



# Faktenpapier Sicherheit von Windenergieanlagen

Bürgerforum Energieland Hessen

# Inhalt

1	Hintergrund .....	3
2	Die wichtigsten Erkenntnisse des Faktenpapiers auf einen Blick .....	5
3	Die Expertinnen und Experten .....	6
4	Einleitung: Sicherheit von Windenergieanlagen .....	9
5	Schwerpunkt: Brandschutz .....	13
6	Schwerpunkt: Rotorblattbruch, Gondelabwurf und Turmversagen .....	18
7	Schwerpunkt: Austritt von Betriebsstoffen / Wasserschutz .....	24
8	Schwerpunkt: Eiswurf und Eisfall .....	29
9	Fazit .....	36
10	Quellen und weiterführende Informationen .....	38



# 1 Hintergrund

## 1.1 Das Bürgerforum Energieland Hessen

Ziel des Landes Hessen ist es, seinen Bedarf an Strom und Wärme bis zum Jahr 2050 komplett aus erneuerbaren Ressourcen zu decken. Bei dem damit verbundenen Umbau der Energieversorgung müssen einige Herausforderungen gemeistert werden. Er kann nur gelingen, wenn alle Akteure gemeinsam an konkreten Lösungen arbeiten. Mit dem Angebot Bürgerforum Energieland Hessen (BFEH) unterstützt die Hessische LandesEnergieAgentur Kommunen dabei, gemeinsam mit den Bürgerinnen und Bürgern die Energiewende vor Ort zu gestalten. Das BFEH bietet je nach Ausgangssituation und Zielsetzung maßgeschneiderte Informations- und Dialogformate für Kommunen und weitere Akteure an. Diese reichen von Bürgerinformationsveranstaltungen über Energie-Coachings für Kommunen bis hin zur Mediation von Konflikten beim Ausbau Erneuerbarer Energien.

Die „Faktenchecks“ des BFEH setzen bei den wichtigen – und teils kontroversen – Fragen rund um die Energiewende an, die in den Kommunen und bei Bürgerinnen und Bürgern aufkommen. Sie bieten eine Plattform für den sachlichen Austausch und binden Expertinnen und Experten aus der Wissenschaft sowie zentrale, an der Umsetzung der Energiewende beteiligte Akteure ein, um gemeinsam Antworten auf die drängenden Fragen der Energiewende zu finden.

Dank ihrer soliden wissenschaftlichen Basis tragen die Faktenchecks dazu bei, Fehlinterpretationen zu vermeiden, Diskussionen zu versachlichen und Verunsicherung in der Bevölkerung entgegenzuwirken.

Das BFEH wird von der Hessischen LandesEnergieAgentur gemeinsam mit den Projektpartnern IFOK, Genius/team ewen und KEEA mit DIALOG BASIS durchgeführt. Weitere Informationen zum Angebot und den bisher durchgeführten Faktenchecks finden Sie unter [www.energieland.hessen.de/buergerforum\\_energie](http://www.energieland.hessen.de/buergerforum_energie).



## 1.2 Faktencheck „Sicherheit von Windenergieanlagen“



Die Nutzung der Windenergie spielt eine entscheidende Rolle für die erfolgreiche Umsetzung der Energiewende in Hessen. Aber wie sicher ist die erforderliche Technik? In den Medien findet man Bilder von brennenden oder havarierten Windenergieanlagen, es gibt Berichte über Eiswurf und den Austritt von Betriebsstoffen.

Wie groß ist die Wahrscheinlichkeit, dass es bei Windenergieanlagen zu solchen Ereignissen kommt und wie hoch ist das Risiko für Mensch und Umwelt? Welche technischen Sicherheitsmechanismen, Sicherheitskonzepte und Anforderungen des Gesetzgebers gibt es, um das Risiko zu minimieren? Welche neuen Entwicklungen stehen an und was kann getan werden, um die Risikoprävention weiter zu optimieren?

Diese und weitere Fragen wurden im Faktencheck „Sicherheit von Windenergieanlagen“ am 6. Juni 2018 in Gießen mit Vertreterinnen und Vertretern der Wissenschaft, Betreibern, Versicherern, Gutachterinnen und Gutachtern sowie zuständigen Behörden diskutiert. Zu jedem Schwerpunktthema gab eine Impulsreferentin oder ein Impulsreferent einen ersten Überblick, bevor das Thema mit einem Expertenpanel erörtert und Fragen der Teilnehmenden beantwortet wurden.

Das vorliegende Faktenpapier fasst die wichtigsten Ergebnisse der Faktenklärung zusammen. Das Papier bietet im Anschluss an eine thematische Einführung einen Überblick zu den vier Schwerpunktthemen Brandschutz (Kap. 5), Rotorblattbruch, Gondelabwurf und Turmversagen (Kap. 6), Austritt von Betriebsstoffen/Wasserschutz (Kap. 7) und Eiswurf und Eisfall (Kap. 8) und verweist jeweils auf weiterführende Informationen.

Alle Präsentationen des Faktenchecks „Sicherheit von Windenergieanlagen“ sowie eine Kurzdokumentation und weitere Fotos von der Veranstaltung finden Sie unter [www.energieland.hessen.de/faktencheck\\_sicherheit](http://www.energieland.hessen.de/faktencheck_sicherheit)

## 2 Die wichtigsten Erkenntnisse des Faktenpapiers auf einen Blick

- Windenergieanlagen verfügen über eine vergleichsweise sichere Technik. Es gibt keine Anhaltspunkte für entstandene Personenschäden von Dritten durch Zwischenfälle bei Windenergieanlagen in Deutschland – weder bei Anwohnerinnen und Anwohnern noch bei Verkehrsteilnehmenden. Auch die durch Windenergieanlagen verursachten Sach- und Umweltschäden sind im Vergleich zu anderen technischen Einrichtungen sehr gering. Dass ein geringes Risiko von Windenergieanlagen ausgeht, belegt unter anderem der niedrige Haftpflichtversicherungsbeitrag von 50-100 Euro pro Jahr und Windenergieanlage bei einer Deckungssumme von 5 Millionen Euro.
- Wie bei jeder anderen technischen Anlage kann es auch beim Bau und Betrieb von Windenergieanlagen grundsätzlich zu Zwischenfällen kommen. Dazu gehören Brände, Rotorblattbruch, Turmversagen, Eiswurf und Eisfall sowie der Austritt von Betriebsstoffen. Ursachen für technische Störungen bei Windenergieanlagen liegen vor allem in Bauteildefekten und Problemen in der Anlagenregelung. Aber auch Netzausfälle, Stürme oder Blitzschläge können Störungen verursachen.
- Sicherheitsaspekte sind bei Windenergieanlagen verbindlicher Bestandteil der Genehmigungspraxis. Die Anlagen werden nur genehmigt, wenn Brandschutzkonzepte vorliegen, die Standsicherheit nachgewiesen wird und kein inakzeptables Risiko durch Eiswurf und Eisfall vorliegt. Bei Windenergieanlagen in Wasserschutzgebieten gelten besonders strenge Anforderungen. Außerdem wird im Genehmigungsverfahren festgeschrieben, dass die Anlagen regelmäßig grundlegend geprüft werden müssen („Wiederkehrende Prüfungen“).
- Windenergieanlagen verfügen über eine Reihe von technischen Sicherungs- und Monitoringsystemen, von denen viele Standard sind. In der Regel sind in modernen Anlagen Condition Monitoring Systeme (CMS) installiert, die den Zustand von Rotor, Turm, Getriebe und weiteren Komponenten rund um die Uhr überwachen. Bei Unregelmäßigkeiten wird die Anlage automatisch abgeschaltet. Ereignisse, die zu einer Störung führen könnten, wie Überhitzungen oder Risse, können frühzeitig erkannt und behoben werden.



## 3 Die Expertinnen und Experten



**Stefan Bohn** ist im Regierungspräsidium Gießen im Dezernat „Industrielles Abwasser, wassergefährdende Stoffe, Grundwasserschadensfälle, Altlasten und Bodenschutz“ tätig. Die Arbeitsschwerpunkte des Diplom-Ingenieurs für Umwelt- und Hygienetechnik liegen im Umgang mit wassergefährdenden Stoffen in Industrie- und Gewerbebetrieben aus verschiedenen Branchen.

*Experte Themenschwerpunkt III: Austritt von Betriebsstoffen/Wasserschutz*



**Clemens Englmeier** ist beim Regierungspräsidium Darmstadt im Fachbereich Brandschutz des Dezernats für „Öffentliche Sicherheit und Ordnung“ beschäftigt. Als Mitglied des Fachausschusses Brandschutz beim Hessischen Innenministerium erarbeitete er ein Merkblatt, das heute in Hessen die Grundlage für die Anforderungen im Brandschutz an Windenergieanlagen im Genehmigungsverfahren darstellt. Vor seiner Tätigkeit für das Regierungspräsidium war Clemens Englmeier zehn Jahre bei der Berufsfeuerwehr Mannheim tätig.

*Experte Themenschwerpunkt I: Brandschutz*



**Thomas Grünz** ist seit 2000 zusammen mit Dr. Dirk Brehm Inhaber des Büros für Geohydrologie und Umweltinformationssysteme (BGU) in Bielefeld, welches sich auf die Themenschwerpunkte Grundwasser, Geothermie, Bodenschutz und Umwelttechnik spezialisiert hat. Der diplomierte Geologe betreut Wasserrechtsverfahren unter anderem für Windenergieanlagen und ist in der Bauüberwachung von Windenergieanlagenprojekten tätig.

*Experte Themenschwerpunkt III: Austritt von Betriebsstoffen/Wasserschutz*



**Dr. Thomas Hahm** ist Mitbegründer des Hamburger Ingenieurbüros Fluid & Energy Engineering (F2E) für Windenergieanlagen und Energietechnik. Im Rahmen seiner Tätigkeit befasst er sich mit der Risikobewertung von Eiswurf und Eisfall, der Standsicherheit und dem Bauteilversagen von Windenergieanlagen sowie mit numerischer Strömungsmechanik. Er ist Mitglied in verschiedenen Arbeitsgruppen der Internationalen Elektrotechnischen Kommission (IEC) im Bereich der Windenergie und arbeitet an der Erstellung von Richtlinien der Internationalen Energieagentur (IEA) zum Eiswurf von Windenergieanlagen mit.

*Experte Themenschwerpunkt IV: Eiswurf und Eisfall*



**Alisa Lettmann** ist Projektingenieurin im Brandschutzsachverständigenbüro BES AG in Darmstadt. Ihre Arbeitsschwerpunkte liegen in den Bereichen Windenergieanlagen und Industriebau. Die BES AG erstellt Brandschutzkonzepte, berät zu Brandschutzplanungen für Großprojekte und erstellt Gutachten im Rahmen von Genehmigungsverfahren. Ihre Masterthesis schrieb Lettmann zur „Brandschutztechnischen Risikobetrachtung von Onshore-Windenergieanlagen“. Zum selben Thema veröffentlichte sie im Januar 2018 einen Artikel im Fachmagazin „Stahlbau“.

*Expertin Themenschwerpunkt I: Brandschutz*



---

**Gerd Morber** ist Bereichsleiter Windenergie bei der HessenEnergie Gesellschaft für rationelle Energienutzung in Wiesbaden. HessenEnergie entwickelt seit 1993 Windenergieprojekte in Hessen, hat über 130 Windenergieanlagen ans Netz gebracht und betreibt heute Anlagen an 21 Standorten. Morber fungiert als Entwurfsverfasser und Bauleiter, betreut Genehmigungsverfahren und übernimmt die Projektsteuerung für zahlreiche Windparks und Repowering-Vorhaben. Darüber hinaus nimmt er verschiedenen Funktionen als Dozent und Beirat im Bereich der Erneuerbaren Energien wahr.

*Mitglied des Expertenpanels*

---



**Dr. Monika Polster** ist Sachverständige bei der TÜV NORD EnSys GmbH & Co. KG in Hamburg. Ihr Arbeitsschwerpunkt liegt in der Untersuchung der Standorteignung für Windenergieanlagen. Die Abteilung „Wind Site Assessment“ des TÜV NORD, für die Frau Dr. Polster tätig ist, bietet neben der Ermittlung des standortspezifischen Windpotenzials die Erstellung aller genehmigungsrelevanten Gutachten für Windenergieanlagen an, so auch zu Standorteignung und zur Risikobeurteilung durch Turmversagen, Rotorblattbruch und Eiswurf.

*Expertin Themenschwerpunkt II: Rotorblattbruch, Gondelabwurf und Turmversagen*

---



**Christian Schlösser** ist Gründer und Geschäftsführer der Enser Versicherungskontor GmbH, die sich auf die Versicherung von Anlagen im Bereich der Erneuerbaren Energien spezialisiert hat. Über 4.500 Windenergieanlagen sind heute über sein Büro versichert. Außerdem betreibt er eigene Windenergieanlagen. Schlösser ist Mitglied im Regionalvorstand des Bundesverbands Windenergie Südwestfalen sowie im Regionalvorstand des Landesverbands Erneuerbare Energien NRW.

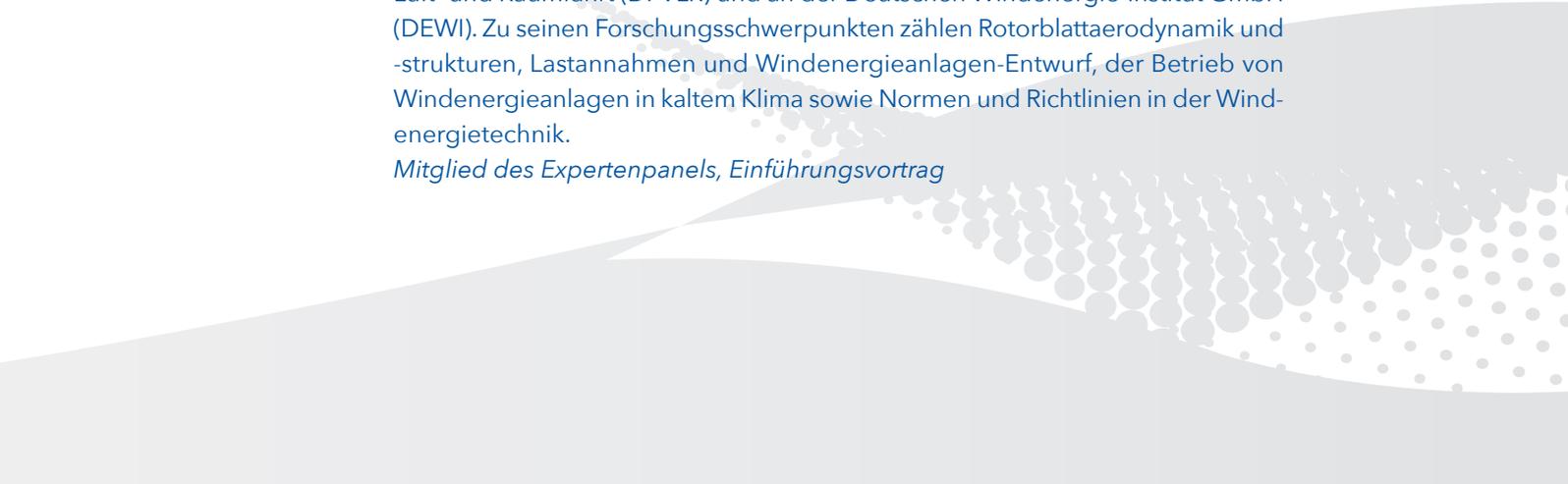
*Mitglied des Expertenpanels*

---



**Prof. Henry Seifert** arbeitet seit 1983 auf dem Gebiet der Windenergie und ist heute als beratender Ingenieur tätig. Von 2005 bis zu seiner Pensionierung Anfang 2018 war er Professor an der Hochschule Bremerhaven und leitete dort das Institut für Windenergie. Zuvor arbeitete er unter anderem am Institut für Bauweisen- und Konstruktionsforschung der Deutschen Forschungsanstalt für Luft- und Raumfahrt (DFVLR) und an der Deutschen Windenergie-Institut GmbH (DEWI). Zu seinen Forschungsschwerpunkten zählen Rotorblattaerodynamik und -strukturen, Lastannahmen und Windenergieanlagen-Entwurf, der Betrieb von Windenergieanlagen in kaltem Klima sowie Normen und Richtlinien in der Windenergietechnik.

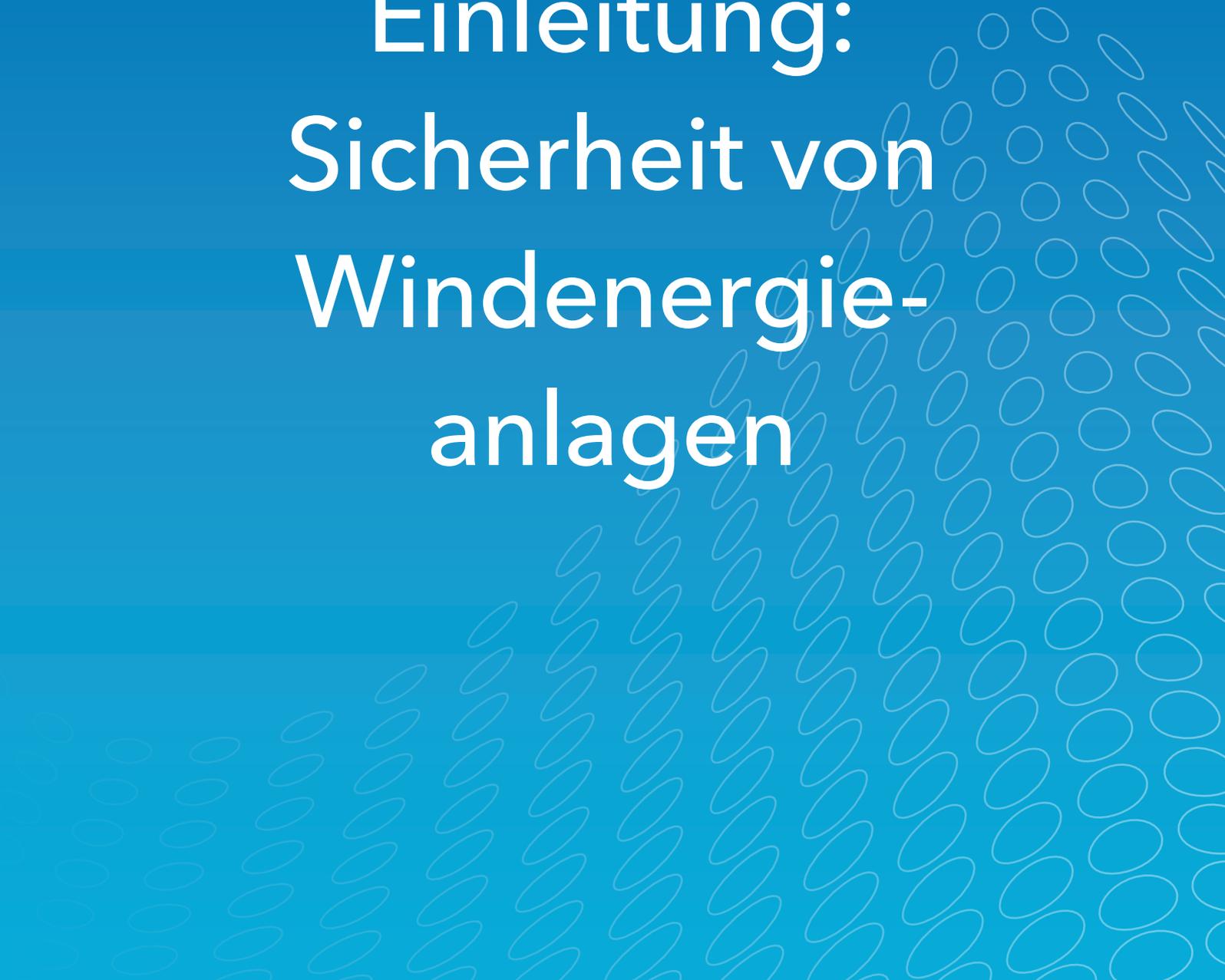
*Mitglied des Expertenpanels, Einführungsvortrag*



# 4

---

## Einleitung: Sicherheit von Windenergie- anlagen



# 4 Einleitung: Sicherheit von Windenergieanlagen

## 4.1 Technische Grundlagen und Entwicklungen

Die modernen Windenergieanlagen haben sich in ihrer Größe und Leistung seit den 1980er Jahren rasant weiterentwickelt (siehe Abbildung 1). Bei heute hergestellten Anlagen sind Rotordurchmesser von über 120 Metern bereits üblich. Einige Anlagen erreichen heute bereits Nabenhöhen von 160 Metern, Rotordurchmesser von über 150 Metern und eine installierte Leistung von mehr als 6 Megawatt.

Dass die Windenergie zentral für die Umsetzung der Energiewende ist, zeigt sich auch in der Entwicklung der Anzahl der Anlagen. In Deutschland waren zum Jahresende 2017 28.675 Anlagen mit einer installierten Leistung von 50.777 Megawatt in Betrieb. Davon stehen 1.092 Anlagen in Hessen<sup>1</sup>.

Die zunehmende Größe der Rotoren stellt an die konstruktive Auslegung, die Materialien und die Betriebsfestigkeit besonders hohe Anforderungen. Um auf dem Markt zu bestehen, müssen heutige Rotorblätter so lang wie möglich sein – bei geringer Masse und hoher Effektivität. Gleichzeitig sollten sie möglichst leise sein und müssen mit einer Entwurfslebensdauer von 20 Jahren oder

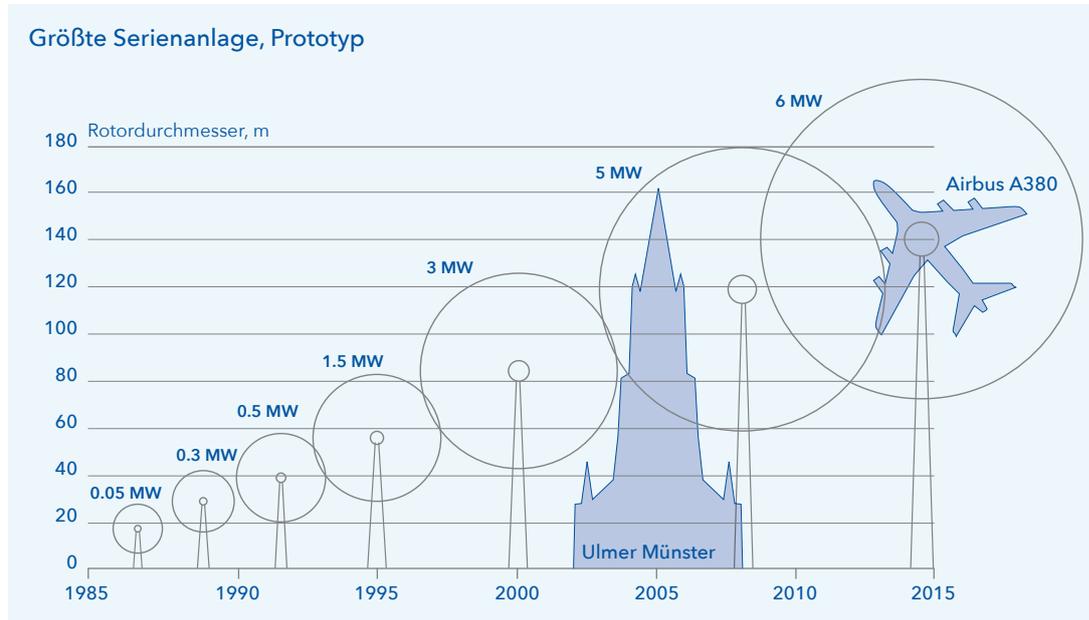


Abbildung 1: Entwicklung moderner Windenergieanlagen (Quelle: Seifert (2018), Datenquellen: fk-wind, DEWI, BWE).

<sup>1</sup> Bundesverband Windenergie: Zahlen und Fakten. Statistische Kennziffern zur Erfolgsgeschichte Windenergie, unter: [www.wind-energie.de/themen/zahlen-und-fakten](http://www.wind-energie.de/themen/zahlen-und-fakten) (abgerufen am 10.08.2018).

mehr<sup>2</sup> mindestens zwei Dekaden Betrieb unter extremen Bedingungen aushalten: So sind die Anlagen unter anderem Temperaturschwankungen, Luftfeuchte, Regen, Schnee, Eis, Stürmen und Blitzschlägen ausgesetzt. Die einzelnen Anlagen werden dafür immer genauer an die spezifischen Standortbedingungen angepasst. Aufgrund der ständigen Weiterentwicklung der Technik wird heute eine hohe Effizienz und eine technische Verfügbarkeit von 97 Prozent und mehr erreicht.

## 4.2 Normen und Richtlinien

Nationale und internationale Richtlinien und Normen, die ebenso wie die Größe der errichteten Windenergieanlagen wuchsen und umfangreicher wurden, werden nach und nach angepasst, wobei sie immer nur der technischen Entwicklung nachfolgen können. Dies ist aber nicht spezifisch für die Windenergietechnik, sondern hängt jedem technischen Produkt an, das marktbedingt in sehr kurzer Zeit sehr schnell in seiner Größe wächst. Genormt werden unter anderem die Lastannahmen und Testverfahren für Windenergieanlagen, aber auch der Arbeitsschutz und einzelne Bauteile der Anlage. Aus normativer Sicht werden in Deutschland Turm und Gründung als ein Bauwerk eingestuft, während Gondel und Rotor als Maschine gelten.

Auf nationaler Ebene haben unter anderem die Deutsche Kommission Elektrotechnik (DKE) und das Deutsche Institut für Bautechnik (DIBt) relevante Richtlinien und Normen erarbeitet. International sind vor allem die Europäische Normungskommission (CENELEC) sowie die Internationale Elektrotechnische Kommission (IEC) als wichtige Organisationen für die Normung zu nennen.

## 4.3 Überblick zu Zwischenfällen

Mit zunehmender Anzahl errichteter Windenergieanlagen und der Aufsummierung der Betriebsstunden traten in der Vergangenheit bei Anlagen immer wieder Schäden an Einzelkomponenten auf. Die Ergebnisse des „Wissenschaftlichen Mess- und Evaluierungsprogramms“ (WMEP) im Rahmen des „250 MW-Wind“-Programms 1989-2006 stellen bis heute eine der wenigen belastbaren Informationsquellen bezüglich der Zuverlässigkeit der Anlagen sowie ihrer Komponenten dar. Die Ergebnisse der Studie legen nahe, dass die Ursachen für Störungen bei Windenergieanlagen vor allem in Bauteildefekten und Problemen in der Anlageneinrichtung liegen. Aber auch Netzausfälle, Stürme oder Blitzschläge können Störungen verursachen<sup>3</sup>.



Der Haftpflichtversicherungsbeitrag für eine Windenergieanlage liegt in Deutschland bei 50-100 Euro pro Jahr bei einer Deckungssumme von 5 Millionen Euro. Diese deckt Personen- und Sachschäden etwa durch Brände, Havarien, den Austritt von Betriebsstoffen und Eiswurf ab. Der geringe Versicherungspreis unterstreicht, dass das Gefährdungspotenzial durch diese Vorfälle als sehr gering einzustufen ist.

<sup>2</sup> Die Entwurfslebensdauer von Windenergieanlagen betrug bisher in der Regel 20 Jahre. In den letzten Jahren werden aber auch vermehrt neue Windenergieanlagen bei der Konstruktion auf eine Betriebsdauer von 25 Jahren ausgelegt und die Typenprüfung bestätigt die Standortsicherheit für diese Lebensdauer.

<sup>3</sup> Siehe: Fraunhofer IEE (o.J.).

In vereinzelt Fällen können diese Störungen zu Totalschäden oder dem Kippen der Anlagen führen. Mitunter lagen die Gründe für die Ereignisse auch in unzureichenden Lastannahmen und der Höherkalibrierung der vorhandenen Technik, ohne diese entsprechend anzupassen. Zu Zwischenfällen, die bisher aufgetreten sind, zählen Brände, der Abriss von Rotorblättern, der Abwurf der Gondel und das Versagen beziehungsweise Kippen des Turmes. Außerdem werden teilweise Materialien verwendet, die brennen oder bei Austritt die Umwelt schädigen können. Auch Eiswurf beziehungsweise Eisfall kann ein Risiko darstellen. Diese Themen werden im Folgenden näher beleuchtet und eingeordnet.

Soweit vorhanden, werden in den nachfolgenden Kapiteln Daten zur Risikobewertung und -einordnung genannt. Aus diesen geht hervor, dass es grundsätzlich zu Zwischenfällen bei Windenergieanlagen kommen kann und in der Vergangenheit gekommen ist. Jedoch gibt es keine Anhaltspunkte für entstandene Personenschäden bei Anwohnerinnen und Anwohnern sowie Verkehrsteilnehmerinnen und Verkehrsteilnehmern in Deutschland. Auch die durch Windenergieanlagen verursachten Sach- und Umweltschäden sind im Vergleich zu anderen technischen Einrichtungen als sehr gering einzustufen.

Die Präsentation zum Vortrag „Betriebsweisen, technische Entwicklungen, normative Grundlagen - Wie sicher sind unsere Windenergieanlagen?“ von Prof. Henry Seifert finden Sie hier: [https://www.energieland.hessen.de/BFEH/giessen\\_06\\_06\\_2018/Einfuehrungspraesentation\\_Prof\\_Dipl\\_Ing\\_Henry\\_Seifert.pdf](https://www.energieland.hessen.de/BFEH/giessen_06_06_2018/Einfuehrungspraesentation_Prof_Dipl_Ing_Henry_Seifert.pdf)



# 5

---

Schwerpunkt:  
Brandschutz

# 5 Schwerpunkt: Brandschutz



## Auf einen Blick

An Windenergieanlagen kann es grundsätzlich zu Brandereignissen kommen. Die verfügbaren Brandstatistiken zeigen jedoch, dass die Anzahl der aufgetretenen Brände gemessen an der Gesamtanzahl der Anlagen in Deutschland als gering einzustufen ist. Dass Hessen im Genehmigungsverfahren neben dem anlagen – auch ein standortspezifisches Brandschutzkonzept fordert, zeigt, dass das Thema Brandschutz seitens des Landes ernst genommen wird. Windenergieanlagen müssen über Feuerlöscheinrichtungen verfügen. Durch automatische Löschanlagen können Brände in Windenergieanlagen automatisch bekämpft werden und Feuerwehren damit bei den Löscharbeiten unterstützt werden. Die mit den Brandschutzdienststellen abgestimmten individuellen Feuerwehreinsatzpläne leisten ihren Beitrag dazu, dass Brände bekämpft oder zumindest kontrolliert werden können.

## 5.1 Überblick und Risikobewertung

Brandereignisse an Windenergieanlagen lassen sich in zwei Szenarien unterscheiden. Neben dem Vollbrand der Gondel und der Rotorblätter kann es zu Klein- beziehungsweise Schwelbränden im Turmfuß, der Turmmitte oder der Gondel kommen. Vollbrände sind aufgrund ihrer Höhe für die Feuerwehr

nicht löschar. Bei einem Vollbrand sichert die Feuerwehr daher die Gefahrenstelle, lässt die in Flammen stehenden Anlagenteile kontrolliert abbrennen und löscht diese nach dem Herabstürzen (siehe Abbildung 2). Kleinbrände können von der Feuerwehr oder Mitarbeitern der Betreiber durch Ablöschen brennender Teile bekämpft werden. Eine andere Möglichkeit zur Brandbekämpfung eines Kleinbrandes im Innenbereich des Turmfußes ist das Abdichten der Belüftungsöffnungen und der Türen, um die Sauerstoffzufuhr zum Brandherd zu unterbinden.



Abbildung 2: Brandbekämpfung von herabgefallenen Rotorblättern an einer Anlage bei Frohburg (Landkreis Leipzig) am 11.04.2018 (Quelle: Freiwillige Feuerwehr Frankenhain-Frohburg<sup>4</sup>).

<sup>4</sup> Hinweis: Die abgebildete Brandbekämpfung fand statt, nachdem das Betreten des Bereichs um die Windenergieanlage gefahrlos möglich war.

Bundesweit gibt es bisher keine offizielle Stelle, die eine Statistik zu Bränden an Windenergieanlagen führt. Anhaltspunkte für die Häufigkeit von Bränden bietet jedoch eine kürzlich veröffentlichte Studie, die zu dem Ergebnis kommt, dass es in dem Betrachtungszeitraum von 2005-2015 deutschlandweit im Onshore-Bereich zu 62 Brandereignissen kam<sup>5</sup>. Dies entspricht deutschlandweit durchschnittlich 6,29 Bränden pro Jahr. Wie Tabelle 1 zeigt, ist die Anzahl der aufgetretenen Brände gemessen an der Gesamtanzahl der Anlagen im Untersuchungszeitraum als gering einzustufen. Die entstandenen Sachschäden beschränken sich dabei laut Expertenmeinung in der Regel auf Schäden an der Anlage selbst.

Jahr	Gesamtanzahl WEA	Anzahl Brände	Anteil (%)
2005	17.574	6	0,03
2006	18.685	4	0,02
2007	19.460	3	0,02
2008	20.301	3	0,01
2009	21.164	3	0,01
2010	21.607	9	0,04
2011	22.230	4	0,02
2012	22.868	10	0,04
2013	23.627	7	0,03
2014	24.784	3	0,01
2015	25.821	10	0,04

Tabelle 1: Brandereignisse an Windenergieanlagen (WEA) pro Jahr in Deutschland (Quelle: Lettmann, A., Sesselmann, J., Kawohl, A. (2018), S. 13).

In zwei Fällen kam es in dem zehnjährigen Erhebungszeitraum zu Personenschäden durch Brände, wobei jeweils Servicetechniker verletzt wurden. Eine Personenrettung durch die Feuerwehr war in keinem Fall nötig.

In Hessen kam es im Untersuchungszeitraum zu drei Bränden. Die Brandursache bleibt in

der überwiegenden Anzahl der Fälle unbekannt. In den Fällen, deren Brandursache bekannt ist, trat laut einer aktuellen Befragung von beteiligten Feuerwehren als häufigste Ursache ein technischer Defekt (53,3%) auf. Sonstige Gründe (20%), menschliches Versagen (13,3%), technischer Defekt aufgrund unsachgemäßer Behandlung (z.B. Kabeldiebstahl) (6,7%) sowie Überhitzung aufgrund von Reibung (6,7%) sind weitere Brandursachen. Auffällig ist, dass keiner der Brände, in denen die Brandursache bekannt ist, durch einen Blitzschlag ausgelöst wurde<sup>6</sup>.

Insgesamt ist die Datenlage zu Bränden an Windenergieanlagen bisher nicht ausreichend, um eine statistische Risikobeurteilung (Produkt aus der Eintrittswahrscheinlichkeit eines Brandes und dem Schadensausmaß) deutschlandweit abzubilden. Bei der Erstellung einer einheitlichen Erfassungsmethode von Brandschäden sowie der Errichtung einer zentralen Dokumentationsstelle für Brände besteht laut den Expertinnen und Experten weiterer Handlungsbedarf.

## 5.2 Rechtliche Rahmenbedingungen

Windenergieanlagen mit einer Gesamthöhe von über 50 Metern unterliegen im Genehmigungsverfahren dem Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG)<sup>7</sup>. Zur Genehmigung einer Windenergieanlage ist ein Brandschutzkonzept einzureichen, das je nach Bundesland anlagen- oder standortspezifischer Art sein kann. Das Genehmigungsverfahren in Hessen erfordert sowohl ein anlagen- als auch ein standortspezifisches Brandschutzkonzept bei der Neuerrichtung von Windenergieanlagen. Grundlage hierfür ist die Hessische Bauordnung<sup>8</sup>. Während beim anlagenspezifischen Konzept

<sup>5</sup> Lettmann, A., Sesselmann, J., Kawohl, A. (2018). Brandschutztechnische Risikobewertung von Onshore-Windenergieanlagen. Stahlbau, 87 (1), S. 12f.

<sup>6</sup> ebd.

<sup>7</sup> Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge.

alle die Anlage selbst betreffenden Brandschutzaspekte (z.B. Blitzschutz, Feuerlöscher) untersucht werden, legt das standortspezifische Konzept den Fokus vor allem auf die im Zusammenhang mit der Umgebung der Anlage stehenden Sicherheitsaspekte (siehe Abbildung 3). Durch die vorgeschriebene formale Prüfung beider Brandschutzkonzepte nimmt Hessen deutschlandweit eine Vorreiterrolle ein. Baurechtlich sind in Hessen zudem Feuerwehrpläne verpflichtend. Als Planungsinstrument dient das „Merkblatt Windenergieanlagen“ des „Fachausschusses Brandschutz“, welches in Hessen in Form einer Standard-„Checkliste“ die Grundlage für die brandschutztechnischen Anforderungen an Windenergieanlagen im Genehmigungsverfahren darstellt.

Während somit die rechtlichen Rahmenbedingungen für den Brandschutz bei Windenergieanlagen in Hessen klar definiert und standardisiert sind, sehen Expertinnen und Experten weiteren Bedarf in der Entwicklung und Umsetzung von einheitlichen deutschlandweiten Regelungen und Standards für den Brandschutz.

## 5.3 Sicherheitskonzepte und technische Sicherheitsmaßnahmen

Auch beim Brandschutz spielt die Entwicklung zum Bau von Windenergieanlagen mit höheren Nabenhöhen und längeren Rotorblättern eine wichtige Rolle<sup>9</sup>. So verlängert sich bei höheren Anlagen im Brandfall beispielsweise der Rettungsweg aus der Gondel. Zudem vergrößert sich die Menge der brennbaren Materialien, die im Brandfall einen Beitrag zur Brandentwicklung leisten.

Verschiedene brennbare Flüssigkeiten sowie feste Stoffe sind notwendige Bestandteile von modernen Windenergieanlagen (siehe Tabelle 2, Seite 16). Bei getriebelosen Anlagen entfällt das Getriebeöl. Sofern Flüssigkeiten im Brandfall austreten, verhindern Auffangwannen und Auffangbehälter in der Regel, dass diese in den Boden und in das Grundwasser gelangen<sup>10</sup>.

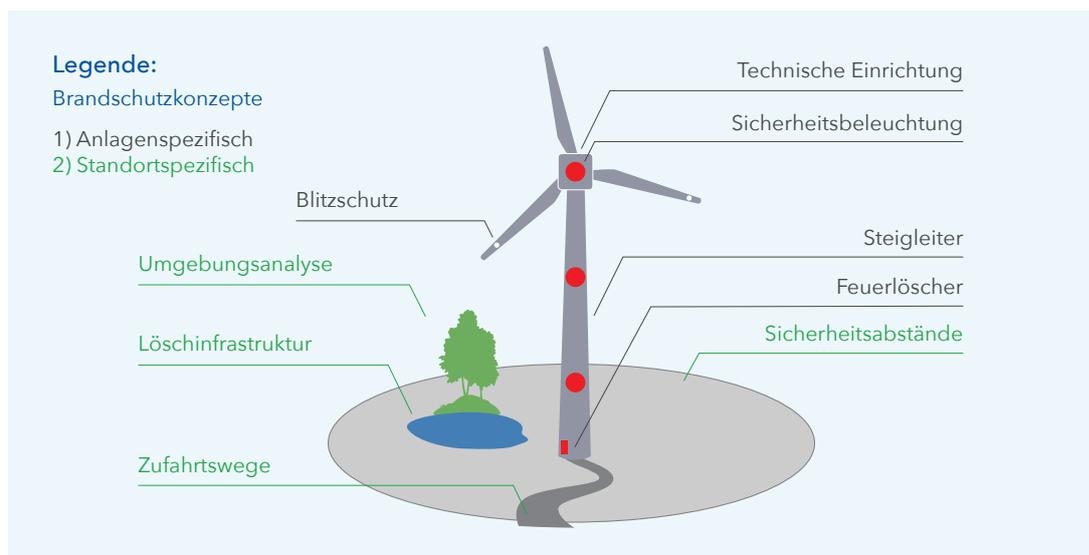


Abbildung 3: Beispielhafte Darstellung von in anlagenspezifischen und standortspezifischen Brandschutzkonzepten betrachteten Aspekten und technischen Einrichtungen (Quelle: Eigene Darstellung).

8 Hessische Bauordnung (HBO), Stand 15.01.2011 (GVBl. S. 46,180), zuletzt geändert durch Art. 40 des Gesetzes vom 13.12.2012 (GVBl. I S. 622).

9 Siehe Kap. 4 in diesem Faktenpapier.

10 Siehe Kap. 7 in diesem Faktenpapier.

Brennbare Flüssigkeiten	Brennbare feste Stoffe
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Schmieröl</li> <li>• Hydrauliköl</li> <li>• Kühlflüssigkeit</li> <li>• Getriebeöl</li> <li>• Transformatoröl</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Glasfaserverstärkte Kunststoffe (Polyester, Epoxidharze), z. B. Verkleidung Maschinenhaus oder Rotorblätter</li> <li>• Dämmstoffe</li> <li>• Elektrokabel, Kabelisolierungen, Elektrokleinteile</li> <li>• Akkumulatoren</li> <li>• Schläuche</li> <li>• Kunststoffkleinteile</li> </ul>

Tabelle 2: Brandlasten einer Windenergieanlage (Quelle: Lettmann, A., Sesselmann, J., Kawohl, A. (2018), S. 11).

Moderne Windenergieanlagen werden durch die Betriebsführung fernüberwacht und in Störungsfällen automatisch abgeschaltet. Standardmäßig wird spezielle Kühltechnik an hitzeempfindlichen Stellen installiert. Darüber hinaus gibt es spezielle brandschutzspezifische Maßnahmen. Standardmaßnahmen sind der Einbau eines Überdrehzahlschutzes, der gegen die Überhitzung von sich drehenden Komponenten eingesetzt wird, sowie eines Blitzschutzes, der aus separaten Blitzableitern für Maschinenhaus und Rotorblätter besteht. Zudem muss eine Windenergieanlage über eine Gefahrenmeldeanlage verfügen, die mit einem sogenannten Condition Monitoring System (CMS) ausgestattet ist, welches mit diversen Sensoren dauerhaft den Zustand der Anlage überprüft. Meldet das System eine Unregelmäßigkeit an einer Komponente der Windenergieanlage, wird die Anlage automatisch abgeschaltet. Handelt es sich bei der Unregelmäßigkeit um einen Brand, muss der Betreiber die Feuerwehr alarmieren. Bei kleineren Brandereignissen wie einem Schwelbrand kann der Betreiber auch selbst Löschversuche unternehmen.

Zudem sind verpflichtend Feuerlöscheinrichtungen in Windenergieanlagen vorzuhalten. Standardmäßig verfügt eine Anlage über zwei Feuerlöscher, die sich in der Gondel sowie im Turm befinden. Der Einbau von automatischen Löschanlagen durch die Betreiber kann nach einer Einzelfallprüfung durch die Genehmigungsbehörde als Auflage vorgegeben werden. Teilweise werden diese ebenso auf freiwilliger Basis eingebaut. Ein Standardsystem für automatische Löschanlagen hat sich bis jetzt nicht etabliert, da solche Systeme auch Nachteile mit sich bringen können.

Da in Hessen für die Genehmigung einer Windenergieanlage die Einreichung von Feuerwehrplänen verpflichtend ist, wird in Abstimmung mit den zuständigen Brandschutzdienststellen beziehungsweise der Feuerwehr ein standortspezifischer Feuerwehreinsatzplan erstellt, welcher unter anderem Einsatzstrategien für verschiedene Brandszenarien enthält und die Löschwasserversorgung sicherstellt. In speziellen Schulungen qualifizieren die Betreiber von Windenergieanlagen ihre Mitarbeiter zusätzlich für das Thema Brandschutz.

Die Präsentation zum Vortrag „Brandschutz“ von Alisa Lettmann finden Sie hier: [www.energieland.hessen.de/BFEH/giessen\\_o6\\_o6\\_2018/180719\\_WEA\\_Faktencheck\\_Brandschutz-Lettmann.pdf](http://www.energieland.hessen.de/BFEH/giessen_o6_o6_2018/180719_WEA_Faktencheck_Brandschutz-Lettmann.pdf)

# 6

---

Schwerpunkt:  
Rotorblattbruch,  
Gondelabwurf und  
Turmversagen

# 6 Schwerpunkt: Rotorblattbruch, Gondelabwurf und Turmversagen



## Auf einen Blick

Bisher sind in Deutschland keine Personenschäden durch herabfallende Teile in Folge einer Havarie bekannt. Dennoch ist bei technischem oder menschlichem Versagen nicht auszuschließen, dass es während der Errichtung oder des Betriebs von Windenergieanlagen zu einem Rotorblattbruch, Gondelabwurf oder einem Turmversagen kommen kann. Das Risiko, dass es zu solchen Fällen kommt, ist jedoch als gering einzustufen.

Um das Risiko durch Rotorblattbruch, Gondelabwurf und Turmversagen zu minimieren, werden Windenergieanlagen in Deutschland sowohl einer Typenprüfung als auch einer standortspezifischen Begutachtung unterzogen. Außerdem wird geprüft, ob ein Risiko für Infrastrukturen und Personen in der Nähe der Anlage besteht. Zur Risikominimierung können etwa Warnschilder, erhöhte Prüfungsintervalle oder technische Maßnahmen vorgeschrieben werden. Zu den gängigen, in der Regel redundant ausgelegten Sicherungssystemen gehören die Schwingungsüberwachung sowie die Zustandsüberwachung der Rotorblätter, die bei Unregelmäßigkeiten automatisch die Abschaltung der Anlage einleiten.

## 6.1 Überblick und Risikobewertung

Die Eintrittshäufigkeit für einen Rotorblattbruch, Gondelabwurf oder ein Turmversagen ist in Deutschland gering. Dennoch kann es bei technischem oder menschlichem Versagen zu Fällen kommen, in denen ein oder mehrere Rotorblätter einer Windenergieanlage ganz oder in Stücken abbrechen. Ebenso kann es zu einem Versagen beziehungsweise Kippen des Turmes und zu einem Abwurf der Gondel (auch „Maschinenhaus“ genannt) kommen. Rotorblattbruch,

Gondelabwurf und Turmversagen können vielfältige Ursachen haben, wie z.B. Vorschädigungen durch Transport oder Fertigung, Überlast (unzulässige Rotordrehzahl), Versagen des Bremssystems, Versagen von Sicherheitssystemen, Brand oder Blitzschlag. Je nach Anlagentyp und standortspezifischen Umgebungsbedingungen sind bei einem Rotorblattbruch Wurfweiten von mehr als 300 Metern möglich.

Fälle von Personenschäden durch Rotorblattbruch, Gondelabwurf und Turmversagen sind in Deutschland bisher nicht bekannt.

Die in den Modellen zur Risikoanalyse von TÜV NORD angenommene, konservativ

ermittelte Eintrittshäufigkeit für einen Bruch des gesamten Rotorblattes an der Nabe oder den Bruch an beliebiger Stelle liegt bei etwa 0,1 Prozent pro Jahr und Windenergieanlage. Für ein Turmversagen liegt die angenommene Ereignishäufigkeit bei etwa 0,01 Prozent pro Jahr und Windenergieanlage. In den Berechnungen von TÜV NORD wird davon ausgegangen, dass nicht alle tatsächlichen Schäden dokumentiert werden.

Nach Recherchen der HessenEnergie sind zwischen 2010 und 2017 in Deutschland bei den im Mittel betriebenen etwa 25.000 Anlagen durchschnittlich 2,0 Rotorblattabriss pro Jahr (0,008%) dokumentiert und 1,0 Fälle, in denen eine Windenergieanlage umfiel oder abbrach (0,004%). Eine offizielle deutschlandweite Statistik für die Eintrittshäufigkeit dieser Schäden fehlt bisher.

## 6.2 Rechtliche Rahmenbedingungen

### Typenprüfung / Einzelprüfung und Standorteignung

Die Standsicherheit von Windenergieanlagen ist in Deutschland derzeit in baurechtlichen Richtlinien, die das Deutsche Institut für Bautechnik (DIBt)<sup>11</sup> vorgibt, geregelt. Den Richtlinien folgend wird die Standsicherheit anlagenspezifisch in einer Typenprüfung bzw. einer standortspezifischen Einzelprüfung untersucht. Die Typen- beziehungsweise Einzelprüfung umfasst die Prüfung der Lastannahmen, den Standsicherheitsnachweis für Turm und Fundament, Extremlasten- und Betriebsfestigkeitsnachweise für alle sicherheitstechnisch relevanten Maschinenbauteile, Strukturnachweise für die Ro-

torblätter, die Prüfung der Sicherheits- und Betriebsführungskonzepte sowie die Auslegungs- und Eignungsprüfung der elektrischen Anlage. In der Typenprüfung werden die Windenergieanlagen für generische, standortunabhängige Wind- und Umgebungsbedingungen untersucht.

Um die Standorteignung beziehungsweise die Standsicherheit einer Windenergieanlage an einem bestimmten Standort nachzuweisen, muss zusätzlich eine Überprüfung erfolgen, ob die standortspezifischen Parameter durch die Annahmen der Typenprüfung abgedeckt werden. Die Standorteignung für geplante Windenergieanlagen wird bei allen Anlagen im Zuge des Genehmigungsverfahrens von einem unabhängigen anerkannten Sachverständigen geprüft.

Bei der Prüfung der Standorteignung werden im Rahmen der geotechnischen Gutachten die Eigenschaften des Baugrunds durch Baugrundaufschlüsse (Bohrungen, Sondierungen, ggf. Schürfe) untersucht und mit den Anforderungen der Typenprüfung verglichen („Baugrundgutachten“). Falls notwendig, werden Maßnahmen zur Baugrundverbesserung formuliert. Bei sehr schlechten Untergrundverhältnissen können standortspezifische Gründungskonzepte beziehungsweise Pfahlgründungen erforderlich sein.

Im Rahmen des Standorteignungsgutachtens (früher „Turbulenzgutachten“) werden die standortspezifischen Windparameter (mindestens die Größen „mittlere Jahreswindgeschwindigkeit“, „50-Jahreswindgeschwindigkeit“ sowie die „effektive Turbulenzintensität“) mit den entsprechenden Auslegungswerten der Windenergieanlage verglichen. Bei einer geplanten Windenergieanlage muss zudem nachgewiesen werden, dass bestehende Anlagen im Umkreis

<sup>11</sup> Siehe Deutsches Institut für Bautechnik (2015). Richtlinie für Windenergieanlagen – Einwirkungen und Standsicherheitsnachweise für Turm und Gründung (korrigierte Fassung).

den möglichen höheren Turbulenzbelastungen gewachsen sind und dass keine anderen Bauwerke im Umkreis beeinträchtigt werden. Überschreitungen der Extremlasten können im ungünstigsten Fall zum Kippen der Windenergieanlage, zum Turmversagen und zu direkten Schäden an Bauteilen führen. Überschreitungen der Betriebslasten können zu erhöhtem Materialverschleiß führen und die Lebensdauer der Bauteile verringern. Kommt es zu Überschreitungen einzelner Auslegungswerte kann die Standorteignung ggf. durch standortspezifische Lastvergleiche nachgewiesen werden. Hierbei erfolgt ein Vergleich der standortspezifischen Lasten mit den entsprechenden Auslegungslasten der zu Grunde liegenden Typenprüfung. Kommt es zu Überschreitungen der Auslegungswerte, der Turbulenzintensität und ist ein standortspezifischer Lastvergleich nicht möglich oder fällt negativ aus, müssen Maßnahmen wie sektorielle Abschaltregelungen oder sektorielle Leistungsreduzierungen ergriffen werden. Dies bedeutet, dass z.B. Abschaltregelungen und Leistungsreduzierungen für bestimmte Windrichtungen erforderlich sind. Alternativ muss die Windenergieanlage so geplant werden, dass ein größerer Abstand zu den umliegenden

Windenergieanlagen oder Bauwerken eingehalten wird oder der geplante Anlagentyp muss geändert werden.

### Risikobewertung von Umwelteinwirkungen

Neben der Prüfung der Standorteignung muss im immissionsschutzrechtlichen Genehmigungsverfahren gemäß § 5 Abs. 1 BImSchG geprüft werden, ob schädliche Umwelteinwirkungen oder sonstige Gefahren von einer Anlage ausgehen. Hierzu wird eine Risikobeurteilung durchgeführt, in die einbezogen wird, ob sich Verkehrswege, Siedlungen, Industriegebiete oder andere Infrastrukturen in der Nähe der geplanten Anlage befinden, für die eine potenzielle Gefährdung vorliegt (siehe Abbildung 4).

Die Risikobeurteilung für Rotorblattbruch oder Turmversagen setzt sich zusammen aus einer Risikoanalyse, in der standortspezifisch die Gefährdung durch die Windenergieanlage ermittelt wird, und aus einer Risikobewertung, in der die Gefährdung anhand von Bewertungsmaßstäben eingeordnet wird (siehe Abbildung 5). Wenn ein nicht akzeptables Risiko durch die Windenergieanlage

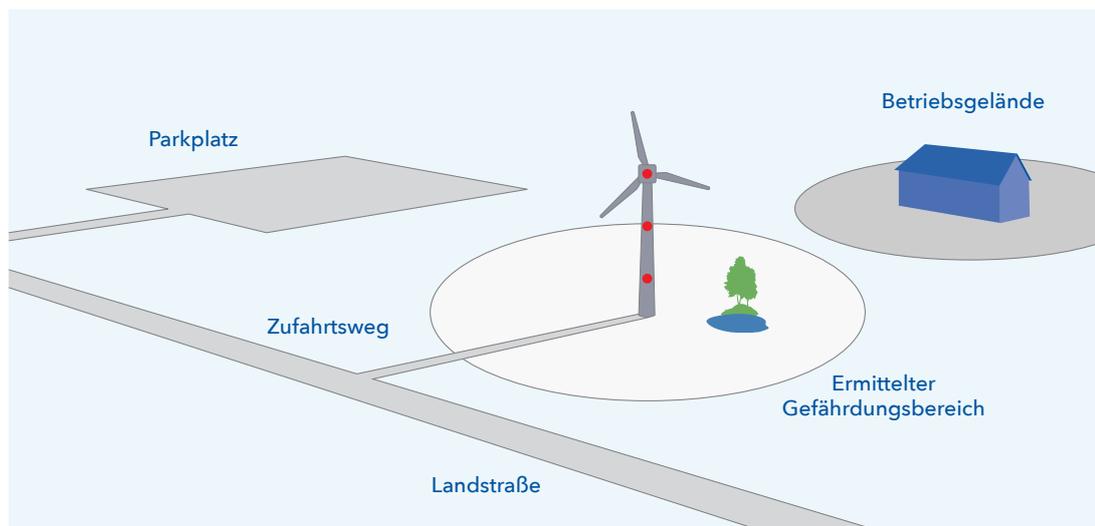


Abbildung 4: Schematische Darstellung des Gefährdungsbereichs um eine Windenergieanlage bei Turmversagen (Quelle: Eigene Darstellung nach Polster (2018)).



Abbildung 5: Schematische Darstellung von Risikoanalyse und -bewertung von Rotorbruch, Gondelabwurf und Turmversagen im Zuge des Genehmigungsverfahrens (Quelle: Eigene Darstellung nach Polster (2018)).

festgestellt wird, müssen Maßnahmen zur Risikominderung, wie etwa verkürzte Prüfungsintervalle oder technische Maßnahmen umgesetzt werden.

Anforderungen an vorgeschriebene Wiederkehrende Prüfungen (Prüfintervalle, Umfang, Dokumentation der Instandhaltungsmaßnahmen und Reparaturen) werden in den Genehmigungen für Windenergieanlagen festgeschrieben. Wiederkehrende Prüfungen umfassen in der Regel eine Grundprüfung von Turm, Maschinen und Rotorblättern (von außen und innen), eine Prüfung des Blitzschutzes und eine Inspektion des Getriebeöls. In Hessen werden nach Aussage von HessenEnergie die Betreiber in der Regel verpflichtet, die Prüfungen alle zwei Jahre durchzuführen. Werden bei den Prüfungen Standsicherheitsmängel durch den Sachverständigen festgestellt, kann dieser die sofortige Stilllegung veranlassen und/oder Maßnahmen zur Behebung der Mängel festbeschreiben.

Vor dem möglichen Weiterbetrieb einer Windenergieanlage über die Entwurfslebensdauer von in der Regel 20 Jahren

hinaus ist eine erneute unabhängige Prüfung vorgeschrieben. Im Rahmen dieser Prüfung werden alle sicherheitsrelevanten Anlagenkomponenten kontrolliert und müssen ausgetauscht werden, wenn von den Komponenten ein Sicherheitsrisiko ausgehen könnte.

## 6.3 Sicherheitskonzepte und technische Sicherheitsmaßnahmen

Sicherungssysteme, die in der Regel redundant ausgelegt werden, Monitoring-Systeme sowie regelmäßige Überprüfung und Wartung sorgen für ein geringeres Risiko durch Rotorblattbruch, Gondelabwurf und Turmversagen.

Mit Condition Monitoring Systemen (CMS), die in modernen Windenergieanlagen in der

Regel installiert sind, wird der Zustand von Rotor, Turm, Getriebe und weiteren Komponenten rund um die Uhr automatisch überwacht. Die CMS kontrollieren unter anderem Schwingungsverhalten, Körperschall, Drehzahl, Leistung, Lager- und Öltemperatur an verschiedenen Anlagenkomponenten. Die Sensoren der Systeme befinden sich an kritischen Stellen der Windenergieanlage, die besonders hohen Belastungen ausgesetzt sind. Über das Internet oder Mobilfunkverbindungen werden die Daten der Sensoren an eine Leitzentrale übertragen und dort analysiert. Auf Basis der Datenanalyse können Auffälligkeiten beim Betrieb der Komponenten – z. B. Rissentstehung, der Verschleiß von Komponenten oder die Ablösung von Kunststoffschichten (Delamination) – frühzeitig erkannt und die Windenergieanlagen umgehend abgeschaltet und vor Ort überprüft werden. Somit können die notwendigen Reparaturen durchgeführt werden, bevor es zu größeren Schäden an den Komponenten kommt.

Maßnahmen zur permanenten Zustandsüberwachung können basierend auf der standortspezifischen Risikobeurteilung im Genehmigungsverfahren auch zur Auflage gemacht werden. Viele Betreiber installieren die Systeme aber ohnehin, da sie die Instandhaltung der Windenergieanlagen vereinfachen und Ausfallzeiten minimieren.

Eine unabhängige Fertigungs- und Bauüberwachung kann außerdem dazu beitragen, das Risiko für Schäden durch Bauteilversagen deutlich zu vermindern. Die Fertigungs- und Bauüberwachung dient der Qualitätssicherung in den einzelnen Projektschritten von der Fertigung bis zur Inbetriebnahme. Sie wird in der Regel nicht im Genehmigungsverfahren zur Auflage gemacht, sondern wird auf freiwilliger Basis vom Hersteller oder Betreiber bei einem unabhängigen Dienstleister in Auftrag gegeben.

Die Präsentation zum Vortrag „Standsicherheit, Rotorblattbruch und Turmversagen“ von Dr. Monika Polster finden Sie hier:

[https://www.energieland.hessen.de/BFEH/giessen\\_o6\\_o6\\_2018/Praesentation\\_Standsicherheit\\_Rotorblattbruch\\_und\\_Turmversagen\\_Dr\\_Monika\\_Polster.pdf](https://www.energieland.hessen.de/BFEH/giessen_o6_o6_2018/Praesentation_Standsicherheit_Rotorblattbruch_und_Turmversagen_Dr_Monika_Polster.pdf)

# 7

---

Schwerpunkt:  
Austritt von  
Betriebsstoffen /  
Wasserschutz

# 7 Schwerpunkt: Austritt von Betriebsstoffen / Wasserschutz



## Auf einen Blick

Für den Betrieb von Windenergieanlagen sind je nach Typ bis zu 3.600 Liter Betriebsstoffe wie Schmieröle und Kühlflüssigkeiten notwendig. Diese gehören überwiegend der Wassergefährdungsklasse 1 (schwach wassergefährdend) an. Der Austritt der Betriebsstoffe kann durch technische Maßnahmen wirksam verhindert werden, sodass im Betrieb die Wahrscheinlichkeit für eine Abgabe an die Umwelt als sehr gering einzustufen ist. In Wasserschutzgebieten legt der Gesetzgeber besonders strenge Kriterien für die Errichtung von Windenergieanlagen an und genehmigt diese nur, wenn Gutachter belegen, dass sie gefahrlos gebaut und betrieben werden können.

Während der Errichtung von Windenergieanlagen besteht bei unsachgemäßer Handhabung oder bei Havarien - wie bei anderen Baumaßnahmen und Maschineneinsätzen auch - ein grundsätzliches Risiko für den Austritt von Betriebsstoffen. Dieses kann durch eine ökologische Baubegleitung und die Schulung von Mitarbeitern von Baufirmen zum Thema „Wasserschutz“ minimiert werden.

## 7.1 Überblick und Risikobewertung

Mit Windenergieanlagen einhergehende Umweltrisiken erstrecken sich zeitlich über die Phasen der Errichtung, des Betriebs sowie des Rückbaus der Anlagen.

Gefährdungspotenziale für das Grundwasser ergeben sich primär während der Errichtung von Anlagen durch die Bautätigkeiten und den Einsatz von Baumaschinen. Durch Baumaßnahmen kann zeitweilig die natürliche Schutzfunktion des Oberbodens unterbrochen werden. Wassergefährdende Stoffe, die bei der Erschließung der Standorte sowie beim Bau eingesetzt werden, können somit bei unsachgemäßer Handhabung oder bei Havarien leichter in den Untergrund und damit in das Grundwasser gelangen. Das

Risiko beim Windenergieanlagenbau ist dabei jedoch nicht größer als bei anderen Baumaßnahmen und Maschineneinsätzen (z.B. Autobahnbau, Brückensanierungen, forstwirtschaftlicher Wegebau, Holzernte).

Nach Expertenmeinung ist während des Betriebs der Anlagen das Risiko für eine Belastung des Grundwassers sehr gering: Im Vergleich zu anderen Industrieanlagen werden in Windenergieanlagen deutlich weniger wassergefährdende Stoffe verwendet, und der Austritt wird durch technische Maßnahmen wirksam verhindert. Belastbare Daten zur Eintrittshäufigkeit von Belastungen des Bodens oder Grundwassers durch Betriebsstoffe aus Windenergieanlagen in Deutschland liegen nicht vor, da entsprechende Zwischenfälle zwar an die zuständigen Wasserbehörden gemeldet werden müssen, nicht aber an zentraler Stelle dokumentiert werden.

Wie bereits im Kapitel Brandschutz erwähnt, werden in Windenergieanlagen Schmieröle und Hydrauliköle (insgesamt bis zu 300 Liter), Kühlflüssigkeiten (bis zu 600 Liter), Getriebeöle (je nach Modell 200 bis zu 1.200 Liter) und Transformatoröle (ca. 1.500 Liter) benötigt<sup>12</sup>, die überwiegend der Wassergefährdungsklasse 1 (schwach wassergefährdend) zugeordnet sind (siehe Tabelle 3). Technische Entwicklungen lassen es zu, dass bei neuen Windenergieanlagen tendenziell weniger wassergefährdende Betriebsstoffe eingesetzt werden als bei älteren Anlagen. Bei getriebelosen Anlagen entfällt das Getriebeöl und nur kleinere Mengen an Schmierölen werden benötigt. Damit summiert sich die Gesamtmenge von wassergefährdenden Stoffen auf bis zu 3.600 Liter bei Anlagen mit Getriebe und 2.000 bis 2.400 Liter bei getriebelosen Anlagen. Zum Vergleich: LKW und große Mähdrescher, die auch in Wasserschutzgebieten verkehren, haben ein Dieseltankvolumen von über 1.000 Litern. Diesel wird der Wassergefährdungsklasse 2 (deutlich wassergefährdend) zugeordnet. Aufgrund der Gefahr von Unfällen im Betrieb und Straßenverkehr besteht hier aus Sicht der Experten durch die Fahrzeuge ein höheres Gefährdungspotenzial als beim Betrieb von Windenergieanlagen.

## 7.2 Rechtliche Rahmenbedingungen

Grundlage für die wasserschutzrechtliche Betrachtung von Windenergieanlagen ist die bundesweit gültige „Verordnung über Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen“ (AwSV). Die Verordnung definiert drei Wassergefährdungsklassen wie folgt:

Die meisten üblicherweise in Windenergieanlagen verwendeten Betriebsstoffe fallen in die Wassergefährdungsklasse 1, vereinzelt werden aber auch Stoffe der Klasse 2 eingesetzt. Aus dem Volumen der wassergefährdenden Stoffe und der Wassergefährdungsklasse wird im Rahmen des Genehmigungsverfahrens eine Gefährdungsstufe abgeleitet. Windenergieanlagen werden dabei aufgrund der verhältnismäßig geringen Menge von belastenden Stoffen in der Regel der Gefährdungsstufe A, der geringsten Gefährdungsstufe, zugeordnet.

Unter Berücksichtigung der Gefährdungsstufe werden im Genehmigungsverfahren Anforderungen an den Betreiber formuliert.

Wassergefährdungsklasse	Definition	Beispiele
1	schwach wassergefährdend	Kühlflüssigkeiten (Wasser-Glykollgemische), Mobil SHC Gear (Getriebeöl)
2	deutlich wassergefährdend	Fuchs Gleitmo 585K (Schmierfett auf Syntheseölbasis), Diesel
3	stark wassergefährdend	Benzin, verunreinigtes Altöl

Tabelle 3: Wassergefährdungsklassen (Quelle: Eigene Darstellung nach Verordnung über AwSV).

<sup>12</sup> Niedersächsisches Ministerium für Umwelt, Energie und Klimaschutz (2016). Merkblatt: Grundwasserschutz beim Bau und Betrieb von Windenergieanlagen. Abrufbar unter: [www.umwelt.niedersachsen.de/download/112319](http://www.umwelt.niedersachsen.de/download/112319).

Die Anforderungen sind dabei grundsätzlich strenger, wenn sich eine betroffene Windenergieanlage in einem Wasserschutzgebiet befindet.

### Windenergieanlagen in Wasserschutzgebieten

In Hessen werden Windenergieanlagen in Wasserschutzgebieten nur in der Schutzzone III (sogenannte „weitere Schutzzonen“) genehmigt, nicht aber in den Schutzzonen I + II. Zur Genehmigung einer Anlage in der Schutzzone III bedarf es einer Einzelfallprüfung, in der untersucht wird, ob die Anlage gefahrlos gebaut und betrieben werden kann. Dabei werden nur Anlagen zugelassen, die mit einem Auffangraum ausgerüstet sind, der dafür geeignet ist, bei einer Störung die gesamte Menge der in der Anlage vorhandenen wassergefährdenden Stoffe aufzunehmen. In Schutzgebieten wird außerdem in der Regel eine hydrogeologische Begleitbegutachtung als Auflage der Behörde gefordert, wobei kritische Phasen des Baus durch unabhängige Sachverständige begleitet und dokumentiert werden.

Außerhalb von Wasserschutzgebieten liegt der Wasserschutz aufgrund des geringen Risikos in der Betreiberverantwortung, eine externe Prüfpflicht besteht nicht. Der Betreiber ist verpflichtet, beim Austritt von Betriebsstoffen die Polizei beziehungsweise die zuständige Wasserbehörde auf Ebene der Regierungspräsidien zu informieren und den Schadensfall anzuzeigen. Die Behörde prüft den Schadensfall und kann Auflagen für die Behebung des Schadens formulieren.

### Bauphase

Während der Errichtung von Windenergieanlagen wird der Gewässerschutz in Hessen im Rahmen der sogenannten „ökologischen Baubegleitung“ geregelt und überwacht. Die ökologische Baubegleitung ist in der Regel verbindliche Auflage für die Genehmigung und wird von unabhängigen Büros durchge-

führt, die vom Antragssteller beziehungsweise Bauherr beauftragt werden. Im Rahmen der ökologischen Baubegleitung findet ein Treffen zwischen Behörden, Antragssteller und Bauherr mit den Baufirmen statt, in dem Vorgaben für eine umweltgerechte Durchführung des Baus besprochen werden. Die Situation an den Baustellen wird von den beauftragten Büros dokumentiert und die Daten werden an die Überprüfungsbehörden weitergeleitet.

### Rückbau

Bereits im Genehmigungsverfahren werden in Hessen die Bedingungen für den Rückbau von Windenergieanlagen festgelegt. Der Antragssteller muss sich verpflichten, den Rückbau und das Recycling beziehungsweise die Entsorgung der Anlage umweltgerecht durchzuführen. Außerdem muss er bis zum Baubeginn eine unbefristete finanzielle Sicherheitsleistung für den Rückbau beim zuständigen Regierungspräsidium hinterlegen.

Um sicherzustellen, dass beim Rückbau keine belastenden Stoffe in den Boden gelangen, werden zunächst alle wassergefährdenden Stoffe aus der Anlage entfernt. Beim eigentlichen Rückbau, z.B. beim Zersägen von Rotorblättern, wird durch Maßnahmen wie die Nutzung von Planen und Zelten erreicht, dass keine belastenden Stoffe an die Umwelt abgegeben werden.

## 7.3 Sicherheitskonzepte und technische Sicherheitsmaßnahmen

Bei der Entwicklung und Konstruktion von jüngeren Anlagentypen wurde ein deutlich höheres Augenmerk auf die technischen



Abbildung 6: Externes Auffang- und Sicherungssystem für Windenergieanlagen (Quelle: Rotor-Rope GmbH).



Abbildung 7: Ausgelegte Folie zum Gewässerschutz auf Baustellen (Quelle: Grünz & Brehm (2018)).

Maßnahmen gelegt, die heute den Austritt von Betriebsstoffen wesentlich wirksamer verhindern als noch in den 1990er Jahren.

Eine Minimierung der Betriebsflüssigkeiten der Windenergieanlagen nach Menge und Wassergefährdungsklasse wird außerdem durch technische Entwicklungen ermöglicht. Ein Schritt in diese Richtung sind getriebelose Anlagen in Verbindung mit luftgekühlten Transformatoren. Für unvermeidbare Betriebsstoffe sind in allen neueren Anlagen ausreichend dimensionierte Rückhaltesysteme in der Gondel und im Turm vorhanden, die eine Ausbreitung von ausgetretenen Flüssigkeiten, z. B. beim Bruch von Ölschläuchen oder defekten Dichtungen, wirksam unterbinden können. In älteren Anlagen können auch nachträglich Auffangsysteme installiert werden (siehe Abbildung 6).

Rückschlagventile, die in neueren Windenergieanlagen Standard sind, verhindern, dass bei Schlauchbrüchen größere Mengen an Betriebsstoffen austreten können. Außerdem werden haltbarere Lackierungen verwendet,

sodass ein Auswaschen der Lacke und eine Abgabe in die Umwelt verhindert werden kann.

In der Bauphase werden Betankungseinrichtungen, Montagekräne und Hilfsaggregate auf speziell präparierten Flächen, etwa mit Folien oder Auffangwannen, platziert (siehe Abbildung 7). Auch wenn ein solches Vorgehen Standard ist und ein umweltschonendes Vorgehen in den meisten Fällen im Rahmen der ökologischen Baubegleitung bereits durch unabhängige Dienstleister kontrolliert wird (siehe oben), sehen einige Experten weiteren Bedarf in der Schulung von Mitarbeitern von Baufirmen für die Themen „Baustellenhygiene“ und „Gewässerschutz“.

Zum Abschluss der Bauphase werden die Bodenschichten wiederhergestellt, indem der Boden vor Ort verwendet wird, um die Baugrube zu schließen. Außerdem werden die Flächen begrünt. Dies trägt dazu bei, dass die natürliche Schutzfunktion des Bodens nach dem Bau weiter gegeben ist.

Die Präsentation zum Vortrag „Austritt von Betriebsstoffen/Wasserschutz“ von Thomas Grünz und Dr. Dirk Brehm finden Sie hier:

[https://www.energieland.hessen.de/BFEH/giessen\\_06\\_06\\_2018/Praesentation\\_Austritt\\_von\\_Betriebsstoffen\\_Wasserschutz\\_Thomas\\_Gruenz.pdf](https://www.energieland.hessen.de/BFEH/giessen_06_06_2018/Praesentation_Austritt_von_Betriebsstoffen_Wasserschutz_Thomas_Gruenz.pdf).

# 8

---

Schwerpunkt:  
Eiswurf und Eisfall

## 8 Schwerpunkt: Eiswurf und Eisfall



### Auf einen Blick

An Windenergieanlagen kann es grundsätzlich zur Bildung von Eis und somit zu Eiswurf beziehungsweise Eisfall kommen. Personenschäden durch diese Ereignisse sind in Deutschland bislang aber nicht bekannt. Im Genehmigungsverfahren erfolgt eine standortspezifische Risikobeurteilung, wobei betrachtet wird, ob in einem Radius um die Windenergieanlage eine potenzielle Gefährdung für Menschen oder Infrastruktur durch Eiswurf und Eisfall auftreten kann. Wenn das Risiko an einem Standort als nicht akzeptabel eingestuft wird, werden standortspezifische Maßnahmen zur Risikominderung vorgeschrieben. Hierzu zählen Kennzeichnungen von Risikobereichen sowie der Einsatz von Eiserkennungs- und Enteisungssystemen.

### 8.1 Überblick und Risikobewertung

Herrschen Temperaturen um oder unter 0°C, kann es an Windenergieanlagen zur Eisbildung kommen. Eine Vereisung der Rotorblätter tritt ein, wenn entweder unterkühlte Wassertropfen auf das Rotorblatt treffen oder die Oberflächentemperatur des Rotorblattes unterhalb des Reifpunktes liegt und Wasserdampf auf der Oberfläche zu Eis wird. Wenn Eisstücke während des laufenden Betriebs einer Anlage abgeworfen werden, bezeichnet man dies als „Eiswurf“. Wenn hingegen Eis von einer trudelnden oder stillstehenden Windenergieanlage abfällt, wird vom „Eisfall“ gesprochen. In diesem Zusammenhang spielt auch die Entwicklung zum

Bau von Windenergieanlagen mit höheren Nabenhöhen und größeren Rotorblättern eine wichtige Rolle, die bei der Bemessung der Sicherheitsabstände berücksichtigt werden muss<sup>13</sup>.

Die Flugweite von Eisstücken bei Eisfall und Eiswurf hängt von mehreren Faktoren ab (siehe Abbildung 8, Seite 30). Bei Eisfall findet aufgrund der geringen Drehzahl der Windenergieanlage eine deutliche Verschiebung der Häufigkeitsverteilung von abfallenden Eisstücken hin zum Anlagenmittelpunkt statt. Die hohen Flugweiten werden bei Eiswurf und Eisfall jedoch stark durch das Gelände und hohe Windgeschwindigkeiten beeinflusst, so dass die Unterschiede bei den maximal auftretenden Flugweiten zwischen Eiswurf und Eisfall in vielen Fällen nur gering sind.

<sup>13</sup> Siehe Kap. 4 in diesem Faktenpapier.



Abbildung 8: Bedingungen für hohe und geringe Flugweiten von Eisstücken (Quelle: Erstellt durch das Ingenieurbüro Fluid & Energy Engineering (F2E) für diese Publikation).

Derzeit gibt es keine Stelle, die eine offizielle bundesweite Statistik zu Schäden durch Eiswurf oder Eisfall von Windenergieanlagen führt. Es sind jedoch bisher keine Personenschäden durch diese Ereignisse in Deutschland dokumentiert. Vereinzelt Sachschäden, wie etwa die Beschädigung von PKW, die in der Umgebung der Anlagen parkten, wurden hingegen in Deutschland verzeichnet. Bei der Erstellung einer einheitlichen Erfassungsmethode von Schäden durch Eiswurf und Eisfall sowie der Errichtung einer zentralen Dokumentationsstelle besteht laut den Expertinnen und Experten weiterer Handlungsbedarf.

## 8.2 Rechtliche Rahmenbedingungen

Mögliche Gefährdungen durch herabfallendes Eis von Windenergieanlagen werden im Zuge des immissionsschutzrechtlichen Genehmigungsverfahrens auf Grundlage von § 6 BImSchG geprüft. Grundlage für die baurechtliche Prüfung ist die Muster-Verwaltungsvorschrift „Technische Baubestimmungen“, die eine Vielzahl technischer Regeln für die Planung, Bemessung und Konstruktion baulicher Anlagen enthält<sup>14</sup>. Verantwortlich für die Prüfung im Genehmigungsverfahren

<sup>14</sup> Deutsches Institut für Bautechnik (2017). Muster- Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen (MVV TB) (korrigierte Fassung).

sowie für die Überprüfung bei auftretendem Eiswurf sind in Hessen die Bauaufsichtsbehörden.

Mit Hilfe der sogenannten „Seifert-Formel“ (Abstand  $< 1,5 \times$  (Nabenhöhe + Rotordurchmesser))<sup>15</sup> wird ein Radius um die Windenergieanlage errechnet, in dem eine potenzielle Gefährdung durch Eiswurf auftreten kann. Mit einer Simulation des Eiswurf/-falls können genauere Aussagen darüber getroffen werden, in welchem Bereich um die Windenergieanlage Eisstücke mit welcher Häufigkeit aufschlagen (siehe Abbildung 9). Befindet sich kein schutzwürdiges Objekt wie ein Gebäude oder Verkehrsweg innerhalb des berechneten Bereiches, in dem Eisfall auftreten kann, ist in der Regel keine weitere Überprüfung im Genehmigungsverfahren nötig. Sind Schutzobjekte in diesem Bereich

vorhanden, bewertet der Sachverständige das Risiko für Sach- und Personenschäden standortspezifisch. Gleiches gilt, sofern die Windenergieanlage in einer aus Sicht der Genehmigungsbehörde besonders eisgefährdeten Region errichtet werden soll. Darüber hinaus ist eine Windenergieanlage in diesem Fall mit einem Eiserkennungssystem, das eine Abschaltung der Anlage bei Eisansatz sicherstellt, auszustatten.

Verfügt die Windenergieanlage über ein Eiserkennungssystem, untersucht der Sachverständige in der Regel das Risiko für den Eisfall bei stillstehender oder trudelnder Anlage. Verfügt die geplante Windenergieanlage nicht über ein Eiserkennungssystem, untersucht der Sachverständige im Zuge des Genehmigungsverfahrens zusätzlich das Risiko durch Eiswurf (siehe Abbildung 11).

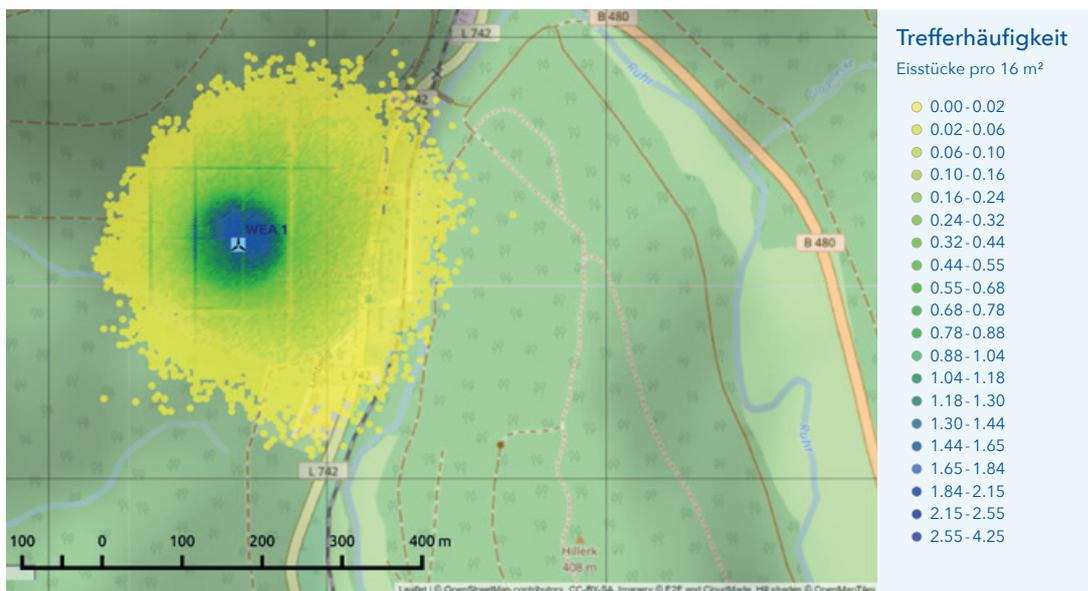


Abbildung 9: Simulation des Eisfalls bei einer Windenergieanlage (Quelle: Erstellt durch das Ingenieurbüro Fluid & Energy Engineering (F2E) für diese Publikation).

15 Seifert, H. (1999). Betrieb von Windenergieanlagen unter Vereisungsbedingungen. Ergebnisse und Empfehlungen aus einem EU-Forschungsprojekt (S. 5). St. Pölten.

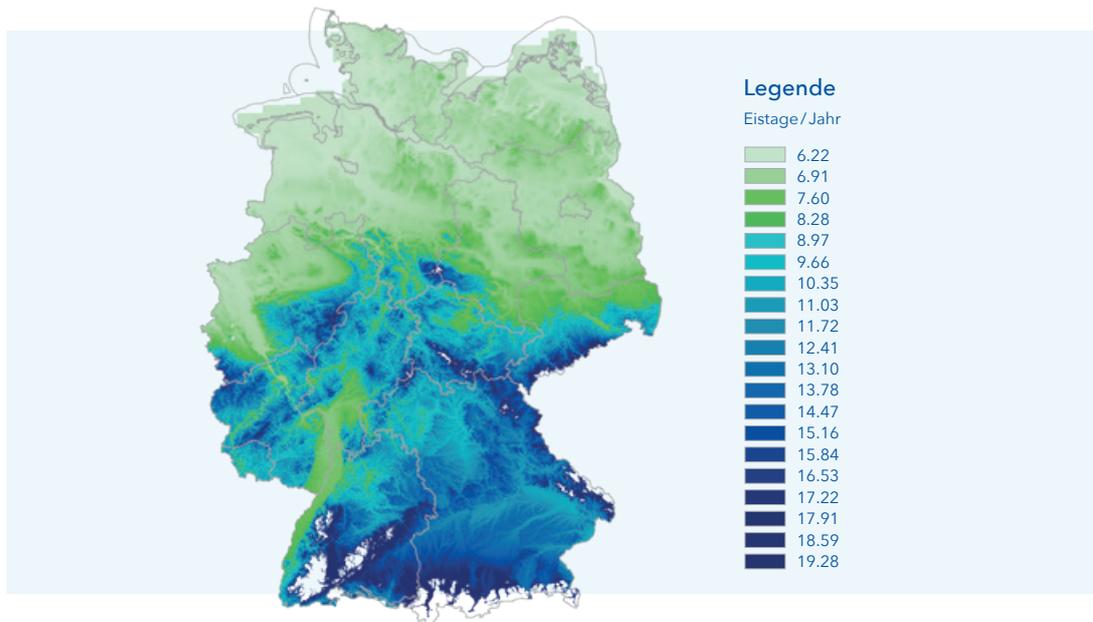


Abbildung 10: Eistage pro Jahr für Höhen bis 700m über Normal Null (Quelle: Hahm (2018)). Die Daten basieren auf einer Studie zur räumlichen Verteilung der atmosphärischen Vereisung in Deutschland (Wichura 2013)).

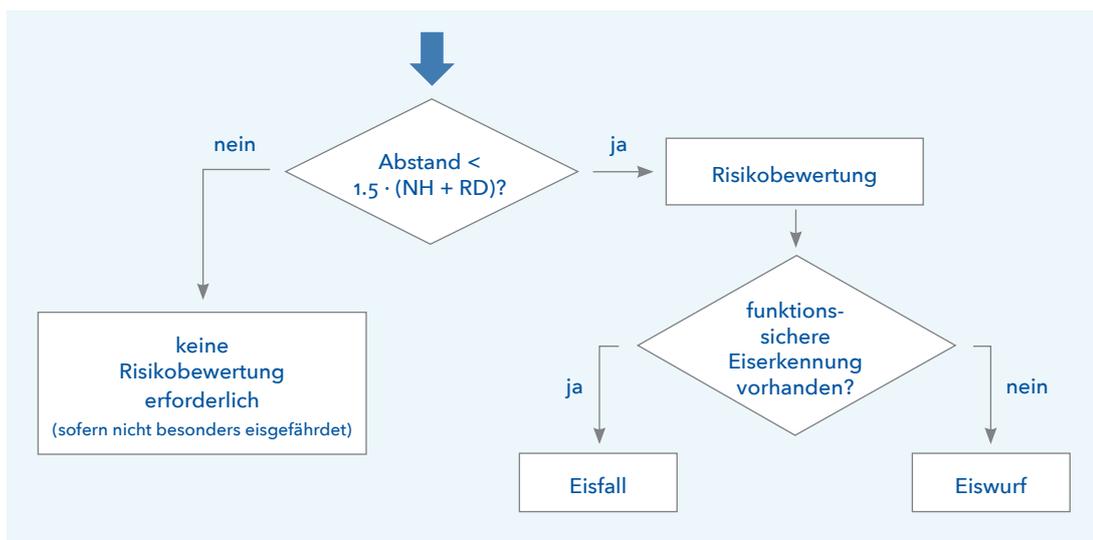


Abbildung 11: Prüfung der Erforderlichkeit einer Risikobewertung für Eiswurf (Quelle: Hahm (2018)).

Die Bewertung des Risikos durch Eiswurf und Eisfall lassen sich methodisch in die folgenden fünf Schritte einteilen:

1. Bestimmung der Anzahl der Vereisungsereignisse (siehe Abbildung 10).
2. Definition von Art und Anzahl sich lösender Eisstücke pro Vereisungsereignis.
3. Berechnung der Flugbahnen der Eisstücke.
4. Ermittlung der Schadenshäufigkeiten und Schadenshöhen für die definierten Schutzobjekte.
5. Bewertung des Risikos durch den Vergleich mit Risikogrenzwerten.

Sofern in der Risikobewertung festgestellt wird, dass das Risiko bei einem oder mehreren Schutzobjekten nicht akzeptabel ist, werden entsprechende Maßnahmen zur Risikominimierung wie eine Parallelstellung des Rotors zur Straße, zeitweise Sperrung oder Verlegung von Wegen, die Errichtung eines kleineren Anlagentyps oder die Verschiebung von Standorten der Windenergieanlagen festgelegt.

Derzeit erstellt ein Zusammenschluss von internationalen Partnern, bestehend aus Gutachterbüros, Zertifizierungsstellen sowie Windparkbetreibern und Herstellern im Auftrag der Internationalen Energieagentur (IEA) Richtlinien für die Risikobewertung von Eiswurf und Eisfall, deren Veröffentlichung gegen Ende des Jahres 2018 erwartet wird.

## 8.3 Sicherheitskonzepte und technische Sicherheitsmaßnahmen

### Eiserkennungssysteme und Rotorblattüberwachung

Zur Vermeidung von Eiswurf gibt es derzeit auf dem Markt verschiedene Eiserkennungssysteme, die im Zuge der Risikobewertung von der Genehmigungsbehörde vorgeschrieben werden können (siehe „Rechtliche Rahmenbedingungen“ in diesem Kapitel).

Die zurzeit verfügbaren Eiserkennungssysteme lassen sich in drei verschiedene Kategorien einteilen. Dabei wird Eis entweder auf Höhe der Gondel detektiert, über das ae-

rodynamische Verhalten der Windenergieanlage oder über Sensoren in den Rotorblättern. Für eine detaillierte Übersicht über die verschiedenen Eiserkennungssysteme siehe z. B. METEOTEST (2016).

Bei gondelbasierten Systemen werden entweder die vorhandenen Messinstrumente genutzt (z. B. durch den Vergleich eines beheizten und eines unbeheizten Anemometers) oder es werden zusätzliche externe Sensoren auf der Gondel installiert (z. B. Vergleich des Schwingungsverhaltens eines Drahtes, das sich bei Vereisung ändert). Bei erkannter Eisbildung wird die Anlage abgeschaltet und kann erst nach einer Sichtprüfung wieder angefahren werden. Gondelbasierte Methoden können die Vereisung nur auf Nabenhöhe feststellen. Findet eine Vereisung der Rotorblätter nur oberhalb der Nabenhöhe statt, wird diese nicht erfasst.

Eine weitere Methode der Eiserkennung basiert auf einer Überwachung des aerodynamischen Verhaltens der Anlage mit Hilfe von Betriebsdaten. Als Grundlage dienen dabei die aerodynamischen Kennwerte der Rotorblätter, die sehr empfindlich auf Veränderung durch Vereisung reagieren. Dies spiegelt sich in der Leistungskurve der Anlage wider. Auf diese Weise lässt sich eine Vereisung früh erkennen. Die Anlage reagiert und schaltet sich ab, bevor es zu einer größeren Eisbildung kommen kann. Auch hier ist eine Sichtprüfung vor dem Wiederauffahren notwendig.

Neuere Systeme zur Rotorblattüberwachung können unter anderem für die Eiserkennung eingesetzt werden und arbeiten mit Hilfe von Daten, die über Sensoren an den Rotorblättern erhoben werden. Dabei werden z. B. bestimmte Eigenfrequenzen (Schwingungen) gemessen. Wird eine Änderung der Frequenzen festgestellt, lässt dies auf Eisansatz schließen und die Anlage schaltet ab.

Diese Systeme erkennen Eis teilweise auch im Trudelbetrieb, sodass die Anlage nach dem Abtauen selbstständig wieder in Betrieb genommen werden kann, soweit dies behördlich erlaubt ist.

### Weitere Möglichkeiten und Maßnahmen zur Risikoprävention

Neben den Eiserkennungssystemen gibt es zur Risikoprävention die Möglichkeit, Windenergieanlagen mit sogenannten Enteisungssystemen auszustatten. Diese basieren auf eingebauten Rotorblattheizungen, die durch feine Heizdrähte oder warme Luftströmungen die Bildung von Eis reduzieren beziehungsweise verhindern. Da diese allerdings nicht als Sicherheitssystem, sondern in erster Linie zur Verringerung von Stillstandzeiten entworfen wurden, ist eine quantitative Bewertung im Sinne einer Risikobewertung

bei diesen Anlagen derzeit nicht gesichert möglich.

Zudem wird in der Forschung derzeit ein Fokus auf die Entwicklung von eisabweisenden Oberflächenbeschichtungen gelegt, die das Entstehen von Eispartikeln reduzieren sollen. Bei der Entwicklung dieses Systems für die Praxis sehen die Expertinnen und Experten noch erheblichen Forschungsbedarf.

Neben den technischen Komponenten werden klassische Warnzeichen und Schranken zur Sensibilisierung der Bevölkerung eingesetzt. Technisch ist es möglich, digitale Warnzeichen direkt an Eiserkennungssysteme der Windenergieanlage zu koppeln, was eine automatische Aktualisierung der Gefährdungslage durch Eiswurf und Eisfall erlaubt.

Die Präsentation zum Vortrag „Eiswurf“ von Dr. Thomas Hahm finden Sie hier:

[https://www.energieland.hessen.de/BFEH/giessen\\_06\\_06\\_2018/Praesentation\\_Eiswurf\\_Dr\\_Thomas\\_Hahm.pdf](https://www.energieland.hessen.de/BFEH/giessen_06_06_2018/Praesentation_Eiswurf_Dr_Thomas_Hahm.pdf).

# 9



## Fazit



## 9 Fazit

Der Faktencheck „Sicherheit von Windenergieanlagen“ hat gezeigt, dass Windenergieanlagen über eine vergleichsweise sichere Technik verfügen. Wie bei jeder anderen technischen Anlage kann es auch beim Bau und Betrieb von Windenergieanlagen grundsätzlich zu Zwischenfällen kommen. Dazu gehören Brände, Rotorblattbruch, Turmversagen, Eiswurf und Eisfall sowie der Austritt von Betriebsstoffen. Auch wenn es bundesweit bisher keine zentrale Datenbank gibt, in der solche Ereignisse erfasst werden, ergeben sich aus den dem Faktencheck zugrunde liegenden Zahlen keine Anhaltspunkte für entstandene Personenschäden von Dritten in Deutschland – weder bei Anwohnerinnen und Anwohnern noch bei Verkehrsteilnehmenden. Auch die durch Windenergieanlagen verursachten Sach- und Umweltschäden sind im Vergleich zu anderen technischen Einrichtungen als sehr gering einzustufen.

Die Anforderungen, die der Gesetzgeber an die Genehmigung einer Windenergieanlage hinsichtlich der im Faktencheck behandelten Schwerpunktthemen stellt, sowie die Entwicklungen im Bereich der Normung und der technischen Sicherheitsmechanismen zeigen, dass Sicherheitsaspekte bei

Windenergieanlagen verbindlicher Teil der Genehmigungspraxis sind und von allen Beteiligten ernst genommen werden.

Normen und Richtlinien, die zur Sicherheit von Windenergieanlagen beitragen, werden stetig weiterentwickelt, um den schnellen Entwicklungen der Windenergietechnik gerecht zu werden. Genehmigungsverfahren für Windenergieanlagen enthalten zahlreiche Anforderungen, um die Sicherheit der Anlagen zu gewährleisten – vom anlagenspezifischen und standortspezifischen Brandschutzkonzept bis zur ökologischen Baubegleitung und der verpflichtenden regelmäßigen Wartung und Überprüfung der Anlagen. Außerdem verfügen Windenergieanlagen über eine Reihe von technischen Sicherungs- und Monitoringsystemen, von denen viele in modernen Anlagen Standard sind.

Es besteht dennoch weiterer Entwicklungs- und Forschungsbedarf, um die Risikoprävention zu optimieren. Dies betrifft vor allem die weitere deutschlandweite Vereinheitlichung von Regelungen und Standards für Sicherheitssysteme und die behördliche Überwachung von Windenergieanlagen – vom Bau über die Betriebsphase bis zum Rückbau – sowie die systematische Sammlung und Auswertung von Daten über Schadensfälle.



# 10

---

Quellen und  
weiterführende  
Informationen



# 10 Quellen und weiterführende Informationen

## Einführung / Überblick

Agatz, M. (2017). **Windenergie Handbuch** (14. Auflage). Abrufbar unter: <http://windenergie-handbuch.de/wp-content/uploads/2018/02/Windenergie-Handbuch-2017.pdf>.

Bundesverband Windenergie: Zahlen und Fakten. **Statistische Kennziffern zur Erfolgsgeschichte Windenergie**, unter: [www.wind-energie.de/themen/zahlen-und-fakten](http://www.wind-energie.de/themen/zahlen-und-fakten) (abgerufen am 10.08.2018).

Durstewitz, M., Hahn, B., Rohrig, K. (2007). **Wissenschaftliches Mess- und Evaluierungsprogramm zur Fördermaßnahme „250 MW-Wind“: WMEP, Phase V; Abschlussbericht; Laufzeit: 01.07.2004 – 31.12.2006**. Kassel: ISET e.V. Abrufbar unter: [www.tib.eu/de/suchen/download/?tx\\_tibsearch\\_search%5Bdocid%5D=TIBKAT%3A565211730&cHash=235228e6b7c10cb0f7445cbbcc4a749e](http://www.tib.eu/de/suchen/download/?tx_tibsearch_search%5Bdocid%5D=TIBKAT%3A565211730&cHash=235228e6b7c10cb0f7445cbbcc4a749e).

Europäische Normungskommission (CENELEC), **Zugang zu diversen Normen und Richtlinien zur Windenergie** unter [www.cenelec.eu](http://www.cenelec.eu).

Fraunhofer IEE (o. J). **Störungsursachen**, unter: [http://windmonitor.iee.fraunhofer.de/windmonitor\\_de/3\\_Onshore/4\\_zuverlaessigkeit/1\\_stoerungsursachen/index.html](http://windmonitor.iee.fraunhofer.de/windmonitor_de/3_Onshore/4_zuverlaessigkeit/1_stoerungsursachen/index.html) (abgerufen am 10.08.2018).

Hessisches Ministerium für Umwelt, Klimaschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (2015). **Genehmigungsverfahren nach dem Bundes-Immissionsschutzgesetz. Anleitung zur Erstellung der Antragsunterlagen für Windenergieanlagen**. Abrufbar unter: [https://www.hlnug.de/fileadmin/downloads/luft/Anleitung\\_Antragsunterlagen\\_Windenergieanlagen\\_Mai\\_2015.pdf](https://www.hlnug.de/fileadmin/downloads/luft/Anleitung_Antragsunterlagen_Windenergieanlagen_Mai_2015.pdf).

Hessisches Ministerium für Wirtschaft, Energie, Verkehr und Landesentwicklung (2015). **Windenergie in Hessen. Von den Beschlüssen des Energiegipfels zur konkreten Umsetzung vor Ort**. Abrufbar unter: [www.energieland.hessen.de/pdf/Windenergie\\_in\\_Hessen\\_2015.pdf](http://www.energieland.hessen.de/pdf/Windenergie_in_Hessen_2015.pdf).

Internationale Elektrotechnische Kommission (IEC), **Zugang zu diversen Normen und Richtlinien zur Windenergie** unter [www.iec.ch](http://www.iec.ch).

Seifert, H. (2018). **Betriebsweisen, technische Entwicklungen, normative Grundlagen – Wie sicher sind unsere Windenergieanlagen?** (Präsentation beim „Faktencheck Sicherheit“, Gießen, 06.06.2018). Abrufbar unter: [www.energieland.hessen.de/BFEH/giessen\\_06\\_06\\_2018/Einfuehrungspraesentation\\_Prof\\_Dipl\\_Ing\\_Henry\\_Seifert.pdf](http://www.energieland.hessen.de/BFEH/giessen_06_06_2018/Einfuehrungspraesentation_Prof_Dipl_Ing_Henry_Seifert.pdf).

## Brandschutz

**Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG)**, Ausfertigungsdatum: 15.03.1974, neugefasst durch Bek. V. 17.05.2013 I 1274, zuletzt geändert durch Art. 76 V v. 31.08.2015 I 1474. Abrufbar unter: [www.gesetze-im-internet.de/bimschg/BJNR007210974.html](http://www.gesetze-im-internet.de/bimschg/BJNR007210974.html).

Fachausschuss Brandschutz beim Hessischen Ministerium des Innern und für Sport (2013). **Merkblatt: Windenergieanlagen. Hinweise für Planung und Ausführung**. Abrufbar unter: [https://innen.hessen.de/sites/default/files/media/merkblatt\\_windenergieanlagen-130301.pdf](https://innen.hessen.de/sites/default/files/media/merkblatt_windenergieanlagen-130301.pdf).

Gesamtverband der deutschen Versicherungswirtschaft e.V. (GDV) (2008). **Windenergieanlagen (WEA). Leitfaden für den Brandschutz**. Köln: VdS Verlag. Abrufbar unter: <https://shop.vds.de/de/download/df2cbc28e740b70d2f64be4233f7cec5/>.

**Hessische Bauordnung (HBO)**, Stand 15.01.2011 (GVBl. S. 46,180), zuletzt geändert durch Art. 40 des Gesetzes vom 13.12.2012 (GVBl. I S. 622). Abrufbar unter: [www.akh.de/fileadmin/download/Recht/Gesetze/HBO/HBO\\_mit\\_Anlagen\\_.pdf](http://www.akh.de/fileadmin/download/Recht/Gesetze/HBO/HBO_mit_Anlagen_.pdf).

Lettmann, A., Sesselmann, J., Kawohl, A. (2018). **Brandschutztechnische Risikobewertung von Onshore-Windenergieanlagen**. Stahlbau, 87 (1), S. 10-16. Abrufbar unter: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/stab.201810552>.

Vogt, M. (2015). **Brandschutz an Windenergieanlagen. Stand der Technik und Erfahrungen aus der Praxis (Präsentation)**. Abrufbar unter: [www.naturschutzstandards-wind-im-wald.de/images/stories/09\\_Vogt\\_05\\_02\\_2015.pdf](http://www.naturschutzstandards-wind-im-wald.de/images/stories/09_Vogt_05_02_2015.pdf).

Lettmann, A. (2018), **Brandschutz** (Präsentation beim „Faktencheck Sicherheit“, Gießen, 06.06.2018). Abrufbar unter: [www.energieland.hessen.de/BFEH/giesen\\_06\\_06\\_2018/180719\\_WEA\\_Faktencheck\\_Brandschutz-Lettmann.pdf](http://www.energieland.hessen.de/BFEH/giesen_06_06_2018/180719_WEA_Faktencheck_Brandschutz-Lettmann.pdf).

## Rotorblattbruch, Gondelabwurf und Turmversagen

Andre, K. (2017). **Stand sicherheitsprüfung von Windenergieanlagen**. Abrufbar unter: [www.energiedialog.nrw.de/standsicherheitspruefung-von-windenergieanlagen/](http://www.energiedialog.nrw.de/standsicherheitspruefung-von-windenergieanlagen/).

Deutsches Institut für Bautechnik (2015). **Richtlinie für Windenergieanlagen - Einwirkungen und Standsicherheitsnachweise für Turm und Gründung** (korrigierte Fassung). Abrufbar unter: [www.dibt.de/de/fachbereiche/data/18\\_Richtlinie\\_Windenergieanlagen.pdf](http://www.dibt.de/de/fachbereiche/data/18_Richtlinie_Windenergieanlagen.pdf).

Deutsches Institut für Bautechnik (2015). **Musterliste der technischen Baubestimmungen**. Abrufbar unter: [www.dibt.de/de/geschaeftsfelder/data/p5\\_musterliste\\_der\\_technischen\\_baubestimmungen\\_juni\\_2015.pdf](http://www.dibt.de/de/geschaeftsfelder/data/p5_musterliste_der_technischen_baubestimmungen_juni_2015.pdf)

Deutsches Institut für Bautechnik (2017). **Muster-Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen (MVV TB) (korrigierte Fassung)**. Abrufbar unter: [www.dibt.de/de/geschaeftsfelder/data/MVV\\_TB.pdf](http://www.dibt.de/de/geschaeftsfelder/data/MVV_TB.pdf).

Hahm, T. (2014). **Standorteignung nach DIBt 2012 - Neue Herausforderungen für das Genehmigungsverfahren?** Abrufbar unter: [https://f2e.de/files/public/f2e\\_dibt2012\\_2014.pdf](https://f2e.de/files/public/f2e_dibt2012_2014.pdf).

Goralski, C. (2018). **Allgemeine Risiken, Standsicherheit von WEA, Typenprüfung** (Präsentation bei der Fortbildung „Windenergieanlagen und Technik“, Frankfurt am Main, 12.06.2018). Abrufbar unter: [www.energieland.hessen.de/infomaterial/windenergie/Allgemeine-Risiken\\_Standsicherheit-von-WEA\\_Typenpruefung.pdf](http://www.energieland.hessen.de/infomaterial/windenergie/Allgemeine-Risiken_Standsicherheit-von-WEA_Typenpruefung.pdf).

Polster, M. (2018). **Standsicherheit, Rotorblattbruch und Turmversagen** (Präsentation beim „Faktencheck Sicherheit“, Gießen, 06.06.2018). Abrufbar unter: [www.energieland.hessen.de/BFEH/giessen\\_06\\_06\\_2018/Praesentation\\_Standsicherheit\\_Rotorblattbruch\\_und\\_Turmversagen\\_Dr\\_Monika\\_Polster.pdf](http://www.energieland.hessen.de/BFEH/giessen_06_06_2018/Praesentation_Standsicherheit_Rotorblattbruch_und_Turmversagen_Dr_Monika_Polster.pdf).

Röglin, O. (2017). **Standorteignung von WEA - Was gibt es Neues?** (Präsentation 26. Windenergietag, Rostock-Warnemünde, 09.11.2017). Abrufbar unter: [http://spreewind.de/windenergietag/wp-content/uploads/sites/4/2017/11/26WT0911\\_F10\\_0935\\_TUEV\\_Nord\\_Standorteignung.pdf](http://spreewind.de/windenergietag/wp-content/uploads/sites/4/2017/11/26WT0911_F10_0935_TUEV_Nord_Standorteignung.pdf).

## Austritt von Betriebsstoffen / Wasserschutz

Bayerisches Landesamt für Umwelt (2012). **Merkblatt: Trinkwasserschutz bei Planung und Errichtung von Windkraftanlagen** (Nr. 1.2/8). Abrufbar unter: [www.lfu.bayern.de/wasser/merkblattsammlung/teil1\\_grundwasserwirtschaft/doc/nr\\_128.pdf](http://www.lfu.bayern.de/wasser/merkblattsammlung/teil1_grundwasserwirtschaft/doc/nr_128.pdf).

Dachverband der deutschen Natur- und Umweltschutzverbände (DNR) e. V. (2012). **Grundlagenarbeit für eine Informationskampagne „Umwelt- und naturverträgliche Windenergienutzung in Deutschland (onshore)“**. Abrufbar unter: [www.lubw.baden-wuerttemberg.de/documents/10184/61110/Windkraft-Grundlagenanalyse-2012.pdf/656de075-a3d2-4387-aa30-7ec481c46c5c](http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/documents/10184/61110/Windkraft-Grundlagenanalyse-2012.pdf/656de075-a3d2-4387-aa30-7ec481c46c5c).

Grünz, T., Brehm, D. (2018). **Austritt von Betriebsstoffen / Wasserschutz** (Präsentation beim „Faktencheck Sicherheit“, Gießen, 06.06.2018). Abrufbar unter: [www.energieland.hessen.de/BFEH/giessen\\_06\\_06\\_2018/Praesentation\\_Austritt\\_von\\_Betriebsstoffen\\_Wasserschutz\\_Thomas\\_Gruenz.pdf](http://www.energieland.hessen.de/BFEH/giessen_06_06_2018/Praesentation_Austritt_von_Betriebsstoffen_Wasserschutz_Thomas_Gruenz.pdf).

Hessischer Landtag (2015). **Antwort auf Kleine Anfrage des Abg. Rock vom 25.03.2015 betreffend Trinkwasserschutz bei der Genehmigung von Windkraftanlagen** (Drucksache 19/1798). Abrufbar unter: <http://starweb.hessen.de/cache/DRS/19/8/01798.pdf>.

Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft, Ernährung, Weinbau und Forsten Rheinland-Pfalz (2013). **Leitfaden: Bau und Betrieb von Windenergieanlagen in Wasserschutzgebieten.** Abrufbar unter: [https://mueef.rlp.de/fileadmin/mulewf/Publikationen/Leitfaden\\_Bau\\_und\\_Betrieb\\_von\\_Windenergieanlagen\\_in\\_Wasserschutzgebieten.pdf](https://mueef.rlp.de/fileadmin/mulewf/Publikationen/Leitfaden_Bau_und_Betrieb_von_Windenergieanlagen_in_Wasserschutzgebieten.pdf).

Niedersächsisches Ministerium für Umwelt, Energie und Klimaschutz (2016). **Merkblatt: Grundwasserschutz beim Bau und Betrieb von Windenergieanlagen.** Abrufbar unter: [www.umwelt.niedersachsen.de/download/112319](http://www.umwelt.niedersachsen.de/download/112319).

**Verordnung über Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen vom 18. April 2017** (BGBl. I S. 905). Abrufbar unter: [www.gesetze-im-internet.de/awsv/AwSV.pdf](http://www.gesetze-im-internet.de/awsv/AwSV.pdf).

## Eiswurf und Eisfall

**Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG)**, Ausfertigungsdatum: 15.03.1974, neugefasst durch Bek. V. 17.05.2013 I 1274, zuletzt geändert durch Art. 76 V v. 31.08.2015 I 1474. Abrufbar unter: [www.gesetze-im-internet.de/bimschg/BJNR007210974.html](http://www.gesetze-im-internet.de/bimschg/BJNR007210974.html).

Deutsches Institut für Bautechnik (2017). **Muster-Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen (MVV TB)** (korrigierte Fassung). Abrufbar unter: [www.dibt.de/de/geschaeftsfelder/data/MVV\\_TB.pdf](http://www.dibt.de/de/geschaeftsfelder/data/MVV_TB.pdf).

Hahm, T. (2018). **Eiswurf** (Präsentation beim „Faktencheck Sicherheit“, Gießen, 06.06.2018). Abrufbar unter: [www.energieland.hessen.de/BFEH/giessen\\_06\\_06\\_2018/Praesentation\\_Eiswurf\\_Dr\\_Thomas\\_Hahm.pdf](http://www.energieland.hessen.de/BFEH/giessen_06_06_2018/Praesentation_Eiswurf_Dr_Thomas_Hahm.pdf).

**Hessische Bauordnung (HBO)**, Stand 15.01.2011 (GVBl. S. 46,180), zuletzt geändert durch Art. 40 des Gesetzes vom 13.12.2012 (GVBl. I S. 622). Abrufbar unter: [www.akh.de/fileadmin/download/Recht/Gesetze/HBO/HBO\\_mit\\_Anlagen.pdf](http://www.akh.de/fileadmin/download/Recht/Gesetze/HBO/HBO_mit_Anlagen.pdf).

Hoffmann, A., Unger, M. (2018). **Informationen zum Thema Eiswurf und Eisfall** (Präsentation des TÜV SÜD Industrie Service bei der Fortbildung „Windenergieanlagen und Technik“, Frankfurt am Main, 12.06.2018). Abrufbar unter: [www.energieland.hessen.de/infomaterial/windenergietechnik/Berechnungsmodell\\_Eiswurfgutachten-und-Risikobewertung-von-Eisfall.pdf](http://www.energieland.hessen.de/infomaterial/windenergietechnik/Berechnungsmodell_Eiswurfgutachten-und-Risikobewertung-von-Eisfall.pdf).

METEOTEST (2016), **Evaluation of ice detection systems for wind turbines, final report, VGB Research Project No. 392**, Bern 2016. Abrufbar unter: [www.vgb.org/vgbmultimedia/392\\_Final+report-p-10476.pdf](http://www.vgb.org/vgbmultimedia/392_Final+report-p-10476.pdf).

Ronsten, G. et al (2012). **IEA Wind Task 19. State-of-the-Art of Wind Energy in Cold Climates. VTT Working Papers, 152.**

Seifert, H. (1999). **Betrieb von Windenergieanlagen unter Vereisungsbedingungen. Ergebnisse und Empfehlungen aus einem EU-Forschungsprojekt.** St. Pölten. Abrufbar unter: [www.dewi.de/dewi/fileadmin/pdf/publications/Publikations/seifert\\_vereisung\\_stpoelten\\_1999.pdf](http://www.dewi.de/dewi/fileadmin/pdf/publications/Publikations/seifert_vereisung_stpoelten_1999.pdf).

Trockel, S. (2017). **Windenergieanlagen und die Gefahr durch Eiswurf**. Abrufbar unter: [www.energiedialog.nrw.de/windenergieanlagen-und-die-gefahr-durch-eiswurf/](http://www.energiedialog.nrw.de/windenergieanlagen-und-die-gefahr-durch-eiswurf/).

TÜV NORD (2015). **Windenergie. Risikobeurteilung für Windenergieanlagen. Windverhältnisse unter Vereisungsbedingungen** (Präsentation). Abrufbar unter: [http://archiv.windenergietag.de/WT24/24WT12\\_F5\\_1225\\_TUEV\\_NORD.pdf](http://archiv.windenergietag.de/WT24/24WT12_F5_1225_TUEV_NORD.pdf).

## **Herausgeber**

HA Hessen Agentur GmbH – Hessische LandesEnergieAgentur im Auftrag des Hessischen Ministeriums für Wirtschaft, Energie, Verkehr und Landesentwicklung

**Stand:** Oktober 2018

**Redaktion:** IFOK GmbH

**Gestaltung:** Clara Riedel

## **Bildnachweise**

© Roland Grün

Außer: Seite 2, 3: © wajan / fotolia.com, ; Abbildung 2, S. 13: © Freiwillige Feuerwehr Frankenhain-Frohburg; Abbildung 6, S. 27: © Rotor-Rope GmbH; Abbildung 7, S.27: © Büro für Geohydrologie und Umweltinformationssysteme; Abbildungen 8, 9, 10 und 11, S. 30, S. 31, und S. 32: © Fluid & Energy Engineering (F2E), © OpenStreetMap.



### Ihr Ansprechpartner

Dr. Rainer Kaps  
Hessische Landesenergieagentur  
HA Hessen Agentur GmbH  
Konradinallee 9  
65189 Wiesbaden

Telefon: +49 611 / 95017-8471  
E-Mail: [Rainer.Kaps@hessen-agentur.de](mailto:Rainer.Kaps@hessen-agentur.de)

