

Akzeptanz für die Windenergie

Eine Argumentationshilfe

TEAM **ENERGIEWENDE** BAYERN



Bayerisches Staatsministerium für
Wirtschaft, Landesentwicklung und Energie

Bayerisches Staatsministerium für
Ernährung, Landwirtschaft, Forsten und Tourismus



LandSchaftEnergie



C.A.R.M.E.N.

Hintergrund

In Deutschland ist eine Energieversorgung aus nachhaltigen, erneuerbaren Quellen nicht erst seit Beginn der Energiewende Ausdruck einer modernen, umwelt- und klimaschonenden Entwicklung der Gesellschaft. Die Windenergie ist dabei ein wichtiger Pfeiler unserer künftigen Energieversorgung.

Ihr Potenzial soll im Konsens mit den Anwohnenden natur- und landschaftsverträglich genutzt werden. Dazu hat die Bayerische Staatsregierung mit einer Änderung der Bayerischen Bauordnung die sogenannte 10 H-Regel festgelegt (Art. 82 Abs. 1 BayBO). Danach ist die Nutzung der Windenergie im Außenbereich in einem anlagenbezogenen Radius der zehnfachen Gesamthöhe entprivilegiert. Die Errichtung von Windenergieanlagen ist möglich, wenn die Gemeinde eine entsprechende Bauleitplanung betreibt. Im November 2022 wurde die 10 H-Regel reformiert. Es wurden sechs Ausnahmen formuliert, bei denen der Mindestabstand auf 1.000 Meter reduziert wurde (Art. 82 Abs. 5 BayBO). Zusätzlich verringern sich seit Juni 2023 die Abstände in Windenergiegebieten auf die Vorgaben des Bundesimmissionsschutzgesetzes.

Die vorliegende Broschüre zeigt die vorhandenen, in der Praxis angewandten Möglichkeiten zur Steigerung der Akzeptanz auf und informiert über Beweggründe sowie Fakten zu gängigen Vorurteilen gegenüber der Windenergie. Damit soll die Broschüre insbesondere vor Ort bei Kommunen und Anwohnenden zu sachlicher Aufklärung über dieses vielschichtige Thema beitragen und als Argumentationshilfe zur Akzeptanzschaffung für Windprojekte dienen. Der Fokus liegt hierbei auf der Onshore-Windenergie, da gerade durch Windräder im Binnenland eine Vielzahl an Akteuren im näheren Umfeld direkt betroffen sind und deren Zustimmung eine wichtige Voraussetzung für den Zubau neuer Anlagen darstellt. Neben

der Neuerrichtung von Windenergieanlagen ist auch das sogenannte Repowering, also der Ersatz bestehender Anlagen durch neue, leistungsfähigere Modelle, in der Diskussion um die Windenergienutzung von Bedeutung.

Interessierte, skeptische oder auch kritische Aussagen zur Windenergie von Seiten der Bevölkerung zeugen davon, dass sich die Bürger und Bürgerinnen aktiv mit diesem Thema auseinandersetzen. Häufig besteht auch Interesse und Aufgeschlossenheit gegenüber Windenergieanlagen im näheren Umfeld. Tatsächlich belegen Umfragen, dass die Zustimmung zur Windenergienutzung im Allgemeinen höhere Werte erreicht, wenn die Befragten bereits Anlagen vor Ort sehen können und sie daher mit der Windkrafttechnologie vertraut sind (FA Wind und Solar 2024) (siehe Abbildung 1). Frühzeitiges Informieren über ein Windprojekt und verschiedene Beteiligungsformen für die Bürger und Bürgerinnen (§ 6 EEG) führen ebenfalls zur Steigerung der Akzeptanz vor Ort.

Häufige immer wieder auftretende Fragestellungen aus der Bevölkerung zur Windenergienutzung werden nachfolgend anhand des Unterscheidungsspektrums des Nachhaltigkeitsbegriffs differenziert in:

- wirtschaftliche Aspekte
- ökologische Aspekte
- soziale Aspekte

Mithilfe dieser Sammlung von Informationen und Argumenten soll durch die Auseinandersetzung mit kritischen und kontroversen Bereichen der Windenergie zu einer Versachlichung der Diskussion beigetragen und der Windenergie vor Ort zu größerer Zustimmung verholfen werden, indem ein Konsens darüber gefunden werden kann, wo der Einsatz der Windenergie sinnvoll und sowohl für Mensch als auch Natur verträglich ist.

Wirtschaftliche Aspekte der Windenergienutzung

Können Anlagen an küstenfernen Standorten im Binnenland überhaupt wirtschaftlich betrieben werden?

Die Windverhältnisse in Küstennähe sind prinzipiell durch stärkere, gleichmäßigere Winde als im Landesinneren geprägt. Dies liegt darin begründet, dass sich der Wind auf seinem Weg von der Küste landeinwärts an Geländestrukturen, wie Wäldern oder Gebäuden, abschwächt. Dennoch können Windenergieanlagen auch in komplexerem Gelände im Binnenland wirtschaftlich arbeiten. Um geeignete Gebiete dafür zu finden, werden die Standorte genau geprüft und Windmessungen durchgeführt.

Eine erste Orientierungshilfe bietet der Bayerische Windatlas. Geländeunebenheiten, Bewaldung oder Bebauung stellen Windhindernisse dar und führen zu turbulenten Strömungen, die sich im Vergleich zu gleichmäßigen, sogenannten laminaren Strömungen, ertragsmindernd auf die Windenergieausbeute auswirken. Durch größere Nabenhöhen lassen sich die in höheren Luftschichten vorherrschenden gleichmäßigeren Windströmungen besser ausnutzen, was vor allem für bewaldetes und hügeliges Gelände von Bedeutung ist (siehe Abbildung 2). Der Einsatz von Rotoren mit größerem Durchmesser verbessert ebenfalls die „Windernte“ und trägt damit zu einer Erhöhung des Stromertrags bei.

Ist der Aufwand für umfangreiche Windprognosen überhaupt gerechtfertigt?

Grundsätzlich gilt, dass der potenzielle Anlagenstandort durch eine möglichst einjährige Windmessung mittels laser- oder ultraschallgestützter (LiDAR bzw. SODAR) Messsysteme erfolgen sollte. Alternativ kann ebenso ein Messmast herangezogen werden. Auch die Nutzung von Referenzwerten sind eine (er-

Akzeptanz einer WEA, wenn

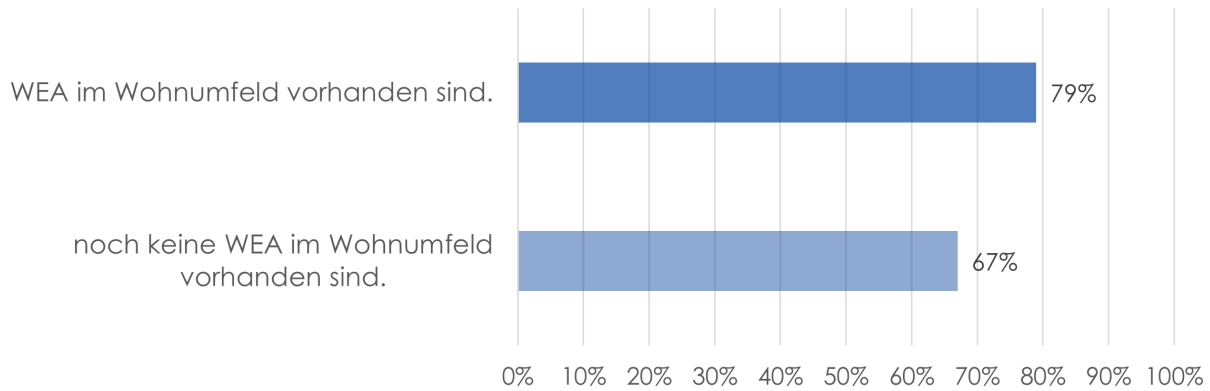


Abb. 1: Zustimmung zu Windenergieanlagen (eigene Darstellung nach FA Wind und Solar 2024a)

gänzende) Option. Dies setzt jedoch voraus, dass bereits Anlagen standortnah vorliegen, deren Messwerte zugänglich sind.

Für solche professionellen Untersuchungen fallen erwähnenswerte Investitionskosten an.

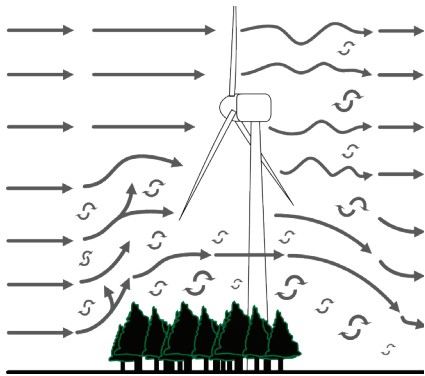


Abb. 2: Darstellung der Luftströmungen über Waldflächen (eigene Darstellung)

Diese bewegen sich für die Planung inklusive Gutachten im Bereich von rund 200 Euro je Kilowatt der Nennleistung (Lüers, Wallasch 2024).

Die Hauptinvestitionskosten für die eigentliche Anlage sowie deren Transport und Installation belaufen sich auf über 1.200 Euro je Kilowatt. Die Kosten für ein Windgutachten sind damit vergleichsweise gering. Sie sollten als notwendige Investition gesehen werden, um den Investor im Falle einer zu geringen Windhöflichkeit vor einer Fehlinvestition zu schützen (Lüers, Wallasch 2024).

Geht der Gewinn aus Windenergieanlagen nur an große Unternehmen, während die Anwohnenden im Gegenzug die Windräder ständig im Blickfeld haben?

Eine derartige Entwicklung lässt sich durch regionale Betreibergesellschaften, wie z. B. Bürgerenergiegenossenschaften, und die damit einhergehende Möglichkeit einer finanziellen Beteiligung der Anwohnenden umgehen oder zumindest deutlich abschwächen. Die Kommune, auf deren Gemeindegebiet die Windenergieanlage steht, erhält unabhängig vom Sitz der Betreibergesellschaft seit 2021 90 Prozent des anfallenden Gewerbesteueraufkommens aus den Erträgen der Windräder (§ 29 Abs. 1 Nr. 2 GewStG). Die regionale Wertschöpfung erhöht sich, wenn die Betreibergesellschaft ihren Sitz vor Ort hat und die Kommune dadurch die vollständige Gewerbesteuer sowie Einkünfte aus der Einkommens- und Abgeltungssteuer erhält.

Anlagenbetreibende dürfen zudem auf freiwilliger Basis Kommunen im Umkreis von 2,5 km um ein Windrad mit einer Mindestleistung von 1 MW eine Zuwendung ohne Gegenleistung von insgesamt höchstens 0,2 Cent pro Kilowattstunde für die eingespeiste Strommenge anbieten (§ 6 EEG 2023).

Seit dem 01.01.2026 gibt es in Bayern eine verpflichtende Beteili-

gungsregelung für neue Windenergieanlagen. Danach müssen Betreibende die entsprechenden Gemeinden und Landkreise mit 0,2 bis 0,3 ct/kWh tatsächlich eingespeister Strommenge an der Anlage beteiligen. Die Beteiligung kann entweder als Direktzahlung oder über alternative Modelle für einen Zeitraum von mind. 20 Jahren erfolgen (Art. 21 ff BayWiVG). Weiterführende Informationen finden Sie auf der Website des Bayerischen Staatsministeriums für Wirtschaft, Landesentwicklung und Energie:



Des Weiteren besteht für die Anwohnenden vor Ort die Möglichkeit, sich an einer oder mehreren Anlagen eines Windparks finanziell zu beteiligen und dadurch von den Einnahmen durch die Stromerzeugung zu profitieren (z. B. über eine Energiegenossenschaft) (FA Wind und Solar 2024b).

Der dezentrale Ausbau der Erneuerbaren Energien führt dazu, dass sich auch dezentrale Eigentümerstrukturen etablieren können. Ein großer Anteil der Windenergieanlagen an Land befindet sich, wie Abbildung 3

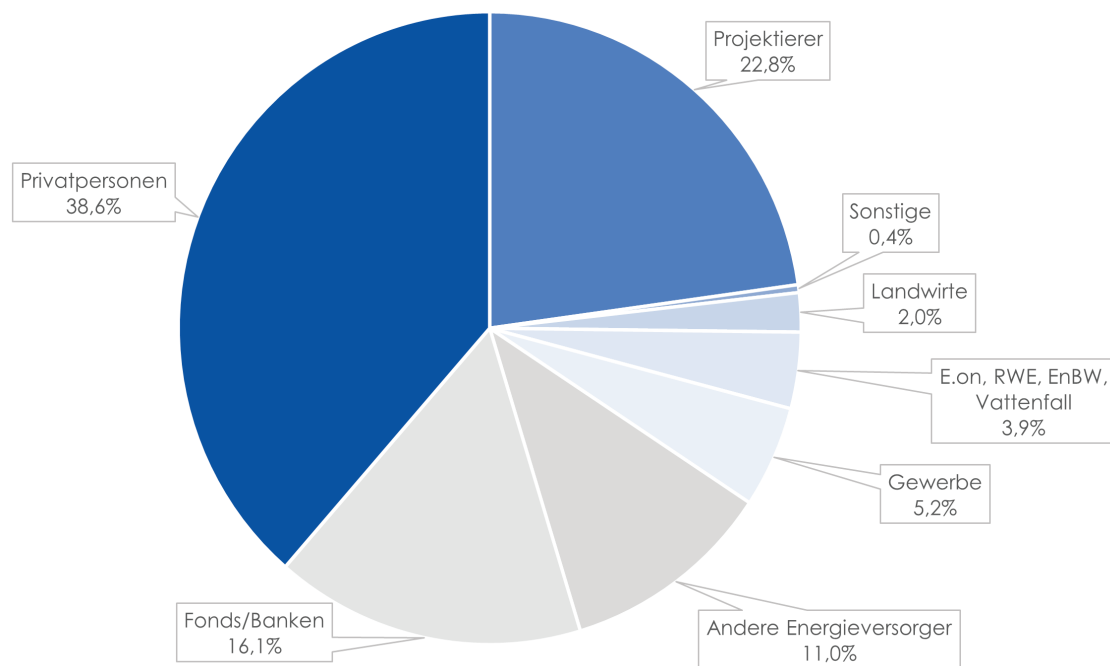


Abb. 3: Besitzverhältnisse bei Erneuerbaren-Energien-Anlagen (eigene Darstellung nach AEE 2020)

veranschaulicht, in der Hand von Privatpersonen. Durch eine finanzielle Bürgerbeteiligung haben „Betroffene“ die Gelegenheit, „Beteiligte“ zu werden und an den Anlagen mitzuverdienen (AEE 2020).

Wer kommt im Falle einer Insolvenz des Betreibers für den Rückbau der Anlagen auf? Trifft der finanzielle Schaden die Grundstückseigentümer?

Für Windenergieanlagen wird in der Regel eine Betriebszeit von 20 Jahren angesetzt. Die Grundstücksnutzungsverträge zwischen dem Windenergieanlagenbetreibenden und den Grundstückseigentümern werden daher meist ebenfalls für 20 Jahre abgeschlossen, können jedoch eine Option auf Verlängerung der Nutzungsdauer vorsehen. Nach Ende der Betriebszeit muss die Anlage vom Betreibenden rückgebaut werden. Das dafür benötigte Geld wird in aller Regel als bindende Genehmigungsaufgabe in Form einer selbstschuldnerischen Bankbürgschaft abgesichert.

Zudem kann in der Genehmigung gefordert sein, dass der Anlagenbetreibende in regelmäßigen Zeit-

abständen zu überprüfen hat, ob die Summe tatsächlich noch für einen Rückbau ausreichend ist. Diese Überprüfung liegt im Grunde auch ohne explizite Genehmigungsaufgabe im Eigeninteresse des Betreibenden, um die Anlage nach Ende der Betriebszeit kostendeckend rückbauen zu können. In diesem Fall sollte der Eigentümer oder die Eigentümerin im Grundstücksnutzungsvertrag auf eine Verpflichtung des Anlagenbetreibenden zur Überprüfung der Bürgschaftshöhe achten. Im Laufe des Betriebs der Anlage kann oder muss also ggf. eine Aufstockung der Bürgschaft vorgenommen werden. Im Falle einer Betreiberinsolvenz fällt die Rückbaupflicht an den Grundstückseigentümer oder die Grundstückseigentümerin. Für diesen Fall steht die für den Rückbau erforderliche Geldsumme auf Grund der Bürgschaft aber dennoch zur Verfügung. Hat der potenzielle Betreibende bereits gegenüber der Genehmigungsbehörde eine Rückbaubürgschaft nachgewiesen, so kann im Grundstücksvertrag auf eine Rückbausicherheit gegenüber den Grundstückseigentümern verzichtet werden.

Wie teuer ist eigentlich die Windenergie? Was bedeutet das für die Strompreise?

Die Stromgestehungskosten für Onshore-Windenergieanlagen liegen bei 4,3 und 9,2 ct/kWh und können mit fossilen Kraftwerken konkurrieren, deren Stromgestehungskosten derzeit je nach Technologie zwischen 10,9 und 32,5 ct/kWh liegen (vergleiche Abbildung 4) (Kost et. Al. 2024). Insbesondere im Hinblick auf die stetig steigenden Kosten für konventionelle Energieträger kann die Windenergie zusammen mit anderen Erneuerbaren Energien eine preisstabile Stromversorgung gewährleisten.

Dennoch stiegen die Verbraucherstrompreise mit zunehmender Einspeisung aus Erneuerbaren-Energien-Anlagen in den letzten Jahren kontinuierlich an. Dieser paradoxe Effekt ist mit dem grenzkostenorientierten Strommarktmodell in Deutschland zu begründen. Obwohl Windstrom einen finanziellen Gegenwert in Höhe seiner Stromgestehungskosten besitzt, verursacht er, anders als konventionelle Energieerzeuger, keine Grenzkosten (z. B. für Brennstoffe). Der Marktwert des Windstroms bemisst sich maßgeblich am Windstromange-

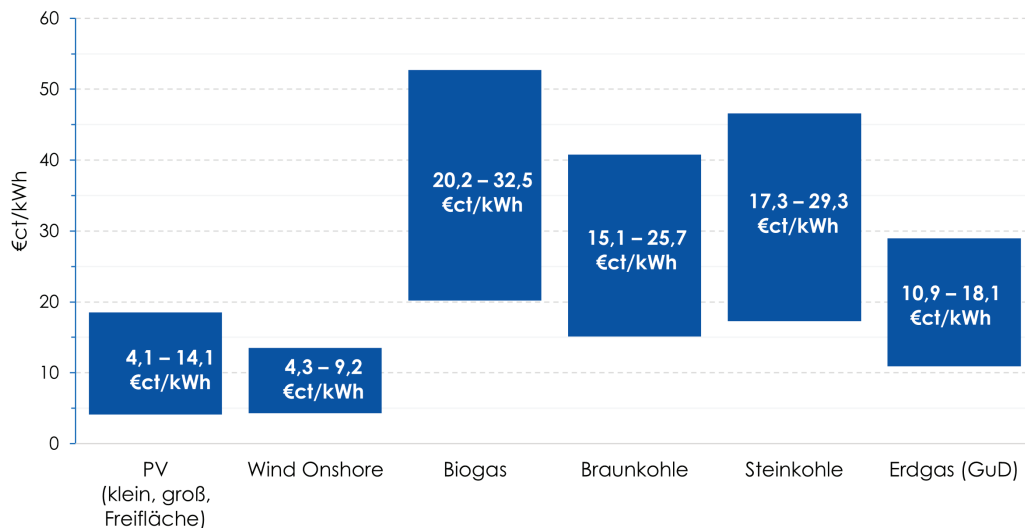


Abb. 4: Stromgestehungskosten verschiedener Stromerzeugungsanlagen (eigene Darstellung nach Kost et al. 2024)

bot. In Starkwindphasen sinkt somit der Börsenpreis für Windstrom, z. T. auch unter seine Gestehungskosten. Trotzdem erhält der Anlagenbetreibende eine festgelegte Einspeisevergütung gemäß des Ausschreibungsergebnisses. Dadurch können sich systembedingt Differenzkosten zwischen dem erzielten Börsenpreis und der ausgezahlten EEG-Vergütung ergeben, welche über ein separates EEG-Konto zur Abwicklung des Fördersystems des EEGs ausgeglichen werden. Vor dem 1. Juli 2022 mussten Stromverbraucher und Stromverbraucherinnen diese Differenz über die sogenannte EEG-Umlage bezahlen.

Warum brauchen wir zusätzlich zur Photovoltaik auch Windenergie, um unseren Strombedarf in Zukunft zu decken?

Sowohl bei Windenergie als auch bei Photovoltaik handelt es sich um fluktuierende Energieformen, deren Stromerträge von Jahres-, Tageszeiten sowie Witterungsbedingungen abhängen. Zwar können sie sich nicht an der Nachfrage orientieren, jedoch besitzen sie das Potenzial sich zu ergänzen. Während Photovoltaikanlagen nachts ohne Sonneneinstrahlung keinen Strom produzieren, ist die Windenergie unabhängig von Tages- oder Nachtzeiten. Zudem lässt sich im jahreszeitlichen Verlauf das Ertragsmaximum der Windenergie im

Winter beobachten, im Gegensatz zur Photovoltaik, die ihr Ertragsmaximum in den Sommermonaten erreicht.

Photovoltaik und Windenergie können sich also sowohl saisonal, witterungsbedingt wie auch im Tagesverlauf ergänzen und in Verbindung mit Speichertechnologien zur Versorgungssicherheit beitragen.

Wie passen Windenergie und Versorgungssicherheit zusammen?

Die Erzeugung von Windenergie unterliegt witterungsbedingten Schwankungen. Eine Abmilderung dieser zeitlich wie örtlich auftretenden Fluktuationen ist durch einen gleichmäßigeren und flächendeckenden Ausbau der Windenergie an Land möglich, da beispielsweise bei einer Windflaute im Norden eine Produktion von Windstrom im Süden erfolgen kann. Eine gute Netzintegration der einzelnen Windenergieanlagen, z. B. um regionale Überschussmengen auch überregional an Verbrauchende transportieren zu können, sowie Potenziale des Demand-Side-Managements, bei dem sich der Stromverbrauch an der fluktuierenden Stromerzeugung orientiert, sollten in Zukunft verstärkt im Energiesystem berücksichtigt werden. Darüber hinaus sollten Windräder immer so geplant werden, dass die installierte Generatorleistung mög-

lichst stark ausgelastet ist und so eine möglichst hohe Volllaststundenzahl erzielt wird. Hierfür sind die Anlagenparameter Nennleistung und Rotorfläche aufeinander abzustimmen. Das macht die Windstromerzeugung besser vorhersehbar und vermeidet starke, netzbelastende Erzeugungsspitzen. Darüber hinaus sollte grundsätzlich die Kombination mit anderen Erneuerbaren Energieträgern wie Photovoltaik, Wasserkraft und Biomasse angestrebt werden, da sie sich prinzipiell gut ergänzen können.

Anhand der in den letzten Jahren erreichten Verfeinerungen in den Wetterprognosen lassen sich die für den Ausgleich der Schwankungen erforderlichen regelbaren Kraftwerkskapazitäten (sei es konventionell oder biomassebasiert) zudem mittlerweile besser im Vorfeld einplanen. Schließlich besteht die Möglichkeit der Speicherung überschüssiger Energie mit Hilfe diverser Technologien. Der Ausbau von Speicherkapazitäten steht zwar erst am Anfang, langfristig könnten sie jedoch die Schwankungen in der Erzeugung abfangen.

Darüber hinaus sollte beachtet werden, dass bei den fossilen Energieformen nur von einer „momentanen Versorgungssicherheit“ gesprochen werden kann, da die weltweit vorhandenen Reserven und Ressourcen immer weiter zurückgehen und in jedem Falle endlich sind.

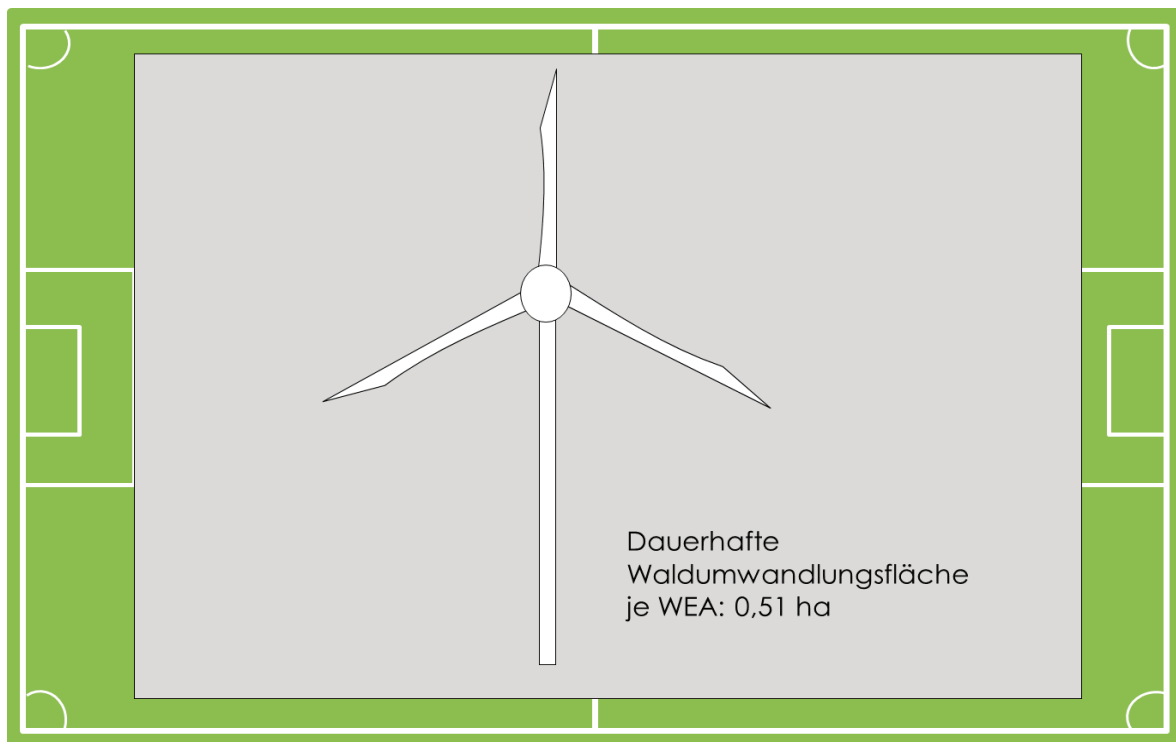


Abb. 5: Dauerhafter Flächenverbrauch bei einer Windenergieanlage im Größenvergleich zu einem Fußballfeld (eigene Darstellung nach FA Wind und Solar 2025)

Ökologische Aspekte der Windenergienutzung

Können Windenergieanlagen die für ihre Herstellung eingesetzte Energie überhaupt erwirtschaften?

Um eine Gesamtbetrachtung (Lebenszyklus) durchführen zu können, ist neben der Betriebsphase, die Phase der Herstellung und der Rückbau der Anlage am Ende der Betriebsdauer ebenso wichtig. Windenergieanlagen an Land erzeugen innerhalb von 2,5 – 3,2 Monaten so viel Energie, wie für den gesamten Lebenszyklus aufgewandt werden muss (Hengstler et.al. 2021).

Die Lebensdauer der Anlagen liegt derzeit in der Regel bei über 20 Jahren, wenn auch ggf. aus ökonomischen Gründen vor Ablauf der Lebensdauer ein Repowering stattfindet.

Sind die Einzelkomponenten von Windenergieanlagen wiederverwertbar?

Für fast alle in den Komponenten eines Windrads verwendeten Materialien bestehen geeignete Recyclingverfahren. Hauptsächlich handelt es sich dabei um Beton

(Fundament und, je nach Bauweise, Turm), Stahl (Turm) sowie zu einem geringen Anteil um weitere Metalle, z. B. Kupfer oder Aluminium (Generator und Anlagenelektronik). Die für die Gondel und die Rotorblätter eingesetzten Verbundwerkstoffe aus (Glas- oder Kohle-) Fasern und Kunstharzen werden auf Grund des in den letzten Jahren geringen Aufkommens meist thermisch verwertet. An hochwertigen Recyclingmöglichkeiten für die Verbundwerkstoffe wird derzeit intensiv geforscht. Mit zunehmenden Mengen durch außer Betrieb gehende Altanlagen ist langfristig mit wirtschaftlichen und ökologischen Recyclingwegen zu rechnen. Die derzeitigen Recyclingquoten von Windenergieanlagen liegen bei 90 Prozent und können als Sekundärrohstoffe wiederverwertet werden (FA Wind und Solar 2023).

Führt der Flächenbedarf durch Windenergieanlagen zu einer Konkurrenz mit anderen Nutzungsformen?

Die für ein Windrad erforderliche Fläche, die während der Betriebsdauer keiner alternativen Nutzung

mehr zugeführt werden kann, beläuft sich für WEA im Durchschnitt eine Freifläche von 0,2 – 0,4 ha (Kigle, Jetter et. al. 2022). Im Wald beträgt die durchschnittliche dauerhafte Waldumwandlungsfläche 0,51 Hektar (FA Wind und Solar 2025). Darin eingerechnet sind die dauerhaft beanspruchten Flächen für das Fundament (bis zu 0,06 ha), die Kranstellfläche (ca. 0,15 ha) sowie die für den Schwerlastverkehr geeignete Zuwegung (durchschnittlich ca. 0,25 ha) (KNE 2022). Das entspricht dem Flächenbedarf von etwa zwei Drittel eines Fußballfeldes, welches eine Größe von ca. 0,71 ha hat (UEFA 2011) (siehe Abbildung 5).

Zwei Windräder nehmen demnach rund einen Hektar Fläche zuzüglich der Abstandsflächen zueinander in Anspruch und erzeugen darauf bei Betrachtung eines Mittel'ertragsszenarios rund 21,8 Mio. kWh Strom (Böhm 2023). Ein durchschnittlicher Haushalt benötigt ca. 3.300 kWh Strom im Jahr (Destatis 2023). Mit einer modernen Windenergieanlage können somit je Hektar ca. 6.600 Haushalte mit Strom versorgt werden.

Damit weist die Windenergie die höchste Flächeneffizienz in der erneuerbaren Energieerzeugung auf (siehe Abbildung 6). Der Flächenbedarf an sich ist insgesamt gering, eine land- und forstwirtschaftliche Nutzung der umgebenden Flächen ist in großen Bereichen immer noch möglich.

Bringen die in Windenergieanlagen eingesetzten seltenen Erden Probleme für die Umwelt mit sich?

Hinsichtlich der Antriebstechnologien von Windanlagen existieren verschiedene technische Ansätze: Einerseits gibt es Anlagen, die die Drehbewegung der Rotoren mit Hilfe eines Getriebes auf den Generator übertragen, andererseits gibt es sogenannte Direktantriebe, die getriebelos arbeiten. Für letztere sind starke Magnetfelder erforderlich, entweder induziert durch Elektromagneten, in der Regel Kupfer, oder induziert durch einen starken Permanentmagneten, der in der Regel Neodym und zum Teil auch Dysprosium enthält, beides Elemente aus der Gruppe der seltenen Erden. Seltene Erden kommen trotz ihres Namens nicht selten, aber nur in relativ geringer Konzentration in der Erde vor, was eine Extraktion unter wirtschaftlichen Bedingungen erschwert. Unter der Voraussetzung, dass strenge Umweltschutzvorgaben getroffen und eingehalten werden, kann eine Gewinnung ohne wesentliche Umweltauswirkungen erfolgen. Da die Einhaltung strenger Vorgaben im Umweltschutz nicht in allen Produktionsländern als gesichert gelten kann, sollte größter Wert auf ein möglichst vollständiges Recycling von seltenen Erden gelegt werden. Windenergieanlagenbetreiber können diese Problematik umgehen, indem sie auf alternative Antriebstechnologien setzen (Schüler 2011, Deutscher Bundestag 2018).

Werden Vögel und Fledermäuse durch die sich drehenden Rotorblätter gefährdet?

Wie andere Technologien stellen auch Windenergieanlagen einen Eingriff in die Natur dar, der mit einer Gefährdung der Fledermaus- und Avifauna verbunden sein kann. Um Vogel- und Fledermausarten vor Schaden zu schützen, werden die potenziellen Standorte für Windenergieanlagen in der Planungsphase genauestens überprüft. Im Genehmigungsprozess sind z. B. spezielle artenschutzrechtliche Prüfungen (saP) vorgeschrieben, um das Vorkommen gefährdeter und geschützter Tiere zu analysieren.

Die Steigerung der Nabenhöhen bei modernen Anlagen kann die Gefahr vermindern, dass Vögel und Fledermäuse zu Tode kommen, da viele Arten nicht in den damit erreichten Höhen fliegen. Zu Zeiten hoher Flugaktivitäten kann die Anlage vorübergehend anhand festgelegter Abschaltintervalle außer Betrieb gesetzt werden. Außerdem werden Technologien (z. B. Antikollisionssysteme) erforscht, mittels derer Vögel über eine spezielle Annäherungssensorik erfasst und Anlagen der Situation entsprechend gedrosselt bzw. abgeschaltet werden können.

Zerstören Windenergieanlagen im Wald wertvolle Lebensräume?

Naturbelassene und sich frei entwickelnde Waldflächen stellen äußerst hochwertige Lebensräume mit hoher Artenvielfalt dar und genießen einen besonderen Schutzstatus. Daher werden durch das Planungsverfahren von vornherein unter anderem Nationalparks, Naturschutzgebiete, Flora-Fauna-Habitate, bedeutsame Plätze für Vögel und Fledermäuse, Flächen von besonderer Bedeutung als Erholungsraum für den Tourismus und Biotopverbundsysteme für die Windenergienutzung ausgeschlossen. Potenzielle Flächen sind daher Wirtschaftswälder, welche teils intensiv bewirtschaftet und zur

Produktion von Holz genutzt werden. In der Regel besitzen diese Wälder keinen besonderen Schutzstatus. Doch auch diese Standorte müssen strengen rechtlichen Standards genügen.

Das Vorkommen von gefährdeten Arten und ein potenzielles Risiko für diese wird im Rahmen der speziellen artenschutzrechtlichen Prüfung, die für jede Windenergieanlagengenehmigung verpflichtend durchzuführen ist, sowie bei größeren Windparks im Rahmen einer Umweltverträglichkeitsprüfung untersucht und eine Genehmigung gegebenenfalls verwehrt.

Am 11.07.2025 beschloss der Bundesrat das Gesetz zur Umsetzung der Richtlinie (EU) 2023/2413, bekannt unter RED III. Hintergrund des Gesetzes ist, den Ausbau der Windenergie zu beschleunigen. Dafür werden unter anderem am WindBG, am ROG sowie am BimSchG entsprechende Änderungen vorgenommen. Die Änderungen zur Genehmigungserleichterung besagen, dass in sogenannten Beschleunigungsgebieten für Windenergieanlagen an Land (§ 6a WindBG, §249c BauGB, §28 ROG) keine Umweltverträglichkeitsprüfung, keine Prüfung in Bezug auf Natura 2000-Gebiete und keine artenschutzrechtliche Prüfung im Zulassungsverfahren durchzuführen ist. Die Zulassungsbehörde führt stattdessen eine Überprüfung der Umweltauswirkungen durch. (§ 6b WindBG)

Um Eingriffe in den Wald möglichst gering zu halten, bietet sich in vielen Fällen die Nutzung der bereits zum Zweck der Waldbewirtschaftung vorhandenen Wegeinfrastruktur an. Diese ist in den öffentlichen Wäldern, welche in Deutschland einen Anteil von 57 Prozent ausmachen (Destatis 2022), oft sehr gut ausgebaut. Waldtiere, deren Lebensraum sich unterhalb der Rotoren befindet, werden hauptsächlich während der Bauphase gestört.

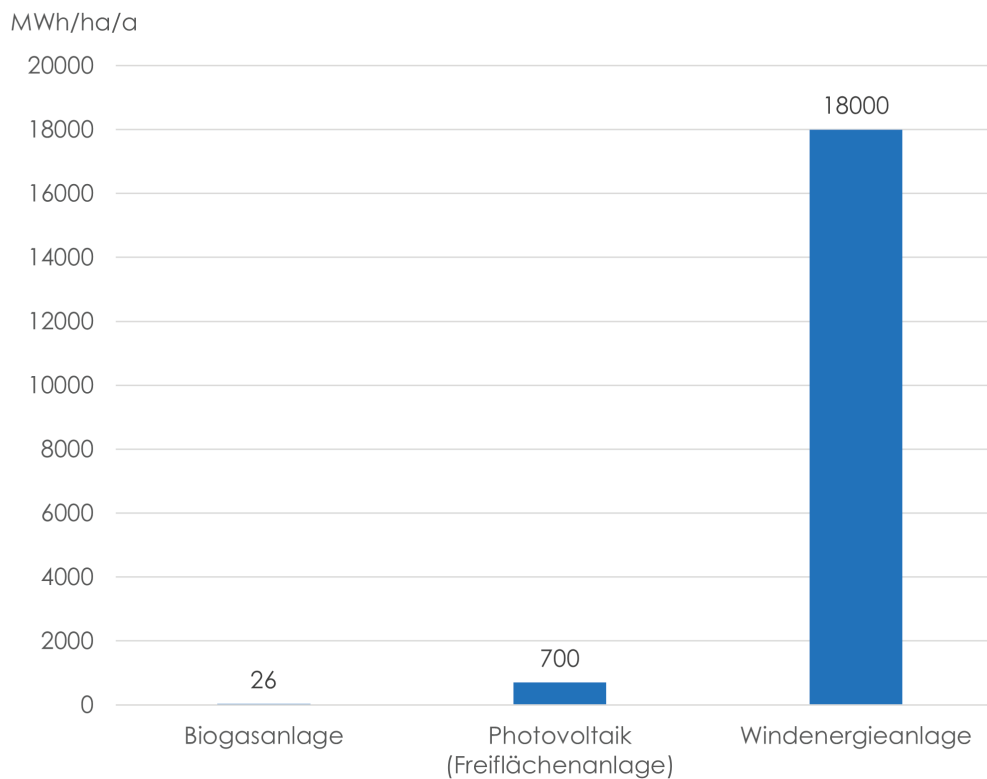


Abb. 6: Flächeneffizienz verschiedener Erneuerbarer Energien bezogen auf die Stromproduktion (eigene Darstellung nach Böhm 2023)

Weitere Tipps aus der Praxis zur waldschonenden Umsetzung von Windenergieanlagen finden Sie auf der C.A.R.M.E.N.-Webseite.



Soziale und gesundheitliche Aspekte der Windenergienutzung

Erzeugen Windenergieanlagen gesundheitsschädlichen Infraschall?

Als Infraschall wird Schall bezeichnet, dessen Frequenzbereich unterhalb von 20 Hertz liegt. Nur bei relativ hohen Schalldruckpegeln ist er für den Menschen überhaupt wahrnehmbar. Infraschall kann grundsätzlich Beeinträchtigungen der Leistungsfähigkeit, Effekte auf das Herz-Kreislaufsystem oder auch Benommenheit auslösen. Dies trifft allerdings nur auf Infraschall zu, der die Wahrnehmbarkeitsschwelle des

Menschen auch tatsächlich überschreitet.

Windenergieanlagen produzieren Infraschall, dessen Pegel bei Abständen von nur 250 m zur Anlage weit unterhalb der Wahrnehmbarkeitsschwelle liegt, weshalb davon ausgegangen werden kann, dass Windenergieanlagen keine Gefährdung für die menschliche Gesundheit darstellen (LGL & LfU 2022). Laut einer australischen Studie zum sogenannten Nocebo-Effekt kann allerdings bereits die bloße Sorge um eine mögliche Nebenwirkung dazu führen, dass sich die Befürchtungen erfüllen und die vermeintliche Nebenwirkung eintritt. Außerdem fand die Studie heraus, dass der Schlaf von Windpark-Anwohnenden nicht durch den nicht-hörbaren Infraschall negativ beeinflusst wurde (Marshall et. al. 2023). Einen belegbaren Zusammenhang zwischen dem von Windenergieanlagen emittierten Infraschall und gesundheitlichen Auswirkungen gibt es somit nicht (LfU & LGL 2022).

Wie können die Anwohnenden vor den Lärmemissionen der Windenergieanlagen geschützt werden?

Für Windenergieanlagen gelten die gleichen zulässigen Schallimmissionswerte wie für andere Anlagen. Sie werden im Rahmen des zwingend erforderlichen immissionsschutzrechtlichen Genehmigungsverfahrens festgelegt. Überschreitungen sind nicht zulässig und führen zu einer Verweigerung der Genehmigung. Für den Anlagenbetrieb können z. B. Nachtabschaltungen vorgeschrieben werden, um die niedrigeren nächtlichen Lärmgrenzwerte einzuhalten. Planerisch können die Schalleinwirkungen auf Anwohnende durch größere Abstände der Anlagen zu Wohngebäuden vermindert werden. Hierauf kann schon früh durch die Regionalplanung bzw. die Flächennutzungsplanung der Gemeinden Einfluss genommen werden (FA Wind und Solar o.J.).



Abb. 7: Besichtigung der Windenergieanlage Schweitenkirchen

Wie lassen sich Anwohnende vor unangenehmem Schattenwurf durch die Windräder schützen?

Der Schattenwurf stellt eine genehmigungsrechtlich zu prüfende Immission dar, die nach geregelten Vorgehensweisen ermittelt wird und für keinen Anwohner und Anwohnerin Maximalwerte von 30 Minuten täglich und 30 Stunden jährlich überschreiten darf. Die Einhaltung dieser Zeiten kann auch durch das Abstellen der Anlage gewährleistet werden. Andernfalls ist der Standort nicht genehmigungsfähig (LAI 2020).

Bei der Untersuchung der Schatteneinwirkung wird die theoretisch maximal mögliche Schattenwurfdauer zugrunde gelegt, die z. B. eine Bewölkung nicht berücksichtigt, weshalb die tatsächliche Schattenwurfdauer in der Praxis deutlich niedriger liegt. Durch eine sorgfältige Standortauswahl und Mindestabstände zur Bebauung lassen sich die Einwirkungen des Schattenwurfs auf Anwohner und Anwohnerinnen von Planungsbeginn an minimieren (LfU 2016).

Welche Auswirkungen sind auf Grund des gestörten Landschaftsbildes und der damit verbundenen Attraktivitätsminderung für den Tourismus zu erwarten?

Um dieses Argument zu berücksichtigen, werden die potenziellen Standorte für Windenergieanlagen genau geprüft und die Belange von Tourismus sowie Anwohnenden miteinbezogen. Naturdenkmäler und wertvolle, prägende Landschaftsbilder werden beispielsweise durch Vorgaben der Regionalplanung von Windenergieanlagen freigehalten. Dennoch sei hier betont, dass die Wahrnehmung des Landschaftsbildes stark an die Gewöhnung geknüpft ist, was auch die eingangs vorgestellten Ergebnisse aus der Akzeptanzforschung (FA Wind und Solar 2024) zeigen: Mit Vorerfahrung steigt die Zustimmung zu Windenergieanlagen an Land in der Nachbarschaft. In diesem Sinne werden z. B. Industrieanlagen oder bestehende Stromtrassen trotz ihres Einflusses auf das Landschaftsbild inzwischen als normal angesehen, da sie seit Jahren bestehen.

Eine repräsentative Umfrage unter Touristen und Touristinnen in der Nordeifel ergab, dass sich 59 Prozent von den Windenergieanlagen in dieser Gegend kaum bis gar nicht gestört fühlen (IfR 2012). Um sich einen besseren Eindruck von der Wirkung von Windenergieanlagen in der Landschaft zu verschaffen, bietet der Energie-Atlas Bayern online eine 3D-Analyse (StMWi 2024) an, mit der Windenergieanlagen digital in die Landschaft modelliert werden können.

Wie hoch ist der Wertverlust der umliegenden Gebäude und Grundstücke?

Die Höhe eines möglichen Wertverlustes von Grundstücken in der Umgebung von Windenergieanlagen ist schwer pauschal bezifferbar. Die Ursache hierfür liegt zum Großteil in der subjektiven Wahrnehmung der Windräder und der sie umgebenden Landschaft. Sind bereits Windanlagen in das Landschaftsbild integriert, so empfinden Anwohnende oder potenzielle Käufer und Käuferinnen diese als weniger oder gar nicht störend. Dies spiegelt sich auch in einem Fakten-



Abb. 8: Blick auf eine ländliche Landschaft mit Windkraftanlagen und Photovoltaik-Modulen auf den Dächern der Häuser

check der Energieagentur NRW wider. Demnach wird der Immobilienmarkt von vielen verschiedenen Faktoren beeinflusst und daher lassen sich Preisschwankungen nicht auf eine Ursache festlegen. Das Fazit des Faktenchecks lautet, dass die Befunde nach aktuellem Stand keine Aussage zulassen, dass Windenergieanlagen einen dauerhaften Einfluss auf die Immobilienwerte haben. Damit methodisch auch nur geringfügig wirksame Einflüsse von Windenergieanlagen erfasst und von anderen Windenergieanlagen unabhängigen Einflüssen unterschieden werden kann, muss in den nächsten Jahren noch einiges an Forschungs- und Optimierungsarbeit geleistet werden (Energieagentur NRW 2017).

Sonstige mögliche Beeinträchtigungen wie Lärm- oder Schattenimmissionen werden bereits im Vorfeld mittels der immissionsschutzrechtlichen Prüfungen ausgeräumt. Viele junge Menschen vertreten sogar die Ansicht, dass Windenergieanlagen in der Landschaft Ausdruck des ökologischen Fortschritts, der regionalen Wertschöpfung sowie einer nachhaltigen Gesellschaft, und damit positiv zu bewerten sind (HMWEVL 2017).

Stellen Windenergieanlagen durch Eiswurf eine direkte Gefährdung dar?

Eisteile, die sich bei besonderen Witterungsverhältnissen an den Rotorblättern bilden, können sich lösen und in der Nähe der Windenergieanlage zu Boden gehen. Um eine Gefährdung durch diesen Eiswurf auszuschließen, sind Windenergieanlagen im Mindestabstand von der 1,5-fachen Nabenhöhe plus Rotordurchmesser zur nächsten Bebauung zu errichten. Wegen sonstiger immissionsschutzrechtlicher Bestimmungen sind die tatsächlichen Abstände ohnehin um ein Vielfaches größer (StMB 2023).

Daneben können die Windenergieanlagen mit betrieblichen und technischen Vorkehrungen gegen Eiswurf ausgestattet werden, z. B. mit Eiserkennungsanlagen, wodurch der Betrieb im Bedarfsfall vorübergehend eingestellt wird, oder mit Flügelenteisungssystemen, die die Eisbildung hemmen bzw. kontrolliert entfernen. Zudem wird an dem Einsatz von Drohnen geforscht, die eine den Vereisungsprozess verhin- dernde Beschichtung auf die Rotorblätter aufbringen können (Fraun-

hofer IFAM 2023). Auf Grund dieser Maßnahmen spielt der Eiswurf im direkten Anlagenumfeld kaum mehr eine Rolle.

Ist die Befeuerung der Windenergieanlagen mit blinkenden Flugsicherheitsleuchten die ganze Nacht über erforderlich?

Die Flugsicherheitsleuchten von Windenergieanlagen sind je nach Topographie und Gebäudeausrichtung teils weithin sichtbar. Um die Lichtemissionen der Nachtbefeuerung möglichst gering zu halten, wurden bedarfsgerechte Befeuerungen entwickelt. Diese sind technisch umsetzbar und müssen fortan beim Bau neuer Anlagen berücksichtigt werden. Die mit einem Passivradarsystem ausgestatteten Anlagen nehmen die sich tatsächlich nähernden Flugobjekte wahr, so dass die Flugsicherheitsleuchten abgeschaltet bleiben können, wenn kein Flugobjekt registriert wird.

Ist die Umgebung durch Flügelbrände nach Blitzeinschlägen stark gefährdet?

Um Brände an Windenergieanlagen zu vermeiden, werden neben Blitz- und Überspannungsschutzvorrichtungen auch Anlagen zur Branderkennung und -bekämpfung eingesetzt, wie automatische Lösch-einrichtungen oder Selbstabschalt-systeme. Zusätzlich ist der Anteil brennbarer Stoffe in der Anlage gering. Mit Hilfe dieser Maßnahmen ist die Gefährdung der Umgebung durch Flügelbrände nach Blitzeinschlägen äußerst gering.

Was kann die Windenergie leisten?

1. Die Windenergie kann einen wichtigen Beitrag zum Klimaschutz erbringen.

Der durch die konventionelle Energieerzeugung beschleunigte Klimawandel verändert und zerstört die Lebensgrundlagen von Menschen, Pflanzen und Tieren. Die Nutzung der Windenergie hingegen bedeutet Klimaschutz, da jede aus Wind erzeugte Kilowattstunde Strom klimaschädliche Kohlendioxid-Emissionen aus konventionell erzeugtem Strom einspart. Die für die Herstellung der Windanlagenkomponenten und die Errichtung eingesetzte Energie erwirtschaftet die Anlage bereits innerhalb einer Betriebszeit von wenigen Monaten. Über ihre gesamte Lebensdauer hinweg erzeugt sie sogar das 40- bis 70-fache der zuvor investierten Energie (BWE 2015).

2. Die Windenergie ist ein Wirtschaftsmotor.

Die Onshore-Windbranche verzeichnete 2023 99.100 Beschäftigte. Insgesamt waren 2022 rund 406.300 Personen in der Erneuerbaren-Energien-Branche in Deutschland beschäftigt. Die Erneuerbaren Energien stärken damit langfristig die Wirtschaft und den Industriestandort Deutschland. (Statista 2025).

3. Die Windenergie ist die günstigste erneuerbare Stromquelle und fördert dezentrale Teilhaberstrukturen.

Die Förderung der Windenergie in Deutschland hat dazu geführt, dass durch sie Strom erzeugt werden kann, der preislich mit der konventionellen Stromerzeugung konkurrieren kann. Noch dazu fallen keine sogenannten externen, gesellschaftlichen Kosten für auf Klimaveränderungen zurückzuführende Naturkatastrophen oder für die Lagerung und Entsorgung kontaminierter Materialien an. Eingebettet in ein Marktsystem, das die Besonderhei-

ten der fluktuierenden Erzeugung ohne Brennstoffkosten angemessen berücksichtigt, könnten diese Kostenvorteile auch für die Allgemeinheit in stabilen Strompreisen spürbar werden.

Durch den flächendeckenden, dezentralen Ausbau der Windenergie haben sich andere Eigentümer- und Beteiligungsstrukturen an der Energieerzeugung etabliert: Bürger und Bürgerinnen, Kommunen, Landwirte und Landwirtinnen vor Ort besitzen die Energieerzeugungsanlagen und profitieren von daraus erzielten Gewinnen. Bürgerwindanlagen schaffen die Voraussetzungen, um die Wertschöpfung der Energieerzeugung vor Ort in den dezentralen Strukturen zu belassen und ländliche Räume zu stärken.

4. Die Windenergie trägt zur Unabhängigkeit von Energieimporten bei.

Die Preise der Brennstoffe für die konventionelle Energieerzeugung unterliegen erheblichen Schwankungen und tendieren auf Grund der Verknappung der fossilen Ressourcen insgesamt zu einem Anstieg. 2021 startete die CO₂-Bepreisung für die Treibhausgasemissionen, wodurch der Preis für Sprit, fossiles Gas und Heizöl stieg. Anfang 2023 kam die CO₂-Bepreisung auf das Verbrennen von Kohle hinzu. Seit dem 1. Januar 2025 ist der CO₂-Preis pro Tonne ausgestoßenem CO₂ von 45 auf 55 Euro gestiegen (Bundesregierung 2025). Der „Treibstoff“ für Windenergieanlagen ist der Wind – welcher kostenlos zur Verfügung steht und unabhängig von politischen Rahmenbedingungen in anderen Ländern und unsicheren Energieimporten macht.

5. Die Windenergie kann noch erheblich stärker zur Versorgung beitragen.

Die Windenergie weist unter den Erneuerbaren Energien eines der höchsten Ausbaupotenziale auf. 5,6 Prozent der Fläche Deutschlands verfügen über ein ausreichendes

Windpotenzial und könnten ohne Beeinträchtigung von Siedlungsflächen oder Schutzgebieten für die Windenergie genutzt werden. Würde nur ein Drittel dieses Flächenpotenzials in Anspruch genommen, also das vorgeschriebene Flächenziel von 2 Prozent, ließen sich theoretisch 970 bis 1.700 TWh Windstrom pro Jahr erzeugen (Pape et. Al. 2022). In Anbetracht des steigenden Strombedarfs, der laut der Bundesregierung bis 2030 bei rund 750 TWh (BMWK o.J.) liegt, wird es in Zukunft immer wichtiger, diesen mit EE-Anlagen zu produzieren. Besonders die Windenergieanlagen können dazu einiges beitragen.

Quellen

- Agentur für Erneuerbare Energien (2020): Erneuerbare Energien in Bürgerhand. Abrufbar unter: <https://www.unendlich-viel-energie.de/mediathek/grafiken/eigentuerstruktur-erneuerbare-energien> (letzter Abruf 14.08.2025).
- Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU) & Bayerisches Landesamt für Gesundheit und Lebensmittelsicherheit (LGL) (2022): Windenergieanlagen, Infraschall und Gesundheit. Abrufbar unter: https://www.lfu.bayern.de/buerger/doc/uw_117_windkraftanlagen_infraschall_gesundheit.pdf (letzter Abruf 10.07.2025).
- Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU) (2016): Schattenwurf von Windkraftanlagen: Erläuterung zur Simulation. Abrufbar unter: <https://www.energieatlas.bayern.de/sites/default/files/Erl%C3%A4uterungen%20zur%20Schattensimulation%20von%20Windkraftanlagen.pdf> (letzter Abruf 11.07.2025).
- Bayerisches Staatsministerium für Wohnen, Bau und Verkehr (StMB) (2023): Eiswauf. Abrufbar unter: https://www.energieatlas.bayern.de/sites/default/files/eiswurf_-_stand_28.02.2023_0.pdf (letzter Abruf: 14.08.2025).
- Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft, Landesentwicklung und Energie (StMWi) (2024): 3D-Analyse: Windräder und PV-Anlagen in der Landschaft visualisieren, Energie-Atlas Bayern. Abrufbar unter: https://www.energieatlas.bayern.de/thema_wind/3d-analyse (letzter Abruf: 14.08.2025).
- Böhm, J. (2023): Vergleich der Flächenenergieerträge verschiedener erneuerbarer Energien auf landwirtschaftlichen Flächen – für Strom, Wärme und Verkehr, In: Bericht über Landwirtschaft, Band 101, Heft 1, April 2023. Abrufbar unter: <https://buel.bmel.de/index.php/buel/article/view/462/682> (letzter Abruf 14.08.2025).
- Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) (o.J.): Unser Strommarkt für die Energiewende. Abrufbar unter: <https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Dossier/strommarkt-der-zukunft.html> (letzter Abruf: 14.08.2025).
- Bundesverband WindEnergie e.V. (BWE) (2015): A-Z – Fakten zur Windenergie. Königsdruck GmbH, Berlin. Abrufbar unter: https://www.wind-energie.de/fileadmin/redaktion/dokumente/publikationen-oeffentlich/themen/01-mensch-und-umwelt/01-windkraft-vor-ort/bwe_abisz_3-2015_72dpi_final.pdf (letzter Abruf 14.08.2025).
- Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Immissionsschutz (LAI) (2020): Hinweise zur Ermittlung und Beurteilung der optischen Immissionen von Windkraftanlagen - Aktualisierung 2019 (WKA-Schattenwurfhinweise). Abrufbar unter: https://www.lai-immissionsschutz.de/documents/wka_schattenwurfhinweise_stand_23_1588595757.01.pdf (letzter Abruf: 14.08.2025).
- Deutscher Bundestag (2018): Zur Ökobilanz der Windenergietechnologie unter Berücksichtigung Seltener Erden. Abrufbar unter: <https://www.bundestag.de/resource/blob/543800/a9906e8e1985f9078cd2209fb9e159fd/wd-8-010-18-pdf-data.pdf> (letzter Abruf: 14.08.2025).
- Die Bundesregierung (2025): CO₂-Preis beträgt jetzt 55 Euro. Abrufbar unter: <https://www.bundesregierung.de/breg-de/aktuelles/co2-preis-kohle-abfallbrennstoffe-2061622> (letzter Abruf 14.08.2025).
- EnergieAgentur.NRW GmbH (2017): Faktencheck Windenergie und Immobilienpreise – Dokumentation der Veranstaltung. Abrufbar unter: https://www.naturwind.de/wp-content/uploads/EnergieAgentur.NRW_Faktencheck_Windenergie-und-Immobilienpreise.pdf (letzter Abruf: 14.08.2025).
- Fachagentur Wind- und Solarenergie e. V. (FA Wind und Solar) (o.J.): Schall. Abrufbar unter: <https://www.fachagentur-wind-solar.de/wind/schall> (letzter Abruf: 04.08.2025).
- Fachagentur Wind- und Solarenergie e. V. (FA Wind und Solar) (2023): Kompaktwissen Rückbau und Recycling. Abrufbar unter: https://www.fachagentur-wind-solar.de/fileadmin/Veroeffentlichungen/Wind/Rueckbau/FA_Wind_Kompaktwissen_Rueckbau_und_Recycling_07-2023.pdf (letzter Abruf 30.06.2025).
- Fachagentur Wind- und Solarenergie e. V. (FA Wind und Solar) (2024a): Umfrage zur Akzeptanz der Windenergie an Land – Herbst 2024, Berlin. Abrufbar unter: https://www.fachagentur-wind-so-lar.de/fileadmin/Veroeffentlichungen/Wind/Akzeptanz/FA_Wind_und_Solar_Umfrageergebnisse_Herbst_2024.pdf (letzter Abruf 30.06.2025).
- Fachagentur Wind- und Solarenergie e. V. (FA Wind und Solar) (2024b): Kompaktwissen Bürgerwindenergie. Abrufbar unter: https://www.fachagentur-wind-solar.de/fileadmin/Veroeffentlichungen/Wind/Beteiligung/FA_Wind_Kompaktwissen_Buergerwind_02-2023.pdf (letzter Abruf 04.08.2025).

- Fachagentur Wind- und Solar e.V. (FA Wind und Solar) (2025): Entwicklung der Windenergienutzung auf Forstflächen – Ausbau, planerische Vorgaben und Empfehlungen für Anlagenstandorte in den Ländern, Berlin. Abrufbar unter: https://www.fachagentur-wind-so-lar.de/fileadmin/Veroeffentlichungen/Wind/Windenergie_im_Wald/FA_Wind_und_Solar_Analyse_Wind_im_Forst_10Auflage_2025.pdf (letzter Abruf: 30.06.2025).
- Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung (IFAM) (2023): Projekt „TURBO: Temporäre Beschichtung mittels Drohnen – Vereisungsschutz von Windenergieanlagen als Fallbeispiel“. Abrufbar unter: <https://www.ifam.fraunhofer.de/de/magazin/turbo-beschichtung-mittels-drohnen.html> (letzter Abruf: 14.08.2025).
- Hengstler, J., Russ, M., Stoffregen, A., Hendrich, A., Weidner, S. & Sphera Solutions GmbH (2021): Abschlussbericht. Aktualisierung und Bewertung der Ökobilanzen von Windenergie- und Photovoltaikanlagen unter Berücksichtigung aktueller Technologieentwicklungen. In: Climate Change, Heft 35/2021, S. 307 Hrsg.: Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau.
- HMWEVL (Hessisches Ministerium für Wirtschaft, Energie, Verkehr und Landesentwicklung) (2017): Faktenpapier Windenergie in Hessen: Landschaftsbild und Tourismus. Bürgerforum Energieland Hessen. Hrsg.: HA Hessen Agentur GmbH, Wiesbaden. Abrufbar unter: https://www.buergerforum-energieland-hessen.de/aktion/zukunftswerkstatt/fulda_darmstadt/Faktenpapier_Natur_und_Umweltschutz.pdf (letzter Abruf 14.08.2025).
- Institut für Regionalmanagement (IfR) (2012): Besucherbefragung zur Akzeptanz von Windkraftanlagen in der Eifel. Abrufbar unter: <https://rlp.tourismusnetzwerk.info/download/Bericht%20IfR%20Befragung%20Windenergie%20Eifel%2019-09-12.pdf> (letzter Abruf 14.08.2025).
- Kigle S., Jetter F., Ebner M., Schmid T. (2022): 2 % der Landesfläche für Windenergie: ein geeignetes Maß? – FFE Discussion Paper 2022-01. Forschungsstelle für Energiewirtschaft e.V., München. Abrufbar unter: <https://www.ffe.de/wp-content/uploads/2022/02/Discussion-Paper-Landesflaeche-fuer-Windenergie-2.pdf> (letzter Abruf 04.08.2025).
- Kompetenzzentrum Naturschutz und Energiewende (KNE) (2022): KNE-Wortmeldung zum Flächenbedarf der Windenergie, Berlin. Abrufbar unter: https://www.naturschutz-energieland.de/wp-content/uploads/2022_02_10_KNE-Wortmeldung_Zum_Flaechenbedarf_der_Windenergie%E2%80%AF.pdf (letzter Abruf 14.08.2025).
- Kost, C., Shammugam, S., Jülch, V., Nguyen, H.-T. & T. Schlegl (2024): Stromgestehungskosten Erneuerbare Energien. Juli 2024. Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme ISE, Freiburg. Abrufbar unter: https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/documents/publications/studies/DE2024_ISE_Studie_Stromgestehungskosten_Erneuerbare_Energien.pdf (letzter Abruf 14.08.2025).
- Lüers, S., Wallasch, A.-K. (Deutsche Windguard GmbH) (2024): Kostensituation der Windenergie an Land Stand 2024. Abrufbar unter: https://www.windguard.de/veroeffentlichungen.html?file=files/cto_layout/img/unternehmen/veroeffentlichungen/2024/Kostensituation%20der%20Windenergie%20an%20Land%20%E2%80%93%20Stand%202024.pdf (letzter Abruf 04.08.2025).
- Marshall, N.S., Cho, G., Toelle, B.G., Tonin, R., Bartlett, D.J., D’Rozario, A.L, et. al. (2023): The Health Effects of 72 Hours of Simulated Wind Turbine Infrasound: A Double-Blind Randomized Crossover Study in Noise-Sensitive, Healthy Adults. DOI:10.1289/EHP10757
- Pape, C., Geiger, D., Zink, C., Thylmann, M., Peters, W. & Hildebrandt, S. (2022): Flächenpotenziale der Windenergie an Land 2022, Fraunhofer-Institut für Energiewirtschaft und Energiesystemtechnik IEE, Bosch & Partner GmbH. Abrufbar unter: https://www.wind-energie.de/fileadmin/redaktion/dokumente/publikationen-oeffentlich/themen/01-mensch-und-umwelt/02-planung/20220920_BWE_Flaechenpotentiale_Windenergie_an_Land.pdf (letzter Abruf: 14.08.2025).
- Schüler, D. (2011): Hintergrundpapier Seltene Erden – Daten & Fakten; Öko-Institut e.V. Abrufbar unter: <https://www.oeko.de/fileadmin/pdfs/oekodoc/1110/2011-001-de.pdf> (letzter Abruf 14.08.2025).
- Statista (2025): Anzahl der Beschäftigten in der Windindustrie Offshore und Onshore in Deutschland in den Jahren 2000 bis 2023. Abrufbar unter: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/271271/umfrage/beschaeftigtenzahl-in-der-deutschen-windenergiebranche/#statisticContainer> (letzter Abruf: 30.06.2025).
- Statistisches Bundesamt (Destatis) (2022): Forststrukturerhebung 2022: 43 % des deutschen Waldes in Privatbesitz. Abrufbar unter: https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2022/09/PD22_415_41161.html (letzter Abruf: 14.08.2025).
- Statistisches Bundesamt (Destatis) (2023): Stromverbrauch der privaten Haushalte nach Haushaltsgrößenklassen. Abrufbar unter: <https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Umwelt/UGR/private-haushalte/Tabellen/stromverbrauch-haushalte.html> (letzter Abruf 14.08.2025).
- Union of European Football Associations (UEFA) (2011): UEFA-Handbuch für Qualitätsstadion. Abrufbar unter: https://de.uefa.com/MultimediaFiles/Download/uefaorg/Stadium&Security/02/11/78/27/2117827_DOWNLOAD.pdf (letzter Abruf: 14.08.2025).



Über uns

C.A.R.M.E.N. e.V. – das Centrale Agrar-Rohstoff Marketing- und Energie-Netzwerk – ist die bayerische Koordinierungsstelle für Nachwachsende Rohstoffe, Erneuerbare Energien und nachhaltige Ressourcennutzung.

C.A.R.M.E.N. e.V. bündelt Informationen und bietet kostenfreie, neutrale Beratung für alle Interessengruppen. Das Netzwerk ist Teil des Kompetenzzentrums für Nachwachsende Rohstoffe (KoNaRo) in Straubing.



Unsere Themen



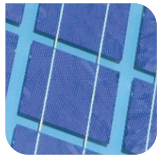
Holzenergie & Wärmenetze

Holzbrennstoffe, Holzheizungen, Biomasseheizwerke, Holzvergasungsanlagen, Wärmenetze



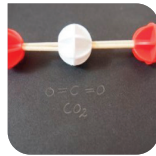
Stoffliche Nutzung

Nachhaltig Bauen, Biowerkstoffe, Nachhaltige Beschaffung, Industriepflanzen



Erneuerbare Energien

Energiespeicher, Photovoltaik, Solarthermie, Umweltwärme, Windenergie



Erneuerbarer Kohlenstoff

CCU, Bioraffinerie, Alternative Recyclingtechnologien, ressourceneffizienter Straßen- und Wegebau



Biogas

Einsatzstoffe, Wirtschaftlichkeit, Ausschreibungen, Technik



Nachhaltigkeit

Nachhaltige Entwicklung, Klimaschutz, Kreislaufwirtschaft, Zertifizierung, Nachhaltigkeit im Unternehmen



Mobilität

Elektromobilität, Alternative Kraftstoffe, Nachhaltige Mobilität



Akzeptanzmanagement

Bioökonomie

Energieeffizienz

Energieeinsparung

Unser Service

- **Beratung:**
Privatpersonen, Kommunen und Verwaltungen, Unternehmen, land- und forstwirtschaftliche Betriebe, Akteursgruppen im ländlichen Raum, fachlich oder inhaltlich Interessierte
- **Informationstransfer:**
Publikationen, Vorträge, Fachveranstaltungen, Exkursionen, Messen, umfangreiche Website, Social Media
- **Vernetzung:**
Mitarbeit in Verbänden, Vernetzen von Forschung, Wirtschaft, Politik und Anwendenden, Stakeholder-Dialoge
- **Projekte:**
Begutachtung, Betreuung und Koordination, Evaluierung, Durchführung eigener Vorhaben, Mitwirkung an Projekten Dritter

Impressum

Herausgeber: C.A.R.M.E.N. e.V.
Centrales Agrar-Rohstoff
Marketing- und Energie-Netzwerk
Schulgasse 18 · 94315 Straubing
Tel.: 09421 960 300 · Fax -333
E-Mail: contact@carmen-ev.de
Internet: www.carmen-ev.de
V.i.S.d.P.: Edmund Langer
Text und Konzeption:
C.A.R.M.E.N. e.V.
Bildnachweis: C.A.R.M.E.N. e.V.
Stand: Februar 2026