

Windenergie im Fokus

Umweltauswirkungen von Windenergieanlagen

Stand Juni 2024



1. Warum werden Windenergieanlagen im Süden Deutschlands gebaut? Lohnt sich das überhaupt?	3
2. China stößt weltweit am meisten Treibhausgas aus. Sollte dann nicht China erst mal etwas tun?... 4	4
3. Wie sieht die Energiebilanz einer Windenergieanlage aus?	6
a) Wie viel CO ₂ entsteht bei der Herstellung und dem Bau einer Windenergieanlage?.....	6
b) Wie hoch ist der CO ₂ Ausstoß während des Betriebs?	6
c) Ist die Kohlenstoffbindungskapazität des Waldes nicht viel höher als die durch den Betrieb von Windenergieanlagen vermiedene CO ₂ -Menge?.....	7
4. Warum werden Windräder im Wald gebaut, wenn es ausreichend andere Flächen gibt?	8
5. Wie viel Fläche wird für den Bau einer Windenergieanlage benötigt?.....	9
a) Am Standort	9
b) Bezogen auf die Fläche Deutschlands.....	9
6. Können Windräder nach dem Rückbau recycelt werden?.....	10
7. In Windrädern wird teilweise SF ₆ als Isoliergas verwendet. Werden sie damit zum Treiber des Klimawandels?.....	11
8. Wird durch Erosion an den Rotoren Mikroplastik in die Umwelt freigesetzt?	12
9. Werden in Windrädern Tropenhölzer (Balsaholz) verbaut?	14
10. Welche Auswirkungen können sich durch den Bau und Betrieb von WEA auf das Grundwasser ergeben?.....	14
a) Wasserschutzgebiete und Vorranggebiete zur Sicherung von Grundwasservorkommen	15
b) Wassergefährdende Stoffe.....	15
c) Havarien.....	16
11. Wie sieht die Brandgefahr bei Windrädern aus?	16
12. Beeinflussen Windräder das Klima?	17
14. Wirken sich Rodungen im Wald für Windräder negativ auf das Waldinnenklima aus?	18
15. Wo bleibt der Artenschutz?	19
a) Welche Arten sind besonders windenergiesensibel und was ist notwendig, damit der Artenschutz nicht unter die (Wind)Räder kommt?.....	19
b) Führen Windenergieanlagen zu einer Störung von Wildkatze und Co.?	20
c) Haben Windräder eine Mitschuld am Insektenstreben?	21
16. Wie wird der Eingriff in die Natur durch den Bau einer Windenergieanlage ausgeglichen?.....	22
Impressum.....	24

Ein umfassender und schneller Ausbau der Erneuerbaren Energien ist essenziell für die Erreichung der Klimaziele. Doch immer öfter werden Stimmen laut, die Argumente gegen die Erneuerbaren, speziell gegen die Windenergie vorbringen. Diesen ist das Dialogforum Energiewende und Naturschutz auf den Grund gegangen und hofft, mit den folgenden FAQs die Diskussion zu versachlichen. Einbezogen wurde der aktuelle Forschungsstand bis Juni 2024.

1. Warum werden Windenergieanlagen im Süden Deutschlands gebaut? Lohnt sich das überhaupt?

Kurzfassung: Auch in Süddeutschland weht an vielen Orten in entsprechender Höhe genügend Wind, um rentabel Windstrom zu erzeugen. Ermöglicht wird dies auch durch den technischen Fortschritt mit höheren Türmen, größeren Rotoren und dahingehend auch größer Anlagenleistung. Außerdem ist es vorteilhaft, wenn Windenergie geographisch verteilt erzeugt wird. Dies führt trotz witterungsbedingten Schwankungen zu einer stetigeren Einspeisung von Windstrom und reduziert die Anforderungen an Netz- und Speicherausbau. Auch Transportverluste in Hochspannungsleitungen, die bei der Beförderung von Windstrom von der Küste in den Süden entstehen (bis zu 10 %¹), können so minimiert werden.

Bis 2030 sollen 80 Prozent des in Deutschland verbrauchten Stroms aus erneuerbaren Quellen stammen, um bis 2045 Treibhausgasneutralität zu erreichen.² Entsprechend hat die Bundesregierung ihre Ausbauziele im Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) deutlich angehoben. Mit dem Wind-an-Land-Gesetz sind die Länder darüber hinaus dazu verpflichtet, bis Ende 2032 einen festgelegten Prozentsatz ihrer jeweiligen Landesfläche für Windenergie auszuweisen. Dabei werden Länder mit vielen windreichen Flächen stärker in die Pflicht genommen. Baden-Württemberg muss 1,8 % seiner Landesfläche für die Windenergie ausweisen. Wo genau sich diese Flächen befinden, soll auf regionaler Ebene und unter Berücksichtigung von räumlichen Ordnungen, Windbedingungen, sowie Natur- und Artenschutz festgelegt werden.³ Fakt ist, jedes Bundesland (egal ob Norden oder Süden) muss sich an dem Ausbau der Erneuerbaren Energien und damit auch der Windenergie beteiligen, um die Klimaziele erreichen zu können.

Eine Studie des Fraunhofer IEE Institutes zeigt, dass es im Hinblick auf das Flächenpotenzial für Windenergie zwar deutliche Unterschiede zwischen den einzelnen Bundesländern gibt, jedoch alle (Flächen-)Bundesländer das Flächenausweisungsziel erreichen können.⁴ Eine Studie des BUND Baden-Württemberg hat darüber hinaus das Potenzial der einzelnen Regionen innerhalb des Bundeslandes analysiert. Die Ausarbeitungen machen deutlich, dass insbesondere die Regionen Heilbronn-Franken, Donau-Iller und Nordschwarzwald über große Windausbau-Potenziale verfügen.⁵

¹ <https://www.buergerdialog-stromnetz.de/frage/transportverluste/>

² <https://www.bundesregierung.de/breg-de/schwerpunkte/klimaschutz/novelle-eeg-gesetz-2023-2023972>

³ <https://www.bundesregierung.de/breg-de/schwerpunkte/klimaschutz/wind-an-land-gesetz-2052764>

⁴ Dr. Carsten Pape et al. (Fraunhofer- Institut für Energiewirtschaft und Energiesystemtechnik IEE), (2022). Flächenpotenziale der Windenergie an Land 2022: https://www.wind-energie.de/fileadmin/redaktion/dokumente/publikationen-oeffentlich/themen/01-mensch-und-umwelt/02-planung/20220920_BWE_Flaechenpotentiale_Windenergie_an_Land.pdf

⁵ BUND, (2023). [Klimaneutrales Baden-Württemberg - der Beitrag seiner zwölf Regionen](#)

Moderne Anlagentechnik mit größeren Rotordurchmessern und zunehmender Nabenhöhe ermöglichen auch an Standorten in der Mitte und im Süden Deutschlands sehr gute Erträge. Durch technologischen Fortschritt können so Erträge erzielt werden, die zu Beginn nur an exponierten Berggipfeln oder Küstenregionen möglich waren.⁶

Und auch finanziell zahlt sich Windenergie aus: Die Produktionskosten von Strom aus Windenergieanlagen liegen zwischen 3,94 und 8,29 € Cent pro kWh, was die Windenergie zusammen mit der Photovoltaik zu den günstigsten Erzeugungstechnologien macht. Neue konventionelle Kraftwerke in Deutschland können selbst unter Berücksichtigung höherer CO₂-Preise nicht unter Stromgestehungskosten von 7,79€ Cent pro kWh produzieren. Hierbei sind die Schadenskosten für die Umwelt noch nicht berücksichtigt.⁷

Weiterführende Informationen:

Fraunhofer IEE, (2022). [Flächenpotenziale der Windenergie an Land](#)

Die Bundesregierung, (2023). [Erneuerbare-Energien-Gesetz](#)

Die Bundesregierung, (2023). [Wind-an-Land-Gesetz](#)

BUND, (2023). [Klimaneutrales Baden-Württemberg - der Beitrag seiner zwölf Regionen](#)

2. China stößt weltweit am meisten Treibhausgas aus. Sollte dann nicht China erst mal etwas tun?

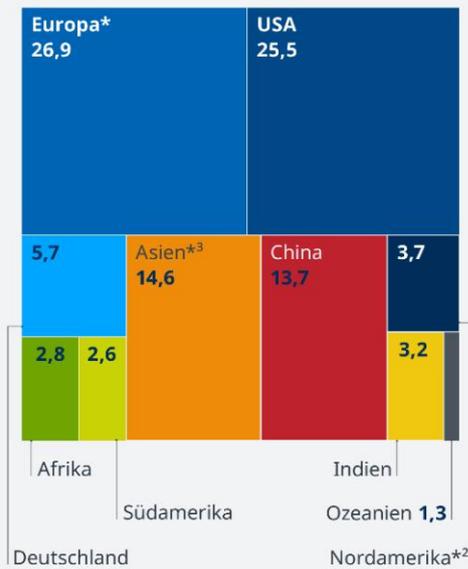
Kurzfassung: Kein Land kann alleine die Klimakatastrophe bekämpfen. China stößt zwar in der Gesamtbetrachtung als Land die meisten Treibhausgasemissionen aus. Bei den heruntergebrochenen Emissionen pro Kopf rangiert das Land aber auf demselben Platz wie Deutschland.

6 <https://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/erneuerbare-energien/einfuehrung>

7 Studie zu Stromgestehungskosten: Erneuerbare Energien aufgrund steigender CO₂-Kosten den konventionellen Kraftwerken deutlich überlegen - Fraunhofer ISE: <https://www.ise.fraunhofer.de/de/presse-und-medien/presseinformationen/2021/studie-zu-stromgestehungskosten-erneuerbare-energien-aufgrund-steigender-co2-kosten-den-konventionellen-kraftwerken-deutlich-ueberlegen.html>

Anteil an sämtlichen CO₂-Emissionen 1750–2019

in Prozent



CO₂-Ausstoß durch fossile Brennstoffe und Zementherstellung. Nicht enthalten ist Kohlendioxid, das ausgestoßen wird, wenn sich die Landnutzung ändert.

Abbildung 1: Anteil an CO₂-Emissionen (Deutsche Welle, 2021)

zu den exportstärksten Ländern der Welt, und auch in Deutschland werden viele Produkte verkauft, die in China hergestellt wurden. Die Treibhausgase, die bei deren Herstellung ausgestoßen wurden, werden dabei China zugeschrieben, nicht Deutschland. Wir sollten uns demzufolge fragen, ob bei der Debatte um die Emissionen wirklich die Betrachtung des einzelnen Nationalstaates die richtige Herangehensweise ist: Durch die Globalisierung verschwimmen die Grenzen.

Ganz klar ist, dass China genauso wie Deutschland und alle anderen führenden Industrienationen Verantwortung übernehmen muss, wenn es um die Bekämpfung des Klimawandels geht. Zwischen 2020 und 2022 baute China jährlich Erneuerbaren-Kraftwerke mit 140 Gigawatt Kapazität dazu. Das ist mehr als die gesamte EU, die USA und Indien zusammen.

Auch interessant:

Oft wird das Argument angebracht, dass Deutschland „nur“ 2% der weltweiten Treibhausgasemissionen ausstößt und demnach „unsere Emissionen gar nicht so groß ins Gewicht fallen“. Jedoch gibt es weltweit nur **5 Länder**⁹, die einen noch höheren CO₂-Ausstoß haben. 189 der 195 Länder könnten also mit Deutschland gemeinsam dieses Spiel spielen und sich darauf ausruhen, dass Länder mit einer recht großen Bevölkerung eben auch mehr CO₂-Emissionen verursachen. Unter diesen 189 Ländern wären alle Staaten Südamerikas, ganz Afrika, ganz Europa und weitere Staaten mit

China hat im Jahr 2022 knapp 11,5 Milliarden Tonnen CO₂ ausgestoßen und rangiert damit auf Platz 1 der weltweit größten Emittenten von Treibhausgasen.⁸ Insgesamt bläst China damit knapp 1/3 der weltweiten Treibhausgasemissionen in die Luft. Es liegt also nahe, mit dem Zeigefinger auf China zu zeigen und das Land als Haupttreiber der Klimakatastrophe zu betrachten.

Neben den Gesamtemissionen müssen aber auch die Emissionen pro Kopf in die Betrachtung mit einbezogen werden. Hierbei führt der Golfstaat Katar (37,6 t pro Kopf) die Liste an. China und Deutschland liegen beide mit 8 t pro Kopf auf Platz 35 und 36.²⁵

Als dritten Punkt muss zur Gesamtbetrachtung der Fakt einbezogen werden, dass Treibhausgase meist eine sehr lange Verweildauer in der Atmosphäre haben. Demzufolge sind also auch die historischen Emissionen von Bedeutung. Ein Blick auf die Grafik macht klar, dass China bei der historischen Gesamtbetrachtung hinter Europa und den USA weit zurückliegt.

Neben den reinen Emissionen gilt es ebenfalls, einen Blick auf den globalen Handel zu werfen. China zählt

8 <https://ourworldindata.org/co2-emissions#co2-emissions-by-region>

9 <https://ourworldindata.org/co2-emissions#annual-co2-emissions>

recht hohen Pro-Kopf-Emissionen wie Australien, Kanada und Saudi-Arabien.
(Danke an den Twitter-User Jan Hegenberg für die Recherche!¹⁰)

Our World in Data, (2024). <https://ourworldindata.org/co2-emissions#annual-co2-emissions>

3. Wie sieht die Energiebilanz einer Windenergieanlage aus?

Kurzfassung: Eine Windenergieanlage benötigt, je nach Standort und Anlagentyp, drei bis fünf Monate für die energetische Amortisation¹¹. Amortisation gibt die Zeit an, die eine Anlage (bspw. Windenergie- oder PV- Anlage) braucht, bis die zu ihrer Herstellung benötigte Energie durch die Anlage selbst wieder erzeugt ist.

a) Wie viel CO₂ entsteht bei der Herstellung und dem Bau einer Windenergieanlage?

Windenergieanlagen setzen keine Treibhausgase auf direktem Wege frei, aber bei der Herstellung ihrer Komponenten aus Beton, Stahl, Verbundwerkstoffen und elektrischen Anlagenteilen wird Energie benötigt, wodurch CO₂ und andere Treibhausgase direkt freigesetzt werden. Das Umweltbundesamt berechnet 763 Tonnen sogenannter CO₂-Äquivalente pro Megawatt Anlagenleistung¹². Die Herstellung einer heutigen Windenergieanlage mit sieben Megawatt führt dementsprechend zu Emissionen von 5.341 Tonnen CO₂-Äquivalenten. An einem Schwachwindstandort entstehen über die gesamte Lebensdauer einer Anlage 10,6 Gramm CO₂-Äquivalente pro Kilowattstunde erzeugtem Strom.¹³ Jedoch tragen Windenergieanlagen durch die erzeugte Energie zur Vermeidung von CO₂-Emissionen an anderer Stelle bei: Jede erzeugte Kilowattstunde, die nicht aus fossilen Brennstoffen stammt, führt zur Einsparung von Treibhausgasen.¹⁴ Um die Einsparungen an konkreten Zahlen festzumachen, kann man die CO₂-Amortisation einer durchschnittlichen Windenergieanlage berechnen, d.h. den Zeitpunkt, ab dem der CO₂-Ausstoß, der bei ihrer Herstellung und Installation entstanden ist, durch die Einsparung von CO₂ dank dem Verzicht auf fossile Brennstoffe ausgeglichen wird. Eine Windenergieanlage hat im Schnitt bereits nach etwa drei Monaten ihren eigenen CO₂-Ausstoß amortisiert. Dies wird berechnet, indem die erzeugte CO₂-Menge durch die jährlich eingesparte Menge an CO₂ geteilt wird.¹⁵

b) Wie hoch ist der CO₂ Ausstoß während des Betriebs?

Treibhausgasemissionen während des Betriebs werden mittels des Emissionsfaktors beschrieben. Dieser gibt an, wie viel Treibhausgase pro erzeugte Kilowattstunde in die Atmosphäre emittiert werden. CO₂-Äquivalente steht dabei für eine Maßeinheit die zur Vereinheitlichung der Klimawirkung der unterschiedlichen Treibhausgase dient. Die nachfolgende Grafik zeigt die Emissionen je erzeugte

¹⁰ <https://graslutscher.de/warum-aber-china-und-deutschland-alleine-kann-nicht-die-welt-retten-keine-guten-argumente-sind/>

¹¹ UBA, (2021). Aktualisierung und Bewertung der Ökobilanzen von Windenergie- und Photovoltaikanlagen unter Berücksichtigung aktueller Technologieentwicklungen: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/5750/publikationen/2021-05-06_cc_35-2021_oekobilanzen_windenergie_photovoltaiik.pdf, S. 340

¹² UBA, (2021). Aktualisierung und Bewertung der Ökobilanzen von Windenergie- und Photovoltaikanlagen unter Berücksichtigung aktueller Technologieentwicklungen: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/5750/publikationen/2021-05-06_cc_35-2021_oekobilanzen_windenergie_photovoltaiik.pdf, S. 306

¹³ UBA, (2021). Aktualisierung und Bewertung der Ökobilanzen von Windenergie- und Photovoltaikanlagen unter Berücksichtigung aktueller Technologieentwicklungen: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/5750/publikationen/2021-05-06_cc_35-2021_oekobilanzen_windenergie_photovoltaiik.pdf, S. 304

¹⁴ https://stories.umweltbundesamt.de/system/files/document/20210527_Themenkompass_Oekobilanz.pdf

¹⁵ <https://energiewende.eu/windkraft-mangelnder-beitrag-zur-co2-reduktion/>

Kilowattstunde Strom einzelner Energieträger. Hierbei sind die Emissionen der Vorkette (z. B. Abbau von Kohle oder Bau einer Windenergieanlage) bereits eingerechnet.

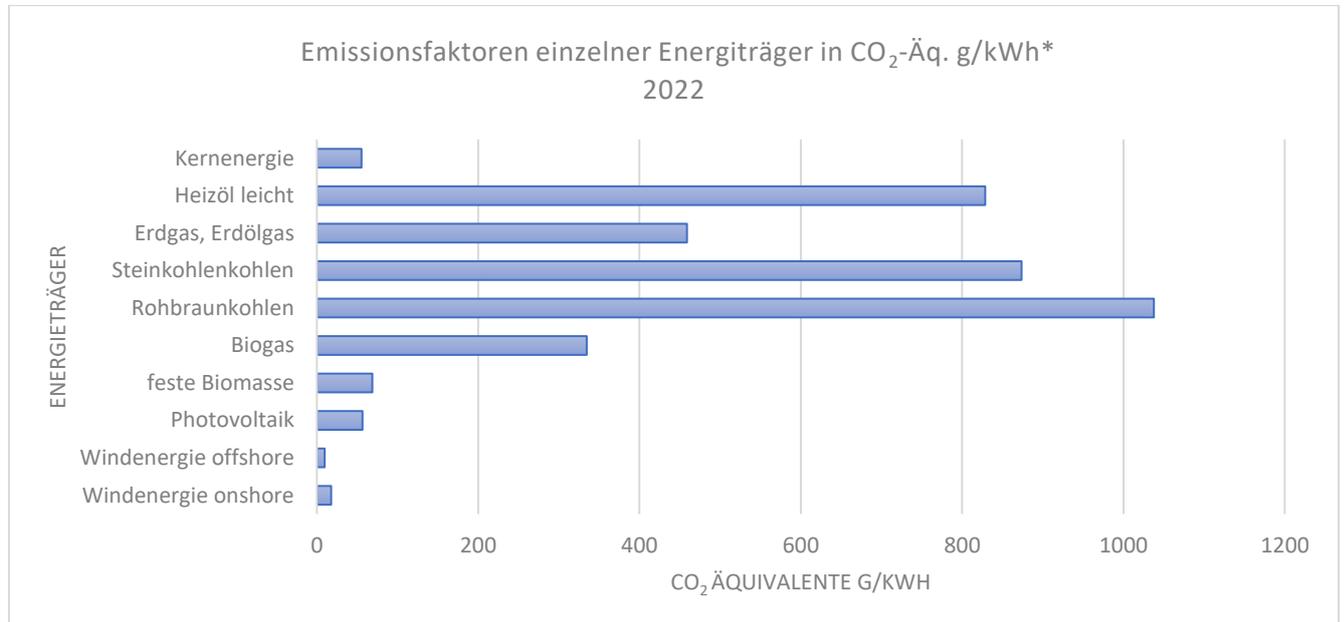


Abbildung 2 Eigene Darstellung, Datenbasis UBA, 2023¹⁶, *inkl. Vorkette

c) Ist die Kohlenstoffbindungskapazität des Waldes nicht viel höher als die durch den Betrieb von Windenergieanlagen vermiedene CO₂-Menge?

Windenergieanlagen haben eine ausgesprochen gute Ökobilanz. Dies zeigt ein Vergleich der durchschnittlichen CO₂-Vermeidungsleistung einer Windenergieanlage mit der entsprechenden Kohlenstoffbindungskapazität der Waldfläche, die dadurch in Anspruch genommen wird. Um eine Windenergieanlage im Wald zu errichten, muss zu Beginn etwa ein Hektar Wald gerodet werden (siehe Frage 5). Ein Hektar Wald nimmt circa 5,5 Tonnen CO₂ pro Jahr auf. Eine durchschnittliche WEA erzeugt im Jahr rund 6 Mio. kWh und spart dadurch 3600 Tonnen CO₂ ein. Bei modernen Anlagen sind es sogar eher 5000 Tonnen, wobei die genaue Zahl von Anlagentyp und Standort abhängt.¹⁷

Weiterführende Informationen:

UBA, (2021). [Ökobilanz der Windenergieanlagen an Land](#)

EE- Magazin, (2020). [Behauptung zur Windkraft – Mangelnder Beitrag zur CO₂-Reduktion](#)

¹⁶ <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/emissionsbilanz-erneuerbarer-energetraeger-2022>, Hintergrunddaten-Emissionsbilanz erneuerbarer Energieträger 2022

¹⁷ https://stories.umweltbundesamt.de/system/files/document/20210527_Themenkompass_Oekobilanz.pdf

4. Warum werden Windräder im Wald gebaut, wenn es ausreichend andere Flächen gibt?

Kurzfassung: Knapp ein Drittel der Fläche Deutschlands ist mit Wald bedeckt, in Baden-Württemberg sind es sogar fast 40 Prozent. Um die Klimaziele zu erreichen, ist ein starker Ausbau der Windenergie notwendig. Da die windhöffigen, d.h. die für Windenergie besonders ertragreichen Standorte in Baden-Württemberg zumeist auf bewaldeten Kuppen der Mittelgebirgshöhenzüge liegen, müssen für den Ausbau der Windenergie auch Waldflächen herangezogen werden.

Knapp ein Drittel der Fläche Deutschlands ist mit Wald bedeckt. In besonders walddreichen Bundesländern wie Baden-Württemberg werden zunehmend auch Waldflächen für Windenergieanlagen herangezogen, da im Offenland nicht ausreichend geeignete Flächen zur Verfügung stehen.¹⁸ Neben Flächenausweisung, Erschließungsgrad, Topographie und Aspekten des Natur- und Artenschutzes spielt insbesondere auch die Windhöffigkeit einer Fläche eine wichtige Rolle, um geeignete Standorte zu identifizieren. Gerade in den Mittelgebirgsregionen weht in Tal- und Niederungslagen meist weniger Wind, und die verfügbaren Offenlandstandorte liegen nah an Siedlungen. Besonders windreiche Standorte finden sich meist eher in den bewaldeten Höhenzügen.¹⁹

Entscheidend ist hier also die richtige Standortwahl. In wind- und dürreempfindlichen, durch forstliche Nutzung stark geprägten Kulturen oder bereits durch Sturm oder Schädlingsbefall geschwächten Wäldern kann es durchaus sinnvoll sein, Windenergieanlagen zu errichten. Alte, naturnahe Wälder hingegen sind ökologisch besonders wertvoll und sollten bei der Planung ausgeschlossen werden.

Weiterführende Informationen:

Eine Übersicht der aus Sicht der Naturschutzverbände freizuhaltenden Bereiche sowie Hinweise zum naturverträglichen Ausbau der Windenergie finden sie [hier](#).

Ökoinstitut e.V. im Auftrag des BUND BW, (2022). 100% Klimaneutrale Energieversorgung- der Beitrag Baden- Württembergs und seinen zwölf Regionen

Guidehouse GmbH im Auftrag des BMWK, (2022). Analyse der Flächenverfügbarkeit für Windenergie an Land post-2030- Ermittlung eines Verteilungsschlüssels für das 2% Flächenziel auf Basis einer Untersuchung der Flächenpotenziale der Bundesländer

FA Wind, (2023). [Kompaktwissen Windenergie im Wald](#)

¹⁸ Guidehouse GmbH im Auftrag des BMWK, (2022). Analyse der Flächenverfügbarkeit für Windenergie an Land post-2030: https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/analyse-der-flaechenverfuegbarkeit-fur-windenergie-an-land-post-2030.pdf?__blob=publicationFile&v=1

¹⁹ <https://www.naturschutz-energiewende.de/unkategorisiert/das-kne-empfehl-die-nutzung-von-windenergie-im-wald-nicht-generell-ausschliessen/>

5. Wie viel Fläche wird für den Bau einer Windenergieanlage benötigt?

Kurzfassung: Laut Untersuchungen des Thünen-Institutes in Braunschweig ist Windenergie auch unter den Erneuerbaren Energien die flächeneffizienteste Erzeugungsform. Pro Windenergieanlage werden im Schnitt 0,48 ha benötigt.

a) Am Standort

Pro WEA sind etwa 0,48 ha Fläche erforderlich. Für aktuell gängige Anlagentypen liegt die Größe des Fundaments bei durchschnittlich ca. 350 m².²⁰ Bei Standorten im Wald muss dabei zwischen dauerhaft und temporär zu rodenden Bereichen unterschieden werden. Flächen, die nur während der Bauzeit zum Beispiel zur Lagerung oder als Kranstellfläche benötigt werden, können nach der Fertigstellung teilweise wieder aufgeforstet werden.²¹ Zusätzlich einzurechnen ist der Flächenverbrauch durch Zufahrtswege, der im Einzelfall sehr unterschiedlich ausfallen kann.

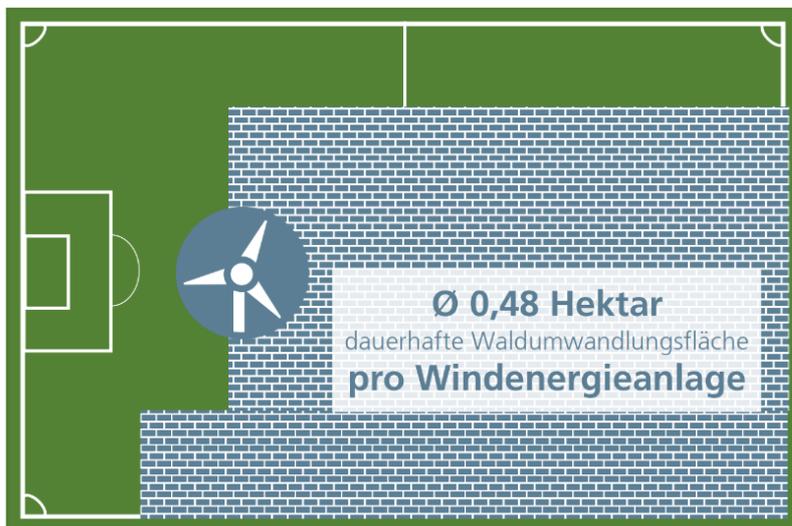


Abbildung 3: Größenvergleich der dauerhaften Waldflächeninanspruchnahme einer Windenergieanlage (FA Wind, 2023)

b) Bezogen auf die Fläche Deutschlands

Wenn es heißt, dass ca. 2 % der Landesfläche pro Bundesland als Fläche für Windenergie benötigt wird, bedeutet das nicht, dass diese Fläche komplett durch Betonfundamente versiegelt wird. Stattdessen umfassen die 2% nur die Flächenkulisse, in der die Windenergieanlagen (WEA) stehen sollen, nicht die durch die WEA tatsächlich in Anspruch genommene Fläche. Zwischen einzelnen WEA müssen Abstände eingehalten werden, um einen erhöhten Materialverschleiß durch Turbulenzen oder Ertragseinbußen durch „Windklau“ zu vermeiden. Der einzuhaltende Abstand ist von verschiedenen Faktoren (zum Beispiel Topografie, Anlagentyp, Hauptwindrichtung am Standort) abhängig. Als Faustregel gilt der fünffache Rotordurchmesser zwischen den Türmen in Hauptwindrichtung.²²

²⁰ <https://www.bodenwelten.de/content/boden-und-windenergie>

²¹ <https://www.naturschutz-energiewende.de/fragenundantworten/261-waldinanspruchnahme-durch-windenergieanlagen-sowie-zum-beitrag-der-windenergie-zu-klimaresilienten-waeldern/>

²² <https://www.naturschutz-energiewende.de/unkategorisiert/wortmeldung-zum-flaechenbedarf-der-windenergie/>

Tatsächlich von der Windenergie belegt (Kraufstellfläche, Fundament, Zuwegung) sind laut einer theoretischen Rechnung nur etwa 0,05 % der Fläche Deutschlands. Auf dem Rest der Fläche kann weiterhin zum Beispiel Landwirtschaft betrieben werden oder Wald stehen.²³

6. Können Windräder nach dem Rückbau recycelt werden?

Kurzfassung: Ein Windrad besteht zum größten Teil aus recycelbarem Beton und Stahl. Das Recyclingverfahren von Rotorblattmaterialien beschränkt sich bisweilen auf mechanische Zerkleinerung und anschließende Verbrennung in der Zementindustrie oder der Müllverbrennung.²⁴ Neuste Erkenntnisse aus der Forschung zeigen aber: Der Weg zum voll recycelbaren Rotorblatt ist möglich.

Aktuell werden bereits 80-90 Gewichtsprozent der verwendeten Materialien einer Windenergieanlage (WEA) wieder verwertet.²⁵ Den größten Anteil am Gesamtgewicht nehmen Beton und Stahl ein. Bei den sehr leichten Rotorblättern (auf ihr Volumen bezogen) findet bisher fast kein Recycling statt. Sie bestehen zum größten Teil aus faserverstärktem Kunststoff, werden in der Regel zerkleinert und landen in der Verbrennung. Bei der Verbrennung in Zementöfen wird der Glasanteil der faserverstärkten Kunststoffe in den Zement eingelagert. In der Müllverbrennung bleibt dieser als Abfall zurück. Wenn Kohlefasern zum Einsatz kamen, funktionieren herkömmliche Verbrennungsanlagen in der Regel nicht.²⁶ Auf Deponien dürfen die Rotorblätter nicht landen. In Deutschland besteht seit 2005 ein Deponieverbot.²⁷

Ausblick: Seit März 2023 drehen sich vor Helgoland die ersten voll recycelbaren Rotorblätter. Möglich macht das ein neuartiges Harz.²⁸ Aufgrund seiner chemischen Struktur können die eingesetzten Materialien des Verbundes wieder voneinander getrennt und anschließend recycelt werden.²⁹ Auch bei zukünftigen Projekten werden die voll recycelbaren Rotoren verstärkt zum Einsatz kommen: Im Windpark Sofia vor der Küste Großbritanniens beispielsweise sollen von 100 geplanten Anlagen 44 mit den voll recycelbaren Rotoren ausgestattet werden.³⁰

Auch interessant: Insgesamt wurden im Jahr 2015 in Europa 1.069.000 Tonnen glasfaserverstärkte Kunststoffe (GFK) produziert. Davon wurden 34 Prozent in der Konstruktionsbranche verbraucht, zu der auch Windräder gehören. Die Bereiche Transport (35 %), ebenso wie Elektronik- und Sportgeräte (30 %) weisen ebenfalls einen sehr hohen GFK-Verbrauch auf. Dagegen sind bei kohlenstofffaserverstärkten Kunststoffen (CFK) nur etwa 14 % des Verbrauchs für Windräder

²³ <https://taz.de/Die-Energiewende-voranbringen!/15825786/>

²⁴ https://www.materials.fraunhofer.de/de/Geschaeftsfelder/Energie_Umwelt/recycling-von-grossformatigen-compositebauteilen--rotorblaettern.html

²⁵ https://www.ict.fraunhofer.de/content/dam/ict/de/documents/medien/ue/UE_klw_Poster_Recycling_von_Windkraftanlagen.pdf

²⁶ https://www.materials.fraunhofer.de/de/Geschaeftsfelder/Energie_Umwelt/recycling-von-grossformatigen-compositebauteilen--rotorblaettern.html

²⁷ <https://www.wind-energie.de/presse/pressemitteilungen/detail/branchenorganisationen-begruessen-aufruf-zum-europaweiten-deponieverbot-fuer-windenergieanlagen/>

²⁸ <https://www.rwe.com/presse/rwe-renewables/2021-09-07-rwe-testet-in-ihrem-offshore-windpark-kaskasi-das-weltweit-erste-recycelbare-rotorblatt/>

²⁹ <https://www.siemensgamesa.com/en-int/-/media/siemensgamesa/downloads/en/explore/journal/siemens-gamesa-recyclable-blade-infographic.pdf?la=en-bz&hash=9E3ED5E372844AB7E94D1164A6DA1CC3C149BC2C>

³⁰ <https://www.rwe.com/presse/rwe-offshore-wind-gmbh/2023-03-09-rwe-nutzt-recycelbare-rotorblaetter-fuer-offshore-windpark-sofia/>

bestimmt. Die größten Abnehmer sind die Luftfahrtindustrie, das Militär (31 % zusammen) sowie die Fahrzeugindustrie (21 %).³¹

Weiterführende Infos:

BWE, (2023). [Rückbau und Recycling von Windenergieanlagen](#)

UBA, (2022). [Abschlussbericht Entwicklung von Rückbau- und Recyclingstandards für Rotorenblätter](#)

Frauenhofer ICT. [Recycling von Windkraftanlagen](#)

7. In Windrädern wird teilweise SF₆ als Isoliergas verwendet. Werden sie damit zum Treiber des Klimawandels?

Kurzfassung: In Windenergieanlagen wird SF₆ aufgrund seiner hervorragenden Isolierwirkung in den Leistungsschaltern eingesetzt. Solange sich das SF₆-Gas in den gekapselten elektrischen Schaltungen befindet, hat es keine Auswirkungen auf das Klima. Um einen Austritt des Gases beim Abbau zu verhindern, wird es beim Rückbau abgesaugt, und nach einer gründlichen Reinigung kann es im Anschluss weiterverwendet werden.

SF₆ ist die chemische Formel für Schwefel-Hexafluorid: Die anorganische chemische Verbindung aus Schwefel und Fluor gilt als die Substanz mit der stärksten bekannten Treibhauswirkung. Die Wirkung ist etwa 25.000 mal so stark wie die von CO₂.³² In der Atmosphäre kann es bis zu 3.000 Jahre verweilen. Zurzeit ist SF₆ noch das Gas, das standardmäßig in gekapselten Schaltanlagen in der Hochspannungstechnik eingesetzt wird – neben Windenergieanlagen also zum Beispiel auch in Transformatoren oder Industrieanlagen. Der Einsatz erfolgt in sehr geringen Mengen in geschlossenen Systemen. In die Atmosphäre entweicht SF₆ vor allem bei Leckagen. Besonders sorgfältiger Umgang mit dem Gas ist daher vor allem beim Abbau von Windenergieanlagen geboten. Um einen Austritt des Gases zu verhindern, wird es beim Rückbau abgesaugt, und kann nach einer gründlichen Reinigung im Anschluss weiterverwendet werden. Aufgrund der immensen Klimaschädlichkeit von SF₆ arbeitet die Forschung jedoch bereits intensiv an der Suche nach klimafreundlicheren Alternativen. Chancen werden dabei zum Beispiel in vollkommen luftisolierten Leistungsschaltern, alternativen Isoliermedien oder Vakuum-Lösungen gesehen. Vakuum-Lösungen kommen ganz ohne Treibhausgase aus. Bisher gibt es keine klaren Regelungen für ein SF₆-Verbot. Ein Verbot ab 2030 wird auf EU-Ebene diskutiert.

Auch interessant:

31 <https://www.bundestag.de/resource/blob/706672/83a3afbadfcc0134c053a14f1be859ab/WD-8-028-20-pdf-data.pdf>

32 https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg3/downloads/report/IPCC_AR6_WGIII_FullReport.pdf

SF₆ hat viele verschiedene Anwendungsbereiche. Die meisten Emissionen stammen nicht aus Windenergieanlagen, sondern entweichen bei Schallschutzscheiben. Die Emissionen aus Windrädern zählen zur Kategorie „Elektrische Betriebsmittel“. In diese Kategorie fallen alle Schaltanlagen – auch in anderen Anwendungen wie etwa in Kohle- und Atomkraftwerken.³³

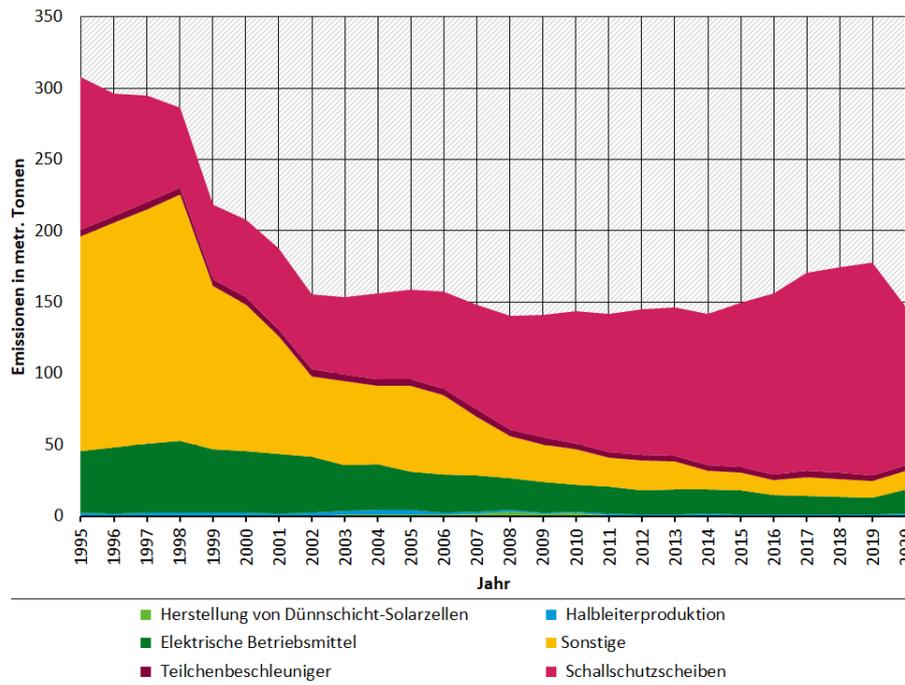


Abbildung 4: SF₆ Gesamtemissionen (Umweltbundesamt 2022)

Weiterführende Infos:

Klimakiller Windrad: <https://www.youtube.com/watch?v=9-YMRSEi9S8>

8. Wird durch Erosion an den Rotoren Mikroplastik in die Umwelt freigesetzt?

Kurzfassung: Die Mengen an Mikroplastik, die durch Erosion an den Rotorblättern in die Umwelt gelangen, sind verschwindend gering im Vergleich zu anderen Quellen wie beispielsweise dem Reifenabrieb von Autos. Aktuell liegen allerdings nur theoretische Berechnungen vor. Es besteht also nach wie vor Forschungsbedarf.

Als Mikroplastik werden Teilchen aus Kunststoff bezeichnet, die im Durchmesser kleiner als fünf Millimeter sind. Bei Windenergieanlagen können Partikel durch Erosion an den Rotorblättern, die durch Wind und Wetter erheblichen Umweltauswirkungen ausgesetzt sind, in die Umwelt gelangen. Eine genaue systematische Untersuchung darüber, wie viel Mikroplastik in die Umgebung gelangt, gibt es zum aktuellen Stand noch nicht. Der Umfang des Abtrags ist aufgrund der verschiedenen

³³ <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/fluorierte-treibhausgase-fckw/emissionen/langlebige-fluorierte-treibhausgase>

Beschichtungen sehr unterschiedlich und kann nur grob geschätzt werden. In Modellrechnungen wurde ein Worst-Case-Szenario genutzt, das sich einfach rechnen lässt: Bei diesem erfolgt ein maximaler Abtrag auf einer Fläche von ca. 10m² pro Rotorblatt, woraus sich als obere Grenze ein Materialabtrag von **maximal 1.395 t/a für alle rund 31.000 Windenergieanlagen** in Deutschland abschätzen lässt.³⁴

Auch interessant:

Mikroplastik, entstanden durch Abrieb während der Nutzung, hat verschiedenste Quellen in Deutschland. Die Grafik anbei bildet den Abrieb je Nutzung in Tonnen pro Jahr ab.

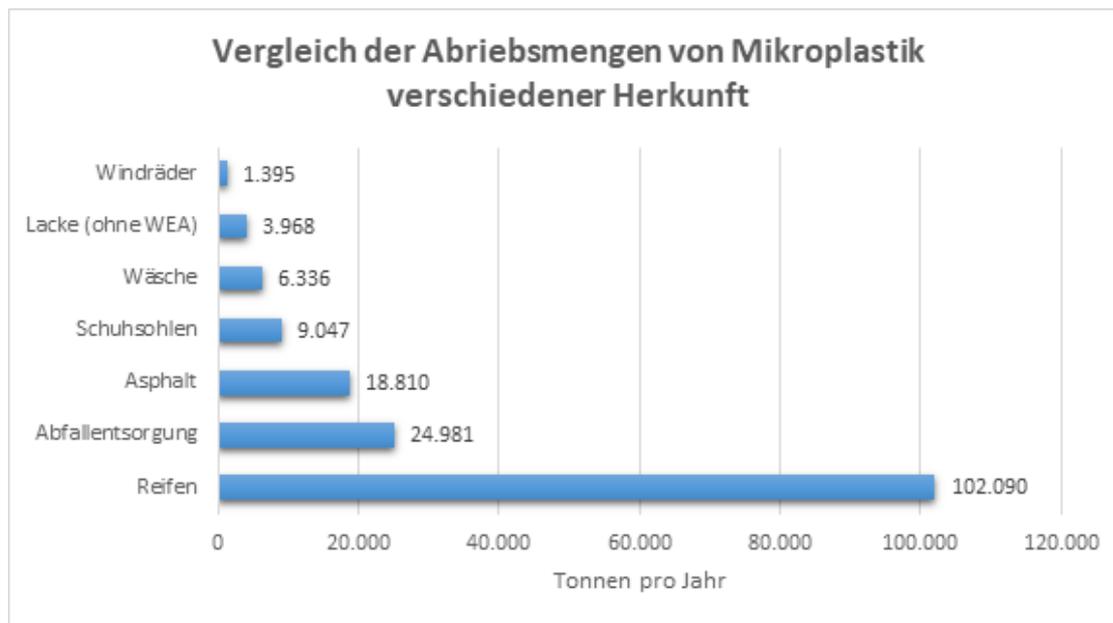


Abbildung 5: Vergleich der Abriebsmengen von Mikroplastik verschiedener Herkunft (eigene Darstellung, Daten: Fraunhofer-Institut, 2018)

Zusatz Carbonfasern:

Zum Thema Faserverbundstoffe haben die Autoren der Seite energiewende.eu die folgenden Fakten zusammengetragen:

„Flügel von Windenergieanlagen bestehen zu einem großen Teil aus Faserverbundstoffen, d.h. in Epoxidharz getränkte Glas- oder Carbonfasern (GFK bzw. CFK). Zum Schutz gegen die Erosion sind die vorderen Flügelkanten allerdings mit Folien und Lacken beschichtet. Stäube entstehen vor allem beim Zersägen oder beim Verbrennen, d.h. beim Recycling oder bei Unfällen, und nicht während des laufenden Betriebs“.³⁵

Weiterführende Informationen:

Wissenschaftlicher Dienst der Bundesregierung, (2020). [Kurzinformation zu einem Einzelaspekt der Erosion von Rotorenblättern von Windrädern](#)

³⁴ <https://www.bundestag.de/resource/blob/817020/27cf214cfbeaac330d3b731cbbd8610b/WD-8-077-20-pdf-data.pdf>

³⁵ <https://energiewende.eu/windkraft-abrieb/>

9. Werden in Windrädern Tropenhölzer (Balsaholz) verbaut?

Kurzfassung: In ca. 30 % aller produzierten Windräder wird Balsaholz verwendet. In diesen Anlagen wird für ein durchschnittliches Rotorblatt rund 5 bis 6 m³ Balsaholz benötigt, was 1 bis 3 Prozent des Endgewichts entspricht.³⁶ Es ist davon auszugehen, dass Balsaholz mittel- bis langfristig komplett aus der Windradflügelproduktion verschwindet. Alternativen zu Balsaholz in Windrädern sind spezielle Kunststoffe, PET und PVC-Schaum.

Der Hauptlieferant von Balsaholz ist Ecuador. 80 bis 90 % des Weltmarktanteils kommen aus dem kleinen Land in Südamerika. In die Kritik geraten ist die Nutzung von Balsaholz aufgrund der zunehmenden illegalen Abholzung und der negativen Auswirkungen auf die indigene Bevölkerung, der „Balsaboom“ hat neben negativen ökologischen also auch negative soziale Folgen für indigene Stämme. Nähere Informationen sind von [WWF](#) und [Rettet den Regenwald](#) zusammengetragen worden.

Laut BWE wird nur in 30 % aller Anlagen Balsaholz verwendet, die Tendenz ist weiter abnehmend. Immer mehr Hersteller ersetzen Balsaholz durch spezielle Kunststoffe bzw. PET und PVC-Schaum. Denn trotz all seiner Vorzüge bleibt Balsaholz ein Rohstoff, dessen Qualität, Verfügbarkeit und Preis teils starken Schwankungen unterliegen. PET- und PVC-Schaum dagegen sind problemlos verfügbar und zeichnen sich durch gleichbleibende Qualität aus.³⁷

Weiterführende Infos:

dpa.factchecking, (2023). [Balsa nicht in allen Windrädern verbaut - Nutzung strittig](#)

BWE & VDMA (2022). [Faktencheck: Balsaholz in Rotorenblättern von Windenergieanlagen](#)

10. Welche Auswirkungen können sich durch den Bau und Betrieb von WEA auf das Grundwasser ergeben?

Kurzfassung: Durch wassergefährdende Stoffe im Getriebe und in anderen Anlagenteilen innerhalb der WEA können sich bei ihrem Austritt Auswirkungen auf das Grundwasser ergeben. Bei der Genehmigung von Windenergieanlagen gibt es dementsprechend hohe wasserrechtliche Anforderungen und Schutzmaßnahmen, die von der zuständigen Behörde geprüft werden.

Trinkwasser ist Teil der Daseinsvorsorge und damit höchstes Gut. Aus diesem Grund sind bei der Genehmigung von Windenergieanlagen strenge Auflagen zu erfüllen.

Auswirkungen auf das Grundwasser können sich sowohl durch den Bau als auch den Betrieb der Anlagen ergeben: Während der Bauzeit werden deckende Bodenschichten abgetragen, und je nach Standort muss zur Errichtung des Fundaments das Grundwasser abgesenkt werden. Eine Analyse der

³⁶ Angaben gehen auseinander. Mehr Infos hier: <https://dpa-factchecking.com/germany/230614-99-54134/>

³⁷ https://www.wind-energie.de/fileadmin/redaktion/dokumente/publikationen-oeffentlich/themen/06-zahlen-und-fakten/20220311_Faktencheck_Balsaholz_Final.pdf

damit verbundenen Befürchtungen und Risiken von Nico Goldschneider (KIT)³⁸ ergibt, dass Sorgen hinsichtlich einer Verringerung der Wassermenge in den meisten Fällen unbegründet sind, außer in sehr speziellen hydrogeologischen und bautechnischen Situationen.

Während der Bauzeit können jedoch aufgrund der erforderlichen Baugrube und Erdarbeiten Risiken für die Wasserqualität entstehen.

Das Fundament von WEA besteht aus Stahlbeton. Zement und eingesetzte Zusatzstoffe können prinzipiell Spurenelemente enthalten, die das Grundwasser und den Boden gefährden können. Die verwendeten Stoffe unterscheiden sich dabei nicht von denen, die zum Beispiel im Straßenbau oder bei der Errichtung von Gebäuden genutzt werden.³⁹

Wassergefährdende Stoffe befinden sich im Getriebe der WEA, in diversen Hydrauliksystemen, Kühlflüssigkeitssystemen, den jeweils dazugehörigen Rohrleitungen (auch Schläuchen) und den Transformatoren. Je nach Anlagengröße und Ausführung werden in WEA unterschiedliche Mengen wassergefährdender Stoffe verwendet. Darüber hinaus können stationäre Löschanlagen vorhanden sein, die wassergefährdende Löschmittel verwenden.

a) Wasserschutzgebiete und Vorranggebiete zur Sicherung von Grundwasservorkommen

In Baden-Württemberg gibt es rund 2.300 durch Rechtsverordnung festgesetzte Wasserschutzgebiete (WSG) mit einer Fläche von insgesamt ca. 9.500 km². Sie dienen der Sicherung der öffentlichen Wasserversorgung und sind in verschiedene Zonen mit unterschiedlichen Einschränkungen unterteilt. Während in der strengsten Schutzzone I bauliche Anlagen nicht zulässig sind, kann in einzelnen Sonderfällen in der Schutzzone II eine Befreiung von Verboten oder Beschränkungen für die Errichtung von Windenergie- oder Solaranlagen erfolgen, sofern der Schutzzweck des WSG nicht gefährdet wird (§ 52 Absatz 1 Satz 2 Wasserhaushaltsgesetz). Für eine solche Befreiung muss ein Antrag gestellt werden, in dem belegt wird, dass der Schutzzweck nicht gefährdet wird und dass ein alternativer Standort außerhalb der Wasserschutzzone nicht zur Verfügung steht.

Bei der Prüfung der Genehmigungsfähigkeit sind die örtlichen Rahmenbedingungen (beispielsweise Hydrogeologie, Topographie, Bodenbeschaffenheit) zu berücksichtigen. Ein fachliches Konzept zum Schutz des Bodens und Grundwassers, in dem auch geeignete Schutz- und Beweissicherungsmaßnahmen identifiziert sind, gehört ebenfalls zu den Antragsunterlagen.⁴⁰

Zur langfristigen Sicherung der Wasserversorgung werden neben den Wasserschutzgebieten, die bereits heute die Gewinnung von Trinkwasser sichern, in den Regionalplänen Vorranggebiete zur Sicherung von Wasservorkommen festgelegt. Auch in ihnen sind Vorhaben, die mit dem dauerhaften Schutz von Grundwasservorkommen nicht vereinbar sind, ausgeschlossen.

b) Wassergefährdende Stoffe

Betonfundament: Hinsichtlich der Umweltverträglichkeit von Beton und seiner Ausgangsstoffe gelten zahlreiche einzuhaltende bauaufsichtliche Regelungen, Normen und Zulassungsvoraussetzungen. Erfolgt die Herstellung von Beton nach den entsprechenden DIN-Normen bzw. werden – den jeweiligen DIN-Normen entsprechend – als unbedenklich geltende Ausgangsstoffe verwendet, so ist eine Umweltverträglichkeit sichergestellt (mehr Informationen dazu über Link 2).

³⁸ Nico Goldschneider (KIT) (20121): Windenergie und Grundwasser <https://link.springer.com/article/10.1007/s00767-021-00493-z>

³⁹ <https://www.naturschutz-energiewende.de/fragenundantworten/132-auswirkungen-betonfundamente-windenergieanlage>

⁴⁰ Umweltministerium Baden-Württemberg (2022): Handreichung zu Planung, Bau und Betrieb von Freiflächen-Photovoltaik- und Windenergieanlagen in der Schutzzone II von Wasserschutzgebieten Kurzinformation

Getriebeöle, Hydraulikflüssigkeiten, Schmiermittel: In den Antragsunterlagen für die Genehmigung einer Windenergieanlage sind die Benennung der verwendeten wassergefährdenden Stoffe mit Art, Menge und der Wassergefährdungsklasse (WGK) sowie notwendige Schutzmaßnahmen immer erforderlich.⁴¹ Die zuständige Wasserbehörde prüft, ob die wasserrechtlichen Anforderungen erfüllt sind.

Löschmittel: Laut BLAK sind "spezielle Regelungen für die Löschwasserrückhaltung bei Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen in WEA (sind) nicht bekannt. § 20 AwSV fordert eine Rückhaltung von Lösch-, Berieselungs- und Kühlwasser sowie von Verbrennungsprodukten mit wassergefährdenden Eigenschaften nach den allgemein anerkannten Regeln der Technik."⁴¹

WEA in der Zone II eines WSG benötigen aufgrund der eingesetzten wassergefährdenden Stoffe neben der Befreiung von den Verboten der Schutzzone eine zusätzliche Befreiung von der Verordnung über Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen.

Bei der Stilllegung der Anlage muss der Betreiber der Anlage alle in der Anlage enthaltenen wassergefährdenden Stoffe (soweit technisch möglich) entfernen.

c) Havarien

Zu den Anforderungen für eine wasserrechtliche Genehmigung gehört auch der Nachweis, dass

- alle Anlagenteile, die in direktem Kontakt mit dem wassergefährdenden Stoff stehen, dicht, standsicher und gegenüber den zu erwartenden mechanischen, thermischen und chemischen Einflüssen hinreichend widerständig sind und
- Undichtigkeiten schnell und zuverlässig erkennbar sind.

Es muss durch ausreichend große flüssigkeitsundurchlässige Rückhaltevorrichtungen sichergestellt sein, dass im Fall einer Betriebsstörung oder Havarie keine wassergefährdenden Stoffe austreten können. Das betrifft auch oberirdische Rohrleitungen.⁴²

11. Wie sieht die Brandgefahr bei Windrädern aus?

Kurzfassung: Havarien an Windenergieanlagen bewegen sich laut BWE seit zwanzig Jahren im Promillebereich und sind damit als selten einzustufen. Vor Errichtung ist ein Brandschutzkonzept erforderlich, und an Waldstandorten können zusätzliche Auflagen für Brandmeldeanlagen und Löschanlagen gelten.

Es gibt keine offizielle Übersicht über Havarien an Windenergieanlagen. Die Zahl der Havarien bewegt sich jedoch laut einer internen Statistik des Bundesverbands WindEnergie BWE seit fast zwanzig Jahren im Promillebereich. Nach einer Studie zur Risikobewertung von Onshore-Windenergieanlagen kommt

⁴¹ Bund-Länder Arbeitskreis (BLAK UmweltS) (2023): Technische Anforderungen an Anlagen. <https://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/betrieblicher-umweltschutz/technische-anforderungen-an-anlagen>

es jährlich zu zwischen 3 und 10 Bränden bei den insgesamt über 28.000 Anlagen.⁴²

Damit liegt das Risiko eines WEA-Brandes zwischen 0,01% und 0,04% und ist entsprechend als gering einzustufen.⁴³

Vor der Errichtung von Windenergieanlagen ist gemäß den Bestimmungen der jeweiligen Landesbauordnungen ein standortbezogenes Brandschutzkonzept vorzulegen. Dazu gehören Zugänglichkeit/Kennzeichnung, Sicherstellung der Flucht- und Rettungswege, Beschreibung von Brandlasten und möglichen Brandgefährdungen sowie technische Maßnahmen zur Brandverhütung. An Standorten im Wald können besondere Auflagen im Genehmigungsprozess festgelegt werden wie der Einbau von Brandmelde- oder automatischen Feuerlöschanlagen oder die Auflage, Löschwasserteiche anzulegen.

Um das Entstehen von Bränden durch Blitzeinschläge zu vermeiden, sind die Anlagen mit Blitzableitern ausgestattet. Diese Blitzschutzkonzepte sind für alle Windenergieanlagen unabhängig von ihrem Standort vorgeschrieben und müssen mindestens alle zwei Jahre regelmäßig überprüft werden⁴⁴.

Gerät eine Anlage dennoch in Brand, ist ein Löschen aufgrund der Höhe nahezu unmöglich. Die Feuerwehr stellt im Fall eines Brandes ein kontrolliertes Abbrennen sicher, z.B. durch das Löschen herabfallender Teile.⁴⁵ Um Feuer früh zu erkennen und direkt zu reagieren, können fest installierbare Löschsysteme an den Gondeln angebracht werden. Die Technik kann einen Brand erkennen und löscht selbstständig vor Ort.⁴⁶

Weiterführende Infos:

Hessische Landesenergieagentur, (2018). Faktenpapier Sicherheit von Windenergieanlagen

12. Beeinflussen Windräder das Klima?

Kurzfassung: Windräder führen der Atmosphäre keine Wärme zu. Die Drehbewegung der Rotoren führt lediglich zu einer Durchmischung der Luftschichten. Dadurch kann es in klaren Nächten zu einer minimalen Temperaturerhöhung am Boden kommen. In der Wissenschaft herrscht Konsens darüber, dass dies keinen Einfluss auf die globale Klimaerwärmung hat.

Besonders in langen und klaren Winternächten kann es zu einer Bodeninversion⁴⁷ kommen. In dem Fall sind die bodennahen Luftschichten kälter als die Luftschichten auf der Höhe der Rotoren. Durch die Bewegung der Rotoren werden nun die Luftschichten durchmischt, sodass kalte Luft nach oben, warme Luft nach unten gedrückt wird und die mikroklimatische Temperatur am Boden ansteigt.⁴⁸ Dasselbe passiert mit der Luftfeuchtigkeit. Nachts ist die relative Luftfeuchtigkeit in Bodennähe höher als in höheren Luftschichten. Auch hier wird durch das Windrad trockene Luft von oben nach unten und somit ein Teil der feuchten Luft von unten nach oben transportiert. Diese Effekte sind aufgrund

⁴² <https://www.wind-energie.de/themen/zahlen-und-fakten/deutschland/>

⁴³ https://redaktion.hessen-agentur.de/publication/2020/Faktenpapier_Sicherheit_Windenergieanlagen.pdf

⁴⁴ Presseanfrage BWE

⁴⁵ <https://energiewende.eu/windkraft-brandschutz/>

⁴⁶ <https://www.mdr.de/nachrichten/deutschland/panorama/feuer-loeschen-windrad-114.html>

⁴⁷ Von einer Bodeninversion spricht man, wenn sich in langen, klaren Winternächten, meist unter Hochdruckeinfluss, der Boden durch Ausstrahlung (Wärmestrahlung von Erde und Atmosphäre Richtung Weltraum) stark abkühlt und damit auch die darüber liegende bodennahe Luftschicht. Diese bodennahe Schicht ist somit kälter als die darüber liegende Luftschicht. Die obere Begrenzung dieser Bodeninversionsschicht liegt dabei in der Höhe über Grund, in der sich die Abkühlung des Erdbodens nicht mehr auswirkt. <https://www.dwd.de/DE/service/lexikon/begriffe/I/Inversion.html>

⁴⁸ <https://www.bundestag.de/resource/blob/819218/a668b4852a5af0f8bd065ac999ee0d05/WD-8-083-20-pdf-data.pdf>

der kleinen Anzahl an WEAs pro Windpark in Deutschland aber so gering, dass sie als unbedeutend eingestuft werden: Stefan Emeis, emeritierter Professor für Meteorologie am Karlsruher Institut für Technologie (KIT) schätzt die nächtliche Erwärmung der Luft in Bodennähe in der Nähe von Windparks in klaren Nächten auf circa ein halbes Grad. Laut Emeis kommt es nur bei klarem Himmel zu diesem Phänomen – und klarem Himmel gebe es nur in zehn Prozent aller Nächte. Mit dieser groben Rechnung (10 Prozent von 0,5 Grad) schätzt Emeis die Erwärmung der Luft in Bodennähe im kompletten Jahresdurchschnitt auf circa 0,05 Grad.

Tagsüber tritt dieser Effekt so gut wie nie auf, da die Sonne die verschiedenen Luftschichten homogen erwärmt und durchmischt.

Gerade in klaren und kalten Winternächten kann dieser Effekt auch für die Landwirtschaft genutzt werden. In Obstplantagen und Weinbergen wird beispielsweise als Kälte- bzw. Frostschutz mit Windrädern gearbeitet.

Auch interessant: Nicht nur Windräder können zu einer Erwärmung der Umgebung führen. Atom- und Kohlekraftwerke benötigen Wasser aus Flüssen oder dem Meer, um heruntergekühlt zu werden. Erhitztes Wasser wird entweder als Wasserdampf in die Luft abgegeben oder wieder in das Gewässer eingeleitet. Steigen dadurch die Wassertemperaturen im Fluss, kann sich das zum Beispiel auf die Fischbestände auswirken. Zum Schutz der Wasserlebewesen müssen sowohl in Frankreich als auch der Schweiz die Leistung der AKWs häufig reduziert werden.⁴⁹

Weiterführende Infos:

KNE, (2018). [Fragen und Antworten](#)

Fabian Dilger- Bayerischer Rundfunk, (2023). [Faktenfuchs: Kein Klimawandel und keine Dürren wegen Windrädern.](#)

Pascal Siggelkow, ARD-faktenfinder, (2024). [Windkraftanlagen verursachen keine Dürre](#)

14. Wirken sich Rodungen im Wald für Windräder negativ auf das Waldinnenklima aus?

Kurzfassung: Je lichter ein Waldbestand unter sonst gleichen Bedingungen ist, desto höher ist auch die Sonneneinstrahlung und in Folge dessen steigt die Oberflächentemperatur. Die daraus resultierenden Randeffekte können viele Meter, typischerweise eine Baumlänge, in die Wälder hineinreichen.⁵⁰

Freiflächen im Wald sind einer direkten Sonneneinstrahlung ausgesetzt. Folglich wird die Oberflächentemperatur beeinflusst. Bei angrenzenden Bäumen, die nicht auf diese Freistellung eingestellt sind, kann dies zu mehr Stress und möglicherweise erhöhter Mortalität führen. Besonders betroffen sind dabei Schattbaumarten wie zum Beispiel die Rotbuche. Durch den plötzlichen

⁴⁹ <https://www.ensi.ch/de/2019/07/05/zum-schutz-der-aare-uebergangsregelung-fuer-kkw-beznau/>;
<https://www.ensi.ch/de/2012/08/03/kernkraftwerke-wasser-spielt-eine-hauptrolle-2/>;
<https://correctiv.org/faktencheck/2022/09/29/faktencheck-sind-kernkraftwerke-in-frankreich-wegen-wassermangel-abgeschaltet/>;
<https://correctiv.org/faktencheck/2022/09/29/faktencheck-sind-kernkraftwerke-in-frankreich-wegen-wassermangel-abgeschaltet/>
50 u.a. nachgewiesen in folgenden Studien: Hofmeister, J. et al. (2019): Microclimate edge effects in small fragments of temperate forests in the context of climate change. FOREST ECOLOGY AND MANAGEMENT 448: 48-56.

Lichteinfall kann die Rotbuche Rindenschäden, sogenannten „Sonnenbrand“, erleiden, was letztendlich auch zum Absterben des Baums führen kann.⁵¹ Ein negativer Einfluss durch Waldrandeffekte auf die Baumgesundheit konnte u.a. auch für die Kiefer nachgewiesen werden.⁵²

Dabei muss aber auch bedacht werden, dass die tatsächlich von den Effekten der Windenergie betroffene Waldfläche, selbst mit den genannten Randeffekten, verschwindend gering ist im Vergleich zur gesamten Waldfläche, die nicht von Windrädern betroffen ist. Etwa 0,016 % der bundesweiten Waldfläche wird durch Windenergie in Anspruch genommen.

Auch sind die potenziellen Schäden durch Windenergieanlagen in den Kontext der konventionellen Waldbewirtschaftung zu setzen. Die punktuellen Waldschäden, die durch Windenergieanlagen entstehen können, sind stark zu relativieren angesichts der immer noch vorherrschenden großflächigen Praxis der intensiven Forstwirtschaft.

Gleichzeitig spielt der Faktor Licht eine Schlüsselrolle beim Erhalt und Schutz der Biodiversität. Daher sollten durch eine entsprechende Gestaltung von mehrstufigen und strukturreichen Waldinnensäumen und der Sukzessionsflächen neue Habitate für lichtliebende Arten geschaffen werden.

15. Wo bleibt der Artenschutz?

Kurzfassung: Mit Blick auf die möglicherweise durch den Bau von WEA gefährdeten Brutvogelarten regelt § 45b Bundesnaturschutzgesetz (BNatSchG), welche Arten wie zu erfassen und zu beurteilen sind. Anerkannte Maßnahmen zu ihrem Schutz werden in Anlage 1 zum Bundesnaturschutzgesetz (BNatSchG) aufgeführt. Darüber hinaus gibt die Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg spezifische Hinweise für den Südwesten.

a) Welche Arten sind besonders windenergiesensibel und was ist notwendig, damit der Artenschutz nicht unter die (Wind)räder kommt?

Konflikte mit dem Artenschutz müssen so weit wie möglich vermieden werden. Wo sie dennoch auftreten, müssen sie durch Vermeidungs- und Kompensationsmaßnahmen gelöst werden. Ziel der planmäßig bis September 2025 in Baden-Württemberg laufenden Regionalplanung ist es, landesweite Vorranggebiete für die Windenergie festzulegen. Dabei können Konflikte mit dem Artenschutz bereits durch eine geschickte Flächenauswahl vermieden werden. In diesen Vorranggebieten, die bundesweit bis Ende 2032 ausgewiesen sein müssen, sind anschließend in der Regel keine detaillierten naturschutzfachlichen Untersuchungen mehr notwendig. Um dieses Manko auszugleichen, fordern BUND und NABU, dass verbindliche und strikte Artenhilfsprogramme umgesetzt werden, die nachweislich zur Förderung und zum Erhalt windenergiesensibler Arten beitragen.

Natürlich stellt dennoch jedes Windrad einen Eingriff in den Naturhaushalt dar, da windenergiesensible Vogel- und Fledermausarten durch Windenergieanlagen zu Schaden kommen können und durch die Anlagen in Lebensräume eingegriffen wird.

51] NW- FVA (2019). Komplexe Schäden an Rotbuche (*Fagus sylvatica*) und Auswirkungen des trockenen und heißen Sommers 2018 auf ältere Bestände. Waldschutzinfo Nr. 06/ 2019

52 Buras. A. et al. (2018). Are Scots pine forest edges particularly prone to drought-induced mortality? *Environmental Research Letters*, 13(2), Artikel 025001.

Das [Dialogforum Energiewende und Naturschutz der baden-württembergischen Landesverbände von NABU und BUND](#) hat die folgenden Lösungsstrategien zusammengefasst:

- Das A und O ist die Standortwahl. Hier gilt es, möglichst konfliktarme Standorte zu suchen. Das bedeutet, dass etwa zu Brut- und Nahrungsflächen **Mindestabstände** einzuhalten sind. Wie groß diese Abstände sein müssen, unterscheidet sich von Art zu Art. Konkrete Mindestabstände gibt das Bundesnaturschutzgesetz vor.
- Insbesondere für Fledermäuse können automatische **Abschaltzeiten** festgelegt werden. In Zeiten mit hoher Flugaktivität müssen die Rotoren stillstehen – laut Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg gilt das beispielsweise bei über zehn Grad Lufttemperatur und Windgeschwindigkeiten unter sechs Metern pro Sekunde. Mit Hilfe eines Gondelmonitorings⁵³ können Fachleute die Aktivität der Fledermäuse ermitteln und die Abschaltzeiten standortspezifisch so festlegen, dass größtmöglicher Artenschutz bei weitestgehend geringem Ertragsausfall möglich ist.
- Durch ein gutes **Mahd- und Flächenmanagement** im weiteren Umkreis können viele geschützte Arten auf ungefährliche Flächen gelockt werden, so dass das Tötungsrisiko an den Windenergieanlagen sinkt.
- Eine Möglichkeit, dem Beschädigungsverbot gerecht zu werden, ist die Schaffung **alternativer Fortpflanzungs- und Ruhestätten**. Wichtig beim Ausgleich von Flächenverlusten ist, dass die Funktion der Flächen im räumlichen Zusammenhang erhalten bleibt. Sollten Ausgleichsmaßnahmen notwendig werden, so müssen diese vor Beginn des Eingriffs wirksam sein, damit die Funktion durchgängig erhalten bleibt.
- Streng geschützte Arten und alle europäischen Brutvogelarten dürfen während sensibler Phasen wie Balz, Brut oder Winterschlaf nicht gestört werden. Dementsprechend sind **Bau und teilweise auch Betrieb der Anlagen in dieser Zeit auszusetzen**. Wie bei allen anderen größeren Bauprojekten ist eine ökologische Baubegleitung notwendig.
- Die Populationen windenergiesensibler Fledermaus- und Vogelarten müssen durch **Artenhilfsprogramme** an anderen Orten gezielt massiv gefördert werden, damit der Verlust einzelner Tiere an den Anlagen populationsökologisch nicht ins Gewicht fällt.
- Techniken zur Schadensvermeidung wie **Detektionssysteme** für heranfliegende Vögel und Abschalt-Algorithmen für Fledermäuse gilt es weiterzuentwickeln und konsequent anzuwenden.

b) Führen Windenergieanlagen zu einer Störung von Wildkatze und Co.?

Kurzfassung: Vor allem während des Baus kann es zur Störung von Säugetieren kommen. Studien zu dem Thema konnten bis jetzt jedoch keinen signifikanten Einfluss von Bauarbeiten und Betrieb von Windenergieanlagen auf die Bestandsentwicklung der untersuchten Tierarten feststellen.

Die Störungen durch Rodung und Bauarbeiten können sich auf Wildkatzen auswirken. Dadurch kann es zu einer kurzfristigen Verlagerung in andere Revierteile oder zu einer Verschiebung des Reviers

⁵³ akustische Aktivitätserfassung der Fledermäuse um standortbezogen Abschaltzeiten zu ermitteln

kommen. Hingegen gibt es bis heute keine plausible Herleitung einer möglichen Beeinträchtigung oder Störung in der Betriebsphase, denn Geräusche halten Wildkatzen und andere terrestrische Säugetiere wie Rotwild, Rehwild und Schwarzwild nicht von der Besiedlung eines Lebensraums ab. Das belegen Daten telemetriertes Wildkatzen, die ein Revier beidseitig von Straßen besiedelten. Ebenso stellt sich bei Rotwild eine Gewöhnung ein. Als sogenannter Kulturflüchter reagiert das Rotwild entsprechend auf Störungen, ist die Störung monoton und es geht keine weitere Beunruhigung davon aus, arrangiert sich das Rotwild mit einer entsprechenden Anlaufzeit. Ähnliches Verhalten ist auch bei Rotwildpopulationen zu sehen, die sich in der Nähe von Straßen und Autobahnen zu ganz gewöhnlichen Äsungszeiten auch tagsüber aufhalten.

Eine Untersuchung mittels Fotofallen der Uni Göttingen stellt ebenfalls keine Änderung der Populationsdichte von Wildkatze und Co. in einem Windparkgebiet fest.⁵⁴

Weiterführende Informationen

Port, Markus (2023). Einfluss von Windenergieanlagen auf die Abundanz der Wildkatze und anderer terrestrische Säugetiere im Kaufunger Wald, Nordhessen. Göttingen

Kegel, Jan (Landesjagdverband Hessen e.V.). Welche Auswirkungen auf die Rotwildpopulation wurden beobachtet? Welche Forschungsergebnisse liegen vor?

Menzel, Claudia (2001). [Raumnutzung ausgewählter heimischer Niederwildarten im Bereich von Windkraftanlagen](#)

c) Haben Windräder eine Mitschuld am Insektensterben?

Kurzfassung: Der alarmierende Rückgang der Insekten ist vermutlich auf eine ganze Reihe von Ursachen zurückzuführen. Zu den wichtigsten gehören die intensive Landwirtschaft, Pestizideinsatz, eintönige Landschaften, Flächenfraß und der Klimawandel. Die Windenergie gehört nicht zu den Treibern des Insektensterbens, an Windenergieanlagen sterben aber dennoch Insekten.

Erste Studien mit Lichtfallen oder Infrarotkameras stützen die These, dass die Windenergie nicht Treiber des Insektensterbens ist.

1. Untersuchungen von Robert Tusch vom Staatlichen Museum für Naturkunde Karlsruhe (2021)⁵⁵:

Auf einer Windenergieanlage bei Karlsruhe wurden während der Vegetationsperiode im Jahr 2018 Untersuchungen mit Lichtfallen durchgeführt, um die Anlockwirkung dieser Anlagen auf nachtaktive Insekten zu untersuchen. Bei insgesamt neun Beprobungen zeigte sich, dass die Menge der auf der Windenergieanlage in ca. 100 m Höhe nachgewiesenen Insekten ausgesprochen gering war. Eine Ausnahme bildete eine windstille Untersuchungsnacht im Juni, in der 267 Exemplar auf Gondelhöhe nachgewiesen wurden. In der Referenzfalle am Boden war die Menge der gezählten Tiere im jahreszeitlichen Verlauf nahezu normal verteilt.

2. Untersuchung am Windenergiefeld NatForWINSSENT auf der Schwäbischen Alb (2023)⁵⁶:

⁵⁴ Port, Markus (2023). Einfluss von Windenergieanlagen auf die Abundanz der Wildkatze und anderer terrestrische Säugetiere im Kaufunger Wald, Nordhessen. Göttingen

⁵⁵ Trusch et al. (2021). Anlockwirkung von Windenergieanlagen auf nachtaktive Insekten. [Karlsruhe] : Staatliches Museum für Naturkunde Karlsruhe, https://www.smnk.de/fileadmin/page_content/pressemitteilungen/Carolinea_78_2020_Anlockwirkung_von_WEA.PDF

⁵⁶ Musiol et al. (2023). Umsetzung der Naturschutzuntersuchung am Windenergiefeld- NatForWINSSENT. https://www.natur-und-erneuerbare.de/fileadmin/Daten/Download_Dokumente/01_Skripte/BfN-Schriften-649-Naturschutz-Windtestfeld-2023.pdf

Mittels Insektenfotofallen wurde die Insektendichte auf Bodenhöhe und auch auf Gondelhöhe gemessen. Mit zunehmender Höhe und zunehmender Windgeschwindigkeit nahm die Nachweisdichte von Insekten ab. Die meisten Insektennachweise wurden bei Temperaturen oberhalb von 10 °C und bei Windgeschwindigkeiten bis 5 m/s erbracht.

Beide Studien kommen zu dem deckenden Ergebnis, dass die Anzahl der Insekten auf Gondelhöhe sehr gering ist und demzufolge die Windenergie kein treibender Faktor des Insektensterbens darstellt.

Auch interessant:

Das DLR modelliert in einer Studie aus dem Jahr 2018, dass jährlich ca. 1.200 Tonnen Insekten im Sommer durch die 31.000 deutschen Windenergieanlagen umkommen. Diese Zahl hört sich zunächst recht hoch an. Es lohnt sich aber, diese Zahl ins Verhältnis zu setzen: An Straßen sterben täglich viele Millionen Insekten, so fallen jeden Tag allein bis zu 80 Schmetterlinge (ohne Berücksichtigung anderer Insekten) pro Kilometer Straße dem Verkehr zum Opfer, und das jeden Tag.⁵⁷ Bekannt ist außerdem z.B., was unsere Vögel an Insekten verzehren, so kommen Nyffeler und Co.⁵⁸ in ihrer Studie zu dem Schluss, dass Vögel in europäischen Wäldern pro Tag im Schnitt rund **40 kg Insekten pro Hektar** verputzen.

Rechnet man das auf die gesamte Waldfläche Deutschlands hoch, verzehren nur Vögel alleine in den Wäldern Deutschlands pro Jahr mehr als 450.000 Tonnen Insekten. Demgegenüber nehmen sich 1.200 Tonnen Verluste an Windenergieanlagen eher marginal aus.

16. Wie wird der Eingriff in die Natur durch den Bau einer Windenergieanlage ausgeglichen?

Kurfassung: Nicht vermeidbare Eingriffe in den Naturhaushalt müssen laut Naturschutzrecht kompensiert werden. Die dazu notwendigen Maßnahmen werden im landschaftspflegerischen Begleitplan als Bestandteil der Genehmigung festgelegt.

Für alle Eingriffe in Natur und Landschaft gilt nach dem Bundesnaturschutzgesetz (BNatSchG) das Prinzip: vermeiden vor minimieren vor ausgleichen vor ersetzen. An letzter Stelle erst sind auch Ersatzzahlungen möglich.

Eine Bilanzierung der Eingriffe in die Leistungs- und Funktionsfähigkeit des Naturhaushaltes, zum Beispiel in Lebensräume oder Böden, und entsprechende Maßnahmen sind Teil des landschaftspflegerischen Begleitplans und Bestandteil der Genehmigungsunterlagen.

⁵⁷ Baxter-Gilbert, J. H., Riley, J. L., Neufeld, C. et al. (2015): Road mortality potentially responsible for billions of pollinating insect deaths annually. – Journal of Insect Conservation 19(5): 1029–1035. Hier zitiert nach: Hoiß, B. (2020): Roadkill von Insekten. – ANLiegen Natur 42(1): 99–102, Laufen; www.anl.bayern.de/publikationen.

⁵⁸ Nyffeler et al. (2018), Insectivorous birds consume an estimated 400–500 million tons of prey annually. Sci Nat 105, 47 (2018).

Umweltauswirkungen von Windenergieanlagen



Umfasst sind davon Maßnahmen für Tiere, Pflanzen, biologische Vielfalt, Boden, Wasser und Landschaftsbild. Beispiele sind die Schaffung von Ersatzlebensräumen oder -nahrungsflächen, die ökologische Aufwertung von forstlich genutzten Bereichen oder die Entsiegelung von Flächen. ⁵⁹

Weiterführende Informationen:

FA Wind, (2021). [Ausgleichs- und Ersatzmaßnahmen bei Windenergievorhaben](#)

KNE, (2024). [Waldinanspruchnahme durch Windenergieanlagen](#)

⁵⁹ https://www.wind-energie.de/fileadmin/redaktion/dokumente/publikationen-oeffentlich/themen/01-mensch-und-umwelt/03-naturschutz/20210831_BWE-Broschuere_Wind_im_Forst.pdf?utm_source=WindWissenNL&utm_medium=email&utm_campaign=VA-MonatsNL_2021_10&utm_content=text

Impressum

Verbände:

Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland (BUND)

Landesverband Baden-Württemberg e.V.
Marienstr. 28, 70178 Stuttgart
Telefon 0711 620306-0, Fax 0711 620306-77
bund.bawue@bund.net, www.bund-bawue.de

Naturschutzbund Deutschland (NABU)

Landesverband Baden-Württemberg e.V.
Tübinger Straße 15, 70178 Stuttgart
Telefon 0711 96672-0, Fax 0711 96672-33
NABU@NABU-BW.de, www.NABU-BW.de

Autor*innen: Luca Bonifer, Andrea Molkenthin-Kessler, Yassin Cherid und Fiona Jung

Stand: Juli 2024

Bezug: Die Handreichung erhalten Sie digital unter
www.bund-bawue.de oder www.NABU-BW.de
sowie www.dialogforum-energie-natur.de