

Klartext zur Windenergie

Häufig geäußerte Aussagen zur Windenergie und die dazugehörigen Fakten und Hintergründe

INHALTSVERZEICHNIS

Einleitung.....	4
Naturschutz und Gesundheit.....	5
Aussage: Windenergieanlagen erzeugen gesundheitsschädlichen Infraschall.....	5
Aussage: Durch den Abrieb an den Rotorblättern entsteht gefährliches Mikroplastik.....	7
Aussage: In Norwegen wurden 151 Windenergieanlagen (WEA) abgebaut, weil es durch die Vibrationen vermehrt zu Geburtsfehlern und Deformationen bei Rentieren gekommen ist.....	8
Aussage: Der Bau von Windenergieanlagen greift massiv in die Umwelt ein, gefährdet Biotope und führt zu Habitatverlusten.....	9
Aussage: Für den Bau von Windenergieanlagen werden enorme Flächen Wald gerodet	11
Aussage: Für die Errichtung von Windenergieanlagen werden ökologisch wertvolle Wälder zerstört.....	12
Aussage: Periodischer Schattenwurf und Stroboskop-Effekte von Windenergieanlagen sind gesundheitsschädlich.....	13
Aussage: Der Rückbau bzw. das Recycling von Windenergieanlagen ist nicht möglich und wird nicht reguliert.....	14
Aussage: Flächeneigentümer können für den Rückbau von Windenergieanlagen haftbar gemacht werden.....	16
Klimaschutz	17
Aussage: Bei der Herstellung von Windenergieanlagen wird mehr CO ₂ verbraucht als diese im Laufe ihres Betriebs einsparen	17
Aussage: In Windenergieanlagen wird das Treibhausgas SF ₆ verwendet.....	17
Aussage: Windenergieanlagen fördern die Erderwärmung und trocknen vor Ort die Böden aus	18
Rund um das Thema Windenergieanlagen.....	19
Frage: Aus welchen Materialien bestehen Windenergieanlagen?.....	19
Frage: Wie viel kostet eine moderne Anlage?	20
Aussage: Bei modernen Windenergieanlagen beträgt die Fundamenttiefe 25 Meter und die Fundamente verbleiben beim Rückbau der Anlagen im Boden.....	20
Aussage: Strom aus Windenergie ist teurer als aus konventioneller Stromerzeugung	21
Aussage: Baden-Württemberg ist „Schwachwind-Gebiet“ – Windenergieanlagen lohnen sich hier allenfalls aufgrund von Subventionen.....	24

Aussage: Windenergieanlagen erzeugen Erschütterungen.....	28
Aussage: Windenergieanlagen wirken sich negativ auf den Tourismus aus.....	29
Aussage: Die Nähe zu Windenergieanlagen führt zu Wertverlust von Immobilien	30
Energiewende.....	31
Aussage: Für die Grundlast bei Dunkelflaute müssen konventionelle Kraftwerke vorgehalten werden.....	31
Aussage: Deutschland geht bei der Energiewende einen Sonderweg	33
Aussage: Die Energiewende kostet Milliarden. Es ist günstiger, das bestehende Energiesystem beizubehalten	34

Klartext zur Windenergie – Häufig geäußerte Aussagen zur Windenergie und die dazugehörigen Fakten und Hintergründe

Hinweis: Dieses Dokument wird fortlaufend aktualisiert und erweitert. Achten Sie daher auf die Aktualität der verwendeten Version.

EINLEITUNG

Warum ist es wichtig, dass Deutschland die Energiewende konsequent vorantreibt, obwohl andere Länder einen deutlich größeren Einfluss auf das Klima haben?

Deutschland trägt mit etwa 1,27 % zu den **weltweiten Treibhausgasemissionen** (THG) bei, was im Jahr 2024 rund 674 Millionen Tonnen an CO₂-Äquivalenten entsprach. Damit gehört Deutschland zu den zwölf größten Emittenten weltweit ([Europäische Kommission 2025](#)). Betrachtet man die **historischen Emissionen (1750–2024)**, belegt Deutschland sogar den vierten Platz hinter den USA, China und Russland mit einem Anteil von etwa 5 % an den globalen Gesamtemissionen ([ourworldindata.org](#)). Darüber hinaus weist Deutschland einen **überdurchschnittlich hohen ökologischen Fußabdruck** auf, der 4,7 globale Hektar (gha) pro Kopf beträgt. Verträglich wären lediglich 1,55 gha pro Kopf. Deutschland lag 2019 auf Platz 34 der 181 betrachteten Staaten.

Der Klimawandel ist ein globales Problem, das keine nationalen Grenzen kennt. In einer vernetzten Welt hat jedes Land die Verantwortung, seinen Beitrag zur Reduktion der globalen Emissionen zu leisten. Deutschland hat sich im Rahmen internationaler **Vereinbarungen zu Netto-Null-Emissionen** verpflichtet. Dies bedeutet, dass Deutschland nicht mehr Treibhausgase emittieren darf als es der Atmosphäre entnimmt. Um dieses Ziel zu erreichen, muss die Energiewende konsequent umgesetzt werden. Argumente wie „*Andere Länder sind schlimmer*“ greifen hier nicht, da eine erfolgreiche **globale Dekarbonisierung** nur durch die Mitwirkung aller Staaten möglich ist.

Neben dem Klimaschutz gibt es auch geopolitische Gründe für eine konsequente Energiewende. Der Krieg in der Ukraine hat deutlich gemacht, wie abhängig Deutschland bei der Energieversorgung von autokratischen Staaten, wie z. B. Russland ist. Eine verstärkte

Produktion erneuerbarer Energien im Inland **reduziert diese Abhängigkeit und erhöht die Versorgungssicherheit**. Die Energiewende ist also nicht nur eine ökologische Notwendigkeit, sondern auch eine sicherheitspolitische Chance für Deutschland.

NATURSCHUTZ UND GESUNDHEIT

Themen: Infraschall, Wasserverschmutzung, Biodiversität, Entwaldung, Mikroplastik

Aussage: Windenergieanlagen erzeugen gesundheitsschädlichen Infraschall.

Geräusche, die Menschen wahrnehmen, sind nichts anderes als Schallwellen in einem bestimmten Frequenzbereich. Dieser liegt etwa zwischen 20 und 20.000 Hertz (Hz). Schallwellen mit sehr hohen Frequenzen (über 20.000 Hz) nennt man Ultraschall, während solche mit sehr niedrigen Frequenzen (unter 20 Hz) als Infraschall bezeichnet werden. Infraschall und Ultraschall sind für das menschliche Gehör im Normalfall nicht wahrnehmbar (Umweltbundesamt). Ultraschall ist vor allem aus der Medizin bekannt. Infraschall hingegen umfasst sehr tieffrequente Schallwellen und wird häufig im Zusammenhang mit Windenergieanlagen diskutiert. Dabei gibt es viele natürliche und menschengemachte Quellen für Infraschall (LfU Bayern):

- **Natürliche Quellen:** Meeresbrandung, starke Winde, Unwetter sowie die Kommunikation von Elefanten und Walen
- **Menschliche Quellen:** Energieanlagen wie Biogasanlagen und Heizwerke, Pumpen, Rüttler, Umspannstationen, Verkehrsmittel (Autos, LKWs, Schiffe), leistungsstarke Lautsprechersysteme (z. B. in Diskotheken), Kühlschränke und Windenergieanlagen

Neben der Frequenz – also der Tonhöhe – spielt auch der Schalldruckpegel (die Lautstärke, gemessen in Dezibel (dB)) eine entscheidende Rolle für die Wahrnehmung von Schallwellen (siehe Abb. 1). So kann eine Schallwelle im Infraschallbereich bei sehr hohem Schalldruck nicht wirklich als Ton wahrnehmbar sein, sondern eher als Ohrendruck (LUBW).

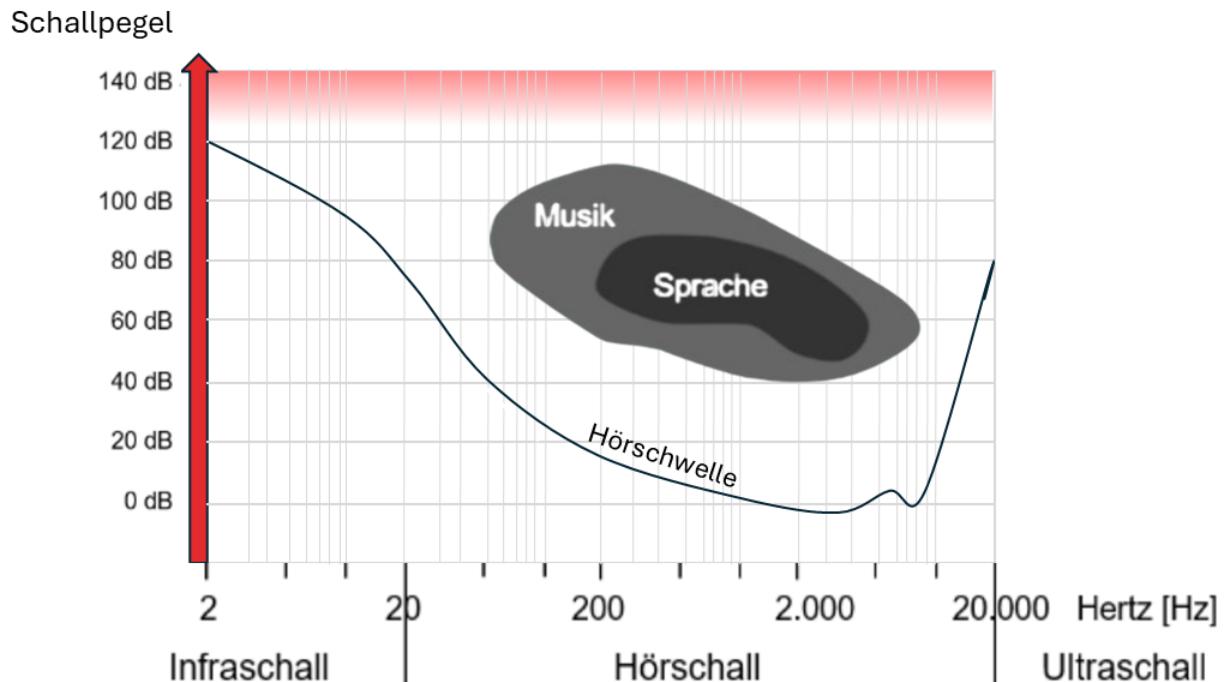


Abbildung 1: Bedeutung von Schalldruck und Frequenz für das Hörempfinden,
 Quelle: eigene Darstellung nach LUBW

Damit Infraschall für den Menschen wahrnehmbar wird, muss der Schalldruckpegel, also die Lautstärke, sehr hoch sein. Bei einer Studie mit 19 Probanden lag die Hörschwelle eines 12-Hz-Tons, der in unmittelbarer Nähe der Probanden erzeugt wurde, zwischen 83 und 104 Dezibel. Negative Effekte von Infraschall auf das gesundheitliche Wohlbefinden konnten auch in Langzeitstudien bisher nicht nachgewiesen werden, wenn der Infraschall unterhalb der Hörschwelle liegt. Einige Untersuchungen mit Magnetresonanztomographie (MRT) haben gezeigt, dass Infraschall kurz vor der Wahrnehmungsschwelle zu Hirnaktivitäten führen kann. Da der Infraschall von Windenergieanlagen deutlich unter der Wahrnehmungsschwelle liegt, sind diese Erkenntnisse jedoch nicht übertragbar – es ist äußerst unwahrscheinlich, dass Windenergieanlagen durch Infraschall negative gesundheitliche Reaktionen verursachen (Umweltbundesamt). Nachteilige Auswirkungen durch Infraschall von Windenergieanlagen sind nach den vorliegenden Erkenntnissen nicht zu erwarten.

Zum Schutz der Allgemeinheit vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Geräusche gelten für Anlagen, die den Anforderungen des Zweiten Teils des Bundes-Immissions-schutzgesetzes (BlmSchG) unterliegen (dazu zählen Windenergieanlagen), **streng**

gesetzliche Vorgaben. Diese Vorschriften sind in der **technischen Anleitung zum Schutz gegen Lärm (TA Lärm)** festgelegt. Zum Beispiel dürfen Anlagen in reinen Wohngebieten tagsüber maximal 50 dB(A) und nachts höchstens 35 dB(A) an Geräuschpegel außerhalb von Gebäuden verursachen. Für allgemeine Wohngebiete und Kleinsiedlungsgebiete gelten Grenzwerte von 55 dB(A) am Tag und 40 dB(A) in der Nacht. Die Grenzwerte liegen deutlich unter der nachgewiesenen Wahrnehmungsschwelle für Infraschall. Auch Untersuchungen der LUBW aus den Jahren 2013–2015 haben gezeigt, dass der durch Windenergieanlagen erzeugte Infraschall in einer Entfernung von 150 m weit unter der menschlichen Wahrnehmungsschwelle liegt ([LUBW](#)).

Wieso berichten einige Menschen dennoch von negativen gesundheitlichen Effekten, die durch Windenergieanlagen und insbesondere Infraschall verursacht wurden? Ein Grund liegt im sogenannten Nocebo-Effekt. Der Nocebo-Effekt beschreibt das Phänomen, dass bereits negative Erwartungen einen negativen Einfluss auf unser Wohlbefinden haben. In diesem Fall betrifft es die Erwartung, Infraschall von Windenergieanlagen mache krank. Ein weiterer Grund kann das Verwechseln von Immissionen sein, die von einer Windenergieanlage ausgehen. So erzeugen Windenergieanlagen durch die Bewegung der Rotorblätter ein hörbares „Wuschen“, was von manchen Menschen als störend empfunden wird. Hierbei handelt es sich jedoch um keinen Infraschall ([Umweltbundesamt](#)) – um diese Störungen zu minimieren gelten die Grenzwerte der TA Lärm.

Aussage: Durch den Abrieb an den Rotorblättern entsteht gefährliches Mikroplastik.

Durch den Abrieb an den Rotorblättern von Windenergieanlagen entsteht Mikroplastik, das hauptsächlich aus **Epoxidharz oder Polyurethan** besteht. Diese Kunstharze sind im ausgehärteten Zustand nicht gesundheitsschädlich. Ein gewisser Abrieb bei beweglichen Teilen ist normal. Schätzungen zur gesamten Abriebmenge aller Windenergieanlagen in Deutschland liegen zwischen **80 und 1.400 Tonnen pro Jahr**. Zum Vergleich:

- Der Abrieb von **Schuhsohlen** beträgt jährlich etwa **9.000 Tonnen**.
- Der Abrieb von **Autoreifen** liegt sogar bei **100.000 Tonnen pro Jahr** ([hs-coburg.de](#)).

Der Vergleich berücksichtigt nicht, dass es sich um jeweils unterschiedlichen Abrieb handelt und soll die Belastung durch den Abrieb von Windenergieanlagen nicht relativieren, sondern vielmehr helfen, die Zahlen in einen größeren Zusammenhang zu setzen.

Bei der Herstellung von Epoxidharzen für Windenergieanlagen kommt häufig der **Stoff Bisphenol-A (BPA)** zum Einsatz. Hier wird BPA als reaktives Mittel verwendet. Während des Aushärtungsprozesses wird es in einen festen, nicht wasserlöslichen Zustand umgewandelt, sodass im Endprodukt keine relevanten BPA-Mengen mehr vorhanden sind (energiewende.eu). Zudem besteht der Rotorblattabrieb größtenteils aus BPA-freiem Polyurethan ([Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie und Mobilität Rheinland-Pfalz](#)). Die Gefahr, dass BPA durch den Abrieb in die Umwelt gelangt und beispielsweise über Pflanzen in unsere Nahrungskette aufgenommen wird, ist daher extrem gering.

Eine weitere Stoffgruppe, die in Windenergieanlagen verwendet wird, sind sogenannte per- und polyfluorierte Alkylsubstanzen (PFAS), die in Kunststoffen enthalten sind. Sie lassen sich in dieser Form kaum aus den Partikeln herauslösen. Es gibt keine Hinweise, dass der Windenergiebereich als Hauptverbreitungsquelle in Frage kommt, auch wenn die Stoffe in verbauten Materialien eingesetzt werden. Es ist fraglich, ob PFAS, die in den Läcken fest gebunden sind, im Mikroplastik bioverfügbar vorliegen (energiewende.eu).

Aussage: In Norwegen wurden 151 Windenergieanlagen (WEA) abgebaut, weil es durch die Vibrationen vermehrt zu Geburtsfehlern und Deformationen bei Rentieren gekommen ist.

Diese Aussage stammt vermutlich aus einem Leserbrief, der 2023 in der Landshuter Zeitung veröffentlicht wurde (afp.com). Tatsächlich gab es auf der Halbinsel Fosen in Norwegen eine Kontroverse um zwei Windparks sowie eine gerichtliche Entscheidung. Dabei ging es jedoch nicht um Fehlgeburten bei Rentieren, sondern um die **Rechte der indigenen Saami-Bevölkerung** (afp.com).

Das Oberste Gericht Norwegens entschied, dass die Windparks die Rentiere durch Lärm und Nähe verängstigen und dadurch die Traditionen der Saami gefährden könnten. Darauf wurden die Anlagen für unzulässig erklärt, aber das Gericht ordnete keinen Rückbau an (afp.com, gfbv.ch, perma.cc). Inzwischen haben sich die Saami und die Betreiber der Windparks außergerichtlich geeinigt: Die Saami erhalten alternative Weideflächen für ihre Rentiere. Sie bekommen jährliche Ausgleichszahlungen, solange die Windparks in Betrieb sind. Falls die Betreiber eine Verlängerung der Betriebszeit beantragen, haben die Saami ein Vetorecht (gfbv.ch). Ein wissenschaftlicher Nachweis, dass Windenergieanlagen einen negativen Einfluss auf (Nutz-)Tiere haben, ist nicht erbracht.

Aussage: Der Bau von Windenergieanlagen greift massiv in die Umwelt ein, gefährdet Biotope und führt zu Habitatverlusten.

Wie viele menschliche Aktivitäten kann auch der Ausbau der Windenergie negative Auswirkungen auf die Umwelt haben. **Von Kritikern wird dabei jedoch das Ausmaß oft zu undifferenziert dargestellt und regelmäßig stark überhöht.** Oft fehlt es auch an Gefühl für die Dimension der Zahlen, um sie angemessen in Relation setzen zu können.

Ein häufig genanntes Argument ist, dass durch Windenergieanlagen (WEA) jährlich bis zu 100.000 Vögel sterben – Schätzungen reichen von 10.000 bis 100.000. Diese Zahl wirkt auf den ersten Blick hoch. Jedoch sterben jährlich ebenfalls 18 bis 115 Millionen Vögel durch Kollisionen mit Fensterscheiben (BWE). Dieser Vergleich ist keine 1:1-Gegenüberstellung, da unterschiedliche Vogelarten betroffen sind. Insbesondere bestimmte Großvogelarten, bei denen eine menschenverursachte zusätzliche Mortalität populationsrelevant werden kann, können mit Windenergieanlagen kollidieren. Bei Kollisionen mit Fensterscheiben im Siedlungsbereich sind hingegen insbesondere häufige Kleinvogelarten betroffen, die Verluste schnell ausgleichen können. Der Vergleich der Kollisionszahlen hilft, die **verschiedenen Mortalitätsursachen in eine Relation zu setzen**.

Besonders Greifvögel wie der Rotmilan werden als Opfer von Windenergieanlagen festgestellt. Deutschland trägt aufgrund der auf Europa konzentrierten Verbreitung des Rotmilans eine hohe Verantwortung zum Erhalt der Art. Die Rotmilan-Population in Deutschland ist derzeit insgesamt stabil, was darauf hindeutet, dass der Ausbau von Windenergieanlagen keinen bestandsgefährdenden Einfluss hat.

Eine der größten laufenden Studien zu diesem Thema ist das LIFE EUROCITE-Projekt. Erste Ergebnisse von 2024 zeigen, dass bei 121 **toten Rotmilanen in Deutschland folgende Ursachen** festgestellt wurden (Kompetenzzentrum Naturschutz und Energiewende):

- 41 % wurden von Fressfeinden getötet
- 12 % starben durch Schienenverkehr
- 10 % durch Straßenverkehr
- 10 % durch andere natürliche Ursachen
- 8 % durch Windenergieanlagen.

Einschränkend muss man sagen, dass vor allem Jungvögel untersucht wurden. Diese sind weniger durch Kollisionen an Windenergieanlagen betroffen als Altvögel. Zudem fehlt noch eine abschließende Beurteilung der Studie. Die Zahlen deuten dennoch darauf hin, dass die besiedelten Rotmilane hauptsächlich durch menschliche Infrastruktur gefährdet wurden. Windenergieanlagen spielen dabei eine Rolle, Schienen- und Straßenverkehr wurden jedoch häufiger als Ursache festgestellt.

Laut NABU und BUND gelten 29 Vogelarten als besonders empfindlich gegenüber Windenergieanlagen ([NABU und BUND](#)). An einem konkreten Windenergieanlagenstandort sind jedoch meist weniger Arten betroffen. Zum Schutz dieser Tiere gibt es verschiedene **Maßnahmen wie Abschaltzeiten während der Brut- und Zugzeiten oder Mindestabstände zu Brut- und Rastplätzen**. Ähnliche Schutzmaßnahmen gibt es für Fledermäuse.

Es wird oft behauptet, dass Windenergieanlagen zum Insektensterben beitragen. Eine Studie ergab, dass jährlich schätzungsweise 1.200 Tonnen Fluginsekten mit Rotorblättern kollidieren. Allerdings gehen die Autoren der Studie selbst davon aus, dass 95 % der Insekten unbeschadet durch die Anlagen hindurchfliegen. Die Zahl relativiert sich weiter, wenn man betrachtet, dass 450.000 Tonnen Insekten jedes Jahr von Vögeln gefressen werden. Die Hauptursachen für das Insektensterben liegen jedoch woanders, vor allem in der **Flächenversiegelung durch Städtebau und in der intensiven Landwirtschaft**, die natürliche Lebensräume zerstört ([BUND](#)).

Windenergieanlagen haben also tatsächlich Auswirkungen auf bestimmte Vogel- und Fledermausarten und deren Lebensräume. Daher werden im Rahmen von Planungs- und Genehmigungsverfahren die möglichen Auswirkungen auf den Naturschutz betrachtet und minimiert. Um den Windenergieausbau naturverträglich zu gestalten, ist es wichtig, Windenergiestandorte auch unter Berücksichtigung von Naturschutzbefangen auszuwählen. An konflikträchtigen Standorten können durch Schutz- und Vermeidungsmaßnahmen erhebliche Auswirkungen auf Tierarten und ihre Lebensräume minimiert werden. Gleichzeitig muss auch der **Mehrwert der Windenergie** berücksichtigt werden – sie trägt zur Reduzierung von Kohlekraft und CO₂-Emissionen bei und leistet einen wichtigen Beitrag zum Klimaschutz und damit zum Schutz der Artenvielfalt.

Aussage: Für den Bau von Windenergieanlagen werden enorme Flächen Wald gerodet.

Windenergieanlagen sind zwar über mehrere Kilometer hinweg sichtbar, ihr tatsächlicher Flächenverbrauch ist jedoch gering. Während der Bauphase wird im Durchschnitt ein Hektar Wald gerodet. Nach Abschluss der Bauarbeiten wird etwa die Hälfte dieser Fläche wieder aufgeforstet. Während der gesamten Laufzeit einer Windenergieanlage bleibt der **Flächenverbrauch also bei nur einem halben Hektar**. Zusätzlich müssen dauerhaft gerodete Flächen an anderer Stelle ausgeglichen werden – entweder durch **Wiederaufforstung oder durch einen Beitrag zum ökologischen Waldumbau** ([FA Wind und Solar](#)). Dadurch wird der Nettobedarf an Waldfläche weiter reduziert.

Wofür welcher Anteil am Flächenverbrauch benötigt wird, können Sie in unserem [Leitfaden zum kommunalen Flächenpooling](#) nachlesen. Zum besseren Verständnis hilft ein Vergleich: In Baden-Württemberg werden täglich etwa 5 Hektar Fläche verbraucht ([statistik-bw.de](#)). Der Flächenbedarf von 100 Windenergieanlagen liegt bei insgesamt 50 Hektar. Die gesamte jährliche Flächenversiegelung in Baden-Württemberg beträgt dagegen 1.825 Hektar.

Der **Flächenverbrauch für Windenergieanlagen im Wald kann weiter minimiert** werden, indem bereits bestehende Wege genutzt werden oder Standorte so gewählt werden, dass sie bereits kahle Waldflächen, die durch Stürme oder Schädlingsbefall entstanden sind, einbeziehen ([FA Wind und Solar](#)).

Aussage: Für die Errichtung von Windenergieanlagen werden ökologisch wertvolle Wälder zerstört.

Besonders schützenswerte Wälder, wie zum Beispiel **Bannwälder**, sind für Windenergieanlagen grundsätzlich tabu. Diese Vorgabe wird auch in der aktuellen Ausweisung der Vorranggebiete für Windenergie der Regionalverbände in Baden-Württemberg berücksichtigt. Die genauen Vorgaben dazu finden sich in den Kriterienkatalogen der Regionalverbände.

Es wird empfohlen, **Windenergieanlagen vor allem auf forstwirtschaftlich genutzten Monokulturflächen** zu errichten. Diese Flächen haben einen geringen naturschutzfachlichen Wert (FA Wind und Solar). Durch eine ökologische Aufforstung, beispielsweise mit Mischwald, kann die Qualität der Wälder langfristig verbessert werden. Dies stärkt zudem die Widerstandskraft der Wälder gegenüber dem Klimawandel.

Laut § 9 Abs. 3 und § 11 Abs. 2 des Landeswaldgesetzes Baden-Württemberg müssen Flächen, die für **Windenergieanlagen umgewandelt werden, forstrechtlich ausgegli- chen** werden. Für die Genehmigung einer Waldumwandlung sind folgende Unterlagen erforderlich (Landesforstverwaltung Baden-Württemberg):

- Vorschläge für Ausgleichsmaßnahmen nach Forstrecht
- detaillierte Beschreibung der Maßnahmen inklusive Maßnahmentyp
- zusätzliche Maßnahmenbeschreibungen, z. B. Ausgangszustand der Fläche, ange strebtes Ziel und geplante Maßnahmen
- Lagepläne und Detailkarten mit Flurstücksnummern und Gemarkung.

Häufig wird die getroffene Aussage zur Zerstörung der Wälder mit der Aussage verknüpft, dass die gerodeten Waldflächen mehr CO₂ aufnehmen würden als die errichteten Windenergieanlagen einsparen könnten. Dies ist jedoch ebenfalls nicht korrekt. Laut dem Umweltbundesamt liegt die Einsparung von CO₂ durch Windenergieanlagen um einen Faktor von mehr als 1.000 höher als die durch die dafür notwendige Rodung von Wald verlorene CO₂-Aufnahme (Umweltbundesamt 2021).

Aussage: Periodischer Schattenwurf und Stroboskop-Effekte von Windenergieanlagen sind gesundheitsschädlich.

Windenergieanlagen (WEA) erzeugen durch ihre Größe und Bewegung bestimmte visuelle Effekte. Dazu zählen: **periodischer Schattenwurf durch die rotierenden Rotorblätter, Hinderniskennzeichnung zur Erkennung durch Flugzeuge und der sogenannte Stroboskop-Effekt** – also Lichtblitze, die entstehen, wenn Sonnenlicht von den Rotorblättern reflektiert wird. Durch die Rotation der Windräder geschieht dies periodisch ([LAI 2019](#), [UBA 2016](#)).

Diese Effekte können als störend empfunden werden. Deshalb wird bereits im **Genehmigungsverfahren einer WEA darauf geachtet**, die Belastung für Anwohner so gering wie möglich zu halten. In Deutschland gelten klare Grenzen: An bewohnten Orten darf der Schattenwurf faktisch nicht mehr als 8 Stunden im Jahr und nicht mehr als 30 Minuten pro Tag betragen. Stehen mehrere Windräder in der Nähe, müssen sie gemeinsam unter diesen Werten bleiben. Sind Grenzüberschreitungen zu erwarten, sind Gegenmaßnahmen wie eine **automatische Abschaltung** vorgeschrieben. Die Vorkehrungen tragen dazu bei, dass keine gesundheitlichen Beeinträchtigungen zu erwarten sind. Hinzu kommt, dass sich insbesondere die Rotorblätter moderner Windenergieanlagen so langsam drehen, dass kein Risiko für photosensitive Anfälle (beispielsweise epileptische Anfälle) besteht ([LAI 2019](#), [UBA 2016](#)). Zudem sind moderne Rotorblätter so eingefärbt beziehungsweise beschichtet, dass sie wenig reflektieren. Somit ist der Stroboskop-Effekt kein Problem mehr ([LAI 2019](#)).

Inzwischen gibt es eine verpflichtende bedarfsgerechte Nachtkennzeichnung, die in Neu-anlagen grundsätzlich verbaut wird und in Altanlagen systematisch nachgerüstet wird.

Aussage: Der Rückbau bzw. das Recycling von Windenergieanlagen ist nicht möglich und wird nicht reguliert.

Zunächst kann man feststellen, dass heute **80 bis 90 % des Massenanteils einer Windenergieanlage wiederverwertet** werden können ([ICT Fraunhofer](#)). Die verbleibenden 10 bis 20 % bestehen vor allem aus faserverstärkten Kunststoffen, die bislang nur schwer zu recyceln sind ([Umweltbundesamt](#)).

Doch auch **Methoden zum Recycling bzw. zur Weiternutzung** der Rotorblätter gibt es bereits, zum Beispiel:

1. Pyrolyse, bei der Glasfasern zurückgewonnen werden ([ingenieur.de](#))
2. thermische Verwertung, z. B. als Ersatzbrennstoff in der Zementindustrie ([Umweltbundesamt](#))
3. mechanische Zerkleinerung, um die Reste als Füllmaterial zu nutzen ([Umweltbundesamt](#)).

Gleichzeitig wird intensiv an **vollständig recycelbaren Rotorblättern** geforscht. Da Windenergieanlagen eine durchschnittliche Laufzeit von rund 25 Jahren haben und der Ausbau in Baden-Württemberg gerade erst Fahrt aufnimmt, ist zu erwarten, dass bis zum großflächigen Rückbau die bestehenden Herausforderungen beim Recycling gelöst sein werden.

Der **Rückbau von Windenergieanlagen ist bereits stark reguliert**. Gemäß [§35 Abs. 5 Satz 2 BauGB](#) sind Betreiber gesetzlich verpflichtet, Windenergieanlagen nach Ende ihrer Lebensdauer vollständig zurückzubauen. Dies betrifft alle Anlagen, die nach dem 20. Juli 2004 errichtet wurden. Nicht recycelbare Reste müssen nach dem Kreislaufwirtschaftsgesetz korrekt entsorgt werden. Weitere Vorgaben zum Recycling finden sich in verschiedenen Gesetzen, z. B. der Gewerbeabfallverordnung, dem Chemikaliengesetz oder dem Elektro- und Elektronikgerätegesetz ([FA Wind und Solar](#)). Zudem gibt es seit 2020 eine eigene DIN-Norm ([DIN SPEC 4866](#)) für den Rückbau von Windenergieanlagen.

Ohne eine entsprechende Verpflichtungserklärung darf eine Anlage nicht genehmigt werden ([BauGB 2024](#)). Wer eine Windenergieanlage errichten will, muss demnach eine Verpflichtungserklärung abgeben, in der sich die Betreiber dazu verpflichten, die Anlagen nach Ende ihrer **Nutzung vollständig**

zurückzubauen. Es muss zudem eine **Sicherheitsleistung hinterlegt werden**, hierfür gibt es mehrere Möglichkeiten:

Selbstschuldnerische Bankbürgschaft

Eine Bank verpflichtet sich, im Fall der Zahlungsunfähigkeit des Betreibers die Rückbau-kosten zu übernehmen – ohne lange gerichtliche Verfahren ([Volksbanken-Raiffeisen-banken 2024](#)). Bei einer selbstschuldnerischen Bürgschaft muss der Bürge einspringen, sobald der Schuldner ausstehende Forderungen nicht mehr begleicht. Dabei spielt es keine Rolle, ob der Schuldner nicht zahlen kann oder nicht zahlen will. Es ist dem Bürgen nicht gestattet, die Zahlung so lange zu verweigern, bis alle rechtlichen Mittel – vom ge-richtlichen Mahnbescheid bis zur Zwangsvollstreckung – ausgeschöpft sind ([Volksban-ken-Raiffeisenbanken 2024](#)).

Baulast

Der Grundstückseigentümer verpflichtet sich öffentlich-rechtlich gegenüber der Baube-hörde, bestimmte Maßnahmen – z. B. den Rückbau – zu dulden oder zu ermöglichen ([Immoportal 2024](#)). Voraussetzung für die Eintragung einer Baulast ist die Zustimmung des Eigentümers des zu belastenden Grundstücks ([Immoportal 2024](#)).

Grundpfandrechte (Hypothek oder Grundschuld)

Das Grundstück wird als Sicherheit genutzt. Falls nötig, kann es versteigert werden, um mit dem Erlös den Rückbau zu finanzieren. Bei einer Hypothek kann ein Grundstück zwangsversteigert werden und ein Teil des Gewinns geht an Gläubiger. Wenn ein Grund-stückseigentümer sein Grundstück mit einer Grundschuld als Sicherheit für ein Darlehen belastet, ist dies eine Sicherungsgrundschuld ([bpb 2024](#)).

Die genaue Höhe der Sicherheitsleistung ist nicht bundeseinheitlich geregelt, sondern wird je nach Bundesland oder Kommune festgelegt ([BWE 2024](#), [UBA 2023](#)). In Baden-Württemberg **berechnet entweder die Genehmigungsbehörde oder der Antragsteller selbst die voraussichtlichen Rückbaukosten** ([Landtag BW 2018](#)). Diese Kosten müssen alle fünf Jahre von einem Gutachter überprüft und gegebenenfalls angepasst werden, damit Preissteigerungen (z. B. durch Inflation oder höhere Entsorgungskosten) berück-sichtigt werden können. Wichtig zu bedenken ist, dass die tatsächlichen Rückbaukosten einer WEA stark variieren können und von vielen Faktoren abhängen, wie zum Beispiel der Art und Größe der Windturbine, der Anzahl der Anlagen im Windpark, dem Standort, den

Entsorgungskosten und den Einnahmen durch den Verkauf von Altmaterialien wie z. B. Stahl oder Kupfer ([UBA 2023, wind-turbine.com](#)). Das Umweltbundesamt nennt in einer Kostenabschätzung eine Varianz von 4.000 Euro bis zu 515.000 € – je nach Konstellation ([UBA 2023](#)).

Aussage: Flächeneigentümer können für den Rückbau von Windenergieanlagen haftbar gemacht werden.

Anlagenbetreiber müssen für die Genehmigung von Windenergieanlagen nicht nur eine Verpflichtungserklärung zum vollständigen Rückbau der Anlagen abgeben, sondern auch Sicherheitsleistungen hinterlegen (siehe vorherige Aussage). Dadurch wird auch **gewährleistet, dass Flächeneigentümer nicht für den Rückbau haften**.

Flächeneigentümer können sich zusätzlich absichern, indem sie eine **Rückbau-Bürgschaft direkt im Pachtvertrag** festhalten. Die Fachagentur Windenergie an Land (FA Wind) empfiehlt, solche Rückbauklauseln standardmäßig in privatrechtliche Nutzungsverträge aufzunehmen ([FA Wind](#)).

Basierend auf Aussagen eines Sprechers des baden-württembergischen Landkreistages („Uns ist kein Fall bekannt, in dem ein Verpächter für Rückbaukosten aufkommen musste. Wir halten dies auch für nahezu ausgeschlossen.“) sind in Baden-Württemberg keine Fälle bekannt, in denen Grundstückseigentümer für die Rückbaukosten einer Windenergieanlage aufkommen mussten.

KLIMASCHUTZ

Themen: CO₂-Bilanz von WEA, Treibhausgase, Erderwärmung

Aussage: Bei der Herstellung von Windenergieanlagen wird mehr CO₂ verbraucht als diese im Laufe ihres Betriebs einsparen.

Diese Aussage ist nicht zutreffend. Laut einer Studie des Umweltbundesamtes (2021) gleicht eine Windenergieanlage den **Energieaufwand für ihre Herstellung bereits nach etwa 4,5 Monaten wieder aus**. Eine frühere Untersuchung der Agentur für Erneuerbare Energien aus dem Jahr 2009 kam noch auf eine Amortisationszeit von bis zu 12 Monaten. Die Studienautoren berechneten zusätzlich, dass eine Windenergieanlage mit 2 Megawatt Leistung den CO₂-Ausstoß, der für ihre Herstellung anfiel, bereits nach 5 Monaten wieder eingespart hat. Moderne Windräder haben meist eine sehr viel höhere Leistung – in der Regel 5 Megawatt oder mehr.

Ihre **CO₂-Amortisation dürfte daher sogar noch schneller** erfolgen. Dass Windenergieanlagen durch die Stromproduktion ein Vielfaches an CO₂ einsparen als für deren Herstellung freigesetzt wurde, zeigt die Untersuchung des Umweltbundesamtes zur Emissionsbilanz von erneuerbaren Energien. Demnach wurden für die Produktion der in Deutschland betriebenen Windenergieanlagen etwas über 2.000.000 Tonnen CO₂ emittiert. Doch durch die Stromerzeugung durch die Windenergie wurden in Deutschland über 90.000.000 Tonnen CO₂ eingespart (Umweltbundesamt 2023).

Aussage: In Windenergieanlagen wird das Treibhausgas SF₆ verwendet.

Das ist richtig: Schwefelhexafluorid (SF₆) ist ein starkes Treibhausgas. Es ist zwar **nicht gesundheitsschädlich, wirkt aber 24.000-mal stärker als CO₂** und verbleibt bis zu 3.000 Jahre in der Atmosphäre (Goethe-Universität, Frankfurt). Fluorierte Gase, zu denen SF₆ gehört, haben jedoch weltweit nur einen Anteil von 1-2 % an den Gesamtemissionen klimaschädlicher Gase. Das liegt daran, dass diese Art von Gasen überwiegend in geschlossenen Systemen verwendet wird (Landtag BW).

SF₆ wird vor allem in der Elektroindustrie, im Apparatebau und zunehmend auch bei der Herstellung von Glasfasern verwendet. Weitere wichtige Anwendungsbereiche sind in elektrischen Schaltanlagen, beispielsweise in Mittel- und Hochspannungsanlagen. Hier

werden sie als Isolergas genutzt. Dieselbe Verwendung finden sie auch in **Windenergieanlagen**, sie machen jedoch weniger als 1 % der gesamten SF₆-Nutzung in Deutschland aus ([bundestag.de](#) und [BWE](#)).

Eine Windenergieanlage enthält etwa 3 Kilogramm SF₆. Rein rechnerisch können über äußerst selten vorkommende Leckagen pro Jahr bis zu 3 Gramm entweichen – das entspricht etwa 0,07 Tonnen CO₂-Äquivalenten. Gleichzeitig **spart eine Windenergieanlage aber jedes Jahr rund 4.000 Tonnen CO₂** ein, wenn sie Kohleenergie ersetzt ([energiewende.eu](#)). Dem baden-württembergischen Umweltministerium sind keine Leckagen an Windenergieanlagen bekannt, bei denen SF₆ ausgetreten ist. Sollte es tatsächlich zu einer Leckage kommen, hat das gravierende Folgen für die Funktionalität der Anlage. Allein schon aus diesem Grund werden entsprechende Anlagen mit Sensoren bestückt, die eine Leckage melden. Dadurch können Schäden umgehend behoben werden ([Landtag BW](#)).

Beim Rückbau von Windenergieanlagen wird **SF₆ fachgerecht abgesaugt und wiederverwertet**, damit es nicht in die Umwelt gelangt ([BWE](#)).

Aussage: Windenergieanlagen fördern die Erderwärmung und trocknen vor Ort die Böden aus.

Bisher veröffentlichte Studien zeigen, dass Windenergieanlagen den Wind auf Nabenhöhe verlangsamen. Zudem entstehen Turbulenzen. Dies kann zu einer leichten Erwärmung der Oberflächenluft führen (maximal 1 Grad Celsius). Die Auswirkungen auf die Verdunstung bleiben dabei gering. Zudem begrenzt sich der wärmende Effekt auf die

Nachttemperatur. Tagsüber ist kein signifikanter Einfluss durch Windparks zu beobachten. Die vorhandenen Erkenntnisse sind jedoch nicht auf Deutschland übertragbar. Der Fokus der meisten Studien lag auf den USA. Die Autoren nutzten dabei ein Modell, das auf die USA angepasst war ([energiewende.eu](#), [bundestag.de](#)).

In den Studien wurden darüber hinaus große Windparks untersucht. Vor allem Windparks in Baden-Württemberg sind deutlich kleiner als die in der Studie untersuchten Windparks, sodass auch der Effekt geringer ausfällt ([Landtag BW](#)). Und: Die Autoren der Studie gehen selbst davon aus, dass der **lokale Erwärmungseffekt von den langfristigen positiven Effekten durch die CO₂-Einsparung der Anlagen überkompensiert** wird ([energiewende.eu](#)).

Die in Deutschland herrschende Dürreproblematik lässt sich durch die Erkenntnisse aus den vorhandenen Studien nicht erklären. Die Dürreproblematik lässt sich nach Aussagen von Wissenschaftlern klar auf den Klimawandel zurückführen. Die Ergebnisse belegen auch nicht, dass Windparks einen Einfluss auf die globale Erwärmung haben ([bundestag.de](#), [BUND](#)).

Es bleibt festzuhalten, dass Auswirkungen auf das Mikroklima und die Bodenfeuchtigkeit lokal beschränkt und die Art der Auswirkungen stark standortabhängig sind. Ein negativer Effekt auf die Vegetation ist dabei nahezu ausgeschlossen ([BUND](#)), Schäden am Baumbestand durch Trockenheit entstehen durch die globale Klimaveränderung, nicht durch Windenergieanlagen ([Landtag BW](#), [bundestag.de](#)).

RUND UM DAS THEMA WINDENERGIEANLAGEN

Themen: Gewicht und Kosten einer WEA, Brandschutz, Sicherheit der Anlage, Rentabilität der Anlagen, Windgeschwindigkeiten, Gutachten

Frage: Aus welchen Materialien bestehen Windenergieanlagen?

Ein modernes Windrad an Land (Onshore) besteht aus mehreren großen Bauteilen, die aus unterschiedlichen Materialien gefertigt sind ([Umweltbundesamt](#)):

- a. **Fundament:** Es besteht aus Stahlbeton und ist besonders schwer – je nach Standort und Bodenverhältnissen wiegt es zwischen 1.400 und 2.600 Tonnen.
- b. **Turm:** Der Turm kann entweder aus Stahl (300 bis 600 Tonnen) oder aus Beton (1.500 bis 2.000 Tonnen) gebaut sein.
- c. **Gondel:** Sie enthält die zentrale Technik (z. B. Getriebe und Generator) und besteht hauptsächlich aus verschiedenen Metallen. Ihr Gewicht liegt bei 44 bis 58 Tonnen.
- d. **Rotorblätter:** Diese bestehen aus glasfaserverstärktem Kunststoff (GFK) und bringen zusammen 64 bis 76 Tonnen auf die Waage.

Zum Vergleich: In einem Kilometer Autobahn stecken rund 216.000 Tonnen Gesteinsrohstoffe ([faszination-rohstoffe.de](#)).

Frage: Wie viel kostet eine moderne Anlage?

Eine moderne Windenergieanlage (WEA) mit 7 Megawatt Leistung und einer Nabenhöhe von 160 Metern kostet rund 12 Millionen Euro. Diese Kosten setzen sich zusammen aus den Hauptinvestitionskosten, z. B. für das Material und den Bau der Anlage, und den Investitionsnebenkosten, z. B. für die Planung und den Netzanschluss ([BMWK](#)).

Aussage: Bei modernen Windenergieanlagen beträgt die Fundamenttiefe 25 Meter und die Fundamente verbleiben beim Rückbau der Anlagen im Boden.

Moderne Windenergieanlagen an Land (Onshore) haben ein **Fundament mit einer Tiefe von bis zu vier Metern**. Tiefere Fundamente sind in der Regel nur bei Offshore-Anlagen (auf See) erforderlich. Der **Durchmesser des Fundaments beträgt etwa 25 Meter**. Seit 2004 schreibt das Baugesetzbuch [§35 Abs. 5 BauGB](#) vor, dass **Windenergieanlagen nach der endgültigen Stilllegung zurückgebaut und Bodenversiegelungen entfernt werden müssen**. Ohne eine entsprechende Verpflichtungserklärung darf keine Anlage genehmigt werden. Im entsprechenden Paragraphen heißt es: Für Windenergieanlagen (WEA) „ist als weitere Zulässigkeitsvoraussetzung eine Verpflichtungserklärung abzugeben, das Vorhaben **nach dauerhafter Aufgabe der zulässigen Nutzung zurückzubauen und Bodenversiegelungen zu beseitigen**.“

In der Praxis wird diskutiert, wie tief das Fundament tatsächlich entfernt werden muss. Einzelne vertreten die Meinung, dass es ausreicht, das Fundament bis zu einer Tiefe von einem Meter zu entfernen. Hintergrund ist, dass Anlagen zu Beginn vor allem auf landwirtschaftlich genutzten Flächen errichtet wurden und bei einem Abtrag des Fundaments bis in die Tiefe von einem Meter die landwirtschaftliche Nutzung wieder aufgenommen werden konnte ([windindustrie-in-deutschland.de](#)).

Der [Bundesverband WindEnergie](#) (BWE) hat eine Anfrage an den Landtag Baden-Württemberg gerichtet, wie der §35 Abs. 5 BauGB in Baden-Württemberg ausgelegt werden soll und hierzu folgende Antwort erhalten: „**Nach § 35 Abs. 5 Satz 2 BauGB muss der Vorhabenträger eine Verpflichtungserklärung abgeben, das Vorhaben nach dauerhafter Aufgabe der zulässigen Nutzung zurückzubauen und Bodenversiegelungen zu beseitigen. Zurückzubauen sind grundsätzlich alle ober- und unterirdischen Anlagen und Anlagenteile einschließlich der Fundamente.**“

Das bedeutet: In der Regel muss das gesamte Fundament entfernt werden – nicht nur der obere Teil. Das Umweltbundesamt unterstützt diese Sichtweise und empfiehlt, insbesondere bei Flachfundamenten das **komplette Fundament zu beseitigen**. Ausnahmen sind bei sogenannten Pfahlgründungen möglich. Diese reichen tief in den Boden und lassen sich nur mit großem Aufwand entfernen. In solchen Fällen kann es als unverhältnismäßig gelten, alles zu entfernen – hier reicht oft ein Teilarückbau.

Für Baden-Württemberg gilt somit, dass die Fundamente von Windenergieanlagen beim Rückbau vollständig entfernt werden müssen. Nur in Ausnahmefällen – wenn der Aufwand unverhältnismäßig wäre – kann eine teilweise Entfernung erlaubt werden. Über solche Ausnahmen entscheidet die zuständige Genehmigungsbehörde im Einzelfall.

Aussage: Strom aus Windenergie ist teurer als aus konventioneller Stromerzeugung.

Die **Kosten, die für die Stromerzeugung** mit einem Kraftwerk entstehen, lassen sich grob in zwei Kategorien unterteilen. Initial entstehen **Investitionskosten** für zum Beispiel die Planung, den Bau und die Infrastruktur des Kraftwerks. Während des Betriebs fallen dann die **laufenden Kosten**, z. B. für Wartung, Personal und Brennstoffe an (Deutsche Windguard, ISE 2024). Diesen Ausgaben stehen die **Einnahmen aus der Stromproduktion** gegenüber – über die gesamte Lebensdauer der Anlage. Daraus ergeben sich die sogenannten **Stromgestehungskosten: also der Preis pro erzeugter Kilowattstunde Strom** (ISE 2024).

Die initialen Investitionskosten pro Kilowatt Leistung (€/kW) sind für Windenergieanlagen zunächst höher als die für Gasturbinen (ISE 2024):

- Wind Onshore: 1.300 – 1.900 €/kW
- Gas- und Dampfturbine: 900 – 1.300 €/kW
- Gasturbine: 450 – 700 €/kW

Betrachtet man nun aber die Stromgestehungskosten (Cent/kWh), zeigt sich, dass diese für Windenergie deutlich unter denen für Gas liegen:

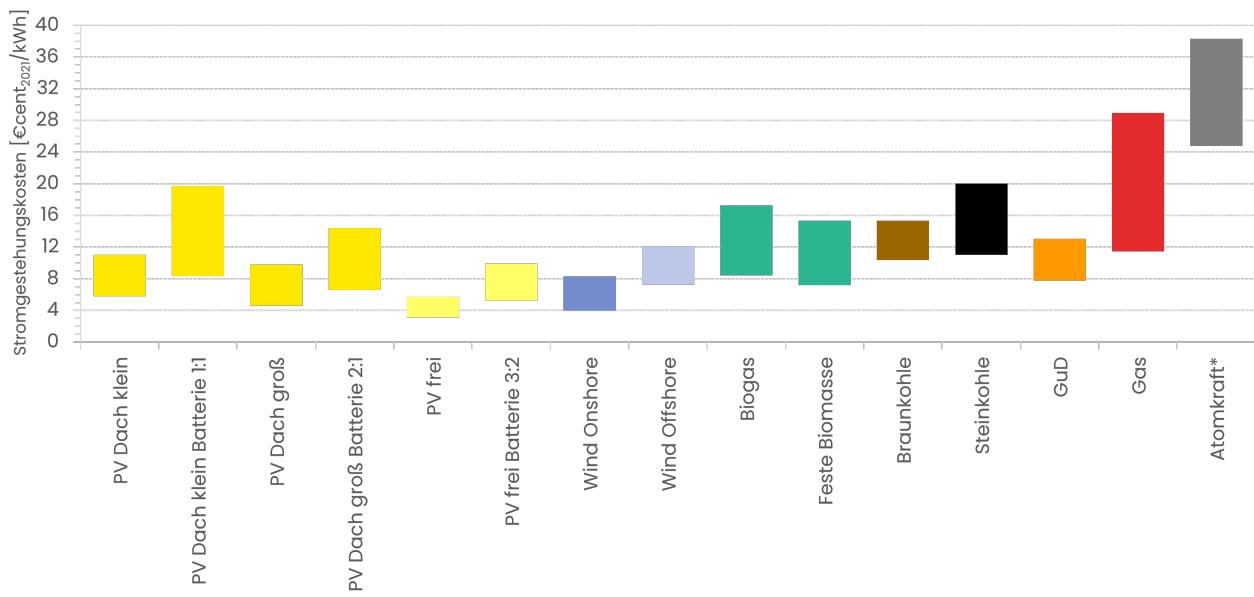


Abbildung 2: Stromgestehungskosten verschiedener Energiequellen,
Quelle: eigene Darstellung nach [ISE 2024](#)

In die Stromgestehungskosten fließen die Investitionskosten für die Anlage und die Betriebskosten über ihre gesamte Lebensdauer hinweg ein. Den Kosten wird der erzeugte Strom – ebenfalls über die gesamte Lebensdauer der Anlage hinweg – gegenübergestellt. Es ergibt sich ein **Preis pro erzeugter Menge Strom** ([ISE 2024](#)).

Dass die **Stromgestehungskosten für Windenergie deutlich unter denen von Gas liegen**, hat hauptsächlich zwei Gründe: Zum einen sind die variablen Betriebskosten für Windenergie deutlich niedriger als die für die Stromerzeugung aus Gaskraftwerken. Die hohen Kosten bei Gas entstehen vor allem durch **teure Brennstoffe** und den **CO₂-Preis**, welcher künftig weiter steigen wird ([ISE 2024](#)).

CO ₂ -Zertifikatspreise [EUR/t CO ₂]	2024	2030	2035	2040	2045
Unterer Wert	75	100	125	150	175
Oberer Wert	90	150	225	300	375

Abbildung 3: Mögliche Entwicklungen des CO₂-Preises, Quelle: [ISE 2024](#)

Zum anderen liegt diesen Werten die Annahme zugrunde, dass Gaskraftwerke in Zukunft **weniger Stunden im Jahr Strom produzieren** als Windräder (ISE 2024) – aus den folgenden drei Gründen:

- Die Betriebskosten für Gaskraftwerke werden künftig weiter steigen durch den Rohstoffpreis für Gas und den CO₂-Preis.
- Es wird mehr Strom aus erneuerbaren Energien geben, der bevorzugt ins Netz eingespeist wird.
- Zur Erreichung der **Klimaziele** soll fossiler Strom möglichst vermieden werden (ISE 2024).

Vollaststunden konventionelle KW [h/a]		Braunkohle	Steinkohle	GuD	GuD-H₂	GT
Jahr 2024	Hoch	6.300	5.200	6.300	6.300	3.000
	Niedrig	4.300	3.000	3.000	3.000	500
Jahr 2035	Hoch	2.350	2.650	4.500	4.500	3.000
	Niedrig	1.150	1.150	1.000	1.000	500
Jahr 2045	Hoch	1.000	1.000	2.500	2.500	2.000
	Niedrig	500	500	500	500	500

Abbildung 4: Entwicklung der Vollaststunden für konventionelle Kraftwerke und Bioenergie, Quelle: ISE 2024

Aussage: Baden-Württemberg ist „Schwachwind-Gebiet“ – Windenergieanlagen lohnen sich hier allenfalls aufgrund von Subventionen.

Es stimmt, dass im Süden Deutschlands – und damit auch in Baden-Württemberg – die Windgeschwindigkeiten im Durchschnitt niedriger sind als im Norden. Doch daraus zu schließen, dass sich Windenergie dort grundsätzlich nicht lohnt, greift zu kurz.

Windenergiegegner argumentieren häufig, dass Windenergieanlagen (WEA) nur ab einer Windgeschwindigkeit von 6 Metern pro Sekunde wirtschaftlich betrieben werden können. Diese Zahl wird als Schwellenwert genannt, unterhalb derer sich der Betrieb angeblich nicht rechnet. Doch um das **Potenzial von Windenergie realistisch zu bewerten**, ist nicht die reine Windgeschwindigkeit entscheidend, sondern die sogenannte **Windleistungsdichte**. Sie gibt an, wie viel Energie der Wind auf einer bestimmten Fläche mit sich bringt – gemessen in Watt pro Quadratmeter (W/m^2). Die nachfolgende Abbildung zeigt: Die Windleistungsdichte steigt mit der dritten Potenz der Windgeschwindigkeit (enar-gus.de). Eine Verdopplung der Windgeschwindigkeit bedeutet eine Verachtfachung der Windleistung (zsw.de).

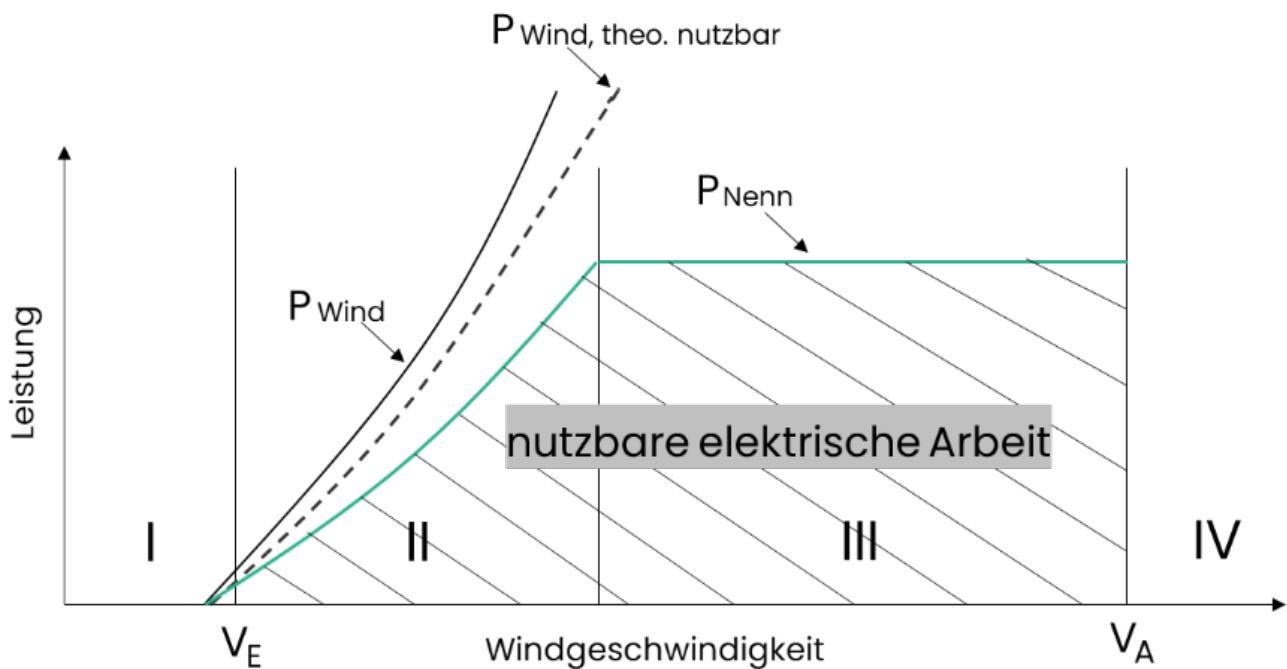


Abbildung 5: Beispielhafte Darstellung der Leistungskurve einer Windenergieanlage.

Bereiche der Leistungskurve:

I = Windgeschwindigkeit liegt unterhalb der Einschaltgeschwindigkeit

II = WEA erzeugt Strom, Anstieg der Windleistung in dritter Potenz

III = Erreichung der Nennleistung einer Anlage, auch bei zunehmender Windleistung nimmt die Stromproduktion der Anlage nicht weiter zu

IV = Windleistung zu hoch, Anlage wird abgeregelt und produziert keinen Strom

P_{Wind} = Windleistung

P_{Wind, theor. nutzbar} = nach dem Betzschen Gesetz theoretisch nutzbare Windenergie

V_E = Einschaltgeschwindigkeit

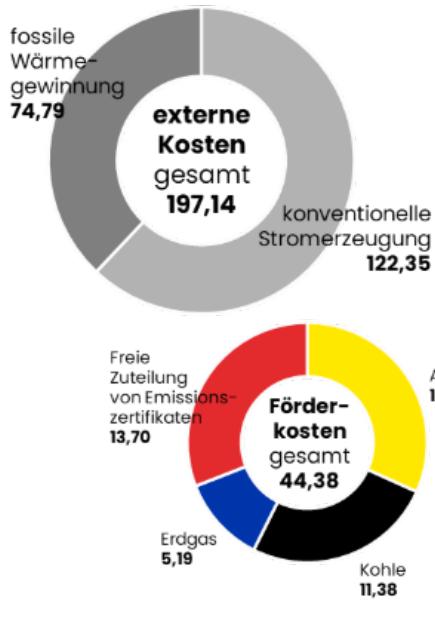
V_A = Abschaltgeschwindigkeit

Quellen: Landesanstalt für Umwelt BW, Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg, enArgus

Moderne Windenergieanlagen sind deutlich effizienter als ältere Modelle. Sie können bereits bei niedrigeren Windgeschwindigkeiten Strom erzeugen und sind besser an schwankende Windverhältnisse angepasst. Deshalb können **auch in Baden-Württemberg wirtschaftlich arbeitende Windenergieanlagen betrieben** werden. Trotzdem ist es richtig, dass **Betreiber an weniger windreichen Standorten oft auf finanzielle Förderung** angewiesen sind. Aber: Die Technik entwickelt sich weiter – Windräder werden immer leistungsfähiger und effizienter. Deshalb entscheiden sich inzwischen manche Anlagenbetreiber bewusst gegen eine Förderung, weil sich der Betrieb auch ohne diese lohnt. Der Ausbau der Windenergie in Baden-Württemberg ist zudem wichtig, um durch Redispatch entstehende Kosten zu verringern und damit die Kosten des Gesamtsystems zu reduzieren.

Generell verzerrt die Fokussierung auf die Förderung erneuerbarer Energien das Bild vom Energiesystem in Deutschland. Tatsächlich fördert der deutsche Staat jegliche Form der Stromproduktion. So waren die **Förderkosten in der EU für erneuerbare Energien und fossile Energieträger im Jahre 2012 auf einem ähnlichen Niveau**. Bezieht man jedoch die sogenannten externen Kosten mit ein – also Umwelt- und Gesundheitsschäden durch CO₂-Ausstoß und Luftverschmutzung – steigen die tatsächlichen Kosten fossiler Energien deutlich (Agentur für Erneuerbare Energien):

Konventionelle Energien



Erneuerbare Energien

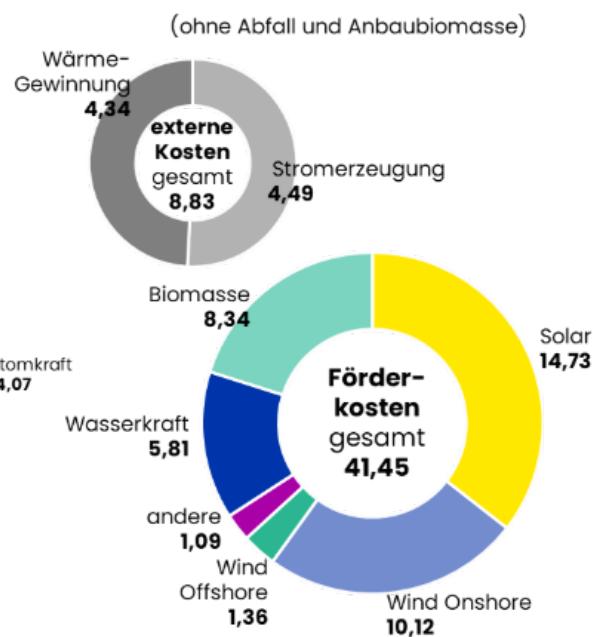


Abbildung 6: Förder- und externe Kosten von konventionellen und erneuerbaren Energien in der EU, 2012, Eigene Darstellung, Quelle: [Agentur für Erneuerbare Energien](#)

Die hohen externen Kosten rechtfertigen somit auch eine CO₂-Bepreisung für umweltschädliche Energieträger. Beim Begriff „Subvention“ sollte generell beachtet werden, dass es keine einheitliche Definition gibt, was eine Subvention ist ([Umweltbundesamt](#)) und Vergleiche deshalb schwierig sind.

Der Unterschied zwischen den Förderungen für konventionelle Energieträger und der EEG-Umlage ist, dass die Umlage explizit im Strompreis ausgewiesen ist und daher sichtbarer. Konventionelle Energieträger werden bspw. aus dem öffentlichen Haushalt oder über Regelungen gefördert ([foes.de](#)). Dies belastet zwar den Steuerzahler, der letztlich immer auch ein Stromendverbraucher ist. Die Kosten werden jedoch nicht direkt ausgewiesen und sind deshalb weniger offensichtlich.

Eine Untersuchung des [Forums ökologisch-soziale Marktwirtschaft](#) zeigt detailliert die staatlichen Ausgaben für verschiedene Energieträger in Deutschland von 1970 bis 2012. Für den untersuchten Zeitraum fielen die finanziellen Zuschüsse für die erneuerbaren Energien deutlich geringer aus.

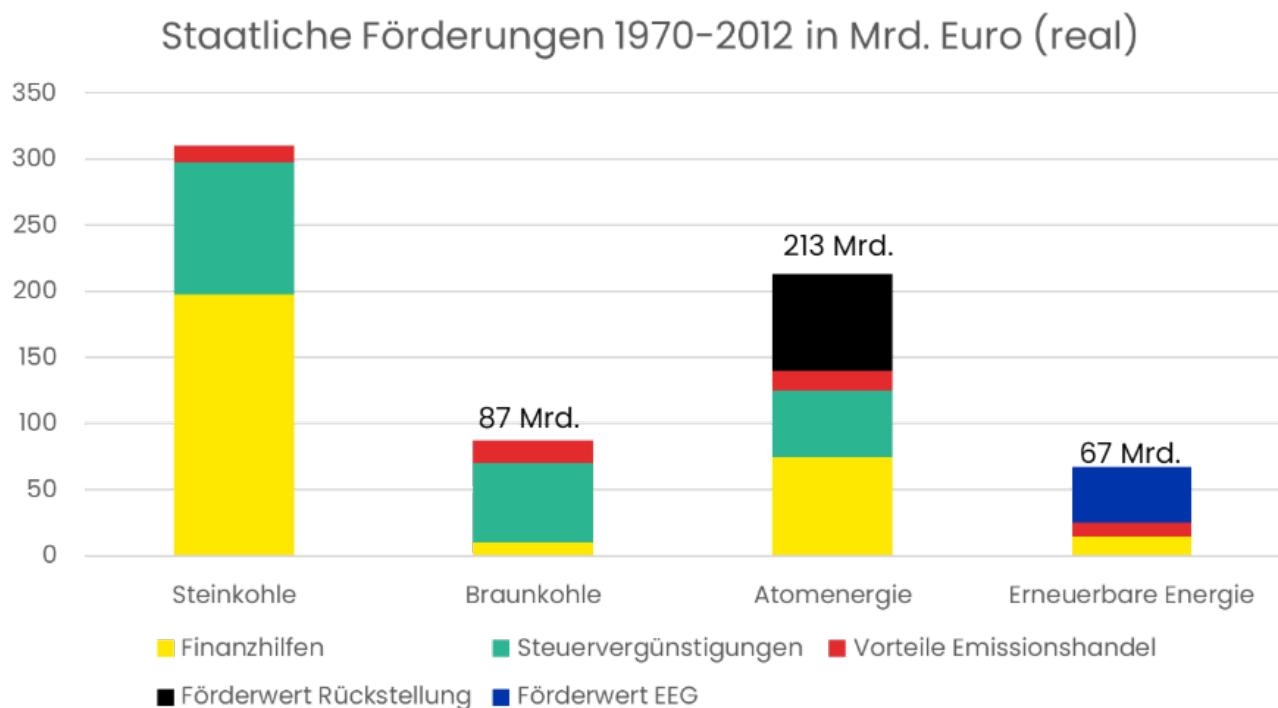


Abbildung 7: Staatliche Förderungen für verschiedene Energieträger, 1970–2012, Eigene Darstellung, Quelle: foes.de

Laut [STATISTA](#) summierten sich die Gesamtausgaben für die EEG-Umlage seit ihrer Einführung bis zu ihrer Abschaffung auf rund 220 Milliarden Euro. Damit sind sie höher als die Fördersummen für Braunkohle und vergleichbar mit den Förderausgaben für Atomenergie. **In Summe waren die Ausgaben für die EEG-Umlage jedoch deutlich geringer als die Subventionen für fossile Energieträger:**

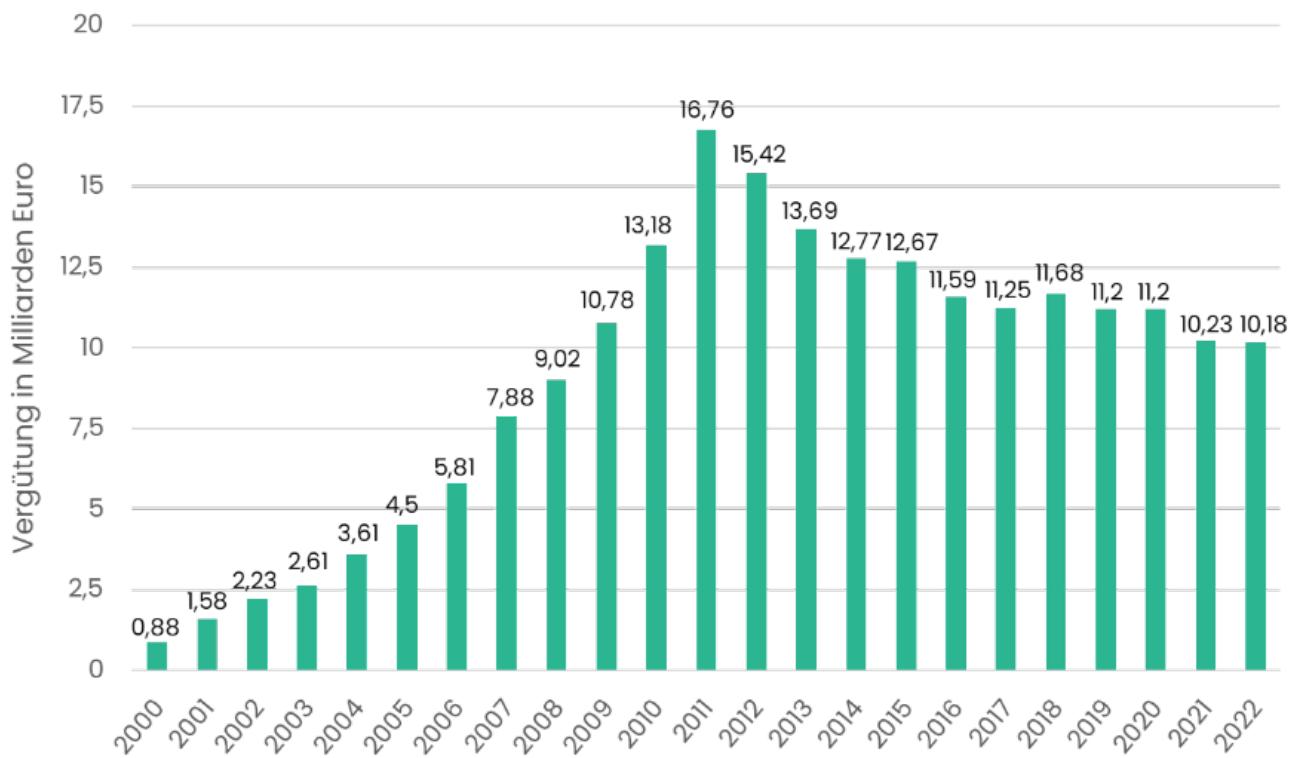


Abbildung 8: Höhe der EEG-Umlage, 2000–2022, Eigene Darstellung, Quelle: [Statista](#)

Es ist irreführend, bei der Diskussion um staatliche Förderungen ausschließlich auf die erneuerbaren Energien zu schauen. **Auch fossile Energieträger und die Atomenergie werden – teilweise seit Jahrzehnten – massiv vom Staat gefördert.** Dass die Investitionen in erneuerbare Energien über einen kürzeren Zeitraum hinweg erfolgten, darf nicht darüber hinwegtäuschen, dass sie langfristig deutlich weniger Kosten verursachen.

Aussage: Windenergieanlagen erzeugen Erschütterungen.

Diese Aussage ist im Grundsatz korrekt: Windenergieanlagen verursachen tatsächlich leichte Erschütterungen. Eine Untersuchung der LUBW hat gezeigt, dass von Windenergieanlagen ausgehenden Erschütterungen zwar messtechnisch nachweisbar sind, sie jedoch bereits in weniger als 300 m Abstand von der Anlage so weit abgesunken sind, dass sie sich aus dem überall permanent vorhandenen Grundrauschen nicht mehr herausheben. An Wohngebäuden sind keine relevanten Erschütterungseinwirkungen zu erwarten ([LUBW](#)).

Problematisch können die Erschütterungen nur für **sehr empfindliche Erdbebenmessstationen** sein, die durch diese minimalen Vibrationen gestört werden könnten. An

technischen Lösungen, die Erschütterungen herausfiltern, wird bereits geforscht. Im Rahmen der behördlichen Genehmigungsverfahren werden die zu erwartenden Erschütterungen bereits im Vorfeld **prognostiziert**. Dabei gibt es zwei gängige Methoden: Entweder man vergleicht die geplanten Windräder mit ähnlichen bestehenden Anlagen, deren Erschütterungsverhalten bekannt ist, oder man berücksichtigt die **geologischen Eigenschaften** des geplanten Standorts, um eine Einschätzung der möglichen Erschütterungssimmissionen zu treffen ([Uni Münster](#)).

Aussage: Windenergieanlagen wirken sich negativ auf den Tourismus aus.

In tourismusstarken Regionen haben Menschen häufig die Sorge, dass ein Ausbau von Windenergieanlagen ihre Region weniger attraktiv machen, da sich das Landschaftsbild verändert. Es ist jedoch schwierig, den genauen Einfluss von Windenergieanlagen auf den Tourismus zu untersuchen. Viele Faktoren bestimmen die Attraktivität einer Region als touristisches Ziel und methodisch ist es nicht ganz einfach, geeignete Kriterien zur Untersuchung anzuwenden.

Vorhandene Studien zeigen maximal einen schwachen negativen Einfluss auf den Tourismus durch Windenergieanlagen *nach Errichtung*. Dieser negative Effekt nimmt mit den Jahren jedoch ab ([Agentur für Erneuerbare Energien](#)), was darauf hindeutet, dass ein Gewöhnungseffekt eintritt und Windenergieanlagen mittel- und langfristig nicht als störend wahrgenommen werden. In Studien, in denen die Akzeptanz von Windenergieanlagen unter Touristen erfragt wurde, zeigte sich eine durchweg hohe Zustimmung für Windenergieanlagen von bis zu 91 % ([erneuerbareenergien.de, FA Wind und Solar](#)).

Eine Untersuchung, ob Windenergieanlagen akzeptiert werden oder nicht, sagt jedoch zunächst wenig darüber aus, ob Touristen tatsächlich wiederkommen oder bestimmte Regionen meiden. Eine [Untersuchung aus Österreich](#) hat gezeigt, dass die Übernachtungszahlen in verschiedenen Regionen Österreichs trotz Ausbau der Windenergie nicht zurückgingen ([Windkraft und Tourismus](#)).

Auch das Beispiel der baden-württembergischen Gemeinde Freiamt, wo bereits seit 20 Jahren Windenergieanlagen stehen, zeigt, dass Windenergieanlagen keinen negativen Einfluss auf den Tourismus haben ([KEA-BW](#)). In Einzelfällen können Tourismus und Windenergie sogar eine positive Wechselwirkung eingehen. Im bayerischen Wildpoldsried entstand beispielsweise durch den Ausbau der Windenergie und weiterer Erneuerbare-Energien-Anlagen der Energietourismus ([Tourismus und Windenergie](#)). Weitere Beispiele

für die gelungene Kombination von Erneuerbare-Energien-Anlagen mit Erholungsgebieten und Tourismus liefert die Agentur für Erneuerbare Energien.

Aussage: Die Nähe zu Windenergieanlagen führt zu Wertverlust von Immobilien.

Oft wird behauptet, dass Windenergieanlagen die Immobilienpreise negativ beeinflussen. Dabei wird häufig auf eine Studie von Fondel et al. 2019 verwiesen. Doch diese Studie hat methodische Schwächen, die ihre Aussagekraft deutlich einschränken. Die Autoren der Studie nutzten Angebotspreise von Immobilien, also die Preise, zu denen Häuser und Wohnungen inseriert wurden – nicht die tatsächlichen Verkaufspreise. Dabei wurde nicht berücksichtigt, dass Verkäufer oder Makler möglicherweise schon von **vornherein niedrigere Preise ansetzen, weil sie vermeintliche Nachteile durch Windräder erwarteten**.

Die Studie kommt zwar zu dem Ergebnis, dass Immobilien in der Nähe von Windenergieanlagen rund 7 % weniger kosteten, gibt dabei aber eine Unsicherheitsmarge von 30 % an. Eine solch hohe Unsicherheit macht das Ergebnis statistisch wenig belastbar. Außerdem zeigt die Untersuchung, dass die Angebotspreise nicht nur durch Windräder, sondern auch durch die Entfernung zum Stadtzentrum beeinflusst wurden. Niedrigere Preise traten vor allem dort auf, wo Immobilien weiter außerhalb lagen. Das legt nahe, dass **nicht die Windräder, sondern die Lage ein entscheidender Faktor ist** (energiewende.eu).

Auch eine Studie aus den USA fand nur geringe Preisverluste. In Sichtweite von Windenergieanlagen sanken die Immobilienpreise im Schnitt nur um 1,12 %. Höhere Preisverluste (bis maximal 2,48 %) wurden nur bei sehr großen Windparks mit über 20 Anlagen festgestellt. Zudem zeigten sich diese **Preisrückgänge nur vorübergehend – mit der Zeit normalisierten sich die Preise wieder, was auf einen Gewöhnungseffekt hindeutet** (handelsblatt.com).

Generell ist der Immobilienmarkt sehr komplex. Die Preisentwicklung wird von vielen verschiedenen Einflüssen wie der Lage, der demografischen Entwicklung, den wirtschaftlichen Rahmenbedingungen und regionalen Besonderheiten bestimmt. Dies macht es schwierig, einzelne Faktoren als Hauptgrund für negative Preisentwicklungen auszumachen. Ein primärer Faktor scheint jedoch die demografische Entwicklung zu sein, insbesondere im ländlichen Raum. Studienergebnisse aus einer bestimmten Region lassen sich zudem nicht ohne Weiteres auf andere Gebiete übertragen. Ein niedrigerer

Angebotspreis bedeutet also nicht automatisch, dass Käufer Windräder tatsächlich als Abschreckung empfinden. Bisherige Untersuchungen deuten vielmehr darauf hin, dass Windenergieanlagen **keinen dauerhaften negativen Einfluss auf Immobilienpreise** haben ([EnergieRegion NRW](#)).

ENERGIEWENDE

Themen: Dunkelflaute, Deutschlands Strategie bei der Energiewende, Kosten der Energiewende

Aussage: Für die Grundlast bei Dunkelflaute müssen konventionelle Kraftwerke vorgehalten werden.

Mit dem wachsenden Anteil von Wind- und Solarenergie im deutschen Strommix steigt auch die Abhängigkeit vom Wetter, was die Gefahr einer sogenannten „Dunkelflaute“ mit sich bringt ([Czock et al. 2023](#), [Science Media Center 2024](#)). Eine **Dunkelflaute ist eine Phase, in der kaum Wind- und Solarstrom erzeugt** wird. Solche Phasen werden oft darüber definiert, welcher Anteil der Stromnachfrage durch erneuerbare Energien gedeckt werden kann. Ist dieser Anteil sehr gering, spricht man von einer Dunkelflaute ([Science Media Center 2021](#)).

Dunkelflauten stellen eine **Herausforderung für die Energieversorgung** dar. Doch es gibt **verschiedene Wege, wie die Versorgungssicherheit auch in solchen Zeiten gewährleistet** werden kann. Diese Möglichkeiten müssen miteinander kombiniert werden, um ein stabiles Energiesystem zu schaffen:

- 1. Ausbau von Batteriespeichern, Pumpspeichern oder Wasserreservoirs:** Stromüberschüsse aus sonnigen oder windreichen Zeiten können gespeichert und bei Bedarf wieder ins Netz eingespeist werden.
- 2. Ausbau des länderübergreifenden Stromnetzes:** Ein besser vernetztes Stromsystem innerhalb Europas ermöglicht den Stromimport aus Nachbarländern, in denen andere Wetterbedingungen herrschen. So können Angebot und Nachfrage länderübergreifend ausgeglichen werden ([Czock et al. 2023](#), [Frank et al. 2021](#)).
- 3. Flexibilisierung der Stromnutzung:** Rund 20 % des Stromverbrauchs können flexibel gestaltet werden. Das bedeutet, dass bestimmte Stromnutzungen zeitlich verschoben

werden – etwa dann, wenn besonders viel Strom aus Wind- oder Solarenergie verfügbar ist ([Aurora Energy Research 2021](#)).

- 4. Steigerung der Energieeffizienz:** Ein geringerer Energiebedarf entlastet das System. Das kann etwa durch bessere Dämmung von Gebäuden erreicht werden ([Czock et al. 2023, S. 37](#)).
- 5. Nutzung von zusätzlichen steuerbaren Kraftwerken:** In Zeiten, in denen Wind- und Solarenergie nicht ausreichen, können flexibel steuerbare Kraftwerke einspringen. Aktuell sind das oft Gaskraftwerke – künftig sollen diese auf Wasserstoff umgestellt werden ([Aurora Energy Research 2021](#), [Czock et al. 2023](#), [Science Media Center 2024](#)).

Wichtig ist, dass alle Möglichkeiten ausgeschöpft werden, um sowohl die **Versorgungssicherheit zu garantieren als auch die Energieversorgung zu dekarbonisieren** – also klimaneutral zu machen. Das bringt zusätzliche Kosten mit sich, die über die reinen Stromgestehungskosten von Wind und Sonne hinausgehen und von den Stromverbrauchern getragen werden müssen ([Grimm et al. 2024](#)). Trotzdem ist davon auszugehen, dass ein **klimaneutrales Stromsystem insgesamt günstiger ist als eine Versorgung mit fossilen Energien** – sowohl finanziell als auch für Umwelt und Gesellschaft ([Grimm et al. 2024](#), [ISE 2024](#)).

Aussage: Deutschland geht bei der Energiewende einen Sonderweg.

Deutschland galt lange als Vorreiter beim Ausbau der erneuerbaren Energien. Trotzdem lässt sich nicht von einem Sonderweg sprechen – denn **weltweit findet ein ähnlicher Wandel statt**. Das zeigt eine Untersuchung der Internationalen Energieagentur sehr deutlich:

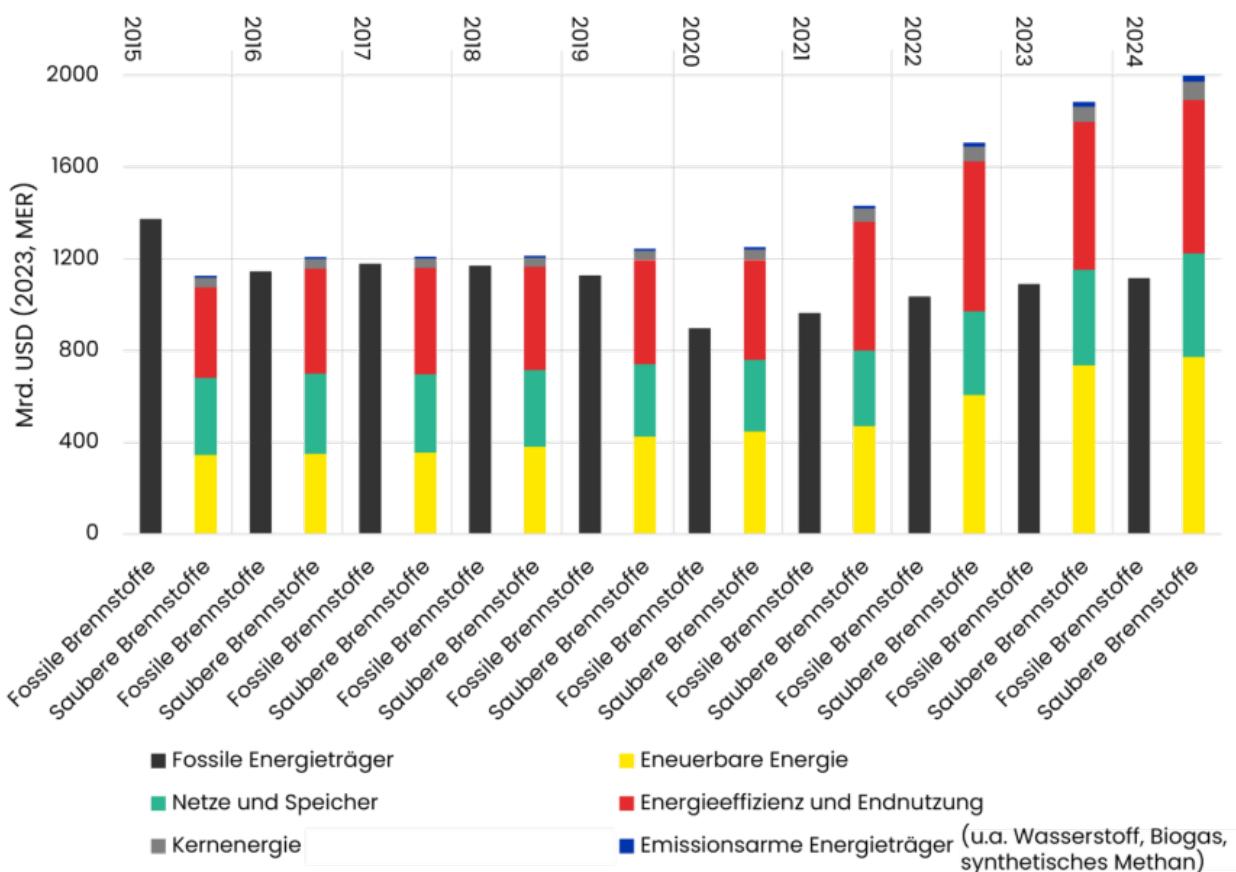


Abbildung 9: Weltweite Investitionen in saubere Energien und fossilen Energieträgern, 2015–2024, Eigene Darstellung, Quelle: [IEA](#)

Seit 2016 wird **weltweit mehr Geld in sogenannte „saubere Energie“ investiert als in fossile Energieträger** – selbst dann, wenn man die Atomenergie nicht berücksichtigt, da die Endlagerung nach wie vor problematisch ist, ein Nuklearunfall immense Folgen hätte und Atomenergie nicht erneuerbar ist. Ein Beispiel dafür ist **China**: Zwar investiert das Land weiterhin massiv in den Neubau von Atomkraftwerken ([Statista](#)), gleichzeitig ist es aber auch **weltweit führend beim Ausbau der erneuerbaren Energien**. Im Jahr 2024 befanden sich dort Windenergieanlagen mit einer Gesamtleistung von 159 Gigawatt im Bau – das ist **mehr als in jedem anderen Land** ([globalenergymonitor.org](#)).

Aussage: Die Energiewende kostet Milliarden. Es ist günstiger, das bestehende Energiesystem beizubehalten.

Es ist richtig, dass die **Energiewende viel Geld kostet**. Bei der Transformation des Energiesystems in Deutschland gibt es mehrere Faktoren, die zu Kostensteigerungen bei der Energiewende führen können: Ein wesentlicher ist, dass der Netzausbau nicht früh genug begonnen wurde und der Ausbau der erneuerbaren Energien zu langsam vorangeht. Auch politische Entscheidungen und gesetzliche Vorgaben tragen zur Verteuerung bei – zum Beispiel der Bau großer Stromtrassen mit teuren Erdkabeln, anstatt mit kostengünstigeren Freileitungen. Grundsätzlich handelt es sich aber bei den entstehenden Kosten bei der Energiewende um **Investitionen in ein zukunftsfähiges Energiesystem**.

Eine Studie von Agora Energiewende zeigt, welche jährlichen Systemkosten Deutschland im Jahr 2050 je nach verwendetem Energieträger erwarten kann. Die Ergebnisse sind eindeutig: Ein Energiesystem, das hauptsächlich auf Kohle oder Erdgas basiert, wäre nur dann günstiger als ein erneuerbares Energiesystem, wenn man von sehr günstigen Brennstoffpreisen ausgeht. Eine solche Annahme wäre laut den Studienautoren jedoch sehr unseriös. Die Kosten für die fossilen Energiesysteme erhöhen sich zusätzlich um ein Vielfaches, wenn man einen – selbst sehr niedrig angesetzten – CO₂-Preis mit einrechnet. Die Studie zeigt also: **Langfristig wird sich die Energiewende auch finanziell lohnen**.

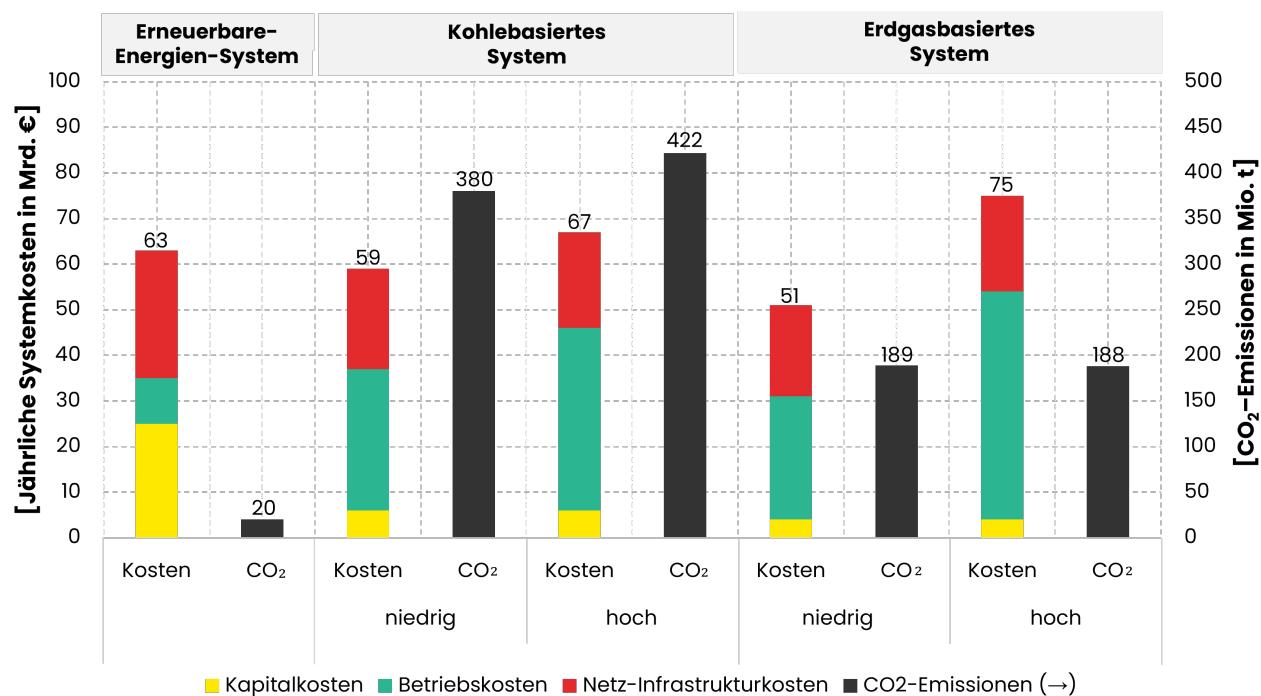


Abbildung 10: Vergleich der gesamten Systemkosten von erneuerbaren sowie kohle- und erdgasbasierten Stromsystemen bei CO₂-Preisen von 50 Euro pro Tonne, 2050, Eigene Darstellung, Quelle: [Agora Energiewende](#)

In den letzten Jahren haben mehrere Studien, unter anderem vom Fraunhofer ISE und dem Öko-Institut, ebenfalls belegt: **Die Kosten der Energiewende sind gleich hoch oder sogar geringer, als wenn wir weiterhin auf fossile Energieträger setzen würden** ([energiestiftung.ch](#)).

Herausgeberin:

KEA Klimaschutz- und Energieagentur Baden-Württemberg GmbH

Kaiserstraße 94a, D-76133 Karlsruhe

Tel.: +49 0721 98471-0

www.kea-bw.de

Digitale Version als Download:

www.kea-bw.de/erneuerbare-bw/wissensportal/publikationen

