering. Repräsentative Bevölkerungsbefragungen im Rahmen der regelmäßigen Studie „Umweltbewusstsein in Deutschland“ zeigen, dass nicht einmal ein Viertel der befragten Personen davon ausgeht, dass für ihr Haus oder ihre Wohnung ein reales Schadensrisiko durch Stürme und Hochwasser besteht. Eine angemessene Risikowahrnehmung ist eine wesentliche Voraussetzung, um die Versicherungsbereitschaft zu erhöhen.



Foto: © Mr. Bolota / stock.adobe.com

2021 – bisher teuerstes Jahr für die Versicherer

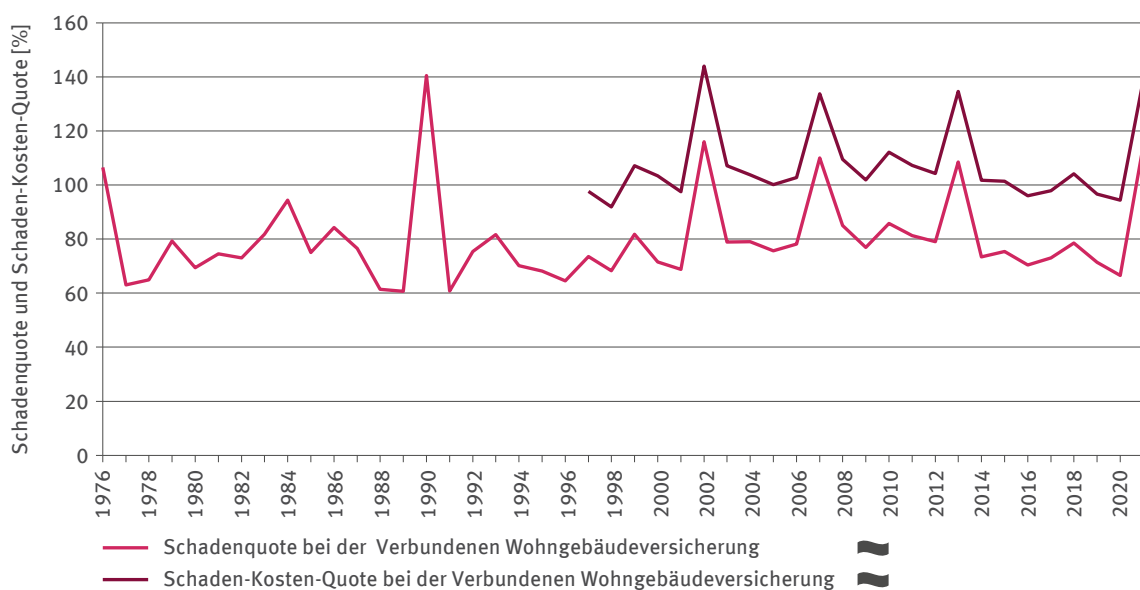
Steigende Schadensätze bedeuten steigende Leistungsanforderungen an die Versicherungsunternehmen, denn das Verhältnis zwischen Einnahmen und Ausgaben in dem jeweiligen Versicherungssegment verändert sich. Das ist für die Bilanz der Versicherungen von Bedeutung. Im Jahr 2021 verursachten Stürme und Hagel sowie weitere Naturgefahren, vor allem die Hochwasserkatastrophe im Zuge von Tief Bernd im Juli in Rheinland-Pfalz und Nordrhein-Westfalen Schäden an Wohngebäuden, Hausrat, Industrie, Gewerbe und Landwirtschaft in Höhe von insgesamt 11 Mrd. Euro. Das Jahr 2021 war damit – gefolgt vom Jahr 1990 mit einer Schadenssumme von 10,8 Mrd. Euro durch die schweren Orkane Daria, Vivian und Wiebke und vom Jahr 2002 mit versicherten Schäden in Höhe von 10,3 Mrd. Euro nach dem Augusthochwasser mit Schwerpunkt im Elbe- und Donauebiet (siehe Indikator WW-I-4, Seite 76) – das teuerste Schadensjahr für die Versicherer in den letzten 50 Jahren.²¹³

Ob ein Versicherungssegment profitabel ist, zeigt die sogenannte Schaden-Kosten-Quote („Combined Ratio“). Die Unwetterereignisse der letzten Jahre haben sich in der

Schaden-Kosten-Quote der Wohngebäudeversicherung niedergeschlagen. Liegt die Quote über 100%, bedeutet dies, dass das Unternehmen mit diesem Versicherungsgeschäft Verlust macht. Im Segment der Verbundenen Wohngebäudeversicherung liegt die Schaden-Kosten-Quote typischerweise vergleichsweise hoch. Hier kommt es regelmäßig zu versicherungstechnischen Verlusten. Die Daten der deutschen Versicherungsunternehmen werden seit 25 Jahren zentral zusammengeführt. Im Rückblick auf diesen Zeitraum wird deutlich, dass es den deutschen Versicherungsunternehmen bis 2015 nur in drei Jahren gelang (1997, 1998, 2001), mit der Verbundenen Wohngebäudeversicherung einen versicherungstechnischen Gewinn zu erzielen. Zwischen 2002 und 2014 hatten die Wohngebäudeversicherer ein versicherungstechnisches Minus von über 7 Mrd. Euro akkumuliert. Lange war in der Verbundenen Wohngebäudeversicherung die Preiskonkurrenz am Versicherungsmarkt hoch, sodass die Versicherungsunternehmen gezögert haben, die Kalkulationen der Prämien anzupassen. Nach der Überwindung dieser Preiskämpfe in der Wohngebäudeversicherung und den dann erfolgten

FiW-I-1: Schadenquote, Schaden-Kosten-Quote bei der Verbundenen Wohngebäudeversicherung

Die Verbundene Wohngebäudeversicherung ist für die Versicherungsunternehmen generell ein weniger rentables Geschäft. Nach Preisreaktionen auf steigende Schadensummen wurden in den Jahren 2016, 2017, 2019 und 2020 wieder versicherungstechnische Gewinne erzielt: Die Schaden-Kosten-Quote unterschritt die 100%-Marke. Die Hochwasserkatastrophe 2021 im Ahr- und Erfttal brachte einen neuen Schadenrekord und unterbrach diese Entwicklung.



Datenquelle: GDV (Branchenstatistik)

Prämienhöhungen lag die Schaden-Kosten-Quote für die Jahre 2016 und 2017 sowie 2019 und 2020 wieder unter 100 %, sodass in diesen Jahren wieder ein versicherungstechnischer Gewinn in der Verbundenen Wohngebäudeversicherung erwirtschaftet wurde. Das gravierende Schadenjahr 2021 hat diese für die Versicherer positive Entwicklung allerdings jäh unterbrochen. Ein statistisch signifikanter Trend bei der Entwicklung der Schaden-Kosten-Quote lässt sich bisher nicht ermitteln.

Betrachtet man die Zeitreihe der Schadenquote, welche die Verwaltungs- und Abschlusskosten nicht berücksichtigt und daher keine unmittelbaren Aussagen zur Rentabilität des Versicherungsgeschäfts zulässt, zeigt sich ein ähnliches Bild. Auch hier ist ein Trend noch nicht ersichtlich.

Wollen die Versicherungsunternehmen weitere Prämiensteigerungen für ihre Versicherten vermeiden, werden sie voraussichtlich mehr Eigenvorsorge von diesen einfordern müssen. Das bedeutet, die Hausbesitzenden müssen selbst aktiv werden und nachweisen, dass sie durch bauliche Maßnahmen ihre Gebäude besser vor den Folgen von Naturgefahren schützen. Zudem ist eine konsequente Verankerung der Anpassung an den Klimawandel im Bauordnungsrecht bis hin zum Erlass von Bauverboten in exponierten Gebieten erforderlich, um die Risiken zu reduzieren (siehe Indikator RO-R-6, Seite 312). Eine Ausweitung des Versicherungsschutzes insbesondere in der Elementarschadenversicherung zur Erreichung einer höheren Versicherungsdichte (siehe Indikator BAU-R-4, Seite 234) kann dazu beitragen, dass das Risiko noch stärker gestreut wird, da davon ausgegangen werden kann, dass nicht alle Regionen Deutschlands gleichermaßen von einzelnen Elementarschadenereignissen getroffen werden.

Die Versicherungswirtschaft geht derzeit davon aus, dass Schäden aus Naturgefahren in Deutschland auch angesichts des Klimawandels weiterhin versicherbar bleiben, und setzt sich daher für marktwirtschaftliche, risikobasierte Lösung ein. Niemand kann aber sicher voraussagen, wie sich die Schäden künftig entwickeln werden. Daher werben die Versicherer auch für ein Instrument, mit dem der Staat im Falle eines katastrophalen Kumulschadens unterstützend tätig wird und extreme gesellschaftliche Verluste und Belastungen bei Versicherten abfedert²¹⁴.



Große Schadereignisse schlagen sich in der Bilanz von Versicherungsunternehmen nieder. (Foto: © Stillkost / stock.adobe.com)

Risikobewusstsein in der Bevölkerung steigt leicht

Für die Versicherungswirtschaft ist ein angemessenes Risikobewusstsein der Bevölkerung und der Unternehmen eine ihrer wichtigsten Geschäftsgrundlagen. Nur wenn dieses Bewusstsein breit verankert ist und sich infolgedessen viele Menschen versichern, lassen sich ausreichend große Risikogemeinschaften für eine Versicherung bilden, die sicherstellen, dass die Versicherungsprämien erschwinglich sind.

Wie Menschen Gefährdungen beziehungsweise Risiken wahrnehmen, wie sie die möglichen Folgen und den Handlungsbedarf einschätzen, ist individuell sehr unterschiedlich. Neben harten naturwissenschaftlich belegten und messbaren Faktoren, die das Ausmaß des Risikos bestimmen, gibt es zahlreiche subjektive Komponenten, die die Risikowahrnehmung in erheblichem Maße beeinflussen können. Risikowahrnehmungen sind dabei oftmals verzerrt. Sie können einerseits geprägt sein von unrealistischem Optimismus und der Illusion, alles unter Kontrolle zu haben, andererseits von den Eindrücken aktueller katastrophaler Ereignisse, die große

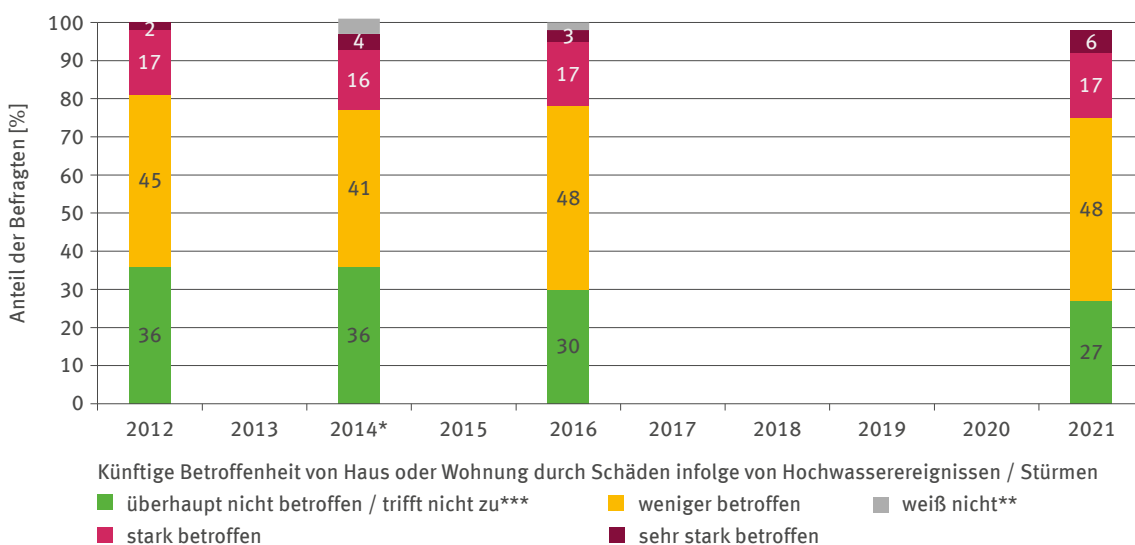
Betroffenheit auslösen und zur Überschätzung einzelner Risiken führen können.

Dies zeigen die Ergebnisse der repräsentativen Bevölkerungsumfrage „Umweltbewusstsein in Deutschland“ beziehungsweise der Zusatzbefragung, die regelmäßig im Auftrag des UBA und des Bundesumweltministeriums durchgeführt wird²¹⁵. Die Befragten geben darin Einschätzungen ab, in welchem Umfang sie persönlich von den Folgen des Klimawandels betroffen sein werden. Im Jahr 2012 gaben noch 81 % der Befragten an, sie würden sich weniger bis überhaupt nicht in der Gefahr sehen, dass Hochwasserereignisse und Stürme zu Schäden an ihrem Haus oder ihrer Wohnung führen. An dieser Einschätzung hatte sich auch in den Folgebefragungen wenig geändert: 2014 sahen sich 77 % und im Jahr 2016 78 % weniger oder nicht betroffen. Die neuerliche Befragung im Jahr 2021 macht deutlich, dass das Risikobewusstsein weiter gestiegen ist. Sehr deutlich fällt die Steigerung vor allem in der Kategorie derjenigen aus, die sich nun als stark betroffen einschätzen. Die Umfrage wurde im September 2021 durchgeführt, also zwei Monate nach



FiW-R-1: Bewusstsein der Bevölkerung für Sturm- und Hochwasserrisiken

Das Risikobewusstsein in der deutschen Bevölkerung ist trotz der Extremereignisse der vergangenen Jahre noch immer gering. Nicht einmal ein Viertel der befragten Personen geht davon aus, dass für ihr Haus oder ihre Wohnung ein reales Schadensrisiko durch Stürme und Hochwasser besteht. Die im Jahr 2021 Befragten antworteten vermutlich noch unter dem Eindruck der Juli-Hochwasserkatastrophe: Ein höherer Anteil ging von einer sehr starken Betroffenheit aus.



* seit 2014 Rundungsfehler durch fehlende Dezimalstellen
 ** seit 2014
 *** seit 2021

BMUB/BMUV & UBA (Studie „Umweltbewusstsein in Deutschland“, für 2021: Zusatzbefragung im Rahmen der Studie „Umweltbewusstsein in Deutschland 2020“)

dem katastrophalen Hochwasser im Ahr- und Erfttal. Es ist davon auszugehen, dass die Befragten noch unter dem Eindruck dieser Ereignisse geantwortet haben. Die aus den Befragungen gewonnenen Werte erlauben allerdings nur eingeschränkte Interpretationen, da sie nicht mit der Information über die tatsächliche Exposition der Befragten gegenüber den genannten Klimawandelfolgen verbunden sind.

Generell muss davon ausgegangen werden, dass die deutsche Bevölkerung die Risiken nach wie vor unterschätzt. Vor allem die zunehmenden Starkregenereignisse geben Anlass zur Besorgnis. Diese können auch fernab der großen Flussläufe und der als hochwassergefährdet eingestuften Bereiche zu massiven Überschwemmungen führen, wenn kleine Gewässer rasch anschwellen und über die Ufer treten. Wenn – wie im Juli 2021 – regional innerhalb von 24 Stunden 150l/m² Niederschlag fallen, kann die Landschaft diese Wassermassen nicht mehr aufnehmen (siehe Indikator WW-I-5, Seite 78). Generell können extreme kleinräumige Starkregen kurzer Andauer, die eine hohes Schadenspotenzial haben, in Deutschland jeden treffen (siehe Seite 25 und Abbildung 8). Vergleichbares gilt auch für Stürme, wobei es hier sowohl bezüglich der Messungen als auch der Projektionen noch größere Unsicherheiten gibt.

Zum geringen Risikobewusstsein kommt hinzu, dass viele Menschen glauben, sie seien über ihre bestehenden Versicherungen bereits ausreichend gegen Schäden infolge des Klimawandels versichert. In vielen Fällen wird dabei trotz aller Informationskampagnen nach wie vor übersehen, dass die übliche Verbundene Wohngebäudeversicherung beispielsweise Schäden aus starken Überflutungen nicht abdeckt. So ist die Versicherungsdichte in der erweiterten Elementarschadenversicherung noch immer gering (siehe Indikator, BAU-R-4, Seite 234).

Damit die bestehenden Möglichkeiten der Klimafolgen-Risikominderung von der Bevölkerung besser ausgeschöpft und die notwendigen Vorsorgemaßnahmen und Absicherungen getroffen werden, sind zwei Faktoren besonders wichtig: Die Bevölkerung muss sich zunächst über das eigene Risiko und ihre mögliche Betroffenheit informieren, und sie muss für den Bedarfsfall alltagstaugliche Handlungsoptionen kennen und nutzen können.

Hilfestellung hierfür leistet unter anderem das seit Mitte 2020 verfügbare internetgestützte Informationsinstrument „Naturgefahren-Check“ des GDV, das Personen, die mieten oder ein Haus besitzen, sowie Unternehmen darüber informiert, wie stark ihr Gebäude gegenüber Naturgefahren exponiert ist. Nach Eingabe der Postleitzahl



Die Ahrtal-Katastrophe in 2021 hat offengelegt, wie verwundbar die Bevölkerung auch in Deutschland gegenüber Klimafolgen ist. (Foto: © Mr. Bolota / stock.adobe.com)

erfahren die Nutzenden, welche Schäden Unwetter am eigenen Wohnort ausgelöst haben. Nach Eingabe der konkreten Adressdaten kann seit 2022 über den Hochwasser-Check für jeden Standort auch die Gefahr von Starkregen und von Flusshochwasser abgefragt werden. Das Tool bietet auch allgemeine Handlungsempfehlungen an. Der „Naturgefahren-Check“ soll das Bewusstsein der Menschen für die Risiken von Naturereignissen schärfen und zur Eigenvorsorge auffordern. Um das Informationsangebot zu einem breiten Spektrum von Naturgefahren besser zu bündeln, arbeitet der DWD aktuell zusammen mit LAWA und BBK am Aufbau eines Naturgefahrenportals, mit dem sich künftig die konkreten Gefahren an einem bestimmten Ort digital abrufen lassen und darauf basierend Entscheidungen zur Prävention ermöglicht werden. Aufgrund seiner soliden Informationsbasis könnte dieses Instrument auch breiter in die Gesellschaft hineinwirken.

Klimarisiken bei Finanzdienstleistern noch unterschätzt

Finanzdienstleister wie Banken, Sparkassen und Versicherungen sind wichtige Akteure bei der Transformation zu einer CO₂-neutralen und klimaresilienten Wirtschaft und bei der Umsetzung des europäischen „Green Deal“. Sie haben die Aufgabe, die Finanzierung von Investitionen zur Umsetzung nachhaltiger Unternehmensziele für Klimaschutz und Klimawandelanpassung zu ermöglichen. Zudem sind sie aufgefordert, klimabezogene Risiken im Finanzsystem besser zu erkennen und gezielt zu managen, also eine entsprechende finanzielle Vorsorge zu treffen. Angestrebt wird eine höhere Transparenz im Finanzwesen, sodass diejenigen, die Geld anlegen, informierte Entscheidungen treffen können.

Finanzdienstleister stehen in besonderer Verantwortung, mit einem zielgerichteten Risikomanagement zu verhindern, dass die Folgen des Klimawandels auf die Finanzmärkte durchschlagen und zu einer Destabilisierung führen. Dieses Risiko lässt sich reduzieren, indem Banken und Investoren Klimarisiken systematisch in ihren Arbeitsprozessen berücksichtigen. Sie müssen sich darüber klar sein, dass sie als Kapitalgeber von Unternehmen

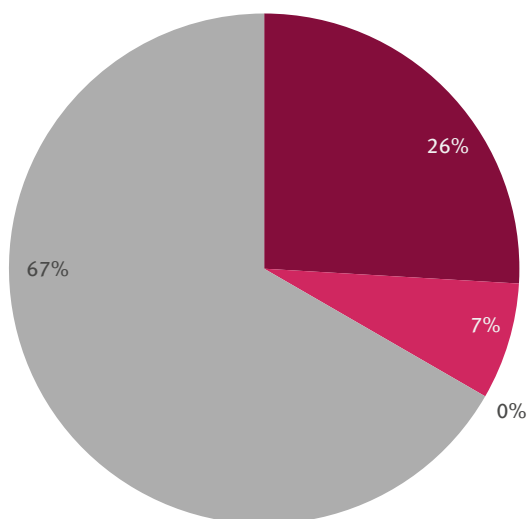
der Realwirtschaft, die infolge physischer Klimarisiken möglicherweise finanzielle Einbußen erleiden oder gar illiquide werden, auch selbst stark betroffen sein können.

Bei den Finanzministerien und Zentralbanken der G20-Staaten gibt es seit Mitte der 2010er-Jahre zunehmend Befürchtungen, dass sowohl ein starker Klimawandel als auch eine wirksame Klimaschutzpolitik das Potenzial haben, die Finanzmarktstabilität zu beeinträchtigen. Vor diesem Hintergrund wurde vom FSB, das als eine internationale Einrichtung für die G20 arbeitet, die TCFD eingerichtet, die sich aus Fachleuten der Real- und Finanzwirtschaft zusammensetzt. Sie hat untersucht, welche Informationen Finanzmarktakteure von Unternehmen benötigen, um klimabezogene Risikoabschätzungen vornehmen und darauf aufbauend Empfehlungen entwickeln zu können.

Die Empfehlungen der TCFD zur verbesserten Berichterstattung aus dem Jahr 2017²¹⁶ sind in die Überarbeitung der europäischen „Corporate Social Responsibility“-Richtlinie (CSR-Richtlinie) aus dem Jahr

FiW-R-2: Wahrnehmung der Relevanz physischer Klimarisiken bei Finanzdienstleistern

Für die Stabilität des Finanzsystems im Klimawandel ist es von immenser Bedeutung, dass die Finanzdienstleister die mit ihrer Geschäftstätigkeit verbundenen Klimarisiken realistisch einschätzen. Von 27 Finanzdienstleistern, die im Jahr 2021 im Rahmen des CDP freiwillig berichteten, traf nur ein Drittel eine Aussage zur Einschätzung der Klimarisiken für ihre Tätigkeit. Vermutlich werden die Risiken von den Finanzdienstleistern nach wie vor unterschätzt.



Anteil der Finanzdienstleister, die im Jahr 2021 freiwillig im Rahmen des CDP Bericht erstattet haben [%]
N = 27

Wahrnehmung physischer Klimarisiken als:

- hoch relevant
- teilweise relevant
- nicht relevant
- keine Angaben

Datenquelle: Datenbank CDP Klima
(Auswertung von Datensätzen aus der Demo-Version durch die Frankfurt School of Finance & Management gGmbH)

2014 eingegangen. Die novellierte „Corporate Sustainability Reporting Directive – CSRD“ von 2022 sieht nun deutlich erweiterte nichtfinanzielle Berichtspflichten vor. Diese sollen künftig deutlich machen, wie resilient die Unternehmen gegenüber dem Klimawandel und den Auswirkungen einer wirkungsvollen Klimaschutzpolitik sind. Im engen Zusammenhang mit diesen europäischen Richtlinien steht die 2020 in Kraft getretene europäische Taxonomie-Verordnung. Danach müssen Finanzmarktteilnehmer, die Finanzprodukte anbieten, zukünftig in ihren Erklärungen angeben, welche Anteile ihres Portfolios Taxonomie-konform sind. Als Taxonomie-konform gelten Aktivitäten, die der Erreichung der oben genannten Ziele des „Green Deal“ dienen.

Ergänzt oder erweitert werden diese Berichtspflichten auch durch die bevorstehenden Regulierungen von deutschen und europäischen Aufsichtsbehörden wie der BaFin und der EBA. So müssen systemrelevante Banken zukünftig die Summen von Krediten, die gegenüber physischen Klimarisiken exponiert sind, gemäß Säule 3 (erhöhte Standards für die Offenlegung) der Eigenkapitalvorschriften des Basler Ausschusses für Bankenaufsicht (Basel III) differenziert nach geographischer Zuordnung und Sektor offenlegen (siehe auch Indikator IG-R-1, Seite 266).

Aufbauend auf diesen neu zu generierenden Datensätzen werden sich in Zukunft deutlich validere Aussagen zum Risikomanagement von Finanzdienstleistern treffen lassen. Der hier dargestellte Indikator zur Wahrnehmung der Relevanz physischer Klimarisiken bei Finanzdienstleistern ist vor diesem Hintergrund als ein Stellvertreter-Indikator zu betrachten, der nach Verbesserung der Datenverfügbarkeit zwingend weiterzuentwickeln ist. Er basiert auf Daten des CDP (vormals Carbon Disclosure Projekt), im Rahmen dessen seit rund 20 Jahren Unternehmen der Finanzwirtschaft und Realwirtschaft freiwillig zu Treibhausgasemissionen und weiteren Umweltauswirkungen ihrer Geschäftstätigkeit berichten. Im CDP-Klima treffen die berichtenden Unternehmen Aussagen dazu, wie sie die physischen Klimarisiken für ihre Unternehmenstätigkeit einschätzen.

Von den 27 Finanzdienstleistern, die im Jahr 2021 im Rahmen von CDP-Klima berichtet haben, haben mehr als zwei Drittel keine Einschätzung zur Relevanz physischer Klimarisiken abgegeben. Die übrigen Unternehmen haben diese als relevant oder auch hoch relevant bewertet, keines hat die Relevanz direkt negiert. Von dem hohen Anteil nicht getätigter Einschätzungen könnte man auf Unsicherheiten bei der Bewertung dieser Risiken oder auf eine fehlende Auseinandersetzung mit diesen Herausforderungen rückschließen.



Finanzdienstleister müssen die mit ihrer Geschäftstätigkeit verbundenen Klimarisiken realistisch einschätzen, um die Stabilität des Finanzsektors zu gewährleisten.
(Foto: © PaeGAG / stock.adobe.com)

In Anbetracht der geringen Anzahl der Finanzdienstleister, die berichtet haben, können die Auswertungen nicht als repräsentativ erachtet werden. Allerdings kommt eine Umfrage der Bundesbank und der BaFin, die im April 2022 unter 1.300 kleinen und mittelgroßen Banken und Sparkassen in Deutschland durchgeführt wurde, zu einem ähnlichen Ergebnis: Die Klimarisiken werden als nur gering bis moderat eingeschätzt²¹⁷.

Die vermutete Geringschätzung der Relevanz von Klimarisiken birgt das große Risiko, dass die Finanzdienstleister die physischen Klimarisiken weder systematisch erfassen noch angemessen einpreisen. Sie werden dann auch nicht die erforderlichen Impulse zur Minderung der materiellen Klimarisiken an die Unternehmen der Realwirtschaft geben, die von ihnen mit Finanzmitteln ausgestattet werden.



Foto: © darknightsky / stock.adobe.com

Raumordnung, Regional- und Bauleitplanung

Überblick	300
------------------	-------	------------

Anpassungen an den Klimawandel – Response

RO-R-1	Vorrang- und Vorbehaltsgebiete für Natur und Landschaft	302
RO-R-2	Vorrang- und Vorbehaltsgebiete für Grundwasserschutz / Trinkwassergewinnung	304
RO-R-3	Vorrang- und Vorbehaltsgebiete für (vorbeugenden) Hochwasserschutz	306
RO-R-4	Vorrang- und Vorbehaltsgebiete für besondere Klimafunktionen.....	308
RO-R-5	Anstieg der Siedlungs- und Verkehrsfläche	310
RO-R-6	Siedlungsnutzung in amtlich festgesetzten Überschwemmungsgebieten.....	312



Zur Bedeutung des Handlungsfelds

Raumordnung, Regional- und Bauleitplanung können die Anpassung an den Klimawandel in zwei wesentliche Richtungen unterstützen. Zum einen können sie auf den jeweiligen Planungsebenen gezielt die Risikovor-sorge fördern und die Flächennutzung so steuern, dass bestehende oder zu erwartende Klimarisiken beispielsweise durch extreme Wetter- und Witterungsereignisse und ihre Folgen gemindert werden. Zum Beispiel können mit den verschiedenen Planwerken die Siedlungs- und Infrastrukturentwicklung in risikoarme Bereiche gelenkt,

Überschwemmungsbereiche als Retentionsräume gesichert oder Freiräume als klimatische Ausgleichsbereiche oder für die Vernetzung von Lebensräumen geschützt werden.

Zum anderen können Raumordnung, Regional- und Bauleitplanung dazu beitragen, Nutzungsansprüche und -erfordernisse, die sich als Folge des Klimawandels verändern, untereinander und mit den sich ändernden landschaftlichen Potenzialen planerisch in Einklang bringen.

DAS-Monitoring – was im Klimawandel passiert

Der Klimawandel trifft Deutschland nicht überall gleich. Die Auswirkungen der meteorologischen Veränderungen hängen unter anderem von regionalspezifischen Einflussfaktoren und Vulnerabilitäten ab. Die Regionen müssen sich ihren individuellen Herausforderungen stellen und die erwarteten Folgen möglichst frühzeitig und umfassend in ihren Planungsprozessen berücksichtigen.

Raumordnung, Regional- und Bauleitplanung selbst sind den Einflüssen von Wetter und Witterung allerdings weder unmittelbar ausgesetzt noch von diesen abhängig und insofern nicht direkt von den Auswirkungen des Klimawandels betroffen. Aus diesem Grund werden im DAS-Monitoring keine Aussagen zu Klimawandelfolgen für das Handlungsfeld getroffen.

Die künftigen Klimarisiken – Ergebnisse der KWRA

Raumordnung, Regional- und Bauleitplanung sind in der Klimawirkungs- und Risikoanalyse 2021 (KWRA, siehe Le-sehilfe, Seite 7) als ein gemeinsames Querschnittsfeld geführt. Klimawirkungen wurden für das Handlungsfeld in der KWRA daher nicht beschrieben und entsprechend auch keine Klimawirkungsbewertungen durchgeführt. Mit ihren Planungsinstrumenten geben Raumordnung, Regional- und Bauleitplanung auf der jeweiligen Ebene vor allem die planerischen Rahmenbedingungen für die Umsetzung

von Anpassungsprozessen vor. Nach den Ergebnissen der im Rahmen der KWRA durchgeführten Erhebung ist es wichtig, Anpassungsmaßnahmen in Regionalplanungsprozessen umfassender zu berücksichtigen. Dies kann unter anderem durch eine Stärkung der Klimaanpassung als expliziten Abwägungsgrund gelingen. Angesichts der für die Zukunft in Deutschland angenommenen Klimarisiken besteht insbesondere Bedarf an der Abwägung von Nutzungsinteressen natürlicher Ressourcen (Wasser, Boden).

Wo haben wir Daten- und Wissenslücken?

Landes- und Regionalplanung setzen die Anpassung an den Klimawandel explizit oder implizit in den raumordnerischen Zielen und Grundsätzen sowie in zeichnerischen Festlegungen der überörtlichen Planwerke für ihren jeweiligen Geltungsraum um. Die Inhalte der Planwerke sind im Raumplanungsmonitor RoPlaMo des BBSR erfasst und erlauben Auswertungen zum Stand der Klimaanpassung in der Raumplanung.

Städten und Gemeinden kommt die zentrale Aufgabe zu, Klimaanpassung vor Ort unter Berücksichtigung der planerischen Vorgaben umzusetzen. Als Planungsinstrumente stehen ihnen hierfür der Flächennutzungsplan

als Bindeglied zur überörtlichen Raumordnung und der Bebauungsplan für kleinräumigere Teilbereiche zur Verfügung. Einen Überblick, inwieweit die Kommunen die bestehenden Handlungsmöglichkeiten einsetzen, gibt es aber nicht. Einer Auswertung aus dem Jahr 2020 zufolge finden kommunale Klimaanpassungsmaßnahmen in diesen Plänen zwar zunehmend Berücksichtigung, dennoch verbleiben auf beiden Planungsebenen unausgeschöpfte Potenziale.²¹⁸ Die Auswertung von Flächennutzungs- und Bauleitplänen ist aufgrund des damit verbundenen großen Aufwands schwierig. Sie erfordert eine umfassende qualitative Analyse einer Vielzahl von Plänen. Mit Blick auf das DAS-Monitoring stehen derzeit

keine ausreichenden quantitativen Daten zur Verfügung, um die Berücksichtigung von Klimaanpassung in der Bauleitplanung in einem Indikator abzubilden. Datenlücken bestehen ebenso in Bezug auf die Integration des Aspekts Vulnerabilität in Planungskonzepte oder die Einbeziehung von Klimaschutz und -anpassung in umweltbezogene raumordnerische Instrumente wie zum Beispiel die Umweltverträglichkeitsprüfung.

Wird Klimaanpassung in der Regional- und Bauleitplanung berücksichtigt, bleibt unklar, welche Wirksamkeit die getroffenen Festlegungen in der Praxis entfalten. Der aktuelle rechtliche Rahmen führt beispielsweise zu einer Stärkung der Klimaanpassung als Abwägungsbelang. Es gibt allerdings keine Informationen dazu, inwieweit diese Belange im Rahmen von Abwägungsprozessen tatsächlich ins Gewicht fallen.

Was getan wird – einige Beispiele

Ein zentrales raumordnerisches Instrument, um Klimarisiken und Schadenspotenziale zu reduzieren, ist die Festlegung spezifischer Flächennutzungen. Unter anderem fördert die Regionalplanung durch die Flächensicherung für Natur und Landschaft die Erhaltung der Biodiversität (siehe Indikator RO-R-1, Seite 302): Der Biotopverbund stellt sicher, dass Tier- und Pflanzenarten ihr jeweiliges Verbreitungsgebiet an die sich ändernden klimatischen Bedingungen anpassen können. Die gezielte Ausweisung von zweckspezifischen Vorrang- und Vorbehaltsgebieten unterstützt darüber hinaus den Hochwasserschutz (siehe Indikator RO-R-3, Seite 306) und trägt dazu bei, in Zeiten häufiger auftretender Hitze und Trockenheit die Grund- und Trinkwasserreserven zu sichern (siehe Indikator RO-R-2, Seite 304) oder in betroffenen Regionen, insbesondere in sich aufheizenden Städten, bioklimatische Belastungen zu reduzieren (siehe Indikator RO-R-4, Seite 308). Die Ausdehnung einiger der berücksichtigten Flächenkategorien in den letzten Jahren ist ein Indiz für eine zunehmende Verankerung der Thematik in aktuellen Planungsprozessen.

Neben der gezielten Sicherung von ökologisch oder klimatisch wertvollen Flächen ist entscheidend, die Neuanspruchnahme von Flächen für Nutzungen zu reduzieren, die deren Potenzial zur Klimaanpassung beeinträchtigen. Der Fokus liegt vor allem darauf, den Zuwachs von Siedlungs- und Verkehrsfläche zu begrenzen (siehe Indikator RO-R-5, Seite 310). Trotz einer insgesamt immer langsamer wachsenden Siedlungs- und Verkehrsfläche über die letzten Jahre sind erhöhte Anstrengungen erforderlich, um beispielsweise durch Flächenrecycling oder Nachverdichtung ihre Ausdehnung zukünftig weiter zu verringern, ohne dabei aber bioklimatische oder sonstige Erfordernisse der Klimaanpassung zu vernachlässigen. Problematisch bleibt zudem, dass neue Wohnflächen aufgrund des hohen Siedlungsdrucks nach wie vor in Überschwemmungsgebieten entstehen (siehe Indikator RO-R-6, Seite 312). Regional- und Bauleitplanung müssen ihre Steuerungsfunktion konsequent für die Freihaltung von Überschwemmungsgebieten und Gebieten anderer Gefahren, beispielsweise Geogefahren, einsetzen.

Förderprogramme von Bund und Ländern unterstützen die Klimaanpassung in der Regionalplanung und besonders auch in der nachhaltigen Stadtentwicklung. Die Städtebauförderung von Bund und Ländern unterstützt Städte und Gemeinden, städtebauliche Missstände zu beseitigen und lebenswerte Quartiere zu schaffen. Klimaschutz und Anpassung sind dabei Fördervoraussetzung und als Querschnittsaufgaben programmübergreifend förderfähig. Das Bundesprogramm „Anpassung urbaner Räume an den Klimawandel“ fördert eine klimaangepasste (Weiter-) Entwicklung von Grün- und Freiflächen, etwa von Park- und Grünanlagen, sowie Entsiegelung und Begrünung von Frei- und Verkehrsflächen. Das „Weißbuch Stadtgrün“ formuliert dazu ebenso wie weitere Materialien des Bundes konkrete Maßnahmenvorschläge und Empfehlungen für die Integration städtischen Grüns in urbanen Räumen.²¹⁹

Die Maßnahmen und Empfehlungen des Bundes stützen sich auf die Ergebnisse verschiedener Forschungsvorhaben. Das BBSR betreut unter anderem das Aktionsprogramm „Modellvorhaben der Raumordnung“ (MORO), in denen das Spannungsfeld zwischen wachsenden Raumansprüchen und der immer begrenzteren Ressource Raum auf Ebene der Regionalplanung im Fokus steht. Weitere Projekte widmen sich der Forschung zu klimaresilientem Stadtbau oder Techniken einer wassersensiblen Stadtentwicklung. Die Erkenntnisse aus der Klimaanpassungsforschung des Bundes wurden im Rahmen der „Querauswertung zentraler Verbundvorhaben des Bundes zur Anpassung an den Klimawandel mit Fokus Stadt- und Regionalentwicklung“²²⁰ zusammengefasst und in Form von Berichten und Leitfäden für Kommunen und Regionen aufbereitet.

Da Klimawandelfolgen über Landesgrenzen hinweg auftreten, ist eine intensive und vernetzte Kommunikation ein Schlüssel für eine nachhaltige Regionalentwicklung. Hier unterstützt seit 2021 das ZKA. Zu seinen Aufgaben zählt die Beratung von Kommunen in allen Phasen der Entwicklung und Umsetzung von Klimaanpassungskonzepten. Darüber hinaus informiert das Zentrum zu passenden Fördermöglichkeiten.

Vorrang- und Vorbehaltsgebiete für Natur und Landschaft – Beitrag zur Biotopvernetzung

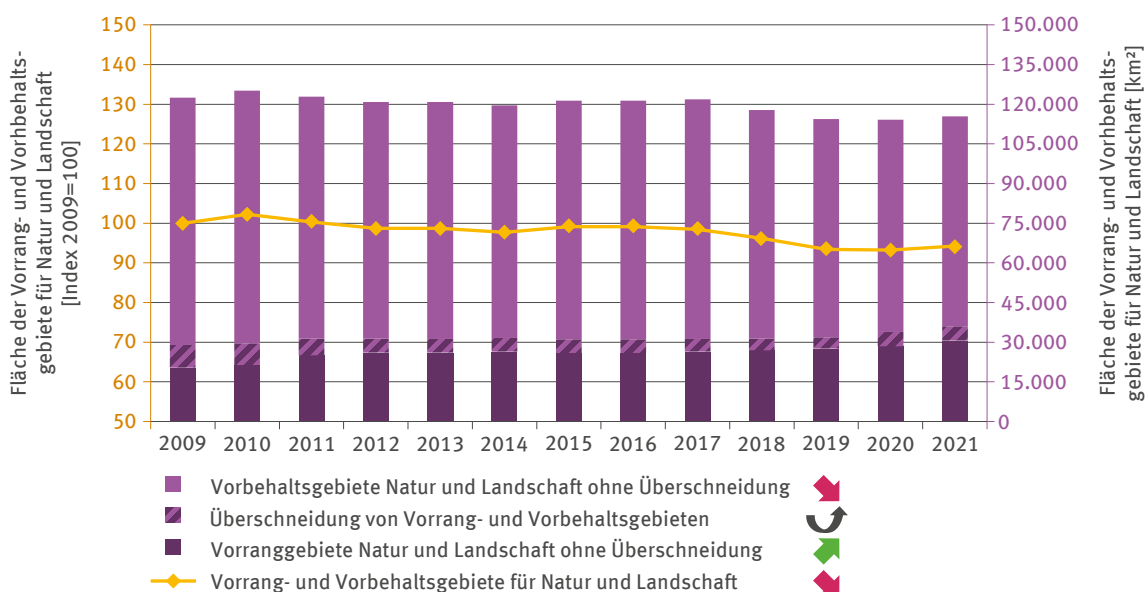
Der Klimawandel wird die Lebensraumbedingungen für Tier- und Pflanzenarten auf großer Fläche verändern. Höhere Temperaturen und ein sich änderndes Niederschlagsgeschehen sowie Extremereignisse wirken sich auf verschiedene Bestandteile von Ökosystemen aus und beeinflussen zum Beispiel den Nährstoffhaushalt, die Lebensraumstrukturen oder das verfügbare Nahrungsangebot. Letztlich bedeutet das: Die Grenzen von Lebensräumen von Tier- und Pflanzenarten verschieben sich.

Unter diesen Umständen ist für Fauna und Flora, insbesondere für spezialisierte Arten mit spezifischen Standort- und Habitatansprüchen, ein funktionierender Biotopverbund überlebensnotwendig. In einem zusammenhängenden Netz ökologisch bedeutsamer Freiräume ist es den Arten möglich, sich neue, klimatisch geeignetere Lebensräume mit einer ausreichenden Größe und Ausstattung zu erschließen. Nur so ist auch der für den Fortbestand der Arten notwendige Austausch zwischen verschiedenen Populationen und Vorkommen gewährleistet.

Mit der Ausweisung von Vorrang- und Vorbehaltsgebieten für Natur und Landschaft kann die Raumordnung einen Beitrag dazu leisten, dass ein planerisch gesichertes ökologisches Verbundsystem entstehen kann. Sie kann dadurch Flächen sichern oder mit Nutzungsbeschränkungen belegen und sie damit gegenüber konkurrierenden Flächennutzungsansprüchen schützen. Im Jahr 2021 war das auf etwas mehr als einem Drittel der Fläche der Bundesrepublik Deutschland der Fall: Insgesamt waren in diesem Jahr rund 115.000 km² als Vorrang- und / oder Vorbehaltsgebiet ausgewiesen. Es ist zu berücksichtigen, dass in der Auswertung verschiedene, teils heterogene Ausweisungen in den Ländern zusammengefasst sind. Hierzu zählen etwa Raumordnungsgebiete für den Schutz der Natur, den Schutz der Landschaft und die landschaftsorientierte Erholung sowie Gebiete für den Aufbau eines ökologischen Verbundsystems. Aus diesem Grund überlagern sich Vorrang- und Vorbehaltsgebiete für Natur und Landschaft stellenweise, zum Beispiel wenn Flächen sowohl Vorranggebiet für den Arten- und Biotopschutz

RO-R-1: Vorrang- und Vorbehaltsgebiete für Natur und Landschaft

Im Jahr 2021 waren in Deutschland rund 115.000 km² – etwa ein Drittel der Landfläche der Bundesrepublik – als Vorrang- oder Vorbehaltsgebiete für Natur und Landschaft ausgewiesen. Landes- und Regionalplanung unterstützen dadurch den Biotopverbund und helfen so Tier- und Pflanzenarten, ihr jeweiliges Verbreitungsgebiet an die sich ändernden klimatischen Bedingungen anzupassen.



Datenquelle: BBSR (ROPLAMO – Raumordnungsplan-Monitor)

als auch Vorbehaltsgebiet für den besonderen Schutz des Landschaftsbilds sind. In der Zeitreihe werden diese Teilflächen nur einmal berücksichtigt.

Die ausgewiesenen Flächen nahmen, zwischenzeitlichen Anstiegen zum Trotz, zwischen 2009 und 2021 um rund 7.000 km² ab. Dieser Rückgang ging zu Lasten der Vorbehaltsgebiete und rührte zuletzt im Wesentlichen daher, dass Ausweisungen von Vorbehaltsgebieten im Zuge von Überarbeitungen zurückgenommen wurden. Die Neuausweisungen von Vorranggebieten, die überwiegend in anderen Planungsregionen stattfanden, konnte diesen Rückgang in Summe nur teilweise kompensieren. Nach wie vor machen über 90% der bundesweit 114 Planungsregionen von der Möglichkeit Gebrauch, Vorrang- oder Vorbehaltsgebiete für Natur und Landschaft auszuweisen. Viele Regionen nutzen diese Kategorien großflächig und zeigen dadurch, dass sie dem Schutz von Natur- und Landschaft und damit der Schaffung und Erhaltung eines ökologischen Verbundsystems einen hohen Stellenwert einräumen.

Ob das ökologische Verbundsystem seine Aufgaben erfüllt und die Landschaft für Tier- und Pflanzenarten tatsächlich durchlässig ist, lässt sich allein anhand dieser Zahlen nicht beurteilen. Eine solche Bewertung müsste vor allem ins Kalkül ziehen, wie die ausgewiesenen Gebiete räumlich verteilt und tatsächlich miteinander vernetzt sind und welche ökologische Qualität sie aufweisen. Zudem sind die Vorrang- und Vorbehaltsgebiete nicht die einzigen Flächen, die den ökologischen Verbund sicherstellen sollen. Die Entwicklung und Sicherung des Biotopverbunds ist zunächst eine wesentliche Aufgabe des Naturschutzes, der unter anderem mit diesem Zweck Schutzgebiete auf naturschutzrechtlicher Grundlage ausweist und deren Management plant und umsetzt (siehe Indikator BD-R-3, Seite 212). Diese Flächen sind auch Teil des Biotopverbunds, werden in dieser Auswertung aber nur berücksichtigt, sofern sie durch die Raumordnung gleichzeitig als Vorrang- oder Vorbehaltsgebiet ausgewiesen sind. Raumordnerische Instrumente wie Regionale Grünzüge oder Grünzäsuren, die grundsätzlich ebenfalls einem ökologischen Verbund zugutekommen können, fließen in die Berechnung des Indikators nicht ein. Grund ist, dass diesen Flächen auch Aufgaben etwa der Erholungsnutzung zugewiesen sein können, die den Zielen des Biotopverbunds zuwiderlaufen.

Neben den positiven Wirkungen bieten die ökologischen Verbundsysteme grundsätzlich auch das Potenzial für weniger erfreuliche Entwicklungen. Beispielsweise wird damit gerechnet, dass sich in Folge der Klimaveränderungen unerwünschte oder vom Menschen eingebrachte



Raumordnungsgebiete für Natur und Landschaft können zusätzlich zum Fachrecht Rückzugsräume und Verbundflächen für Pflanzen und Tiere sichern. (Foto: © dina / stock.adobe.com)

Arten weiter ausbreiten. Unter den Bedingungen des Klimawandels wird es daher umso mehr auf ein gutes Management der Verbundsysteme ankommen, um den Zielen des Naturschutzes zuwiderlaufende Entwicklungen zu vermeiden oder deren Auswirkungen zu minimieren.

Vorsorgender Schutz für Trinkwasser und Grundwasser

Bislang konnte in Deutschland, abgesehen von regional begrenzten Wassermangelgebieten mit geringen nutzbaren Grundwasservorkommen, davon ausgegangen werden, dass Wasser jederzeit in ausreichender Menge zur Verfügung steht. Inzwischen erfordert die Ressource Wasser jedoch auch hierzulande eine erhöhte Aufmerksamkeit. Grund hierfür ist, dass die Grundwasserneubildungsrate rückläufig und insbesondere in Dürrejahren wie 2018, 2019 und 2020 sehr gering ist (siehe Indikator WW-I-2, Seite 72). Eine mengenmäßig ausreichende Grundwasserneubildung ist aber eine wesentliche Voraussetzung für die Trinkwasserversorgung in Deutschland, die sich zu fast drei Vierteln aus Grundwasser speist. Zudem beeinflussen die sich ändernden Niederschlags- und Temperaturverhältnisse auch die Menge und Qualität der zur Trinkwassergewinnung genutzten Oberflächengewässer (siehe Indikatoren WW-I-3, Seite 74, WW-I-7, Seite 82).

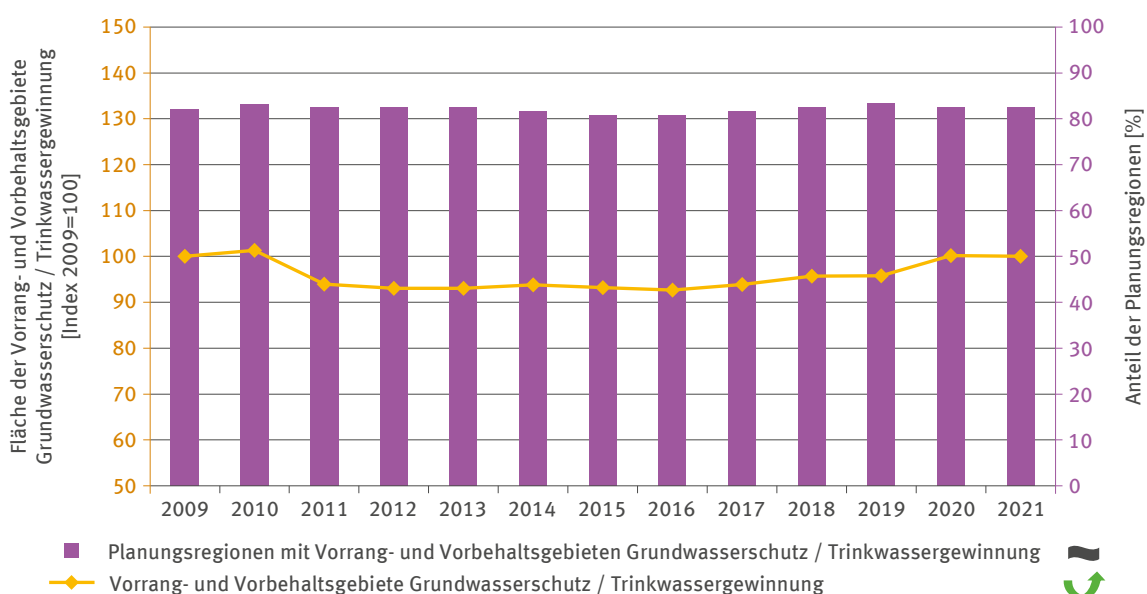
Mit dem fortschreitenden Klimawandel kann sich diese Problematik vor allem in den Regionen Deutschlands weiter zuspitzen, in denen die klimatische Wasserbilanz

bereits heute ungünstig ist. Zunehmende Wasserknappheit und häufigere Dürren können regional zu Konflikten um die Nutzung vor allem von oberflächennahen Wasserressourcen, aber auch von Grundwasserreserven führen.

Landes- und Regionalplanung können Vorrang- und Vorbehaltsgebiete für den Trinkwasser- und Grundwasserschutz ausweisen, um Wasserressourcen planerisch zu sichern, zwischen unterschiedlichen Nutzungsansprüchen zu moderieren und Konflikte zu vermeiden oder abzuschwächen. Rund 80 % der Planungsregionen machen von dieser Möglichkeit Gebrauch. Der hohe Anteil der ausweisenden Planungsregionen macht deutlich, dass die raumordnerischen Instrumente nicht nur in Planungsregionen genutzt werden, die tendenziell von einem Wassermangel betroffen sind. Vielmehr kommt dem Schutz und der Sicherung der Wasserressourcen auch in wasserreichen Gebieten eine hohe Bedeutung zu, auch weil deren Wasservorräte in Teilen für die Versorgung der wasserarmen Gebiete mit in Anspruch genommen werden.

RO-R-2: Vorrang- und Vorbehaltsgebiete für Grundwasserschutz / Trinkwassergewinnung

Angesichts häufiger auftretender Trockenjahre wird die raumordnerische Sicherung der Ressource Wasser, die bereits heute in vielen Planungsregionen praktiziert wird, zusehends wichtiger. In den vergangenen Jahren konnte durch Neuausweisungen zumindest der zu Beginn der 2010er-Jahre zu verzeichnende Flächenrückgang wieder ausgeglichen werden.



Datenquelle: BBSR (ROPLAMO – Raumordnungsplan-Monitor)

In welchem Umfang in den einzelnen Planungsregionen die verschiedenen Gebietskategorien zum Schutz von Grund- und Trinkwasser zur Anwendung gelangen, hängt neben einer unterschiedlichen Planungspraxis vor allem von der jeweiligen naturräumlichen Ausstattung der Regionen ab, beispielsweise von der Bodenbeschaffenheit und den geologischen Ausgangsbedingungen oder der Naturnähe und Nutzungsintensität. Deutschlandweit waren 2021 über 41.500 km² Fläche als Vorrang- oder Vorbehaltsgebiete für den Trinkwasser- und Grundwasserschutz ausgewiesen, das sind mehr als 10% des Bundesgebiets. Auch wenn die Flächenausdehnung allein keine Rückschlüsse erlaubt, ob Gebiete in angemessenem Umfang und angemessener Qualität ausgewiesen sind, zeigt dieser Anteil die hohe Bedeutung, die dem Schutz der Wasserressourcen durch die Raumordnung beigemessen wird.

Regionalpläne werden in der Regel alle 10 bis 15 Jahre neu aufgestellt oder fortgeschrieben. Die Planungsregionen können dabei die Festlegungen in den Plänen aktualisieren, wodurch es zu Veränderungen der Flächenausweisungen kommen kann. Zudem können die Pläne auch an eine veränderte Rechtslage oder eine geänderte Rechtsprechung angepasst werden. Die bundesweit für den Schutz der Wasserressourcen raumordnerisch ausgewiesene Fläche hat nach 2010 zunächst abgenommen. Beginnend mit dem Jahr 2017 hat sich diese Entwicklung gedreht und die ausgewiesene Fläche steigt wieder an. Beispielsweise wurde mit der großflächigen Neuausweisung von Vorranggebieten für den Grund- und Trinkwasserschutz in dem 2020 in Kraft getretenen Regionalplan der sächsischen Planungsregion Oberes Elbtal-Ostertgebirge zuletzt der Ausgangsstand des Jahres 2009 wieder erreicht.

In den kommenden Jahren wird der Schutz der Ressource Wasser durch den Klimawandel weiter an Bedeutung gewinnen. Auch vor diesem Hintergrund hat das Bundeskabinett im März 2023 die Nationale Wasserstrategie beschlossen. Die Strategie möchte bis zur Mitte des Jahrhunderts einen nachhaltigen Umgang mit der Ressource Wasser für Mensch und Umwelt verwirklichen, den naturnahen Wasserhaushalt schützen und wiederherstellen sowie die Wasserinfrastrukturen klimaangepasst weiterentwickeln. Unter anderem wird dafür angestrebt, in Zusammenarbeit von Wasserwirtschaft und Raumordnung Flächen für die Grundwasserneubildung und die Trinkwassergewinnung planerisch zu sichern, zum Beispiel durch die Festlegung von Vorranggebieten für zukünftige Wassergewinnungsgebiete in Regionalplänen.²²¹



Der Klimawandel macht einen aufmerksameren Umgang mit der Ressource Wasser erforderlich, auch mithilfe raumordnerischer Instrumente. (Foto: © Visions-AD / stock.adobe.com)

Neben der Möglichkeit, Vorranggebiete für die zukünftige Wasserversorgung festzulegen, beispielsweise zu Sicherung künftiger Wasserschutzgebiete, soll dabei auch die Sicherung von Flächen für die Grundwasserneubildung in den Blick genommen werden. Insbesondere mit dem letztgenannten Zweck sind auch Anforderungen an die konkrete Bodenbedeckung verbunden, da die gesicherten Flächen eine gute Versickerung von Wasser in den Boden ermöglichen müssen. Bislang hat die Raumordnung hierfür nur eingeschränkte Möglichkeiten, beispielsweise die bislang nur selten eingesetzte Ausweisung von Vorranggebieten für Waldmehrung. Angesichts der zunehmend auftretenden Trockenheit kann die Sicherung und Förderung der Grundwasserneubildung eine wichtige, weiter auszubauende Aufgabe für die Raumordnung sein.

Flächensicherung für den Hochwasserschutz im Binnenland

Mit dem fortschreitenden Klimawandel können sich die Häufigkeit und die Schwere von Hochwasserereignissen und Überflutungen ändern, zum Beispiel wenn sommerliche Starkregenereignisse häufiger und intensiver werden oder die winterlichen Niederschläge zunehmen beziehungsweise vermehrt als Regen fallen (siehe Indikatoren WW-I-4, Seite 76, WW-I-5, Seite 78, BAU-I-4, Seite 224). Sind die Böden bereits wassergesättigt oder stark ausgetrocknet, oder fällt sehr viel Niederschlag in kurzer Zeit, kann meist nur wenig Niederschlag versickern. Er fließt dann in der Regel an der Oberfläche ab und wird in den Gewässern direkt abflusswirksam. Ein vorausschauender Hochwasserschutz ist daher eine wichtige Anpassungsmaßnahme an die Folgen des Klimawandels (siehe Indikatoren WW-R-2, Seite 92, und WW-R-3, Seite 93).

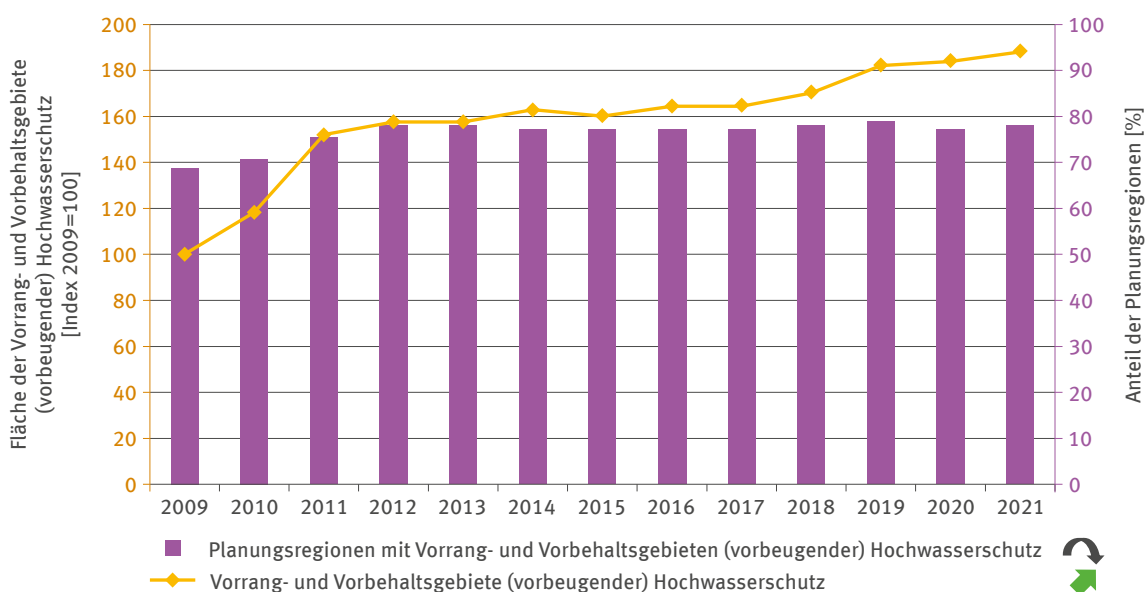
Zentraler Bestandteil eines vorbeugenden Hochwasserschutzes ist die Ausweisung von Überschwemmungsgebieten, für die das WHG bundesweit verbindliche Regeln formuliert. Als Überschwemmungsgebiete sind innerhalb sogenannter Risikogebiete alle Bereiche amtlich

festzusetzen, die bei einem hundertjährigen Hochwasserereignis überflutet würden. Zudem sind die zur Hochwasserentlastung und -rückhaltung beanspruchten Gebiete wie Flutpolder oder Flutmulden in die Ausweisung einzubeziehen.

Über die wasserrechtlichen Vorgaben hinaus ist es aber auch eine Aufgabe der Raumordnung, mit ihren Instrumenten zum vorbeugenden Hochwasserschutz beizutragen. Als wesentliches Instrument stehen ihr dafür die raumordnerischen Festlegungen zum Hochwasserschutz zur Verfügung. Hierdurch kann die Raumnutzung so gesteuert werden, dass sie möglichst wenig anfällig gegenüber Hochwassergefahren ist, für die in Folge des Klimawandels eine Zunahme erwartet wird. In gefährdeten Bereichen kann, ergänzend zu den wasserrechtlich definierten Überschwemmungsgebieten, eine Nutzung für Siedlungen oder Infrastrukturen ausgeschlossen werden. Flächen, die für den Wasserrückhalt in der Landschaft und einen vorrausschauenden, den Klimawandel berücksichtigenden Hochwasserschutz von Bedeutung

RO-R-3: Vorrang- und Vorbehaltsgebiete für (vorbeugenden) Hochwasserschutz

Die Fläche von Vorrang- und Vorbehaltsgebieten zum (vorbeugenden) Hochwasserschutz ist zwischen 2009 und 2021 um rund 6.300 km² und damit deutlich gewachsen. Zum Ende des Jahres 2021 hatten 89 von 114 Regionen entsprechende Festsetzungen in ihren Regionalplänen getroffen.



Datenquelle: BBSR (ROPLAMO – Raumordnungsplan-Monitor)

sind, können gesichert oder mit Nutzungsbeschränkungen belegt werden.

Das raumordnerische Instrument mit der größten Tragweite für diesen Zweck sind Vorranggebiete für den vorbeugenden Hochwasserschutz. In diesen Gebieten hat der Hochwasserschutz Priorität gegenüber anderen Raumnutzungen und Raumfunktionen. Raumbedeutsame Nutzungen, die mit diesem Ziel nicht vereinbar sind, sind hier ausgeschlossen. Die bisherige Praxis zur Ausweisung von Vorranggebieten in den Planungsregionen ist insgesamt noch heterogen, sie nimmt in der Regel aber Bezug auf die Abgrenzung der wasserrechtlichen Überschwemmungsgebiete. Teilweise werden die Festlegungen nachrichtlich in den Regionalplänen dargestellt, teilweise sind die ausgewiesenen Vorranggebiete identisch mit den festgesetzten Überschwemmungsgebieten; in anderen Regionen gehen die Vorranggebiete über die Überschwemmungsgebiete hinaus.

Die Festsetzung von Überschwemmungsgebieten sollte nach den Vorgaben des WHG bis Ende 2013 abgeschlossen sein. Es war zu erwarten, dass in der Folge auch zahlreiche Planungsregionen die Ausweisung von Vorrang- und Vorbehaltsgebieten für den vorbeugenden Hochwasserschutz nachführen oder erstmalig vornehmen. Im Jahr 2021 waren in den Planungsregionen der Regionalplanung insgesamt rund 13.500 km² Fläche als Vorrang- und Vorbehaltsgebiete ausgewiesen. Obwohl die Anzahl der ausweisenden Planungsregionen in den letzten 10 Jahren annähernd konstant blieb, nahm die für den vorbeugenden Hochwasserschutz deutschlandweit festgelegte Fläche im Zuge von Fortschreibungen und Neuaufstellungen von Regionalplänen weiter zu. Insgesamt ist seit 2009 ein Anstieg der ausgewiesenen Fläche um rund 6.300 km² zu verzeichnen.

Im Sinne einer Anpassung an die Folgen des Klimawandels und zur Verbesserung der Risikoversorge vor Extremhochwasserereignissen ist es wünschenswert, dass raumordnerische Ausweisungen für den vorbeugenden Hochwasserschutz dort, wo es sinnvoll ist, über die wasserrechtlich festgesetzten Überschwemmungsgebiete hinausgehen. Verschiedene Modellvorhaben der Raumordnung gingen in den vergangenen Jahren der Frage nach, welche Möglichkeiten der Risikoversorge auch in Gebieten bestehen, die durch Deiche an sich vor Hochwasser geschützt sind. In der Region Oberes Elbtal-Osterzgebirge wurde beispielsweise eine neue Methodik zur Ausweisung von Vorrang- und Vorbehaltsgebieten Hochwasserversorge entwickelt und im Regionalplan umgesetzt. Die Abgrenzung der Vorranggebiete für die Hochwasserversorge orientiert sich dabei an der



Die Raumordnung kann Retentionsräume entlang von Flüssen als Vorrang- und Vorbehaltsgebiete für den Hochwasserschutz ausweisen. (Foto: © Norbert G. Bildwerk / stock.adobe.com)

Gefahrenintensität (Wassertiefe und Fließgeschwindigkeit) von einem Extremhochwasserszenario und bezieht auch den Siedlungsbestand ein. Das Inkrafttreten des Regionalplans in der Region Oberes-Elbtal-Osterzgebirge sowie entsprechende Ausweisungen in weiteren Planungsregionen sind der Grund für den Anstieg der ausgewiesenen Flächen für Vorrang- und Vorbehaltsgebiete zum vorbeugenden Hochwasserschutz seit dem Jahr 2018.

Fläche sichern für ein gutes lokales Bioklima

In Städten beziehungsweise Ballungsräumen mit einer hohen Siedlungsdichte und einem hohen Versiegelungsgrad werden oft deutlich höhere Durchschnittstemperaturen und höhere Spitzentemperaturen gemessen als im umgebenden Umland – ein Effekt, der auch als städtische Wärmeinsel bezeichnet wird (siehe Indikator BAU-I-2, Seite 221). Die Intensität des städtischen Wärmeinselleffekts hängt eng unter anderem mit der Größe und Dichte einer Stadt zusammen. In Städten mit einer Bevölkerung von rund 100.000 Menschen beträgt der Temperaturunterschied zwischen Stadt und Umland bis zu 6 °C. In Abhängigkeit von den natürlichen bioklimatischen Bedingungen (wie der geografischen Lage und der Höhenlage) kann es durch diesen Effekt in Städten in den Sommermonaten zu verstärkten Wärmebelastungen im Vergleich zum Umland kommen, die sich durch den Klimawandel zukünftig verstärken können. Insbesondere die langsamere Abkühlung des Stadtraums abends und in der Nacht im Vergleich zum Umland – für die Millionenstadt Köln wurde 2012 am Ende einer Strahlungsnacht eine Differenz von über 10 °C nachgewiesen – kann für die Bevölkerung Schwierigkeiten bedeuten, wenn

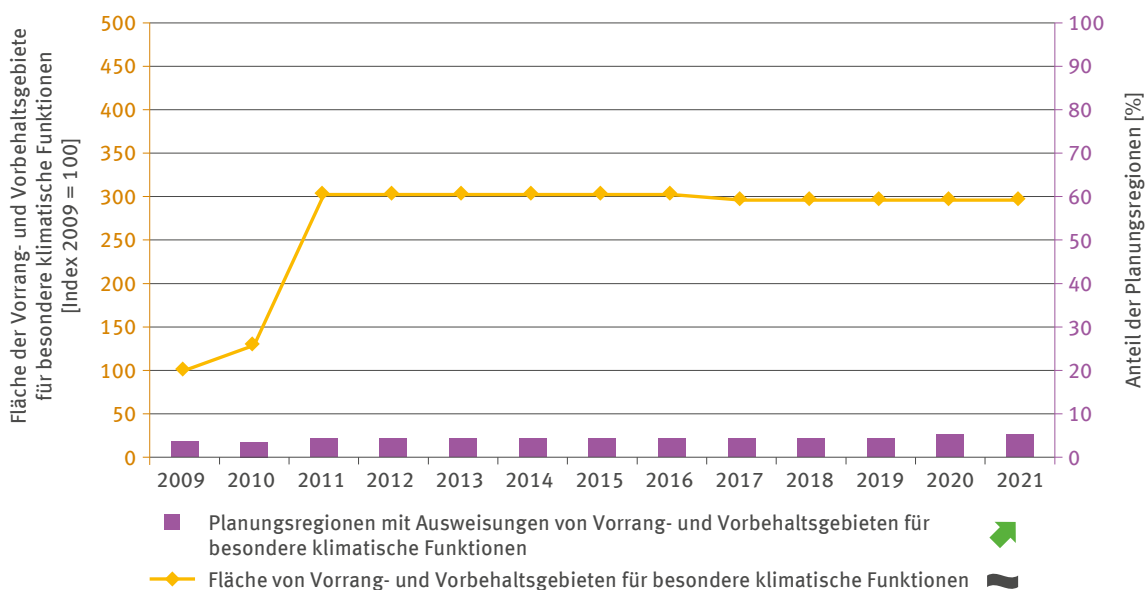
aufgrund hoher Temperaturen keine erholsame Nachtruhe möglich ist (siehe Indikatoren GE-I-1, Seite 40, BAU-I-1, Seite 220).

Die Regionalplanung kann dieser projizierten Zunahme von bioklimatischen Belastungssituationen entgegenwirken, indem sie zum einen klimatisch bedeutsame großräumige Freiflächen, auf denen sich Kalt- und Frischluft sammeln und in die städtischen Räume gelangen kann, als Vorrang- und Vorbehaltsgebiete für besondere Klimafunktionen ausweist und mit lokalen Grünflächen vernetzt. Sie kann dadurch Flächennutzungen verhindern, die dieser Zielstellung zuwider laufen. Zum anderen können Gebiete ausgewiesen werden, in denen aufgrund der lokalen Verhältnisse ein besonderer Handlungsbedarf besteht, bioklimatische Belastungen zu verringern.

Bislang erfolgt die Ausweisung von Vorrang- und Vorbehaltsgebieten für besondere Klimafunktionen nur in sehr wenigen Regionen. Ein Grund hierfür ist, dass die Planungskategorie noch relativ neu ist, Planwerke der Landes- und Regionalplanung aber in der Regel über

RO-R-4: Vorrang- und Vorbehaltsgebiete für besondere Klimafunktionen

Vorrang- und Vorbehaltsgebiete für besondere Klimafunktionen sind ein noch junges Instrument der Raumordnung. Diese Gebietskategorie kommt daher bislang deutschlandweit erst in sechs Planungsregionen zur Anwendung.



Datenquelle: BBSR (ROPLAMO – Raumordnungsplan-Monitor)

längere Zeiträume Bestand haben. Neuerungen können sich daher erst nach und nach in den Plänen etablieren. Ein weiterer Grund liegt darin, dass die Regionalplanung auch andere raumordnerische Instrumente des Freiraumschutzes wie regionale Grünzüge zur Sicherung klimatisch bedeutsamer Freiflächen nutzt oder beispielsweise bioklimatisch relevante Luftleitbahnen symbolisch darstellt, ohne einzelnen Flächen konkrete Aufgaben zuzuweisen. Welche Instrumente zum Einsatz kommen und wie sie angewendet werden, hängt zudem von der Ausweisungspraxis im jeweiligen Bundesland ab. Ein zusätzlicher Bedarf an Flächenausweisungen ist daher mitunter gar nicht gegeben.

In den Planungsregionen in Hessen, Rheinland-Pfalz und Sachsen, die bislang Vorrang- und Vorbehaltsgebiete für besondere Klimafunktionen ausgewiesen haben, werden damit beide oben genannten Zielrichtungen verfolgt: die Freihaltung klimatisch bedeutsamer Freiflächen und die Ausweisung bioklimatisch belasteter Gebiete mit hohem Handlungsbedarf. In Hessen geht es in den verschiedenen Regionalplänen um eine nachhaltige Sicherung von Gebieten als klimatische Ausgleichsräume oder als Luftleitbahnen. In den Regionalplänen für Mittelhessen und Südhessen werden im Detail Flächen der Kalt- und Frischluftentstehung sowie des Kalt- und Frischluftabflusses benannt, die gesichert und gegebenenfalls wiederhergestellt werden sollen. Diese Gebiete sollen von Bebauung und anderen Maßnahmen, die die Entstehung und den Transport von frischer und kühler Luft behindern können, freigehalten werden. Planungen und Maßnahmen, die die Durchlüftung von klimatisch oder lufthygienisch belasteten Ortslagen verschlechtern können, sind in diesen Gebieten zu vermeiden. Sie dürfen nur realisiert werden, wenn nachgewiesenermaßen keine erheblichen nachteiligen klimatischen Auswirkungen entstehen.

Die oben skizzierte zweite Anwendungsrichtung der Planungskategorie wird im Regionalplan Mittelrhein-Westerwald und im Regionalen Flächennutzungsplan Frankfurt /Rhein-Main verfolgt. Hier sind thermisch belastete Räume und klimatisch sensible Tallagen als Vorbehaltsgebiete unter anderem mit dem Ziel festgelegt, die klimatischen Bedingungen nach Möglichkeit zu verbessern. Dazu sollen etwa klimatische Ausgleichsflächen erhalten oder erweitert werden, außerdem sind Siedlungsvorhaben zu vermeiden, die den Frischlufttransport behindern



Nicht nur in warmen Regionen wie dem Rhein-Main-Gebiet sind Flächen wichtig, die frische und kühle Luft für den lokalklimatischen Ausgleich produzieren.

(Foto: © A. Emson / stock.adobe.com)

Flächensparen hilft der Klimaanpassung

Die unbebaute, unzerschnittene und unzersiedelte Fläche ist eine begrenzte und begehrte Ressource, um die unter anderem Land- und Forstwirtschaft, Siedlung und Verkehr, Naturschutz sowie Rohstoffabbau und Energieerzeugung konkurrieren. Mit der Ausweisung von Vorrang- und Vorbehaltsgebieten verfolgt die Raumordnung das Ziel, die Entwicklung der Landnutzung und damit auch der Flächenneuanspruchnahme zu steuern und einen Ausgleich zwischen den verschiedenen Nutzungsansprüchen herzustellen. Nicht zuletzt gilt es dabei, wichtige Dienstleistungen der Ökosysteme für Mensch und Natur zu erhalten oder weiter zu entwickeln.

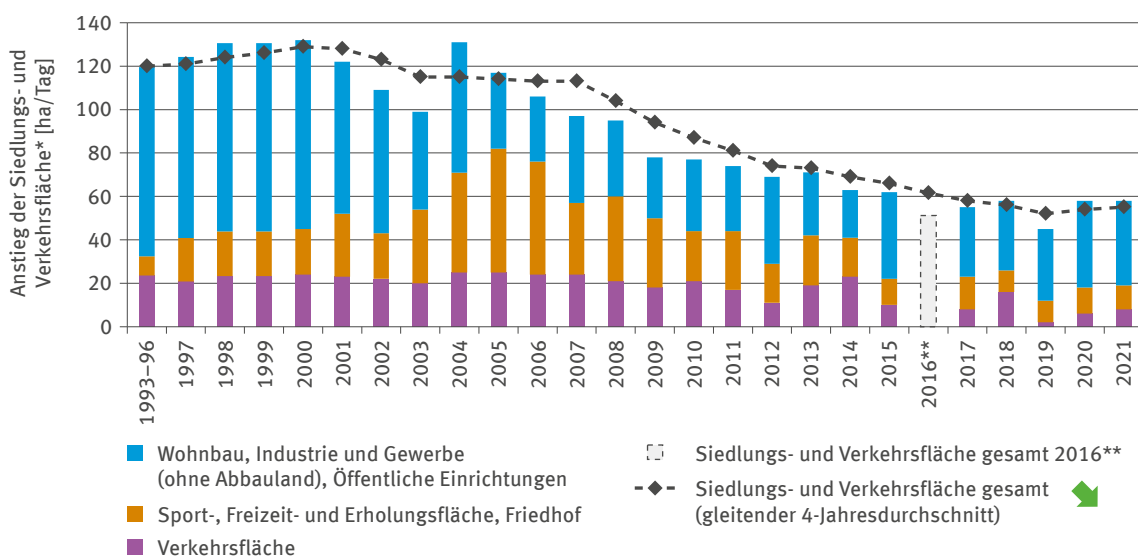
Im Zusammenhang mit den sich ändernden Klimaverhältnissen ist mit diesen Ökosystemleistungen zunächst das Potenzial unversiegelter Flächen angesprochen, Niederschläge zu versickern und das Wasser vor allem bei Starkregen oder in Hochwassersituationen zeitweilig zurückzuhalten. Unverbaute Auenflächen bieten den Flüssen Raum und können die unterliegenden Bereiche der Flussgebiete bei Hochwasser entlasten (siehe Indikatoren BD-R-2, Seite 210, und RO-R-6, Seite 312). In

bioklimatisch belasteten Räumen steht die Versorgung von Siedlungsräumen mit frischer und kühler Luft im Vordergrund. Über Wiesen- und Ackerflächen im Umland kann sich in den Sommermonaten warme Luft schneller abkühlen als innerhalb von Siedlungen. Luftleitbahnen, zum Beispiel offene Talbereiche, transportieren die kühle Luft in die angrenzenden Siedlungsbereiche und können dort die thermischen Belastungen abmildern (siehe Indikator RO-R-4, Seite 308). Für die Land- und Forstwirtschaft sowie die Erzeugung nachwachsender Rohstoffe ist es vor allem relevant, fruchtbare Böden zu schützen und produktive Flächen für die Zukunft zu erhalten. Tiere und Pflanzen wiederum sind auf unverbaute Flächen und unzerschnittene, vernetzte Landschaftsstrukturen als Lebensräume angewiesen. Verändern sich die Lebensraumbedingungen infolge des Klimawandels, benötigen Fauna und Flora einen funktionierenden Biotopverbund, um sich anpassen zu können.²²²

Während die Potenziale unverbauter Flächen bei einer (Um-)Nutzung für land- und forstwirtschaftliche Zwecke, für die regenerative Energieerzeugung, für

RO-R-5: Anstieg der Siedlungs- und Verkehrsfläche

Die Siedlungs- und Verkehrsfläche wuchs im vierjährigen Durchschnitt lange Jahre immer langsamer. Zuletzt stagnierte ihr Wachstum bei rund 55 Hektar pro Tag. Auch wenn Umstellungen in den amtlichen Liegenschaftskatastern die Aussagekraft dieser Zahl einschränken, ist sicher, dass dieser Flächenzuwachs deutlich über den nationalen Zielen liegt. Das heißt, es ist mehr zu tun, um die Ressource Fläche und ihre Funktionen zu schützen.



* Die Flächenerhebung beruht auf der Auswertung der Liegenschaftskataster der Länder. Wegen Umstellungsarbeiten in den Katastern ist die Darstellung der Flächenzunahme ab 2004 verzerrt. ** Die Umstellung der Datenquelle auf ALKIS in 2016 beeinträchtigt den Zeitvergleich und die Berechnung von Veränderungen aktuell. Die Siedlungs- und Verkehrsfläche enthält aber weitgehend dieselben Nutzungsarten wie zuvor.

Datenquelle: StBA (Anstieg der Siedlungs- und Verkehrsfläche), UBA (DzU)

Mehrfachnutzungen wie beispielsweise die Agri-Photovoltaik oder für den Naturschutz erhalten bleiben oder vergleichsweise kurzfristig wiederhergestellt werden können, gehen sie bei einer Neuinanspruchnahme von Flächen für Siedlung und Verkehr oder durch Abgrabungen, etwa bei großflächigen Abbauvorhaben, dauerhaft verloren. Die Flächeninanspruchnahme mit ihren verschiedenen nachteiligen Wirkungen zu reduzieren, kann daher als eine generelle Anpassungsmaßnahme angesehen werden, die die räumliche Planung mit ihrem Instrumentarium in ihrer Umsetzung unterstützen kann.

Die Verringerung der Flächenneuanspruchnahme ist zugleich eines der zentralen Nachhaltigkeitsziele der Bundesregierung: Die Neuinanspruchnahme von Flächen für Siedlungs- und Verkehrszwecke sollte ursprünglich, das heißt gemäß der Nationalen Nachhaltigkeitsstrategie aus dem Jahr 2002, bis zum Jahr 2020 auf 30 ha pro Tag gesenkt werden. Die aktualisierte Deutsche Nachhaltigkeitsstrategie²²³ sieht nun vor, den täglichen Anstieg der Siedlungs- und Verkehrsfläche bis 2030 auf unter 30 ha zu senken. Das Integrierte Umweltprogramm des BMUB aus dem Jahr 2016²²⁴ geht darüber noch hinaus. Mit Blick auf den Zielpfad für die Umsetzung der EU-Ressourcenstrategie und des Klimaschutzplans 2050, die bis 2050 den Übergang zur Flächenkreislaufwirtschaft schaffen und die Flächeninanspruchnahme auf netto Null senken wollen, sind 20 ha pro Tag als Zwischenziel für das Jahr 2030 ausgegeben.

Gegenüber dem starken Wachstum der Siedlungs- und Verkehrsflächen anfangs der 2000er-Jahre hat sich die Flächenneuanspruchnahme mehr als halbiert. Lag der gleitende 4-Jahresdurchschnitt damals teilweise bei über 130 ha pro Tag, waren es im Mittel des Zeitraums 2018 bis 2021 „nur“ noch 55 ha täglich. Hierfür gibt es verschiedene Gründe. Im Bau- und Planungsrecht wurden maßgebliche Vorschriften strenger gefasst. Bund, Länder und Kommunen unternahmen verstärkte Anstrengungen für einen sparsameren Umgang mit Grund und Boden. Eine schwächere konjunkturelle Entwicklung und ökonomische Krisen wie die Bankenkrise sowie der demografische Wandel bremsten die private und gewerbliche Baunachfrage.

Zum Anstieg der Siedlungsfläche trug im Zeitraum 2018 bis 2021 vor allem der Bereich Wohnbau, Industrie und Gewerbe (ohne Abbau land) sowie öffentliche Einrichtungen bei. Zuletzt wuchs dieser Bereich im Jahr 2021 mit rund 39 ha täglich, wobei den größten Anteil daran der Wohnbau hat. Sport-, Freizeit-, Erholungs- und Friedhofsflächen steuerten weitere 11 ha zur Siedlungsfläche bei, Verkehrsflächen nahmen im Jahr 2021 um knapp



Ein sorgsamer Umgang mit der Ressource Fläche gehört zur Klimaanpassung dazu. Je weniger Fläche versiegelt wird, desto besser. (Foto: © ThomBal / stock.adobe.com)

8 ha täglich zu. Haupttreiber waren hier Flächen für den Straßenverkehr.

Mit dem zunehmenden Anstieg der Siedlungs- und Verkehrsfläche im Vierjahresdurchschnitt in den letzten beiden Jahren ist der zumeist kontinuierliche Rückgang der Flächenneuanspruchnahme seit dem Jahr 2000 unterbrochen. Zwar schränken die verschiedenen Umstellungen der Flächenerhebung in den letzten Jahren die Vergleichbarkeit der Daten ein, dennoch macht die sich in den vergangenen Jahren abzeichnende Entwicklung deutlich, wie anspruchsvoll die Aufgabe ist, die Ziele der Deutschen Nachhaltigkeitsstrategie und des Integrierten Umweltprogramms zu erreichen. Hierfür sind, auch mit Blick auf die Effekte eines sparsamen Umgangs mit der Ressource Fläche auf die Klimawandelanpassung, weitere Anstrengungen notwendig. Die räumliche Planung kann hierzu sowohl mit ihren formellen Instrumenten als auch mit informellen Instrumenten, zum Beispiel mit Kreislaufkonzepten für die Flächennutzung, einen wichtigen Beitrag leisten. Die notwendigen zusätzlichen Bemühungen um eine sparsame Flächenentwicklung müssen möglichen Klimawandelfolgen Rechnung tragen. Unter anderem sollten aus einer verstärkten Siedlungsentwicklung nach Innen, zum Beispiel durch Flächenrecycling oder Nachverdichtung, keine höheren bioklimatischen Belastungen resultieren. Hierfür gilt es, bei der baulichen Entwicklung vor Ort passende Lösungen und Kompromisse zu verhandeln, die den mitunter konkurrierenden Ziele und Anforderungen gerecht werden.

Klimavorsorge bei der Siedlungsentwicklung

Im Zusammenhang mit dem Klimawandel ist die vorausschauende Risikovorsorge eine besonders wichtige, in ihrer Bedeutung wachsende Aufgabe der Raumordnung. Sie kann dazu beitragen, die Siedlungsentwicklung gezielt in Bereiche zu lenken, in denen mit dem Klimawandel einhergehende Gefahren nicht oder nur in einem beherrschbaren Maße bestehen. Und sie kann dafür sorgen, dass erkennbare Gefahrenbereiche möglichst von Siedlungstätigkeit freigehalten werden. Zu den Gefahren, die in Planungsprozessen zu berücksichtigen sind, zählen Massenbewegungen wie Steinschlag, Felsstürze oder Rutschungen und Erdfälle sowie – an den Küsten und auf den Inseln – Sturmfluten. Diese Gefahren können regional infolge des Klimawandels steigen, wenn extreme Wetter- und Witterungssituationen in ihrer Häufigkeit und Intensität zunehmen.

Gemeinsam mit dem fachrechtlichen Hochwasserschutz muss die Raumordnung ein besonderes Augenmerk auf die Hochwassergefahr an Flüssen und Bächen legen und den vorbeugenden Hochwasserschutz konsequent umsetzen.²²⁵ Mit dem fortschreitenden Klimawandel ändert

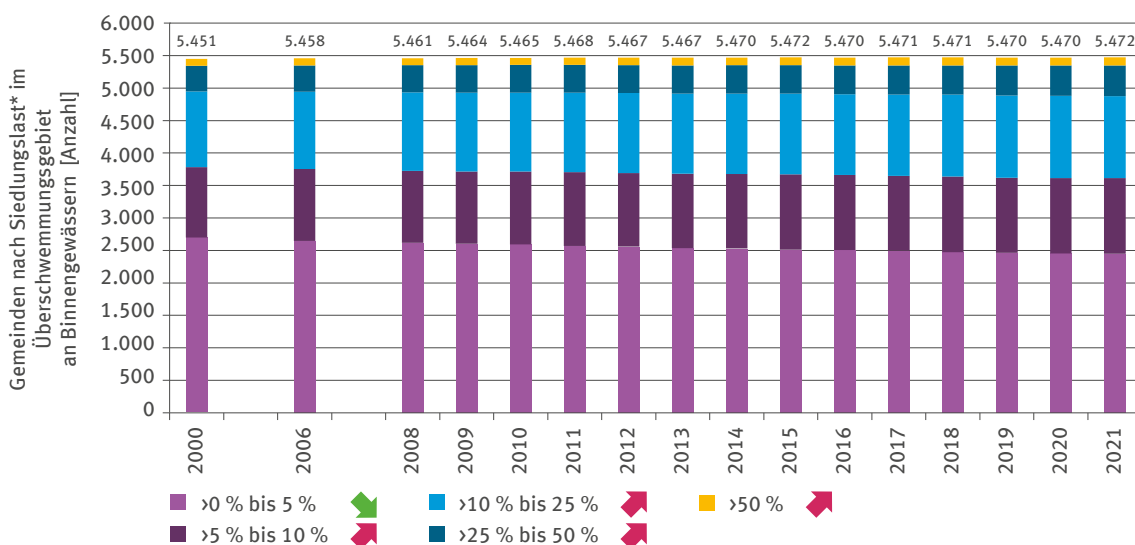
sich das Niederschlagsgeschehen, und die Gefahren von Hochwasserereignissen steigen: Sie können zum einen häufiger auftreten und zum anderen, wie sich zuletzt im Jahr 2021 drastisch gezeigt hat, sehr heftig ausfallen (siehe Indikatoren WW-I-3, Seite 74, WW-I-4, Seite 76).

Der Verlauf von Hochwasserereignissen und ihr Schadenspotenzial werden maßgeblich auch durch das Handeln des Menschen früher und heute beeinflusst. So sind etwa in vielen Flussgebieten in früheren Zeiten natürliche Überschwemmungsgebiete durch Deich- und Flussausbaumaßnahmen weggefallen. Viele Flussläufe wurden verkürzt und die Fließgeschwindigkeit der Flüsse dadurch erhöht. Bei Hochwasser konzentriert sich der Abfluss vieler Zuflüsse daher heute schneller in einem Flussbett, die Hochwasserwellen sind im Vergleich zu früher oft steiler, ihre Laufzeiten kürzer. Die Gefahr der Schäden durch Hochwasser ist dadurch gestiegen. Auch wurden im Schutz der Deiche hohe materielle Werte in Gebieten errichtet, die ehemals den Flüssen als Überschwemmungsflächen zur Verfügung standen. Reicht der Hochwasserschutz nicht aus und trifft ein Hochwasser



RO-R-6: Siedlungsnutzung in amtlich festgesetzten Überschwemmungsgebieten

Trotz der bestehenden Hochwassergefahren führt der hohe Siedlungsdruck dazu, dass nach wie vor auch in Überschwemmungsgebieten gebaut wird, obwohl dies nach dem Wasserhaushaltsgesetz auf Ausnahmefällen beschränkt ist. Die Anzahl an Gemeinden, in denen mehr als 5 % der baulich geprägten Siedlungs- und Verkehrsfläche in Überschwemmungsgebieten liegt, nimmt kontinuierlich und signifikant zu.



* Siedlungslast: Flächenanteil des amtlich festgesetzten Überschwemmungsgebiets an Binnengewässern, der von baulich geprägter Siedlungs- und Verkehrsfläche eingenommen wird.

Datenquelle: IÖR Monitor Gebietsstände: Gemeinden: 31.12.2020; Überschwemmungsgebiete (Länder): 31.12.2019 bzw. 31.12.2014 (Brandenburg)

diese Siedlungen oder Industriegebiete, entstehen mitunter sehr hohe Schäden (siehe Indikator BAU-I-5, Seite 226).

Der Schutz vor Hochwasserereignissen ist im WHG gemäß den Vorgaben der HWRM-RL geregelt. In Deutschland sind darüber hinaus an Binnengewässern zur Flächenvorsorge Überschwemmungsgebiete verbindlich auf der Grundlage eines statistisch einmal in hundert Jahren zu erwartenden Hochwassers (HQ100) festzusetzen, in denen spezielle Schutzvorschriften einzuhalten sind. In diesen Gebieten sind sowohl die Ausweisung von neuen Baugebieten im Außenbereich in Bauleitplänen als auch die Errichtung oder Erweiterung baulicher Anlagen untersagt beziehungsweise nur in Ausnahmefällen zulässig. Seit dem Jahr 2018 sind zudem Hochwasserentstehungsgebiete auszuweisen, in denen bestimmte Änderungen der Flächennutzung – zum Beispiel die Umwandlung von Grünland zu Ackerland oder von Auwald in eine andere Nutzungsart – einer Genehmigung bedürfen.

In der Vergangenheit wurden in vielen Überschwemmungsgebieten an Binnengewässern bereits bauliche Anlagen wie Verkehrsinfrastrukturen, industrielle und gewerbliche Anlagen sowie Wohngebäude errichtet. So sind gemäß dem Monitor der Siedlungs- und Freiraumentwicklung²²⁶ des Leibniz-Instituts für ökologische Raumentwicklung (IÖR) in rund der Hälfte aller Gemeinden in Deutschland heute Teile von Überschwemmungsgebieten bebaut. Betrachtet man die Entwicklung der vergangenen rund 20 Jahre ist festzustellen, dass zwar die Anzahl dieser Gemeinden insgesamt weitgehend konstant blieb, sich aber die Verteilung auf die verschiedenen Kategorien des Bebauungsgrades veränderte: Die Anzahl an Gemeinden mit weniger als 5 % baulich geprägter Siedlungs- und Verkehrsfläche in Überschwemmungsgebieten ging signifikant zurück, in allen anderen Klassen stieg ihre Anzahl signifikant an. Das bedeutet, dass das Wachstum der Siedlungs- und Verkehrsfläche (siehe Indikator RO-R-5, Seite 310) auch vor den Überschwemmungsgebieten nicht halt machte. Vielmehr nahm die baulich geprägte Siedlungs- und Verkehrsfläche dort um rund 100 km² zu, ein Zuwachs von knapp 13 %.

Nach der geltenden Gesetzeslage sollte eine weitere Ausdehnung der baulich geprägten Siedlungs- und Verkehrsfläche in Überschwemmungsgebieten auf Ausnahmefälle begrenzt sein. Das kontinuierliche Wachstum der vergangenen Jahre zeigt jedoch, dass trotz bekannten Hochwassergefahren nach wie vor ein hoher Siedlungsdruck auf diese Flächen besteht. Anhand der vorliegenden Zahlen sind zwar keine Aussagen möglich, inwieweit andere Gefahren wie Massenbewegungen oder Sturmfluten bei der



Nach wie vor entstehen in Überschwemmungsgebieten neue Baugebiete. (Foto: © benschonewille / stock.adobe.com)

Siedlungsentwicklung Berücksichtigung finden, zumindest mit Blick auf den Hochwasserschutz scheinen aber verstärkte Anstrengungen auch von Raumordnung, Regional- und Bauleitplanung notwendig, um die Siedlungsentwicklung vorsorgend zu steuern und zu gestalten.



Foto: © Andreas Gruhl / stock.adobe.com

Bevölkerungsschutz

Überblick	316
Wirkstrang „Herausforderungen von Extremereignissen für den Katastrophenschutz“	319

Auswirkungen des Klimawandels – Impact

BS-I-1	Einsatzstunden bei wetter- und witterungsbedingten Schadenereignissen	320
---------------	--	------------

Anpassungen an den Klimawandel – Response

BS-R-1	Informationen zum Verhalten im Katastrophenfall	322
BS-R-2	Vorsorge in der Bevölkerung	324
BS-R-3	Übungsgeschehen	326
BS-R-4	Aktive Einsatzkräfte	328



Zur Bedeutung des Handlungsfelds

Flut, Hitze, Dürre, Pandemie und Krieg – in der jüngsten Vergangenheit haben einschneidende Ereignisse und ihre Auswirkungen auch Deutschland erschüttert. Mit der fortschreitenden Klimaerwärmung rücken dabei Naturgefahren immer mehr in den Vordergrund. Die meteorologischen Veränderungen lassen das Risiko für wetter- und witterungsbedingte Krisensituationen hierzulande steigen. Dies bestätigen unter anderem die Ergebnisse des Weltrisikoberichts 2022²²⁷: In Deutschland hat demnach das Risiko für Katastrophen durch Naturereignisse in den letzten zehn Jahren kontinuierlich zugenommen.

Die Sicherheit der Bürger*innen im Katastrophenfall zu gewährleisten, ist die Kernaufgabe des Bevölkerungsschutzes. Deutschland verfügt über ein leistungsfähiges integriertes Hilfeleistungssystem, das sich bewährt: Bund, Länder und Kommunen sowie die privaten

Hilfsorganisationen arbeiten eng zusammen, um Menschen in Notsituationen effektiv zu helfen, Verluste gering zu halten, Schäden zu beseitigen sowie die Bevölkerung bestmöglich auf zukünftige Gefahrenlagen vorzubereiten. Eine tragende Säule des Bevölkerungsschutzes ist die Vielzahl ehrenamtlicher Helfer*innen, die sich in den staatlichen und privaten Hilfsorganisationen engagieren. Die Auswirkungen des Klimawandels stellen Katastrophenvorsorge und -management allerdings vor wachsende Herausforderungen. Damit der Bevölkerungsschutz seine Aufgaben auch unter den Vorzeichen des Klimawandels zuverlässig erfüllen kann, werden die bestehenden Strukturen kontinuierlich weiterentwickelt. Es gilt, die Ressourcen dem steigenden Katastrophenrisiko anzupassen, Koordination und Organisation zu optimieren sowie die Umsetzung wirksamer Präventionsmaßnahmen zu forcieren.

DAS-Monitoring – was im Klimawandel passiert

Vielorts signalisieren die im Bevölkerungsschutz tätigen Organisationen und ehrenamtlich Engagierten, dass die Zahl der wetter- und witterungsbedingten Einsätze ansteigt, auch wenn dies aufgrund der heterogenen Einsatzerfassung derzeit noch nicht quantitativ für das Bundesgebiet nachweisbar ist. Vor allem Extremwetterereignisse scheinen es immer häufiger erforderlich zu machen, dass die Kräfte des Bevölkerungsschutzes ausrücken. Neben heftigen Stürmen prägen insbesondere Flut- und Hochwasserkatastrophen das Einsatzgeschehen. Einen engen Zusammenhang zwischen einzelnen extremen Wetterereignissen und außerordentlichen Belastungsspitzen der Helfer*innen zeigen die Daten des Technischen Hilfswerks (THW), der Bevölkerungsschutzorganisation des Bundes (siehe Indikator BS-I-1, Seite 320). Im Juli des Jahres 2021 führten heftige Regenfälle zu massiven Überschwemmungen besonders im Westen Deutschlands. In den Tälern von Ahr und Erft in Rheinland-Pfalz und Nordrhein-Westfalen ereignete sich eine der schwersten Hochwasserkatastrophen in der Geschichte der Bundesrepublik. Das folgenschwere Ausmaß der Flut im Ahrtal lag

unter anderem in ihrem plötzlichen Auftreten begründet. Zahlreiche Betroffene wurden von den Wassermassen überrascht und konnten nicht die notwendigen Vorkehrungen zu ihrem Schutz treffen. Das THW verzeichnete in diesem Jahr mit über 15.500 eingesetzten Einsatzkräften aus allen THW-Ortsverbänden den bis dahin größten Einsatz in der Geschichte der Organisation.²²⁸

Die häufigeren und intensiveren Wetter- und Witterungsextreme infolge des Klimawandels bedeuten immer neue Belastungsspitzen für die Einsatzkräfte der im Bevölkerungsschutz aktiven Organisationen. Hinzu kommt, dass die Einsatzfähigkeit der Helfer*innen unter den gesundheitlichen Auswirkungen der klimatischen Veränderungen, beispielsweise zunehmender Hitze leidet. Auch eigene Betroffenheiten an Liegenschaften oder im Privatbereich der Einsatzkräfte können die Handlungsfähigkeit der Organisationen einschränken. Um ausreichend Kapazitäten im Einsatzfall sicherzustellen, wächst das Erfordernis für eine erhöhte Rekrutierungsaktivität und einen stets stabilen Bestand an haupt- und ehrenamtlichen Kräften.

Die künftigen Klimarisiken – Ergebnisse der KWRA

Die Untersuchungen im Rahmen der Klimawirkungs- und Risikoanalyse 2021 (KWRA, siehe Lesehilfe, Seite 7) zeigen, dass mit dem Klimawandel das Risiko für Gefahrenereignisse steigt, deren Intensität und Komplexität die Akteure im Bevölkerungsschutz zunehmend

herausfordern. Insbesondere können extreme Wetterereignisse wie Starkniederschläge zur Belastungsprobe für die Einsatzkräfte werden, da die resultierenden Schäden nicht nur die Bewältigungskapazitäten im Zuge der Aufgabenerfüllung an ihre Grenzen führen, sondern auch

die Strukturen des Bevölkerungsschutzes selbst betreffen können. Diese Eigenbetroffenheit kann beschädigte Ausrüstung und Liegenschaften, blockierte Zufahrtswege, Ausfälle stromabhängiger Gerätschaften und Kommunikationsmittel, vor allem aber auch gesundheitsbedingte Personalausfälle umfassen.

Da im Bevölkerungsschutz Vorsorge und Reaktion im Vordergrund stehen, legt die KWRA – anders als in anderen Handlungsfeldern – den Fokus hier auf die Einordnung der Anpassungskapazität. Chancen bestehen demnach

insbesondere in der Förderung, Koordinierung und Optimierung der Zusammenarbeit verschiedener Akteursgruppen wie Feuerwehren und Rettungsdiensten, kommunalen Behörden und Infrastrukturbetreibern. Leitfäden zu Anpassungsmaßnahmen oder Verhaltensempfehlungen können die Bevölkerung unterstützen, sich bestmöglich auf künftige Katastrophenlagen vorzubereiten. Eine höhere Kompatibilität der bundesweit verwendeten Erfassungssysteme und der erhobenen Einsatzinformationen könnten dazu beitragen, auf Grundlage einer verbesserten Datenlage effektive Anpassungsmaßnahmen zu entwickeln.

Wo haben wir Daten- und Wissenslücken?

In welchem Umfang Katastrophensituationen durch Extremwetterereignisse wie Hochwasser oder Stürme die Einsatzkräfte des Bevölkerungsschutzes tatsächlich binden, lässt sich auf Bundesebene bislang nicht systematisch und vollständig erfassen. Die DAS-Monitoringindikatoren zum Einsatz- und Übungsgeschehen beschränken sich auf Daten des THW. Dabei handelt es sich um exemplarische Daten, die nicht notwendigerweise Rückschlüsse auf die Einsatzzahlen anderer Organisationen erlauben. Wünschenswert wäre zukünftig eine Einbindung von Daten der Feuerwehren und Hilfsorganisationen. Hierzu zählen das Deutsche Rote Kreuz, der Arbeiter-Samariter-Bund, die Deutsche Lebensrettungsgesellschaft, der Malteser Hilfsdienst und die Johanniter Unfallhilfe. Aufgrund der dezentralen Organisationsstruktur der Verbände, die in zahlreiche, rechtlich selbständige Einheiten untergliedert sind, stehen derzeit allerdings keine bundesweit koordinierten Datenquellen zu Einsätzen dieser Organisationen zur Verfügung. Dies gilt auch für die Feuerwehren, für die nur in Ausnahmefällen kommunal übergreifend vergleichbare Vorgaben zur Einsatzerfassung vorliegen. Hinzu kommt, dass sich der weitaus überwiegende Anteil der beteiligten Personen aus Ehrenamtlichen rekrutiert und die zeitlichen Kapazitäten für den Aufbau einer statistisch tragfähigen Datensammlung nach einheitlichen Kriterien begrenzt sind. Auch für die Zukunft ist daher nicht mit einer grundlegend veränderten Datensituation zu rechnen.

Um die Auswirkungen des Klimawandels auf den Bevölkerungsschutz und den etwaigen Bedarf an Maßnahmen genauer beschreiben zu können, wäre es zudem wünschenswert, die Eigenbetroffenheit von Liegenschaften der Bevölkerungsschutzorganisationen durch Klimawandelfolgen zu dokumentieren. Entsprechende Daten liegen bisher nicht oder nur aus einzelnen Befragungen vor.

Erfassungen zum Bewusstsein der Bevölkerung für Naturgefahren rückten erst in jüngster Vergangenheit in den Fokus des Interesses. Mit den in regelmäßigem Turnus durchgeführten Umweltbewusstseinsstudien eröffnete sich im Zusammenhang mit der Entwicklung des DAS-Monitoring-Indikatorensystems die Möglichkeit, Erkenntnisse zum Gefahren- und Präventionsbewusstsein der deutschen Bevölkerung zu gewinnen. Da die Befragungen erst im Jahr 2012 starteten, sind die Zeitreihen derzeit allerdings noch kurz. Die Belastbarkeit der Daten ist entsprechend eingeschränkt und Rückschlüsse auf die künftige Entwicklung sind nicht oder nur bedingt möglich. Mit Blick auf den Bevölkerungsschutz und seine Weiterentwicklung zeichnen die Umweltbewusstseinsstudien zudem nur ein eng begrenztes Bild: Aus dem Informationsstand der Bürger*innen lässt sich beispielsweise nicht direkt auf die tatsächliche Selbsthilfekapazität schließen, die neben dem Informationsstand auch von den tatsächlichen Möglichkeiten in der jeweiligen Situation abhängt.

Was getan wird – einige Beispiele

Mit dem steigenden Risiko für wetter- und witterungsbedingte Katastrophenlagen mit einer erhöhten Belastung für die Einsatzkräfte sind die beteiligten Organisationen gefordert, ihre Kapazitäten und Organisationsstrukturen an die neuen Bedingungen anzupassen. Ein zentraler Baustein ist die erfolgreiche Rekrutierung ehrenamtlicher Helfer*innen, um einen wachsenden oder zumindest

dauerhaft stabilen Bestand an Einsatzkräften zu sichern. Dass die intensivierten Bemühungen um neue Einsatzkräfte zumindest bei THW und Feuerwehren Früchte tragen, zeigen deren steigende Mitgliederzahlen (siehe Indikator BS-R-4, Seite 328). Bundesweite Maßnahmen wie die 2020 gestartete Kampagne „Deine Zeit ist jetzt!“ des THW, die seit 2021 laufende Ehrenamtskampagne des BBK

„Egal was du kannst – du kannst helfen“ sowie der begleitende Aufbau und Betrieb der webbasierten Plattform „mit-dir-fuer-uns-alle.de“ sollen die Mitgliederzahlen in den kommenden Jahren weiter steigern. Widrige Umstände wie die weltweite Covid-19-Pandemie führten zu keinem markanten Rückgang bei den Mitgliederzahlen. Demgegenüber hat die gestiegene Zahl an großen Einsätzen und deren Medienpräsenz das Interesse an einer Mitwirkung im Bevölkerungsschutz erhöht. Unter den neuen Mitgliedern sind zunehmend weibliche Einsatzkräfte sowie Menschen mit Migrationshintergrund und Senioren.

Neue gesellschaftliche und technische Entwicklungen bieten auch dem Bevölkerungsschutz neue Wege. So wurde etwa während der Hochwasserereignisse 2013 und 2016 sowie bei der Flutkatastrophe im Ahrtal Mitte 2021 in vielen betroffenen Gebieten schnelle Hilfe über soziale Netzwerke organisiert. Vor dem Hintergrund der Norm ISO 22319:2017 „Leitfaden für die Planung der Einbindung spontaner freiwilliger Helfer“²²⁹ wird der konzeptionelle Rahmen für die koordinierte Einbindung von Spontan Helfenden derzeit in Zusammenarbeit mit den Einsatzorganisationen und den Ländern noch weiter ausgearbeitet, um die bestehende Bereitschaft zu Engagement und Hilfeleistung, die sich weniger als früher in festen Strukturen binden möchte, zukünftig noch effektiver zu nutzen.

Die Praxis des Bevölkerungsschutzes profitiert zudem von Erkenntnissen aus wissenschaftlichen Forschungsprojekten. Im Rahmen des Projekts KlamEx untersuchten das BBK und weitere behördliche Partner der Strategischen Behördenallianz „Anpassung an den Klimawandel“, wie Extremniederschläge das Einsatzgeschehen prägen, welche Wirkfaktoren das Schadenausmaß bestimmen und welche Maßnahmen die Risikovorsorge gegenüber Starkregen im Bevölkerungsschutz und in der Stadtentwicklung unterstützen können. Dabei kamen unter anderem die vom DWD erstellten umfassenden Kataloge der Starkregenereignisse in Deutschland zum Einsatz. Sie liefern bis zurück ins Jahr 2001 wertvolle Daten zu Stark- und Dauerregen und stützen unter anderem die Nachbetrachtung extremer Niederschlagsereignisse.

Um ihre Mitglieder bestmöglich auf den Einsatzfall vorzubereiten, halten die Organisationen des Bevölkerungsschutzes regelmäßig Übungen ab. Sie schaffen die Basis dafür, in extremen Situationen richtig agieren und zielgenaues Krisenmanagement betreiben zu können. Die Daten des THW zeigen, dass auch in Jahren mit Extremereignissen das Übungspensum zeitlich und personell in einem adäquaten Umfang absolviert werden kann (siehe Indikator BS-R-3, Seite 326). Dies ist eine wichtige Grundlage für die Stabilität des Bevölkerungsschutzes,

wenn infolge des Klimawandels wetter- und witterungsbedingte Katastrophenfälle häufiger auftreten können.

Gemäß den Ergebnissen der KWRA 2021 bestehen Anpassungspotenziale insbesondere in der Förderung, Koordinierung und Optimierung der Zusammenarbeit der verschiedenen im Bevölkerungsschutz aktiven Organisationen. Bundesweit tätige Hilfsorganisationen, aber auch Feuerwehren und das THW arbeiten gemeinsam mit behördlichen Instanzen wie dem BBK, dem UBA, dem DWD oder dem BBSR daran, Wissen zu Klimawandelfolgen und Anpassungsmöglichkeiten in die Praxis des Bevölkerungsschutzes zu integrieren. Die involvierten Organisationen reflektieren in diesem Prozess auch ihre eigenen Strukturen und optimieren interne Abläufe.

Neben der Arbeit der verschiedenen Organisationen ist die Selbstschutzfähigkeit der Bürger*innen eine wichtige Komponente des Bevölkerungsschutzes. Es gilt, das Bewusstsein der Bürger*innen für eigenständige Präventions- und Schutzmaßnahmen zu schärfen und die Bevölkerung zielgruppengerecht über das richtige Verhalten im Katastrophenfall aufzuklären. Diesem Ziel dient beispielsweise die bundesweite Informationskampagne des BBK „Für alle Fälle vorbereitet“. Die Ergebnisse der Umweltbewusstseinsstudien deuten darauf hin, dass Bewusstsein und Sensibilität in der Bevölkerung wachsen (siehe Indikatoren BS-R-1, Seite 322, und BS-R-2, Seite 324). Im Jahr 2021 ist der Anteil derjenigen Befragten, die sich über die sie betreffenden Klimawandelrisiken ausreichend informiert fühlen, auf den bisher höchsten Wert von rund zwei Drittel gestiegen. Zudem gaben mehr Personen als in den Jahren zuvor an, selbst genügend Vorsorgemaßnahmen für sich zu ergreifen.

Wichtiger Baustein für einen wirksamen Selbstschutz der Bevölkerung ist eine umfassende und zuverlässige Warninfrastruktur. Digitale Warn-Apps wie NINA (Notfall-Informations- und Nachrichten-App des Bundes) stellen den Menschen entscheidende Informationen für den Katastrophenfall zur Verfügung und ermöglichen durch frühzeitige Warnung, rechtzeitig notwendige Vorkehrungen zu treffen. Die zuständigen Institutionen arbeiten kontinuierlich daran, das Angebot zu verbessern und auszuweiten. So wurde im Februar 2023 Cell-Broadcast als neues Warnmittel in den Wirkbetrieb überführt. Es ermöglicht den funkbasierten Versand von Warnnachrichten direkt auf das Handy oder Smartphone. Neben digitalen Lösungen gehören analoge, fest installierte Sirenen zur Warninfrastruktur in Deutschland. Sie schließen Lücken, wo mobile Technologien vorübergehend nicht funktionieren oder genutzt werden können. Seit 2020 fördert der Bund mit dem Sirenenförderprogramm das Aufstellen neuer Sirenen und die technische Ertüchtigung der bestehenden Anlagen.

Handlungsfeld-relevante Klimaveränderungen

Extremereignisse

In Deutschland zählt Starkregen zu den extremen Wetterphänomenen mit besonderem Gefährdungspotenzial für Menschen und Infrastrukturen. Die hohe räumliche und zeitliche Variabilität von Starkregen und, damit verbunden, ihre schwierige Messbarkeit erschweren gesicherte Aussagen zu ihren Trends. Infolge des Klimawandels wird allerdings eine Zunahme von Starkregenereignissen und deren Intensität erwartet. Zum einen kann die durch die Temperaturentwicklung wärmere Luft größere Mengen Wasserdampf aufnehmen. Zum anderen führen die meteorologischen Veränderungen zu einer Intensivierung der niederschlagsbildenden Prozesse. Die Aufzeichnungen des DWD deuten darauf hin, dass Starkregen in den letzten Jahren zumindest regional vermehrt aufgetreten sind (siehe Seite 24).

Auswirkungen des Klimawandels

BS-I-1 Einsatzstunden bei wetter- und witterungsbedingten Schadenereignissen

Bei folgenschweren Naturereignissen rücken Einsatzkräfte der Bevölkerungsschutzorganisationen aus, um Menschen in den betroffenen Gebieten aus Notlagen zu helfen, die Versorgung sicherzustellen sowie Schäden zu vermeiden oder zu beseitigen. Die im Bevölkerungsschutz tätigen Organisationen und ehrenamtlich Engagierten sehen sich mit einer steigenden Zahl wetter- und witterungsbedingter Einsätze mit immer größeren Belastungsspitzen konfrontiert. Neben heftigen Stürmen prägen insbesondere Flut- und Hochwasserkatastrophen infolge von Starkregen das Einsatzgeschehen. Zuletzt hielten im Juli 2021 die schweren Hochwasser im Ahrtal die Helfer*innen in Atem.

Anpassungen – Aktivitäten und Ergebnisse

BS-R-4 Aktive Einsatzkräfte

Um den zunehmenden Bedarf an Einsatzkräften zu decken und die Belastung der einzelnen Helfer*innen trotz häufigeren Einsätzen infolge des Klimawandels zu reduzieren, verstärken die im Bevölkerungsschutz aktiven Organisationen ihre Rekrutierungsmaßnahmen. Mit Erfolg: Im Jahr 2021 waren 50.000 mehr Menschen bei Feuerwehren und THW aktiv als noch fünf Jahre zuvor. Auch die erschwerten Arbeitsbedingungen und besonderen Herausforderungen während der weltweiten Covid-19-Pandemie führten zu keinem markanten Rückgang bei den Mitgliederzahlen.

BS-R-2 Vorsorge in der Bevölkerung

Zur Unterstützung der Einsatzkräfte ist die Eigenvorsorge der Bevölkerung von entscheidender Bedeutung. Wer Vorsorge getroffen hat, benötigt weniger Hilfeleistung und kann die Einsatzkräfte bei deren Arbeit mitunter entlasten und selbst Hilfe leisten. Die verschiedenen Organisationen klären über Risiken auf und informieren über das richtige Verhalten im Ernstfall sowie effektive Vorsorgemaßnahmen. In der Umweltbewusstseinsstudie des Jahres 2021 gaben mehr als zwei Drittel der Befragten an, aus ihrer Sicht selbst genügend Vorsorgemaßnahmen zu ergreifen. Dies ist der höchste Wert seit Beginn der Befragungen im Jahr 2012.



State

Foto: © Yury and Tanya / stock.adobe.com



Impact

Foto: © medienweber / stock.adobe.com



Response

Foto: © VRD / stock.adobe.com



Response

Foto: © Imagenatural / stock.adobe.com

Extremereignisse bringen nicht gekannte Einsatzspitzen

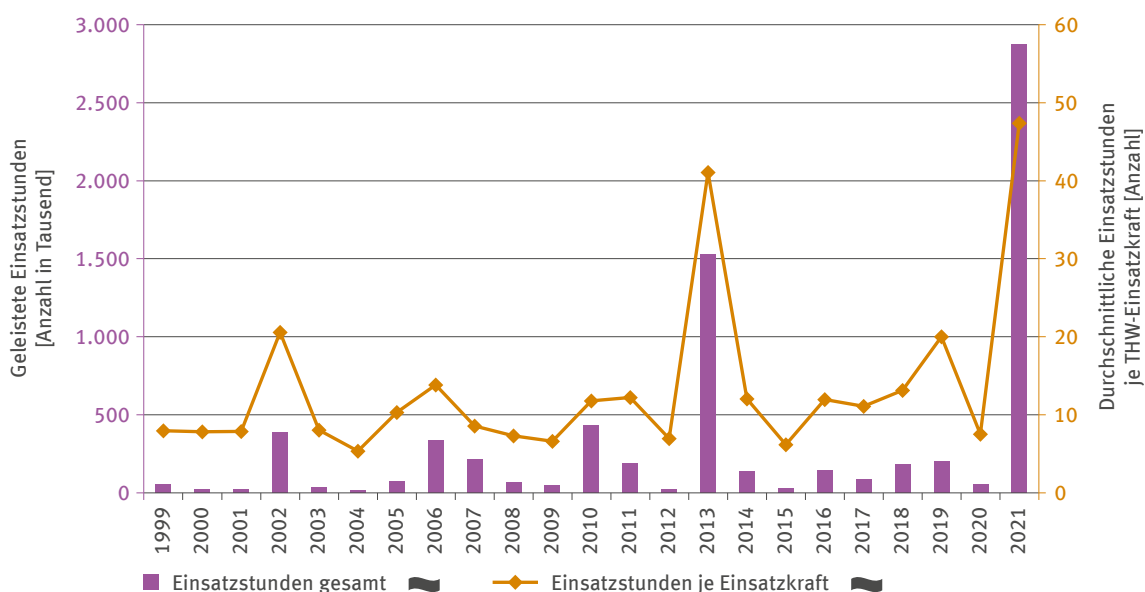
Deutschland erlebte in den letzten rund zwei Jahrzehnten eine Reihe von meteorologischen Extremereignissen. Sie treten infolge des Klimawandels häufiger und mit höherer Intensität auf. Mit Extremwetterereignissen gehen teilweise massive Einsatzbelastungen für die Einsatzkräfte im Bevölkerungsschutz einher. Schließlich gehört es zu deren wesentlichen Aufgaben, technische Hilfe zu leisten, wenn aus extremen Wetter- und Witterungsereignissen Notlagen bis hin zu Katastrophen entstehen. Die Einsatzkräfte sichern zum Beispiel Deiche mit Sandsäcken oder montieren mobile Hochwasserschutzwände, um Überflutungen zu verhindern, sie evakuieren Anwohner*innen und verhindern, dass Industrieanlagen oder Klärwerke überschwemmt werden. Nach heftigen Stürmen oder Orkanen entfernen sie Windbruch von Straßen und Schienen und machen diese wieder befahrbar. Auch nach einem vergleichsweise kurzen und kleinräumig auftretenden Starkregenereignis sind die Einsatzkräfte oft über Stunden mit dem Auspumpen der überfluteten Keller und Wohnräume beschäftigt.

Vielerorts signalisieren die im Bevölkerungsschutz tätigen Organisationen, dass die Zahl der wetterbedingten Einsätze zu technischen Hilfeleistungen ansteigt. Detaillierte quantitative und vergleichbare Daten über die Anzahl, Dauer und Ursachen von Einsätzen liegen für das THW vor. Signifikante Trends zu einer dauerhaft erhöhten Belastung der Einsatzkräfte sind bislang zwar nicht zu verzeichnen, die Zahlen für die vergangenen Jahre zeigen jedoch, wie einzelne Extremereignisse – vor allem die Jahrhunderthochwasser in den verschiedenen Flussgebieten – das Einsatzgeschehen prägen.

Im Frühsommer 2013 wurden infolge tagelanger Regenfälle ganze Landstriche in Mitteleuropa überschwemmt. In Deutschland waren insgesamt neun Bundesländer betroffen, insbesondere im Osten und Südosten, an Donau, Elbe und Saale. Schwere Hochwasser führten zum bis dahin größten Einsatz der Feuerwehr in Deutschland. Auch beim THW ragt das Jahr 2013 hinsichtlich der Einsatzbelastung bei den Helfer*innen heraus: Insgesamt fielen in diesem Jahr 1,5 Mio. Einsatzstunden an.

BS-I-1: Einsatzstunden bei wetter- und witterungsbedingten Schadenereignissen

In Jahren mit Orkanen, heftigen Starkregen oder extremen Hochwasserereignissen kommt es zu deutlich erhöhten Einsatzbelastungen für die Helfer*innen des Technischen Hilfswerks. Die Zeitreihe ist stark von einzelnen extremen Ereignissen geprägt. Die Folgen von Tief Bernd 2021 und die damit verbundene Hochwasserkatastrophe vor allem im Westen Deutschlands führten zur bisher größten Einsatzspitze. Ein signifikanter Trend zeichnet sich bislang nicht ab.



Datenquelle: THW (Einsatzkräftestatistik)

Im Juli des Jahres 2021 führte eine der schwersten Flutkatastrophen in der Geschichte Deutschlands zum bisher größten Einsatz seit Bestehen des THW. Besonders heftig waren Teile des Ahrtals in Rheinland-Pfalz betroffen. Viele Menschen wurden von den Wassermassen überrascht. Es gab zahlreiche Tote und viele Tausend Verletzte. Über Monate hinweg leistete eine Vielzahl an Einsatzkräften aus ganz Deutschland, darunter allein rund 15.500 Kräfte des THW, in den betroffenen Gebieten Hilfe.²³⁰ Durch das Ausmaß der Katastrophe war das gesamte Fach- und Leistungsspektrum der Helfer*innen gefragt: In den ersten Tagen standen vor allem Rettungs- und Pumparbeiten im Fokus. Als die Pegel sanken, fielen verstärkt kräftezehrende Räum- und Infrastrukturarbeiten an. Infolge der massiven Zerstörungen musste in zahlreichen Orten die Strom- und Wasserversorgung wiederhergestellt werden. Höchste Priorität hatte zudem die (provisorische) Instandsetzung unpassierbarer oder zerstörter Verkehrswege und Brücken, um die Versorgung der Bevölkerung mit Hilfsgütern zu gewährleisten. Insgesamt leisteten die Einsatzkräfte des THW in diesem Jahr knapp 3 Mio. Einsatzstunden.

Auch die hohen Einsatzzahlen in den Jahren 2002, 2006 und 2010 wurden maßgeblich durch Hochwasserereignisse ausgelöst. Für das Jahr 2007 gingen die überdurchschnittlichen Einsatzzahlen zu großen Teilen auf das Konto des Orkantiefs Kyrill im Januar. Im Mai und Juni des Jahres 2016 hielten die Folgen von Starkregen die Einsatzkräfte bundesweit in Atem. Von Ende Mai bis Anfang Juli waren rund 10.000 THW-Einsatzkräfte Tag und Nacht im Einsatz. In Simbach am Inn kam es zum größten Trinkwassereinsatz des THW in Deutschland: Das THW versorgte die Bevölkerung 14 Tage lang mit insgesamt 5,6 Mio. Liter Wasser. Ein weiterer Schwerpunkt war die Wiederherstellung von Straßenbrücken und Versorgungsinfrastrukturen, die durch reißende Bäche und Flüsse zerstört waren.

Insbesondere über mehrere Wochen andauernde Einsätze mit einem stetig hohen Bedarf an Einsatzkräften sind eine große Herausforderung für das überwiegend ehrenamtlich aufgebaute THW. Für einige Helfer*innen ist eine Freistellung von ihrem Arbeitsplatz für mehrere Wochen aufgrund der Arbeitsmarktsituation problematisch. Die Folge ist ein hoher Durchlauf an Einsatzkräften, der eine verstärkte Koordination erfordert und organisatorische Probleme mit sich bringt.

Grundsätzlich ist zu berücksichtigen, dass die Einsatzzahlen des THW nur eingeschränkt Rückschlüsse auf die anderen im Bevölkerungsschutz tätigen Organisationen erlauben, da das THW nur auf Anforderung eingesetzt



Extreme Überschwemmungen und Orkane erzeugen Belastungsspitzen für die Einsatzkräfte im Bevölkerungsschutz. (Foto: © medienweber / stock.adobe.com)

wird. Außerdem sind die Zahlen auch von der Art der auftretenden Ereignisse abhängig, denn für bestimmte Einsatzfälle ist vor allem das THW mit seiner spezifischen Materialausstattung gerüstet.

Inwieweit sich auch Einsatzzahlen der Feuerwehren für eine kommunal übergreifende Analyse der Einsatzbelastung durch Extremwetterereignisse eignen, wurde von 2019 bis 2021 im Projekt KlamEx der Strategischen Behördenallianz „Anpassung an den Klimawandel“ untersucht. Die in diesem Rahmen durchgeführte Befragung zur Dokumentation unwetterbedingter Einsätze, an der sich zehn Bundesländer beteiligten, ergab eine große Vielzahl verwendeter Eingabesysteme sowie Unterschiede in der Kategorisierung der Einsatzursache oder in der Auslegung des Einsatzbegriffs. Dadurch sind die Einsatzzahlen zwischen Kommunen nur begrenzt miteinander vergleichbar. Ausnahmen bilden die Einsatzdaten in Ländern, in denen bereits landesweit einheitliche Regelungen für die Einsatzerfassung getroffen wurden. Eine bundesweit einheitliche Regelung ist bis auf Weiteres nicht absehbar.

Ungeachtet der Datengrundlage muss für Jahre mit ausgeprägten Extremereignissen davon ausgegangen werden, dass auch bei den Feuerwehren und den privaten Hilfsorganisationen hohe wetter- und witterungsbedingte Einsatzbelastungen auftreten, mit allen damit verbundenen Schwierigkeiten aufgrund der ehrenamtlichen Struktur dieser Organisationen.

Informationsbereitschaft und Kenntnisse wachsen

Die Selbstschutzzfähigkeit der Bevölkerung ist eine wichtige Komponente des Bevölkerungsschutzes. Als Selbstschutz bezeichnet man die Summe der individuellen Maßnahmen der Bevölkerung, von Behörden und / oder Betrieben zur Vermeidung, zur Vorsorge und zur Selbsthilfe, das heißt zur Bewältigung von Ereignissen. Durch das richtige Verhalten in Notfallsituationen können Bürger*innen dazu beitragen, sich selbst und ihre Mitmenschen zu schützen und die allgemeine Sicherheit zu verbessern.

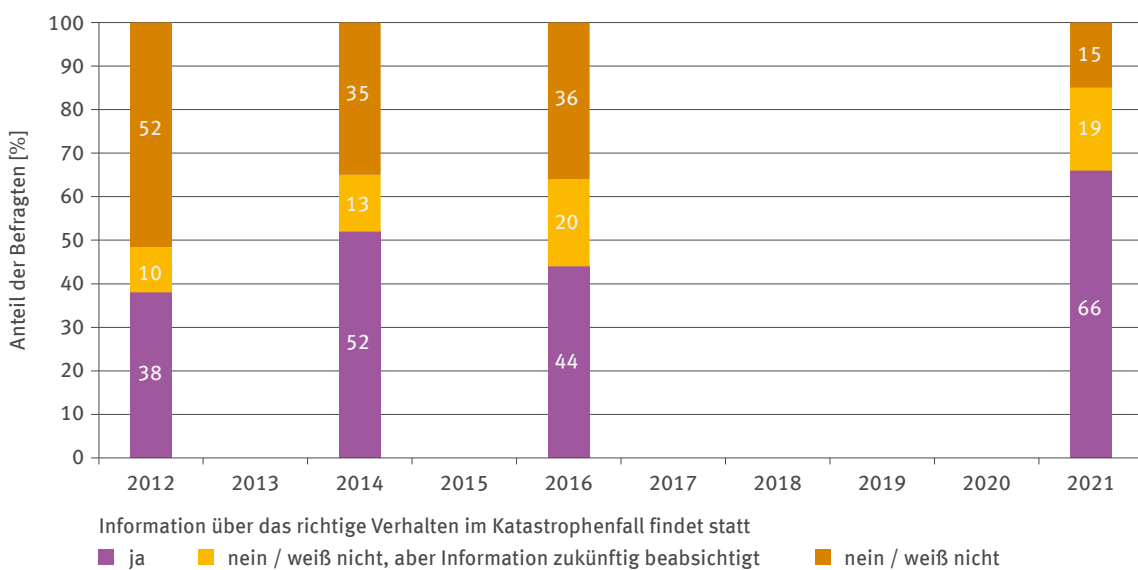
Kommt es zu einem Unfall oder einer Notsituation, benötigen die Rettungskräfte Zeit, um den Einsatzort zu erreichen und Hilfe leisten zu können. Sind dies bei einem Unfall in der Regel nur wenige Minuten, kann es bei wetter- und witterungsbedingten Extremereignissen wesentlich länger dauern, bis Rettungskräfte in ausreichender Anzahl eintreffen, um allen Betroffenen helfen zu können. Dies machte zuletzt die schwere Flutkatastrophe im Ahrtal im Juli 2021 deutlich, als die Wassermassen Straßen und Brücken mitrissen und den Hilfskräften den direkten Zugang zu den Betroffenen unmöglich

machten. Auch kann das Einsatzgebiet zu groß sein, um alle Hilfsbedürftigen schnell zu erreichen. Um Leib und Leben zu schützen und Sachwerte zu erhalten, ist es daher bei Ereignissen wie schweren Unwettern, außergewöhnlich starken Schneefällen, Sturzfluten oder großflächigen Überschwemmungen besonders wichtig, dass die Bürger*innen sich zunächst selbst helfen können, bis Feuerwehr, Rettungsdienst oder Katastrophenschutz zur organisierten Hilfeleistung eintreffen.

Dabei gilt, dass vor allem die Personen richtig helfen können, die sich mit den möglichen Folgen eines Schadensereignisses schon auseinandergesetzt haben, bevor es eintritt. Es ist daher von Bedeutung, dass möglichst viele Menschen die sie betreffenden Gefahren kennen und über die richtigen Verhaltensweisen in Notfallsituationen informiert sind. Der technische Fortschritt in der Verarbeitung und Verbreitung geografischer Informationen hat in den letzten Jahren zahlreiche neue Quellen hervorgebracht, aus denen sich Bürger*innen über lokal oder regional bestehende Gefahren informieren können. So werden im Internet mittlerweile zum Teil flurstückgenaue

BS-R-1: Information zum Verhalten im Katastrophenfall

66 % der Befragten der Umweltbewusstseinsstudie 2021 informierten sich bislang über das richtige Verhalten im Katastrophenfall, weitere 19 % haben sich dies für die Zukunft vorgenommen. 15 % der Befragten sehen hierfür keinen Bedarf. Dies ist die niedrigste Zahl der bisherigen Umfragen. Die Befragungsergebnisse deuten darauf hin, dass Bewusstsein und Sensibilität in der Bevölkerung wachsen.



Datenquelle: BMUB/BMUV & UBA (Studie „Umweltbewusstsein in Deutschland“, für 2021: Zusatzbefragung im Rahmen der Studie „Umweltbewusstsein in Deutschland 2020“)

Informationen zu Hochwassergefahren, zu Geogefahren wie Massenbewegungen und Erdbeben oder auch zu Sturmschadensrisiken angeboten. Der GDV bietet mit dem „Naturgefahren-Check“ im Internet eine adressgenaue Einschätzung der Naturgefahren von Hochwasser, Sturm und Hagel, Blitz und Überspannung an.

Ausgehend vom Wissen um die Gefahren, die möglicherweise für ihren Wohn- und Arbeitsort bestehen, können sich die Bürger*innen Informationen über das richtige Verhalten für Notfallsituationen einholen. Wichtig ist zum einen die Entwicklung und Pflege allgemeiner Fähigkeiten beispielsweise durch Erste-Hilfe-Kurse. Zum anderen werden von Behördenseite spezifische Informationsmaterialien angeboten. Von Bundeseite informiert vor allem das BBK über das richtige Verhalten im Katastrophenfall, etwa in Form von Broschüren und über seine Internetseite. Dort wird zudem ein neues interaktives „360° Notfalltraining“ angeboten, das insbesondere jüngeren Zielgruppen den Zugang zu den Themen Vorsorge, Selbstschutz und Verhalten im Ernstfall erleichtern soll.²³¹ Mittels der 2021 gestarteten Informationskampagne „Für alle Fälle vorbereitet“ wird die Bevölkerung zielgruppenübergreifend unter anderem auch über TV-Spots angesprochen. Darüber hinaus können Bürger*innen in der Warn-App NINA neben Warnungen zum Bevölkerungsschutz auch Unwetterwarnungen des DWD und Hochwasserinformationen des länderübergreifenden Hochwasserportals abonnieren, sowohl für selbst gewählte Orte als auch für den eigenen Standort (siehe Indikator HUE-2, Seite 334). Hinzu kommen Informationsangebote der Länder und gegebenenfalls der vor Ort zuständigen kommunalen Behörden.

Im Rahmen der repräsentativen Bevölkerungsumfrage „Umweltbewusstsein in Deutschland“, die regelmäßig im Auftrag des UBA und des Bundesumweltministeriums durchgeführt wird²³², wird seit 2012 danach gefragt, ob sich die Befragten über das richtige Verhalten im Katastrophenfall informieren. Im Jahr 2021 wurden die Daten erstmalig im Rahmen einer künftig nur noch 4-jährlichen Sondererhebung zur Umweltbewusstseinsstudie erfasst. Waren es 2012 noch 38% aller Befragten, die entsprechende Informationen eingeholt haben, waren es im Jahr 2014 bereits 52% und in 2016 44%. Im Jahr 2021 stieg der Anteil auf 66%. Auch der Anteil derjenigen, die sich zukünftig informieren möchten, ist von 10% in 2012 auf 19% in 2021 gestiegen.

Zwar geben die Zahlen keine Auskunft darüber, wie intensiv sich die Befragten mit den unterschiedlichen Gefahren und möglichen Verhaltensweisen auseinandergesetzt haben (siehe Indikator BS-R-2, Seite 324), sie zeigen aber, dass inzwischen 85% der Befragten den



Regelmäßige Erste-Hilfe-Kurse oder auch Notfall-Übungen am Arbeitsplatz stärken die Eigenvorsorge. (Foto: © Pixel-Shot / stock.adobe.com)

Bedarf an und den Nutzen von Information sehen. Der Anstieg in den letzten zehn Jahren deutet darauf hin, dass die Sensibilisierung in der Bevölkerung wächst und damit auch die Bereitschaft, sich besser zu informieren, um Vorsorge treffen zu können und im Katastrophenfall handlungsfähig zu sein. Es kann davon ausgegangen werden, dass die Extremereignisse in den zurückliegenden Jahren und die höhere mediale Präsenz von Klimawandelthemen einen relevanten Beitrag zu diesem erhöhten Bewusstsein geleistet haben. So bewogen sicherlich auch die Auswirkungen des Hochwassers im Ahrtal Menschen dazu, sich über die Folgen des Klimawandels und das richtige Verhalten im Falle eines Extremereignisses zu informieren. Die Flutkatastrophe ereignete sich nur wenige Monate vor der letzten Befragung im Jahr 2021.

Bei der Interpretation der Zahlen ist zu berücksichtigen, dass nicht alle Bürger*innen allen wetter- und witterungsbedingten Naturgefahren in gleichem Maße ausgesetzt sind. So treten Sturmfluten oder Hochwasser entlang der Küsten oder von Flussläufen auf, andere Gebiete sind hiervon nicht oder deutlich seltener und in geringerem Umfang betroffen. Allerdings ist die Bevölkerung hoch mobil. Zudem ist inzwischen erwiesen, dass Gefahren wie Hitze oder Starkregen überall in Deutschland auftreten und auch katastrophale Ausmaße annehmen können. Vor diesem Hintergrund ist es wünschenswert, dass Kenntnisse über die grundlegenden Verhaltensregeln in Notfallsituationen in der ganzen Bevölkerung vorhanden sind.

Immer noch Lücken in der Eigenvorsorge für den Notfall

Für den Selbstschutz ist nicht nur die Fähigkeit wichtig, sich und anderen im Ereignisfall schnell und zielgerichtet helfen zu können. Die Bürger*innen können durch geeignete Maßnahmen in ihrem persönlichen Umfeld auch in vielfältiger Weise Vorsorge gegen die Folgen von Wetter- und Witterungssituationen wie Hitzeperioden, Stürmen oder Starkregen treffen und dadurch Schlimmerem vorbeugen. Hierfür ist es wesentlich, dass Bürger*innen sich über die Risiken, die mit den Folgen des Klimawandels verbunden sind, ausreichend informiert fühlen (siehe Indikator BS-R-1, Seite 322). Manche der an Extremwetter angepassten Verhaltensweisen erfolgen mehr oder weniger unbewusst als Teil der täglichen Lebensführung. Hierzu gehört unter anderem, sportliche Anstrengungen bei übermäßiger Hitze zu vermeiden, temperaturangepasste Kleidung am Arbeitsplatz und zu Hause zu tragen, ausreichend Flüssigkeit an heißen Tagen zu sich zu nehmen oder auch unnötige Fahrten bei Risikowetterlagen zu vermeiden.

Während diese Maßnahmen noch sehr selbstverständlich sind, ist es die darüber hinaus gehende Vorsorge für

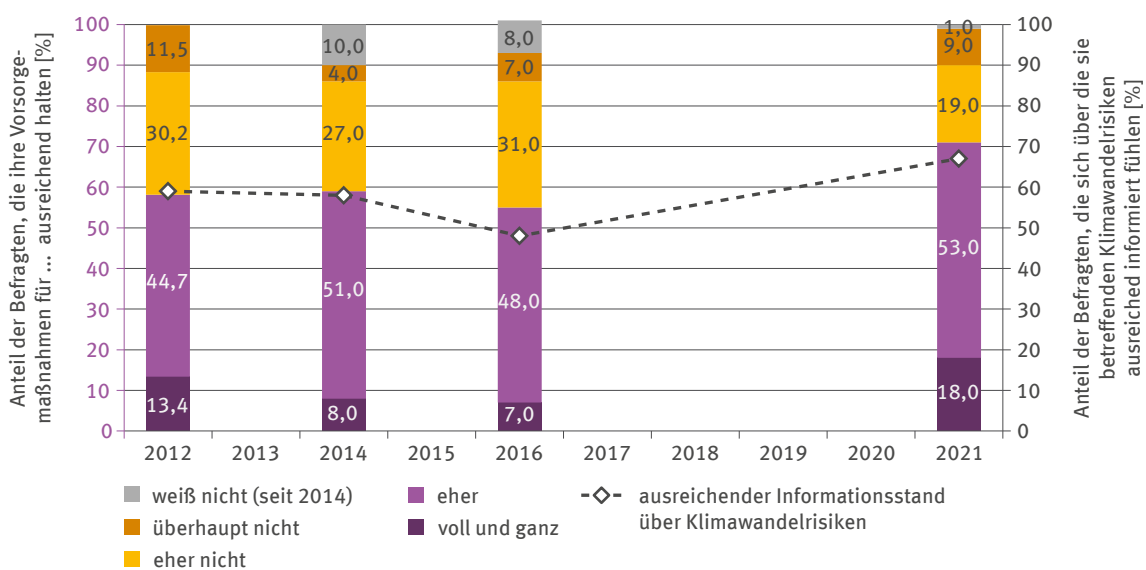
Notlagen in deutlich geringerem Maße. In Deutschland funktioniert die Versorgung mit den grundlegenden Gütern und Dienstleistungen wie Lebensmitteln, Wasser, Strom und Telekommunikation auf einem hohen Niveau. Die Bürger*innen können sich in aller Regel auf die zugrunde liegende Logistik und Infrastruktur verlassen. Die Kehrseite der Medaille: Da schlechte Erfahrungen mit der Versorgung in Deutschland glücklicherweise selten sind, ist die Bevölkerung insgesamt weniger auf Ausnahmesituationen vorbereitet. Notvorräte von Wasser, Lebensmitteln, Kerzen oder Batterien, die vor wenigen Jahrzehnten noch selbstverständlich waren, legen heute nur noch vergleichsweise wenige Haushalte an. Schon durch diese zumeist einfachen Vorsorgemaßnahmen können Bürger*innen aber dazu beitragen, dass extreme Situationen für sie persönlich keinen katastrophalen Verlauf nehmen. Möglicherweise wird die aktuelle Situation im Zusammenhang mit dem Ukraine-Krieg eine Wende einleiten und die Vorsorgebereitschaft der Bevölkerung erhöhen.

Neben der allgemeinen Vorsorge durch die Notbevorratung spielt auch die bauliche Vorsorge beim Schutz



BS-R-2: Vorsorge in der Bevölkerung

Bis 2016 ist der Anteil der Befragten, die sich über die sie betreffenden Klimawandelrisiken ausreichend informiert fühlen, gesunken. In der Befragung des Jahres 2021 ist der entsprechende Anteil wieder auf über zwei Drittel gestiegen. Die Einschätzung, selbst genügend Vorsorgemaßnahmen zu ergreifen, teilen in allen Befragungen mehr als die Hälfte der Befragten.



Datenquelle: BMUB/BMUV & UBA (Studie „Umweltbewusstsein in Deutschland“, für 2021: Zusatzbefragung im Rahmen der Studie „Umweltbewusstsein in Deutschland 2020“)

gegenüber Extremwetterereignissen eine große Rolle. Hauseigentümer*innen können durch eine Reihe zum Teil einfacher baulicher Maßnahmen, beispielsweise durch den Einbau von Rückstauklappen, die eigenen vier Wände vor wetter- und witterungsbedingten Risiken schützen. Das BBK informiert Hausbesitzer*innen hierzu außer mit Informationsbroschüren auch durch Videos auf einem YouTube-Kanal (<https://m.youtube.com/@BBKBund>), um eine möglichst breite Bevölkerungsgruppe zu erreichen. Über die unter anderem auch im Fernsehen ausgestrahlte Informationskampagne „Für alle Fälle vorbereitet“ (siehe Indikator BS-R-1, Seite 322) wird die Bevölkerung nochmals über andere Wege auf die Bedeutung des Selbstschutzes hingewiesen.

Für den operativen Bevölkerungsschutz spielen die Vorsorge- und Selbsthilfefähigkeiten von Bürger*innen mit ihren verschiedenen Facetten eine wichtige Rolle: Wer Vorsorge getroffen hat und / oder in der Lage ist, sich selbst und womöglich noch anderen zu helfen, benötigt weniger Hilfeleistung und kann möglicherweise die Einsatzkräfte bei deren Arbeit entlasten.

Im Vergleich der Ergebnisse der Umweltbewusstseinsstudien 2012, 2014 und 2016 sowie der Erhebung im Jahr 2021 wird deutlich, dass der Anteil der Befragten, die sich ausreichend über die sie betreffenden Folgen des Klimawandels informiert fühlt, bis 2016 zunächst um 11 % gesunken ist. Waren es 2012 noch 59 %, so lag der Wert 2016 nur noch bei 48 %. Von 2016 bis zur Befragung im Jahr 2021 ist der entsprechende Anteil dagegen wieder gestiegen: Zuletzt gaben mit 67 % rund zwei Drittel der Befragten an, über einen ausreichenden Informationsstand über Klimawandelrisiken zu verfügen. Beim Blick darauf, ob selbst in ausreichendem Maß Vorsorgemaßnahmen getroffen werden, haben in allen Befragungen mehr als die Hälfte der Teilnehmenden den Eindruck, dass sie ausreichend vorsorgen. Zum Jahr 2021 stieg ihr Anteil auf 71 %.

Die Befragung zum Themenkomplex „Klimaanpassung“ der Umweltbewusstseinsstudie fand im Herbst 2021 erstmalig im Rahmen einer künftig nur noch 4-jährlichen Sondererhebung zur Umweltbewusstseinsstudie statt. Zu dieser Zeit waren die Auswirkungen der folgenschweren Flutkatastrophe, die sich wenige Monate zuvor in Nordrhein-Westfalen und Rheinland-Pfalz ereignet hatte, in den Medien noch immer stark präsent. Es ist möglich, dass die Ereignisse im Ahrtal dazu beigetragen haben, den Informationsstand der Bevölkerung über Klimawandelrisiken bis zum Zeitpunkt der Befragung weiter zu erhöhen. In Anbetracht der hohen Verluste und schweren Schäden infolge der Flut, könnte die Katastrophe zudem



Neben Trinkwasser und Lebensmitteln gehören Medikamente, Batterien und viele Dinge des täglichen Bedarfs in den Notvorrat (Foto: © Imagenatural / stock.adobe.com)

Anlass dazu gegeben haben, die eigenen Vorsorgemaßnahmen zu prüfen und aktiv umzusetzen.

Die Ergebnisse aus 2021 bedeuten aber auch, dass rund 30 % der Befragten ihren Informationsstand sowie die eigenen Vorsorgemaßnahmen als nicht ausreichend erachten. Bei der Interpretation der Ergebnisse ist einschränkend zu berücksichtigen, dass dem ein subjektives Verständnis von Risikoinformation und Vorsorge zugrunde liegt und nicht eingeschätzt werden kann, ob es nicht auch bei den Befragten, die ihres Erachtens ausreichend Vorsorge treffen, erhebliche Vorsorgelücken für Notlagen gibt.

Übungen – Grundlage für richtiges Handeln im Einsatz

Regelmäßige Übungen der Einsatzkräfte schaffen die Basis dafür, in extremen Situationen richtig agieren und zielgenaues Krisenmanagement betreiben zu können. Sie befähigen die Einsatzkräfte zum richtigen Handeln, sowohl bei der Organisation und Koordination als auch bei der direkten Hilfe vor Ort. Ein spezieller Klimabezug der Übungen ist dabei keine Voraussetzung, um sich auf Klimawandelfolgen vorzubereiten, denn die möglichen Ereignisse werden nicht grundsätzlich anders geartet sein als bisher. Die Bewältigung von Starkregenfällen und Stürmen, aber auch von Hochwasserereignissen oder Hitzeperioden und deren Folgen ist seit jeher eine Kernaufgabe des Bevölkerungsschutzes. Neue Anforderungen können vor allem daraus entstehen, dass diese Ereignisse zukünftig häufiger und intensiver auftreten und sich möglicherweise auch in zunehmendem Maße zeitlich überlagern.

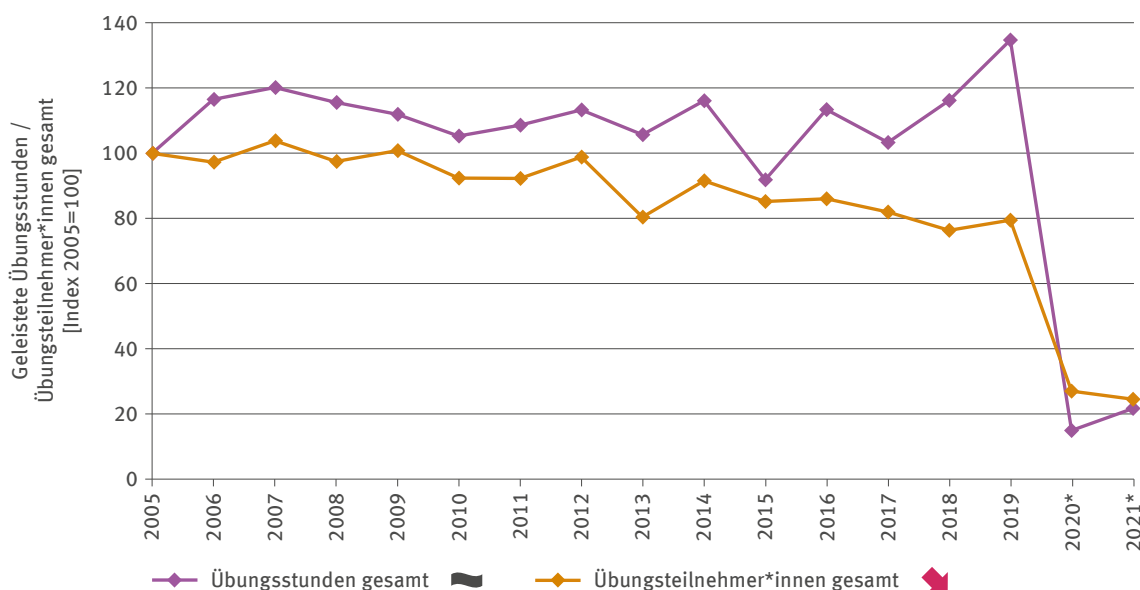
Übungen des Bevölkerungsschutzes können im Grundsatz auf zwei verschiedene Arten durchgeführt werden: als sogenannte Vollübung mit realisiertem Übungsszenario oder als Stabsrahmenübung. Letztere sollen

insbesondere dazu beitragen, Kommunikationsstrukturen zu überprüfen und die Katastrophenschutzbehörden auf den Ernstfall vorzubereiten. Denn in der Nachbetrachtung von Einsätzen und Übungen wird oft deutlich, dass Verbesserungsbedarf des Bevölkerungsschutzes vor allem in der organisationsübergreifenden Kommunikation und Koordination liegen kann. Auch deshalb werden Übungen des Bevölkerungsschutzes in der Regel so angelegt, dass Einheiten aus verschiedenen Regionen und möglicherweise mit verschiedenen Spezialisierungen zum Beispiel hinsichtlich ihrer Materialausstattung gemeinsam üben können.

Die Häufigkeit von und die Teilnahme an Übungen unterliegen dabei verschiedenen Einflussfaktoren. Mitunter kommt es zu einem geringeren Übungsgeschehen, ohne dass die Leistungsfähigkeit der Einsatzkräfte darunter leidet. So kann in Jahren mit einer erhöhten Einsatzhäufigkeit die Zahl der Übungsteilnehmenden und -stunden rückläufig sein, weil für die Helfer*innen die Zeit zur Teilnahme fehlt oder man ihnen die notwendigen Ruhephasen ermöglichen muss. Die nicht in Übungen

BS-R-3: Übungsgeschehen

In der Regel kann das THW auch in Jahren mit Extremereignissen sein Übungspensum zeitlich und personell in einem adäquaten Umfang absolvieren. Die schweren Hochwasser in den Jahren 2013 und 2021 ließen die geleisteten Übungsstunden nur geringfügig sinken. Während der Covid-19-Pandemie lag der Fokus des THW darauf, die Einsatzfähigkeit aufrechtzuerhalten. Übungen fanden in den Jahren 2020 und 2021 nur stark eingeschränkt statt.



*Die Jahre 2020 und 2021 der Covid-19-Pandemie wurden in der Trendanalyse nicht berücksichtigt. Datenquelle: THW (Übungsstatistik)

erworbene Routine wird dann durch die Erfahrungen aus den Einsätzen kompensiert.

Ein Hindernis für die Teilnahme an Übungen ist die mangelnde Bereitschaft von Unternehmen, die Ehrenamtlichen des THW oder anderer Hilfsorganisationen für die Dauer der Übung freizustellen. In Jahren mit hohen Einsatzzahlen wird mitunter auch deswegen auf die Teilnahme an Übungen verzichtet, um keine zusätzlichen Freistellungen vom Arbeitsplatz erforderlich zu machen. Dies zeigte sich beispielsweise in einem Rückgang der geleisteten Übungsstunden im Jahr 2013, als im Mai und Juni infolge heftigen Dauerregens schwere Hochwasserereignisse insbesondere im Osten und Südosten Deutschlands die Einsatzkräfte forderten. Mit etwas mehr als 308.000 Stunden wurden im Jahr 2015 – mit Ausnahme der beiden Jahre 2020 und 2021 – die wenigsten Übungsstunden geleistet. Ursache war die verstärkte Einbindung der THW-Einsatzkräfte in die Koordinierung und Umsetzung der Unterbringung von Flüchtlingen in Deutschland.

Die Jahre 2020 und 2021 sind durch einen massiven Rückgang sowohl der geleisteten Übungsstunden als auch der Übungsteilnehmer*innen geprägt. Diese Entwicklung ist in erster Linie eine Folge der Covid-19-Pandemie: Der Fokus des THW lag in dieser Zeit auf der Aufrechterhaltung der Einsatzfähigkeit. Zudem erforderten die Umsetzung der notwendigen Maßnahmen und entsprechenden Auflagen zur Pandemiebekämpfung eine Reduzierung des Übungsgeschehens auf ein Minimum. Im Jahr 2021, als Übungen in begrenztem Rahmen wieder möglich waren, wurden größere Übungen mit vielen Beteiligten zur Kontaktreduzierung weiterhin vermieden. So nahmen 2021 weniger als 5.000 Einsatzkräfte an den Übungen des THW teil.

Mitte Juli 2021 wirkte sich auch die verheerende Flutkatastrophe im Westen Deutschlands auf das Übungsgeschehen aus. In der Regel muss das THW allerdings selbst bei solchen Großschadenlagen seine Übungsaktivitäten nur leicht reduzieren. Beispielsweise lag die Anzahl geleisteter Übungsstunden im äußerst einsatzreichen Jahr 2013 nicht niedriger als 2010, als deutlich weniger Einsatzstunden anfielen (siehe Indikator BS-I-1, S. 320). So blieb auch 2021 trotz des intensiven Einsatzes der THW-Kräfte im Ahrtal die Covid-19-Pandemie bestimmender Faktor für die Entwicklung des Übungsgeschehens.

Bei Ausklammern der beiden durch die Covid-19-Pandemie geprägten Jahre 2020 und 2021, ergibt die Trendanalyse für die Entwicklung der Übungsstundenzahl keinen signifikanten Trend. Nach einer leicht rückläufigen und



Übungen schaffen Routinen für den Einsatzfall – für die praktische Hilfe vor Ort ebenso wie für Organisation und Koordination. (Foto: © filmbildfabrik / stock.adobe.com)

anschließend schwankenden Zahl an Übungsstunden zwischen 2007 und 2017 nahmen die geleisteten Übungsstunden in den drei Jahren vor Beginn der Pandemie wieder zu. Im Jahr 2019 erreichte die Zahl ihren bisherigen Höchstwert: Mit insgesamt über 450.000 Stunden wurden knapp 40% mehr Übungsstunden geleistet als 2005. Die Zahl der Übungsteilnehmer*innen nahm dagegen bereits vor Beginn der Pandemie statistisch signifikant ab. Die Entwicklung von 2015 bis 2019 verdeutlicht, dass die an den Übungen Beteiligten in dieser Zeit häufiger und / oder länger geübt haben. In den Jahren 2005 bis 2012 beteiligten sich durchschnittlich etwa 19.500 Haupt- und Ehrenamtliche an den Übungen des THW. Im Zeitraum 2013 bis 2019 nahmen im Durchschnitt nur noch rund 16.500 Helfer*innen an den Übungen teil.

Auch die anderen Organisationen, die Aufgaben im Bevölkerungsschutz übernehmen, beteiligen sich an Übungen und bereiten sich so ebenfalls auf die Bewältigung von wetter- und witterungsbedingten Extremereignissen vor. Rückschlüsse auf das Übungsgeschehen der anderen Organisationen lassen die Zahlen des THW aber nicht zu.

Wieder mehr Aktive im Bevölkerungsschutz

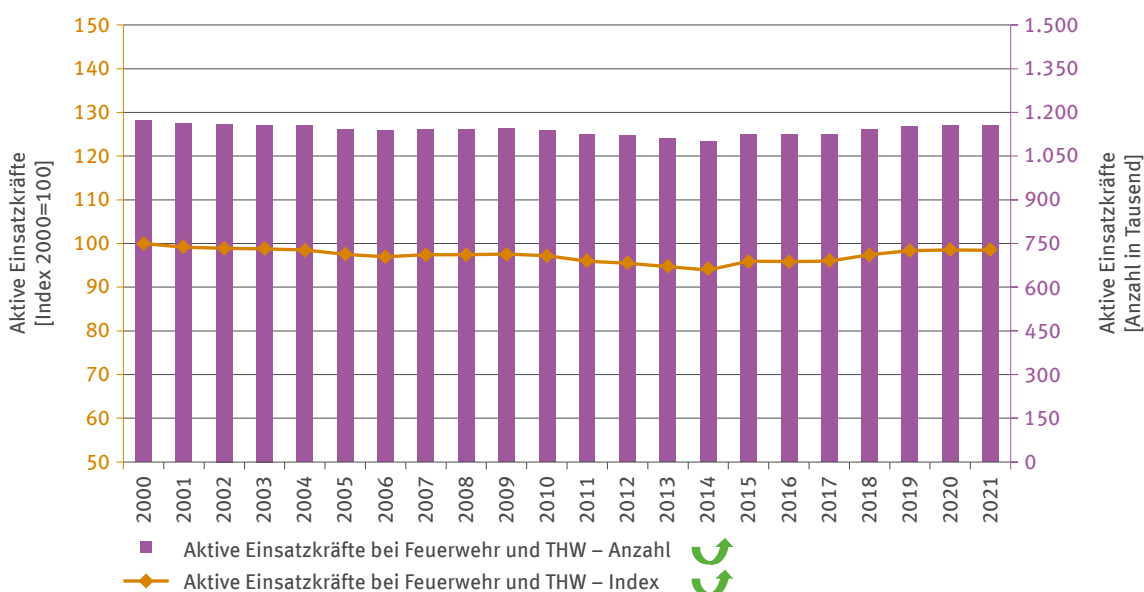
Für den Bevölkerungsschutz in Deutschland ist das Ehrenamt die maßgebliche Stütze: Rund 1,7 Mio. ehrenamtliche Helfer*innen engagieren sich in den verschiedenen Hilfsorganisationen. Beim THW üben rund 98 % der Angehörigen ihre Tätigkeit ehrenamtlich aus. Rund 94 % der aktiven Feuerwehrmitglieder in Deutschland sind in Freiwilligen Feuerwehren organisiert. Die Verantwortlichen im Bevölkerungsschutz betonen daher regelmäßig, dass ohne die Bereitschaft zur ehrenamtlichen Mitarbeit in den Organisationen die Einsatzfähigkeit der Einheiten bedroht ist.

Auch mit Blick auf den Klimawandel ist für die weitere Entwicklung des Bevölkerungsschutzes ein zumindest stabiler Bestand ehrenamtlicher Helfer*innen notwendig. Nicht nur, weil sich durch die erwarteten Änderungen der klimatischen Rahmenbedingungen möglicherweise mehr und längere Einsätze und damit höhere Belastungen ergeben können, sondern auch, weil zeitgleich die Verfügbarkeit von Einsatzkräften durch Eigenbetroffenheit wie Schäden an privaten Wohngebäuden oder gesundheitliche Auswirkungen von Hitzewellen eingeschränkt ist.

Betrachtet man die Entwicklung der letzten zwei Jahrzehnte, so ist bis 2014 ein Rückgang der aktiven Einsatzkräfte bei Feuerwehr und THW zu verzeichnen. Ihre Zahl ging in diesem Zeitraum um etwa 70.000 von etwa 1,17 Mio. auf 1,1 Mio. Aktive zurück. Anschließend kehrte sich die Entwicklung um: Bis 2020 nahm die Zahl der aktiven Kräfte bei Feuerwehr und THW wieder zu. So sind derzeit insgesamt über 1,15 Mio. Mitglieder aktiv. Einen neuerlichen Rückgang gab es erst im letzten Jahr der aktuellen Zeitreihe. Von 2020 bis 2021 reduzierten sich die Mitgliederzahlen bei Feuerwehr und THW um knapp 600 Personen. Infolge der weltweiten Covid-19-Pandemie litten auch die Organisationen des Bevölkerungsschutzes unter eingeschränkter Dienstdurchführung. Die erschwerten Arbeitsbedingungen stellten die Einsatzkräfte auf eine Belastungsprobe. Dennoch blieben die Einbußen bei den ehrenamtlich Aktiven gering. Unter den Neuzugängen ab 2020 befinden sich auch Quereinsteigende, denen gerade die Pandemie Anlass dazu gab, sich in schwierigen Zeiten für andere einzusetzen.

BS-R-4: Aktive Einsatzkräfte

Die Zahl der Einsatzkräfte war im Zeitraum von 2000 bis 2014 vor allem wegen eines Rückgangs der Mitgliederzahlen bei den Feuerwehren rückläufig. Seither wächst das Engagement wieder: Im Jahr 2021 waren insgesamt rund 1,15 Millionen Menschen bei Feuerwehr und THW aktiv – 50.000 mehr als fünf Jahre zuvor. Widrige Umstände wie die weltweite Covid-19-Pandemie führten zu keinem markanten Rückgang bei den Mitgliederzahlen.



Datenquelle: THW (Einsatzkräftestatistik), DFV (Feuerwehrstatistik)

Die Mitgliederzahlen der Feuerwehren liegen im Vergleich zu denen des THW um ein Vielfaches höher und prägen den Verlauf der Zeitreihe entsprechend stärker. Der Rückgangstrend bis Mitte der 2010er-Jahre ist vor allem Folge einer negativen Entwicklung bei den Freiwilligen Feuerwehren. Während Berufsfeuerwehren sowie Werks- und Betriebsfeuerwehren steigende oder zumindest konstante Mitgliederzahlen vorwiesen, zählten die Freiwilligen Feuerwehren Mitte der 2010er-Jahre rund 70.000 weniger Ehrenamtliche als noch 15 Jahre zuvor. Unter anderem wirkte sich die Aussetzung der Wehrpflicht ab dem Jahr 2011 nachteilig auf die Rekrutierung ehrenamtlicher Helfer*innen aus. Betroffen war entsprechend vor allem die Altersgruppe der 20- bis 25-Jährigen.

Das THW verzeichnete im Mittel der Jahre 2000 bis 2014 rund 41.000 aktive Helfer*innen. 2015 stieg deren Zahl auf 66.000 und blieb 2016 und 2017 auf diesem Niveau. Bis 2021 stieg die Zahl der aktiven THW-Helfer*innen auf knapp 79.000. Für die Sicherung des Bestands an Einsatzkräften sind beim THW jährlich etwa 5.200 neue Helfer*innen notwendig. Diese Marke konnte in den letzten Jahren nicht erreicht werden: Pro Jahr gewann das THW im Schnitt rund 4.000 neue Mitglieder, wobei zusätzlicher Bedarf vor allem bei Ortsverbänden in ländlichen Regionen besteht. Bis zum Jahr 2011 konnten auch beim THW jährlich etwa 2.500 Personen über die Freistellung vom Wehrdienst verpflichtet werden.

In den letzten Jahren ist es gelungen, den Frauenanteil bei den eher technisch ausgerichteten Organisationen zu steigern: Im Jahre 2000 waren bei den Feuerwehren 5,7 % Frauen, bis 2021 stieg der ihr Anteil auf 10,5 %. So sind bei den Feuerwehren heute 44.000 Frauen mehr aktiv als im Jahr 2000. Speziell bei den Jugendfeuerwehren engagieren sich viele weibliche Helferinnen: Im Zeitraum von 2000 bis 2021 stieg dort der Frauenanteil von 22 % auf über 28 %. Beim THW ist der Anteil von Frauen bereits seit 1999 kontinuierlich um fast 8.000 Frauen angestiegen. Betrug ihr Anteil im Jahr 1999 nur knapp 4 %, lag er im Jahr 2021 bei etwa 12 %.

Der langjährige Rückgang der Mitgliederzahlen bis Mitte der 2010er-Jahre, aber auch die seither nur langsam steigende Zahl von ehrenamtlichen Helfer*innen sind Spiegel des demografischen Wandels. Die Veränderungen in der Alterspyramide reduzieren den Pool an potenziellen Einsatzkräften ebenso wie die zunehmende Konzentration der Bevölkerung in den Städten. Insbesondere in dünn besiedelten ländlichen Bereichen mit einer vergleichsweise älteren Bevölkerung können trotz einer im Vergleich zu den Städten höheren Bereitschaft zu bürgerschaftlichem Engagement personelle Engpässe



Die meisten Helfer*innen engagieren sich ehrenamtlich für den Bevölkerungsschutz. (Foto: © VRD / stock.adobe.com)

entstehen. Verschiedene Studien beurteilen die Zukunft diesbezüglich sehr kritisch und werfen die Frage auf, wie die bestehenden Strukturen fortgeführt werden und verlässlich funktionieren können. Um eine weiterhin steigende Zahl ehrenamtlicher Helfer*innen zu erhalten, wollen sich die im Bevölkerungsschutz tätigen Organisationen beispielsweise stärker um die Einbeziehung von Menschen mit Migrationshintergrund bemühen oder auch ältere Menschen ihren Möglichkeiten entsprechend einbinden. Bundesseitige Maßnahmen wie die seit 2021 laufende Ehrenamtskampagne des BBK „Egal was du kannst – du kannst helfen“ sowie der begleitende Aufbau und Betrieb der webbasierten Plattform „mit-dir-fuer-uns-alle.de“ unterstützen diese Bemühungen.

Darüber hinaus eröffnen gesellschaftliche und technische Entwicklungen neue Wege. So wurde beispielsweise während der Hochwasserereignisse 2013 und 2016 sowie bei der verheerenden Flutkatastrophe im Ahrtal Mitte des Jahres 2021 in vielen betroffenen Gebieten Hilfe schnell und unbürokratisch über soziale Netzwerke organisiert. Möglicherweise lässt sich so die bestehende Bereitschaft zu Engagement und Hilfeleistung von Menschen, die sich weniger als früher in festen Strukturen binden möchten, zukünftig noch effektiver für den Bevölkerungsschutz nutzen. Entsprechende Konzepte für die strukturierte Einbindung, Koordination und Ausbildung von Spontanhelfenden werden derzeit durch das BBK in enger Abstimmung mit den Einsatzorganisationen sowie mit den Ländern erarbeitet.



Foto: © metamorworks / stock.adobe.com

Handlungsfeldübergreifende Aktivitäten des Bundes

Anpassungen an den Klimawandel – Response

HUE-1	Beherrschbarkeit von Klimawandelfolgen	332
HUE-2	Nutzung von Warn- und Informationsdiensten	334
HUE-3	Bundeszusendungen für Forschungsprojekte zu Klimawandelfolgen und Anpassung	336
HUE-4	Klimawandelanpassung auf kommunaler Ebene	338
HUE-5	Internationale Klimafinanzierung zur Anpassung (aus Haushaltsmitteln)	340



Verbreitete Zweifel an Beherrschbarkeit der Klimafolgen

Die Verfügbarkeit und der Zugang zu möglichst belastbaren Abschätzungen der künftigen Klimaänderungen und der damit verbundenen Folgen sind eine wesentliche Voraussetzung für angemessene politische, administrative, betriebliche und private Entscheidungen und entsprechendes Handeln.

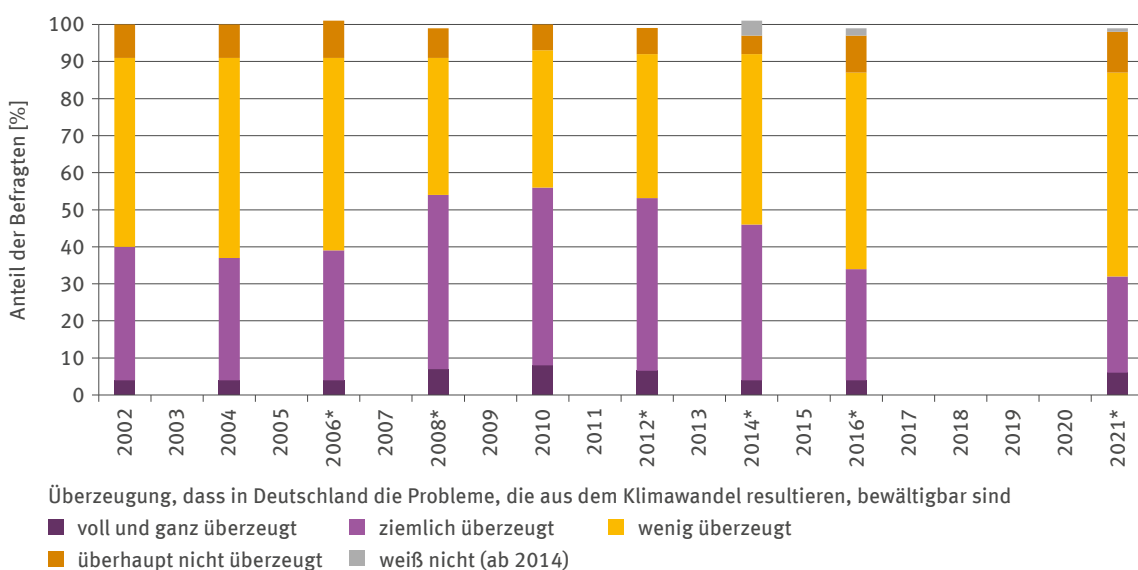
Die Bundesregierung sieht es als eine ihrer zentralen Aufgaben, für eine solche ausreichende Informationsbereitstellung zu sorgen und Betroffenheiten und Entscheidungshilfen überzeugend darzustellen. Hierzu hat die Bundesregierung unter anderem das Deutsche Klimavorsorgeportal ins Leben gerufen. Unter www.klivoportal.de können Behörden, Unternehmen und die Zivilgesellschaft geprüfte Unterstützungsangebote zur Anpassung an den Klimawandel gezielt finden, um sie dann anzuwenden. Als ein weiteres Angebot wurde vom BMUV im Jahr 2021 das Zentrum KlimaAnpassung initiiert, das unter www.zentrum-klimaanpassung.de Möglichkeiten zur Beratung, Fortbildung und Vernetzung von Verantwortlichen und Beteiligten in den Kommunen sowie Trägern sozialer Einrichtungen bietet. Ob die bereitgestellten

Informationen letztendlich aber auf das Interesse der relevanten Personen in der Gesellschaft stoßen und diese motivieren, rational und zielführend tätig zu werden, hängt in erheblichem Umfang von deren Problemwahrnehmung ab. Nur wenn dauerhaft ein breiter gesellschaftlicher Konsens besteht, dass der Klimawandel eine bleibende ernst zu nehmende Herausforderung ist, werden in Deutschland flächendeckend die notwendigen Anpassungsmaßnahmen konzipiert und umgesetzt. Daher ist das Wissen darüber, wie der Klimawandel und seine Folgen in der Gesellschaft wahrgenommen und bewertet werden, für den Bund eine wichtige Grundlage, um seine Informationspolitik angemessen ausgestalten und seine Förderaktivitäten zielführend ausrichten zu können.

Die gesellschaftliche Bewertung von Klimawandel und Anpassung ist das Ergebnis vieler, zum Teil komplex zusammenwirkender Faktoren. Entscheidend sind unter anderem das Auftreten von (Extrem-)Ereignissen und die damit verbundene persönliche Risikoeinschätzung. Klimaschutz und Anpassung rücken vor allem dann in das öffentliche Bewusstsein, wenn extreme Wetterereignisse

HUE-1: Beherrschbarkeit von Klimawandelfolgen

Seit dem Jahr 2010 nimmt der Anteil der im Rahmen einer repräsentativen Bevölkerungsumfrage befragten Bürger*innen ab, die der Meinung sind, dass die Klimawandelfolgen in Deutschland zu bewältigen sind. 2021 waren 66% der Befragten davon wenig oder überhaupt nicht überzeugt.



* Rundungsfehler durch fehlende Dezimalstellen

Datenquelle: BMUB/BMUV & UBA (Studie „Umweltbewusstsein in Deutschland“, für 2021: Zusatzbefragung im Rahmen der Studie „Umweltbewusstsein in Deutschland“)

und ihre Folgen viele Menschen im eigenen Land betreffen und große Schäden verursacht haben. Eine intensive Medienberichterstattung, die die Ereignisse in einen engen Zusammenhang mit dem Klimawandel stellt, fördert eine hohe Wahrnehmung. Wendet sich die öffentliche Aufmerksamkeit wieder verstärkt anderen Themen zu, nimmt die Bedeutung von Klimaschutz und Anpassung in der Regel ab. Weitere wichtige Faktoren neben dem aktuellen Wetter- und Witterungsgeschehen sind das Vertrauen in die Handlungsfähigkeit des Staates, der individuelle Informationsstand über Ursachen, Folgen und Handlungsmöglichkeiten sowie die von der privaten und beruflichen Lebenssituation abhängigen Handlungsspielräume der Einzelnen.

Die repräsentative Bevölkerungsumfrage „Umweltbewusstsein in Deutschland“ wird regelmäßig im Auftrag des UBA durchgeführt.²³³ Sie enthält mehrere Fragen, die Rückschlüsse auf die Einstellungen und Einschätzungen der befragten Bürger*innen zu den Klimawandelfolgen für Deutschland zulassen. Seit 2002 gehört zum Fragenkatalog der Umweltbewusstseinsstudie auch die Frage, inwieweit die Befragten davon überzeugt sind, dass in Deutschland die Probleme, die aus dem Klimawandel resultieren, zu bewältigen sind. Die Ergebnisse zu dieser Frage sind dem hier präsentierten Indikator zugrunde gelegt.

Für die zurückliegenden Jahre zeigen die Zeitreihen zu den einzelnen Antwortmöglichkeiten noch keine signifikanten Trends. Trotzdem ist festzustellen, dass bis zum Jahr 2006 die Mehrheit der Befragten wenig bis überhaupt nicht von der Bewältigbarkeit der Klimawandelfolgen überzeugt war. In den Jahren von 2008 bis 2012 stellte sich ein anderes Mehrheitsverhältnis ein, und die Einschätzungen fielen optimistischer aus. Im Jahr 2010 waren immerhin 56,0 % ziemlich oder sogar voll und ganz überzeugt, dass sich die Klimawandelfolgen in Deutschland bewältigen lassen. Seither wächst die Skepsis allerdings wieder, und 2014 war wieder mehr als die Hälfte der Befragten wenig oder überhaupt nicht überzeugt, dass in Deutschland die Probleme, die aus dem Klimawandel resultieren, bewältigbar sind. Bei den Erhebungen 2016 und 2021 haben jeweils rund zwei Drittel der Befragten diese Einschätzung geteilt. Als mögliche Gründe hierfür führte die Umweltbewusstseinsstudie 2016 an, dass die Menschen die Komplexität der Thematik stärker wahrnehmen oder die Folgen des Klimawandels intensiver im eigenen Alltag erleben.²³⁴ In beiden Studien wird der Klimawandel mehrheitlich als Bedrohung empfunden, 2021 sahen fast 80 % der Befragten durch seine Folgen die Lebensgrundlagen in Deutschland gefährdet. Dementsprechend hielten über 90 % der Befragten Anpassungsmaßnahmen für dringend erforderlich.



Die Skepsis in der Bevölkerung, dass sich die Klimawandelfolgen in Deutschland bewältigen lassen, ist groß.
(Foto: © yanlev / stock.adobe.com)

Die Bereitschaft zur persönlichen Anpassung an den Klimawandel wurde zwar nicht explizit abgefragt, sie kann aber als Teil der sozial-ökologischen Transformation betrachtet werden, die im Fokus der Umweltbewusstseinsstudie 2020 stand. Grundsätzlich wurden eine große Zustimmung zu Maßnahmen für Klima- und Umweltschutz sowie eine Bereitschaft zu umweltorientiertem Verhalten festgestellt, gleichzeitig aber auch Unsicherheit und Überforderung, wenn es um die eigenen Handlungsmöglichkeiten im Transformationsprozess geht. Damit es zu eigenem Handeln kommt, sind für die Bürger*innen unterstützende Angebote, bessere und klarere Rahmenbedingungen, mehr Kommunikation und positive Anreize wichtig.²³⁵ Hier bestehen bislang offenbar Defizite, die sich möglicherweise auch darauf auswirken, wie die Beherrschbarkeit von Klimawandelfolgen eingeschätzt wird.

In einer qualitativen Vorstudie zur Umweltbewusstseinsstudie 2020 wurde ein weiterer Faktor identifiziert, der diese Einschätzung ebenfalls negativ beeinflussen kann. So bewertet ein Teil der Befragten die Reaktionen von Politik und Gesellschaft als viel zu zögerlich und dem Problem nicht angemessen.²³⁶ Damit das Vertrauen in die Handlungsfähigkeit des Staates nicht leidet, ist es notwendig, über den politischen und gesellschaftlichen Diskurs zu konkreten und tragfähigen Lösungen und Maßnahmen zu kommen.

Warnen und Informieren – wichtige Aufgaben des Bundes

Warn- und Informationsdienste sind für den Bund im Zusammenhang mit dem Klimawandel ein zentrales Instrument, um die Öffentlichkeit über grundlegende Gefahren und Risiken zu informieren und um sie vor bevorstehenden kritischen Ereignissen zu warnen und Maßnahmen zu empfehlen. Es liegt im Interesse des Bundes, dass die Bevölkerung diese Dienste intensiv nutzt und sie eine immer weitere Verbreitung finden.

Auf Bundesebene sind verschiedene Warn- und Informationsdienste zu Risiken oder Belastungssituationen, die sich mit dem fortschreitenden Klimawandel verstärken können, verfügbar. Der DWD bietet online Zugriff auf die amtlichen Wetterwarnungen etwa vor Frost und Glätte oder Sturm, Starkregen und Gewitter, UV-Strahlung und Hitze (zu Hitzewarnungen siehe Indikator GE-R-1, Seite 58). Diese Informationen stehen auch in der DWD-WarnWetter-App zur Verfügung. Die Warnungen werden nach definierten Kriterien in mehreren Stufen ausgegeben und beziehen sich auf definierte Warngebiete. Die Nutzenden können die Warnungen differenziert bis auf Gemeindeebene abrufen. Darüber hinaus können

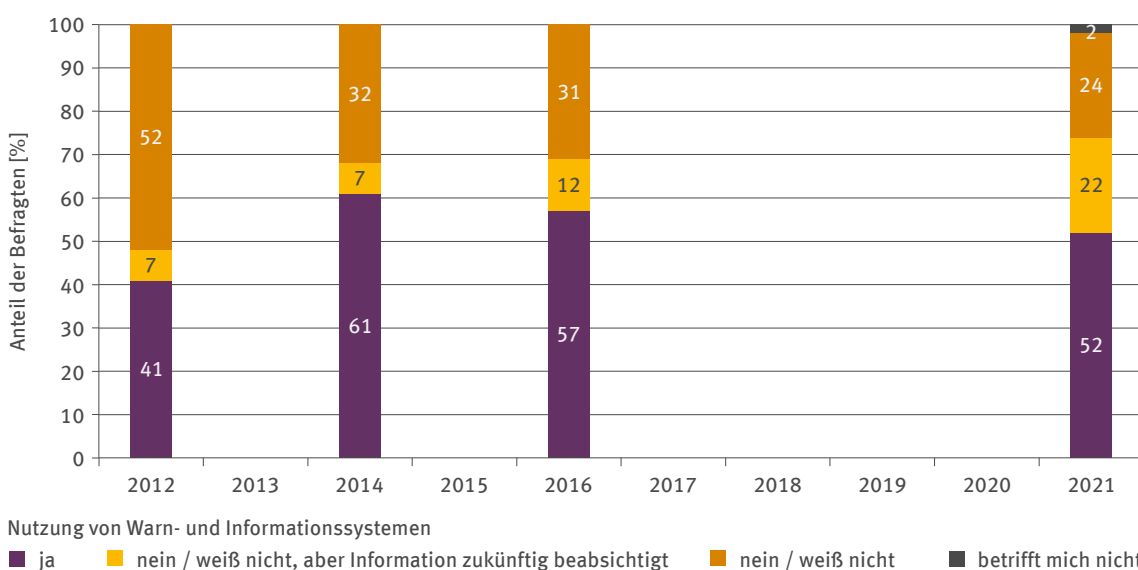
Interessierte oder Risikogruppen gesundheitsbezogene Gefahren- oder Warnindizes online oder über die kostenpflichtige GesundheitsWetter-App aufrufen. Neben Informationen zu thermischen Belastungen oder, bei Wetterfühligkeit, zu anderen belastenden Wettersituationen stehen dort unter anderem auch Informationen und Warnungen zur UV-Belastung und zur Pollenbelastung zur Verfügung (siehe Indikator GE-R-3, Seite 60).

Darüber hinaus bietet das BBK in der Warn-App NINA die Möglichkeit, Warnungen zum Bevölkerungsschutz, Wetter- und Unwetterwarnungen des DWD sowie Hochwasserinformationen des länderübergreifenden Hochwasserportals und Sturmflutwarnungen des BSH sowohl für selbst gewählte Orte als auch für den eigenen Standort zu erhalten (siehe Indikator BS-R-1, Seite 322). Die Warn-App NINA ist Teil des Warnmittelmix in Deutschland, zu dem beispielsweise auch Warnungen per Rundfunk und Cell-Broadcast sowie über Stadtwerbetafeln zählen.

Mit dem Klimawandel verbunden sind möglicherweise auch zunehmende gesundheitliche Gefahren durch UV-Strahlung und Ozon (siehe Indikatoren GE-I-8,

HUE-2: Nutzung von Warn- und Informationsdiensten

Im Jahr 2021 gab mehr als die Hälfte der Befragten der Umweltbewusstseinsstudie an, Warn- und Informationsdienste des Bundes und der Länder zu nutzen. Allerdings lag der Anteil damit deutlich unter den Ergebnissen der beiden vorangegangenen Befragungen. Immerhin: Der Anteil derjenigen Befragten, die solche Dienste noch nicht nutzen, dies aber zukünftig tun wollen, nahm gegenüber den vorherigen Befragungen stark zu.



Datenquelle: BMUB/BMUV & UBA (Studie „Umweltbewusstsein in Deutschland“, für 2021: Zusatzbefragung im Rahmen der Studie „Umweltbewusstsein in Deutschland“)

Seite 54, und GE-I-9, Seite 56). Zur Belastung mit UV-Strahlung generiert das BfS in Kooperation mit dem UBA und dem DWD aus dem deutschlandweiten solaren UV-Monitoring Messnetz tagesaktuelle Informationen zur UV-Strahlenbelastung sowie Prognosen, die online und über die oben genannten Warn-Apps des DWD veröffentlicht werden.

Wetterkonstellationen mit einer intensiven Sonneneinstrahlung fördern auch die Entstehung von bodennahem Ozon, das sich durch komplexe photochemische Prozesse überwiegend aus Stickstoffoxiden und flüchtigen organischen Verbindungen als bildet (siehe Indikator GE-I-9, Seite 56). Deutschlandweite Prognosen zur Belastung mit bodennahem Ozon liefert das Internetangebot des UBA.

Die bereits seit vielen Jahren betriebenen Hochwasserwarn- oder -informationsdienste der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes, die aktuelle Pegeldata für die Bundeswasserstraßen zur Verfügung stellen, genießen bei extremen Wasserstandentwicklungen eine stark erhöhte Aufmerksamkeit. Gleiches gilt für das Länder-übergreifende Hochwasserportal www.hochwasserzentralen.de, in dem die Länder für die Gewässer in ihrem Zuständigkeitsbereich tagesaktuelle Daten zu Hochwasserwarnungen bereitstellen. Einen kleineren Adressatenkreis hat der Sturmflutwarndienst, der vom BSH betrieben wird und über Wasserstände an Pegeln der Nord- und Ostseeküste berichtet.

Weitere existierende Warn- und Informationsdienste, die auf Ereignisse gerichtet sind, die sich mit dem Klimawandel in Zusammenhang bringen lassen, sind vor allem für ausgewählte Berufsgruppen, Unternehmen oder Verwaltungen von Interesse. Hierzu gehören beispielsweise die Pflanzenschutzdienste der Länder, die das Auftreten von Schadorganismen prognostizieren und integrierte Pflanzenschutzmaßnahmen empfehlen, oder auch die Niedrigwasser-Informationsdienste.

In der regelmäßig durchgeführten, repräsentativen Bevölkerungsumfrage „Umweltbewusstsein in Deutschland“²³⁷ wird seit 2012 auch nach der Nutzung von Warn- und Informationsdiensten gefragt. Beispielhaft wird dabei auf den Polleninformationsdienst, die Hitzewarndienste sowie die Hochwasserwarn- oder -informationsdienste hingewiesen. In der Umfrage 2012 gaben 41 % aller Befragten an, dass sie Warn- und Informationsdienste nutzen. Die Ergebnisse der Folgebefragung 2014 zeigten einen starken Anstieg der Nutzung auf 61 %. In den beiden anschließenden Befragungen 2016 und 2021 war der Anteil der Befragten, die Warn- und Informationsdienste



Warn- und Informationsdienste sind wichtige Bausteine für die Eigenvorsorge und unterstützen die Bewusstseinsbildung. (Foto: © keBu.Medien / stock.adobe.com)

nutzen, allerdings rückläufig und lag zuletzt bei nur noch 52 %. Gegenläufig hierzu hat sich der Anteil derer entwickelt, die solche Dienste bisher nicht nutzen, dies aber künftig tun wollen. Ihr Anteil lag 2012 und 2014 noch bei 7 %, bis 2021 stieg dieser Anteil auf 22 %. Beides kann ein Nebeneffekt der Covid-19-Pandemie sein. In deren Kontext hatten viele Bürger*innen zusätzliche Apps genutzt, die sie mit Warn- und Verhaltenshinweisen versorgten. Möglicherweise wurden andere Warn-Apps in dieser Zeit weniger genutzt oder (vorübergehend) gelöscht.

Grundsätzlich hat die inzwischen nahezu bevölkerungsweite Verbreitung und Nutzung von Smartphones den Zugang zu Warndiensten massiv erleichtert. Warnungen und Informationen zu allen relevanten Risiken und Belastungen lassen sich online und per App von beinahe allen Interessierten abrufen, außerdem können Mobiltelefone per Cell-Broadcast oder über die Push-Funktion von Apps auf neue relevante Informationen aufmerksam machen.

Informationen zu Warn- und Informationsdiensten zu Klimafolgen und zur Vorsorge vor Klimaschäden bündelt das Deutsche Klimavorsorgeportal unter www.klivportal.de.

Mehr Geld für die Forschung zu Klimafolgen und Anpassung

Bei vielen langfristig wirkenden Entscheidungen müssen das zukünftige Klima und mögliche Klimawandelfolgen mitbedacht und berücksichtigt werden. Planungen und Projekte der öffentlichen Hand sollen widerstandsfähig gegenüber den Folgen zukünftiger Klimaänderungen sein. Dies gilt für Infrastrukturprojekte wie den Aus- und Neubau von Straßen- und Schienenwegen, die Weiterentwicklung von Binnenschiffahrtsstraßen und Hochwasserschutzmaßnahmen oder den Bau neuer Stromtrassen im Zuge der Energiewende ebenso wie für neue öffentliche Gebäude oder die Ausweisung von Baugebieten auf kommunaler Ebene. Auch Unternehmen wollen langfristige Investitionen wie Gebäude oder Produktionsanlagen klimarobust gestalten und Standortentscheidungen so treffen, dass sie dauerhaft tragfähig sind. Nicht zuletzt möchten auch Privatpersonen die richtigen Entscheidungen treffen und treffen können, zum Beispiel bei der Wohnortwahl oder dem Kauf oder dem Bau einer Immobilie.

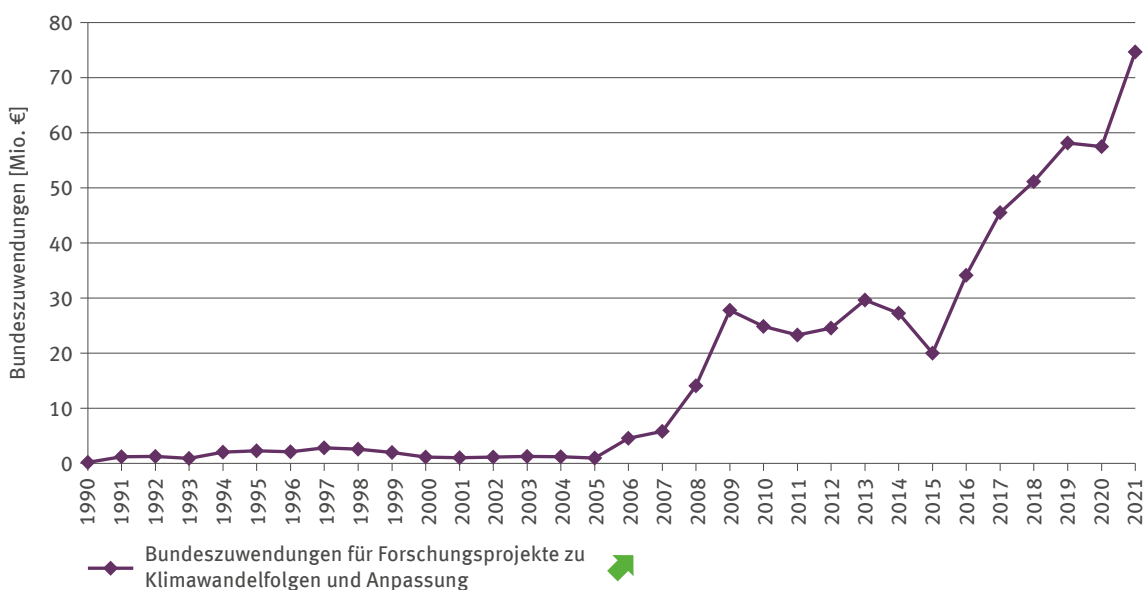
Eine wesentliche Grundlage für die Entscheidungsfindung ist zum einen eine möglichst klare Zukunftsperspektive, die belastbare Abschätzungen zu den künftigen

Klimaänderungen sowie zu den bestehenden Verwundbarkeiten und etwaigen Klimawandelfolgen erlaubt. Zum anderen bedarf es strategischer, technischer oder auch instrumenteller Lösungen, die angesichts der nach wie vor bestehenden großen Bandbreite möglicher Klimaveränderungen gleichermaßen robust und flexibel sind. Es ist dem Bund daher ein wichtiges Anliegen, die für Anpassungsprozesse und -maßnahmen notwendigen Wissensgrundlagen zu schaffen und zu erweitern und diesbezügliche Forschungsaktivitäten systematisch zu fördern.

Viele Förderaktivitäten des Bundes für die Forschung zu Klimawandel und Anpassung werden unter dem Dach der BMBF-Strategie „Forschung für Nachhaltigkeit“ FONA im Handlungsfeld „Anpassungsfähigkeit und Risikovor-sorge verbessern“ gebündelt. Der Fokus liegt derzeit auf den Themen „Klimawandelbedingte Extremereignisse in Deutschland erforschen“, „Auswirkungen von Klimawandel auf Gesundheit verstehen und vorbeugen“ und „Städte und Regionen resilienter machen“. Darüber hinaus gibt es in weiteren Bundesressorts Programme, in denen zu Anpassung geforscht wird und pilothaft

HUE-3: Bundeszuwendungen für Forschungsprojekte zu Klimawandelfolgen und Anpassung

Mehrere Bundesressorts fördern die Forschung im Themenfeld Klimawandelfolgen und Anpassung über Zuwendungen für zeitlich befristete Projekte. Der Umfang dieser Zuwendungen ist ab dem Jahr 2006 deutlich angestiegen. Die Zahlen bilden aber nur einen Teil der Forschungsförderung des Bundes ab. Unter anderem die Auftragsforschung der Bundesministerien ist darin nicht berücksichtigt.



Datenquelle: BMBF (Förderkatalog zur Projektförderung des Bundes – eigene Auswertung)

Anpassungsmaßnahmen erprobt werden. Im Ressortforschungsplan des BMUV ist die „Anpassung an die Auswirkungen des Klimawandels“ ein Schwerpunktbereich, außerdem ist ein strategisches Kernthema der „Klimawandelanpassung und Resilienz in urbanen Räumen“ gewidmet. Der strategische Rahmen der Ressortforschung des BMDV adressiert im Forschungsschwerpunkt „Resiliente Verkehrs- und Datensysteme & Verkehrssicherheit“ die Themen „Anpassung der Verkehrssysteme an die Folgen des Klimawandels“ sowie „Verlässlichkeit und Resilienz der Verkehrsinfrastruktur“. Weitere Themen sind der Schutz kritischer Infrastruktur und die Weiterentwicklung von Warnmeldesystemen. Wichtiges Element der Ressortforschung des BMDV ist das 2016 ins Leben gerufene BMDV-Expertennetzwerk, in dem sieben Ressortforschungseinrichtungen und Fachbehörden unter anderem in den Bereichen Klimawandelanpassung, Umweltschutz sowie zuverlässige Verkehrsinfrastruktur forschen.

Neben der Eigenforschung von Fachbehörden und Ressortforschungseinrichtungen werden in vielen Fällen, wie mit dem Ressortforschungsplan des BMUV, zeitlich befristete Forschungs- und Entwicklungsvorhaben in wettbewerblichen Verfahren vergeben. Zudem stellt der Bund im Rahmen von Förder- und Fachprogrammen finanzielle Mittel für die Förderung von Projekten über zweckgebundene Zuwendungen für Vorhaben bereit. Bezogen auf Projekte im Bereich von Klimawandelfolgen und -risiken sowie Anpassung werden so auch große Verbundprojekte gefördert. Aus dem Bereich des BMBF gehören hierzu etwa die Maßnahmen „RegIKlim – Regionale Informationen zum Klimahandeln“, „Ökonomie des Klimawandels“, „Klimaresilienz durch Handeln in Stadt und Region“, „Stadtklima im Wandel“ und seit Ende 2021 die Sofortmaßnahme „Klimaanpassung, Hochwasser und Resilienz“ (KAHR) zur wissenschaftlichen Begleitung der Wiederaufbauprozesse nach der Flutkatastrophe in Rheinland-Pfalz und Nordrhein-Westfalen. In den Verbundprojekten wird die Beteiligung von Partnern aus verschiedenen wissenschaftlichen Disziplinen und unterschiedlichen Regionen groß geschrieben, um ganzheitliche Lösungen zu entwickeln und den Transfer in die Praxis zu fördern. Im Rahmen der BMBF-Maßnahme „Klima, Umwelt und Gesundheit“ nutzen Nachwuchsforschende innovative Ansätze und Methoden, um Gesundheitsrisiken des Klimawandels zu erforschen und zu mindern.

Eine ressortübergreifende Zusammenstellung aller Förderaktivitäten zur Anpassung an den Klimawandel und eine Übersicht über die hierfür verausgabten Mittel gibt es bislang nicht. Lediglich die über Zuwendungen vergebenen Mittel von BMBF, BMUV, BMDV, BMEL und des BMWK werden im Förderkatalog des BMBF an zentraler Stelle



Nach wie vor sind viele Fragen zu Klimawandelfolgen und Anpassung offen, und es braucht Forschungsmittel. (Foto: © Mckartstudio / stock.adobe.com)

dokumentiert und lassen sich nach den Themen Klimawandelfolgen sowie Anpassung auswerten. Projekte mit diesen Schwerpunkten erhalten beginnend mit dem Jahr 2006 Zuwendungen in einem größeren finanziellen Umfang. Damals wurde vom BMBF der Förderschwerpunkt „klimazwei–Forschung für den Klimaschutz und Schutz vor Klimawirkungen“ ins Leben gerufen, der für den Zeitraum 2006 bis 2009 mit einem Finanzvolumen von rund 35 Mio. Euro ausgestattet war. Seither nahmen die verausgabten Mittel für die zuwendungsbasierte Finanzierung von Forschung und Entwicklung zu Klimawandelfolgen und Anpassung stark und mit signifikantem Trend zu. Den größten Anteil daran haben Maßnahmen des BMBF, weitere diesbezügliche Zuwendungen in einem kleineren Umfang leisten das BMUV, das BMWK und die weiteren oben genannten Ressorts.

Da der Förderkatalog die Auftragsforschung nicht umfasst, bilden die Zahlen allerdings nur einen begrenzten Ausschnitt aus der Finanzierung von Forschung und Entwicklung zur Anpassung an den Klimawandel ab. Diesbezügliche Aktivitäten etwa des BMG, dessen geplante Aktivitäten im Rahmenplan Ressortforschung dargestellt sind, oder entsprechende Teile des Ressortforschungsplans des BMUV berücksichtigt der Indikator derzeit nicht. Auch Maßnahmen, die indirekt eine Anpassungswirkung entfalten, sind in der Zeitreihe nicht enthalten. Die Daten lassen daher keine bewertenden Aussagen im Hinblick auf Quantität und Qualität der Bundeszuwendungen zu.

Kommunen werden für die Anpassung gefördert

Die Kommunen gehören zu den zentralen Akteuren in der Klimawandelanpassung, denn viele Klimawandelfolgen zeigen ihre Wirkungen auf lokaler Ebene. Entsprechend müssen Maßnahmen mit und in den Kommunen entwickelt und umgesetzt werden. Hierzu gehören Maßnahmen der städtischen Grünplanung und Siedlungsentwicklung sowie der Anpassung städtischer Infrastruktur, Vorsorge-maßnahmen im Bauwesen oder auch präventive Maßnahmen im Gesundheitsschutz (wie die Aufstellung von Hitzeaktionsplänen). Allerdings ist Anpassung an den Klimawandel als kommunale Aufgabe in Deutschland ein relativ neues, wenn auch zunehmend wahrgenommenes Aktionsfeld. Der Bund räumt daher der Unterstützung der Kommunen im Anpassungsprozess einen hohen Stellenwert ein: Das Informations- und Beratungsangebot des vom BMUV 2021 ins Leben gerufenen Zentrums KlimaAnpassung richtet sich gezielt an Verantwortliche und Beteiligte in den Kommunen. Zudem gibt es auch umfangreiche finanzielle Förderungen. Ein Gesamtüberblick über die Unterstützungsleistungen des Bundes für die Kommunen lässt sich derzeit nicht herstellen, da Unterstützungen von mehreren Ressorts auf unterschiedliche Weise erfolgen.

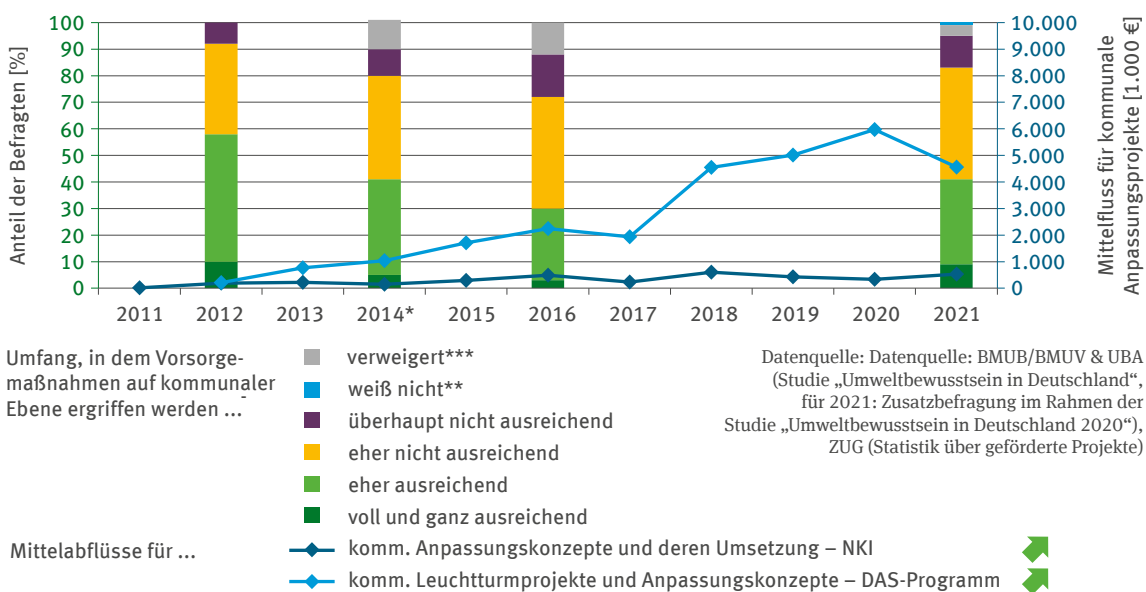
Stellvertretend spiegelt die Bewilligung von Mitteln der Nationalen Klimaschutzinitiative (NKI) und des DAS-Förderprogramms das Engagement des Bundes in einem Ausschnitt wider.

Von 2011 bis 2019 wurde im Rahmen der NKI beziehungsweise der Kommunalrichtlinie die Erstellung kommunaler Anpassungskonzepte als „Klimaschutz-Teilkonzepte zur Anpassung“ gefördert. Diese Konzepte dienen den Kommunen als strategische Planungs- und Entscheidungshilfen, sie identifizieren den Bedarf an Anpassung, treffen Aussagen zur Beteiligung relevanter Stakeholder und zeigen Handlungsmöglichkeiten vor Ort auf. Von 2011 bis 2021 erhielten 44 Städte, Landkreise und Regionen Mittelbewilligungen in Höhe von knapp 3,5 Mio. Euro für die Erarbeitung und begleitende Umsetzung eines Anpassungskonzepts. Der Anteil der für die Anpassung verausgabten Mittel, die im Rahmen der Kommunalrichtlinie bis 2021 abflossen war mit weniger als 0,5% sehr gering. Ein Grund ist, dass über die NKI keine investiven und damit kostspieligen Anpassungsmaßnahmen gefördert werden. Seit Anfang 2019 ist die Förderung der



HUE-4: Klimawandelanpassung auf kommunaler Ebene

Der Bund unterstützt Gemeinden, Städte und Landkreise unter anderem über die Nationale Klimaschutzinitiative und das DAS-Programm bei der Erstellung von Konzepten und der Umsetzung von Maßnahmen zur guten Anpassung. Der Mittelabfluss in den Programmen stieg an. Die Zustimmung der repräsentativ befragten Bürger*innen zur Frage, ob sich ihre Stadt oder Gemeinde ausreichend in der Anpassung engagiert, nahm zuletzt wieder zu.



* Rundungsfehler durch fehlende Dezimalstellen | ** seit 2014 | *** seit 2021

Datenquelle: Datenquelle: BMUB/BMUV & UBA (Studie „Umweltbewusstsein in Deutschland“, für 2021: Zusatzbefragung im Rahmen der Studie „Umweltbewusstsein in Deutschland 2020“), ZUG (Statistik über geförderte Projekte)

NKI wieder ausschließlich auf Aktivitäten im Bereich Klimaschutz beschränkt. Die noch bis 2025 veranschlagten Mittel dienen allein der Beendigung laufender Projekte.

Maßnahmen zur Anpassung werden seit 2012 außerdem im Rahmen des DAS-Programms „Förderung von Maßnahmen zur Anpassung an die Folgen des Klimawandels“ durch das Bundesumweltministerium gefördert. Bis 2021 schaffte das Programm Anreize für kleine und mittlere, auch kommunale Unternehmen zur Erstellung von Anpassungskonzepten und unterstützte die Umsetzung kommunaler Leuchtturmvorhaben sowie interkommunaler oder regionaler Verbünde im Aufbau von Kooperationen, der Erstellung von Konzepten und deren pilothafte Umsetzung in der Anpassung an den Klimawandel. Der erstgenannte Förderschwerpunkt mit Fokus auf die Unternehmen wurde nur in sehr begrenztem Umfang in Anspruch genommen. Daher wird im Indikator nur der Mittelabfluss für die Leuchtturmprojekte und die Anpassungskonzepte abgebildet. Für diese Vorhaben ließ der Bund von 2012 bis 2021 insgesamt knapp 28 Mio. Euro abfließen. Eine neue Förderrichtlinie wurde zuletzt Juli 2021 herausgegeben. Im Fokus der neuen Förderrunde des DAS-Programms stehen der Aufbau eines nachhaltigen Anpassungsmanagements in Kommunen sowie innovative Modellprojekte für die Klimawandelanpassung. Der Aufbau eines nachhaltigen Anpassungsmanagements in Städten und Gemeinden wurden von Dezember 2021 bis Ende Januar 2022 gefördert. Dadurch wurden gezielt Anreize für Kommunen geschaffen, lokale Klimaanpassung strategisch zu denken und selbst zu steuern. Die dafür erforderlichen Gesamtkonzepte erarbeiten lokale Klimaanpassungsmanager*innen, deren Einsatz durch das Umweltministerium gefördert wurde. Diese nachhaltigen Anpassungskonzepte bilden die Grundlage für konkrete Aktivitäten der jeweiligen Kommune. Ab 2022 können Kommunen die Förderung für innovative Modellprojekte beantragen. Dabei geht es vor allem um lokale und für andere Kommunen beispielgebende Vorhaben, die vor Schäden durch extreme Wetterereignisse wie Starkregen oder Hitzewellen schützen. Ergänzend zum DAS-Programm unterstützt der Bund die Kommunen ab 2022 mit dem Sofortprogramm Klimaanpassung. Bis 2026 wurden dafür 60 Mio. Euro und Fachberatung bereitgestellt. Das Programm ist eine Reaktion auf die Flutkatastrophen im Sommer 2021 sowie die wiederkehrenden Hitzewellen und Dürren.

Auch über die EU-Strukturförderung lassen sich kommunale Projekte zur Anpassung finanzieren. Bei operativen Umsetzungsmaßnahmen in Förderprogrammen ist der Umgang mit Klimawandelfolgen oft nur ein Nebenziel, das die Maßnahmenausgestaltung zwar beeinflussen kann, dessen anpassungsspezifische Kosten sich aber in



Kommunen sind wichtige Akteure in der Klimawandelanpassung. (Foto: © Igor Syrbu / stock.adobe.com)

der Regel nicht aus der Gesamtsumme herausrechnen lassen. Das europäische LIFE-Programm enthält das Sub-Programm „Climate Change Mitigation and Adaptation“, im Rahmen dessen großangelegte strategische Projekte gefördert werden. Kommunen können daran beteiligt sein.

Zudem gibt es auf Länderebene spezifische Förderprogramme zur Unterstützung der Klimawandelanpassung auf kommunaler Ebene. Dies sind beispielsweise KLIMOPASS in Baden-Württemberg, Klima-Invest in Thüringen, das „Kommunales Qualitätsmanagement- und Zertifizierungsverfahren zur Klimafolgenanpassung“ in Nordrhein-Westfalen oder die „Förderung von Vorhaben zur strategischen Neuausrichtung des Wassermengenmanagements und klimafolgenorientierten Ausbaus von Infrastrukturen der Wasserversorgung und -nutzung“ in Niedersachsen.

In der repräsentativen Umfrage „Umweltbewusstsein in Deutschland“⁴²³⁸ werden Bürger*innen seit 2012 zu ihrer Einschätzung befragt, ob sich die Stadt oder Gemeinde, in der sie leben, hinreichend mit dem Thema Anpassung auseinandersetzt und in ausreichendem Umfang Vorsorgemaßnahmen ergreift. In der Befragung 2012 äußerten sich noch 58% der Befragten dazu mehrheitlich positiv, 2014 waren es mit 41% deutlich weniger und 2016 war es mit 30% nur noch weniger als ein Drittel der Befragten. 2021 wurde wieder der Wert für das Jahr 2014 erreicht. Noch immer sieht die Bevölkerung aber offensichtlich starke Defizite. Die zunehmenden Bemühungen der Kommunen werden in der Statistik möglicherweise vom wachsenden Problembewusstsein der Bürger*innen „kompensiert“.

Anpassung ist eine globale Herausforderung

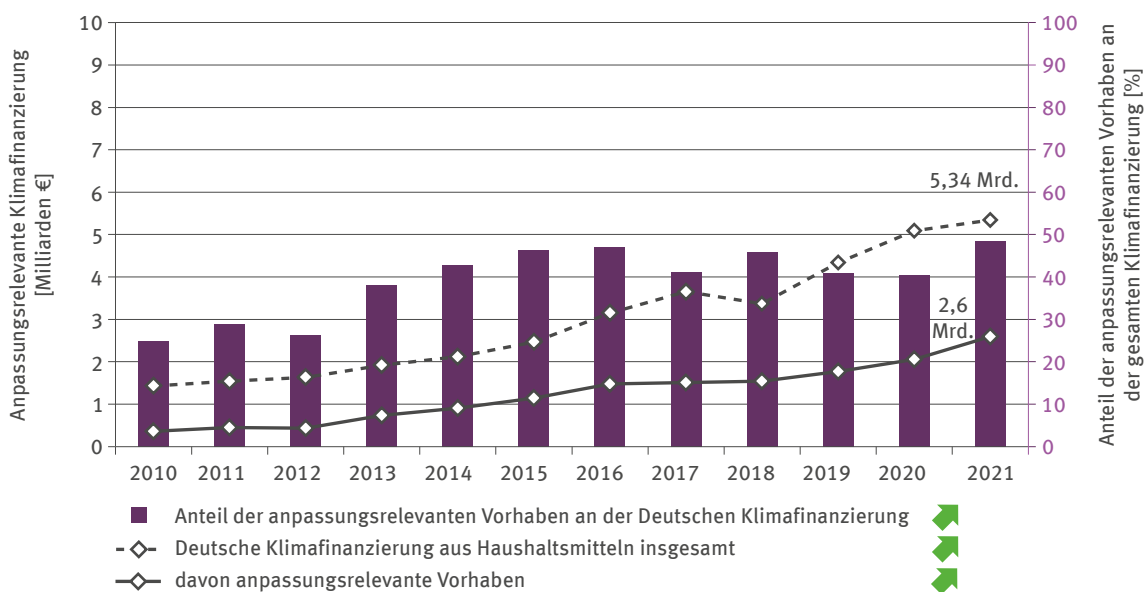
Angesichts der globalen Dimension des Klimawandels und seiner Folgen setzt sich Deutschland seit vielen Jahren für eine weitreichende internationale Zusammenarbeit zur Anpassung ein. Diese umfasst die Zusammenarbeit sowohl auf internationaler Ebene als auch in der bilateralen und regionalen Zusammenarbeit, um Menschen, Lebensräume, Ökosysteme und Volkswirtschaften widerstandsfähiger gegenüber den Folgen des Klimawandels zu machen, um Schäden und Verluste zu vermeiden. Im weitergehenden internationalen Umfeld richten sich die deutschen Aktivitäten auf internationale Prozesse und Kooperationen inklusive des IPCC. Entwicklungs- und Schwellenländer sind besonders von den Auswirkungen betroffen, denn es fehlt ihnen häufig an Ressourcen und Kapazitäten, um sich gegen Extremwetterereignisse sowie schleichende Klimaveränderungen und deren Auswirkungen zu schützen. Die solidarische Unterstützung der Entwicklungsländer ist aus Gründen der Klimagerechtigkeit schon deshalb geboten, weil sie im Vergleich zu den industrialisierten Staaten und Schwellenländern bisher nur einen vergleichsweise geringen Anteil an den klimawirksamen Treibhausgasemissionen hatten.

Deutschland fördert Anpassungsmaßnahmen in Entwicklungs- und Schwellenländern im Rahmen der Entwicklungs- und klimapolitischen Zusammenarbeit und unterstützt die Formulierung und Umsetzung der Nationalen Anpassungspläne (NAP) und der Anpassungsziele, die in den nationalen Klimabeiträgen (NDCs) unter dem Pariser Klimaabkommen formuliert wurden, beispielsweise über die NDC-Partnerschaft. Im Jahr 2021 entfielen 88% des deutschen Beitrags zur internationalen Klimafinanzierung auf den Haushalt des Bundesministerium für Wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (BMZ). Weitere Mittel fließen über das BMWK, BMUV und das Auswärtige Amt (AA) überwiegend im Rahmen der Internationalen Klimaschutzinitiative (IKI) beispielsweise in den Anpassungsfonds. In Forschungsk Kooperationen sind weitere Ministerien, etwa das BMBF oder BMEL, an Vorhaben beteiligt. Deutschland strebt an, die im Pariser Klimaabkommen genannte Balance von Minderung und Anpassung im Rahmen der internationalen Klimafinanzierung auch in seinen Beiträgen aus Haushaltsmitteln zu erreichen.



HUE-5: Internationale Klimafinanzierung zur Anpassung (aus Haushaltsmitteln)

Die Bemühungen zur Unterstützung von Anpassung im internationalen Kontext haben in den vergangenen Jahren deutlich zugenommen. Der Anteil der anpassungsrelevanten Finanzierung an der gesamten internationalen Klimafinanzierung ist von knapp 25 % im Jahr 2010 auf 49 % im Jahr 2021 gestiegen. Der Bedarf an Anpassungsfinanzierung wird in Zukunft weiter wachsen.



Datenquelle: BMZ (Berichterstattung zur EU-Governance Regulation)

Auf der Weltklimakonferenz in Kopenhagen 2009 haben Industrieländer zugesagt, ab 2020 jährlich 100 Mrd. USD zu mobilisieren. Diese Zusage wurde auf der Klimakonferenz 2015 (COP) in Paris bis 2025 fortgeschrieben. Im Rahmen der COP 26 in Glasgow 2021 wurden die Industriestaaten aufgefordert, ihre Anpassungshilfen für die Entwicklungsländer bis 2025 zu verdoppeln. Unterschieden wird zwischen finanziellen Beiträgen zu multilateralen Programmen und der bilateralen Entwicklungszusammenarbeit.

Bei der multilateralen Finanzierung zahlen mehrere Staaten in internationale Fonds bei multilateralen Entwicklungsbanken und internationalen Organisationen ein. Der Least Developed Countries Fund (LDCF) ist der globalen Umweltfazilität (GEF) untergeordnet und wurde 2001 etabliert. Seit 2009 unterstützt der Fonds konkrete Anpassungsprojekte ausschließlich in den am wenigsten entwickelten Ländern (LDCs). Deutschland ist über das BMZ größter Geber und hat seit seiner Gründung rund 424 Mio. Euro beigetragen. Die Einrichtung des Grünen Klimafonds (GCF) geht auf eine Entscheidung der Klimakonferenz 2010 in Cancún zurück. Ziel des GCF ist es, die Transformation hin zu einer emissionsarmen nachhaltigen Entwicklung voranzutreiben. Der GCF ist ein zentraler Baustein in der Architektur der internationalen Klimafinanzierung und damit entscheidend für die Umsetzung des Pariser Klimaschutzabkommens. Bei seiner Einrichtung und einer ersten Wiederauffüllung wurden 20 Mrd. USD zugesagt. Bisher sind 216 Projekte über ein Volumen von 12 Mrd. USD positiv entschieden. Über diese Projekte des GCF werden insgesamt über 900 Mio. Menschen erreicht und rund 2,5 Mrd. Tonnen CO₂-Emissionen vermieden. Das Portfolio ist mit 51 % Anpassungs- und 49 % Minderungsprojekten nahezu ausgeglichen. Deutschland hat sich an der Erstauffüllung des GCF für den Zeitraum 2015–2019 mit 750 Mio. Euro und bei der ersten Wiederauffüllung für die Periode 2020–2023 (GCF-1) mit 1,5 Mrd. Euro beteiligt. 2022 wurde die zweite Wiederauffüllungsrunde für 2024–2027 (GCF-2) gestartet. Auf dem Petersburger Klimadialog im Mai 2023 in Berlin gab Bundeskanzler Olaf Scholz die deutsche Zusage für GCF-2 in Höhe von 2 Mrd. Euro bekannt. Dies ist der höchste bisherige Einzelbeitrag seit Bestehen des GCF²³⁹. Als weiteres Instrument der multilateralen Finanzierung wurde 2008 unter dem Kyoto-Protokoll der Anpassungsfonds gegründet. Dieser setzt auch Aufgaben unter dem Pariser Klimaabkommen 2015 um. Deutschland ist mit rund 540 Mio. Euro insgesamt ein wichtiger Geber.

Im Rahmen der bilateralen Projekt- und Programmfinanzierungen leistet Deutschland Zuwendungen an spezifische Projekte zur Förderung eines kohlenstoffarmen und

klimagesilienten Wachstums. Projekte werden insbesondere von der Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH und der Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW) Bankengruppe sowie von privaten, zivilgesellschaftlichen und kirchlichen Trägern oder politischen Stiftungen umgesetzt. Neben Projekten, deren Hauptziel die Klimawandelanpassung ist, haben Projekte der Entwicklungszusammenarbeit auch Bezüge zum Klimawandel als Querschnittsthema. So dienen viele Projekte mit den Zielen Armutsbekämpfung, Ernährungssicherung und Diversifizierung der Wirtschaft auch der Klimawandelanpassung. Die Anpassung an den Klimawandel ist ein wichtiger Baustein für nachhaltige Entwicklung. Umgekehrt fördert nachhaltige Entwicklung die Widerstandsfähigkeit gegenüber den Folgen des Klimawandels. Die Umsetzung des Pariser Klimaabkommens ist hierfür zentral. Die Verknüpfung von nachhaltiger Entwicklung und Anpassung erhöht zudem die Wirkung der öffentlichen Gelder. Entscheidend für die Anrechnung als Anpassungsprojekt in der internationalen Klimafinanzierung ist aber, dass Anpassungsziele ausdrücklich formuliert sind und spezifische Maßnahmen umgesetzt werden, die die Vulnerabilität der Systeme und die Risiken des Klimawandels mindern und deren Klimaresilienz steigern. Hierzu gehören Maßnahmen zu Information, Bewusstseinsbildung und Kapazitätsaufbau sowie Maßnahmen im rechtlichen, planerischen und programmatischen Bereich oder Umsetzungsmaßnahmen wie die Umstellung auf wassersparende Bewässerungssysteme, der Anbau trockenheitstoleranterer Ackerfrüchte, die Einführung nachhaltiger Praktiken in der Fischerei oder Maßnahmen zur Malariabekämpfung.

Die Gesamtsumme der internationalen Klimafinanzierung Deutschlands für Minderungs- und Anpassungsmaßnahmen aus Haushaltsmitteln ist von 471 Mio. Euro in 2005 auf 5,34 Mrd. Euro in 2021 gestiegen. Deutschland hatte vor der Klimakonferenz in Paris 2015 zugesagt, die öffentliche Klimafinanzierung aus Haushaltsmitteln inklusive Schenkungsäquivalenten bis 2020 auf 4 Mrd. Euro pro Jahr zu steigern. Diese Zusage wurde bereits 2019 erfüllt. Auf dem Petersberger Klimadialog im Juli 2022 sagte der Bundeskanzler zu, diese Summe bis 2025 auf jährlich mindestens 6 Mrd. Euro zu steigern. Seit 2010 erfasst Deutschland den Anteil für Anpassung an der internationalen Klimafinanzierung gesondert. Maßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel waren im Jahr 2021 mit 2,59 Mrd. Euro sieben Mal höher als noch im Jahr 2010 mit 355 Mio. Euro und beliefen sich auf 49 % an der gesamten aus Haushaltsmitteln bereitgestellten internationalen Klimafinanzierung.

ANHANG

Bearbeitung

Institution	Bearbeiterinnen und Bearbeiter
Federführung	
Umweltbundesamt (UBA), Koordinierungsstelle für das Monitoring zur DAS	FG I 1.6 KomPass: Dr. Petra van Rüth
Weiterentwicklung der DAS-Monitoring-Indikatoren	
Bosch & Partner GmbH	Konstanze Schönthaler, Stefan von Andrian-Werburg, Maximilian Gabriel, Mareike Wolf, Can Ölmez
Weiterentwicklung des Verfahrens der statistischen Trendanalyse	
Ludwig-Maximilian-Universität München	Fakultät für Mathematik, Informatik und Statistik, Institut für Statistik, Statistisches Beratungslabor: Prof. Dr. Helmut Küchenhoff, Maxim Lorenz, Dr. Sevag Kevork
Bearbeitung des Kapitels Klimaentwicklung in Deutschland	
Deutscher Wetterdienst (DWD)	Referat KU 21 Nationale Klimaüberwachung: Dr. Florian Imbery, Karsten Friedrich
	Referat KU 42 Niederschlagsüberwachung: Dr. Stephanie Hänsel, Katharina Lengfeld
	Referat KU 41 Hydrometeorologische Beratungsleistungen: Dr. Thomas Deutschländer, Dr. Monika Rauthe
	Referat KU 31 Agrarmeteorologische Fachleitung und Beratung: Dr. Reinhard Spengler, Elisabeth Krauthan
	Referat KU 11 Zentrales Klimabüro: Nora Leps
Bearbeitung des Handlungsfelds Biologische Vielfalt	
Bundesamt für Naturschutz (BfN)	Fachgebiet II 1.3 Terrestrisches Monitoring: Dr. Melanie Mewes, Dr. Ulrich Sukopp
Universität Kassel	Fachgebiet Landschafts- und Vegetationsökologie: Prof. Dr. Gert Rosenthal, Cindy Baierl
Technische Universität Berlin	Prof. Dr. Stefan Heiland, Laura Radtke
Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden	Fakultät Landbau/Umwelt/Chemie, Professur Landschaftsökologie: Prof. Dr. Ulrich Walz
Dachverband Deutscher Avifaunisten e.V.	Sven Trautmann
PAN Planungsbüro für Angewandten Naturschutz GmbH	Werner Ackermann, Daniel Fuchs
Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung – UFZ	Dr. Martin Musche

Beteiligungen

Die nachstehende Aufstellung enthält alle Beteiligten, die mit konkreten Beiträgen an der Weiterentwicklung sowie der Aktualisierung der Indikatoren und / oder der Erstellung der Texte für den DAS-Monitoringbericht 2023 mitgearbeitet haben. Die Personen sind dabei denjenigen Institutionen zugeordnet, denen sie zum Zeitpunkt der Beteiligung angehört haben. Diejenigen Personen, die im Vorfeld früherer DAS-Monitoringberichte an der Entwicklung der Indikatoren und / oder der Erstellung der Texte mitgearbeitet haben, sind an dieser Stelle nicht gesondert aufgeführt. Sie sind im Anhang der älteren DAS-Monitoringberichte genannt.

Institution	Bearbeiterinnen und Bearbeiter
Ministerien des Bundes	
Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (BMUV)	Referat T III 1 Grundsatzangelegenheiten, Strategie und Recht der Anpassung an den Klimawandel: Silke Jung, Christiane Heiß, Dr. Thomas Abeling Referat T III 2 Gesundheit im Klimawandel: Mark Vallenthin Referat G III 2 Gesellschaftliche Gruppen und Verbände, Verbändeförderung, Tourismus und Sport: Gabriele Kuczmiarczyk Referat N I 3 Nationaler Artenschutz: Dana Wiemann Referat N III 2 Klimapolitik im Landsektor: Anja Lamche Referat N III 3 Waldschutz und nachhaltige Waldbewirtschaftung, Wildnis, Wiederherstellung der Natur: Christian Großheim Referat S II 4 Anwendung ionisierender Strahlung am Menschen, Nichtionisierende Strahlung: Dr. Frauke Grimm
Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)	Referat 617 Interaktive Technologien für Gesundheit und Lebensqualität: Dr. Christian Böhm
Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL)	Referat 811 Gemeinschaftsaufgabe „Verbesserung der Agrarstruktur und des Küstenschutzes“ (GAK), Hochwasser- und Küstenschutz: Sanna Petter
Bundesministerium für Familien, Senioren, Frauen und Jugend (BMFSFJ)	Referat Z26 Umweltmanagement, Liegenschaftsmanagement Bonn, Services: Judith Ehlke
Bundesministerium für Gesundheit (BMG)	Referat 622 Umweltbezogener Gesundheitsschutz, Klima und Gesundheit: Karin Höppner
Bundesministerium für Digitales und Verkehr (BMDV)	Referat G21 Energie und Klimaschutz: Sascha Faradsch Referat WS14 Umweltschutz für die Wasserstraßen, Anpassung an den Klimawandel, Gewässerkunde, BfG: Nicole Hädicke
Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK)	Referat IV E1 Grundsatzfragen Klimaschutz in der Industrie: Daniel Leimner
Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen (BMWSB)	Referat S I 5 Grün und Baukultur in der Stadtentwicklung: Lara Steup Referat S III 1 Grundsatz, Raumordnung, Raumentwicklung; MKRO-Geschäftsstelle: Jens-Uwe Staats
Bundesministerium für Wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (BMZ)	Referat 420 Klimapolitik: Sabine Brickenkamp Referat 421 Klimafinanzierung: Sylvia Schmidt
Bundesoberbehörden	
Umweltbundesamt (UBA)	Fachgebiet I 1.6 KomPass – Klimafolgen und Anpassung: Dr. Petra van Rühl, Dr. Inke Schauer, Dr. Achim Daschkeit, Kirsten Sander, Clemens Haße, Dr. Valentin Meilinger Fachgebiet I 1.1 Grundsatzfragen, Nachhaltigkeitsstrategien und -szenarien, Ressourcenforschung: Jens Günther Fachgebiet I 1.2 Internationale Nachhaltigkeitsstrategien, Politik- und Wissenstransfer: Ulrike Wachotsch Fachgebiet I 1.4 Wirtschafts- und sozialwissenschaftliche Umweltfragen, nachhaltiger Konsum: Dr. Angelika Gellrich, Christoph Töpfer, Maik Nagel, Dr. Frauke Eckermann Fachgebiet I 1.7 Umweltinformationssysteme/ -dienste, Satellitenfernerkundung, Dateninfrastruktur: Dr. Christian Schweitzer Fachgebiet I 2.1 Umwelt und Verkehr: Martyn Douglas, Andrea Kolodziej Fachgebiet I 2.5 Nachhaltige Raumentwicklung, Umweltprüfungen: Christoph Rau, Dr. Susanne Schubert, Dr. Daniel Reißmann Fachgebiet II 1.4 Mikrobiologische Risiken: Alexandra Schmidt Fachgebiet II 1.5 Umweltmedizin und gesundheitliche Bewertung: Dr. Conny Höflich, Dr. Hans-Guido Mücke, Dr. Wolfgang Straff

Institution	Bearbeiterinnen und Bearbeiter
Umweltbundesamt (UBA)	<p>Fachgebiet II 2.1 Übergreifende Angelegenheiten Wasser und Boden: Corinna Baumgarten, Cindy Mathan, Bernd Kirschbaum, Manuela Helmecke</p> <p>Fachgebiet II 2.2 Landwirtschaft: Friederike Balzer, Dr. Knut Ehlers</p> <p>Fachgebiet II 2.3 Schutz der Meere und Polargebiete: Manuela Krakau, Stefanie Werner</p> <p>Fachgebiet II 2.4 Binnengewässer: Jens Arle</p> <p>Fachgebiet II 2.7 Bodenzustand, Bodenmonitoring: Jeanette Mathews, Kirstin Marx, Antje Ullrich</p> <p>Fachgebiet II 3.3 Wasseraufbereitung: Dr. Jutta Fastner</p> <p>Fachgebiet II 4.2 Beurteilung der Luftqualität: Ute Dauert, Andrea Minkos</p> <p>Fachgebiet II 4.3 Luftreinhaltung und terrestrische Ökosysteme: Simone Richter, Dr. Christin Loran, Stefan Wallek</p> <p>Fachgebiet III 1.3 Ökodesign, Umweltkennzeichnung, umweltfreundliche Beschaffung: Susanne Spies</p> <p>Fachgebiet III 1.4 Stoffbezogene Produktfragen: Dr. Frank Brozowski</p> <p>Fachgebiet III 1.5 Abfallwirtschaft, grenzüberschreitende Abfallverbringung: Dr. Juliane Koch-Jugl</p> <p>Fachgebiet III 2.1 Übergreifende Angelegenheiten, Chemische Industrie, Feuerungsanlagen: Almut Reichart, Doreen Schmitz, Anja Nowack</p> <p>Abteilung IV.1 Internationales und Pestizide: Ingrid Nöh</p> <p>Fachgebiet IV 1.2 Biozide: Thorsten Schwanemann</p> <p>Fachgebiet IV 1.3 Pflanzenschutzmittel: Mareike Güth</p> <p>Fachgebiet IV 1.4 Gesundheitsschädlinge und ihre Bekämpfung: Dr. Carola Kuhn, Dr. Birgit Habedank</p> <p>Fachgebiet V 1.2 Strategien und Szenarien zu Klimaschutz und Energie: Ulla Strenge, Joscha Steinbrenner</p> <p>Fachgebiet V 1.3 Erneuerbare Energien: Carla Vollmer, Yvonne Koch, Jan Seven</p> <p>Fachgebiet V 1.4 Energieeffizienz: Jens Schuberth</p> <p>Fachgebiet V 1.5 Energieversorgung und -daten: Jeanette Pabst</p> <p>Fachgebiet V 1.6 Emissionssituation: Dr. Ulrike Döring</p>
Bundesamt für Naturschutz (BfN)	Fachgebiet II 3.1 Grundlagen, internationaler Meeresnaturschutz: Christian Pusch
Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (BBK)	<p>Referat I.2 Warnung der Bevölkerung: Dr. Christoph Groneberg</p> <p>Referat II.3 Strategie KRITIS, Cyber-Sicherheit KRITIS: Christina Nikogosian, René Kwiatkowski</p> <p>Referat II.5 Baulicher Bevölkerungsschutz: Katharina Gerlach</p>
Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH)	<p>Referat M2 Meeresphysik und Klima: Dr. Kerstin Jochumsen</p> <p>Sachgebiet M21 Marine Klimafragen: Dr. Tim Kruschke, Dr. Claudia Hinrichs, Dr. Frank Janssen, Ludwig Schenk</p>
Bundesamt für Strahlenschutz (BfS)	Fachgebiet WR 4 Optische Strahlung: Dr. Cornelia Baldermann, Dr. Sebastian Lorenz, Dr. Daniela Weiskopf
Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA)	Fachgebiet Klima am Arbeitsplatz: Dr. Kersten Bux
Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG)	<p>Referat M1 Hydrologische Grundsatzangelegenheiten, Hydrometrie und Gewässerphysik: Dr. Hartmut Hein, Dr. Peer Helmke, Dr. Tim Scheufen</p> <p>Referat M2 Wasserhaushalt, Vorhersagen und Prognosen: Peter Krahe</p>
Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE)	Referat 321 Informations- und Koordinationszentrum für Biologische Vielfalt: Dr. Michaela Haverkamp
Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt)	Referat U2 Unfallanalyse, Unfallstatistik: Leon Straßgütl, Susanne Schönebeck

Institution	Bearbeiterinnen und Bearbeiter
Bundesanstalt für Wasserbau (BAW)	Abteilung Wasserbau im Küstenbereich, Referat Ästuarsysteme II: Dr. Rita Seiffert
Bundesanstalt Technisches Hilfswerk (THW)	Referat E1 Grundsatz: Tobias Nothhelfer
Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR)	Referat I 1 Raumentwicklung: Dr. Brigitte Zaspel-Heisters, Dr. Klaus Einig, Claudia Benz Referat WB 6 Bauen und Umwelt: Svenja Binz
Bundesnetzagentur (BNetzA)	Referat 615 Marktbeobachtung, Monitoring Energie: Maximilian Plugge Referat 626 Versorgungsqualität: Dominik Oleff
Bundessortenamt (BSA)	Referat P2 Kommunikation, Biopatent-Monitoring, Qualitätsmanagement: Nora-Sophie Quett
Deutscher Wetterdienst (DWD)	Referat KU 21 Nationale Klimaüberwachung: Dr. Florian Imbery Referat KU 42 Niederschlagsüberwachung: Dr. Tanja Winterrath Referat KU 41 Hydrometeorologische Beratungsleistungen: Dr. Uwe Böhm, Dr. Monika Rauthe Referat KU 13 Zentrum für Medizin-Meteorologische Forschung: Prof. Dr. Andreas Matzarakis, Dr. Christina Endler, Dr. Gudrun Laschewski, Kathrin Graw, Dr. Stefan Muthers, Oliver Naß Referat KU 32 Zentrum für Agrarmeteorologische Forschung: Dr. Cathleen Frühauf, Tobias Vogt Referat KU 31 Agrarmeteorologische Fachleitung und Beratung (Außenstel- le Leipzig): Falk Böttcher Referat KU3WN Außenstelle Weihenstephan: Dr. Harald Maier Referat KU 11 Zentrales Klimabüro: Dr. Saskia Buchholz Referat KU 1 EM Regionales Klimabüro Essen: Guido Halbzig
Friedrich-Loeffler-Institut (FLI)	Institut für Infektionsmedizin: PD Dr. Helge Kampen
Generaldirektion Wasserstraßen und Schifffahrt (GDWS)	Dezernat Ökologische Entwicklung der Bundeswasserstraßen (U 10): Dörthe Eichler
Julius Kühn-Institut (JKI)	Institut für Strategien und Folgenabschätzung im Pflanzenschutz: Dr. Hella Kehlenbeck, Dr. Sandra Krengel-Horney, Silke Dachbrodt-Saaydeh, Til Feike
Robert Koch-Institut (RKI)	Abteilung für Infektionsepidemiologie: Dr. Matthias an der Heiden, Dr. Claudia Winklmayr
Statistisches Bundesamt (Destatis)	Referat G 24 Physische Umweltökonomische Gesamtrechnungen: Lucia Maier, Teresa Kersting, Katrin Bort
Thünen-Institut (TI)	Stabsstelle Klima und Boden: Dr. Mareike Söder, Dr. Nataliya Stupak Institut für Seefischerei: Dr. Anne Sell, Dr. Matthias Bernreuther Institut für Ostseefischerei: Dr. Patrick Polte Institut für Waldökosysteme: Prof. Dr. Andreas Bolte, Dr. Heino Polley, Dr. Jo- achim Rock, Dr. Thomas Riedel, Dr. Tobias Schad, Dr. Sebastian Schnell, Dr. Nicole Wellbrock, Dr. Erik Grüneberg, Dr. Dominik Jochem, Dr. Marco Natkhin, Dr. Nikolai Knapp, Dr. Denny Ohnesorge, Dr. Tanja Sanders
Ministerien der Länder	
Hessisches Ministerium für Umwelt, Klimaschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz	Referat III 2 Finanzierung, fachbezogene Verwaltung, Hochwasserschutz, Hydrologie, Badegewässer: Matthias Löw, Thomas Mann
Fachbehörden der Länder	
Landesamt für Gesundheit und Soziales Mecklenburg-Vorpommern (LAGuS MV)	Abteilung Gesundheit, Dezernat Umwelthygiene, Umweltmedizin: Dr. Gerhard Hauk
Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL)	Arbeitsbereich IAB1 Boden: Dr. Martin Wiesmeier

Institution	Bearbeiterinnen und Bearbeiter
Landwirtschaftliches Zentrum Baden-Württemberg	Fischereiforschungsstelle Baden-Württemberg: Dr. Jan Baer
Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie (HLNUG)	Dezernat I1, Ute Heyder (LiKi-Vertreterin)
Landesbetrieb Mobilität Rheinland-Pfalz (LBM RP)	Geschäftsbereich Betrieb, Fachgruppe Straßenunterhaltung, -betrieb: Mike Fensterseifer
Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt (NWFVA)	Sachgebiet Waldnaturschutz / Naturwaldforschung: Dr. Peter Meyer
Staatliches Amt für Landwirtschaft und Umwelt Mittleres Mecklenburg (StALU MM)	Abteilung Küste: Knut Sommermeier
LAWA AK – Kleingruppe Klimaindikatoren (Die Kleingruppe wirkte an der Weiterentwicklung der Indikatoren zu den Handlungsfeldern „Wasserhaushalt und Wasserwirtschaft“ sowie „Küsten- und Meeresschutz“ mit.)	
Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG)	Referat M2: Wasserhaushalt, Vorhersagen und Prognosen: Peter Krahe, Dr. Hartmut Hein
Bundesanstalt für Wasserbau (BAW)	Abteilung Wasserbau im Küstenbereich, Referat Ästuarsysteme II: Dr. Rita Seiffert
Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH)	Referat M2 Meeresphysik und Klima: Jens Möller
Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU)	Referat 63 Flussbauliche Grundlagen, Hydromorphologie, Hydraulik: Dr. Gisela Kangler (bis 05/2021) Referat 83 Ökologie der Flüsse und Seen: Daniela Rau (bis 10/2021)
Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie (HLNUG)	Dezernat W3 Hydrologie, Hochwasserschutz: Dr. Gerhard Brahmer, Dr. Thomas Wanke Dezernat W4: Dr. Georg Berthold
Landesamt für Umwelt Rheinland-Pfalz (LfU)	Abteilung 5 Gewässerschutz: Dr. Wolfgang Frey
Landesbetrieb für Hochwasserschutz und Wasserwirtschaft Sachsen-Anhalt (LHW)	Sachgebiet 5.1.3 Mengenbewirtschaftung: Christiana Mühlner
Ministerium für Ländliche Entwicklung, Umwelt und Landwirtschaft Brandenburg (MLUL)	Referat 22 Oberflächenwasser, Siedlungswasserwirtschaft: Sandra Berdermann (bis 05/2021), Julia Mussbach (nur 05/2021–05/2022)
Ministerium für Landwirtschaft und Umwelt Mecklenburg-Vorpommern	Referat 420 Gewässerkunde, Seenprogramm, Klimawandel: Eckhard Kohlhas (Obmann der Kleingruppe)
Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume des Landes Schleswig-Holstein	Referat Küstenschutz, Hochwasserschutz und Häfen: Dr. Jacobus Hofstede
Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz NRW (MULNV)	Referat IV-5 Oberflächengewässer- und Grundwasserbeschaffenheit, Wasserversorgung: Maria Berglund
Niedersächsisches Ministerium für Umwelt, Energie, Bauen und Klimaschutz (MUEBK)	Referat 23 Grundwasser, Wasserversorgung, Fachplanungs- und Datenmanagement, Gewässerkundlicher Landesdienst: Ulrike Lipkow (bis 05/2022), Ute Brase (bis 05/2022)
Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz (NLWKN)	AB 31 Grundwasser: Dr. Tobias Holt AB 36 Hochwasservorhersagezentrale, Klimafolgen, Fachdatenmanagement: Uwe Petry Betriebsstelle Norden-Norderney: Frank Thorenz
Sächsische Staatsministerien für Energie, Klimaschutz, Umwelt und Landwirtschaft (SMEKUL)	Referat 44 Oberflächengewässer, Hochwasserschutz: Christin Mudra (bis 06/2022), Dr. Kerstin Röske
Senatsverwaltung für Umwelt, Verkehr und Klimaschutz Berlin (SenUVK Berlin)	Referat II B Wasserrecht, Wasserwirtschaft und Geologie, Fachbereich B II B 24 Wasserwirtschaft, Wasserrahmenrichtlinie, Hochwasserschutz: Antje Köhler

Institution	Bearbeiterinnen und Bearbeiter
Umweltbundesamt (UBA)	Fachgebiet I 1.6 KomPass: Dr. Petra van R�uth Fachgebiet II 2.1: Corinna Baumgarten
Hochschulen und andere wissenschaftliche Einrichtungen	
Carl Albrechts Universität zu Kiel (CAU)	Geographisches Institut: Dr. Katja Kuhwald
Hochschule Kempten	Tourismus-Management: Prof. Dr. Julia Beelitz
Hochschule für Technik und Wirtschaft des Saarlandes (htw saar)	Internationales Tourismus-Management: Prof. Dr. Kerstin Heuwinkel
Leibniz-Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei (IGB)	Dr. Michael Hupfer, Dr. Robert Schwefel
Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF) e.V.	Dr. Doreen Werner
Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung (IÖR)	Forschungsbereich Raumbezogene Information und Modellierung: Dr. Tobias Kr�ger, Dr. Gotthard Meinel
SRH Berlin University of Applied Science	Center for Innovation & Sustainability in Tourism: Prof. Dr. Ines Carstensen
Technische Universität München (TUM)	Lehrstuhl für Gr�nlandlehre: Prof. i. R. Dr. Karl Auerswald
Universität Innsbruck (UIBK)	Assoz.-Prof. Dr. Robert Steiger
Nicht-behördliche Einrichtungen	
ahu GmbH	Carolin Kaufmann-Boll, Maike Kern
akzente kommunikation und beratung GmbH	Thomas Loew
Brockmann Consult	Jorrit Scholze, Kerstin Stelzer
Deutsche Bahn AG	GUU Strategie Nachhaltigkeit und Umwelt: Dr. Michael Below, Dr. Karoline Me�enzehl
DB Netz AG	I.NAI 43 Naturgefahrenmanagement: Benjamin Schmitz
Deutscher Feuerwehrverband e. V. (DFV)	Carsten-Michael Pix
Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung (DIW)	Abteilung Unternehmen und Märkte: Prof. Dr. Martin Gornig
Deutscher Tourismusverband (DTV)	Dirk Dunkelberg
Eider-Treene-Verband	Kerstin Fuhrmann
Frankfurt School of Finance & Management gGmbH	Sebastian Rink
Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e. V. (GDV)	Sach- und Technische Versicherung, Schadenverhütung, Statistik: Dr. Olaf Burghoff, Axel Amkreutz
Heinze GmbH	Market Research: Katrin Klarh�fer
Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung GmbH (UFZ)	Department Biozönoseforschung: Dr. Martin Musche, Alexander Harpke Department Naturschutzforschung: Prof. Dr. Josef Settele, Elisabeth Kühn
Infras AG	Martin Peter, Madeleine Guyer
Institut für Tourismus- und Baderforschung in Nordeuropa (NIT) GmbH	Wolfgang Günther
Kommunale Aktionsgemeinschaft zur Bekämpfung der Schnakenplage KABS e. V.	Artur J�st
Stiftung Deutscher Polleninformationsdienst e.V. (PID)	Prof. Dr. Karl-Christian Bergmann, Dr. Barbora Werchan, Matthias Werchan
Zukunft – Umwelt – Gesellschaft (ZUG) gGmbH	Team Anpassung an den Klimawandel: Karin Zacharias-Langhans

Quellenverzeichnis

Einführung

- 1 Die Bundesregierung (Hg.) 2015: Fortschrittsbericht zur Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit. 275 S. https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Klimaschutz/klimawandel_das_fortschrittsbericht_bf.pdf
- 2 Die Bundesregierung (Hg.) 2020: Zweiter Fortschrittsbericht zur Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel. 61 S. und Anhänge. https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Klimaschutz/klimawandel_das_2_fortschrittsbericht_bf.pdf
- 3 UBA – Umweltbundesamt (Hg.) 2022: Die Risiken des Klimawandels für Deutschland – Ergebnisse der Klimawirkungs- und Risikoanalyse 2021 sowie Schlussfolgerungen der Interministeriellen Arbeitsgruppe „Anpassung an den Klimawandel“. Dessau-Roßlau, 19 S. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/376/publikationen/2022_fachbroschure_die_risiken_des_klimawandels_fur_deutschland_220218.pdf
- 4 Tradowsky J. S., Philip S. Y., Kreienkamp F., Kew S. F., Lorenz P., Arrighi J., Bettmann T., Caluwaerts S., Chan S. C., Cruz L. de, Vries H. de, Demuth N., Ferrone A., Fischer E. M., Fowler H. J., Goergen K., Heinrich D., Henrichs Y., Kaspar F., Lenderink G., Nilson E., Otto F. E., Ragone F., Seneviratne S. I., Singh R. K., Skålevåg A., Termonia P., Thalheimer L., van Aalst M., van den Bergh J., van de Vyver H., Vannitsem S., van Oldenborgh G. J., van Schaeybroeck B., Vautard R., Vonk D., Wanders N. 2023: Attribution of the heavy rainfall events leading to severe flooding in Western Europe during July 2021. *Climatic Change*, 176 (7): 1-38.
- 5 DWD – Deutscher Wetterdienst (Hg.) 2022: Klimatologischer Rückblick Sommer 2022. https://www.dwd.de/DE/leistungen/besondereereignisse/temperatur/20220921_bericht_sommer2022.pdf

Klimaentwicklung in Deutschland

- 6 IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change 2021: Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 3–32, doi: 10.1017/9781009157896.001
- 7 NOAA – National Oceanic and Atmospheric Administration / National Centers for Environmental Information: *Climate at a Glance: Global Time Series*, März 2023. <https://www.ncei.noaa.gov/access/monitoring/climate-at-a-glance/global/time-series>
- 8 Lenssen N., Schmidt G., Hansen J., Menne M., Persin A., Ruedy R., Zyss D. 2019: Improvements in the GIS-TEMP uncertainty model. *J. Geophys. Res. Atmos.*, 124, no. 12: 6307-6326. doi: 10.1029/2018JD029522
- 9 Brienen S., Walter A., Brendel C., Fleischer C., Ganske A., Haller M., Helms M., Höpp S., Jensen C., Jochumsen K., Möller J., Krähenmann S., Nilson E., Rauthe M., Razafimaharo C., Rudolph E., Rybka H., Schade N., Stanley K. 2020: Klimawandelbedingte Änderungen in Atmosphäre und Hydrosphäre: Schlussbericht des Schwerpunktthemas Szenarienbildung (SP-101) im Themenfeld 1 des BMVI-Expertenetzwerks. 157 S. doi: 10.5675/ExpNBS2020.2020.02

Menschliche Gesundheit

- 9 BMG – Bundesministerium für Gesundheit (Hg.) 2022: Klimapakt Gesundheit – gemeinsam für Klimaanpassung und Klimaschutz im Gesundheitswesen eintreten. Gemeinsame Erklärung des Bundesministeriums für Gesundheit, der Spitzenorganisationen im Gesundheitswesen sowie der Länder und kommunalen Spitzenverbände. Berlin, 7 S. https://www.bundesgesundheitsministerium.de/fileadmin/Dateien/3_Downloads/G/Gesundheit/Erklaerung_Klimapakt_Gesundheit_A4_barrierefrei.pdf
- 10 Rickerts V. 2019: Climate change and systemic fungal infections. *Bundesgesundheitsblatt Gesundheitsforschung Gesundheitsschutz* 62(5): 646–651. doi: 10.1007/s00103-019-02931-z

- 11 Mücke H.-G., Matzarakis A. 2019: Klimawandel und Gesundheit: Tipps für sommerliche Hitze und Hitzewellen. Dessau-Roßlau, 10 S.
<https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/klimawandel-gesundheit-tipps-fuer-sommerliche-hitze>
- 12 Adrian G., Dietrich M., Esser B., Hensel A., Isermeyer F., Messner D., Mettenleiter T.C., Paulini I., Riewenherm S., Schaade L., Tiesler R., Wieler L.H. 2023: Auswirkungen des Klimawandels auf Infektionskrankheiten und antimikrobielle Resistenzen – Teil 1 des Sachstandsberichts Klimawandel und Gesundheit 2023. *Journal of Health Monitoring* S3/2023. doi: 10.25646/11390
- 13 Überblick über Fördermöglichkeiten zum Klimaschutz und zur Klimaanpassung:
<https://www.pd-g.de/aktuell-im-fokus/nachhaltigkeit-im-gesundheitswesen>
- 14 Winklmayr C., Muthers S., Niemann H., Mücke H.G., an der Heiden M. 2022: Heat-related mortality in Germany from 1992 to 2021. *Dtsch Arztebl Int*, 119: 451–7. doi: 10.3238/arztebl.m2022.0202
- 15 Deutschlandwetter im Sommer 2018: https://www.dwd.de/DE/presse/pressemitteilungen/DE/2018/20180830_deutschlandwetter_sommer_news.html
- 16 Langen U., Schmitz R., Steppuhn H. 2013: Häufigkeit allergischer Erkrankungen in Deutschland: Ergebnisse der Studie zur Gesundheit Erwachsener in Deutschland (DEGS1). *Bundesgesundheitsbl* 56 (5-6): 698–706. doi: 10.1007/s00103-012-1652-7.
- 17 Thamm R., Poethko-Müller C., Hüther A., Thamm M. 2018: Allergische Erkrankungen bei Kindern und Jugendlichen in Deutschland: Querschnittergebnisse aus KiGGS Welle 2 und Trends. *Journal of Health Monitoring* 3 (3): 3–18. doi: 10.17886/RKI-GBE-2018-075
- 18 Informationen der PID zum Gewitterasthma:
<https://www.pollenstiftung.de/pollenallergie/thunderstorm-asthma.html>
- D'Amato G., Vitale C., D'Amato M., Cecchi L., Liccardi G., Molino A., Vatrella A., Sanduzzi A., Maesano C., Annesi-Maesano I. 2016: Thunderstorm-related asthma: what happens and why. *Clin Exp Allergy* 46(3): 390–6. doi: 10.1111/cea.12709
- D'Amato G., Holgate S.T., Pawankar R., Ledford D.K., Cecchi L., Al-Ahmad M. et al. 2015: Meteorological conditions, climate change, new emerging factors, and asthma and related allergic disorders. A statement of the World Allergy Organization. *World Allergy Organ J* 14 8(1): 25. doi: 10.1186/s40413-015-0073-0
- D'Amato G., Liccardi G., Frenguelli G. 2007: Thunderstorm-asthma and pollen allergy. *Allergy* 62: 11–16. doi: 10.1111/j.1398-9995.2006.01271.x
- 19 Haftenberger M., Laußmann D., Ellert U., Kalcklösch M., Langen U., Schlaud M., Schmitz R., Thamm M. 2013: Prävalenz von Sensibilisierungen gegen Inhalations- und Nahrungsmittelallergene – Ergebnisse der Studie zur Gesundheit Erwachsener in Deutschland (DEGS1). *Bundesgesundheitsbl*, 56: 687–697. doi: 10.1007/s00103-012-1658-1
- 20 Deutschlandwetter im Frühjahr 2019: https://www.dwd.de/DE/presse/pressemitteilungen/DE/2019/20190529_deutschlandwetter_fruehjahr.html
Deutschlandwetter im Frühjahr 2020: https://www.dwd.de/DE/presse/pressemitteilungen/DE/2020/20200529_deutschlandwetter_fruehjahr2020.html
- 21 Bergmann K.-C., Buters J., Karatzas K., Tasioulis T., Werchan B., Werchan M., Pfaar O. 2020: The development of birch pollen seasons over 30 years in Munich, Germany – An EAACI Task Force report. *Allergy*. 2020 Dec; 75(12): 3024-3026. doi: 10.1111/all.14470
- 22 Rojo J., Oteros J., Picornell A., Maya-Manzano J.M., Damialis A., Zink K., Werchan M., Werchan B., Smith M., Menzel A., Timpf S., Traidl-Hoffmann C., Bergmann K.C., Schmidt-Weber C.B., Buters J. 2012: Effects of future climate change on birch abundance and their pollen load. *Glob Chang Biol.*, 27(22): 5934-5949. doi: 10.1111/gcb.15824
- 23 Bergmann K.-C., Werchan D., Maurer M., Zuberbier T. 2008: Threshold value for Ambrosia pollen in nasal provocation: patients characterization. *Allergo Journal* 17: 375-376.
- 24 PID – Stiftung Deutscher Polleninformationsdienst 2023: Pollenflugkalender 5.0 für Deutschland 2016–2021 <https://www.pollenstiftung.de/pollenvorhersage/pollenflugkalender.html>
- 25 Beermann S, Dobler G, Faber M, Frank C, Habedank B, Hagedorn P, Kampen H, Kuhn C, Nygren T, Schmidt-Chanasit J, Schmolz E, Stark K, Ulrich RG, Weiss S, Wilking H: Auswirkungen von Klimaveränderungen auf Vektor- und Nagetier-assoziierte Infektionskrankheiten. - *J Health Monit* 8 (S3): 36-66. doi: 10.25646/11392.
- 26 Heitmann A., Jansen S., Lühken R., Helms M., Pluskota B., Becker N., Kuhn C., Schmidt-Chanasit J., Tannich E. 2018: Experimental risk assessment for chikungunya virus transmission based on vector competence,

- distribution and temperature suitability in Europe. *Euro Surveill.*, 23(29): 1800033.
doi: 10.2807/1560-7917.ES.2018.23.29.1800033
- 27 Heitmann A., Jansen S., Lühken R., Leggewie M., Badusche M., Pluskota B., Becker N., Vapalahti O., Schmidt-Chanasit J., Tannich E. 2017: Experimental transmission of Zika virus by mosquitoes from central Europe. *Euro Surveill.* 22(2): 30437. doi: 10.2807/1560-7917.ES.2017.22.2.30437
- 28 Informationen des FLI – Friedrich-Loeffler-Institut zur Nationalen Expertenkommission „Stechmücken als Überträger von Krankheitserregern“: <https://www.fli.de/de/kommissionen/nationale-expertenkommission-stechmuecken-als-uebertraeger-von-krankheitserregern/>
- 29 Baker-Austin C., Oliver J.D., Alam M., Afsar A., Matthew K. W., Firdausi Q., Martinez-Urtaza J. 2018: *Vibrio* spp. infections. *Nature Reviews Disease Primers*, 4, 1-19.
- 30 Brehm T.T., Berneking L., Sena Martins M., Dupke S., Jacob D., Drechsel O., Bohnert J., Becker K., Kramer A., Christner M., Aepfelbacher M., Schmiedel S., Rohde H. (German *Vibrio* Study Group) 2021: Heatwave-associated *Vibrio* infections in Germany, 2018 and 2019. *Euro Surveill.* 26(41): 2002041.
doi: 10.2807/1560-7917.ES.2021.26.41.200204
- 31 Strom M., Paranjpye R. 2000: Epidemiology and pathogenesis of *Vibrio vulnificus*. *Microbes and Infection*, Band 2, Heft 2, 177-188.
- 32 Strahlenschutzkommission 2016: Empfehlung der Strahlenschutzkommission „Schutz des Menschen vor den Gefahren solarer UV-Strahlung und UV-Strahlung in Solarien“. https://www.ssk.de/SharedDocs/Beratungsergebnisse/2016/2016-02-11%20Empf_UV-Schutz_KT.html?nn=2241510
- 33 El Ghissassi F., Baan R., Straif K. et al. 2009: A review of human carcinogens – part D: radiation. *Lancet Oncol* 10: 751-752.
- 34 DKG – Deutsche Krebsgesellschaft e. V., DKH – Deutsche Krebshilfe, AWMF – Arbeitsgemeinschaft der Wissenschaftlichen Medizinischen Fachgesellschaften e. V. 2021: Leitlinienprogramm Onkologie, S3-Leitlinie Prävention von Hautkrebs, Langversion 2.1., AWMF Registernummer: 032/052OL.
<https://www.leitlinienprogramm-onkologie.de/leitlinien/hautkrebs-praevention>
- 35 Zentrum für Krebsregisterdaten des RKI: https://www.krebsdaten.de/Krebs/DE/Content/Krebsarten/Nicht-melanotischer-Hautkrebs/nicht-melanotischer-hautkrebs_node.html
https://www.krebsdaten.de/Krebs/DE/Content/Krebsarten/Melanom/melanom_node.html
- 36 Katalinic A. 2022: Update – Prognose und Zahlen zu Hautkrebs in Deutschland.
https://www.krebsregister-sh.de/wp-content/uploads/2022/04/Zahlen_Hautkrebs_2022-1.pdf.
- 37 DKG et al. 2021, siehe Endnote 34
- 38 WMO – World Meteorological Organization 2022: Executive Summary – Scientific Assessment of Ozone Depletion. GAW Report No. 278: 56 pp. <https://ozone.unep.org/science/assessment/sap>
- 39 Reid S.J., Tuck A.F., Kiladis G. 2000: On the changing abundance of ozone minima at northern midlatitudes. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 105(D10): 12169-80.
Brönnimann S. & Hood L.L. 2003: Frequency of low-ozone events over northwestern Europe in 1952–1963 and 1990–2000. *Geophysical Research Letters* 30(21).
Stick C., Krüger K., Schade N.H., Sandmann H., Macke A. 2006: Episode of unusual high solar ultraviolet radiation over central Europe due to dynamical reduced total ozone in May 2005. *Atmos Chem Phys*. 6(7): 1771-1776.
Laschewski G., Matzarakis A. 2023: Long-Term Changes of Positive Anomalies of Erythema-Effective UV Irradiance Associated with Low Ozone Events in Germany 1983–2019. *Environments* 10(2), 31.
doi: 10.3390/environments10020031
- 40 BfS – Bundesamt für Strahlenschutz: Mitteilung aus dem deutschlandweiten UV-Messnetz, Messzentrale München / Neuherberg. https://www.bfs.de/DE/themen/opt/uv/uv-index/uv-messnetz/uv-messnetz_node.html
- 41 Laschewski & Matzarakis 2023, siehe Endnote 39
- 42 Polvani L., Keeble J., Banerjee A., Checa-Garcia R., Chiodo G., Rieder H., Rosenlof K. 2023: No evidence of worsening Arctic springtime ozone losses over the 21st century. *Nature Communications*, 14.
doi: 10.1038/s41467-023-37134-3
- UNEP EEAP – United Nations Environment Programme, Environmental Effects Assessment Panel. 2023: Environmental Effects of Stratospheric Ozone Depletion, UV Radiation, and Interactions with Climate Change – 2022 Assessment Report. Montreal (Montreal Protocol on Substances that Deplete the Ozone Layer), 372 pp.
<https://ozone.unep.org/environmental-effects-stratospheric-ozone-depletion-uv-radiation-and-interactions-climate-change>

- von der Gathen P., Kivi R., Wohltmann I., Salawitch R. J., Rex M. 2021: Climate change favours large seasonal loss of Arctic ozone. *Nature Communications*, 12(1), 1-17. doi: 10.1038/s41467-021-24089-6
- 43 Wild M., Wacker S., Yang S., Sanchez-Lorenzo A. 2021: Evidence for Clear-Sky Dimming and Brightening in Central Europe. *Geophysical Research Letters*, 48(6), e2020GL092216. doi: 10.1029/2020GL092216
- 44 Wild M. 2009: Global dimming and brightening: A review, *J. Geophys. Res.*, 114, D00D16 doi: 10.1029/2008JD011470
- 45 Wild 2009, siehe Endnote 44
- 46 IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change 2021: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2391 pp. doi: 10.1017/9781009157896.
- He Y., Wang K., Zhou C., Wild M. 2018: A revisit of global dimming and brightening based on the sunshine duration. *Geophysical Research Letters*, 45: 4281–4289. doi: 10.1029/2018GL077424
- 47 Fountoulakis I., Diémoz H., Siani A.-M., Laschewski G., Filippa G., Arola A., Bais A.F., De Backer H., Lakkala K., Webb A.R., De Bock V., Karppinen T., Garane K., Kapsomenakis J., Koukoulis M.-E., Zerefos C.S. 2020: Solar UV Irradiance in a Changing Climate: Trends in Europe and the Significance of Spectral Monitoring in Italy. *Environments*, 7, 1. doi: 10.3390/environments7010001]
- 48 WHO – World Health Organization, WMO – World Meteorological Organization, UNEP – United Nations Environment Programme, ICNIRP – International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection 2002: Global solar UV index: a practical guide. World Health Organization. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/42459>
- 49 infas – Institut für angewandte Sozialwissenschaft GmbH 2022: Tabellenband – Zusatzbefragung im Rahmen der Umweltbewusstseinsstudie 2020, Themenbereich: Klimaanpassung. Im Auftrag des Umweltbundesamts. Bonn, 39 S. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/2378/dokumente/tabellenband_ubs_zusatzbefragung_sept_2021_klimaanpassung.pdf
- 50 Werchan B., Werchan M., Röseler S., Bergmann K.C. 2012: Die Wochenpollenvorhersage der Stiftung Deutscher Polleninformationsdienst (PID) – ein Hilfsmittel für Pollenallergiker und deren behandelnde Ärzte in Deutschland. 2021; 44: 920-926. doi: 10.5414/ALX02295.
- 51 Pollen-App: <https://www.pollenstiftung.de/pollenvorhersage/pollenapps.html>
- 52 Husteblume – die Allergie-App der Techniker: <https://www.tk.de/techniker/magazin/digitale-gesundheit/apps/husteblume-allergie-app-2025388>
- 53 Pfaar O., Karatzas K., Bastl K., Berger U., Buters J., Darsow U., Demoly P., Durham S.R., Galán C., Gehrig R., van Wijk G.R., Jacobsen L., Katsifarakis N., Klimek L., Saarto A., Sofiev M., Thibaudon M., Werchan B., Bergmann K.C. 2020: Pollen season is reflected on symptom load for grass and birch pollen-induced allergic rhinitis in different geographic areas - An EAACI Task Force Report. *Allergy*. 2020 May; 75(5): 1099–1106. doi: 10.1111/all.14111
- 54 Husteblume – Allergie-App der Techniker: siehe Endnote 52
- 55 Früh B., Koßmann M., Roos M. 2011: Frankfurt am Main im Klimawandel. Eine Untersuchung zur städtischen Wärmebelastung. *Berichte des Deutschen Wetterdienstes*, Band 237. Dt. Wetterdienst. Offenbach am Main, 68 S. https://www.dwd.de/DE/leistungen/pbfb_verlag_berichte/pdf_einzelbaende/237_pdf.pdf

Wasserhaushalt und Wasserwirtschaft

- 56 BMUV – Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz 2023: Nationale Wasserstrategie. Berlin, 119 S. <https://www.bmu.de/wasserstrategie>
- 57 Büker M. (Helmholtz) 2018: Mission GRACE-FO. Satelliten vermessen das Schwerefeld der Erde. <https://www.helmholtz.de/newsroom/artikel/satelliten-vermessen-das-schwerefeld-der-erde/>
- 58 Boergens E., Güntner A., Dobsław H., Dahle C. 2020: Quantifying the Central European Droughts in 2018 and 2019 with GRACE follow-on *Geophysical Research Letters*, 47 (14), p. 1672. doi: 10.1029/2020GL087285
- 59 Roth D. 2022: Hydrologen warnen: Deutschland trocknet aus. *National Geographic*. <https://www.nationalgeographic.de/umwelt/2022/03/hydrologen-warnen-deutschland-trocknet-aus>

- 60 IKSR – Internationale Kommission zum Schutz des Rheins (Hg.) 2020: Bericht zum Niedrigwasserereignis Juli-November 2018. Bericht, Band 263. <https://www.iksr.org/de/oeffentliches/dokumente/archiv/fachberichte/fachberichte-einzeldarstellung/263-bericht-zum-niedrigwasserereignis-juli-november-2018>
- 61 Prange M., Wilke T., Wesselingh F. 2020: The other side of sea level change. *Communications Earth & Environment* 1, 69. doi: 10.1038/s43247-020-00075-6
- 62 TMUEN – Ministerium für Umwelt, Energie und Naturschutz 2022: Klimawandelfolgen in Thüringen – zweiter Monitoringbericht. Erfurt, 188 S. <https://umwelt.thueringen.de/aktuelles/anzeigen-medieninformationen/klimaveraenderungen-und-ihre-folgen-in-thueringen>
- 63 Informationen des UBA – Umweltbundesamt zu Seen: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/wasser/seen#wissenswertes>
- 64 IKSR – Internationale Kommission zum Schutz des Rheins 2014: Abschätzungen der Folgen des Klimawandels auf die Entwicklung zukünftiger Rheinwassertemperaturen auf Basis von Klimaszenarien – Kurzbericht. IKSR Bericht Nr. 213, 6 S. https://www.iksr.org/fileadmin/user_upload/DKDM/Dokumente/Fachberichte/DE/rp_De_0213.pdf
- 65 OGeVO: Oberflächengewässerverordnung vom 20. Juni 2016 (BGBl. I S. 1373), die zuletzt durch Artikel 2 Absatz 4 des Gesetzes vom 9. Dezember 2020 (BGBl. I S. 2873) geändert worden ist
- 66 Liehr S., Lüdtko D. 2021: Hamburger Wasserverbrauchsstudie 2021 – Begleit-Analyse der Ergebnisse. ISOE – Institut für sozial-ökologische Forschung, Frankfurt am Main, 12 S. https://www.isoe.de/fileadmin/Edit/PDF/Publ/2021/Wasserverbrauchsstudie-2021_Begleit-Analyse_ISOE.pdf
- 67 Informationen des UBA zu Wasserressourcen und ihre Nutzung: <https://www.umweltbundesamt.de/daten/wasser/wasserressourcen-ihre-nutzung#die-wasserressourcen-deutschlands>

Küsten- und Meeresschutz

- 68 BSH – Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie 2023: Fernerkundungsdaten. https://www.bsh.de/DE/DATEN/Klima-und-Meer/Meerestemperaturen/Meeresoberflaechentemperaturen/Fernerkundungsdaten/_Module/Frames/statistik_nordsee_textbaustein.html
- 69 BSH 2023: Meeresoberflächentemperaturen – Wöchentliche Analysen seit 1995. https://www.bsh.de/DE/DATEN/Klima-und-Meer/Meerestemperaturen/Meeresoberflaechentemperaturen/meeresoberflaechentemperaturen_node.html;jsessionid=CCED2442A9691E1E1DFE0B25B6F5BA9D.live21304
- 70 BSH 2022: Bericht Oberflächentemperaturen in Nordsee und Ostsee im Sommer 2022. 5 S. https://www.bsh.de/SharedDocs/Pressemitteilungen/_Anlagen/Downloads/Oberflaechentemperaturen-Nordsee-Ostsee-Sommer-2022.html
- 71 Cheng L. J., Abraham A., Trenberth K. E., Fasullo J., Boyer T., Locarnini R., Zhang B., Yu F., Wan L., Chen X., Song X., Liu Y., Mann M., Reseghetti F., Simoncelli S., Gouretski V., Chen G., Mishonov A., Reagan J., Zhu J. 2021: Upper ocean temperatures hit record high in 2020. *Adv. Atmos. Sci.*, 38, 4, 523–530. doi: 10.1007/s00376-021-0447-x.
- 72 Cheng et al. 2021, siehe Endnote 71: 524-525.
- 73 Cheng L., Trenberth K.E., Fasullo J., Boyer T., Abraham J., Zhu J. 2017: Improved estimates of ocean heat content from 1960 to 2015. *Science Advances*, Vol 3, Issue 3. doi: 10.1126/sciadv.1601545
- 74 Xiao D., Ren H. 2023: A regime shift in North Pacific annual mean sea surface temperature in 2013/14. *Frontiers in Earth Science*, 10. doi: 10.3389/feart.2022.987349.
- 75 Thorpe R.B., Arroyo N.L., Safi G., Niquil N., Preciado I., Heath M., Pace M.C., Lynam C.P. 2022: The Response of North Sea Ecosystem Functional Groups to Warming and Changes in Fishing. *Front. Mar. Sci., Sec. Marine Fisheries, Aquaculture and Living Resources*, Vol. 9 2022. doi: 10.3389/fmars.2022.841909
- IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change 2019: Summary for Policymakers. In: IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, M. Tignor, E. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Nicolai, A. Okem, J. Petzold, B. Rama, N.M. Weyer (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA: 12. doi: 10.1017/9781009157964.001
- 76 UBA – Umweltbundesamt 2023: Indikator: Eutrophierung von Nord- und Ostsee durch Stickstoff. <https://www.umweltbundesamt.de/daten/umweltindikatoren/indikator-eutrophierung-der-meere#die-wichtigsten-fakten>

- 77 NOAA – National Oceanic and Atmospheric Administration 2023: Climate Change: Global Sea Level. <https://www.climate.gov/news-features/understanding-climate/climate-change-global-sea-level>
- 78 IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2391 pp. doi:10.1017/9781009157896.
- Siehe auch Sea Level Projection Tool – NASA Sea Level Change Portal: <https://sealevel.nasa.gov/ipcc-ar6-sea-level-projection-tool>
- 79 Walker J. S., Kopp R. E., Little C. M., Horton B. P. 2022: Timing of emergence of modern rates of sea-level rise by 1863. *Nature communications*, 13(1), 966.
- 80 WWF Deutschland – World Wide Fund For Nature (Hg.) 2018: Land unter im Wattenmeer – Auswirkungen des Meeresspiegelanstiegs auf die Natur der Halligen und Möglichkeiten zur Anpassung. Husum/Berlin, 85 S. <https://www.wwf.de/fileadmin/fm-wwf/Publikationen-PDF/WWF-Halligstudie.pdf>
- 81 Pottgiesser T., Sommerhäuser M. 2008: Begleittext zur Aktualisierung der Steckbriefe der bundesdeutschen Fließgewässertypen (Teil A) und Ergänzung der Steckbriefe der deutschen Fließgewässertypen um typspezifische Referenzbedingungen und Bewertungsverfahren aller Qualitätselemente (Teil B), UBA-Projekt (Förderkennzeichen 36015007) und LAWA-Projekt O 8.06.
- Steckbrief Typ 23: Rückstau- bzw. brackwasserbeeinflusste Ostseezuflüsse: https://www.flussgebiete.nrw.de/system/files/atoms/files/21_typ23_april2008.pdf

Fischerei

- 82 Bundesregierung (Hg.) 2021: Mehr Fortschritt wagen. Bündnis für Freiheit, Gerechtigkeit und Nachhaltigkeit. Koalitionsvertrag 2021 – 2025 zwischen der Sozialdemokratischen Partei Deutschlands (SPD), BÜNDNIS 90 / DIE GRÜNEN und den Freien Demokraten (FDP). <https://www.bundesregierung.de/resource/blob/974430/1990812/04221173eef9a6720059cc353d759a2b/2021-12-10-koav2021-data.pdf> und
- Deutscher Bundestag (Hg.) 2022: Antwort der Bundesregierung auf die Kleine Anfrage der Abgeordneten Stephan Protschka, Peter Felser, Frank Rinck, weiterer Abgeordneter und der Fraktion der AfD. Erhalt der Fischerei an Deutschlands Küsten. <https://dserver.bundestag.de/btd/20/007/2000788.pdf>
- 83 BMEL – Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft / Leitbildkommission zur Zukunft der Ostseefischerei: <https://www.bmel.de/DE/themen/fischerei/leitbildkommission-ostseefischerei.html>
- 84 BMEL (Hg.) 2019: Agenda Anpassung von Land- und Forstwirtschaft sowie Fischerei und Aquakultur an den Klimawandel. https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/_Landwirtschaft/AMK-12-04-19-Agenda-Anpassung-Klimawandel.pdf
- 85 BMEL (Hg.) 2020: Maßnahmenprogramm zur Umsetzung der Agenda Anpassung von Land- und Forstwirtschaft sowie Fischerei und Aquakultur an den Klimawandel. https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/_Landwirtschaft/Klimaschutz/ma%C3%9Fnahmenprogramm-klimaanpassung.html
- 86 LALLF – Landesamt für Landwirtschaft, Lebensmittelsicherheit und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern (Hg.) 2021: Fangstatistik der Kl. Hochsee- und Küstenfischerei M-V 2012–2021. Fanggebiete: Nord- und Ostsee. https://www.lallf.de/fileadmin/media/PDF/fischer/5_Statistik/Fangstatistik_10Jahre2021.pdf
- 87 Polte P., Gröhsler T., Kotterba P., Nordheim L. von, Moll D., Santos J., Rodriguez-Tress P., Zablotzki Y., Zimmermann C. 2021: Reduced Reproductive Success of Western Baltic Herring (*Clupea harengus*) as a Response to Warming Winters. *Frontiers in Marine Science*, 8: 589242. doi: 10.3389/fmars.2021.589242.
- 88 Fritsch U., Zebisch M., Voß M., Linsenmeier M., Kahlenborn W., Porst, Hölscher L., Wolff A., Hardner U., Schwartz K., Wolf M., Schmuck A., Schönthaler K., Nilson E., Fischer H., Fleischer C. 2021: Klimawirkungs- und Risikoanalyse 2021 für Deutschland – Teilbericht 3: Risiken und Anpassung im Cluster Wasser. Umweltbundesamt (Hg.). *Climate Change 22/2021*, Dessau-Roßlau, 277 S. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/5750/publikationen/2021-06-10_cc_22-2021_kwra2021_wasser.pdf
- 89 Basen T., Chucholl C., Brinker A. 2022: Auf schmalem Grad. Die Zukunft unserer Fische in der Klimakrise. Analysen, Vorhersagen, Handlungsmöglichkeiten. Stuttgart. Ministerium für Ernährung, Ländlichen Raum und Verbraucherschutz Baden-Württemberg. 120 S.

- 90 Basen et al. 2022, siehe Endnote 89
- 91 Landtag von Baden-Württemberg (Hg.) 2013: Antrag der Abg. Reinhold Pix u. a. GRÜNE und Stellungnahme des Ministeriums für Ländlichen Raum und Verbraucherschutz. Gewässerschutz, Fischerei und Tourismus am Bodensee.
https://www.landtag-bw.de/files/live/sites/LTBW/files/dokumente/WP15/Drucksachen/3000/15_3737_D.pdf
- 92 Steiner P. 2022: Die Fischerei im Bodensee-Obersee im Jahr 2021. Gesamtbericht. Bundesamt für Umwelt (Hg.). Bericht zur IBKF, Band 2022.
https://www.ibkf.org/wp-content/uploads/2022/06/IBKF-2022_Gesamtbericht.pdf

Boden

- 93 Die Bundesregierung (Hg.) 2021: Die deutsche Nachhaltigkeitsstrategie. Weiterentwicklung 2021. Berlin, 385 S.
<https://www.bundesregierung.de/resource/blob/975292/1875176/f6ec0909b0080fe1e4566fa76ed3dde6/deutsche-nachhaltigkeitsstrategie-2021-langfassung-download-bpa-data.pdf?download=1>
- 94 BMUB – Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (Hg.) 2016: Den ökologischen Wandel gestalten – Integriertes Umweltprogramm 2030. Berlin, 127 S.
<https://www.bmu.de/publikation/den-oekologischen-wandel-gestalten>
- 95 LABO – Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz 2017: Bedeutung und Schutz von Moorböden. Positionspapier. Kiel, 3 S.
https://www.labo-deutschland.de/documents/171222_LABO_Positionspapier_Moorbodenschutz.pdf
- 96 LAWA – Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser, LABO 2021: Degradation von Böden – Bodenerosion durch Wasser. Positionspapier. München, 11 S. https://www.labo-deutschland.de/documents/Positionspapier_Degradation_von_Boeden_-_Bodenerosion_durch_Wasser_UMK-Fassung_220104.pdf
- 97 DWD – Deutscher Wetterdienst 2022: Nationaler Klimareport. Klima – Gestern, heute und in der Zukunft. 6. überarbeitete Auflage, Deutscher Wetterdienst, Deutschland, 53 S.
<https://www.dwd.de/DE/leistungen/nationalerklimateport/report.html>
- 98 Auerswald K., Fischer F., Winterrath T., Brandhuber R. 2019a: Rain erosivity map for Germany derived from contiguous radar rain data. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 23: 1819–1832.
<https://hess.copernicus.org/articles/23/1819/2019/>
- Auerswald K., Fischer F., Winterrath T., Elhaus D., Maier H., Brandhuber R. 2019b: Klimabedingte Veränderung der Regenerosivität seit 1960 und Konsequenzen für Bodenabtragsschätzungen. In: Bachmann G., König W., Utermann J. (Hg.) *Bodenschutz, Ergänzbare Handbuch der Maßnahmen und Empfehlungen für Schutz, Pflege und Sanierung von Böden, Landschaft und Grundwasser* (Loseblattsammlung), Berlin, 4090, 21. S.
- 99 Winterrath T., Brendel C., Hafer M., Junghänel T., Klameth A., Lengfeld K., Walawender E., Weigl E., Becker A. 2018: RADKLIM Version 2017.002: Reprocessed gauge-adjusted radar-data, one-hour precipitation sums (RW) doi: 10.5676/DWD/RADKLIM_RW_V2017.002
- 100 Wessolek G., Asseng S. 2006: Trade-off between wheat yield and drainage under current and climate change conditions in northeast Germany. *European Journal of Agronomy* 24: 333-342.
- 101 Don A. 2019: Humusaufbau für den Klimaschutz – Ergebnisse einer Tagung zum Bodenkohlenstoff.
<https://www.bmel.de/DE/themen/landwirtschaft/pflanzenbau/bodenschutz/bodenkohlenstoff-tagung.html>
- 102 Bundesinformationszentrum Landwirtschaft 2023: Infografiken - Wie groß ist die Anbaufläche von Zwischenfrüchten und wofür werden sie verwendet? <https://www.praxis-agrar.de/service/infografiken/wie-gross-ist-die-anbauflaeche-von-zwischenfruechten-und-wofuer-werden-sie-verwendet>
- 103 UBA – Umweltbundesamt: Emissionen der Landnutzung, -änderung und Forstwirtschaft
<https://www.umweltbundesamt.de/daten/klima/treibhausgas-emissionen-in-deutschland/emissionen-der-landnutzung-aenderung#moore-organische-boden>
- 104 Wiesmeier M., Burmeister J. 2022: 35 Jahre Boden-Dauerbeobachtung landwirtschaftlich genutzter Flächen in Bayern. Band 4: Humus. Schriftenreihe der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft. Freising-Weihenstephan, 82 S. <https://www.lfl.bayern.de/publikationen/schriftenreihe/337020/index.php>
- 105 BfN – Bundesamt für Naturschutz (Hg.) 2017: BfN-Agrarreport 2017 – Biologische Vielfalt in der Agrarlandschaft. Bonn-Bad Godesberg, 61 S. <https://www.bfn.de/publikationen/bfn-report/agrar-report>

Landwirtschaft

- 106 BMBF – Bundesministerium für Bildung und Forschung 2023: Zukunftsstrategie Forschung und Innovation. <https://www.bundesregierung.de/breg-de/aktuelles/zukunftsstrategie-forschung-innovation-2163454>
<https://www.bmbf.de/bmbf/de/forschung/zukunftsstrategie/zukunftsstrategie.html>
- 107 Informationen des BMBF zum Vorhaben „Agrarsysteme der Zukunft – gemeinsam gestalten“: <https://agrarsysteme-der-zukunft.de>
- 108 GDV – Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft 2018: Naturgefahrenreport 2018. Berlin, 55 S. <https://www.gdv.de/resource/blob/36254/23ad47bd6746bc456849b5cd41f61516/naturgefahrenreport-2018-schaden-chronik-data.pdf>
- 109 BMEL – Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft 2018: Gemeinsame Dürrehilfe durch landwirtschaftliche Betriebe stark gefragt. Pressemitteilung Nr. 207/2018. <https://www.bmel.de/SharedDocs/Pressemitteilungen/DE/2018/207-duerrehilfe.html>
- 110 BMEL (Hg.) 2017: Extremwetterlagen in der Land- und Forstwirtschaft – Maßnahmen zur Prävention und Schadensregulierung. Berlin, 26 S.
- 111 Informationen des BMEL zur Eiweißpflanzenstrategie: <https://www.bmel.de/DE/themen/landwirtschaft/pflanzenbau/ackerbau/eiweisspflanzenstrategie.html>
<https://www.alb-gold.de/unternehmen/wir-tun-was/deutscher-durum.html>
- 112 <https://www.alb-gold.de/unternehmen/wir-tun-was/deutscher-durum.html>
- 113 Informationen des BMEL zum Nationaler Aktionsplan zur nachhaltigen Anwendung von Pflanzenschutzmitteln: <https://www.bmel.de/DE/themen/landwirtschaft/pflanzenbau/pflanzenschutz/aktionsplan-anwendung-pflanzenschutzmittel.html>
- 114 BMEL (Hg.) 2017: Nationaler Aktionsplan zur nachhaltigen Anwendung von Pflanzenschutzmitteln. Bonn, 97 S. https://www.nap-pflanzenschutz.de/fileadmin/SITE_MASTER/content/Startseite/NAP_2013-2__002_.pdf
- 115 StBA – Statistisches Bundesamt 2017: Land- und Forstwirtschaft, Fischerei – Bewässerung in landwirtschaftlichen Betrieben / Agrarstrukturerhebung – 2016. Wiesbaden, 38 S. <https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Landwirtschaft-Forstwirtschaft-Fischerei/Landwirtschaftliche-Betriebe/Publikationen/Downloads-Landwirtschaftliche-Betriebe/betriebe-bewaesserung-5411205169004.pdf>
- 116 StBA – Statistisches Bundesamt 2022: Umwelt – Nichtöffentliche Wasserversorgung und nichtöffentliche Abwasserentsorgung – Fachserie 19 Reihe 2.2 – 2019. https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Umwelt/Wasserwirtschaft/_inhalt.html#_qnan5ycnj
- 117 Renner K., Fritsch U., Zebisch M., Wolf M., Schmuck A., Ölmez C., Schönthaler K., Porst L., Voß M., Wolff A. Jay M. 2021: Klimawirkungs- und Risikoanalyse 2021 für Deutschland. Teilbericht 2: Risiken und Anpassung im Cluster Land. Climate Change 21/2021, Dessau-Roßlau, 339 S. <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/KWRA-Teil-2-Cluster-Land>
- 118 Bolte A., Höhl M, Hennig P., Schad T., Kroiher F., Seintsch B., Englert H., Rosenkranz L. 2021: Zukunftsaufgabe Waldanpassung. AFZ-DerWald. 04/2021: 12-16.
- 119 Prietzel J., Zimmermann L., Schubert A., Christophel D. 2016: Organic matter losses in German Alps forest soils since the 1970s most likely caused by warming. Nature Geoscience Vol. 9: 543–548. doi: 10.1038/ngeo2732
- 120 FNR – Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. 2019: Charta für Holz 2.0 – Kennzahlenbericht 2019 Forst & Holz, 48 S. https://www.fnr.de/fileadmin/charta-fuer-holz/dateien/service/mediathek/WEB_BMEL_Kennzahlenbrosch%C3%BCre_WPR_091019.pdf
- 121 BMBF – Bundesministerium für Bildung und Forschung & BMEL – Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (Hg.) 2020: Nationale Bioökonomiestrategie. Berlin, 64. S. <https://www.bundesregierung.de/breg-de/service/publikationen/nationale-biooekonomiestrategie-1759084>

Wald und Forstwirtschaft

- 122 BMEL – Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft 2014: Der Wald in Deutschland – Ausgewählte Ergebnisse der dritten Bundeswaldinventur. Berlin, 56 S. <https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/Broschueren/bundeswaldinventur3.pdf>

- 123 BMEL 2021: Waldstrategie 2050. Nachhaltige Waldbewirtschaftung – Herausforderungen und Chancen für Mensch, Natur und Klima. Bonn, 55 S.
<https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/Broschueren/Waldstrategie2050.html>

Biologische Vielfalt

- 124 Europäische Kommission: Biodiversity strategy for 2030.
https://environment.ec.europa.eu/strategy/biodiversity-strategy-2030_en
- 125 BMUV 2023, siehe Endnote 56
- 126 BfN – Bundesamt für Naturschutz 2023: Handlungsempfehlungen zum Schutz vor Hochwasser und Sturzfluten.
<https://www.bfn.de/pressemitteilungen/handlungsempfehlungen-zum-schutz-vor-hochwasser-und-sturzfluten>
- 127 Both C., Bouwhuis S., Lessells C.M., Visser M.E. 2006: Climate change and population declines in a long-distance migratory bird. *Nature* 441: 81-83. doi: 10.1038/nature04539
- 128 Lipp T. 2016: Landschaftsrahmenplan. In: Riedel W., Lange H., Jedicke E., Reinke M. (Hg.): Landschaftsplanung. 3. Aufl. Springer. Berlin: 237-249.
 Landesportal Schleswig-Holstein 2021: Landschaftsrahmenplanung. https://www.schleswig-holstein.de/DE/Fachinhalte/L/landschaftsplanung/lp_03_Landschaftsrahmenplanung.html
- 129 BMU – Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit & BfN (Hg.) 2021: Auenzustandsbericht 2021 – Flussauen in Deutschland. Berlin, Bonn, 71 S.

Bauwesen

- 130 Meinel G., Krüger T., Eichler L., Wurm, Michael, Tenikl, Julia, Frick A., Wagner K., Fina S. 2022: Wie grün sind deutsche Städte? Ergebnisse einer bundesweiten Erfassung. Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR). Bonn, 62 S. <https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/veroeffentlichungen/sonderveroeffentlichungen/2022/wie-gruen-deutsche-staedte.html>
- 131 Meinel et al. 2022, siehe Endnote 130
- 132 BMUB – Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (Hg.) 2017: Weißbuch Stadtgrün – Grün in der Stadt – Für eine lebenswerte Zukunft. Berlin, 51 S. <https://www.bmwsb.bund.de/SharedDocs/downloads/Webs/BMWSB/DE/publikationen/wohnen/weissbuch-stadtgruen.html>
- 133 Mann G., Fischer B., Fischer S., Gohlke R., Mollenhauer F., Wolff F., Köhler M., Pfoser N. 2022: Förderrichtlinie Dach- und Fassadenbegrünung – Machbarkeitsstudie. Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung am Bundesamt für Bauordnung und Raumwesen (Hg.). 105 S. <https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/forschung/programme/weitere/gruen-in-der-stadt/machbarkeitsstudie-gebaeudegruen/endbericht.pdf>
- 134 Kind C., Golz S., Sieker H. 2022: Klimaanpassung und Normungsverfahren. Analyse bestehender bautechnischer Normen und Regelwerke für einen Anpassungsbedarf an die Folgen des Klimawandels. 85 S. <https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/forschung/programme/zb/Auftragsforschung/5EnergieKlimaBau/2019/klimaanpassung/endbericht.pdf>
- 135 Früh et al. 2011, siehe Endnote 55
- 136 Spinoni J., Vogt J., Barbosa P. 2015: European degree-day climatologies and trends for the period 1951–2011. In: *International Journal of Climatology* 35 (1): 25–36. doi: 10.1002/joc.3959.
- 137 BBK – Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (Hg.) 2015: Die unterschätzten Risiken „Starkregen“ und „Sturzfluten“ – Ein Handbuch für Bürger und Kommunen. Bürgerinformation, Ausgabe 1, Bonn: 27. <https://www.bbk.bund.de/SharedDocs/ExterneLinks/DE/Download/starkregen-publication-kurzlink.html>
- 138 Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen (Hg.) 2022: Hochwasserschutzfibel. Objektschutz und bauliche Vorsorge. Berlin, 81 S. <https://www.fib-bund.de/Inhalt/Themen/Hochwasser/>
 BBSR – Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (Hg.) 2018: Starkregeneinflüsse auf die bauliche Infrastruktur. Bonn: 19ff. <https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/veroeffentlichungen/sonderveroeffentlichungen/2018/starkregeneinfluesse.html>
 BBK (Hg.) 2015b: Empfehlungen bei Unwetter – Baulicher Bevölkerungsschutz. Bürgerinformation, Ausgabe 1. Bonn: 27ff.
- 139 IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change 2022: Zusammenfassung für die politische Entscheidungsfindung [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, M. Tignor, A. Alegría, M. Craig, S.

- Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem (Hrsg.). In: Klimawandel 2022: Folgen, Anpassung und Verwundbarkeit. Beitrag der Arbeitsgruppe II zum Sechsten Sachstandsbericht des Zwischenstaatlichen Ausschusses für Klimaänderungen [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (Hrsg.)]. Deutsche Übersetzung (korrigierte Version) auf Basis der Version vom Juli 2022. Deutsche IPCC-Koordinierungsstelle, Bonn; Die Luxemburger Regierung, Luxemburg; Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie, Wien; Akademie der Naturwissenschaften Schweiz SCNAT, ProClim, Bern; Mai 2023. doi: 10.48585/rz5m-2q42
- 140 Kahlenborn W., Porst L., Voß M., Fritsch U., Renner K., Zebisch M., Wolf M., Schönthaler K., Schausser I. 2021: Klimawirkungs- und Risikoanalyse 2021 für Deutschland – Kurzfassung. Umweltbundesamt (Hg.). Climate Change 26/2021, Dessau-Roßlau, 121 S. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/5750/publikationen/2021-06-10_cc_26-2021_kwra2021_kurzfassung.pdf
DWD – Deutscher Wetterdienst (Hg.) 2016: Starkniederschläge in Deutschland. Offenbach am Main: 1. https://www.dwd.de/DE/leistungen/klimareports/download_einleger_report_2016.pdf
Becker P., Becker A., Dalelane C., Deuschländer T., Junghänel T., Walter A. 2016: Die Entwicklung von Starkniederschlägen in Deutschland – Plädoyer für eine differenzierte Betrachtung: 1. https://www.dwd.de/DE/fachnutzer/wasserwirtschaft/entwicklung_starkniederschlag_deutschland_pdf
LAWA – Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser (Hg.) 2018: LAWA-Strategie für ein effektives Starkregenrisikomanagement. Erarbeitet von der Kleingruppe „Starkregen“ des Ständigen Ausschusses „Hochwasserschutz und Hydrologie“ (LAWA-AH) der LAWA. Thüringer Ministerium für Umwelt, Energie und Naturschutz, Erfurt: 21. https://www.lawa.de/documents/lawa-starkregen_2_1552299106.pdf
- 141 Winterrath T., Brendel C., Hafer M., Junghänel T., Klameth A., Lengfeld K., Walawender E., Weigl E., Becker A. 2018: RADKLIM Version 2017.002: Reprozessierte, mit Stationsdaten angeeichte Radarmessungen (RADOLAN), Niederschlagsstundensummen (RW). doi: 10.5676/DWD/RADKLIM_RW_V2017.002
- 142 GDV – Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e.V. (Hg.) 2022: Naturgefahrenreport 2022. Zahlen, Stimmen, Ereignisse. Berlin, 58 S. <https://www.gdv.de/resource/blob/105828/0e3428418c45df91f7ee5f280a5a9bff/download-naturgefahrenreport-2022-data.pdf>
- 143 Brienen S., Walter A., Brendel C., Haller M., Krähenmann S., Rauthe M., Razafimaharo C., Stanley K., Höpp S., Rybka H., Ganske A., Schade N., Möller J., Jensen C., Jochumsen K., Nilson E., Fleischer C., Helms M., Rudolph E. 2020: Klimawandelbedingte Änderungen in Atmosphäre und Hydrosphäre: Schlussbericht des Schwerpunktthemas Szenarienbildung (SP-101) im Themenfeld 1 des BMVI-Expertennetzwerks. 157 S. doi: 10.5675/ExpNBS2020.2020.02
- 144 GDV 2022, siehe Endnote 142
- 145 Sieker H., Steyer R., Büter B., Leßmann D., Tils R. von, Becker C., Hübner S. 2019: Untersuchung der Potentiale für die Nutzung von Regenwasser zur Verdunstungskühlung in Städten. Umweltbundesamt (Hg.). Texte, 111/2019, Dessau-Roßlau, 112 S. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2019-09-16_texte_111-2019_verdunstungskuehlung.pdf
- 146 Mann et al. 2022, siehe Endnote 133
- 147 BBSR (Hg.) 2015: Überflutungs- und Hitzevorsorge durch die Stadtentwicklung – Strategien und Maßnahmen zum Regenwassermanagement gegen urbane Sturzfluten und überhitzte Städte. Ergebnisbericht der fallstudien-gestützten Expertise „Klimaanpassungsstrategien zur Überflutungsvorsorge verschiedener Siedlungstypen als kommunale Gemeinschaftsaufgabe“. Bonn: 37, 43. <https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/veroeffentlichungen/sonderveroeffentlichungen/2015/UeberflutungHitzeVorsorge.html>
Tröltzsch J., Görlach B., Lückge H., Peter M., Sartorius C. 2012: Kosten und Nutzen von Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel – Analyse von 28 Anpassungsmaßnahmen in Deutschland. Climate Change 10/2012, Dessau-Roßlau, 221 S. <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/kosten-nutzen-von-anpassungsmassnahmen-an-den>
- 148 BMUB – Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (Hg.) 2017: Weißbuch Stadtgrün – Grün in der Stadt – Für eine lebenswerte Zukunft. Berlin: 42ff. <https://www.bmwsb.bund.de/SharedDocs/downloads/Webs/BMWSB/DE/publikationen/wohnen/weissbuch-stadtgruen.html>
- 149 Gornig M., Görzig B., Michelsen C., Kaiser C., Klarhöfer K. 2020: Strukturdaten zur Produktion und Beschäftigung im Baugewerbe. Berechnungen für das Jahr 2019. Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung

- am Bundesamt für Bauordnung und Raumwesen (Hg.). BBSR-Online-Publikation, Band 15/2020, Bonn, 44 S. <https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/veroeffentlichungen/bbsr-online/2020/bbsr-online-15-2020.html>
- 150 WHG – Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushalts. In der Fassung vom: 31. Juli 2009 (BGBl. I S. 2585), zuletzt geändert durch Artikel 1 des Gesetzes vom 4. Januar 2023 (BGBl. 2023 I Nr. 5).
- 151 BMUB & UBA – Umweltbundesamt (Hg.) 2017: Umweltbewusstsein in Deutschland 2016. Ergebnisse einer repräsentativen Bevölkerungsumfrage. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit, Umweltbundesamt. Berlin, Dessau-Roßlau, 88 S. <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/umweltbewusstsein-in-deutschland-2016>
- 152 Groß C., Wagner G. G., Leier B. 2022: Versicherungspflicht gegen Naturgefahren. Neue Entwicklungen, Verfassungskonformität und Akzeptanz in der Bevölkerung. Berlin: Sachverständigenrat für Verbraucherfragen. <https://hdl.handle.net/21.11116/0000-000A-0DB7-A>
- Haße C., Abeling T., Baumgarten C., Burger A., Rechenberg J. 2021: Klimaresilienz stärken: Bausteine für eine strategische Klimarisikoversorge. Umweltbundesamt (Hg.), Dessau-Roßlau, 9 S. <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/klimaresilienz-staerken-bausteine-fuer-eine>

Energiewirtschaft

- 153 Füssel H.-M. 2019: Adaptation challenges and opportunities for the European energy system. Building a climate-resilient low-carbon energy system. EEA report, Band 01/2019. Luxemburg, 117 pp. doi: 10.2800/227321
- 154 Bär F., Kaspar F. 2023: Meteorologischer Jahresrückblick energierelevanter Wetterelemente für das Jahr 2022. Deutscher Wetterdienst, BMDV-Expertennetzwerk. 14 S. https://www.bmdv-expertennetzwerk.bund.de/DE/Publikationen/Pressemitteilungen/DWD_Baer_Kaspar_2022.html
- 155 Drücke J., Borsche M., James P., Kaspar F., Pfeifroth U., Ahrens B., Trentmann J. 2021: Climatological analysis of solar and wind energy in Germany using the Grosswetterlagen classification. Renewable Energy, 164: 1254-1266. doi: 10.1016/j.renene.2020.10.102.
- 156 Drücke et al. 2021, siehe Endnote 155
- 157 BMWi – Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (Hg.) 2021: Die Energie der Zukunft. 8. Monitoring-Bericht zur Energiewende – Berichtsjahre 2018 und 2019. Berlin, 289 S. <https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/achter-monitoring-bericht-energie-der-zukunft.html>
- BNetzA – Bundesnetzagentur, BKartA – Bundeskartellamt (Hg.) 2023: Monitoringbericht 2022. Marktbeobachtung Monitoring-Energie. Bonn, 543 S. <https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Mediathek/Monitoringberichte/MonitoringberichtEnergie2022.pdf>

Verkehr, Verkehrsinfrastruktur

- 158 Deutscher Bundestag (Hg.) 2008: Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel. Unterrichtung durch die Bundesregierung, Drucksache 16/11595. Berlin: 26. <https://dserver.bundestag.de/btd/16/115/1611595.pdf>
- 159 DWD – Deutscher Wetterdienst (Hg.) o.J.: Klimawandel und Luftverkehr. https://www.dwd.de/DE/fachnutzer/luftfahrt/kufo/ein_kleiner_ausblick/klima_und_luftfahrt.html
- 160 BfG – Bundesanstalt für Gewässerkunde (Hg.) 2019: Das Niedrigwasser 2018. Koblenz, 22 S. https://www.bafg.de/DE/05_Wissen/04_Pub/04_Buecher/niedrigwasserbericht_2018.html
- 161 Deutscher Bundestag (Hg.) 2019: Bericht zur Risikoanalyse im Bevölkerungsschutz 2018. Unterrichtung durch die Bundesregierung, Drucksache 19/9521. Berlin, 144 S. <https://dserver.bundestag.de/btd/19/095/1909521.pdf>
- 162 StBA – Statistisches Bundesamt (Hg.) 2022: Güterverkehrsstatistik der Binnenschifffahrt. Fachserie 8 Reihe 4, Ausgabe Dezember 2021. Tabellenblätter 1.1 und 4.1. https://www.statistischebibliothek.de/mir/receive/DEHeft_mods_00141101
- 163 Deutscher Bundestag (Hg.) 2019, siehe Endnote 161
- 164 BBK – Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (Hg.) 2015: Die unterschätzten Risiken „Starkregen“ und „Sturzfluten“ – Ein Handbuch für Bürger und Kommunen. Bürgerinformation, Ausgabe 1, Bonn: 27. <https://www.bbk.bund.de/SharedDocs/ExterneLinks/DE/Download/starkregen-publikation-kurzlink.html>
- LAWA 2018, siehe Endnote 140

- 165 Winterrath T., Brendel C., Hafer M., Junghänel T., Klameth A., Lengfeld K., Walawender E., Weigl E., Becker A. 2018: RADKLIM Version 2017.002: Reprozessierte, mit Stationsdaten angeeichte Radarmessungen (RADO-LAN), Niederschlagsstundensummen (RW). doi: 10.5676/DWD/RADKLIM_RW_V2017.002
- 166 Becker et al. 2016: siehe Endnote 140
- 167 LAWA 2018, siehe Endnote 140
- 168 StBA – Statistisches Bundesamt (Hg.) 2011: Unfallentwicklung auf deutschen Straßen 2010. Begleitmaterial zur Pressekonferenz am 6. Juli 2011 in Berlin. Wiesbaden, 38 S. <https://www.destatis.de/DE/Methoden/WISTA-Wirtschaft-und-Statistik/2011/07/unfallentwicklung-2010-072011.pdf>
- 169 Korn M., Leupold A., Mayer S., Kreienkamp F., Spekat A. 2017: RIVA. Risikoanalyse wichtiger Verkehrsachsen des Bundesfernstraßennetzes im Kontext des Klimawandels. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen – Straßenbau, Band S 109. Bremen, 131 S. <https://www.bast.de/DE/Publikationen/Berichte/unterreihes/2017-2016/s109.html;jsessionid=565EAF6B0BE53884F9FB579153DBCFE4.live21304?nn=1836812>
- 170 BMVI – Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (Hg.) 2021: Leistungsheft für den Straßenbetrieb auf Bundesfernstraßen. Ausgabe 2021. Ersetzt im Mai 2023:
BMDV – Bundesministerium für Digitales und Verkehr (Hg.) 2023: Leistungsheft für den Straßenbetrieb auf Bundesfernstraßen. Ausgabe 2023. 99 S. <https://www.bast.de/DE/Verkehrstechnik/Fachthemen/Daten/Leistungsheft-Strassenbetrieb.html>
- 171 Edenhofer O., Hoffmann P.: Analyse des Klimawandels für die Deutsche Bahn: Studie zur räumlichen Ausprägung in Deutschland. Pressekonferenz Klimastudie am 18. Juni 2021. Potsdam Institut für Klimafolgenforschung (Hg.). https://nachhaltigkeit.deutschebahn.com/06_Strategie/01_klimaschutz/Pik_Studie/Klimawandelanalyse_DB.pdf
PIK – Potsdam Institut für Klimafolgenforschung (Hg.) 2021: Klima-Studie für Deutsche Bahn wird Grundlage für Resilienz-Strategie des Konzerns. <https://www.pik-potsdam.de/de/aktuelles/nachrichten/klima-studie-fuer-deutsche-bahn-wird-grundlage-fuer-resilienz-strategie-des-konzerns>
- 172 Edenhofer & Hoffmann 2021, PIK (Hg.) 2021, siehe Endnote 171

Industrie und Gewerbe

- 173 Trenczek J., Eiserbeck L., Lühr O., Sandhövel M., Ibens D. 2022: Schäden der Dürre- und Hitzeextreme 2018 und 2019. Eine ex-post-Analyse. Prognos AG. 71 S. https://www.prognos.com/sites/default/files/2022-07/Prognos_KlimawandelfolgenDeutschland_Detailuntersuchung%20Hitzesommer%2018_19_AP2_3a_.pdf
Kjellstrom T., Briggs D., Freyberg C., Lemke B., Otto M., Hyatt O. 2016: Heat, Human Performance, and Occupational Health: A Key Issue for the Assessment of Global Climate Change Impacts. Annual review of public health, 37: 97-112. doi: 10.1146/annurev-publhealth-032315-021740.
Parsons K. 2014: Human Thermal Environments: The Effects of Hot, Moderate, and Cold Environments on Human Health, Comfort, and Performance. Boca Raton, 635 pp.
- 174 Scholten A., Rothstein B. 2012: Auswirkungen von Niedrigwasser und Klimawandel auf die verladende Wirtschaft, Binnenschifffahrt und Häfen entlang des Rheins. Untersuchungen zur gegenwärtigen und zukünftigen Vulnerabilität durch Niedrigwasser. Würzburger geographische Arbeiten 107, 352 S.
Ademmer M., Jannsen N., Kooths S., Möse S. 2018: Zum Einfluss des Niedrigwassers auf die Konjunktur. Institut für Weltwirtschaft Kiel (Hg.). Kiel, 4 S. https://www.ifw-kiel.de/fileadmin/Dateiverwaltung/IfW-Publications/-ifw/IfW_Box/2018/box_2018-17_niedrigwasser.pdf
- 175 UBA – Umweltbundesamt (Hg.) 2022: Normen, technische Regeln und Richtlinien zur Anpassung. <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/klimafolgen-anpassung/anpassung-an-den-klimawandel/anpassung-auf-kommunaler-ebene/normen-technische-regeln-richtlinien-zur-anpassung#deutsches-institut-fur-normung-ev-din-international-organization-for-standardization-iso>
- 176 BMUV 2023, siehe Endnote 56
- 177 Dorsch L., Kind C., Fleischmann D., Loew T., Schauser I. 2022: Durchführung einer robusten Klimarisiko- und Vulnerabilitätsanalyse nach EU Taxonomie. Empfehlungen für Unternehmen. Dessau-Roßlau, 58 S. <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/durchfuehrung-einer-robusten-klimarisiko>
- 178 UBA (Hg.) 2023: Physische Klimarisiken managen. Eine Einführung für Unternehmen. Dessau-Roßlau, 26 S. <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/physische-klimarisiken-managen>.
- 179 Trenczek et al. 2022, siehe Endnote 173

- 180 Glitz K. J., Bux K., Catrein B., Dietl P., Engelmann B., Gebhardt H., Groos S., Kampmann B., Kluth K., Leyk D., Zander P., Klufmann A. 2022: AWMF-S2k-Leitlinie Arbeiten unter klimatischen Belastungen. Deutsche Gesellschaft für Arbeitsmedizin und Umweltmedizin e.V. (Hg.). Version 1, 94 S.
<https://www.awmf.org/leitlinien/detail/ll/002-045.html>
- 181 infas – Institut für angewandte Sozialwissenschaft GmbH 2022: Tabellenband – Zusatzbefragung im Rahmen der Umweltbewusstseinsstudie 2020. Themenbereich: Klimaanpassung. Bonn, 39 S.
https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/2378/dokumente/tabellenband_ubs_zusatzbefragung_sept_2021_klimaanpassung.pdf
- 182 Trenczek et al. 2022, siehe Endnote 173
- 183 Trenczek et al. 2022, siehe Endnote 173
- 184 Urban H., Steininger K.W. 2015: Manufacturing and Trade: Labour Productivity Losses. In: Steininger K., König M., Bednar-Friedl B., Loibl W., Kranzl L., Pretenthaler F., Haas W., Formayer H., Goetzl M., Zulka K. 2015: Economic Evaluation of Climate Change Impacts – Development of a Cross-Sectoral Framework and Results for Austria. Basel: 301–322. doi: 10.1007/978-3-319-12457-5
- 185 Technische Regel für Arbeitsstätten – ASR A3.5 Raumtemperatur, Ausgabe: Juni 2010 (GMBI 2010, S. 751, zuletzt geändert GMBI 2022, S. 198).
<https://www.baua.de/DE/Angebote/Rechtstexte-und-Technische-Regeln/Regelwerk/ASR/ASR-A3-5.html>
- 186 Lautermann C., Young C., Hoffmann E. 2021: Klima- und Umweltberichterstattung deutscher Unternehmen Evaluierung der CSR-Berichtspflicht für die Jahre 2018 und 2019. Dessau-Roßlau, 59 S.
<https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/klima-umweltberichterstattung-deutscher-unternehmen>
- Loew T., Braun S., Fleischmann J., Franz M., Klein A., Rink S., Hensel L. 2020: Management von Klimarisiken in Unternehmen: Politische Entwicklungen, Konzepte und Berichtspraxis – Teilbericht im Rahmen des UBA FKZ 3719 48 1030. Climate Change 02/2021, Dessau-Roßlau, 155 S.
<https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/management-von-klimarisiken-in-unternehmen>
- 187 TCFD – Task Force on Climate-related Financial Disclosures 2017: Recommendations of the Task Force on Climate-related Financial Disclosures. Final Report. Basel, 66 S.
<https://www.fsb-tcfd.org/wp-content/uploads/2017/06/FINAL-2017-TCFD-Report-11052018.pdf>
- 188 Peter M., Guyer M., Füssler J. 2020: Impact CHAIN: Folgen des globalen Klimawandels für Deutschland. Abschlussbericht: Analysen und Politikempfehlungen. Umweltbundesamt (Hg.). Climate Change 15/2020, Dessau-Roßlau, 111 S. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/376/publikationen/2020-05-06_cc_15-2020_impactchain.pdf
- Die Bundesregierung 2020, siehe Endnote 2
- 189 Peter et al. 2020, siehe Endnote 188
- 190 Die Bundesregierung 2015, siehe Endnote 1

Tourismuswirtschaft

- 191 StBA – Statistisches Bundesamt (Hg.) 2021: Aktuelle Daten zur Tourismuswirtschaft – Kurzfassung. Wirtschaftliche Bedeutung und Nachhaltigkeit. 40 S. <https://www.destatis.de/DE/Themen/Wirtschaft/Volkswirtschaftliche-Gesamtrechnungen-Inlandsprodukt/Publikationen/Downloads-Input-Output-Rechnung/aktuelle-daten-tourismuswirtschaft-kurzfasung.pdf>
- 192 Dworak T., Lotter F., Hoffmann P., Hattermann F., Bausch T., Günther W. 2021: Folgen des Klimawandels für den Tourismus in den deutschen Alpen- und Mittelgebirgsregionen und Küstenregionen sowie auf den Badetourismus und flussbegleitende Tourismusformen. Abschlussbericht. Umweltbundesamt (Hg.). Texte 117/2021, Dessau-Roßlau, 160 S. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/479/publikationen/texte_117-2021_folgen_des_klimawandels_fuer_den_tourismus_in_deutschland_0.pdf
- 193 Institut für Länderkunde Leipzig 2000, abgebildet in: DTV – Deutscher Tourismusverband e.V. (Hg.) 2002: 100 Jahre DTV – Die Entwicklung des Tourismus in Deutschland 1902–2002.
- 194 Dworak et al. 2021, siehe Endnote 192
- 195 Dworak et al. 2021, siehe Endnote 192

- 196 UBA – Umweltbundesamt (Hg.) 2021: Anpassung an den Klimawandel im Tourismus.
<https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/klimafolgen-anpassung/anpassung-an-den-klimawandel/anpassung-auf-kommunaler-ebene/anpassung-an-den-klimawandel-im-tourismus#wie-betrifft-der-klimawandel-die-tourismusswirtschaft>
- 197 FUR – Forschungsgemeinschaft Urlaub und Reisen e.V. (Hg.) 2022: RA ReiseAnalyse 2022. Erste ausgewählte Ergebnisse der 52. Reiseanalyse. Kile, 18 S.
https://reiseanalyse.de/wp-content/uploads/2022/08/RA2022_Erste_Ergebnisse_Broschuere_DE.pdf
- 198 FUR 2022, siehe Endnote 197
- 199 BSH – Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (Hg.) 2018: Fact Sheet – Temperaturen Nord- und Ostsee. 2 S. https://www.bsh.de/DE/DATEN/Klima-und-Meer/Meerestemperaturen/Meeresoberflaechentemperaturen/_Anlagen/Downloads/Fact_Sheet_Temperaturen.html
- 200 infas 2022, siehe Endnote 181
- 201 Agrawala S. (Hg.) 2007: Klimawandel in den Alpen: Anpassung des Wintertourismus und des Naturgefahrenmanagements. OECD Publications, Paris, 131 S.
- 202 Wind L. 2020: 7 Fakten zu künstlicher Beschneigung.
<https://marmotamaps.com/de/blog/7-fakten-zu-kuenstlicher-beschneigung>
- 203 VDS – Verband Deutscher Seilbahnen und Schlepplifte e.V. (Hg.) 2022: Beschneigung - Verband Deutscher Seilbahnen und Schlepplifte e.V. <https://www.seilbahnen.de/beschneigung>
- 204 Alpenkonvention Protokoll Tourismus: Protokoll zur Durchführung der Alpenkonvention von 1991 im Bereich Tourismus – Protokoll „Tourismus“.
https://www.alpconv.org/fileadmin/user_upload/Convention/DE/Protocol_Tourism_DE.pdf
- 205 BMUB & UBA 2017, siehe Endnote 151
- 206 BMUB & UBA 2017, siehe Endnote 151
- 207 Institut für Länderkunde Leipzig 2000, siehe Endnote 193
- 208 UBA – Umweltbundesamt, BMU – Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (Hg.) 2020: Anpassung an den Klimawandel: Die Zukunft im Tourismus gestalten. Handlungsleitfaden.
https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/376/publikationen/anpassung_an_den_klimawandel_die_zukunft_im_tourismus_gestalten_barrierefrei_v2.pdf
- 209 DZT – Deutsche Zentrale für Tourismus e.V. (Hg.): Zahlen, Daten, Fakten 2021. Frankfurt/Main, 25 S.
https://www.germany.travel/media/redaktion/trade_relaunch/business_intelligence/dzt_marktforschung/2022_1/dzt_zahlenflyer_feb2022_de_la085068_1390400.pdf
- 210 Dworak et al. 2021, siehe Endnote 192

Finanzwirtschaft

- 211 Europäische Kommission 2021: Ein klimaresilientes Europa aufbauen - die neue EU-Strategie für die Anpassung an den Klimawandel. COM(2021) 82 final, Brüssel.
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=COM:2021:82:FIN>
- 212 Sönke K., Sandholz S., Bulut S.S., Mirwald M., Kohler D. 2022: Klimarisikoversicherung – Potenziale als strategisches Instrument zur Klimaanpassung in Deutschland. Climate Change 13/2022, Dessau.Roßlau, 122 S.
<https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/klimarisikoversicherung>
- 213 GDV 2022, siehe Endnote 142
- 214 GDV 2021: Versicherung gegen Naturgefahrenereignisse in Deutschland – Gesamtkonzept der deutschen Versicherer. Berlin, 4 S.
<https://www.gdv.de/resource/blob/71796/6f0fb2efaf19015693e6051a36bb1c0d/pdf-data.pdf>
- 215 infas 2022, siehe Endnote 181
- 216 TCFD – Task Force on Climate-related Financial Disclosures 2017: Recommendations of the Task Force on Climate-related Financial Disclosures. Final Report. Basel, 66 S.
<https://www.fsb-tcfd.org/wp-content/uploads/2017/06/FINAL-2017-TCFD-Report-11052018.pdf>
- 217 Bundesbank & BaFin – Bundesanstalt für Finanzdienstleistungsaufsicht 2022: Ergebnisse des LSI-Stresstests 2022. Unterlagen zur Pressekonferenz am 28. September 2022. 17 S.
<https://www.bundesbank.de/de/presse/pressemitteilungen/ergebnisse-des-lsi-stresstests-2022-897718>

Raumordnung, Regional- und Bauleitplanung

- 218 Huber B., Dunst L. 2021: Klimaanpassung in der Bauleitplanung. Zum Integrationsstand klimaanpassungsrelevanter Maßnahmen in Flächennutzungs- und Bebauungsplänen mittelgroßer Städte Deutschlands. Raumforschung und Raumordnung, 79, 5, 501-517. doi: 10.14512/rur.34.
- 219 BMUB 2017, siehe Endnote 148
- 220 BBSR – Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (Hg.) 2023: Forschungsprojekt: Querauswertung zentraler Verbundvorhaben des Bundes zur Anpassung an den Klimawandel mit Fokus Stadt- und Regionalentwicklung – Ergebnisse. https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/forschung/programme/weitere/anpassung-klimawandel-massnahmen/querauswertung/01_Start.html?pos=2
- 221 BMUV 2023, siehe Endnote 56
- 222 Pannicke-Prochnow N., Krohn C., Albrecht J., Thinius K., Ferber U., Eckert K. 2021: Bessere Nutzung von Entsiegelungspotenzialen zur Wiederherstellung von Bodenfunktionen und zur Klimaanpassung. Umweltbundesamt (Hg.). Texte 141/2021, Dessau-Roßlau 360 S.
<https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/bessere-nutzung-von-entsiegelungspotenzialen-zur>
- 223 Die Bundesregierung 2021, siehe Endnote 93
- 224 BMUB 2016, siehe Endnote 94.
- 225 ARGE BAU – Bauministerkonferenz – Konferenz der für Städtebau, Bau- und Wohnungswesen zuständigen Ministerinnen und Minister und Senatorinnen und Senatoren der Länder (Hg.) 2018: Handlungsanleitung zur Hochwasservorsorge und zum Hochwasserschutz in der Raumordnungs- und in der Bauleitplanung sowie bei der Zulassung von Einzelbauvorhaben. 35 S.
<https://www.bauministerkonferenz.de/Dokumente/42322160.pdf>
- 226 IÖR – Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung (Hg.) 2022: Monitor der Siedlungs- und Freiraumentwicklung (IÖR-Monitor) – Indikator-Kategorie Risiko, Siedlungslast im Überschwemmungsgebiet.
https://monitor.ioer.de/?raeumliche_gliederung=gebiete&opacity=0.8&zoom=6&lat=51.32374658474385&lng=10.45898437500002&time=2021&glattung=0&baselayer=topplus&ind=R04RT&raumgl=gem&klassenanzahl=7&klassifizierung=haeufigkeit&darstellung=auto&ags_array=&

Bevölkerungsschutz

- 227 Bündnis Entwicklung Hilft 2022: WeltRisikoBericht 2022 – Fokus: Digitalisierung. Berlin, 75 S.
<https://weltrisikobericht.de>
- 228 BBK – Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe 2021: Pandemie und Hochwasserkatastrophe. Magazin Bevölkerungsschutz, 04/21. Bonn, 57 S. https://www.bbk.bund.de/DE/Infothek/Magazin-Bevoelkerungsschutz/Ausgaben/magazin-2021-4/magazin-4-2021_node.html
- 229 ISO – International Organization for Standardization (Hg.) 2017: Security and resilience – Community resilience – Guidelines for planning the involvement of spontaneous volunteers. ISO 22319:2017, ICS: 03.100.01.
<https://www.iso.org/standard/66951.html>
- DIN – Deutsches Institut für Normung (Hg.) 2021: Sicherheit und Resilienz - Resilienz der Gesellschaft – Leitfaden für die Planung der Einbindung spontaner freiwilliger Helfer (ISO 22319:2017). DIN EN ISO 22319:2021-02 – Entwurf. <https://www.beuth.de/de/norm-entwurf/din-en-iso-22319/332133296>
- 230 BBK 2021, siehe Endnote 228
- 231 BBK 2023: Das 360° Notfalltraining.
https://www.bbk.bund.de/DE/Warnung-Vorsorge/Vorsorge/Notfalltraining/notfalltraining_node.html
- 232 infas 2022, siehe Endnote 181

Handlungsfeldübergreifende Aktivitäten

- 233 infas 2022, siehe Endnote 181
- 234 BMUB & UBA 2017, siehe Endnote 151
- 235 BMUV – Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz, UBA – Umweltbundesamt (Hg.) 2022: Umweltbewusstseinsstudie 2020. Ergebnisse einer repräsentativen Bevölkerungsumfrage. Dessau-Roßlau, 82 S.
https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/479/publikationen/ubs_2020_0.pdf.
- 236 Stieß I., Sunderer G., Raschewski L., Stein M., Götz K., Belz J., Follmer R., Hölscher J., Birzle-Harder B. 2022: Repräsentativumfrage zum Umweltbewusstsein und Umweltverhalten im Jahr 2020. Texte 20/2022, Dessau-Roßlau, 170 S. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/479/publikationen/texte_20-2022_repraesentativumfrage_zum_umweltbewusstsein_und_umweltverhalten_im_jahr_2020.pdf
- 237 infas 2022, siehe Endnote 181
- 238 infas 2022, siehe Endnote 181
- 239 Pressemitteilung über den deutschen Beitrag zum GCF 2023:
<https://www.greenclimate.fund/news/germany-makes-record-eur-2-billion-pledge-green-climate-fund>

Abkürzungen

AA	Auswärtiges Amt	BfN	Bundesamt für Naturschutz
ABAG	Allgemeine Bodenabtragsgleichung	BfG	Bundesanstalt für Gewässerkunde
AdB	Autobahn GmbH des Bundes	BfS	Bundesamt für Strahlenschutz
Ah	jährlicher Abfluss eines Wassereinzugsgebiets	BIBB	Bundesinstitut für Berufsbildung
AK UGRdL	Arbeitskreis Umweltökonomische Gesamtrechnungen der Länder	BIaA	Bundesanstalt für Immobilienaufgaben
ALKIS	Amtliches Liegenschaftskatasterinformationssystem	BKG	Bundesamt für Kartographie und Geodäsie
AMK	Agenda Anpassung von Land- und Forstwirtschaft sowie Fischerei und Aquakulturen an den Klimawandel	BLE	Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung
ANK	Aktionsprogramm Natürlicher Klimaschutz	BMBF	Bundesministerium für Bildung und Forschung
APA	Aktionsplan Anpassung in den Fassungen I (2011), II (2015) und III (2020)	BMDV	Bundesministerium für Digitales und Verkehr
BaFin	Bundesanstalt für Finanzdienstleistungsaufsicht	BMEL	Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft
BAST	Bundesanstalt für Straßenwesen	BMG	Bundesministerium für Gesundheit
BAuA	Bundesinstitut für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin	BMU	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (Bezeichnung des BMUV in den Jahren 1986 bis 2013)
BAW	Bundesanstalt für Wasserbau	BMUB	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (Bezeichnung des BMUV in den Jahren 2013 bis 2017)
BB	Brandenburg	BMUV	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz
BBK	Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe	BMVI	Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur
BBodSchG	Bundes-Bodenschutzgesetz	BMWK	Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz
BB	Brandenburg	BMZ	Bundesministerium für Wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung
BBR	Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung	BNB	Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen
BBSR	Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung		
BDF	Boden-Dauerbeobachtungsflächen		
BE	Berlin		

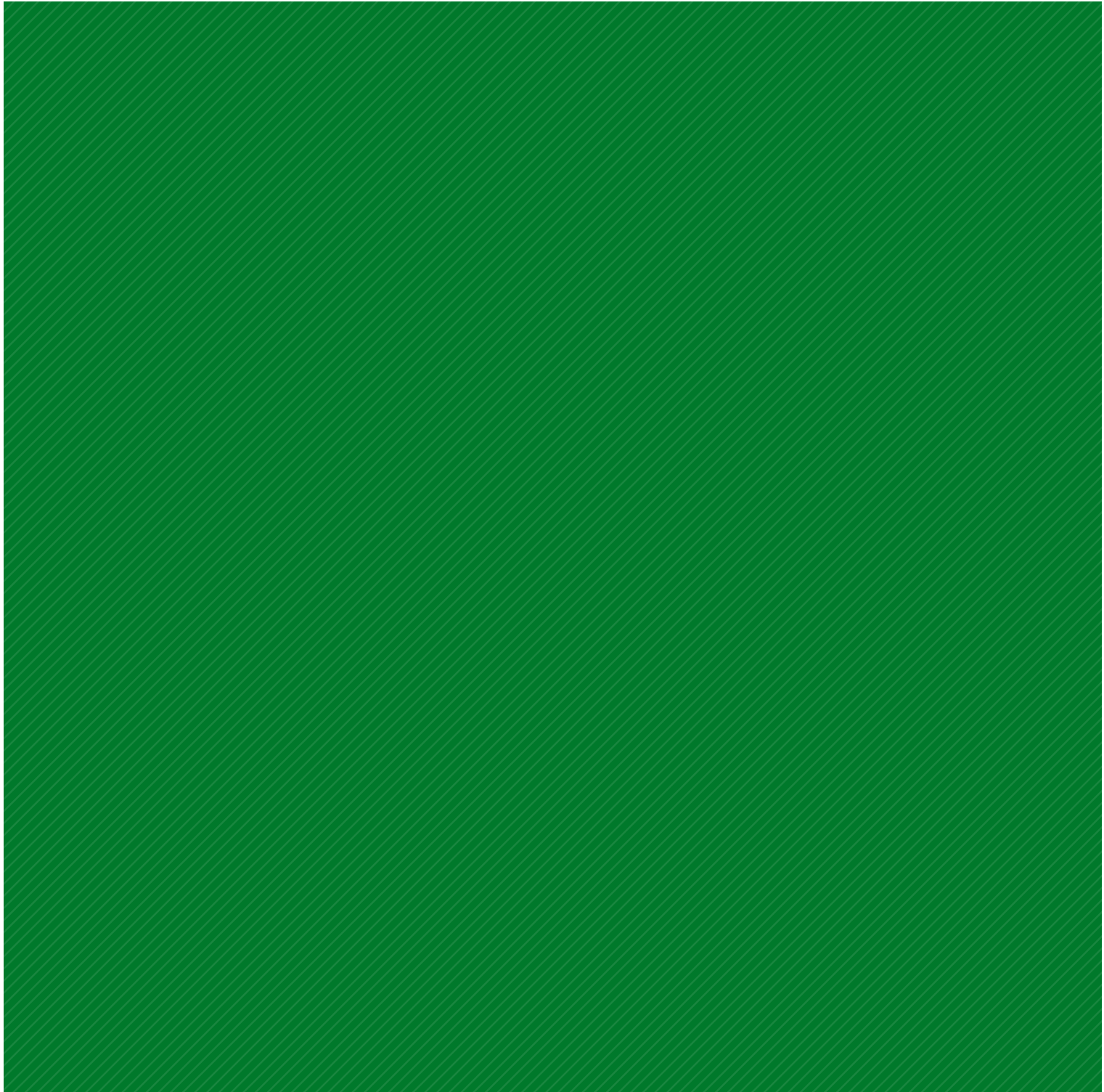
BNetzA	Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen	EEA	European Environment Agency (Europäische Umweltagentur)
BSA	Bundessortenamt	eEV	Erweiterte Elementarschadenversicherung
BSH	Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie	EKF	Energie- und Klimafonds
BÜK	Bodenübersichtskarte	ELER	Europäischer Landwirtschaftsfonds für die Entwicklung des ländlichen Raums
BUKEA	Behörde für Umwelt, Klima, Energie und Agrarwirtschaft der Freien und Hansestadt Hamburg	EnWG	Energiewirtschaftsgesetz
BVL	Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit	EU	Europäische Union
BW	Baden-Württemberg	FAO	Food and Agriculture Organisation of the United Nations (Ernährungs- und Landwirtschaftsorganisation der Vereinten Nationen)
BWI	Bundeswaldinventur	FFH-RL	EU-Fauna-Flora-Habitat-Richtlinie
BY	Bayern	FGRDEU	Nationales Inventar forstgenetischer Ressourcen in Deutschland
BZE	Bodenzustandserhebung	FLI	Friedrich-Loeffler-Institut
BZgA	Bundeszentrale für gesundheitliche Aufklärung	FNEWS	Fernerkundungsbasierte Nationale Erfassungssystem Waldschäden
CAU	Christian-Albrechts-Universität zu Kiel	FONA	Forschung für Nachhaltigkeit
CBD	Convention on Biological Diversity (Biodiversitätskonvention)	FoVG	Forstvermehrungsgutgesetz
CCM	Corn-Cob-Mix	FSB	Financial Stability Board
CDC	Climate Data Center des DWD	FSME	Frühsommer-Meningoenzephalitis
CDP	Carbon Disclosure Project (heute nur noch im Kürzel CDP)	FWI	Kanadischer Fire Weather Index
CO ₂	Kohlendioxid	GAB	Grundanforderungen an die Betriebsführung
COP	Conference of the Parties (Vertragsstaatenkonferenz)	GAK	Gemeinschaftsaufgabe „Verbesserung der Agrarstruktur und des Küstenschutzes“
C _{org}	Organischer Kohlenstoff	GAP	Gemeinsame Agrarpolitik der EU
CSR	Corporate Social Responsibility	GBF	Kunming-Montreal Global Biodiversity Framework (Kunming-Montreal Biodiversitätsrahmen)
CSRD	Corporate Sustainability Reporting Directive (EU-Strategie zur Nachhaltigkeitsberichterstattung von Unternehmen)	GCF	Green Climate Fund (Grüner Klimafonds)
DAS	Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel	GDV	Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e.V.
DFV	Deutscher Feuerwehrverband e.V.	GDWS	Generaldirektion Wasserstraßen und Schifffahrt
DIW	Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung e.V.	GEF	Global Environment Facility (Globale Umweltfazilität)
DLM250	Digitales Landschaftsmodell 1:250.000	GEG	Gebäudeenergiegesetz
DSGVO	Datenschutzgrundverordnung	GIZ	Deutsche Gesellschaft für internationale Zusammenarbeit
DSWI	Disease Water Stress Index	GLÖZ	Standards für einen guten landwirtschaftlichen und ökologischen Zustand von Flächen
DIW	Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung e.V.	GPK	Generalplan Küstenschutz
DWD	Deutscher Wetterdienst	GRACE	Gravity Recovery and Climate Experiment
DzU	Daten zur Umwelt	GRACE-FO	GRACE Follow On
eds.	Editors (Editoren)	GravIS	Gravity Information Service
EBA	European Banking Authority (Europäische Bankenaufsichtsbehörde)	GSBTS	German Small-scale Bottom Trawl Survey
		HE	Hessen
		Hg.	Herausgeber

HGÜ	Höchstspannung-Gleichstrom-Übertragungsleitungen	LAZBW	Landwirtschaftliches Zentrum Baden-Württemberg
HH	Hansestadt Hamburg	LDCF	Least Developed Countries Fund
HLNUG	Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie	LfL	Landesanstalt für Landwirtschaft Bayern
HMUKLV	Hessisches Ministerium für Umwelt, Klimaschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz	LfU	Landesamt für Umwelt Brandenburg, Landesamt für Umwelt Bayern
HSW	Höchster Schifffahrtswasserstand	LfULG	Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie Sachsen
HThW	Höchster Tidehochwasserstand	LHW	Landesbetrieb für Hochwasserschutz und Wasserwirtschaft Sachsen-Anhalt
HW	Höchster Hochwasserstand	LiKi	Länderinitiative Kernindikatoren
HWMR-RL	EU-Hochwasserrisikomanagement-Richtlinie	LKN.SH	Landesbetrieb für Küstenschutz, Nationalpark und Meeresschutz Schleswig-Holstein
HQ	Höchster Abfluss	LLUR	Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume Schleswig-Holstein
HQx	Hochwasserabfluss mit einer statistischen Wiederkehrzeit von x Jahren	LoD2	Level of Detail 2 – Gebäudemodell mit standardisierten Dachformen
HThw	Höchster Tidehochwasserstand	LTV	Landestalsperrenverwaltung Sachsen
HW	Höchster Hochwasserstand	LUBW	Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg
IARC	International Agency for Research on Cancer (Internationale Agentur für Krebsforschung)	LUNG	Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie Mecklenburg-Vorpommern
ICES	International Council for the Exploration of the Sea (Internationaler Rat für Meeresforschung)	MELUND	Ministerium für Energiewende, Landwirtschaft, Umwelt, Natur und Digitalisierung Schleswig-Holstein
IfSG	Infektionsschutzgesetz	MHQ	Mittlerer Hochwasserabfluss
IGB	Liebniz-Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei	MHW	Mittlerer Hochwasserstand
IGKB	Internationale Gewässerschutzkommission für den Bodensee	MLU	Ministerium für Klimaschutz, Landwirtschaft, ländliche Räume und Umwelt Mecklenburg-Vorpommern
IKI	Internationale Klimaschutzinitiative	MNQ	Mittlerer Niedrigwasserabfluss
IKZM	Integriertes Küstenzonenmanagement	MonViA	Nationales Monitoring der biologischen Vielfalt in Agrarlandschaften
IMAA	Interministerielle Arbeitsgruppe Anpassung an den Klimawandel	MORO	Aktionsprogramm „Modellvorhaben der Raumordnung“
IÖR	Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung	MQ	Mittelwassersabfluss
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change (Weltklimarat)	MSY	Maximum Sustainable Yield (Höchst möglicher Dauerertrag eines Fischbestands)
ISDC	Information System and Data Center	MThw	Mittlerer Tidehochwasserstand
JKI	Julius Kühn-Institut	MTmw	Mittleres Tidemittelwasser
KABS	Kommunale Aktionsgemeinschaft zur Bekämpfung der Schnakenplage KABS e.V.	MW	Mittelwasserstand
KTF	Klima- und Transformationsfonds	NAP	Nationaler Aktionsplan zur nachhaltigen Anwendung von Pflanzenschutzmitteln
KWRA	Klimawirkungs- und Risikoanalyse 2021	NASA	National Aeronautics (US-Bundesbehörde für Raumfahrt und Flugwissenschaft)
LABO	Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz	NBS	Nationale Strategie zur biologischen Vielfalt
LAGuS	Landesamt für Gesundheit und Soziales Mecklenburg-Vorpommern	NDC	Nationally Determined Contributions (Nationale Klimabeiträge)
LANUV	Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen	nFK	nutzbare Feldkapazität
LAWA	Bund/Länderarbeitsgruppe Wasser		
LAWA-AK	Ständiger Ausschuss Klimawandel der LAWA		

NHN	Normalhöhennulll	StALU	Staatliches Amt für Landwirtschaft und Umwelt Mecklenburg-Vorpommern
NHWSP	Nationales Hochwasserschutzprogramm	StBA	Statistisches Bundesamt
NI	Niedersachsen	TCFD	Task Force on Climate-related Financial Disclosures
NINA	Notfall-Informations- und Nachrichten-App des Bundes	TFW	Thüringer Fernwasserversorgung
NLP	Nationalpark	TH	Thüringen
NLWKN	Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz	THW	Bundesanstalt Technisches Hilfswerk
NMZB	Nationales Monitoringzentrum zur Biodiversität	TI	Johann Heinrich von Thünen-Institut – Bundesforschungsinstitut für Ländliche Räume, Wald und Fischerei
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration (Nationale Ozean- und Atmosphärenbehörde der USA)	TLUBN	Thüringer Landesamt für Umwelt, Bauen und Naturschutz
NQ	Niedrigster Abfluss	UBA	Umweltbundesamt
NRW	Nordrhein-Westfalen	UFZ	Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung GmbH Leipzig
NSG	Naturschutzgebiet	UN	United Nations (Vereinte Nationen)
Nt	Gesamtstickstoff	UNEP	UN Environment Programme (Umweltprogramm der Vereinten Nationen)
ÖPNV	Öffentlicher Personennahverkehr	UV	Ultraviolette Strahlung
ÖR	Freiwillige Öko-Regelungen	UVI	UV-Index
PID	Stiftung Deutscher Polleninformationsdienst	WHG	Wasserhaushaltsgesetz
PIK	Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung e.V.	WHO	World Health Organisation (Weltgesundheitsorganisation)
RCP	Representative Concentration Pathways (Repräsentative Konzentrationspfade)	WOAH	World Organisation for Animal Health (Weltorganisation für Tiergesundheit)
RHLS	Rügen-Heringslarven-Survey	WHG	Wasserhaushaltsgesetz
RKI	Robert Koch-Institut	WRRL	EU-Wasserrahmenrichtlinie
RP	Rheinland-Pfalz	WSV	Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes
ROPLAMO	Raumordnungsplan-Monitor des BBSR	WWA	World Weather Attribution
SenMVKU	Senatsverwaltung für Mobilität, Verkehr, Klimaschutz und Umwelt Berlin	ZALF	Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung e.V.
SH	Schleswig-Holstein	ZKA	Zentrum für KlimaAnpassung
SN	Sachsen		
SSP	Shared Socioeconomic Pathways (Gemeinsame sozioökonomische Entwicklungspfade)		
ST	Sachsen-Anhalt		

Einheiten

°C	Grad Celsius	m	Meter
g	Gramm	m ²	Quadratmeter
ha	Hektar	mg	Milligramm
KbE	Koloniebildende Einheiten	mm	Millimeter
kg	Kilogramm	%	Prozent
km	Kilometer	t	Tonne
km ²	Quadratkilometer	USD	US Dollar
l	Liter	W	Watt



Diese Broschüre als Download
www.umweltbundesamt.de/publikationen

