



Windkraftwerke im Wald

Bewertung und Alternativen

Dieter Teufel
Sabine Arnold
Petra Bauer
Alexandra Shemberova

UPI-Bericht Nr. 88

März 2023

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	2
2	Ziel der Landesregierung Baden-Württemberg 2021/2022.....	2
3	Änderungen im Naturschutz	6
4	Folgen von Windkraftwerken im Wald.....	8
	4.1 Folgen für den Wald.....	8
	4.2 Aspekt Grundwasser.....	17
	4.3 Aspekte für Menschen	18
5	Ertrag von Windenergieanlagen.....	18
6	Alternativen zu Windkraftwerken im Wald.....	26
	6.1 Ertragsunterschiede Höhe - Ebene	26
	6.2 Beispiel Rheinland-Pfalz: Windkraftwerke in der Rheinebene	30
	6.3 Sparen und bessere Nutzung von Energie.....	36
	6.4 CO ₂ -Quelle Verkehr	40
	6.5 Photovoltaik	42
	6.6 Netzausbau.....	44
	6.7 Abbau klimaschädlicher Subventionen.....	47
	6.8 CO ₂ -Bindung in Böden.....	49
	6.9 Erhöhung der Albedo	50
7	Ausblick	51
	7.1 Windenergiepolitik in Baden-Württemberg ökologisch nicht zielführend.....	51
	7.2 Raumverträgliche Standorte für Windenergieanlagen	57
	7.3 Wirksame Klimapolitik notwendig	65
8	Zusammenfassung	67
9	Bildverzeichnis.....	71
10	Tabellenverzeichnis	73

1 Einleitung

Die Hitzesommer und die Unwetter in den letzten Jahren haben eindrucksvoll die Folgen des menschengemachten Klimawandels gezeigt, vor denen die internationale Wissenschaft seit Jahrzehnten warnt. Die mittleren Jahrestemperaturen auf der Erde steigen seit Jahrzehnten an. Der Temperaturdurchschnitt in Deutschland lag im Sommer 2022 nach Berechnungen des Deutschen Wetterdienstes um 2,9 Grad über dem Durchschnitt der Referenzperiode 1961 bis 1990.¹ Klimaschutz ist deshalb heute und in Zukunft das Gebot der Stunde.

Die Ziele der Minderung der Treibhausgasemissionen sind seit vielen Jahren festgelegt. Aber wie sollen sie konkret umgesetzt werden? Die deutliche Steigerung der Erzeugung von regenerativer Energie erscheint zunächst als naheliegende Lösung.

Die Studie behandelt deshalb folgende Fragen:

- Wo liegen die größten Potenziale zur CO₂-Reduktion für Städte und Gemeinden?
- In welchem Zeitrahmen ist die Klimawende zu schaffen?
- Welchen Beitrag können dazu Windkraftanlagen im Wald leisten?
- Gibt es Alternativen zu Windkraftwerken im Wald?

Das Projekt untersuchte dazu die Potenziale von 10 Maßnahmen zur Reduktion der CO₂-Emissionen. Die Maßnahmen wurden für Heidelberg als Beispiel für eine Großstadt und für Baden-Württemberg als Beispiel für ein Bundesland berechnet. Die Ergebnisse sind jedoch auch für andere Städte, Regionen und Bundesländer relevant und im Grundsatz übertragbar.

2 Ziel der Landesregierung Baden-Württemberg 2021/2022

Im Koalitionsvertrag 2021-2026 stellten BÜNDNIS 90/DIE GRÜNEN und CDU Baden-Württemberg das Ziel auf, in Baden-Württemberg 1 000 neue Windkraftanlagen zu bauen und dafür vor allem Flächen im Staatsforst Baden-Württembergs zu verwenden.² Landwirtschaftsminister Peter Hauk (CDU) erläuterte im RNZ-Interview am 21.5.2021 dazu: "*Es wird keine Tabuzonen geben.*"³ Allein im Staatswald Baden-Württemberg sollen 500 Windkraftwerke gebaut werden.^{4 5} Zusammen mit Anlagen in Gemeindewald und Privatwald würde die überwiegende Zahl der geplanten Windkraftwerke im Wald gebaut werden.

¹ www.dwd.de/DE/presse/pressemitteilungen/DE/2022/20220830_deutschlandwetter_sommer2022_news.html

² Koalitionsvertrag 2021-2026 von BÜNDNIS 90/DIE GRÜNEN Baden-Württemberg und der CDU Baden-Württemberg

³ Peter Hauk im Interview: "Es wird keine Tabuzonen geben", Rhein-Neckar-Zeitung, 21.5.2021

⁴ Masterplan für 500 neue Windräder im Staatswald in Baden-Württemberg, Badische Neueste Nachrichten, 26.1.2021

⁵ Der Ausbau der Windenergie ist das Top-Thema für mich, Interview mit Umweltministerin Thekla Walker, Zeitschrift für Kommunale Wirtschaft, 7.3.2022

Im Zusammenhang mit dem Ausbau der Windenergie in Baden-Württemberg veröffentlichten das Land und die zwölf Regionalverbände im September 2022 Planhinweiskarten für Windkraft, die von den Regionalverbänden erarbeitet wurden. Die für Windkraftanlagen grundsätzlich möglichen Flächen sind jetzt erheblich umfangreicher als die im Jahr 2015 geplanten Vorrangflächen für Windenergie. Der Nachbarschaftsverband Heidelberg-Mannheim hatte damals insgesamt 18 mögliche Konzentrationszonen vorgeschlagen, von denen die meisten im Wald lagen (Bild 1). Nach detaillierten Untersuchungen wurden die Waldstandorte fast alle verworfen, aber auch andere Konzentrationszonen in der Ebene wurden bisher nicht beschlossen.

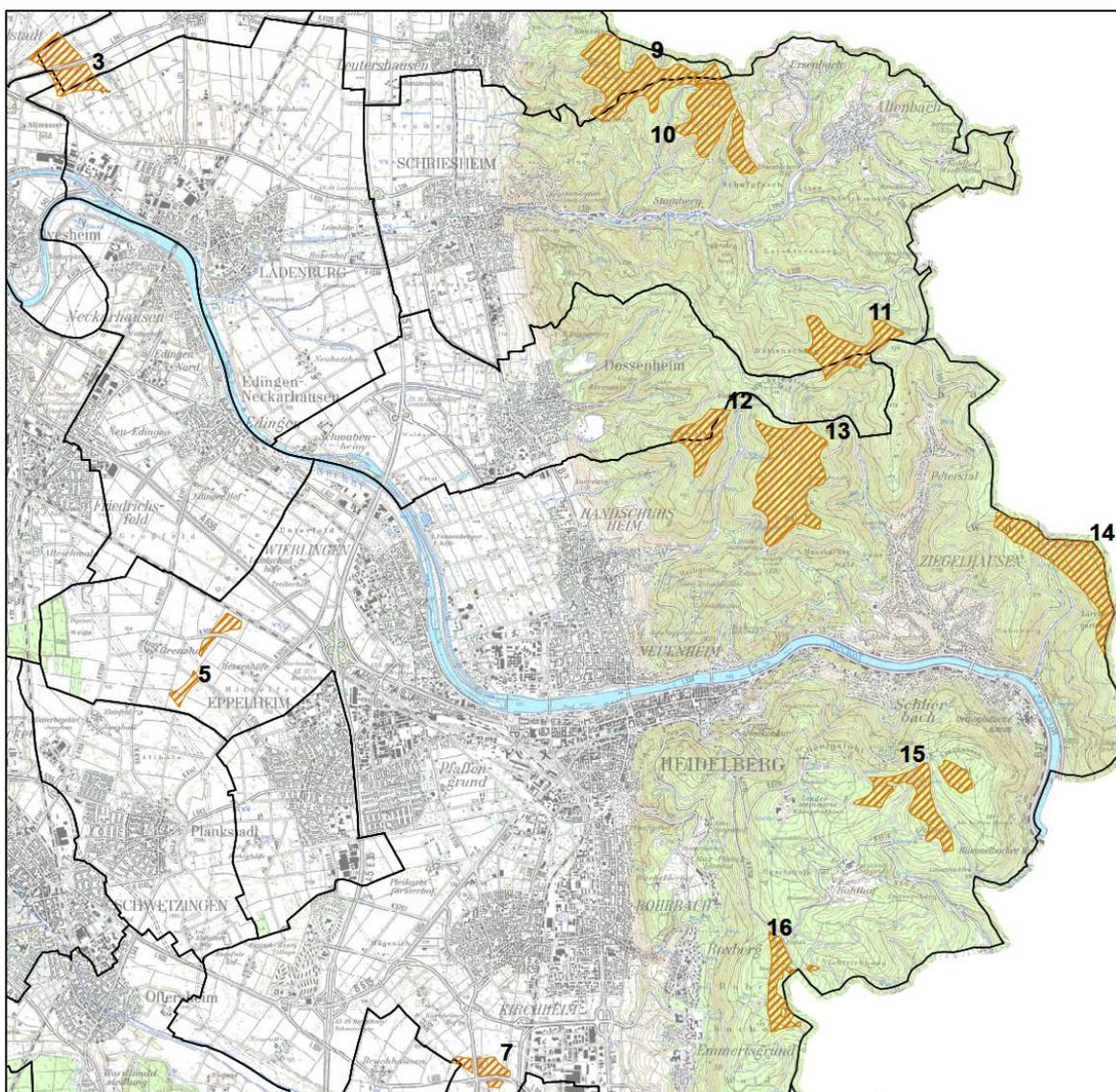


Bild 1: Untersuchte Konzentrationszonen für Windenergieanlagen in Heidelberg, Stand November 2015⁶

⁶ Nachbarschaftsverband Heidelberg-Mannheim: Vorentwurf Sachlicher Teilflächennutzungsplan Windenergie, 2015

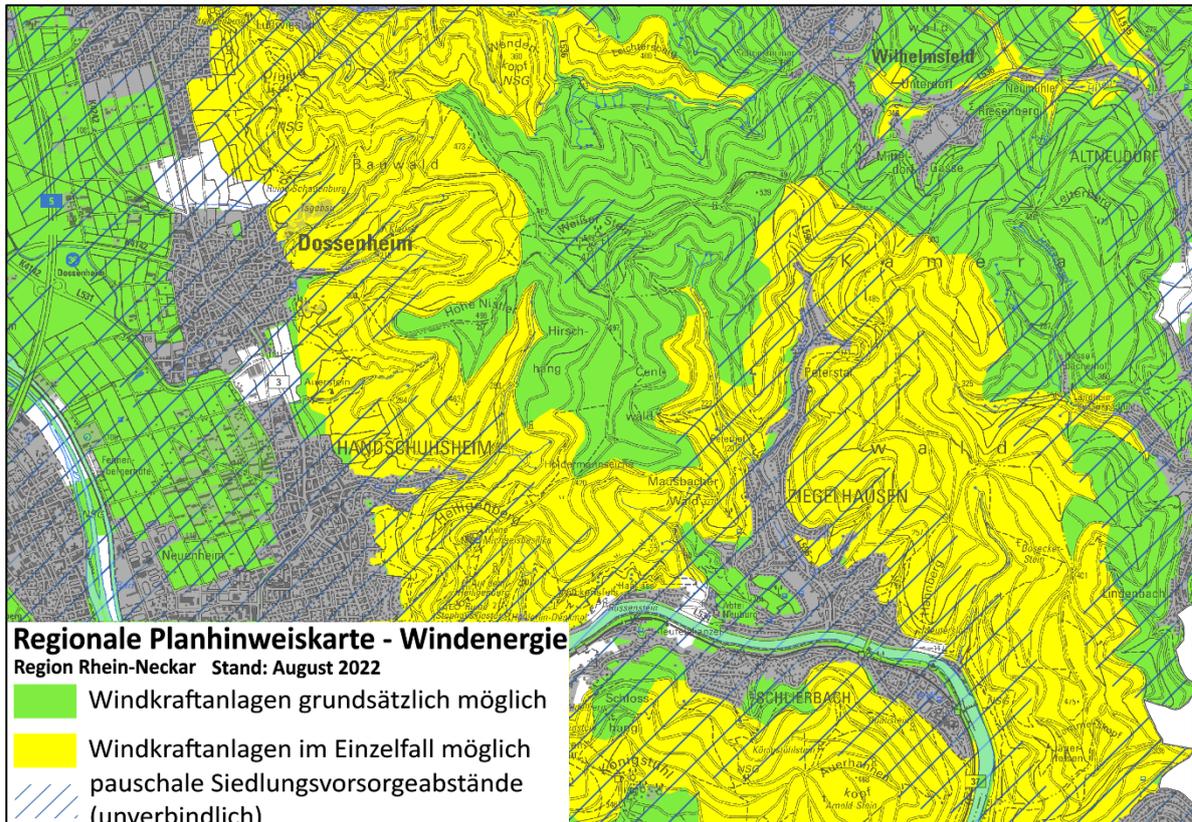


Bild 2: Auszug aus der Planhinweiskarte Windenergie Region Rhein-Neckar 2022⁷

Eine Umfrage der Rhein-Neckar-Zeitung im Dezember 2022 unter den Gemeinden des Rhein-Neckar-Kreises zeigte unterschiedliche Reaktionen auf diese neue Potenzialkarte⁸. Während einige Rathäuser den Vorstoß begrüßen, betrachten andere Gemeinden den Plan differenziert. Nußloch z.B., das schon eine Machbarkeitsstudie zur Nutzung der Windenergie in Auftrag gegeben hat, sieht Potenziale im Nußlocher Steinbruch. Standorte im Wald dagegen sind für Nußloch tabu. Dossenheim aber kann sich Windkraftwerke im Wald z.B. im Bereich Weißer Stein vorstellen.

Im Januar 2023 wurden Pläne bekannt, dass das Land im Wald im Gebiet Münchel, Lärchengarten und Lammerskopf auf einer Fläche von 550 Hektar⁹ eine erste große Fläche für Windkraftwerke auf Heidelberger und Schönauer Gemarkung plant.¹⁰ (Bild 3) Dieses Waldgebiet war bereits 2015 vom Nachbarschaftsverband untersucht, jedoch nicht ausgewählt worden. Die Fläche liegt größtenteils in einem FFH-Gebiet.

⁷ Die grünen Flächen definiert die Karte als für „Windkraftanlagen grundsätzlich möglich“, die gelben Flächen als „Windkraftanlagen im Einzelfall möglich“. Die blaue Schraffur bezeichnet besiedelte Flächen, die aufgrund der Abstandsregelung zu Siedlungsgebieten nicht für Windkraftanlagen in Frage kommen. https://regionen-bw.de/karten/Wind_Planhinweiskarte_VRRN.png

⁸ Rhein-Neckar-Zeitung, Mögliche Windkraft-Standorte - So kommt die Analyse in den Rathäusern an, 3.12.2022

⁹ 550 ha = 5,5 Millionen Quadratmeter = 5,5 Quadratkilometer

¹⁰ Rhein-Neckar-Zeitung, „Windräder zwischen Heidelberg und Schönau?“, 28.1.2023“

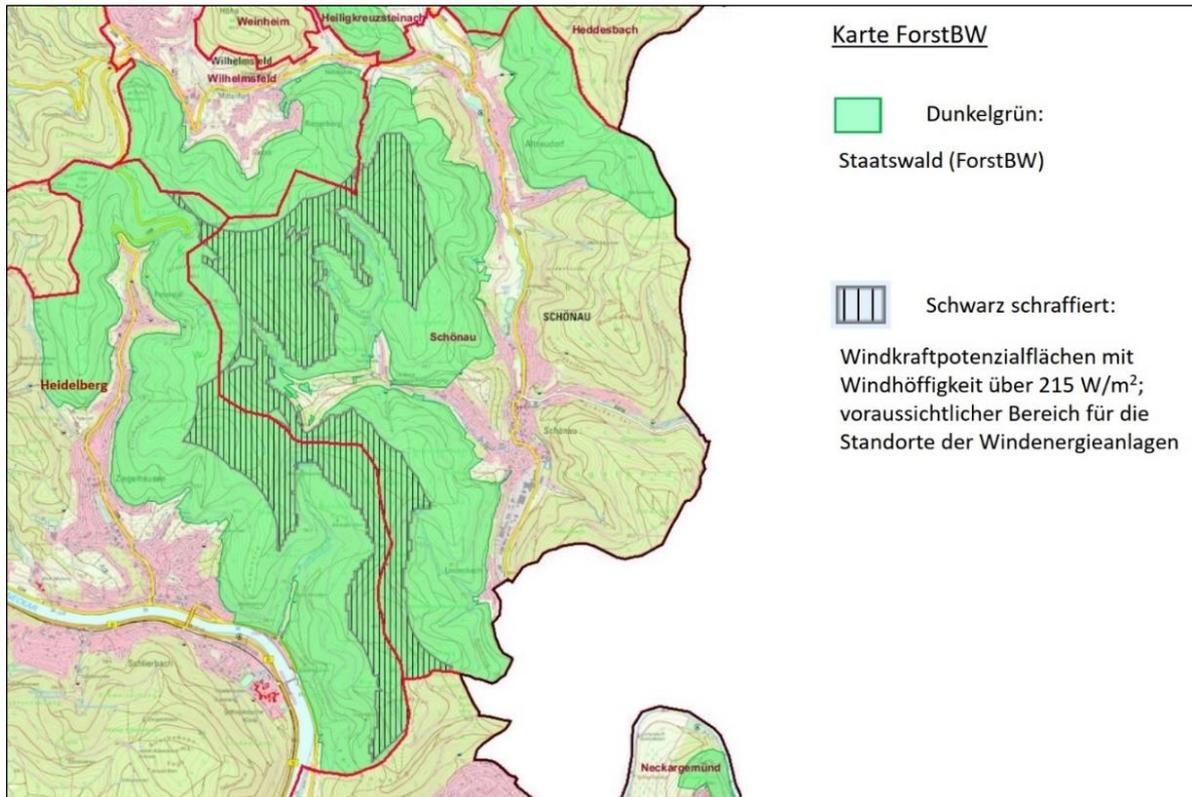


Bild 3: WindPotenzialflächen im Bereich Münchel, Lärchengarten und Lammerskopf in Heidelberg und Schönau

Am 10.11.2022 war in der Rhein-Neckar-Zeitung unter der Überschrift „*Hunderte Windräder sind möglich - Der Kreis will seine Potenziale ausschöpfen*“ über ein Gutachten im Auftrag des Rhein-Neckar-Kreises zu lesen:¹¹ „*Werfen wir doch einmal einen Blick ins Jahr 2040: Im Rhein-Neckar-Kreis drehen sich auf sogenannten ‚geeigneten Gebieten‘ 175 Windkraftanlagen, die jährlich rund 1,7 Millionen Megawattstunden (MWh) Strom erzeugen. Hinzu könnten weitere 230 Anlagen in ‚bedingt geeigneten Gebieten‘ kommen...*“

Auch in Hessen ist eine Vielzahl von Windkraftwerken geplant, die vornehmlich in Waldgebieten gebaut werden sollen.

Bild 4 zeigt mögliche Standorte auf dem Höhenzug im Bereich Großer Adlerstein östlich Heiligkreuzsteinach. Dieses Areal besteht aus naturnahen, wenig gestörten Wäldern.

¹¹ Rhein-Neckar-Zeitung, Hunderte Windräder sind möglich - Erneuerbare Energien: Der Kreis will seine Potenziale ausschöpfen, 10.11.2022

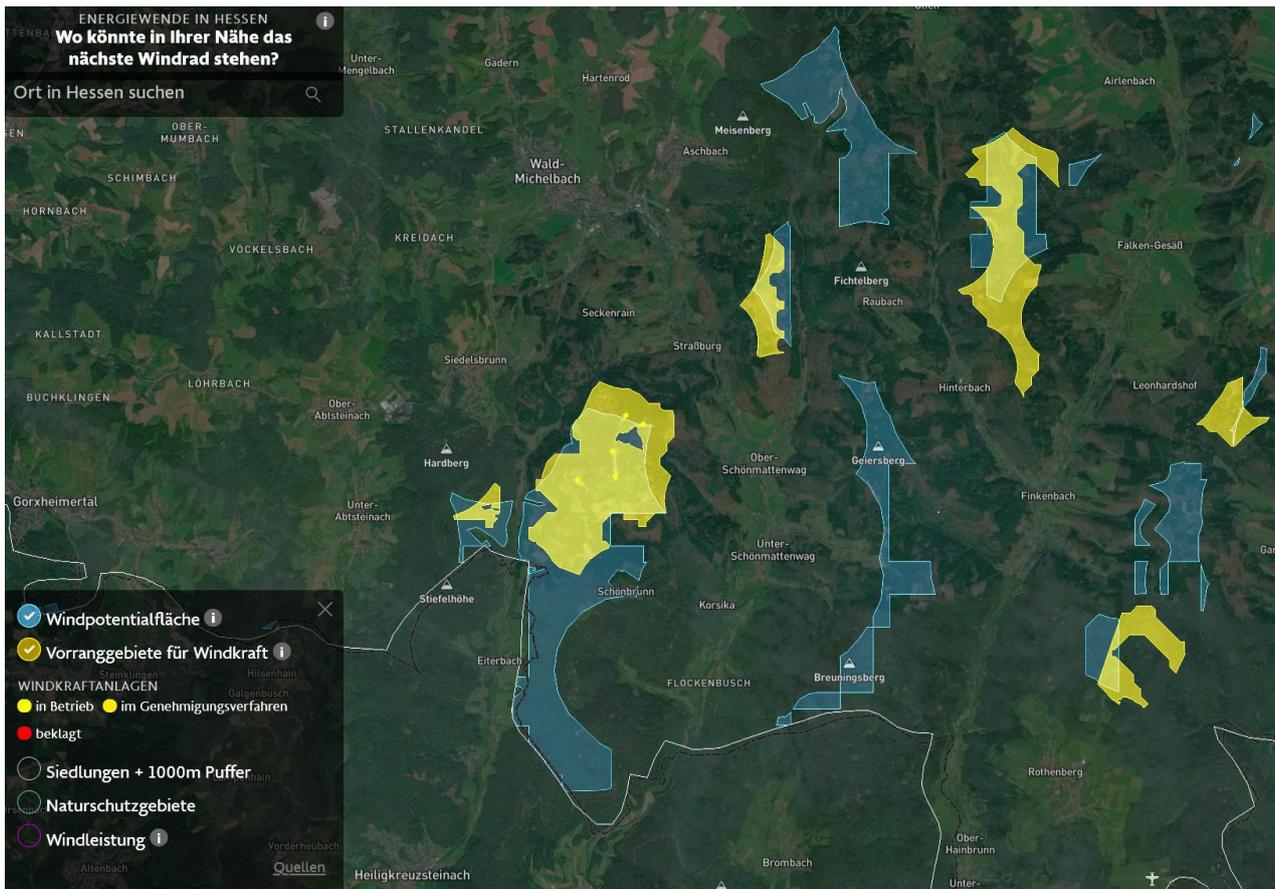


Bild 4: Geplante hessische Windkraftwerksflächen an der Grenze zu Baden-Württemberg bei Heiligkreuzsteinach ¹²

3 Änderungen im Naturschutz

Mit den Worten „*Nach der neuen Planungsgrundlage spielt der Auerhuhnschutz auf rund 15 000 Hektar Windpotenzialfläche im Schwarzwald künftig keine Rolle mehr*“, stellten Umweltministerin Thekla Walker und Landwirtschaftsminister Peter Hauk in Stuttgart das neue Konzept vor.¹³ Es sei deshalb eine gute Nachricht sowohl für die Energiewende als auch für den Naturschutz in Baden-Württemberg, „*dass wir nun windhöffige Flächen in der Größenordnung von rund 21 000 Fußballfeldern als zusätzliches Potenzial haben, bei denen bisherige Restriktionen zum Schutz des Auerhuhns wegfallen.*“

Im Juli 2022 beschloss der Bundestag mehrere von der Bundesregierung ausgearbeitete Gesetzesänderungen. Dadurch werden bei der Planung von Windkraftwerken und Photovoltaikanlagen bisher strenge Vorgaben der Vogelschutz-, Fauna-Flora-Habitat-Richtlinien

¹² Frankfurter Allgemeine Zeitung (FAZ), Energiewende in Hessen - Wohin mit all den Windrädern?, 18.7.2022 www.faz.net/1.8117707

¹³ Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg, Neue Planungsgrundlage Windenergie und Auerhuhn veröffentlicht, Pressemitteilung 17.8.2022 <https://um.baden-wuerttemberg.de/de/presse-service/presse/pressemitteilung/pid/neue-planungsgrundlage-windenergie-und-auerhuhn-veroeffentlicht/>

und der Richtlinie zur Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP) zur artenschutzrechtlichen Prüfung außer Kraft gesetzt. Das Gesetz definiert den Betrieb von Windenergieanlagen als „im überragenden öffentlichen Interesse“ liegend. Landschaftsschutzgebiete können nun in die Suche nach Flächen für den Windenergieausbau einbezogen werden. Das Gesetz enthält z.B. eine abschließende Liste mit 15 kollisionsgefährdeten Vogelarten, bei denen – je nach Abstand der Windanlage zum Horst – das Tötungsrisiko zu prüfen ist. Dies steht im Widerspruch zum europäischen Naturschutzrecht, das alle kollisionsgefährdeten Vogelarten schützt, nicht nur die 15 im Gesetz aufgelisteten. Die Änderung des Bundesnaturschutzgesetzes am 7.7.2022 beinhaltet u.a. eine Beweislastumkehr im Bereich der Faktenberücksichtigung in den Genehmigungsverfahren, faktisch wird z.B. den Behörden untersagt, Vor-Ort-Begehungen anzuordnen. Die Änderungen beschränken Artenhilfsprogramme auf einzelne Instrumente und schließen andere Möglichkeiten aus, wie z.B. den teils auch notwendigen Flächenerwerb. Das schränkt deren Umsetzbarkeit und Wirksamkeit von vornherein deutlich ein und bedeutet eine fachlich kaum begründbare Schwächung von Natur- und Artenschutz ohne Nutzen für die Beschleunigung der Energiewende.¹⁴

Diese Lockerungen im Naturschutz geschahen parallel zu dem Weltnaturgipfel in Montreal im Dezember 2022, auf dem 193 Staaten nach jahrelanger Vorbereitung am 19.12.2022 unter anderem das Ziel beschlossen, zum Schutz der Natur und der Biodiversität mindestens 30 Prozent der weltweiten Land- und Meeresflächen bis 2030 unter Schutz zu stellen.¹⁵

Die naturschutzrechtlichen Prüfungen, die weiterhin noch durchzuführen sind, werden im Falle der Windenergie wie bisher von Gutachtern durchgeführt, die durch die Firma, die das Windkraftwerk bauen will, ausgewählt, beauftragt und bezahlt werden. Dies ist anders als z.B. bei fossilen oder nuklearen Kraftwerken, bei denen die Gutachter durch die staatliche Genehmigungsbehörde ausgewählt und beauftragt werden.

¹⁴ Persönliche Erklärung nach § 31 GO der Abgeordneten Harald Ebner (Berichtersteller im federführenden Ausschuss) und Filiz Polat (beide BÜNDNIS 90/DIE GRÜNEN) über den von der Bundesregierung eingebrachten Entwurf eines Gesetzes zu Sofortmaßnahmen für einen beschleunigten Ausbau der erneuerbaren Energien und weiteren Maßnahmen im Stromsektor, Protokoll Deutscher Bundestag – 20. Wahlperiode – 47. Sitzung, 7. Juli 2022, Seite 5042ff
<https://dserver.bundestag.de/btp/20/20047.pdf#page=182>

¹⁵ Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (BMUV) : Weltnaturkonferenz CBD COP 15 <https://www.bmu.de/cbd-cop15>

4 Folgen von Windkraftwerken im Wald

4.1 Folgen für den Wald

„Im Klimawandel sind die Wälder unsere Verbündeten – nicht zuletzt als Klimaanlage in der Landschaft, als Wasserspeicher und Kohlenstoffspeicher. Werden Waldböden verwundet, freigelegt und versiegelt, werden Kohlenstoffspeicher und -senkenleistung reduziert. Kahlfelder werden sogar zur Kohlenstoff-Quelle.“¹⁶ Mit diesen Worten beschreibt Prof. Dr. Pierre Ibisch vom Fachbereich für Wald und Umwelt der Hochschule für nachhaltige Entwicklung Eberswalde das Problem.

Für große Windkraftwerke heutiger Bauart ist eine leistungsfähige Straßenanbindung erforderlich. Die Kraftwerkskomponenten (Mastsegmente, Rotorblätter) werden mit überlangen Schwertransporten angeliefert. Für die tiefgründigen Betonfundamente muss Transportbeton angeliefert und für den Bau müssen Schwerlastkräne eingesetzt werden. Deshalb müssen bei Standorten im Wald in der Regel neue Zufahrten angelegt werden. Dazu müssen Waldwege auf eine befahrbare Breite von 4,50 m und eine Durchfahrtsbreite von 6,50 – 7,00 m (gerade Strecken), in Kurven bis 20 m Durchfahrtsbreite ausgebaut werden. Der notwendige Kurvenradius beträgt 40 – 60 m, die dafür notwendigen Flächen müssen gerodet werden. Die Wege müssen für Schwertransporter mit einem Gewicht von 100 - 150 t und einer Achslast von 12 t ausgebaut werden. Dazu müssen die Waldwege in der Regel 40 - 60 cm tief geschottert werden. Die folgenden Bilder geben einen Eindruck vom heutigen Zustand der Waldwege und ihrem notwendigen Ausbau.

Ein besonderes Problem ist die Möglichkeit von Bränden an einem Windkraftwerk im Wald. Pro Jahr kommt es bei den bestehenden Windenergieanlagen in Deutschland zu 5 bis 10 Brandereignissen. Ein Brand in einem Windkraftwerk ist wegen der Höhe durch Feuerwehren nicht löschar. Bei einem unbewaldeten Standort ist dies in der Regel für die Umwelt kein größeres Problem. Bei einem Standort im Wald kann dies bei Trockenheit zu einer erheblichen Waldbrandgefahr durch wegfliegende, brennende Teile von Rotoren oder brennendem Getriebe- oder Hydrauliköl führen.^{17 18}

¹⁶ Prof. Dr. Dr. h.c. Pierre Ibisch, Centre for Econics and Ecosystem Management Fachbereich für Wald und Umwelt - Hochschule für nachhaltige Entwicklung Eberswalde in: Naturschutzinitiative e.V., Landschaften und Wälder schützen! Wissenschaftler kritisieren EEG-Eckpunktepapier 2022 www.naturschutz-initiative.de/publikationen/

¹⁷ Kurzfilm eines brennenden Windkraftwerks: <https://www.youtube.com/shorts/MnB5YJxS-nl>

¹⁸ Saarland: Windkraftanlage abgebrannt, [Spiegel Online](https://www.spiegel.de), 29.12.2022



Bild 5: Heutiger Waldweg entlang der 2015 geplanten Windenergievorrangfläche südlich des Weißen Steins in Heidelberg

Für den eigentlichen Standort einer Windenergieanlage muss eine Fläche von ca. 6 500 qm gerodet werden. Da die Neigung dieser Fläche höchstens 1% betragen darf, müssten bei den Standorten im Odenwald aufgrund der Topografie erhebliche Eingriffe in Form von Geländenivellierungen durchgeführt werden. Die ausgebauten Zufahrten und Kranflächen müssen dauerhaft waldfrei bleiben, da Windkraftwerke gewartet und ggfls. repariert werden müssen.

Die Auswirkungen eines solchen massiven Eingriffs in die Waldlandschaft lassen sich gut bei den bisher noch wenigen in den letzten Jahren gebauten Windkraftwerken im Odenwald studieren. (Bild 6 bis Bild 13)



Bild 6: Geländemodellierung für Windkraftwerk (3,3 MW_p¹⁹) auf dem Gipfel des ursprünglich dicht bewaldeten Stillfüssels südlich Waldmichelbach



Bild 7: Wegebau und Geländemodellierung für Windkraftwerke auf dem Stillfüssel südlich Waldmichelbach

¹⁹ MW_p = Megawatt Peak-Leistung = Nennleistung oder maximale Leistung



Bild 8: Dauerhaft gerodeter Wald für die Arbeitsfläche eines Windkraftwerkes auf dem Stillfüssel



Bild 9: „Ausgleichsmaßnahmen“ für ein Windkraftwerk auf dem Stillfüssel: abgestorbene Baumsetzlinge

Wilhelm Bode, Diplom-Forstwirt, bis 1993 Leiter der saarländischen Forstverwaltung sowie später Leiter der Obersten Naturschutzbehörde des Saarlandes beschreibt Zusammenhänge in Waldökosystemen, die in der politischen Diskussion und den gesetzlichen Regelungen wenig oder nicht beachtet werden:²⁰

„Wälder sind ein Kontinuum aus Raum und Zeit. Das heißt, nur durch die ihnen von Natur aus innewohnende Stetigkeit sind sie in der Lage, sich immer tiefer miteinander zu vernetzen, dynamische Stabilität zu entwickeln, ihre Diversität zu erhöhen und sich verändernden Umweltbedingungen anzupassen - mit anderen Worten: Resilienz für eine ungewisse Zukunft aufzubauen.

Ihr assimilierender, lebender Raum, mit seiner vertikalen und horizontalen Raumdimension, erzeugt ihr Waldbinnenklima. Das ist eine Voraussetzung für ihre Zeitdimension, nämlich das Kontinuum des lebenden Waldbodens, der sich erst durch die Stetigkeit der Waldkontinuität vertieft und diversifiziert...

Die bereits bestehenden Diskontinuitäten werden durch den Bau von Windrädern erheblich verstärkt. Es ist falsch, ihren Waldverlust allein nach der reinen Flächeninanspruchnahme zu bewerten.

Tatsächlich erzeugen Windräder im Wald darüber hinaus einen dauerhaften Stetigkeitsverlust, indem sie die Waldinnenränder nicht nur deutlich verlängern, dadurch geschlossene Waldflächen zerstückeln, ihr Waldbinnenklima zerstören, ihr Vertikal- und Horizontalkontinuum mit künstlichen Kleinsteppe-Biotopen durchlöchern mit der Folge erhöhter Schalenwild-Stimulanz, sowie angrenzende Wälder deutlich höheren Orkangefahren aussetzen.“

In der UN-Klimakonferenz 2021 in Glasgow einigten sich nach jahrelangen Diskussionen mehr als 100 Staaten in dem „Pakt zur Rettung der Wälder“ auf einen Schutz der Wälder. Die Einigung in Glasgow betonte vor allem, wie wichtig es ist, Ökosysteme zu bewahren und wiederherzustellen, um als Senken für Kohlendioxid zu dienen.

Parallel dazu öffnet der Staat einiger deutschen Bundesländer den noch am natürlichsten verbliebenen Landschaftsteil Wald für eine Industrialisierung im Namen des Klimaschutzes. Dies steht im Widerspruch zu den beschlossenen UN-Zielen, die Zerstörung von Wäldern bis 2030 zu stoppen.

Prof. Dr. Dr. h.c. Pierre Ibisch: *„Es ist ein Missverständnis, dass Flächen mit geschädigten oder abgestorbenen oder entfernten Bäumen aufgehört haben Wald zu sein.“*¹⁶ Die Vergangenheit hat bewiesen, dass der Wald sich trotz schwerer Schäden (Schwefel- und Stickoxide in den 80iger Jahren, Dürren, Stürme) wieder erholen kann. Das Ökosystem Wald birgt eine große Erholungsfähigkeit in sich, wenn ihm Zeit und Entwicklungsmöglichkeiten gelassen werden und er mit einer naturnahen Waldwirtschaft unterstützt wird.

²⁰ Wilhelm Bode, Windräder im Wald: waldökologisch unverantwortlich. Wälder sind ein Kontinuum aus Raum und Zeit. in: Naturschutzinitiative e.V., Landschaften und Wälder schützen! Wissenschaftler kritisieren EEG-Eckpunktepapier 2022
www.naturschutz-initiative.de/publikationen/



Bild 10: Windkraftwerk (3 MW_p) auf ehemals bewaldeten Bergrücken „Greiner Eck“ östlich Schönau



Bild 11: Windkraftwerk auf ehemals bewaldeten Bergrücken „Greiner Eck“



Bild 12: Windkraftwerk auf dem „Greiner Eck“



Bild 13: Windkraftwerk auf dem „Greiner Eck“: Freihaltefläche

Einen Überblick über das Ausmaß der Eingriffe in vormals geschlossene Waldbestände durch den Bau von 4 Windkraftwerken im Schwarzwald bei Hohenlochen/Oberwolfach zeigt ein eindrucksvolles Video von Jochen Armbruster: <https://youtu.be/oT9VoP0YAl0>



**Bild 14: „Ausgleichsmaßnahmen“ Windkraftwerk auf dem „Greiner Eck“:
abgestorbene Baumsetzlinge**



**Bild 15: „Ausgleichsmaßnahme“ Windkraftwerk auf dem „Greiner Eck“: Blick ins
Innere der Kunststoffhüllen nach fünf Jahren**

Als Beispiel für einen noch ursprünglichen Berggipfel kann der Hohe Nistler zwischen Handschuhsheim und Dossenheim dienen, der 2015 als Vorrangfläche für Windkraftwerke vorgesehen war und jetzt auch wieder in der Planhinweiskarte Windenergie Region Rhein-Neckar 2022 als geeignete Fläche ausgewiesen ist.



Bild 16: Im Jahr 2015 geplante Windenergie-Vorrangfläche Hoher Nistler



Bild 17: Gipfelbereich des Hohen Nistlers, der für ein Windkraftwerk eingeplant werden müsste

Die Zuwegung zu einem Windkraftwerkspark auf dem Hohen Nistler müsste aus topographischen Gründen über das Areal „Sieben Wege“ erfolgen, was erhebliche Eingriffe in den Waldbestand zur Folge hätte. Insgesamt müssten 3,4 km Waldwege für Schwertransporte bis 150 t befestigt werden. Darin noch nicht enthalten sind die zu befestigenden Strecken der Zufahrtstraße von Dossenheim bis zur Abzweigung zu „Sieben Wege“ bzw. vom „Langen Kirschbaum“. Da die Wege überwiegend kurvig sind, müsste eine sehr große Waldfläche gerodet werden, die zum Teil alten und wertvollen Baumbestand enthält.

Ein weiteres Problem ist der Anschluss an das Stromnetz. Windparks brauchen leistungsfähige Netzverknüpfungspunkte in das Mittelspannungs- oder Hochspannungsnetz. Im Wald gibt es bisher keine leistungsfähigen Stromnetze. Um den Strom abzuleiten, müsste je Windpark mindestens ein leistungsfähiges Mittelspannungskabel (20 kV) bis zum nächsten leistungsfähigen Verknüpfungspunkt im Mittelspannungsnetz der allgemeinen Versorgung verlegt werden, u.U. sogar zum nächstgelegenen Umspannwerk 110/20 kV. In der Rheinebene gibt es im Gegensatz zum Wald ein engmaschiges Netz von Hoch- und Mittelspannungsleitungen, das zur Aufnahme von Windstrom geeignet sind.

4.2 Aspekt Grundwasser

Die Wälder sind ein wichtiger Teil des Wasserhaushalts. Der in der Planhinweiskarte Windenergie Region Rhein-Neckar 2022 als Fläche für Windkraftwerke definierte Berg Rücken zwischen Kreuzgrund- und Siebenmühltal z.B. liegt größtenteils in der Zone II, III und IIIA eines festgesetzten Wasserschutzgebiets. Die Fläche entwässert u.a. in den Strangwasenbrunnen, den Buchbrunnen, die Hirsch- und Spechelsgrundquellen (Städtische Wasserversorgung), in mehrere Quellen im Kreuzgrundtal und in die Mausbachquelle. Insbesondere während des Baus von Windenergieanlagen, Zuwegungstrassen und den dafür notwendigen Transporten könnten Verunreinigungen nicht ausgeschlossen werden. Auch beim späteren Betrieb der Anlagen könnte bei einem Störfall z.B. wasserschädigende Kondensatorflüssigkeit austreten. Beim Bau müssen Betonfundamente von 3-4 m Tiefe errichtet und bei Bedarf Pfahlgründungen bis zu 15 m Tiefe und mehr ins Erdreich getrieben werden, diese können dadurch in den Grund- und Quellwasserhaushalt eingreifen.

Hirsch- und Spechelsgrundquellen schütten pro Jahr ca. 180 000 cbm Quellwasser, wovon rund 95% als Trinkwasser in das städtische Leitungsnetz eingespeist werden. Die Anlagen zur Quellwasseraufbereitung wurden von den Stadtwerken Heidelberg mit hohem Aufwand auf den neuesten Stand der Technik gebracht und u.a. die Desinfektionsanlage von Chlor auf UV-Licht umgestellt. Das weiche Wasser dieser Quellen ist ökologisch wertvoll, da es im Vergleich zu hartem Wasser aus Grundwasser der Ebene beim Verbraucher den Einsatz von Waschmitteln deutlich reduziert und damit Gewässer schützt. Außerdem vermeidet weiches Wasser die Verkalkung von Wassererhitzern in Waschmaschinen, Kaffeemaschinen und Warmwasserboilern und spart dadurch Energie und CO₂ ein. Hirsch- und Spechelsgrundquellen werden, wie eine Niederschlagsbilanzrechnung zeigt, nicht nur durch die anliegenden Waldgebiete der Wasserschutzzone II, sondern auch zu

rund 30% durch das Waldgebiet der Wasserschutzzone III gespeist, in der 2015 und jetzt wieder Vorrangflächen für Windenergieanlagen vorgesehen sind.

4.3 Aspekte für Menschen

Für den Menschen bieten Wälder nicht nur als Holzlieferant einen großen Nutzen. Der Wald hat wichtige Erholungsfunktionen, Waldspaziergänge können positive medizinische Wirkungen auf den Menschen entfalten: das Immunsystem wird gestärkt, Stresshormone werden reduziert und manchen chronischen Erkrankungen kann durch „Waldbaden“ entgegengewirkt werden. Literatur dazu in ^{21 22 23 24}

Da auf Bergen die Windgeschwindigkeiten höher sind, werden Windkraftwerkstandorte bevorzugt dort geplant. Gipfel und Höhenzüge sind aber oft gerade die schönsten und einsamsten Waldlandschaften, die bisher nicht durch Straßen, breite Fahrwege oder technische Anlagen gestört sind. Dies gilt neben dem Odenwald z.B. auch für den Schwarzwald, den Bayerischen Wald, den Spessart, die Rhön, den Harz oder den Reinhardswald. Beispiele im Raum Heidelberg sind der Hohe Nistler, das Ochsenlager, das Eichköpfle, der Lammerskopf, der Lärchengarten, der Auerhahnenkopf oder die Hohe Waid.

Natur, die für sich existieren kann, ohne Einfluss des Menschen, erlebt der Mensch als schön und wohltuend. Die Ursprünglichkeit dieser Natur ist für die Erholung und Rückbesinnung heilsam. Es sind oft noch letzte Refugien der Biodiversität, wo noch seltene Arten der Fauna und Flora zu finden sind. Eine Industrialisierung dieser Landschaft würde diese Ökosysteme entwerten und die Natur ärmer machen.

5 Ertrag von Windenergieanlagen

Die Nutzung der Windenergie zur Energiegewinnung und zur Reduzierung der CO₂-Emissionen ist insgesamt sinnvoll und notwendig. Allerdings sollte ihr Beitrag nicht überschätzt werden. Oft ist zu lesen, dass ein Windkraftwerk mehrere Tausend Haushalte versorgen könnte. Über den Windpark Stillfüssel mit fünf 3,3 MW_p-Anlagen z.B. schreibt die Betreiberin ENTEGA AG: „Der Windpark Stillfüssel mit fünf Windenergieanlagen wird voraussichtlich 43.000 MWh pro Jahr erzeugen und damit rund 14.000 Haushalte mit Energie versorgen.“²⁵ Das ist so nicht richtig. Ein Windkraftwerk im Wald (3,3 MW_p) erzeugt im Durchschnitt so viel Strom, wie 1 800 durchschnittliche Haushalte verbrauchen. Strom ist aber nur ein kleiner Teil des Energieverbrauchs der Haushalte. Berücksichtigt

²¹ Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft, LWF aktuell 119, 2018

www.lwf.bayern.de/wissenstransfer/waldpaedagogik/208428/index.php

²² Bundesforschungszentrum für Wald, Zur Gesundheitswirkung von Waldlandschaften, BFW-Berichte 147, Wien, 2014 https://bfw.ac.at/050/pdf/BFW_Bericht147_2014_GreenPublicHealth.pdf

²³ Carstens Stiftung, Waldbaden: Prävention und Therapie, 3.6.2020

www.carstens-stiftung.de/waldbaden-praevention-und-therapie.html

²⁴ www.nationalgeographic.de/wissenschaft/2022/05/heilwaelder-in-deutschland-forschung-belegt-wirkung

²⁵ www.entega.ag/geschaeftsfelder/erzeugung/windenergie/windpark-stillfuessel/ abgerufen am 6.12.2022

man den gesamten Primärenergieverbrauch der Haushalte (ohne Verkehr), dann erzeugt ein Windkraftwerk (3,3 MW_p) gerade so viel Energie, wie ca. 230 Haushalte verbrauchen. Berücksichtigt man für die Zukunft den Ersatz von Öl- und Gasheizungen durch Wärmepumpen und Fernwärme mit höherem Wirkungsgrad und den Ersatz der heutigen Autos durch Elektroautos, erzeugt ein Windkraftwerk im Wald in Zukunft so viel Energie, wie ca. 370 Haushalte verbrauchen. Noch nicht eingerechnet ist in diesem Vergleich die von der Industrie für Konsumgüter der Haushalte benötigte Primärenergie.

Es fällt außerdem auf, dass in offiziellen Veröffentlichungen für Windkraftwerke meist nur prognostizierte Stromerträge der Anlagen angegeben werden, die besonders bei Anlagen im Wald oft deutlich zu hoch gegriffen sind. Angaben über die tatsächlich erzeugten Stromerträge der einzelnen Anlagen werden selten genannt. Vergleiche der realen Erträge mit den prognostizierten Erträgen ergaben z.B., dass die Prognose des Ertrags

- für die 2017 in Betrieb gegangenen 3 Windkraftwerke (je 3,3 MW) in Goldboden bei Schorndorf 71% zu hoch war,
- für die 2016 in Betrieb gegangenen 19 Windkraftwerke (je 2,45 MW) auf der Ostalb bei Lauterstein 56% zu hoch war,
- für die 2018 in Betrieb gegangenen 12 Windkraftwerke (je 3,3 und 3,45 MW) in Blaufelden-Langenburg 57% zu hoch war.^{26 27}

Auch die CO₂-Einsparungen durch Windkraftwerke werden meist unrealistisch hoch angegeben. Ein Beispiel ist die Vorstellung des Projekts Interkommunaler Windpark Heuchelberg durch den Betreiber ZEAG Energie AG im Gemeinderat Schwaigern am 2.2.2023. In der Präsentation wird behauptet: „Die Einsparung von CO₂-Emissionen pro Anlage beträgt ca. 14.000 t. pro Jahr.“²⁸ Zur Berechnung dieser Zahl wurde unterstellt, dass Windstrom zu 100% ausschließlich Braunkohlestrom ersetzt, der mit Abstand am meisten CO₂ freisetzt. Allein dadurch wird die CO₂-Einsparung um mehr als 50% überschätzt, da Windstrom in der Realität nur zu etwa 14% Braunkohlestrom ersetzt.^{29 48}

Generell bestehen bei Investoren häufig zu hohe Erwartungen an den Ertrag von Windkraftwerken. Vor der einstimmigen Entscheidung des Gemeinderats Neckargemünd z.B., Gemeindewaldflächen für einen Windpark zur Verfügung zu stellen, erklärte

²⁶ Fritz, W., Erträge für die Windparks Goldboden, Lauterstein und Langenburg, 2021, abgerufen am 8.2.2023 www.bnb-buocher-hoehe.de/images/fachbeitraege/Ertraege_Windparks_Goldboden_Lauterstein_Langenburg-2021.pdf

²⁷ Fritz, W., Erträge einiger Windenergiestandorte in Nordost Württemberg für die Jahre 2018 – 2022, , abgerufen am 22.3.2023 https://www.bnb-buocher-hoehe.de/images/fachbeitraege/Ertrage_EnBW_2022.pdf

²⁸ ZEAG, Vorstellung des Projekts Interkommunaler Windpark Heuchelberg im Gemeinderat Schwaigern, 2.2.2023, Präsentation Folie 32

²⁹ Siehe Kapitel 6.1

Bürgermeister Frank Volk, es würden für die Gemeinde „Pachteinnahmen von 200 000 Euro und mehr pro Windrad und Jahr winken“.³⁰

Die Arbeitsgemeinschaft Deutscher Waldbesitzerverbände e.V. z.B. schreibt zu Windenergie im Wald:

„Windenergieanlagen bieten für Waldeigentümerinnen und -eigentümer ein erhebliches Einnahmepotenzial. Auch für waldbesitzende Kommunen sind Windenergieprojekte interessant, partizipieren diese doch direkt von den Einnahmen aus der Windenergieerzeugung. Gerade für Kommunen in strukturschwachen Regionen kann ein realisiertes Projekt im Kommunalwald einen wichtigen Beitrag zum Gemeindehaushalt leisten.“³¹

In der Realität wird dieses erhoffte Einnahmepotenzial aber oft enttäuscht. Häufig rechnen sich Windkraftwerke und Windparks vor allem für die Initiatoren und deren Geschäftspartner, weniger oder nicht für die Investoren. Die Erträge sind oft niedriger und die Reparaturkosten deutlich höher als prognostiziert. Gleiches gilt für Wartungs- und technische Betriebsführungskosten.^{32 33 34 35}

Eine Auswertung der Schäden der Jahre 2010 bis 2016 an rund 4 600 Windenergieanlagen³⁶ zeigt folgende Verteilung der Schäden: Häufigste Schadensursache sind mit rund 67% die inneren Betriebsschäden, gefolgt von Blitzeinschlag mit etwas mehr als 18%. Während der Generator für 16,7% der inneren Betriebsschäden ursächlich ist, liegt das Getriebe bei 12,4%. Darauf folgen Umrichter (7,8%) Übergabestationen (6,9%), elektrische Bauteile (6,8%) und Rotorblätter (4,5%). Bei den Umspannwerken sind die Hälfte aller Schäden auf innere Betriebsschäden zurückzuführen, bei Übergabestationen beläuft sich diese Schadensursache sogar auf über 85%.

Die Wartungs- und Instandhaltungskosten steigen nach zehn Jahren Betriebsdauer um durchschnittlich 40 % und machen dann 44 % - 55 % der gesamten Betriebskosten aus.³⁷ Die Zunahme der Reparaturen ist auch der Hauptgrund, weshalb Windenergieanlagen nicht länger als 20 Jahre betrieben werden.

³⁰ Rhein-Neckar-Zeitung, Neckargemünd macht mit: Windpark könnte größer werden, 9.3.2023

³¹ AGDW – Die Waldbesitzer, Windenergie im Wald, www.waldeigentuerer.de/themen/windenergie-im-wald/ abgerufen 10.3.2023

³² Ratgeber für Windpark-Anleger, gemeinschaftlich herausgegeben von den Vorstands-Mitgliedern des Anlegerbeirat, Bund der Energieverbraucher e.V., 2013

³³ Windkraftanlagen - Rendite mit Risiko, Deutschlandfunk, <https://www.deutschlandfunk.de/windkraftanlagen-rendite-mit-risiko-100.html>

³⁴ Stiftung Warentest, Finanztest, Bürgerwindparks: Worauf Anleger achten sollten, Realität entspricht nicht dem Ideal, 16.10.2018

³⁵ Energie - Windige Geschäfte, top agrar, S. 142-144, 1/2013 www.windpark-hollich.de/media/windpark-hollich/documents/windige-geschfte.pdf

³⁶ Enser Versicherungskontor GmbH, Neue Schadenstatistik zu Windenergieanlagen, www.evk-oberense.de/neue-schadenstatistik-zu-windenergieanlagen/

³⁷ Bundesverband WindEnergie e.V. (BWE), Wartung und Instandhaltung, 2022

Ende 2021 gab es in Deutschland 29 731 Windenergieanlagen. Die folgende Tabelle zeigt ihren Anteil an der Energieversorgung und ihren Beitrag zur CO₂-Einsparung:

Deutschland 2021	Gesamt	davon Windenergie	Anteil Windenergie
Endenergie Strom, TWh/Jahr	504	113	22 %
Primärenergie, TWh/Jahr	3 448	115	3 %
CO₂-Emission³⁸, Mio t/Jahr	762	-85	- 10 %

Tabelle 1: Windenergie in Deutschland 2021 ^{39 40 48 97}

Alle Windenergieanlagen reduzierten im Jahr 2021 die CO₂-Emissionen Deutschlands um 10%. Von allen 29 731 Windenergieanlagen stehen aber nur 7,6% im Wald (2 274). Diese erzeugen 5,8% des Windstroms in Deutschland und reduzieren die CO₂-Emissionen Deutschlands lediglich um 0,6%.

Die Strommenge, die ein Windkraftwerk erzeugen kann, hängt von zahlreichen Faktoren ab. Meist wird neben der Größe des Windrades vor allem die Windgeschwindigkeit betrachtet.⁴¹

Eine wichtige Grundlage für Standortentscheidungen ist der Windatlas Baden-Württemberg. Bei Windkraftwerken ist die Leistung der Anlage durch die Nennleistung des Generators begrenzt. Starkwinde können in Windkraftwerken deshalb nicht zur Energieerzeugung genutzt werden. Im Windatlas wird als Maß für den möglichen Windenergieertrag die sogenannte „gekappte Windleistungsdichte“ in der Einheit „Watt pro qm Rotorfläche“ z.B. in 160 m Höhe über Grund angegeben (Bild 18). Darin eingerechnet ist die Tatsache, dass die Leistung einer Windenergieanlage oberhalb einer bestimmten Windgeschwindigkeit abgeregelt wird, d.h. nicht mehr ansteigt.

³⁸ Die Wirkung der verschiedenen Treibhausgase wird in der Einheit CO₂-Äquivalente zusammengefasst.

³⁹ Umweltbundesamt, Treibhausgas-Emissionen in Deutschland, Kohlendioxid-Äquivalente, 15.03.2022

⁴⁰ AG Energiebilanzen, Auswertungstabellen zur Energiebilanz Deutschland, Daten für die Jahre von 1990 bis 2021

⁴¹ Die Windgeschwindigkeit geht in der 3. Potenz in den Stromertrag ein, d.h. z.B. bei doppelter Windgeschwindigkeit ist der Stromertrag 8-mal so hoch. (2³=8)

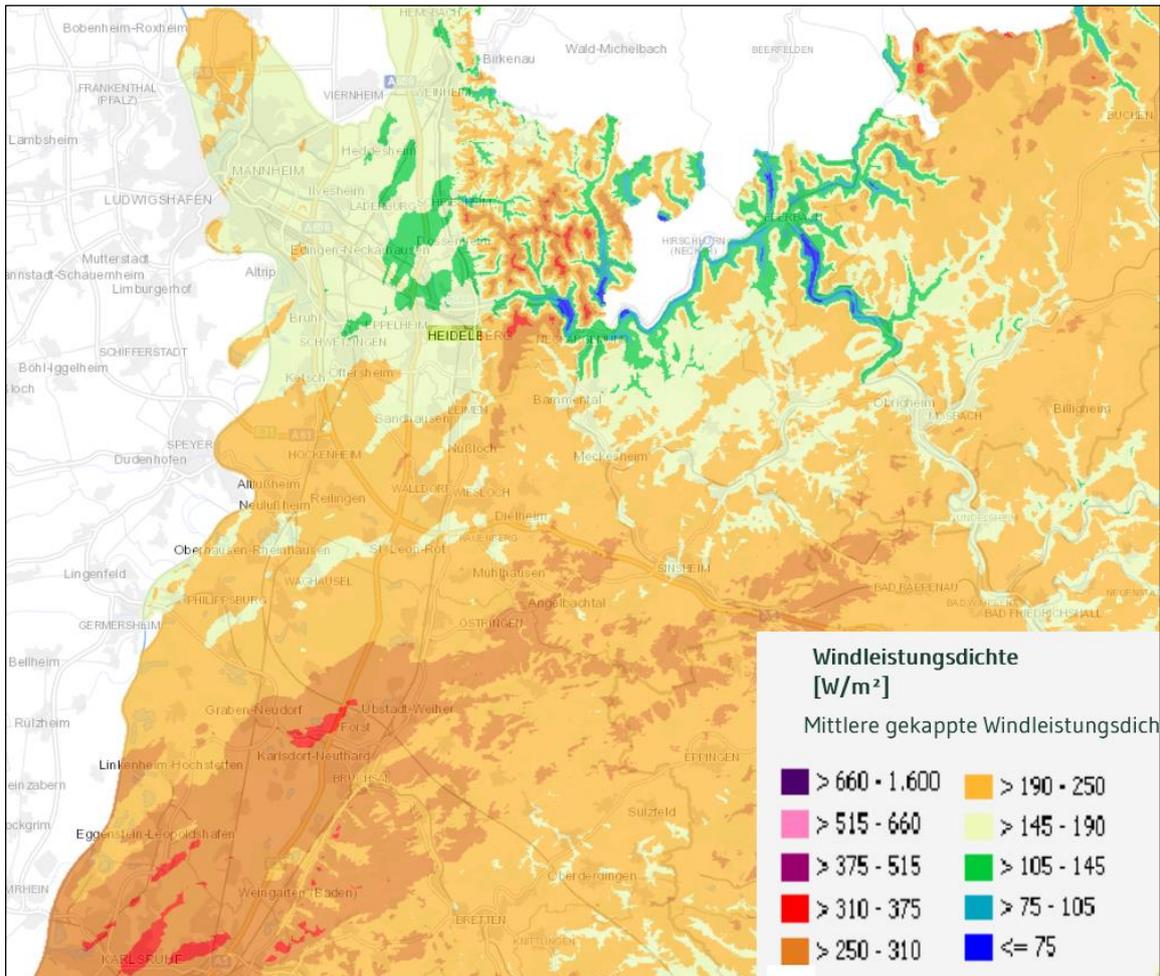


Bild 18: Ab 15 m/s gekappte Windleistungsdichte (W/m²) 160 m über Grund⁴²

Der Windatlas zeigt die mit einer Kappungswindgeschwindigkeit von 15 m/s berechnete Windleistungsdichte. Allerdings regeln heutige Windkraftwerke ihre Leistung bereits ab 10 - 12 m/s ab. Bild 19 zeigt als Beispiel die Leistungskennlinie einer gängigen Windenergieanlage. Die Stromerzeugung beginnt ab einer Windgeschwindigkeit von etwa 2,5 m/s und steigt bis zur Nennleistung des Generators der Anlage an, die bei etwa 10 m/s erreicht wird. Höhere Windgeschwindigkeiten führen dann wegen der Leistungsgrenze des Generators nicht mehr zu einer Steigerung der Stromerzeugung. Oberhalb einer Windgeschwindigkeit von etwa 21 m/s wird die Anlage aus Sicherheitsgründen abgeregelt.

⁴² Windatlas Baden-Württemberg
www.energieatlas-bw.de/wind/windatlas-baden-wuerttemberg

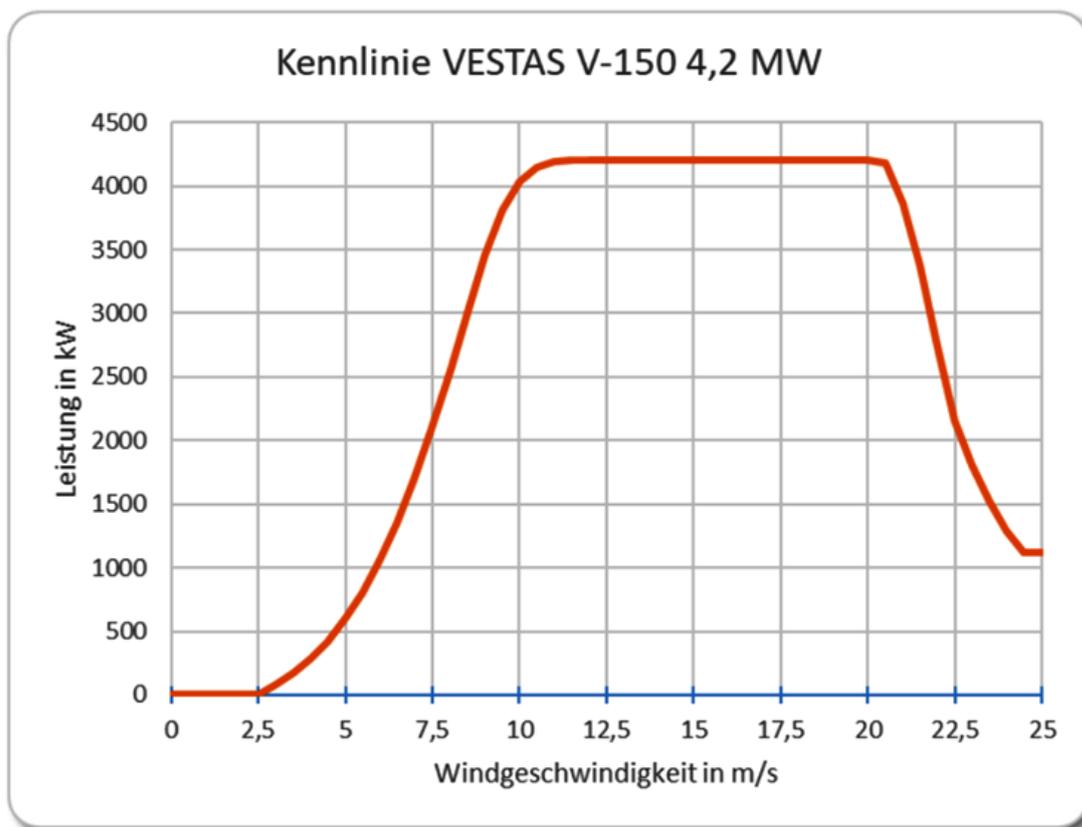


Bild 19: Leistungskennlinie eines Windkraftwerks (Vestas V-150 4,2 MW_p) bei Standardluftdichte, aus ⁴²

Die im Windatlas angegebenen Werte für die Windleistungsdichten sind aus diesem Grund zu hoch, da sie erst bei 15 m/s gekappt sind. Insbesondere werden die Unterschiede zwischen Ebene und Bergen in den Karten stärker dargestellt, als sie der Realität der Windkraftwerke an diesen Standorten entspricht.

Bild 20 zeigt den Einfluss der gewählten Kappungsgrenze auf den Ertrag bei Standorten in der Ebene (grün) und auf Höhen (rot). Gestrichelt dargestellt ist die Häufigkeitsverteilung der Windgeschwindigkeiten in Schritten von 0,5 m/s (sog. Weibull-Verteilung, rechte Koordinate). Die hellgrüne Fläche entspricht der Verteilung des Ertrags (linke Koordinate) eines Windkraftwerks in der Ebene bei einer realistischen Kappungsgrenze von 11 m/s, die hellrosa Fläche eines Windkraftwerks auf der Höhe. Die stärker grün und rosa gefärbten Flächen sind die Differenz des Ertrags zu der im Windatlas angenommenen Kappungsgrenze von 15 m/s. Insgesamt ist die Überschätzung des Ertrags durch die angenommene Kappungsgrenze von 15 statt 11 m/s bei Standorten auf Höhen signifikant höher als bei Standorten in der Ebene.

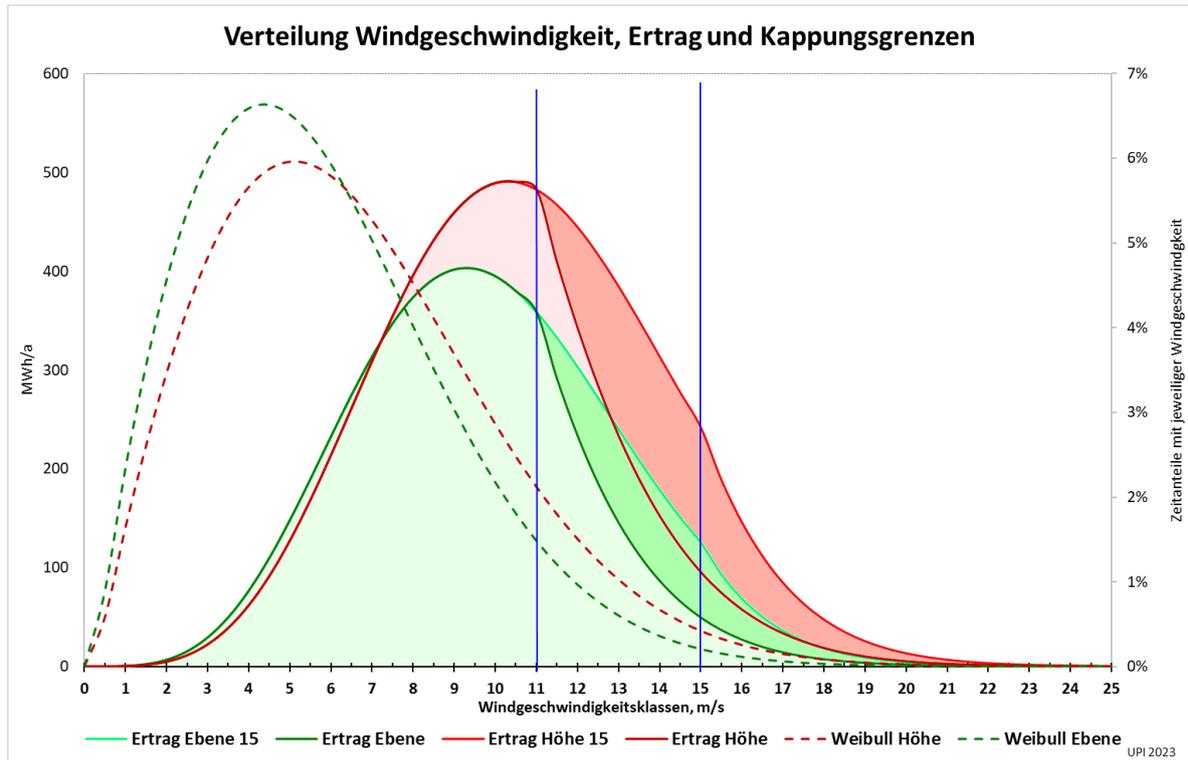


Bild 20: Einfluss der Kappungsgrenze auf den Ertrag bei Standorten in der Ebene und auf Höhen

Außerdem spielen folgende fünf Faktoren eine Rolle, die besonders bei Standorten im Wald den Windenergieertrag weiter schmälern:

1. Bodenrauigkeit, die vor allem mit der Höhe von Bäumen zunimmt,
2. Turbulenzintensität,
3. elektrische Verluste bis zum Netzverknüpfungspunkt,
4. Abschaltzeiten wegen Naturschutz, Defekten, Flugbetrieb o.ä.,
5. Effizienzverluste aufgrund von Verschmutzungen der Rotorblätter mit Überresten von getöteten Fluginsekten.

Die Oberflächenbeschaffenheit der Erde (z.B. Acker oder Bäume) und die Geländekonturen haben Einfluss auf die Windgeschwindigkeit. Der Wind wird umso mehr gebremst, je ausgeprägter die Bodenrauigkeit ist.

Die mittlere meteorologische Turbulenzintensität beschreibt kurzzeitige Schwankungen der Windgeschwindigkeit und Windrichtung um den 10-Minuten-Mittelwert. Turbulenzen verringern den Wirkungsgrad der Windernte. Außerdem bedeuten Turbulenzen mehr Verschleiß und stärkere Belastungen für eine Anlage. Ab Turbulenzen von $\geq 0,25$ ist der Standort nicht mehr für den Bau von Windenergieanlagen geeignet, bei Turbulenzen zwischen 0,2 und 0,25 nur noch bedingt geeignet.⁴³ (Bild 21)

⁴³ Windatlas Baden-Württemberg, Übersicht der ermittelten Kenngrößen

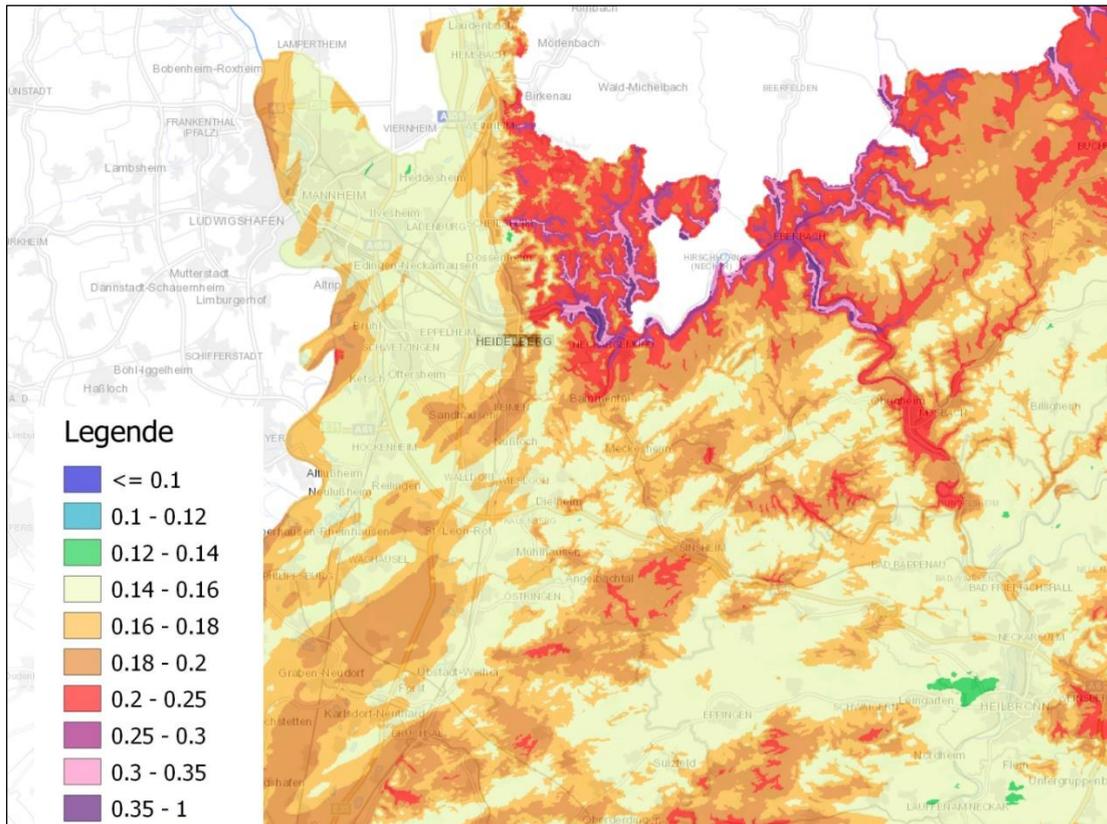


Bild 21: Mittlere meteorologische Umgebungsturbulenzintensität in 160 m Höhe⁴⁴

Die Rotorblätter heutiger Windkraftwerke bewegen sich im normalen Betrieb an der Spitze der Rotoren mit Geschwindigkeiten von mehreren hundert Stundenkilometern. Dadurch kann es sowohl zu einem direkten Aufschlag von Fluginsekten auf das Rotorblatt als auch zu Schäden z.B. an Gliedmaßen und Antennen durch Unterdruck beim Durchfliegen kommen. Überreste von Fluginsekten an Rotorblättern können zu Verlusten beim Wirkungsgrad der Windkraftanlagen führen.⁴⁵ Da flugfähige Insekten kurz vor der Eiablage in großen Schwärmen hohe, schnelle Luftströmungen aufsuchen, um sich vom Wind zu entfernten Brutplätzen tragen zu lassen, könnte es dadurch zu einem selektiven und eventuell relevanten Eingriff in die Insektenfauna kommen.⁴⁶ ⁴⁷ Dieses Problem ist abhängig von der Dichte an Insekten. An Standorten in naturbelassenen Räumen wie im Wald ist mit einer höheren Dichte an Insekten zu rechnen.

⁴⁴ Windatlas Baden-Württemberg 2019

⁴⁵ Corten, G., Veldkamp, H. Insects can halve wind-turbine power. *Nature* 412, 41–42 (2001) <https://doi.org/10.1038/35083698>

⁴⁶ Trieb, F., Institut für Technische Thermodynamik – Abteilung Energiesystemanalyse, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), Stuttgart; Gerz, T., Institut für Physik der Atmosphäre Abteilung Verkehrsmeteorologie, DLR, Oberpfaffenhofen; Geiger, M. Zoologisches Forschungsmuseum Alexander Koenig, Leibniz, Institut für Biodiversität der Tiere, Bonn, Modellanlyse liefert Hinweise auf Verluste von Fluginsekten in Windparks, *Energiewirtschaftliche Tagesfragen*, 68. Jg., 2018, Heft 11, 51-55

⁴⁷ Franz Trieb, *Interference of Flying Insects and Wind Parks*, Institute of Engineering Thermodynamics Department of Systems Analysis and Technology Assessment, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), 2018 <https://www.dlr.de/tt/fluginsekten>

Der Einfluss der genannten fünf Faktoren und die zu hohe Kappungsgrenze bei den im Windatlas angegebenen Werten für die Windleistungsdichte und den daraus errechneten Erträgen dürften einer der Gründe dafür sein, dass der Ertrag von Windkraftwerken, besonders im Wald, in der Realität oft niedriger liegt als prognostiziert.

6 Alternativen zu Windkraftwerken im Wald

6.1 Ertragsunterschiede Höhe - Ebene

Auf den Höhen des Odenwalds sind höhere Windgeschwindigkeiten als in der Ebene nutzbar. Windenergieanlagen auf der Höhe ergeben deshalb einen höheren Ertrag als in der Ebene. Die Unterschiede werden allerdings oft überschätzt. So muss u.a. die höhere Bodenrauigkeit bei Wald im Vergleich zu Agrarflächen, insbesondere im Falle alten Mischwaldes mit einzelnen hohen Bäumen berücksichtigt werden. Eine Berechnung des Stromertrags an verschiedenen Standorten mit einer jeweils gleich großen Windenergieanlage mit Nabenhöhe 160 m zeigt Bild 22.

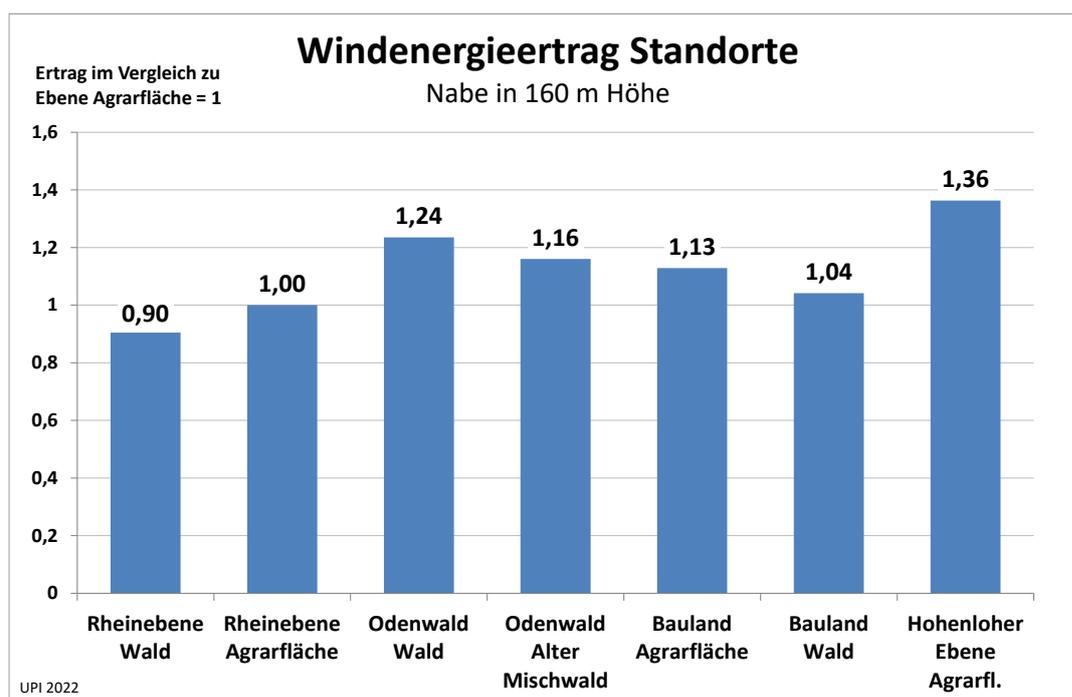


Bild 22: Vergleich des Ertrags von Windkraftwerken im Odenwald und in der Ebene

Für die Berechnung der CO₂-Einsparung durch Windenergie wird der vom Umweltbundesamt errechnete spezifische Emissionsvermeidungsfaktor von 753 g CO₂-Äq pro kWh_{el}. Windstrom verwendet.⁴⁸ Darin noch nicht berücksichtigt sind die bei Windkraftwerken im Wald (im Gegensatz zu anderen Standorten ohne Wald) durch Rodung,

⁴⁸ Umweltbundesamt, CLIMATE CHANGE 50/2022, Emissionsbilanz erneuerbarer Energieträger - Bestimmung der vermiedenen Emissionen im Jahr 2021, Dessau Dezember 2022

Geländenivellierung und Wegebau freigesetzten CO₂-Mengen aus Biomasse der Bäume, des Bodenlebens und des Humus im Boden. Diese werden auch hier nicht berücksichtigt.

Standorte auf den Höhen des Odenwalds haben einen etwa 24% höheren Ertrag, im Falle von altem Mischwald einen etwa 16% höheren Ertrag als auf geeigneten Agrarflächen in der Ebene. Im Schnitt kann ein Windkraftwerk von 4,2 MW Nennleistung auf den Höhen des Odenwalds pro Jahr CO₂-Emissionen von ca. 4 300 t vermeiden, ein Windkraftwerk in der Ebene von ca. 3 600 t/Jahr. Ein Windkraftwerk auf den Höhen ist also um ca. 700 t CO₂/Jahr effektiver.

Lohnt es sich, dafür große Industrieanlagen mit den oben geschilderten Auswirkungen in Wälder zu bauen? Ist es sinnvoll, zur Erzielung eines eventuell größeren Gewinns von Investoren die Beeinträchtigung von Waldökosystemen in Kauf zu nehmen?

Dieselbe CO₂-Menge von 700 t CO₂/Jahr ließe sich z.B. auch ohne massive ökologische Eingriffe durch eine ca. 20% höhere Zahl gleich großer Windenergieanlagen auf Flächen außerhalb von Wald in der Ebene oder durch Windkraftwerke in der Ebene mit 10 % längeren Rotorblättern erreichen. Zwischen 2000 und 2022 sind die Rotorblätter von Windenergieanlagen um 150% länger geworden (Bild 23). Die Zusammenhänge zwischen Nabenhöhe, Rotorblattlänge und Ertrag zeigt Bild 24.

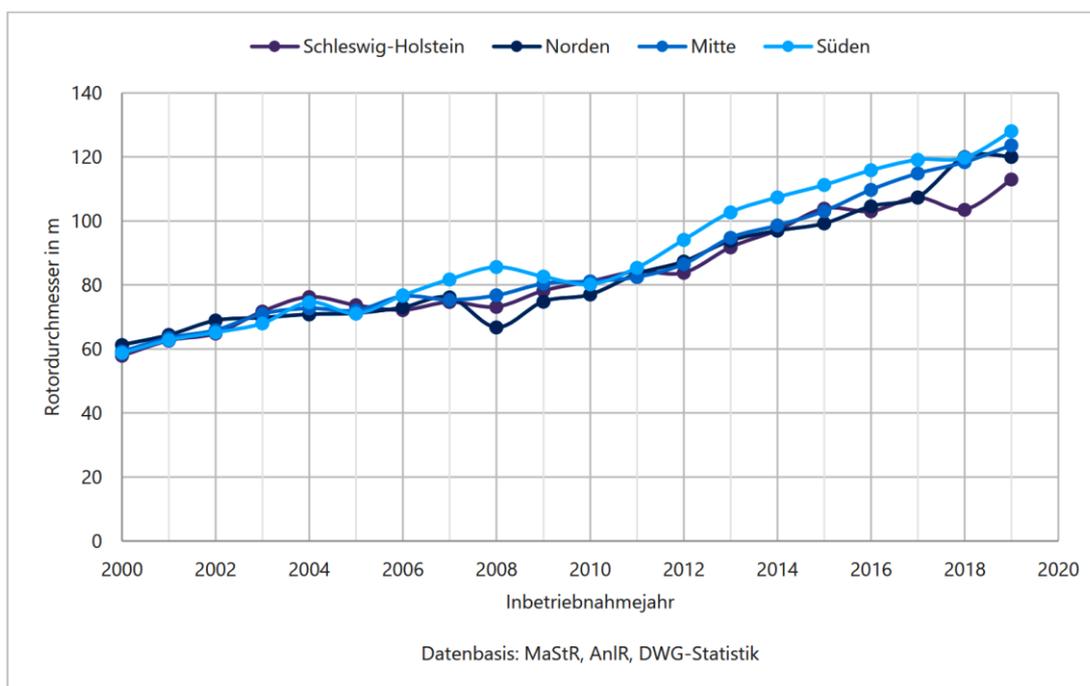


Bild 23: Mittlerer Rotordurchmesser je Inbetriebnahmejahr, aus ⁴⁹, inzwischen gibt es Schwachwindanlagen mit 160 m Rotordurchmesser

⁴⁹ Deutsche WindGuard GmbH, Volllaststunden von Windenergieanlagen an Land – Entwicklung, Einflüsse, Auswirkungen, 2020

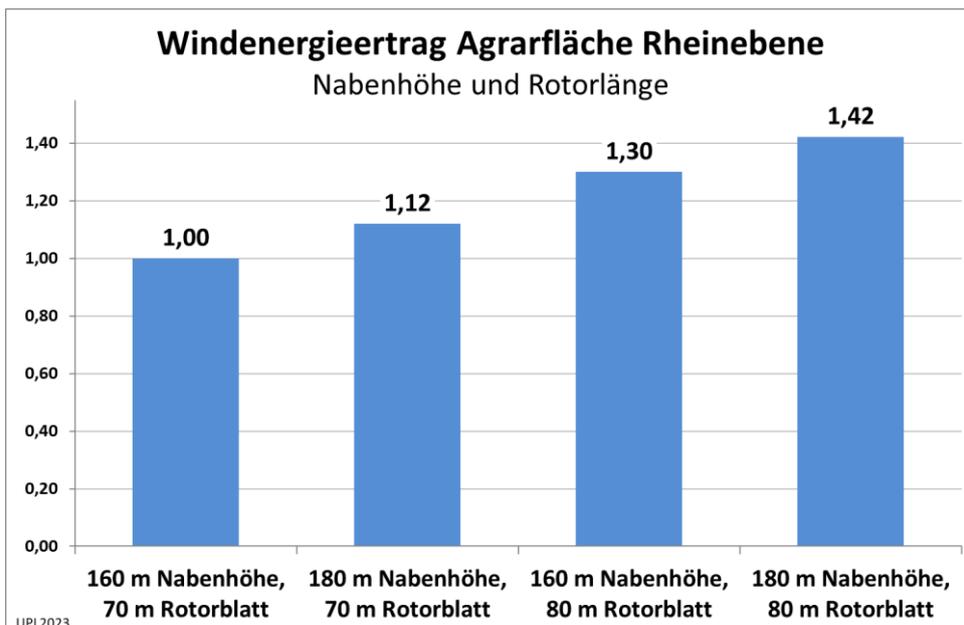


Bild 24: Einfluss von Nabenhöhe und Rotorblattlänge auf den Stromertrag von Windkraftwerken in der Ebene

Bild 25 zeigt die Höhe der Stromgestehungskosten. Wind onshore liegt bei 4 - 8,1 ct/kWh mit sinkender Tendenz. Demgegenüber liegen die Stromgestehungskosten fossiler Kraftwerke heute bereits höher, sie werden in der Zukunft weiter ansteigen.

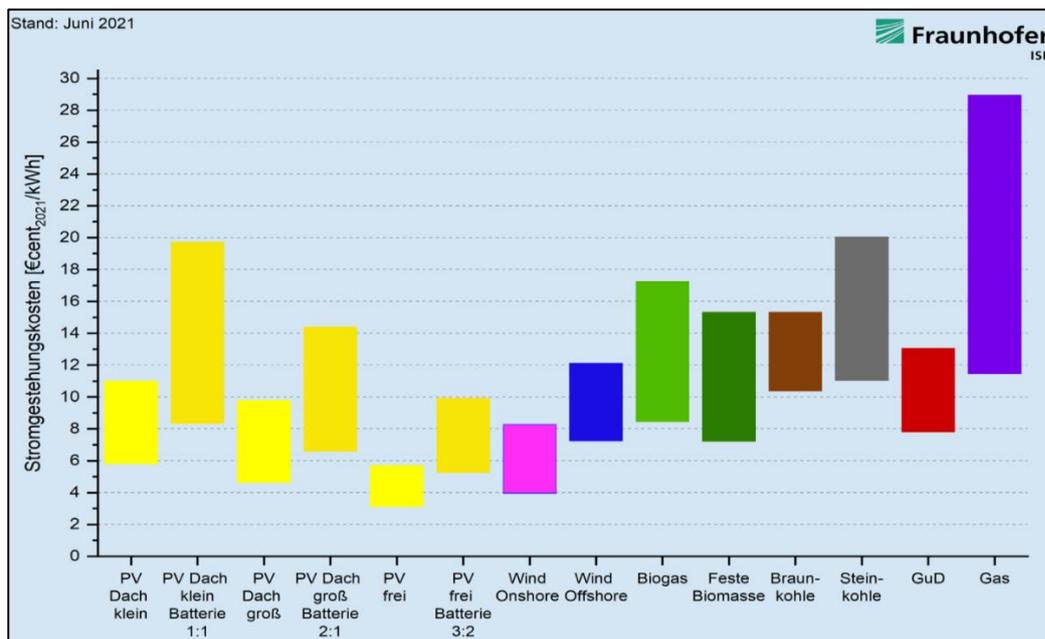


Bild 25: Stromgestehungskosten für erneuerbare Energien und konventionelle Kraftwerke an Standorten in Deutschland im Jahr 2021⁵⁰

⁵⁰ Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme ISE, Stromgestehungskosten erneuerbare Energien, Juni 2021

Bild 26 zeigt die Entwicklung der Strompreise für Haushalte in Deutschland.

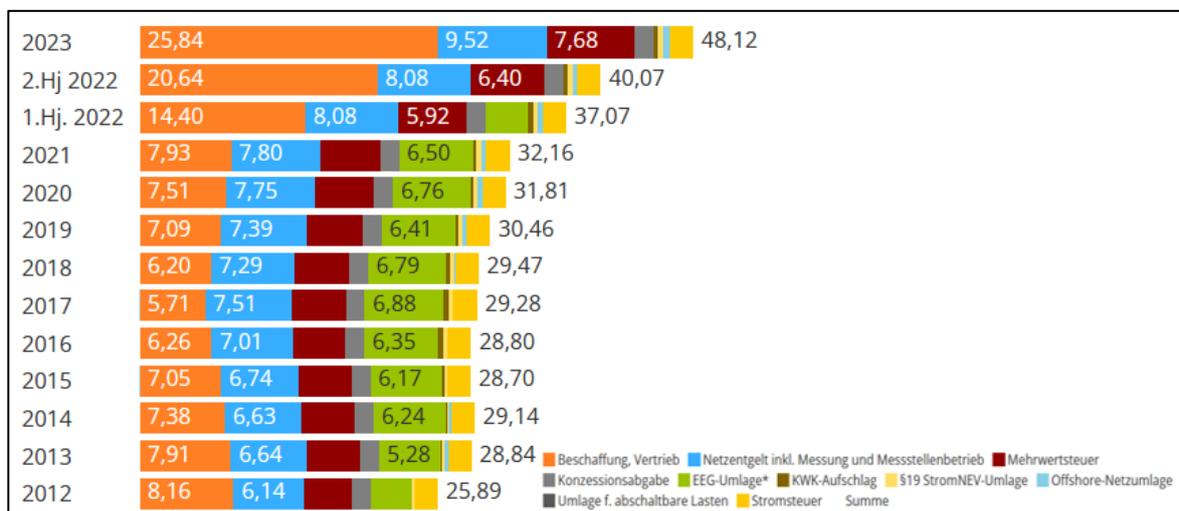


Bild 26: Durchschnittlicher Strompreis Haushalte in ct/kWh, Grundpreis enthalten⁵¹

Ein etwa 20% geringerer Stromertrag in der Ebene führt zu etwas höheren Kosten der Stromerzeugung. Dabei müssen bei Standorten außerhalb von Wald jedoch die geringeren Kosten für Wegebau, Baustelleinrichtung, Ausgleichsmaßnahmen und ggfls. Abschaltzeiten wegen Naturschutz sowie ggfls. geringere Kosten für Stromleitungen und Verluste gegengerechnet werden. In jedem Fall können geringe Unterschiede in den Stromgestehungskosten von 1 oder 2 ct/kWh kein Argument sein, Ökosysteme im Wald oder FFH-Gebiete zu beeinträchtigen.

Da die Windgeschwindigkeiten sowohl im Jahres- wie im Tagesverlauf sehr unterschiedlich sind, fällt der Windstrom sehr diskontinuierlich an. Etwa 10% der Zeit des Jahres (ohne Ausfälle wegen Reparaturen oder naturschutzrechtlichen Abschaltungen) haben Windkraftwerke im Binnenland wegen Windstille oder zu geringer Windgeschwindigkeit gar keinen Ertrag. In weiteren 25% der Zeit wird nur 5% des Windstroms eines Jahres erzeugt. Die Hälfte des Windstroms fällt in ca. 50% der Zeit an und die restlichen 45% des Windstroms in 15% der Zeit des Jahres mit starkem Wind. Regenerative Stromerzeugung benötigt deshalb gut ausgebaute Stromnetze. Deshalb ist es nicht notwendig, dass Windkraftwerke gleichmäßig über das Land verteilt sind und jeder Stadt- und Landkreis eigene Windkraftwerke hat.

⁵¹ BDEW-Strompreisanalyse Jahresbeginn 2023, www.bdew.de/service/daten-und-grafiken/bdew-strompreisanalyse/

6.2 Beispiel Rheinland-Pfalz: Windkraftwerke in der Rheinebene

In Rheinland-Pfalz plante die rot-grüne Landesregierung 2013, den Pfälzerwald für den Bau von mindestens 150 Windenergieanlagen freizugeben. Dies verursachte eine langanhaltende Diskussion, in der sich vor allem Natur- und Umweltorganisationen und der Pfälzerwald-Verein gegen die Pläne aussprachen. Nach mehrjähriger Diskussion beschloss die Landesregierung, den Pfälzerwald zu schützen und stattdessen in der Ebene auf Äckern oder in der Nähe von Straßen Flächen für den Bau von Windkraftwerken auszuwählen. Auch Frankreich beschloss, die Nordvogesen vor Windenergieanlagen zu schützen.

Seither wurden in der Pfalz außerhalb von Wald in der Rheinebene 125 Windkraftwerke errichtet. Im Koalitionsvertrag 2021-2026 schrieb Rot-Grün den Schutz des Pfälzerwalds vor Windkraftwerken fest.⁵² Nur noch „*entlang von Autobahnen und Bahntrassen sowie auf vorbelasteten Konversionsflächen*“ soll in Zukunft im Pfälzer Wald eine Windenergienutzung möglich sein. Alle anderen Flächen des Pfälzerwalds sind von der Windenergienutzung ausgeschlossen.



Bild 27: Rheinland-Pfalz: Windkraftwerke in der Ebene statt im Wald, hier bei Landau

Anders als bei Standorten im Wald müssen bei Windkraftwerken auf landwirtschaftlichen Flächen keine Bäume gerodet werden, weder für den Standort selbst noch für die Zuwegung. Die Landwirtschaft wird durch die Windenergienutzung nicht beeinträchtigt, die Landwirte können für den Windkraftstandort zusätzliche Pachteinahmen erhalten. Oft

⁵² www.rlp.de/fileadmin/rlp-stk/pdf-Dateien/Staatskanzlei/rlp_Koalitionsvertrag2021-2026.pdf

befinden sich in der Ebene Mittel- oder Hochspannungsleitungen (siehe Bild 27 und Bild 33), an die die Kraftwerke angeschlossen werden können. Lange neue Stromleitungen durch oft unwegsames Gelände entfallen deshalb genauso wie aufwändiger Wegebau.



Bild 28: Windkraftwerke auf landwirtschaftlichen Flächen bei Biedesheim/Pfalz



Bild 29: Windkraftwerke bei Biedesheim/Pfalz



Bild 30: Windkraftwerk auf Acker bei Biedesheim/Pfalz



Bild 31: Windkraftwerke auf landwirtschaftlichen Flächen bei Bellheim/Pfalz



Bild 32: Windkraftwerke bei Offenbach an der Queich



Bild 33: Windkraftwerke in der Rheinebene auf landwirtschaftlichen Flächen bei Haßloch/Pfalz



Bild 34: Mäusebussard in der Rheinebene bei Offenbach an der Queich

Auch mit dem Naturschutz sind Windkraftwerke auf landwirtschaftlichen Flächen besser vereinbar. Oft lassen sich auch Naturschutzmaßnahmen im Zuge von Ausgleichsmaßnahmen finanzieren.



Bild 35: Biotop des Naturschutzbundes (NABU) neben Windkraftwerken bei Herxheim/Landau in der Rheinebene



Bild 36: Windkraftwerke bei Biedesheim/Pfalz



Bild 37: Ortsbildprägende Windkraftwerke in Biedesheim/Pfalz



Bild 38: Windkraftwerk vor Donnersberg

Im Jahresendgespräch 2022 mit der Rhein-Neckar-Zeitung äußerte sich Heidelbergs Oberbürgermeister Prof. Dr. Eckart Würzner positiv zu diesem Thema: *„Die Windkraft wird künftig eine Rolle in Heidelberg spielen, auch wenn wir eine eher windschwache Region sind. Für mich wäre es selbstverständlich, Windanlagen in ein Gewerbegebiet zu setzen – etwa in Rohrbach Süd.“*⁵³ Westlich von Rohrbach Süd im Bereich B3 und Bahnstrecke wären so mehrere große Windkraftwerke möglich, ohne dass Wald gerodet oder Wege angelegt werden müssten. In diesem Areal befindet sich auch bereits eine Umspannanlage.

Interessant ist ein Vergleich mit weiteren Alternativen, mit denen CO₂ reduziert werden könnte, die bisher nur unzureichend oder gar nicht genutzt werden.

6.3 Sparen und bessere Nutzung von Energie

Die bisherigen Treibhausgas-Reduktionen genügen bei Weitem nicht, um die Klimaschutzziele zu erreichen. Das geht u.a. aus dem erstmals 2022 vorgelegten Gutachten des Expertenrats für Klimafragen (ERK) hervor. Die Bundesregierung hatte den Expertenrat im September 2020 eingesetzt, er soll alle zwei Jahre ein Gutachten vorlegen.⁵⁴

Im internationalen Vergleich ist Deutschland in den letzten Jahren zurückgefallen. Im

⁵³ Rhein-Neckar-Zeitung, Oberbürgermeister Eckart Würzner im Jahresendgespräch, 27.12.2022

⁵⁴ www.expertenrat-klima.de

neuen Klimaschutz-Index 2023 liegt die Bundesrepublik jetzt auf Rang 16, im Vorjahr war sie noch auf Platz 13. Der Index erfasst 92 Prozent aller klimaschädlichen Treibhausgasemissionen, bewertet wurden die Bemühungen von 59 Ländern und der EU.⁵⁵

Die Strategie, den exorbitant hohen und wenig effektiven Energieverbrauch der Industrieländer im Wesentlichen zu belassen und diesen in Zukunft lediglich regenerativ zu erzeugen, ist der falsche Weg. Regenerative Energiequellen weisen im Gegensatz zu fossiler oder nuklearer Energie nur eine geringe Energiedichte auf. Zu ihrer Gewinnung sind deshalb sehr große Flächen und Anlagen nötig, die mit Naturräumen konkurrieren.

Bild 39 zeigt, dass 2021 mit 42,4% bereits ein erheblicher Anteil der Stromerzeugung regenerativ erzeugt wird (grün). Dies wird meist als großer Erfolg gesehen. Der Stromsektor ist allerdings nur ein Teil der Energieerzeugung. An der Primärenergie haben regenerative Energiequellen erst einen Anteil von 16%. Davon muss noch der Teil abgezogen werden (rot), der in der Statistik zwar als regenerative Energieerzeugung gezählt wird, aber nicht CO₂-frei oder CO₂-arm ist wie z.B. Palmöl oder nicht aus Abfällen erzeugte Biokraftstoffe, die höhere CO₂-Emissionen als fossile Kraftstoffe verursachen.^{56 57}

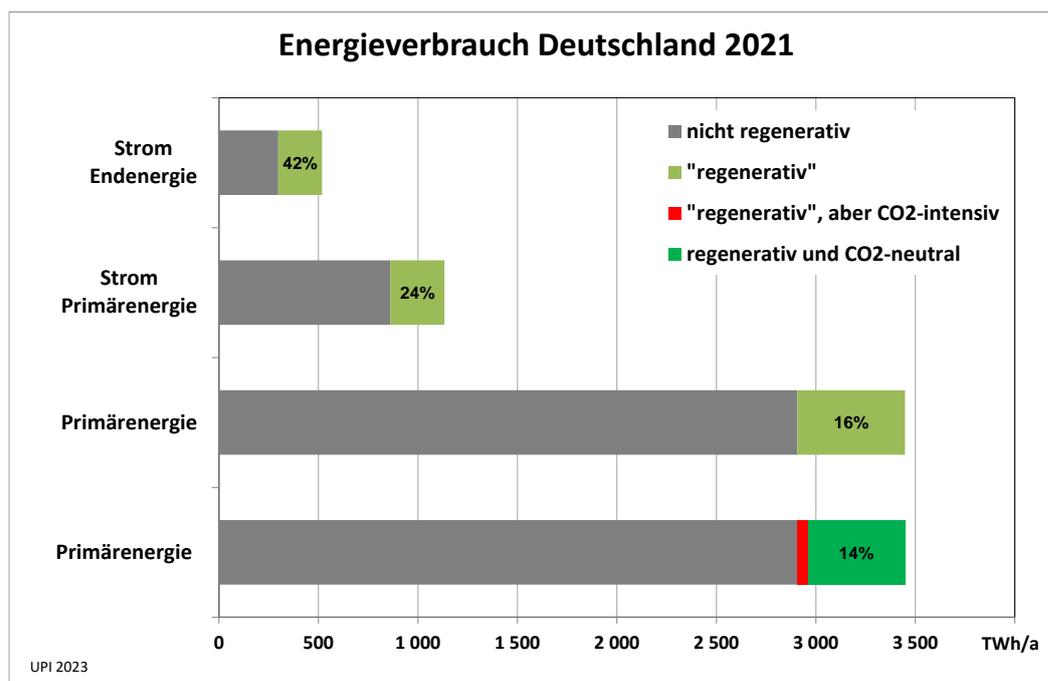


Bild 39: Anteil regenerativer Energie am Energieverbrauch Deutschlands⁵⁸

⁵⁵ Germanwatch, Climate Action Network und NewClimate Institute, Klimaschutz-Index 2023 www.ccpi.org

⁵⁶ z.B. Thomas Guillaume, Martyna M. Kotowska, Dietrich Hertel, Alexander Knohl, Valentyna Krashevskaya, Kuku Murtillaksono, Stefan Scheu, Yakov Kuzyakov, Carbon Costs and Benefits of Indonesian Rainforest Conversion to Plantations, Nature Communications, 19. Juni 2018

⁵⁷ Horst Fehrenbach und Silvana Bürck, CO₂-Opportunitätskosten von Biokraftstoffen in Deutschland, ifeu gGmbH, 2022

⁵⁸ AG Energiebilanzen, Auswertungstabellen zur Energiebilanz Deutschland, 2021

Insgesamt wird heute erst 14% des Primärenergieverbrauchs in Deutschland regenerativ CO₂-frei oder CO₂-arm gedeckt.

	TWh/Jahr	zu heutiger Stromerzeugung
<u>Stromerzeugung 2021</u>	588	100%
davon Wind	114	
“ Photovoltaik	50	
“ Wasser + Bioenergie	70	
<u>Zusätzlicher Strombedarf in Zukunft:</u>		
Alle PKW sind Elektroautos	160	+27%
Power to Liquid (Flugverkehr)	190	+32%
LKW-Verkehr	210	+36%
Klimaneutrale Chemische Industrie	600	+102%
Klimaneutrale Stahl-Industrie	130	+22%
Wärmeerzeugung mit Wärmepumpen	220	+37%
Summe zusätzlicher Strombedarf	1 500	+257%
Bedarf zukünftiger regenerativer Stromerzeugung	2 100	
Notwendige Erhöhung Wind + Photovoltaik zu heute⁵⁹	13x	

Tabelle 2: Bedarf an Wind- und Solarstrom bei weiter hohem Energieverbrauch

Tabelle 2 zeigt den zukünftigen Bedarf regenerativen Stroms in Deutschland für den Fall, dass der hohe Energieverbrauch beibehalten würde. Um die chemische Industrie, die Stahlerzeugung und den Verkehrssektor mit ihren heutigen hohen Energieverbräuchen klimaneutral zu entwickeln, würde sich bei Beibehaltung der heutigen Konsumgewohnheiten der Strombedarf mehr als verdreifachen und die Erzeugung von Wind- und Photovoltaikstrom verdreizehnfachen müssen !

Trotzdem herrscht im Moment noch die Meinung vor, man könnte im Wesentlichen alles so lassen wie bisher und müsste nur die Energieerzeugung auf regenerativ umstellen.

Bild 40 zeigt einen Vergleich der Strommengen, die bei verschiedenen Antriebs- und Kraftstoffarten benötigt werden. Die Verwendung von Strom in Elektroautos ist als 1 gesetzt und die anderen Kraftstoffarten werden damit quantitativ verglichen. Die Verwendung von E-Fuels würde 7-mal so viel regenerativ erzeugten Strom benötigen wie Elektroautos. Bundesverkehrsminister Wissing drohte Anfang 2023 mit einem Veto gegen einen ausgehandelten Kompromiss der EU zur Einführung von Elektroautos und setzte am 28.2.2023 durch, dass auch nach 2035 E-Fuels in größerem Ausmaß nicht nur für den Flug- und LKW-Verkehr, sondern auch den PKW-Verkehr verfügbar sein müssen.^{60 61}

⁵⁹ Unter Berücksichtigung von Umwandlungs-, Speicher- und Leitungsverlusten

⁶⁰ Wissing blockiert EU-Kompromiss zu Verbrennungsmotoren, Handelsblatt, 28.2.2023

⁶¹ Volker Wissing: Ein Fetisch namens E-Fuels, ZEIT online, 1.3.2023

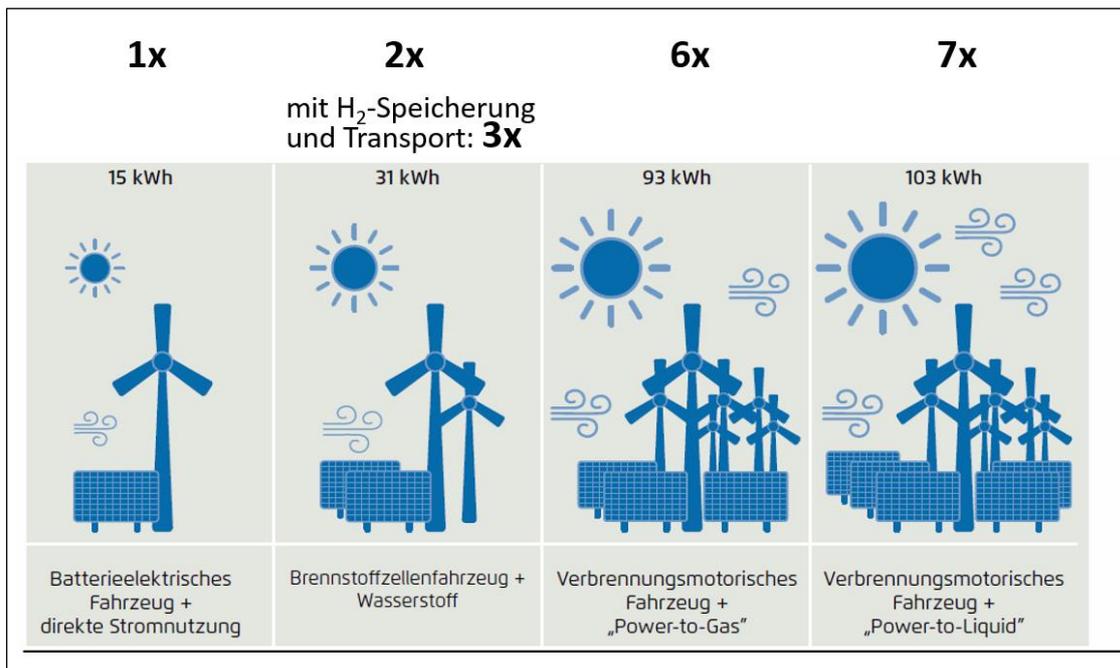


Bild 40: Bedarf regenerativen Stroms für verschiedene Antriebsarten⁶²

Eine Modellrechnung zeigt das Problem: Wenn in Zukunft nur 20% der Autos in Deutschland mit E-Fuels betankt würden, würde dadurch der Bedarf regenerativ erzeugten Stroms um weitere 190 TWh pro Jahr ansteigen. Allein das wäre 60% mehr, als alle 30 000 Windkraftwerke heute Windstrom erzeugen.

Alle weltweit bis 2035 angekündigten etwa 60 E-Fuel-Projekte entsprechen zusammen lediglich etwa 10 % des unverzichtbaren E-Fuel-Bedarfs Deutschlands für Flugverkehr, Schiffsverkehr und Chemie.⁶³

Wenn wir uns vor allem darauf konzentrieren, nur das Elektrizitätssystem zu transformieren und die im Vergleich zu anderen Ländern außerordentlich hohen Energieverbräuche nicht deutlich zu reduzieren oder gar die Verschwendung von Energie noch weiter zu erhöhen, werden die Klimaschutzziele nicht zu erreichen sein.⁶⁴ Und es steht zu befürchten, dass auf dem Weg dorthin die Klima- und Umweltpolitik durch den benötigten Flächenbedarf für Windkraftwerke, PV-Freiflächenanlagen, Übertragungsnetze, Speicherkapazitäten und Infrastruktur mittelfristig einen Teil von dem zerstört, was sie zu schützen vorgibt.⁶⁵

⁶² Der Beitrag von synthetischen Kraftstoffen zur Verkehrswende: Optionen und Prioritäten, Wuppertal-Institut für Klima, Umwelt, Energie, 2019

⁶³ Falko Ueckerdt, Adrian Odenweller, E-Fuels - Aktueller Stand und Projektionen, Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung (PIK), März 2023
www.pik-potsdam.de/members/Ueckerdt/E-Fuels_Stand-und-Projektionen_PIK-Potsdam.pdf

⁶⁴ siehe dazu auch: Ökologische Folgen von Elektroautos - Ist die staatliche Förderung von Elektro- und Hybridautos sinnvoll? [UPI-Bericht 79](#), 3. erw. Auflage, Oktober 2019

⁶⁵ siehe dazu auch: Prof. Dr. Niko Paech, Von der Energiewende zum Nachhaltigkeitskannibalismus, in: Naturschutzinitiative e.V., Wissenschaftler kritisieren EEG-Eckpunktepapier 2022

6.4 CO₂-Quelle Verkehr

Bild 41 zeigt die Entwicklung der CO₂Äq-Emissionen nach Sektoren in Deutschland.

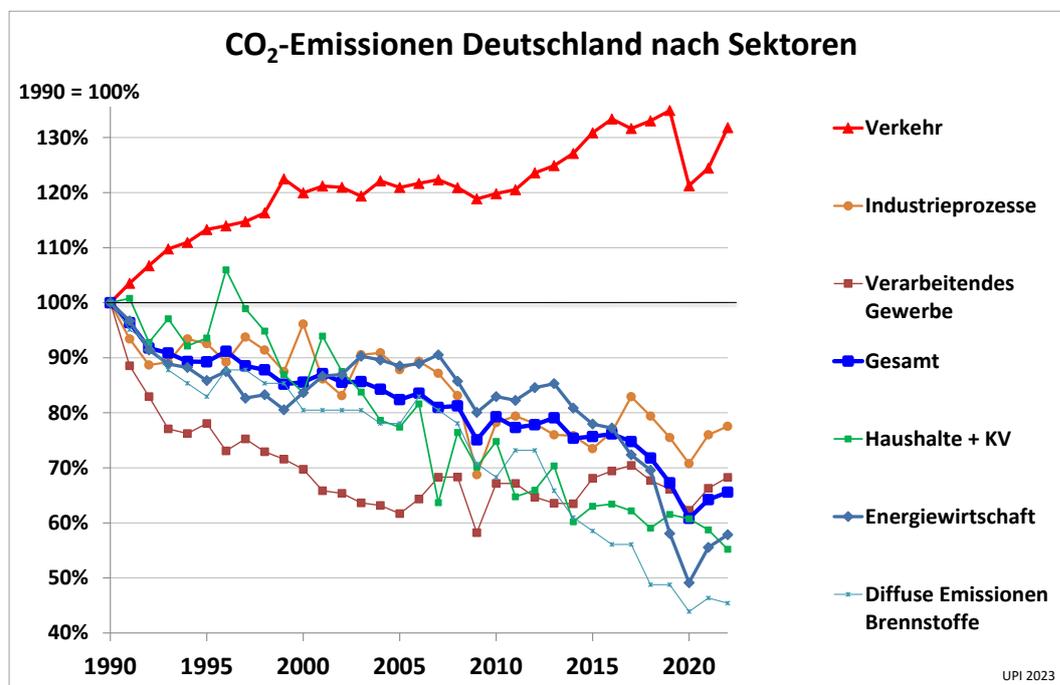


Bild 41: Entwicklung der CO₂Äq-Emissionen in Deutschland in den letzten drei Jahrzehnten⁶⁶

Während in allen Sektoren außer dem Verkehrsbereich die CO₂-Emissionen abnehmen, ist der Verkehrsbereich von der Entwicklung völlig abgekoppelt. Die geringen Bemühungen zur CO₂-Einsparung in diesem Bereich werden durch Wachstumseffekte überkompensiert. Besonders stark nimmt die Motorisierung mit schweren, leistungsstarken Fahrzeugen mit hohen Energieverbräuchen zu.

Von den 29 730 Windkraftwerken in Deutschland befinden sich nur 7% auf Waldstandorten. Dieselbe CO₂-Einsparung wie durch alle 2 270 Windenergieanlagen im Wald ließe sich z.B. durch eine Reduzierung des Treibstoffverbrauchs des KFZ-Verkehrs um nur 3% erzielen. Während der Corona-Zeit sank der Treibstoffverbrauch im Jahr 2020 um 10%.

Bild 42 zeigt, dass der Trend aber genau in die andere Richtung geht. Das Hauptwachstumssegment bei den PKW-Neuzulassungen sind heute SUVs und Geländewagen. Allein die dadurch im Vergleich zu normalen PKW verursachte Mehremission an CO₂ in Deutschland kompensiert inzwischen vollständig die CO₂-Einsparung durch alle 2 270 Windenergieanlagen im Wald, mit steigender Tendenz.

⁶⁶ Verkehr Incl. Flugverkehr von Starts deutscher Flughäfen. Die Emissionen im Jahr 1990 sind jeweils als 100% gesetzt.

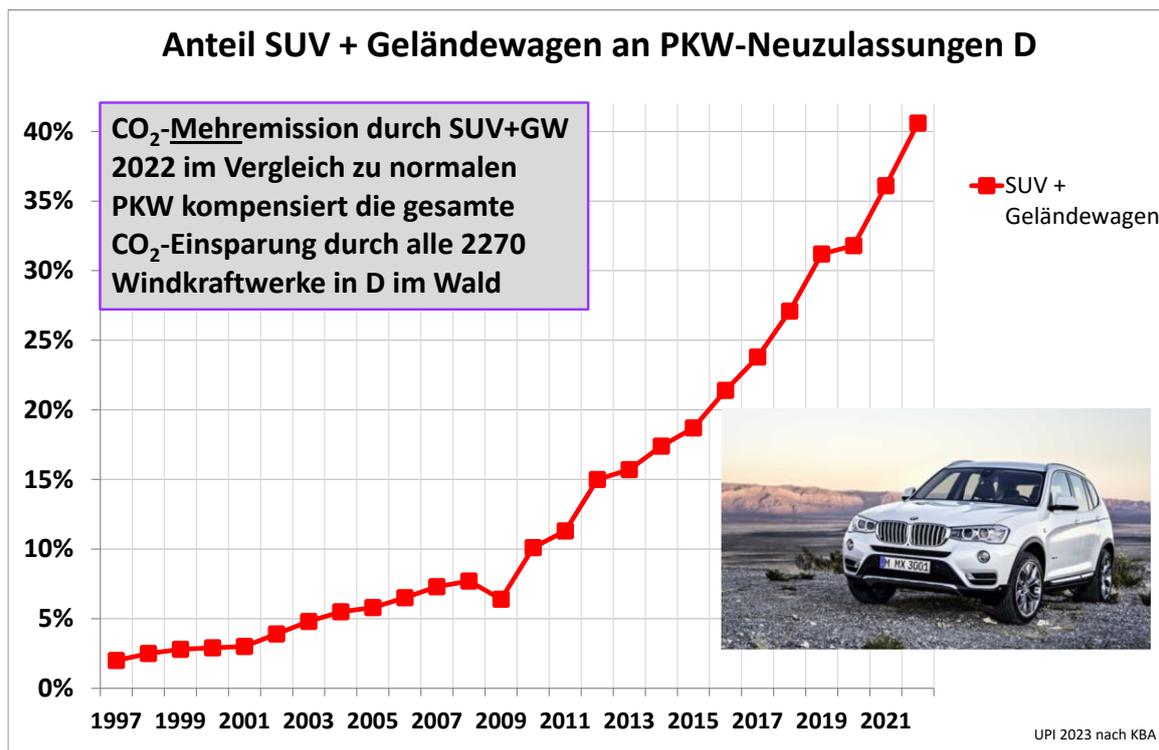


Bild 42: Anteile von SUVs und Geländewagen an allen Neuzulassungen in Deutschland 1997 - 2022

Der Deutsche Städtetag kritisiert diesen Trend zu großen Autos und schlug im Januar 2023 höhere Parkgebühren für SUVs und andere große Wagen vor. *"Das passt nicht in eine Zeit, in der wir über Energie- und Flächensparen, Klima- und Ressourcenschutz diskutieren."*, so Hauptgeschäftsführer Helmut Dedy. Für mehr Lebensqualität in den Städten brauche es weniger und nicht noch größere Autos.⁶⁷ Dazu solle den großen Fahrzeugen die tatsächlichen Kosten für Parken und Fahren zugeordnet werden.⁶⁸

Die bisher einzige konkrete Reaktion auf Bundesebene auf die Entwicklung zu immer größeren PKW ist die Absicht der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV), in einem neuen Regelwerk den Bau breiterer Garagenstellplätze zu empfehlen. Zu dem größeren Platzbedarf im Straßenraum in Konkurrenz zu anderen Verkehrsmitteln (z.B. Fahrrad) macht die FGSV keine Aussage.

Die heute auf den Straßen Heidelbergs fahrenden SUVs und Geländewagen erzeugen im Vergleich zu durchschnittlichen PKW eine jährliche Mehremission von 14 000 t CO₂. Das ist 20-mal so viel wie der Unterschied in der CO₂-Einsparung durch ein Windkraftwerk auf Odenwaldhöhen oder in der Rheinebene.

⁶⁷ FRANKFURTER ALLGEMEINE ZEITUNG, Städtetag kritisiert Trend zu großen Autos, 31.1.2023

⁶⁸ In Tübingen sind die Parkgebühren für Anwohnerparken seit 2021 nach Fahrzeuggewicht, in Freiburg seit 2022 nach Fahrzeuggröße differenziert.

Für Baden-Württemberg ergibt sich eine Mehremission der SUVs und Geländewagen im Vergleich zu durchschnittlichen PKW von 76 000 t CO₂ pro Jahr. Das entspricht dem Unterschied von über 1 000 Windkraftwerken in der Ebene statt im Wald auf Bergen. Das sind doppelt so viele Windkraftwerke wie die Landesregierung Baden-Württemberg im Wald bauen will. Man kann es auch anders ausdrücken: Der Mehrertrag aller von Baden-Württemberg im Wald geplanten 500 Windkraftwerke könnte die (heutige !) Mehremission durch SUV und Geländewagen in Baden-Württemberg noch nicht einmal zur Hälfte ausgleichen.

Um die Klimaschutzziele einzuhalten, hat das Ministerium für Verkehr Baden-Württemberg fünf Ziele ausgegeben, u.a. die Reduktion des Kraftfahrzeugverkehrs bis 2030 um 20%.⁶⁹ Würde dieses Ziel in Heidelberg nur beim PKW-Verkehr realisiert, würde dies die CO₂-Emissionen Heidelbergs um 60 000 t pro Jahr verringern. Dies wäre 85-mal so viel wie die Differenz eines Windkraftwerks zwischen Odenwald und Ebene.

Würde dieses Ziel auf Landesebene umgesetzt, würde dies die CO₂-Emissionen Baden-Württembergs um 4 400 000 t pro Jahr verringern. Dies wäre 6 000-mal so viel wie die Differenz eines Windkraftwerks zwischen bewaldeten Bergen und Ebene.

6.5 Photovoltaik

Mit Solarzellen (Photovoltaik) kann ebenfalls klimaneutral Strom erzeugt werden. Moderne Solarzellen wandeln rund 20% der Energie im Licht in Strom um, im Labor wurden schon deutlich höhere Werte erzielt. Der Gesamtwirkungsgrad moderner PV-Anlagen liegt heute bei 18 - 19%. Vergleicht man den Flächenbedarf zwischen modernen PV- und Windenergieanlagen, kommen Windkraftwerke mit ca. einem Achtzigstel der Fläche aus. Dies gilt allerdings nur für Windenergieanlagen auf landwirtschaftlichen Flächen, für deren Bau- und Arbeitsflächen kein Wald gerodet und keine breiten Wege im Wald gebaut werden müssen. Das Einsammeln von Sonnenenergie erfordert also vergleichsweise große Flächen. Deshalb ist es wenig sinnvoll, dazu Naturflächen zu verwenden wie es z.B. im Jahr 2022 für das Gewann Hühnerstein im Handschuhsheimer Feld vorgeschlagen wurde und wie es in immer größeren Freiflächen-PV-Anlagen praktiziert wird. Viel ökologischer und sinnvoller ist es, dafür bebaute Flächen zu verwenden. Hier weist Heidelberg einen deutlichen Rückstand im Vergleich zu anderen Städten auf. Ende 2021 waren in Heidelberg 22 MW_p⁷⁰ Photovoltaik installiert, davon 16 MW_p auf Dächern. Das sind bisher nur 5% des vorhandenen Photovoltaik-Potenzials auf Dächern. Damit liegt Heidelberg mit 150 Wp/Einwohner im Vergleich zu anderen Städten in Baden-Württemberg am unteren Ende. Städte wie Freiburg, Tübingen, Heilbronn, Göppingen, Weinheim, Rastatt haben mehr als doppelt so viel Photovoltaik pro Einwohner, Bruchsal sogar viermal so viel.

⁶⁹ <https://vm.baden-wuerttemberg.de/de/politik-zukunft/nachhaltige-mobilitaet/klimaschutz-und-mobilitaet/rahmenbedingungen-und-ziele>

⁷⁰ Megawatt-Peak: Peak gibt die maximale Leistung bei optimaler Sonneneinstrahlung an. Im Jahresdurchschnitt liegt die Leistung von PV-Modulen bei etwa 9% bis 13% des Peak-Wertes.

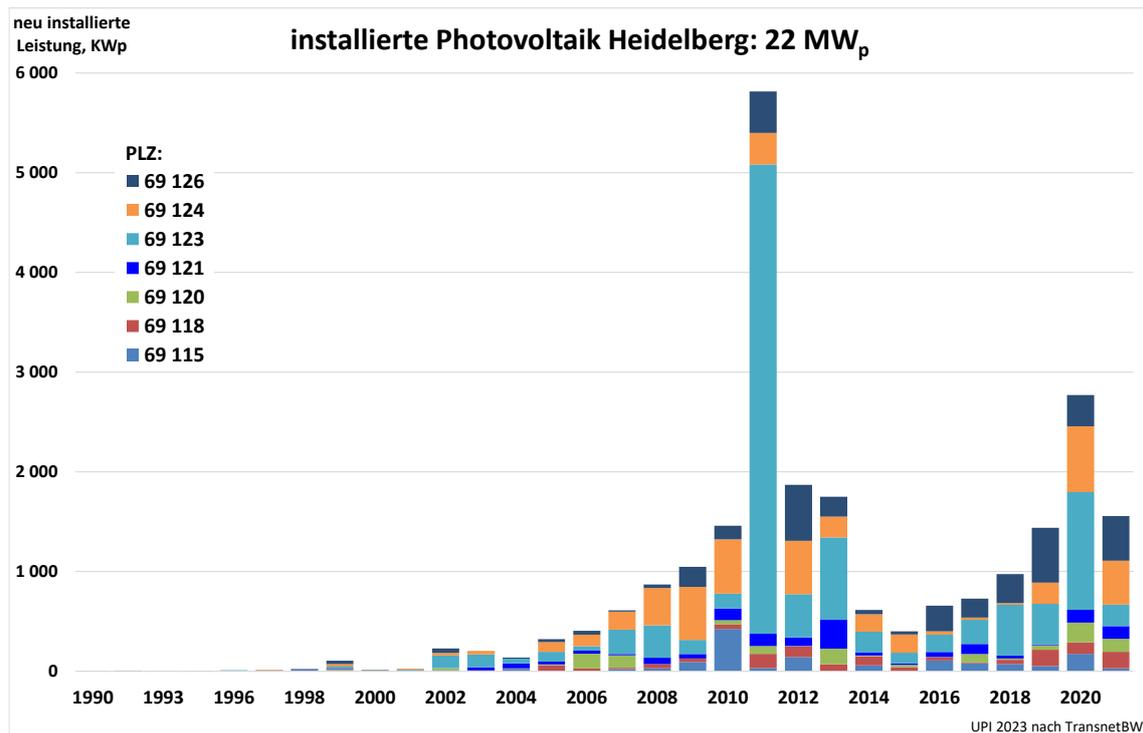


Bild 43: Jährlich neu installierte Photovoltaikkapazität in Heidelberg⁷¹

Ein Beispiel dazu: In Heidelberg besitzen auf dem großen Universitätscampus Neuenheimer Feld alle Gebäude (alle naturwissenschaftlichen Institute der Universität, alle Unikliniken, DKFZ und Max-Planck-Institute) Flachdächer, auf denen die Solarenergie durch Photovoltaik besonders gut und ohne Nachteile für die Natur genutzt werden könnte. Heute (2023) wird Solarenergie allerdings lediglich auf 3,9% (!) dieser Dachflächen im Unicampus genutzt. Nach den Ergebnissen des Masterplans Neuenheimer Feld könnten auf den heutigen Dachflächen der Gebäude im Unicampus 39 GWh⁷² und in Zukunft 50 GWh Solarstrom pro Jahr erzeugt werden, das wäre so viel, wie 5 bis 6 große Windkraftwerke im Wald erzeugen könnten. Auf den Dachflächen im NHF könnten bisher schon mit Photovoltaik 27 000 und in Zukunft 34 000 t CO₂ eingespart werden. Das entspräche schon heute der Ertragsdifferenz von 38 Windkraftwerken, die in der Ebene statt im Wald gebaut würden, in Zukunft 49.

Das Potenzial von Photovoltaik auf bestehenden Flachdächern z.B. im Unicampus wäre darüber hinaus wesentlich schneller zu realisieren als der Bau von Windkraftwerken im Wald. Für die meisten Gebäude im Unicampus ist das Land Baden-Württemberg zuständig.

Bisher allerdings sind die Ergebnisse des Masterplans Neuenheimer Feld noch nicht in die neuen Planungen eingeflossen. Der Entwurf des vorhabenbezogenen Bebauungsplans für

⁷¹ TransnetBW GmbH Abrechnung 2021

⁷² 1 GWh (GigaWattstunde) sind 1 Milliarde Wattstunden oder 1 Million Kilowattstunden

ein neues Gebäude des DKFZ an der Berliner Straße sieht lediglich vor, dass „Auf mindestens 30 % der Dachfläche“ Photovoltaikanlagen zu errichten sind.⁷³

Zur Ermittlung der Potenziale für Photovoltaik wurden in einem Projekt der Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg (LUBW) Laserscannerdaten aus Befliegungen erhoben, die in einem digitalen Oberflächenmodell verarbeitet wurden. Die Potenzialanalyse berücksichtigt die Neigung, Ausrichtung, Verschattung und solare Einstrahlung.⁷⁴ Die Fläche aller für Photovoltaik nutzbaren Dächer in Heidelberg beträgt 2,16 Millionen Quadratmeter. Davon sind 35% sehr gut, 58% gut und 7% bedingt für Photovoltaik geeignet. Bisher wird erst ca. 5% dieses Potenzials zur Stromerzeugung mit Photovoltaik in Heidelberg genutzt. Würde nur auf 25% der dafür geeigneten Dachflächen Heidelbergs Solarstrom erzeugt, könnten dadurch (zusätzlich zur bestehenden PV-Nutzung und ohne die Flachdächer im Unicampus) 30 000 t CO₂/Jahr vermieden werden. Das entspräche der Ertragsdifferenz von 43 Windkraftwerken, die in der Ebene statt im Wald gebaut würden.

Für Baden-Württemberg ergab die LUBW-Analyse der Dachflächen, die für eine Nutzung der Photovoltaik geeignet sind, eine mögliche Leistung von rund 61 500 MW_p Photovoltaik.⁷⁵ Ende des Jahres 2020 wurden etwa 10 % dieses technisch möglichen Potenzials auf geeigneten Dachflächen ausgeschöpft. Für 2023 wird hier angenommen, dass bisher 13% dieses Potenzials genutzt wird. Würde in Baden-Württemberg nur 20% des noch nicht genutzten Potenzials dafür geeigneter Dachflächen für Photovoltaik genutzt, könnten dadurch (zusätzlich zur bestehenden PV-Nutzung) 7,5 Millionen t CO₂/Jahr vermieden werden. Das entspräche der CO₂-Minderung von 1 800 Windkraftwerken im Wald oder der Differenz von 11 000 Windkraftwerken, die in der Ebene statt im Wald gebaut würden. Die vollständige Nutzung des bisher ungenutzten PV-Potenzials auf Dachflächen in Baden-Württemberg entspräche der CO₂-Minderung durch ca. 7 000 Windkraftwerke im Wald. Weitere naturverträglich nutzbare PV-Potenziale bestehen an Fassaden, bei der Überdachung von Verkehrsanlagen, an Lärmschutzwänden u.ä.

6.6 Netzausbau

Wind- und Solarenergie fallen je nach Windstärke und Sonneneinstrahlung diskontinuierlich an. Deshalb benötigt ein regeneratives Energiesystem Netze, die die Energie gut verteilen können. Die mit Abstand meisten Windkraftwerke stehen wegen der höheren Windgeschwindigkeiten und der geringeren Bodenrauhigkeit in Norddeutschland (siehe Bild 47). Da aber noch keine ausreichend leistungsfähigen Netze von Nord nach Süd existieren, müssen bei Phasen optimalen Winds in den letzten Jahren immer mehr Windkraftwerke in Norddeutschland im Rahmen des Einspeisemanagements (abgekürzt „Eisman“) abgeschaltet werden. Wenn Abschnitte eines Verteil- oder Übertragungsnetzes

⁷³ Vorhabenbezogener Bebauungsplan Neuenheim - Neubau eines Gebäudekomplexes des DKFZ, Entwurf vom 22.7.2022

⁷⁴ Potenzialanalyse des Solarkatasters der Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg www.energieatlas-bw.de/sonne/dachflachen/potenzialanalyse

⁷⁵ www.energieatlas-bw.de/sonne/dachflachen/solarpotenzial-auf-dachflachen

überlastet sind und ein solcher Engpass die Versorgungssicherheit bedroht, muss der Netzbetreiber die Einspeisung von Strom aus erneuerbaren Energien in das Stromnetz zwangsweise abregeln. Windkraftanlagen werden dann aus dem Wind gedreht oder Wechselrichter bei Solaranlagen ausgeschaltet. Die dabei abgeregelte Energie wird als Ausfallarbeit bezeichnet.⁷⁶ Der Anlagenbetreiber bekommt für diese Energie, die bei einem normalen Netzbetrieb erzeugt worden wäre, eine finanzielle Entschädigung. In den letzten Jahren sind die finanziellen Entschädigungsleistungen kontinuierlich angestiegen. Sie lagen im Jahr 2021 schon bei 807 Millionen Euro.⁷⁹

In den Jahren 2017 bis 2021 lag die abgeregelte Ausfallarbeit der bestehenden Windkraftwerke zwischen 5 400 und 6 200 GWh pro Jahr.^{77 78} Die Tendenz ist steigend. Im ersten Halbjahr 2022 wurden bereits 4 976 GWh Windstrom abgeregelt, fast so viel wie im ganzen Jahr 2021 zuvor. Der überwiegende Teil der Ausfallarbeit fällt in Norddeutschland an. Bild 44 zeigt die Entwicklung von 2013 bis 2021, Bild 45 die regionale Verteilung.

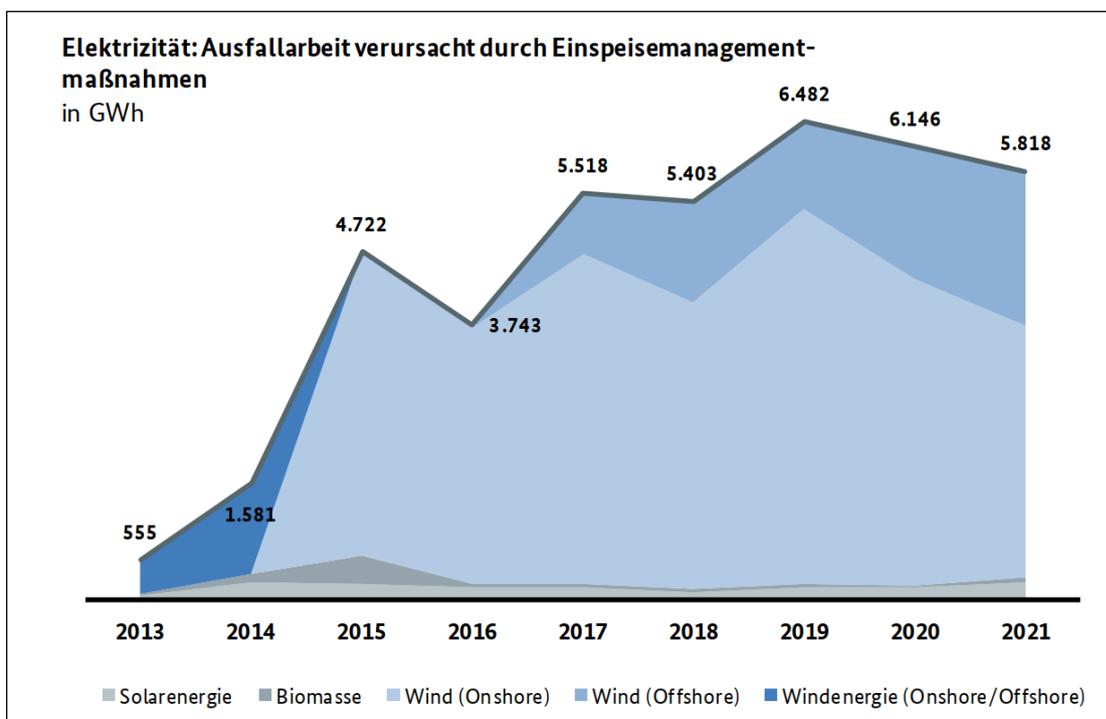


Bild 44: Ausfallarbeit verursacht durch Einspeisemaßnahmen⁷⁹

⁷⁶ Nicht enthalten in der Ausfallarbeit ist die vom einzelnen Windkraftwerk aus Sicherheitsgründen vorgenommene Abschaltung bei Starkwinden oberhalb der Abschaltgeschwindigkeit von ca. 25 m/s und die Begrenzung der Leistung der Anlage bei Windgeschwindigkeiten ab 10-12 m/s durch die begrenzte Nennleistung des Generators.

⁷⁷ [Bundesnetzagentur, Netzenspassmanagement Gesamtes Jahr 2021, 2022](https://www.bundesnetzagentur.de/Netzenspassmanagement-Gesamtes-Jahr-2021-2022)

⁷⁸ www.energie-chronik.de/221205.htm

⁷⁹ Bundesnetzagentur und Bundeskartellamt, Monitoringbericht 2022 gemäß § 63 Abs. 3 i. V. m. § 35 EnWG, 2023

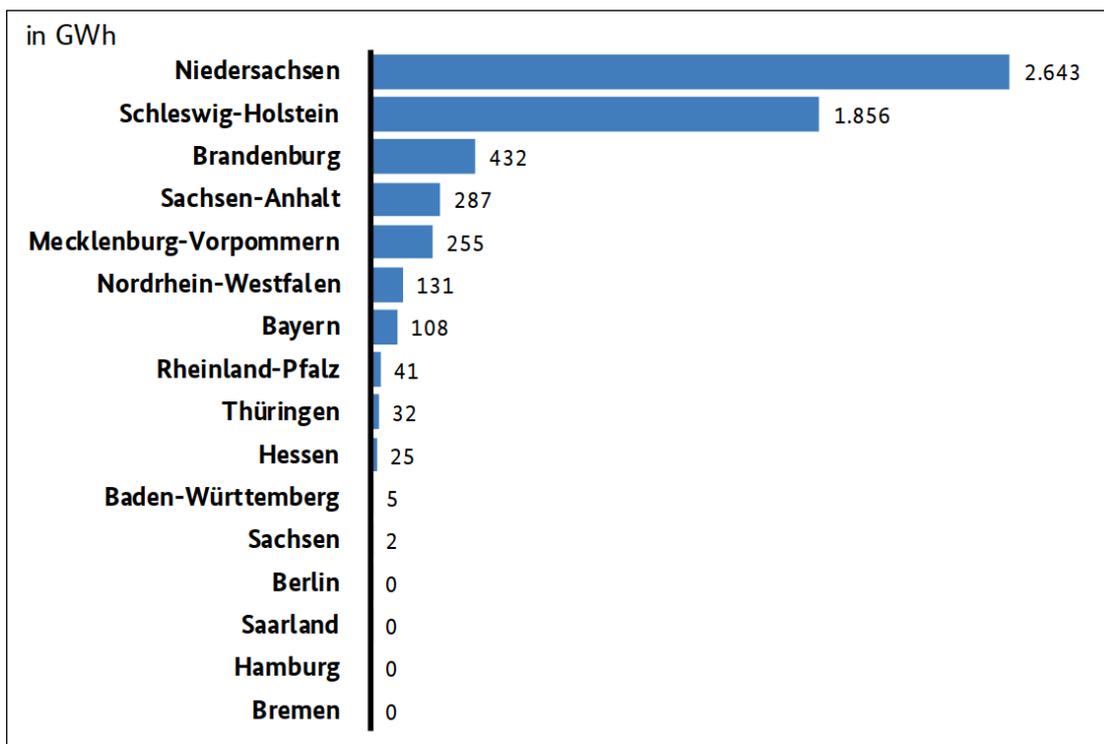


Bild 45: Regionale Verteilung der Ausfallarbeit im Jahr 2021 ⁷⁹

Diese in Norddeutschland wegen fehlender Stromleitungen im Durchschnitt der letzten 4 Jahre abgeregelte Windstrommenge ist so viel, wie 1 000 Windkraftwerke in Süddeutschland im Wald erzeugen könnten. Die abgeregelte Windstrommenge entspricht der Differenz von ca. 6 500 Windkraftwerken in Süddeutschland, die statt auf bewaldeten Höhen in der Ebene gebaut werden könnten.

Durch die fehlenden Stromnetze werden pro Jahr in Deutschland 4,5 Millionen t CO₂ unnötig emittiert, die bei Nutzung des abgeregelten Windstroms verhindert werden könnten. Würden nur 25% des in Norddeutschland abgeregelten Windstroms durch Ausbau der Netzinfrastruktur nach Süddeutschland in die drei Bundesländer Baden-Württemberg, Rheinland-Pfalz und Hessen geleitet, würden durch Ersatz von konventionell erzeugtem Strom 1 100 000 t CO₂ pro Jahr vermieden. Das entspräche der CO₂-Minderung durch 250 Windkraftwerke im Wald und wäre 1 500-mal so viel wie die Differenz zwischen einem Windkraftwerk in der Ebene oder auf einem bewaldeten Odenwaldberg.

Noch eine andere Betrachtung: Würden lediglich 10% des in Norddeutschland abgeregelten Windstroms durch Ausbau der Netzinfrastruktur nach Süddeutschland in die drei Bundesländer Baden-Württemberg, Rheinland-Pfalz und Hessen geleitet und davon 12% entsprechend der heutigen Verteilung des Stromverbrauchs in der Metropolregion Rhein-Neckar (MRN) verbraucht⁸⁰, würden 60 000 t CO₂ pro Jahr vermieden. Das wäre

⁸⁰ Das wären 1,3 % des heute in Norddeutschland abgeregelten Windstroms. Die Metropolregion Rhein-Neckar hat 2020 einen Stromverbrauch von 17 TWh/Jahr, Baden-Württemberg von 65,8, Rheinland-Pfalz von 22,3 und Hessen von 36,3 TWh/Jahr.

85-mal so viel wie die Differenz zwischen einem Windkraftwerk in der Ebene oder auf einem bewaldeten Odenwaldberg.

6.7 Abbau klimaschädlicher Subventionen

Der deutsche Staat fördert Jahr für Jahr umweltschädliches Verhalten mit über 65 Milliarden Euro. Das stellte das Umweltbundesamt in seinem letzten Bericht „Umweltschädliche Subventionen in Deutschland“ fest.⁸¹ Die umweltschädlichen Subventionen entsprechen 13% des gesamten Bundeshaushalts, der in den letzten Jahren zunehmend durch neue Schulden finanziert wird. 65 Milliarden Euro umweltschädliche Subventionen sind ziemlich genau 1 000 Euro pro erwachsenen Bundesbürger, und das Jahr für Jahr. Rund 90% der Subventionen sind klimaschädlich und wirken häufig gleichzeitig auch negativ auf Luftqualität, Gesundheit und Rohstoffverbrauch. Fast die Hälfte dieser Subventionen (31 Milliarden Euro pro Jahr) fördern umweltschädliche Verkehrsarten wie Auto- und Flugverkehr. Seit der vorletzten Untersuchung 2012 haben die umweltschädlichen Subventionen sogar um 8 Milliarden Euro pro Jahr zugenommen ! Dies steht in krassem Widerspruch zu den zunehmenden Bemühungen für den Klima- und Umweltschutz in den vergangenen Jahren. UBA-Präsident Prof. Dr. Dirk Messner am 28.10.2021 bei der Vorstellung der Studie in Berlin: *„Es ist paradox, wenn der Staat mit vielen Milliarden den Klimaschutz fördert und gleichzeitig klimaschädliche Produktions- und Verhaltensweisen subventioniert. Beim Klimaschutz rennt uns bekanntlich die Zeit davon.“*

Nach Berechnungen des Forums Ökologisch-Soziale Marktwirtschaft (FÖS) könnte durch einen Abbau klimaschädlicher Subventionen nicht nur sehr viel Steuergeld und Neuverschuldung gespart werden, sondern vor allem auch die Emission von Treibhausgasen jährlich um bis zu 100 Mio. t CO₂ reduziert werden.^{82 83} (Bild 46)

Im Koalitionsvertrag heißt es dazu: *„Subventionen: Wir wollen zusätzliche Haushaltsspielräume dadurch gewinnen, dass wir im Haushalt überflüssige, unwirksame und umwelt- und klimaschädliche Subventionen und Ausgaben abbauen.“*⁸⁴ Etwa die Hälfte dieser umweltschädlichen Subventionen ließe sich nach Angaben des Umweltbundesamtes bereits kurzfristig streichen. Dies entspräche der CO₂-Einsparung durch 11 500 Windkraftwerke im Wald.

⁸¹ Umweltbundesamt, Umweltschädliche Subventionen in Deutschland, Ausgabe 2021
www.umweltbundesamt.de/publikationen/umweltschaedliche-subventionen-in-deutschland-0

⁸² [Forum Ökologisch-Soziale Marktwirtschaft](#), Zehn klimaschädliche Subventionen sozial gerecht abbauen - ein Zeitplan, 2021

⁸³ [Forum Ökologisch-Soziale Marktwirtschaft \(FÖS\), Deutscher Naturschutzring \(DNR\)](#), Umweltschädliche Subventionen in Deutschland: Fokus Biodiversität - Wie schädliche Anreize die biologische Vielfalt gefährden, 2021

⁸⁴ Mehr Fortschritt wagen – Bündnis für Freiheit, Gerechtigkeit und Nachhaltigkeit, Koalitionsvertrag zwischen SPD, Bündnis 90/Die Grünen und FDP, 2021, S. 162

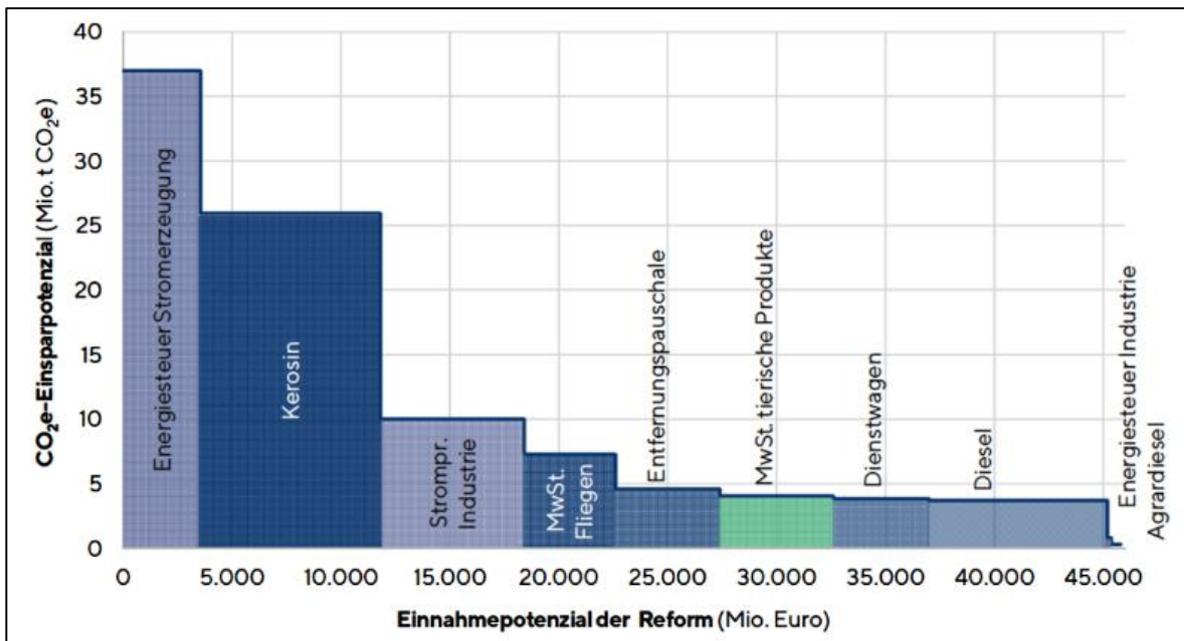


Bild 46: Abbau klimaschädlicher Subventionen: CO₂-Einsparpotential und Fiskalische Einnahmen (Quelle: FÖS⁸⁵)

Die Subventionierung umweltschädlichen Verhaltens ist nicht nur ein Problem auf Bundesebene, sondern auch in Heidelberg. Ende 2022 beschloss z.B. der Vorstand des Deutschen Krebsforschungszentrums, seine über 1 000 PKW-Stellplätze im Neuenheimer Feld entgegen den Ergebnissen des mit großer Beteiligung von Wissenschaft und Bürgerschaft erstellten Masterplans Neuenheimer Feld weiterhin kostenlos zur Verfügung zu stellen. In einem neuen Gebäude des DKFZ an der Berliner Straße werden dafür z.B. für 3 Millionen Euro 75 neue PKW Stellplätze in einer Tiefgarage gebaut, die nach Fertigstellung kostenlos genutzt werden können. Es ist nicht bekannt, ob diese Subventionierung des Autoverkehrs aus staatlichen Krebsforschungsmitteln oder aus Vermächnissen zur Krebsbekämpfung finanziert wird.

Eine Reduzierung der umweltschädlichen Subventionen des Staates nur um ein Viertel würde die CO₂-Emissionen Heidelbergs um rund 50 000 t CO₂-Äq pro Jahr senken. Das ist 70-mal so viel wie die Differenz zwischen einem Standort für ein Windkraftwerk auf Odenwaldhöhen und der Rheinebene.

Für Baden-Württemberg würde die Einsparung eines Viertels der umweltschädlichen Subventionen die CO₂-Emissionen um ca. 3,6 Millionen t pro Jahr verringern. Das ist so viel, wie 850 Windkraftwerke im Wald an CO₂ einsparen können und entspricht der Differenz von 5 200 Windkraftwerken auf bewaldeten Höhen statt unbewaldeter Ebene.

⁸⁵ <https://foes.de/de-de/unsere-aufgaben/projekte/2020-klimaschaedliche-subventionen>

6.8 CO₂-Bindung in Böden

Böden spielen eine wichtige Rolle im Klimaschutz. Global betrachtet sind die Böden nach den Weltmeeren der zweitgrößte CO₂-Speicher. Sie enthalten ca. 2 000 Milliarden Tonnen organisch gebundenen Kohlenstoff in Form von Humus und Bodenleben⁸⁶. Das ist mehr als doppelt so viel, wie sich heute Kohlenstoff als CO₂ in der Erdatmosphäre befindet.

Von der Kohlenstoffmenge im Boden hängen wichtige ökologische Eigenschaften des Bodens ab: die Versickerungs- und Speicherkapazität für Wasser, der Aufbau und Erhalt der Bodenstruktur, der Schutz vor Wasser- und Winderosion, die Sicherung der Nährstoffversorgung der Agrarpflanzen und eine wenig beachtete Senke für CO₂ aus der Luft. Die Kohlenstoffgehalte landwirtschaftlicher Flächen sind dabei sehr unterschiedlich, sie liegen je nach Boden- und Bewirtschaftungsart zwischen 5 und 250 t C/ha.

Seit etwa 100 Jahren nimmt der Humusgehalt der Böden durch die Art der Landwirtschaft, insbesondere durch den Einsatz leicht löslicher mineralischer Stickstoffdünger und Pestizide ab. Ökologisch bewirtschaftete Böden weisen im Durchschnitt einen höheren Humusgehalt auf als konventionell bewirtschaftete. Neben der Kohlenstoffspeicherung spielt der Boden auch bei den besonders klimawirksamen Treibhausgasen Methan (CH₄) und Distickstoffoxid (N₂O) eine Rolle.⁸⁷ Ökologisch bewirtschaftete Böden setzen im Durchschnitt weniger N₂O frei und binden mehr Methan als konventionell bewirtschaftete. Die Vorteile des Ökolandbaus für den Klimaschutz basieren vor allem auf einer humusschonenderen Bodenbewirtschaftung, einem kleineren Viehbestand pro Fläche, einer wesentlich effizienteren Nutzung des verfügbaren Stickstoffs und dem Verzicht auf energieaufwändig hergestellte Stickstoffdünger und Pflanzenschutzmittel. Die Wirkung der verschiedenen Treibhausgase wird in der Einheit CO₂-Äquivalente zusammengefasst. Der Weltklimabericht quantifiziert die kumulierte Wirkung einer Umstellung auf ökologische Bewirtschaftung auf minus 1,08 t CO₂-Äq/ha pro Jahr.⁸⁸

Auch im Wald spielt der Humusgehalt im Boden für den Wasserhaushalt und die Nährstoffversorgung der Bäume eine wichtige Rolle. Der Humusgehalt im Boden kann durch die Art der forstwirtschaftlichen Praxis beeinflusst werden. Aus diesen Gründen startete Frankreich auf der UN-Klimakonferenz in Paris 2015 die internationale Initiative "4 pro 1000" (kurz: 4p1000). Eine Erhöhung des Humusgehalts in den oberen 30-40 cm des Bodens um nur 4‰ (4 Promille) pro Jahr würde die CO₂-Konzentration in der Atmosphäre deutlich reduzieren.⁸⁹

⁸⁶ engl.: Soil Organic Carbon - SOC; 1 t C entspricht 3,67 t CO₂

⁸⁷ CH₄ ist pro kg 21-mal, N₂O 310-mal so klimawirksam wie CO₂.

⁸⁸ Myhre G et al., Anthropogenic and natural radiative forcing. In Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press

⁸⁹ <https://4p1000.org/>

In Heidelberg sind in den landwirtschaftlichen Böden ca. 290 000 t Kohlenstoff gespeichert, in den Böden des Heidelberger Stadtwalds ca. 440 000 t. Dies entspricht einer CO₂-Menge von ca. 2,7 Millionen t oder der 3,3-fachen Menge der CO₂-Emissionen Heidelbergs im Jahr 2022.

Im Koalitionsvertrag 2021-2026 von BÜNDNIS 90/DIE GRÜNEN und CDU Baden-Württemberg ist festgeschrieben, dass der Anteil des Ökolandbaus im Land bis zum Jahr 2030 auf 30 bis 40 Prozent erhöht werden soll.⁹⁰ Dazu wurde vom Landtag Baden-Württemberg im Juli 2022 das Biodiversitätsstärkungsgesetz verabschiedet.⁹¹

Bisher werden in Heidelberg allerdings erst 3% der landwirtschaftlichen Nutzfläche nach den Kriterien des Ökolandbaus bewirtschaftet. Durch die Umsetzung dieses Zieles in Heidelberg ließen sich die CO₂-Emissionen um ca. 1 000 t pro Jahr reduzieren bzw. kompensieren. Darin noch nicht eingerechnet ist eine Erhöhung des Humusgehaltes auch auf den anderen 60-70% der landwirtschaftlichen Flächen.

Würde der Kohlenstoffgehalt in den Waldböden des Stadtwalds Heidelberg durch eine Änderung der forstwirtschaftlichen Praktiken nur um 0,2 % pro Jahr⁹² erhöht, ließen sich dadurch weitere 3 200 t CO₂-Emissionen pro Jahr binden, zusammen also sechsmal so viel wie der Unterschied eines Windkraftwerkes in der Ebene statt im Wald.

Baden-Württemberg besitzt eine landwirtschaftliche Nutzfläche von 1,41 Millionen ha. Davon werden heute 14,5% ökologisch bewirtschaftet.⁹³ Würde dieser Anteil tatsächlich bis 2030 auf 35% erhöht, würde dies zu einer jährlichen Reduktion der CO₂-Emissionen um 270 000 t führen. Dies entspräche der Berg-Ebene-Differenz von 380 Windkraftwerken.

Diese bisher vernachlässigten Maßnahmen wären nicht nur aktiver Klimaschutz. Sie hätten auch zahlreiche positive Nebenwirkungen auf die Biodiversität, den Wasserhaushalt, den Hochwasserschutz, die Klimaresilienz der Land- und Forstwirtschaft und auf die menschliche Gesundheit.

6.9 Erhöhung der Albedo

Zur Reduzierung des Klimawandels ist es nötig, auch weitere unkonventionelle Maßnahmen zu ergreifen.

⁹⁰ Koalitionsvertrag 2021-2026 von BÜNDNIS 90/DIE GRÜNEN Baden-Württemberg und der CDU Baden-Württemberg, S. 110

⁹¹ § 17a Absatz 1 des Landwirtschafts- und Landeskulturgesetzes (LLG) Baden-Württemberg

⁹² relative Erhöhung des heutigen C-Gehalts der Waldböden um 0,2 % pro Jahr im Vergleich zum heutigen Kohlenstoffgehalt (=100%)

⁹³ www.baden-wuerttemberg.de/de/service/presse/pressemitteilung/pid/oekolandbau-bis-2030-auf-30-bis-40-prozent-steigern-1

Die einfallenden Sonnenstrahlen und die Rückstrahlung der Wärme ins Weltall stehen auf der Erde normalerweise im Gleichgewicht. Durch die Emission von Treibhausgasen wurde diese Rückstrahlung bisher im globalen Mittel um $1,66 \text{ Watt/m}^2$ verringert.⁹⁴ Die Rückstrahlung der eingestrahnten Sonnenenergie ist aber nicht nur von der Konzentration der Treibhausgase in der Atmosphäre abhängig, sondern z.B. auch direkt von der Helligkeit bzw. Farbe der Erdoberfläche. Je dunkler diese ist, umso mehr wird die Sonnenstrahlung in Wärme umgewandelt. Das Maß für diese Rückstrahlung ist die sogenannte Albedo, die den Prozentsatz der zurückgeworfenen Sonneneinstrahlung angibt.

Die Oberflächen unserer Städte, insbesondere die Dach- und Straßenflächen, haben eine relativ geringe Albedo. Dächer z.B. absorbieren zwischen 80% und 90% der einfallenden Sonnenstrahlung und wandeln diese in Wärme um. Dies ist auch der Hauptgrund dafür, dass sich unsere Städte im Hochsommer stark aufheizen.

Wenn in Heidelberg nur bei 1% der Siedlungsfläche⁹⁵ z.B. durch hellere Dächer die Albedo von 15% auf 40% erhöht würde, entspräche dies derselben Vermeidung von Treibhaus-effekt wie durch die Einsparung von 9 000 t CO₂-Emissionen. Dieser Klimateffekt träte sofort ein. Derselbe Klimateffekt würde durch den Unterschied eines Windkraftwerks auf den Höhen des Odenwalds statt in der Rheinebene erst nach Inbetriebnahme nach ca. 13 Jahren erreicht. Gleichzeitig würde die Albedoyerhöhung das Stadtklima verbessern.

7 Ausblick

7.1 Windenergiepolitik in Baden-Württemberg ökologisch nicht zielführend

In Baden-Württemberg werden bisher vor allem Anstrengungen zum Bau von Windkraftwerken im Wald unternommen. ForstBW, die als Anstalt öffentlichen Rechts ca. 320 000 Hektar landeseigene Waldflächen (Staatswald) bewirtschaftet, arbeitet seit der Koalitionsvereinbarung 2021 intensiv an der Vermarktung von Staatswald für die Windindustrie.⁹⁶ Vergleichbare Anstrengungen zur Entwicklung von Windkraftstandorten auf landwirtschaftlichen Flächen, an Autobahnen oder auf Industriebrachen oder zur Einsparung von Energie sind im Gegensatz dazu völlig unterentwickelt.

Während in den meisten anderen Bundesländern nur ein kleiner Anteil der Windkraftwerke im Wald errichtet wird, konzentriert sich Baden-Württemberg bei der Planung neuer Standorte für Windkraftwerke auf Waldgebiete. Inzwischen sind in Baden-Württemberg

⁹⁴ IPCC INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE: Climate Change 2007: The Physical Science Basis, Synthesebericht 2007

⁹⁵ Das entspricht 1,7% der Dach- und Verkehrsfläche in Heidelberg.

⁹⁶ www.forstbw.de/produkte-angebote/windkraftanlagen-im-wald/vermarktungsoffensive-forstbw/

47% der Windkraftwerke im Wald errichtet, Ende 2015 waren es erst 25%.⁹⁷ Im Bundesdurchschnitt sind es heute nur 7% ! Bild 47 zeigt die Zahl der Windkraftwerke in den Bundesländern. Auch in Hessen geht die Planung in die gleiche unökologische Richtung. HessenForst hat bereits ein Fünftel seiner bewaldeten Bergkuppen zum Bau von Windkraftwerken freigegeben.

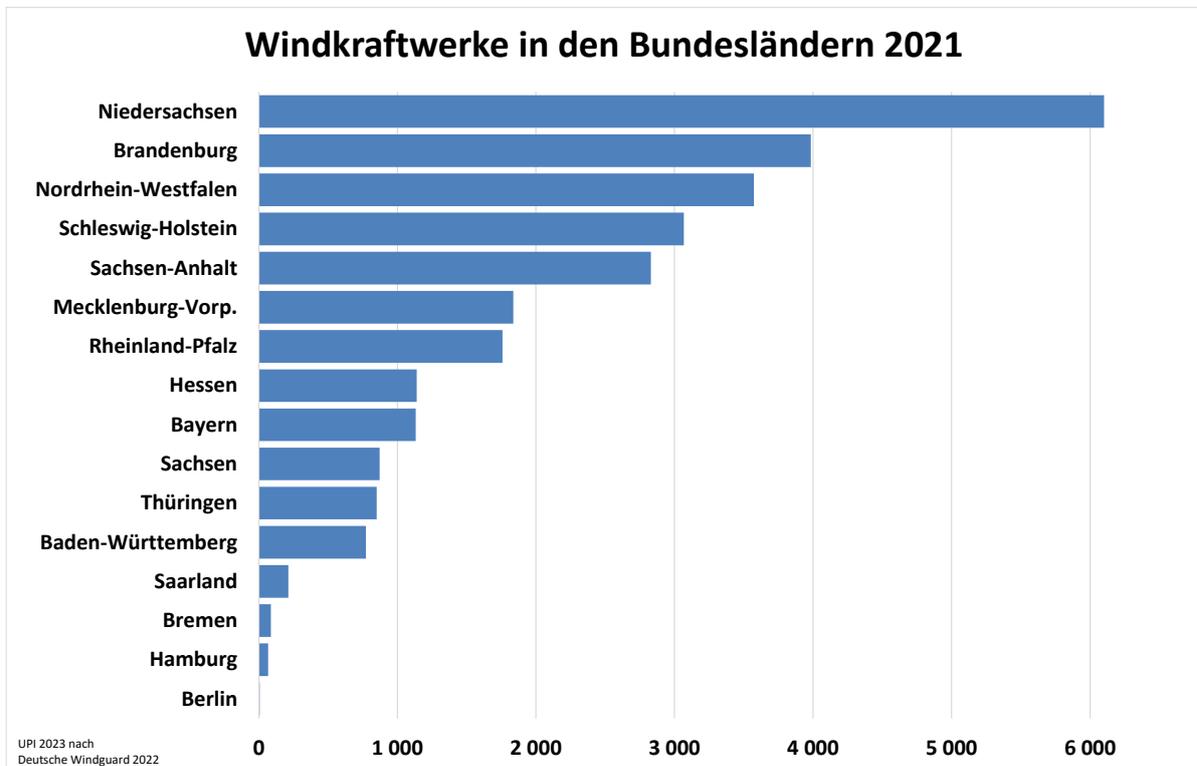


Bild 47: Zahl der Windkraftwerke in den Bundesländern 2022⁹⁸

In Niedersachsen, das bisher mit Abstand die meisten Windkraftwerke an Land gebaut hat, wurden lediglich 0,1% aller 6 243 Windkraftwerke⁹⁹ in den Wald gebaut. In der zuletzt 2017 geänderten Fassung des Landes-Raumordnungsprogramms (LROP) Niedersachsen wurden Ziele und Grundsätze der Raumordnung festgelegt. Kapitel 4.2 enthält folgenden für die Nutzung von Waldstandorten relevanten Grundsatz:

„Wald soll wegen seiner vielfältigen Funktionen, insbesondere wegen seiner klimaökologischen Bedeutung, nicht für die Nutzung der Windenergie in Anspruch genommen werden. Flächen innerhalb des Waldes können für Windenergienutzung nur dann in Anspruch genommen werden, wenn

- *weitere Flächenpotenziale weder für neue Vorrang- noch für neue Eignungsgebiete im Offenland zur Verfügung stehen und*

⁹⁷ www.fachagentur-windenergie.de/themen/windenergie-im-wald/

⁹⁸ Deutsche WindGuard GmbH, Status des Windenergieausbaus an Land in Deutschland, Erstes HJ 2022

⁹⁹ <https://de.wikipedia.org/wiki/Windenergie>

- *es sich um mit technischen Einrichtungen oder Bauten vorbelastete Flächen handelt.“*

Der Grundsatz, der unverändert aus dem LROP 2012 übernommen wurde, wurde im Windenergieerlass des Jahres 2021 wie folgt konkretisiert:

„Vorbelastungen dieser Art finden sich gemäß Begründung zum LROP regelmäßig bei Waldflächen im Bereich von

- *Industrie- und Gewerbeflächen und -brachen,*
- *Bergbaufolgelandschaften (Halden, Zechengelände),*
- *erschöpften Rohstoffabbauflächen,*
- *abgeschlossenen Deponieflächen sowie*
- *sonstigen anthropogenen Ablagerungen und Aufschüttungen,*
- *Kraftwerksgeländen, Großsilos, Raffinerien usw.,*
- *aufgegebenen Gleisgruppen,*
- *Altlastenstandorten,*
- *Munitionsdepos, Munitionsabfüllanstalten, Bunkeranlagen und sonstigen Konversionsflächen,*
- *sonstigen infrastrukturell genutzten Sonderstandorten (z. B. Teststrecken, großflächigen Kreuzungsbauwerken).*
- *In besonderen Einzelfällen sind weitere Vorbelastungssituationen i. S. dieser Regelung denkbar.“¹⁰⁰*

Auch in anderen Bundesländern wie Sachsen-Anhalt, Mecklenburg-Vorpommern, Thüringen, Schleswig-Holstein, Hamburg und Bremen sind Windkraftwerke im Wald nicht oder nur sehr restriktiv vorgesehen.

Bild 48 und Bild 49 zeigen für Baden-Württemberg die gekappte Windleistungsdichte in 160 m und 200 m über Grund aus dem Energieatlas Baden-Württemberg und Bild 50 die Verteilung der Wälder in Baden-Württemberg. Die im Energieatlas gezeigten gekappten Windleistungsdichten sind für Windkraftstandorte im Wald und auf Bergen zu hoch (siehe Kapitel 5). Die Unterschiede zwischen Wald auf Bergen und z.B. landwirtschaftlichen Flächen in der Ebene oder in Landschaften mit geringeren Höhenunterschieden wie z.B. im Kraichgau sind deshalb in der Praxis kleiner als hier dargestellt. Dennoch sind die Karten für einen Vergleich geeignet.

¹⁰⁰ Ziff. 2.11 im Gem. RdErl. zur Planung und Genehmigung von Windenergieanlagen an Land v. 20.07.2021, Nds. MBl. Nr. 35/2021 S. 1398 (1401)

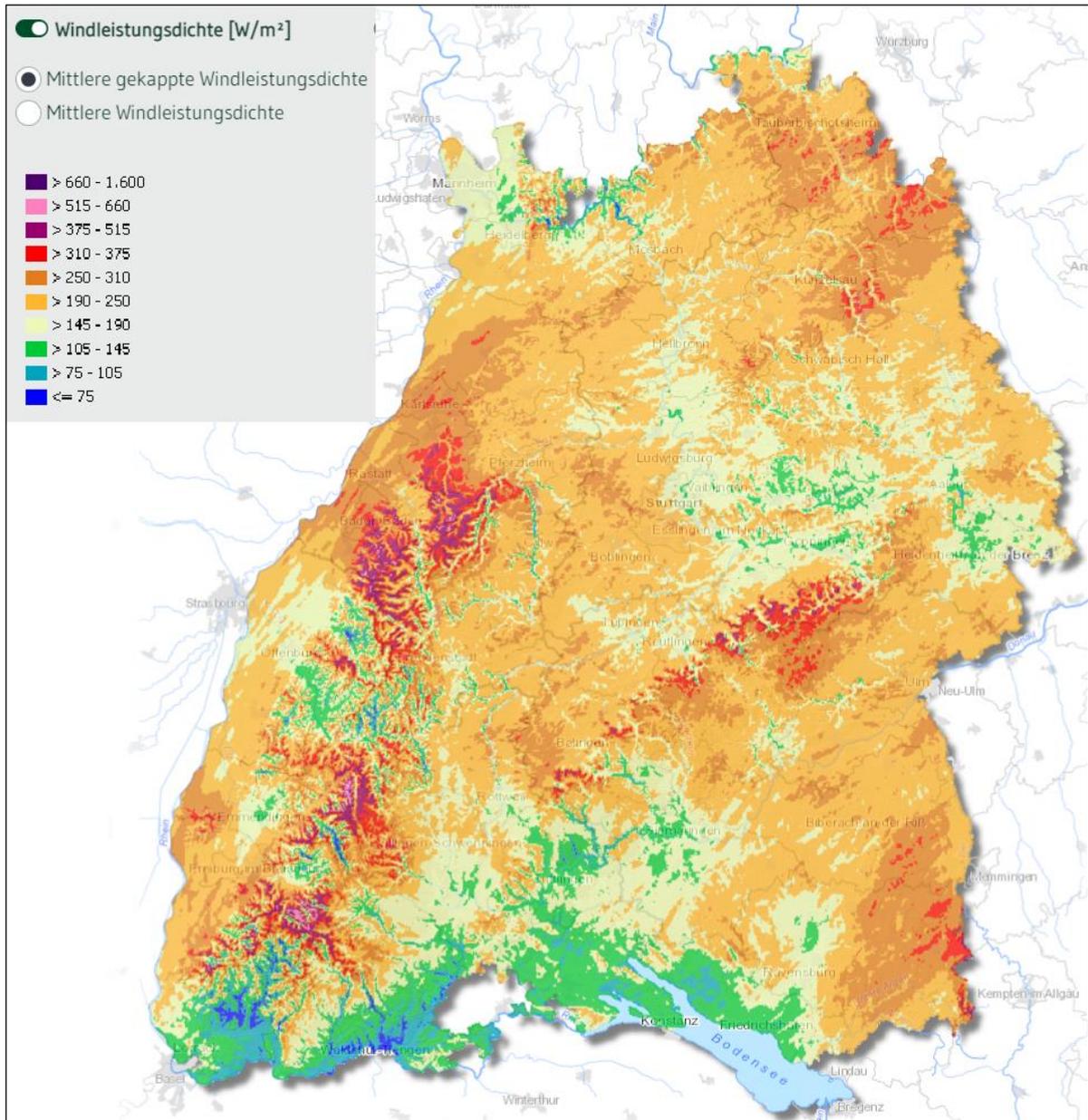


Bild 48: Gekappte Windleistungsdichte in Baden-Württemberg in 160 m Höhe⁴²

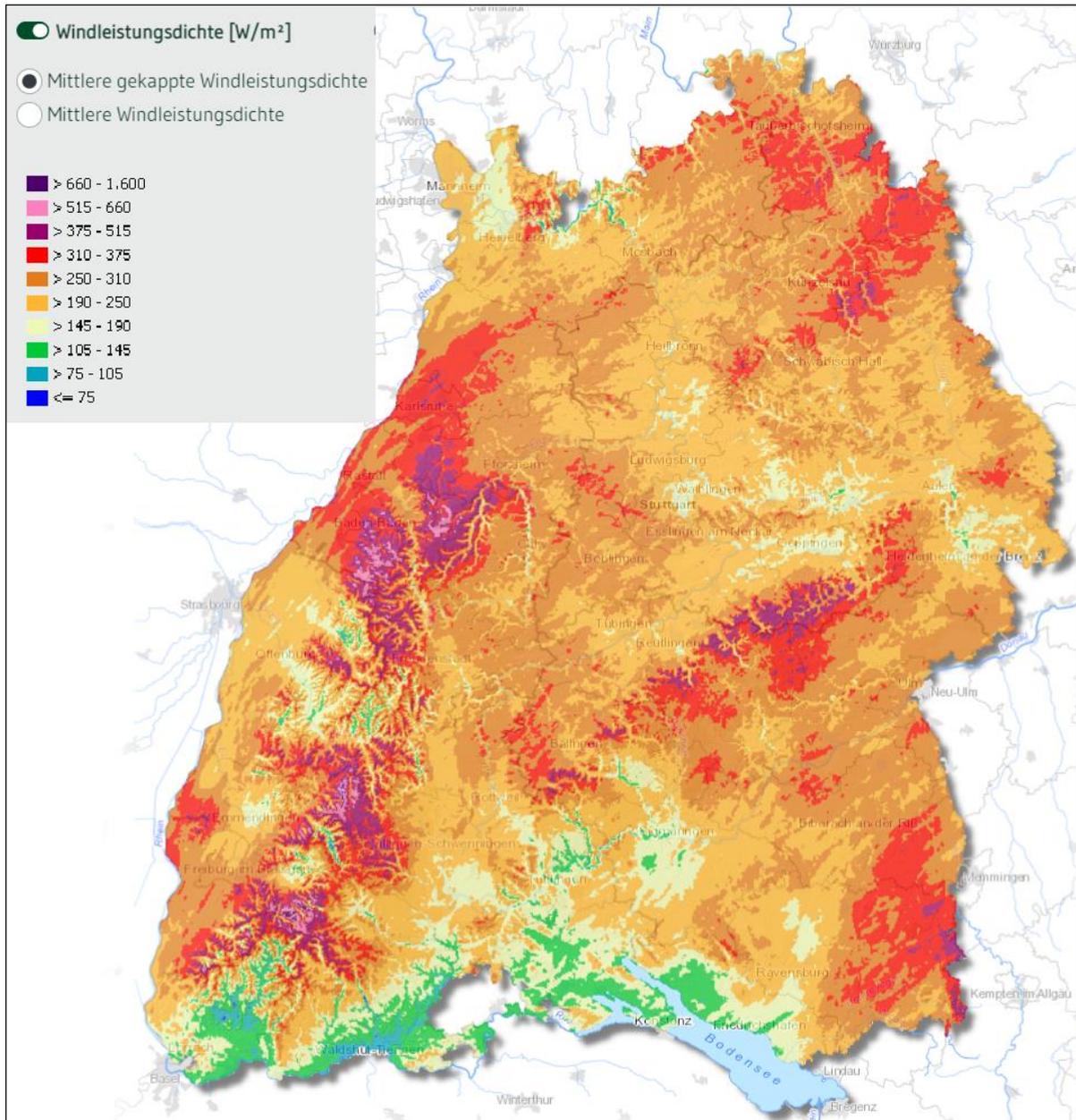


Bild 49: Gekappte Windleistungsdichte in Baden-Württemberg in 200 m Höhe⁴²

Ein Vergleich der 3 Bilder zeigt, dass in Baden-Württemberg große Flächen außerhalb von Wald ausreichende Windleistungsdichten aufweisen, die für Windkraftwerkstandorte genutzt werden könnten, z.B. im Rheintal oder im Kraichgau.



Bild 50: Wald in Baden-Württemberg¹⁰¹

¹⁰¹ Google Earth

7.2 Raumverträgliche Standorte für Windenergieanlagen

Von 2017 bis 2021 wurde in einem durch das Bundesamt für Naturschutz (BfN) mit Mitteln des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) geförderten umfassenden Forschungsprojekt „Naturverträgliche Energieversorgung aus 100 % erneuerbaren Energien 2050“ (EE100) der Universität Hannover, des Fraunhofer-Instituts für Energiewirtschaft und Energiesystemtechnik (IEE), des Instituts für Elektrische Energiesysteme (IfES), des Instituts für Wirtschaftsinformatik und der TU Berlin untersucht, wo in Deutschland zusätzliche Windkraftwerke ökonomisch sinnvoll und gleichzeitig natur- und menschenverträglich entwickelt werden können.¹⁰² Die umfangreichen Ergebnisdaten des Projekts sind als Shape Files verfügbar.¹⁰³ Sie wurden hier als Grundlage von Bild 51 bis Bild 56 auf den nächsten Seiten verwendet.

Im Vorwort des Ergebnisberichts schreibt das Bundesamt für Naturschutz:

„Der Schutz der biologischen Vielfalt und der Klimaschutz sind beides zusammen zentrale Handlungsfelder des Bundesamtes für Naturschutz (BfN). Mit den vorliegenden Ergebnissen zu naturschutzorientierten Szenarien für 2050 leistet das BfN einen Beitrag zur aktuellen Debatte über eine naturverträgliche Ausgestaltung der Energiewende.“

In der Zusammenfassung heißt es:

„Ein schneller und sektorenübergreifender Umbau der Energieversorgung hin zu erneuerbaren Energien (EE) ist ein zentrales Handlungsfeld, um bundesweite und internationale Klimaschutzziele zu erreichen. Dabei gilt es gleichzeitig den Ansprüchen der Menschen vor Ort gerecht zu werden. Eine ebenso dringende Herausforderung ist der Rückgang der biologischen Vielfalt, der bei der Umsetzung der Energiewende gleichrangig berücksichtigt werden muss.“

Das Projekt ermittelte in umfassenden Raumanalysen unter Berücksichtigung von technischen, wirtschaftlichen und ökologischen Kriterien 23 340 Potenzialflächen der Kategorie „geringer Raumwiderstand“ mit einer Gesamtfläche von 5 320 km² für Onshore-Windenergie. Die Flächen nehmen insgesamt 1,5 % der Fläche von Deutschland ein. Sie liegen praktisch alle außerhalb von Waldgebieten und geschützten Naturräumen. Nur in Einzelfällen wurden Waldstandorte aufgenommen, auf denen z.B. bereits Windkraftwerke errichtet wurden.

¹⁰² Julia Thiele, Julia Wiehe, Philip Gauglitz, Carsten Pape, Clemens Lohr, Astrid Bensmann, Richard HankeRauschenbach, Leonard Kluß, Lutz Hofmann, Tobias Kraschewski, Michael H. Breitner, Bernd Demuth, Eva Vayhinger, Stefan Heiland und Christina von Haaren „Konkretisierung von Ansatzpunkten einer naturverträglichen Ausgestaltung der Energiewende, mit Blick auf strategische Stellschrauben - Naturverträgliche Ausgestaltung der Energiewende“, 2021
www.bfn.de/sites/default/files/2021-09/Skript614.pdf

¹⁰³ <https://data.uni-hannover.de/dataset/dataset-areas-with-low-and-medium-spatial-vulnerability-to-a-prototype-wind-turbine>
Geobasisdaten: © GeoBasis-DE / BKG

Die Ergebnisse zeigen, dass mit den ermittelten Potenzialflächen der Kategorie „geringer Raumwiderstand“ der gesamte Strombedarf von 1 500 TWh im Jahr 2050 auf Bundesebene regenerativ und naturverträglich gedeckt werden könnte. Die hochaufgelösten Eingangsdaten ergeben ein bis zum Jahr 2050 raumverträglich erschließbares Potenzial von

- 884 TWh/a Windstrom On-Shore
- 139 TWh/a Windstrom Off-Shore und
- 937 TWh/a Photovoltaikstrom auf Dächern
- **1 960 TWh/a gesamt** (ohne Wasserkraft, Geothermie etc.)

Zusätzlich weist das Projekt 49 300 Potenzialflächen der Kategorie „mittlerer Raumwiderstand“ mit einer Gesamtfläche von 8 303 km² aus (zusätzlich 2,3% der Fläche Deutschlands). Auch diese Flächen befinden sich weitgehend außerhalb von Waldgebieten.

Die Studie legt außerdem dar, dass parallel zum Ausbau der regenerativen Energien der Nutzungsgrad der heutigen Energieverbräuche durch Abbau klimaschädlicher Subventionen und durch Internalisierung externer Kosten gesenkt werden muss.

Bild 51 bis Bild 56 zeigen als Beispiele die ermittelten Flächen zur Nutzung von Windenergie mit geringem und mittlerem Raumwiderstand, durch UPI eingebettet in die Grundlagenkarten von Google Earth für Deutschland, Baden-Württemberg, Nordbaden, den Großraum Heidelberg, Heidelberg und Nordhessen.

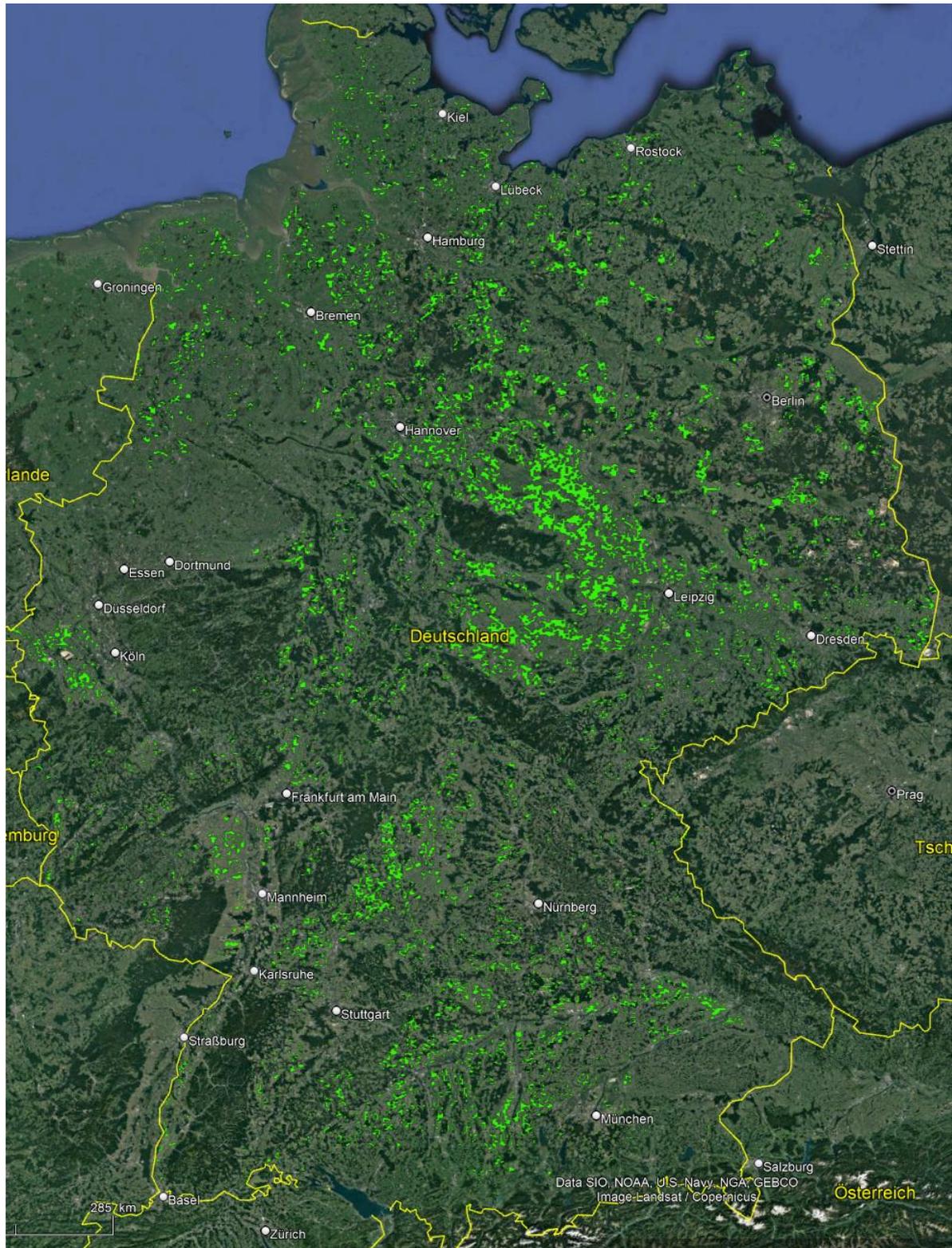


Bild 51: Flächen zur Nutzung von Windenergie mit geringem (hellgrün) Raumwiderstand in Deutschland, Ergebnisse aus ¹⁰² ₁₀₃

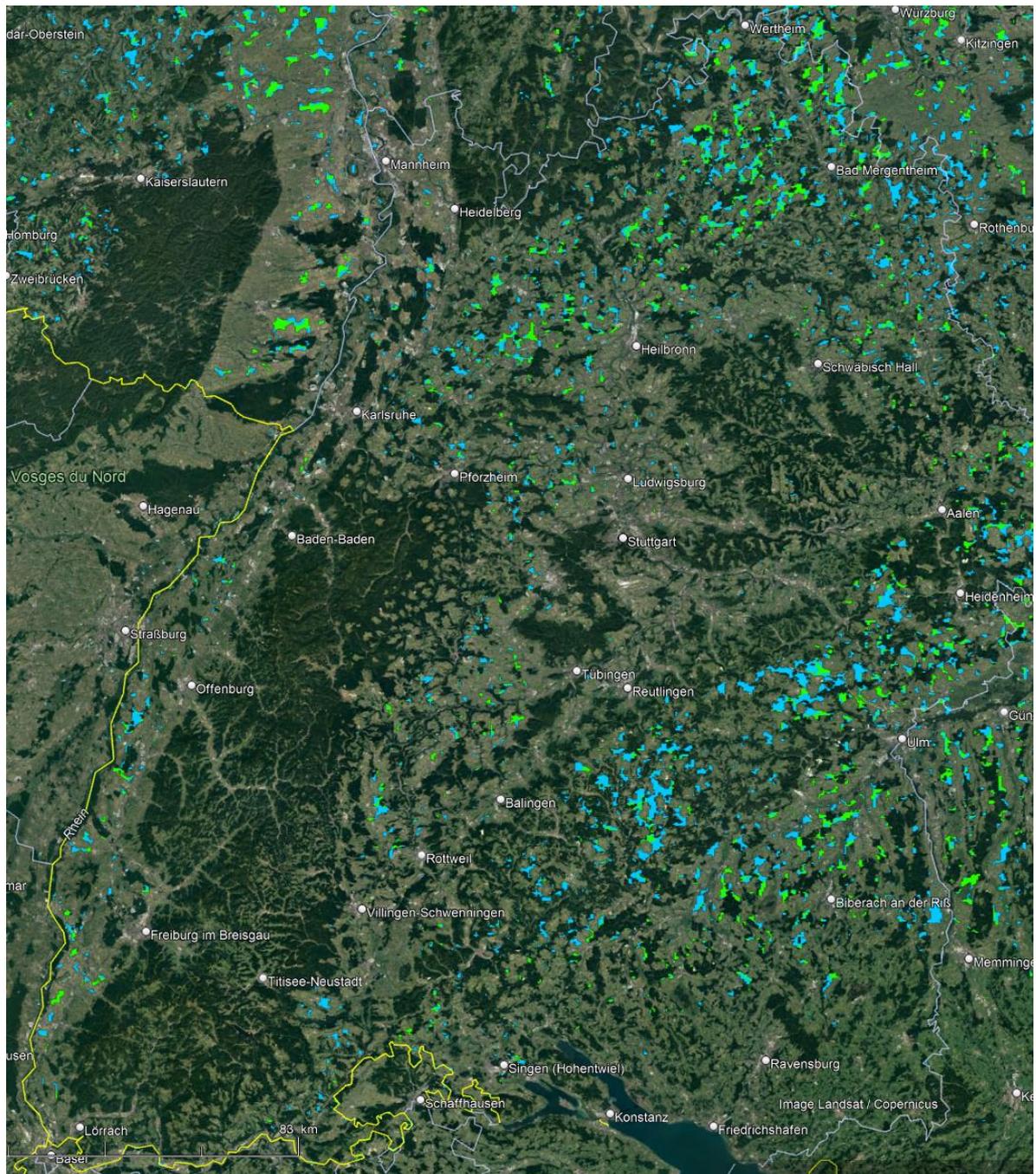


Bild 52: Flächen zur Nutzung von Windenergie mit geringem (hellgrün) und mittlerem (hellblau) Raumwiderstand in Baden-Württemberg, Ergebnisse aus ¹⁰² ₁₀₃

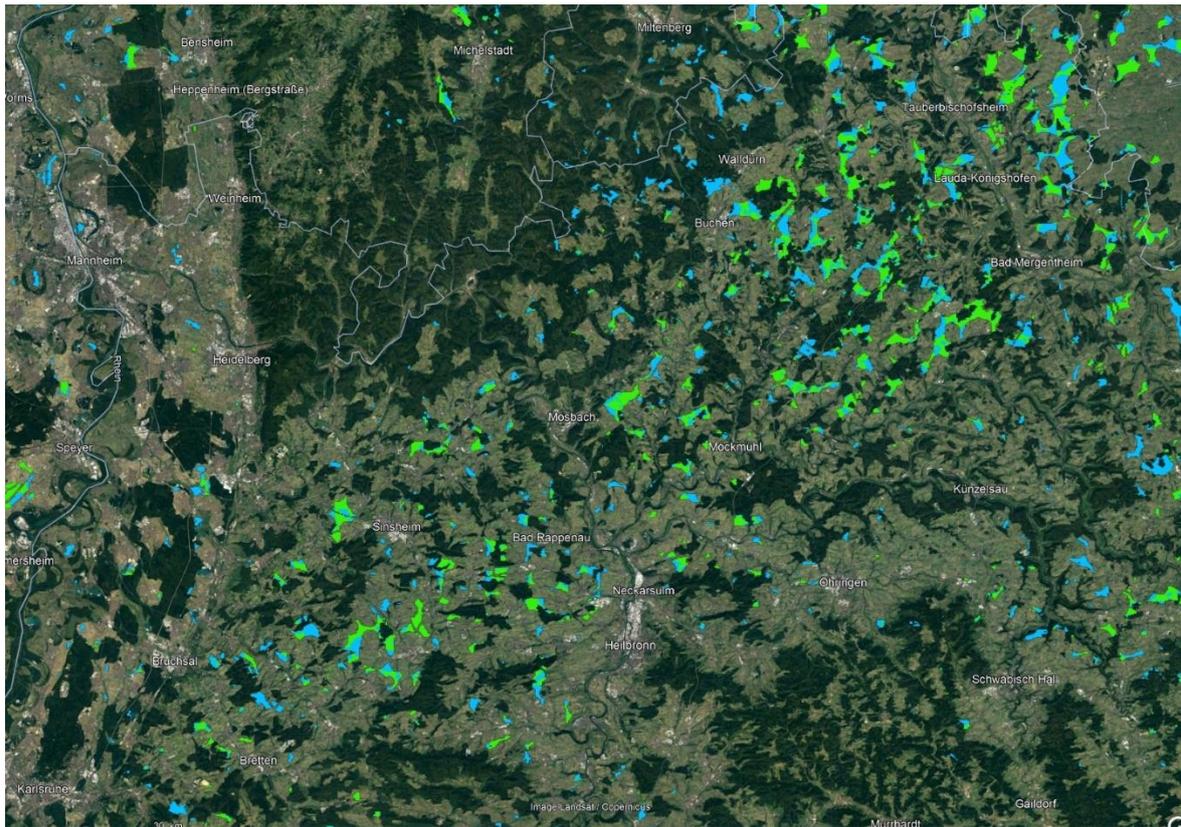


Bild 53: Flächen zur Nutzung von Windenergie mit geringem (hellgrün) und mittlerem (hellblau) Raumwiderstand in Nordbaden, Ergebnisse aus ¹⁰² ¹⁰³

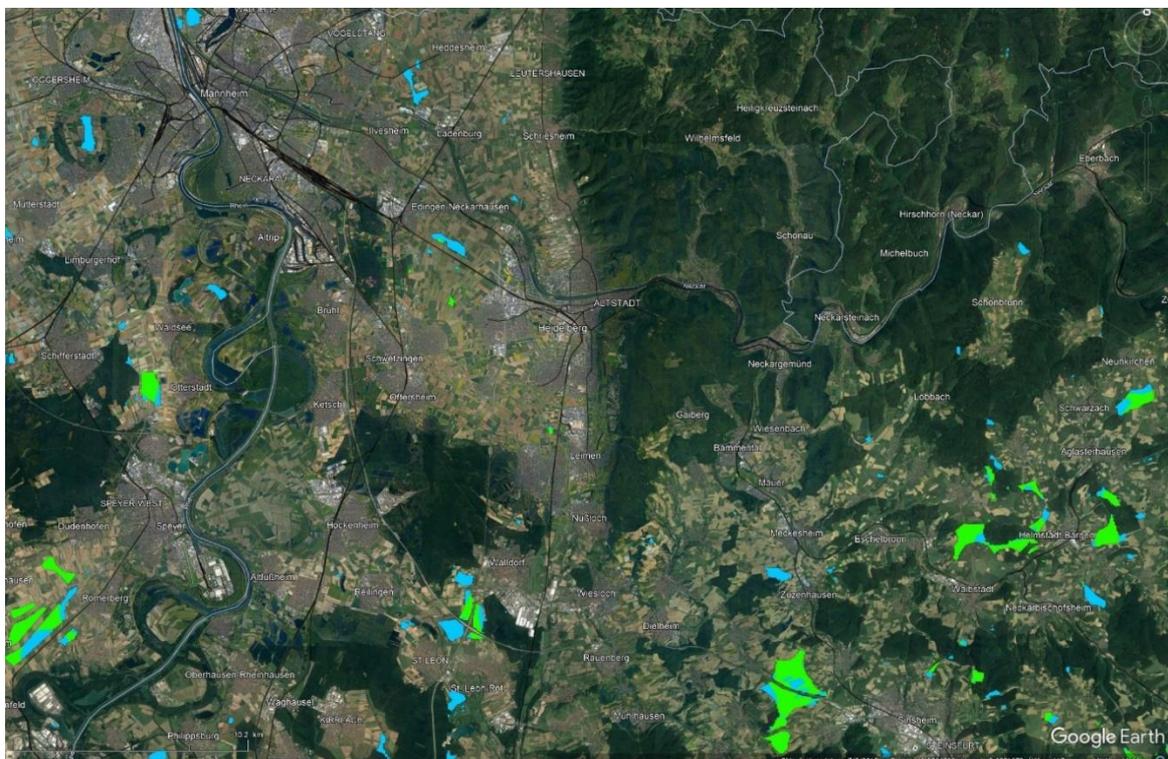


Bild 54: Flächen zur Nutzung von Windenergie mit geringem (hellgrün) und mittlerem (hellblau) Raumwiderstand im Großraum Heidelberg, Ergebnisse aus ¹⁰² ¹⁰³

In dem größten geschlossenen Waldgebiet Hessens, dem Reinhardswald (Bild 56), in dem das Land Hessen 18 Windkraftwerke plant, liegt keine der von dem BfN-Projekt empfohlenen Flächen mit geringem oder mittlerem Raumwiderstand. Das BfN empfiehlt dagegen zahlreiche Flächen westlich und östlich des Reinhardswalds zur Windenergienutzung.

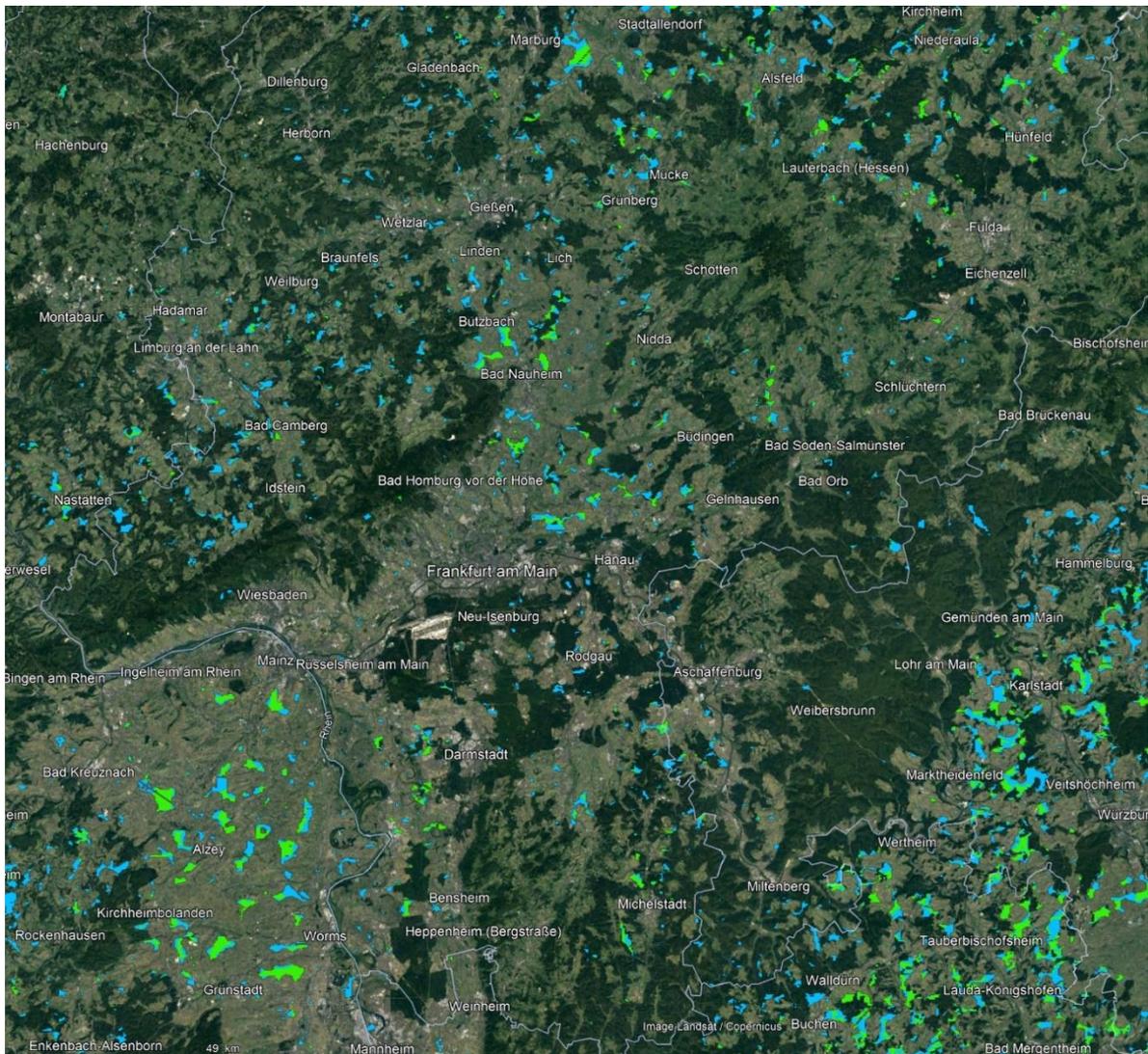


Bild 57: Flächen zur Nutzung von Windenergie mit geringem (hellgrün) und mittlerem (hellblau) Raumwiderstand in Mittel- und Südhessen, Ergebnisse aus ¹⁰² ¹⁰³

Auch Bayern will den Bau von Windkraftwerken deutlich intensivieren. Ähnlich wie in Baden-Württemberg und Hessen werden allerdings vor allem Planungen zum Bau von Windkraftwerken im Wald unternommen. Im Herbst 2022 wurde dazu die Errichtung von Windrädern im Wald baurechtlich erleichtert. Die Bayerischen Staatsforsten halten bis zu 500 weitere Windkraftwerke im Wald für möglich.¹⁰⁴ Bild 57 zeigt die Ergebnisse des BfN-Projekts für Bayern.

¹⁰⁴ Windräder im Wald: Staatsforsten planen Ausbau, Fränkische Landeszeitung, 14.3.2023

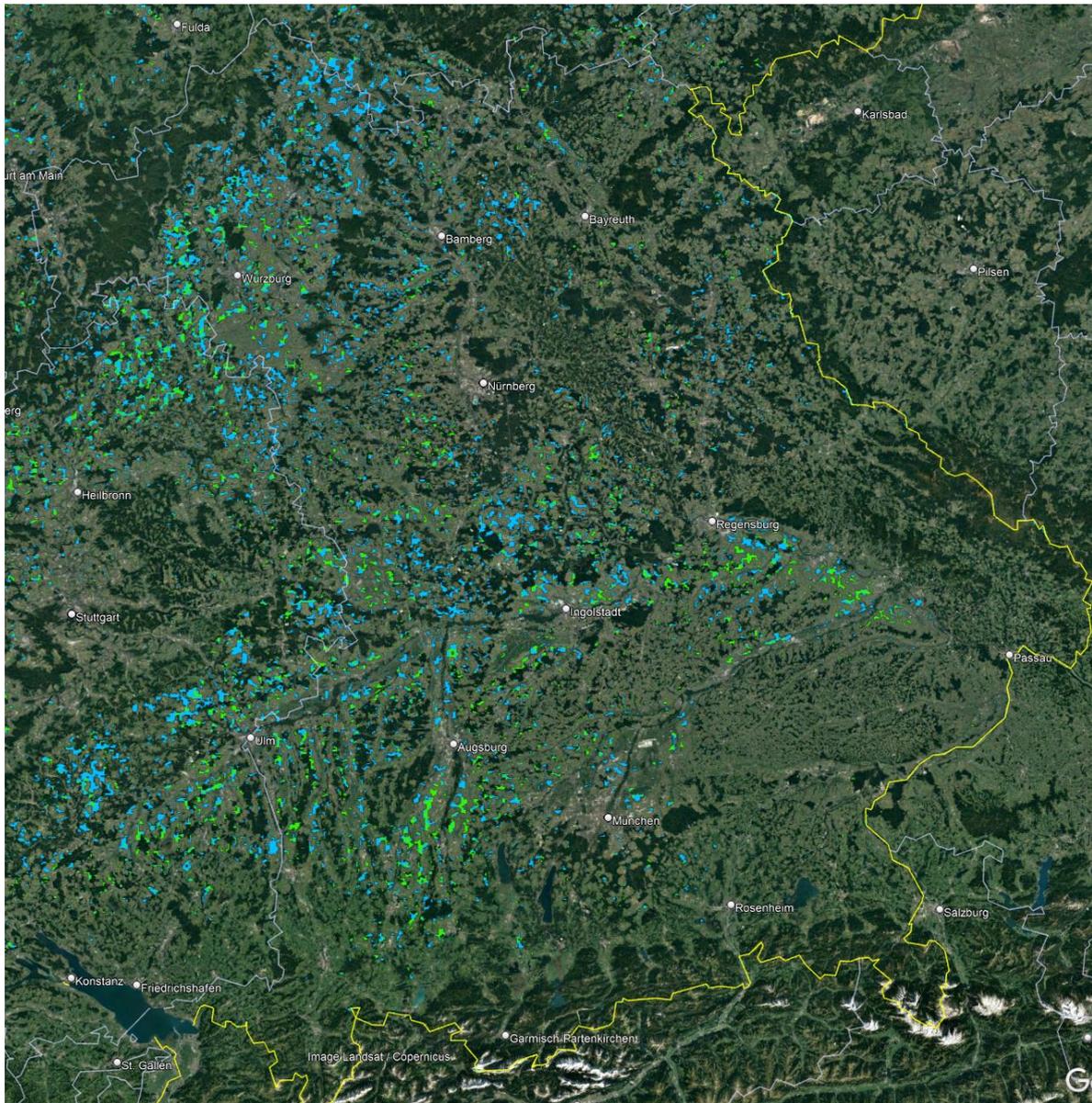


Bild 58: Flächen zur Nutzung von Windenergie mit geringem (hellgrün) und mittlerem (hellblau) Raumwiderstand in Bayern, Ergebnisse aus ¹⁰² ¹⁰³

Die Ergebnisse dieses umfangreichen Projekts des Bundesamts für Naturschutz zur raumverträglichen Nutzung von Windenergie werden in der Politik der Länder Baden-Württemberg, Hessen und Bayern bisher nicht berücksichtigt.

Das Argument, Windkraftwerke müssten zunehmend im Wald und in Schutzgebieten gebaut werden, da unbewaldete Standorte immer weniger würden, ist nicht stichhaltig. Der Hauptgrund ist der Sachverhalt, dass mit den Landesforstverwaltungen den jeweiligen Landesregierungen direkt unterstehende Behörden existieren, die leichten Zugriff auf große Flächen haben (Anteile Staatswald an der Landesfläche z.B. in Hessen 16,3%, Baden-Württemberg 9,0%, Bayern 10,7%). Demgegenüber ist die Ausweisung von Windpotenzialflächen auf landwirtschaftlichen oder anderen Flächen etwas schwieriger.

7.3 Wirksame Klimapolitik notwendig

Es fällt auf, dass die Klimapolitik von Bund und Land bisher sehr ineffektiv vorgeht. Der Schwerpunkt der Politik liegt vor allem auf eindimensionalen Maßnahmen wie einem bloßen Austausch der Energieerzeugung oder des Antriebs von Autos. In der Verkehrspolitik herrscht die Meinung vor, dass eine Förderung von Alternativen zum Auto genüge, um eine Verkehrswende zu realisieren und den hohen Energieverbrauch und die Ineffizienz des Verkehrssystems zu ändern. In der Verkehrswissenschaft dagegen ist seit langem klar, dass im Verkehr nur Push- und Pull-Maßnahmen gemeinsam etwas bewirken können. Gut zusammengefasst hat dies z.B. Prof. Dr.-Ing. J. Gerlach, Universität Wuppertal, im November 2022 in der Zeitschrift „Straße und Autobahn“ der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e.V.:¹⁰⁵

„Die Umsetzung der bisher geplanten Maßnahmen reicht nicht aus. Der Verkehrssektor wird unter Zugrundelegung der bisher geplanten Maßnahmen die gesetzlich verankerten Ziele der THG-Emissionsreduzierung verfehlen. Es sind insofern weitere Maßnahmen auf allen Ebenen zu planen und umzusetzen. Die Klimaschutzziele lassen sich bei weitem nicht allein durch Anstieg der Zulassung batterieelektrischer Fahrzeuge erreichen. ‚Push‘-Maßnahmen, welche die Nutzung von KFZ einschränken, können besonders hohe Emissionsminderungen erreichen. Für keine der ‚Pull‘-Maßnahmen, die die Nutzung klimafreundlicher Mobilitätsformen anreizen, wird eine ähnlich hohe Minderungsleistung erwartet, wie für besonders wirksame ‚Push‘-Maßnahmen.“

Die meisten der untersuchten Maßnahmen und Konzepte zeigen neben dem positiven Klimaeffekt auch andere positive und erwünschte Folgen. (Tabelle 3)

Klimaschutz-Maßnahme	positive Nebenwirkungen außer Klimaschutz
Abbau umweltschädlicher Subventionen	Verringerung von Flächenverbrauch, Schadstoffemissionen, Lärm, Ressourcenverbrauch und Verschuldung
Reduktion Autoverkehr	Verringerung von Flächenverbrauch, Schadstoffemissionen, Lärm, Ressourcenverbrauch und Unfallrisiken und deren volkswirtschaftlichen Kosten
Förderung Öko-Landwirtschaft	Verringerung von Ressourcenverbrauch, Grundwasserbelastung; Verbesserung von Gesundheit, Biodiversität und Klimaresilienz der Landwirtschaft
Erhöhung Humusgehalt Waldböden	Verbesserung von Biodiversität, Wasserhaushalt und Klimaresilienz der Wälder
Erhöhung Albedo	Besseres Stadtklima, geringere Hitzespitzen im Hochsommer

Tabelle 3: Wirkbereiche sinnvoller Kombinationsmaßnahmen im Klimaschutz

¹⁰⁵ Prof. Dr.-Ing. J. Gerlach, Neue Vorgaben und Standards zur Planung, zum Entwurf und zum Betrieb von Straßen, SRASSE UND AUTOBAHN, FGSV - Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e.V., November 2022, Heft 11, S. 976 - 987

Um wirksamen Klimaschutz betreiben zu können, ist zuvor ein durchdachtes und belastbares Konzept notwendig. Die Stadtverwaltung Heidelberg hatte im Jahr 2019 begonnen, ein solches Konzept zu erstellen. Es bestand aus 18 Maßnahmen, die meist nur aus einem Satz bestanden und die im November 2019 vom Gemeinderat beschlossen werden sollten. In der Sitzung des Bau- und Umweltausschusses am 22.10.2019 wurden diese durch Anträge der GRÜNEN, SPD und LINKEN auf 30 Maßnahmen ergänzt.¹⁰⁶ Das Ergebnis war ein aus 7 Seiten bestehender Klimaschutzaktionsplan, der vom Gemeinderat in der Sitzung vom 21.11.2019 mit großer Mehrheit beschlossen wurde.¹⁰⁷

Erst im Nachhinein wurden die Maßnahmen wissenschaftlich überprüft. Das ifeu-Institut für Energie- und Umweltforschung kam in der Analyse der Klimaschutzmaßnahmen im stationären Bereich zu dem Ergebnis, dass eine Umsetzung aller Maßnahmen die CO₂-Emissionen Heidelbergs lediglich um 7% reduzieren würde.^{108 109} Ein ähnliches Ergebnis zeigte die Analyse der Klimaschutzmaßnahmen im Mobilitätsbereich durch das UPI-Umwelt- und Prognose-Institut.^{110 111 112}

Eines der Ergebnisse war, dass die mit Abstand teuerste Maßnahme des Klimaschutzaktionsplans, ein Nulltarif im ÖPNV Heidelbergs, die CO₂-Emissionen Heidelbergs lediglich um 0,02% reduzieren könnte. Pro eingesparter Tonne CO₂ würde diese Maßnahme 190 000 Euro kosten, rund 1000-mal so viel wie viele andere Maßnahmen, die bisher nicht umgesetzt werden. Die wirksamste Maßnahme im Mobilitätsbereich, eine KFZ-Halter- oder -Nutzerabgabe würde dagegen rund 100-mal so viel CO₂-Einsparung bringen und dabei für die öffentliche Hand überhaupt keine Kosten, sondern im Gegenteil Einnahmen zwischen 18 und 38 Millionen Euro pro Jahr erzielen. Voraussetzung dafür wäre jedoch eine Gesetzesänderung, die die Landesregierung Baden-Württemberg zwar schon 2020 ankündigte¹¹³, aber bis heute (März 2023) nicht umgesetzt hat.

Insgesamt wäre es z.B. im Verkehrsbereich wesentlich preiswerter und schneller realisierbar, CO₂-Emissionen zu reduzieren als durch den Bau neuer Kraftwerke oder im Wärmebereich.¹¹⁴ Im Bereich Verkehr könnten durch Push&Pull-Maßnahmen weitgehend selbstfinanzierend hohe CO₂-Reduktionen erzielt werden.

¹⁰⁶ Drucksache 0329/2019/BV
https://ww1.heidelberg.de/buergerinfo/vo0050.asp?_kvonr=26952

¹⁰⁷ Stadt Heidelberg, Klimaschutz-Aktionsplan, 2019

¹⁰⁸ ifeu, Quantifizierung von Maßnahmen des Klimaschutzaktionsplans Heidelberg - Für die quantifizierbaren Maßnahmen im stationären Bereich (ohne Verkehrsmaßnahmen), im Auftrag der Stadt Heidelberg, 2021

¹⁰⁹ [Rhein-Neckar Zeitung, Der Klimaschutzaktionsplan bringt deutlich weniger als erhofft](#), 23.6.2021

¹¹⁰ UPI, Klimaschutz-Aktionsplan der Stadt Heidelberg - Untersuchung der CO₂-Reduktionspotentiale der Mobilitätsmaßnahmen, im Auftrag der Stadt Heidelberg, 2021 www.upi-institut.de/upi85.pdf

¹¹¹ [Rhein-Neckar Zeitung, Heidelberger Aktionsplan verfehlt Klimaschutz-Ziele](#), 24.10.2021

¹¹² [Rhein-Neckar Zeitung, Muss die Stadt den Ferntourismus reduzieren?](#), 6.5.2022

¹¹³ https://ww1.heidelberg.de/buergerinfo/vo0050.asp?_kvonr=29925

¹¹⁴ Lange Planungs- und Genehmigungsverfahren bei neuen Windkraftwerken; bei Wärmeenergie: hohe Kosten, Fachkräftemangel, große Umbaumaßnahmen; Fördermaßnahmen werden durch Preissteigerungen kompensiert

8 Zusammenfassung

Die Reduktion der CO₂-Emissionen und der Aufbau einer umfassenden regenerativen Energieversorgung sind zentrale Aufgaben in den nächsten Jahren.

Windkraftwerke im Wald verursachen im Gegensatz zu Standorten auf landwirtschaftlichen Flächen oder an Straßen einen erheblichen Eingriff in Ökosysteme. Deshalb wurden zehn Alternativen zu Windkraftwerken im Wald untersucht, die bisher nicht umgesetzt werden. Die Ergebnisse wurden für eine Stadt am Beispiel Heidelbergs und für ein Land am Beispiel Baden-Württembergs berechnet. Die Studie ergab, dass es zahlreiche Möglichkeiten zur CO₂-Reduktion gibt, die effektiver und teilweise schneller zu realisieren wären als Windkraftwerke im Wald und die keine negativen ökologischen Auswirkungen hätten. Tabelle 4 zeigt die Ergebnisse für Heidelberg, Tabelle 5 für Baden-Württemberg.

Potenziale zur CO ₂ -Reduktion in Heidelberg	CO ₂ -Reduktion, t/Jahr	x-mal Unterschied WKW Höhe (Wald) zu Ebene	Kapitel	relevant für andere Städte/Regionen ?
Differenz Windkraftwerk im Odenwald statt Ebene	-700	1	6.1	Ja
Photovoltaik (PV) auf heutigen Flachdächern Unicampus NHF	-27 000	38	6.5	bei größeren Gewerbegebieten
PV auf 25% der geeigneten Dächer Heidelbergs ohne NHF	-30 000	43	6.5	Ja
Normal-PKW statt SUV auf Straßen Heidelbergs	-14 000	21	6.4	Ja
Reduktion Autoverkehr in Heidelberg um 10%	-30 000	43	6.4	Ja
Nulltarif ÖPNV in Heidelberg	-200	0,3	7.3	Ja
35% Öko-Landwirtschaft in HD	-1 000	1,4	6.8	abhängig von Agraranteil
Waldböden Heidelberg Humusgehalt +0,2%/a	-3 000	5	6.8	abhängig von Waldanteil
1,4% des abgeregelten Windstroms nach MRN*	-65 000*	93	6.6	Ja
umweltschädliche Subventionen -25%	-50 000	70	6.7	Ja
Summe	-245 000	350		

Tabelle 4: Bisher ungenutzte Möglichkeiten zur CO₂-Reduktion in Heidelberg ¹¹⁵

¹¹⁵ * Berechnung für MRN - Metropolregion Rhein-Neckar

Die Ergebnisse für Heidelberg werden jeweils mit dem Standortunterschied eines Windkraftwerks auf bewaldeten Höhen oder in der Ebene verglichen. Die Ergebnisse für Baden-Württemberg werden verglichen mit dem Unterschied von 500 Windkraftwerken im Wald, dem Ziel der Landesregierung, zu 500 Windkraftwerken in der Ebene.

Potenziale zur CO ₂ -Einsparung	CO ₂ -Reduktion in BaWü, t/Jahr	x-mal Unterschied 500 WKW Höhe zu Ebene	x-mal Ertragsunterschied 1 WKW Höhe zu Ebene	Kapitel
Differenz 500 WKW im Wald zu Ebene	-350 000	1	500	6.1
zusätzlich PV auf 20% der geeigneten Dächer BaWü's	-7 600 000	22	11 000	6.5
Normal-PKW statt SUV auf Straßen BaWü	-780 000	2,2	1 100	6.4
Reduktion KFZ-Verkehr in BaWü um 20%	-4 400 000	12,6	6 300	6.4
35% Öko-Landwirtschaft in BaWü	-270 000	0,8	400	6.8
Waldböden BaWü Humusgehalt +0,2%/a	-1 000 000	3	1 400	6.8
25% des abgeregelten Windstroms nach BaWü, Hessen u. Rhl-Pf.	-1 100 000	3	1 600	6.6
umweltschädliche Subventionen -25%	-3 600 000	10	5 100	6.7
Summe	-18 800 000	54	26 800	

Tabelle 5: Bisher ungenutzte Möglichkeiten zur CO₂-Reduktion in Baden-Württemberg

Bild 54 zeigt grafisch die untersuchten Möglichkeiten zur CO₂-Reduktion (blaue Balken) in Heidelberg im Vergleich zur Differenz der CO₂-Reduktion eines Windkraftwerks auf bewaldeten Odenwaldbergen und einem Windkraftwerk in der Ebene ohne Wald (rot). , Bild 60 die entsprechenden Ergebnisse für Baden-Württemberg verglichen mit der Standortdifferenz Berge-Ebene von 500 Windkraftwerken.

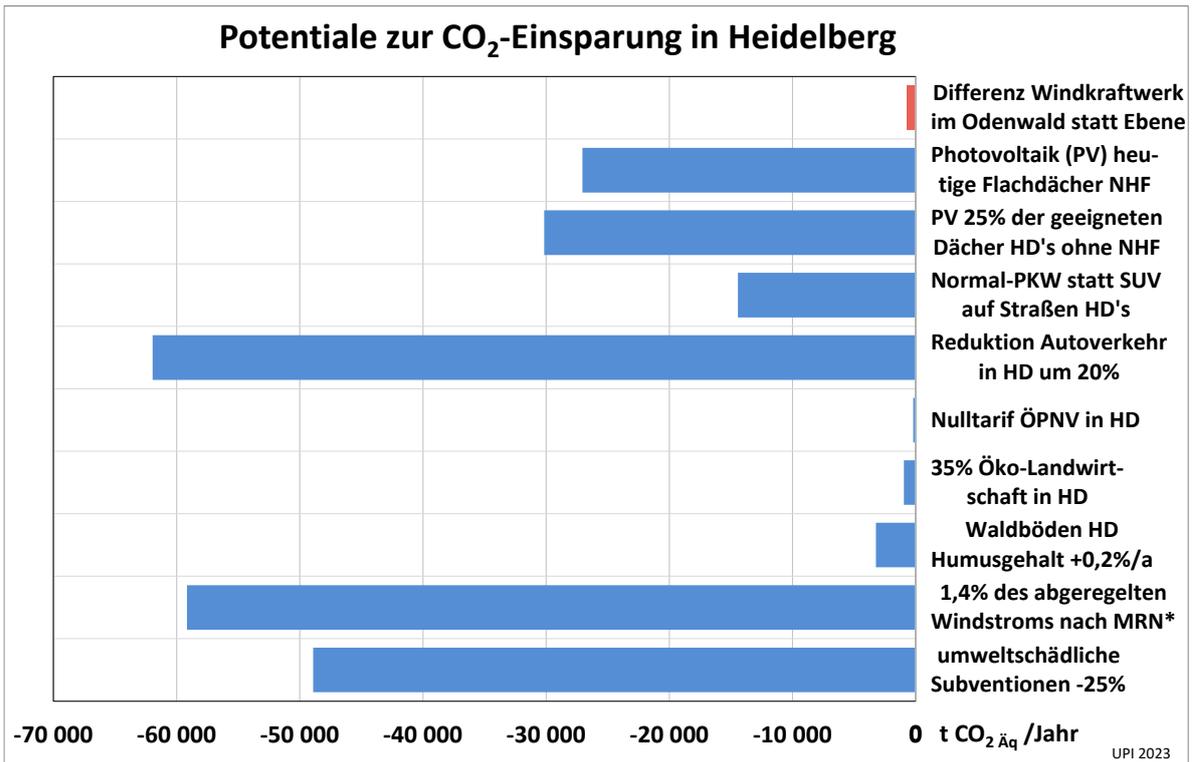


Bild 59: Vergleich von Möglichkeiten zur CO₂-Einsparung in Heidelberg ¹¹⁵

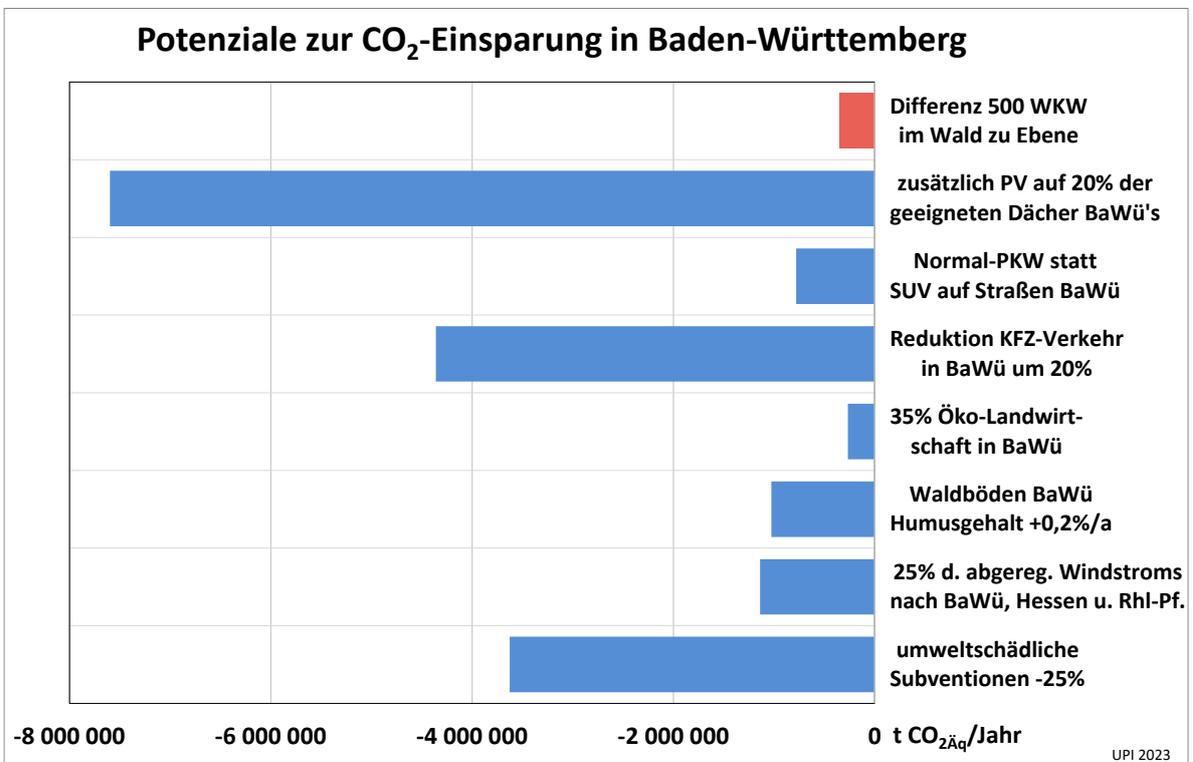


Bild 60: Vergleich von Möglichkeiten zur CO₂-Einsparung in Baden-Württemberg

Die Maßnahmen wurden für Heidelberg und Baden-Württemberg berechnet, sie sind aber auch auf andere Städte und Regionen übertragbar. Die Liste der untersuchten alternativen Maßnahmen ist nicht vollständig.

Die Umsetzung der berechneten Beispiele in Heidelberg würde die CO₂-Emissionen um 260 000 t CO₂ pro Jahr reduzieren. Das wäre 380-mal effektiver als der Bau eines Windkraftwerks im Odenwald im Vergleich zu einem Standort in der Ebene.

Auf Landesebene würde die Realisierung dieser zum Teil zwar beschlossenen, aber bisher nicht umgesetzten Maßnahmen die CO₂-Emissionen in Baden-Württemberg um 19 Millionen t pro Jahr verringern. Das ist 27 000 mal so viel wie der Unterschied eines Windkraftwerks auf bewaldeten Höhen zu einem Standort in der Ebene oder über 50 mal so effektiv wie der Plan der Landesregierung zum Bau von 500 Windkraftwerken im Wald an Stelle naturverträglicherer Standorte.

Die Ergebnisse zeigen, dass bereits mit einem kleinen Teil der untersuchten Alternativen die ökologischen Schäden durch Windkraftwerke im Wald vermieden werden könnten. Die Realisierung dieser Maßnahmen hätte neben dem Minderungseffekt auf Treibhausgase auch positive Auswirkungen auf andere Umweltbereiche.

Das Bundesamt für Naturschutz ermittelte in einem groß angelegten Projekt "Naturverträgliche Ausgestaltung der Energiewende" insgesamt 23 340 Potenzialflächen mit geringem Raumwiderstand für Windkraftwerke, die fast vollständig außerhalb von Waldgebieten liegen. (Kapitel [7.2](#)) Die Ergebnisse zeigen, dass so der gesamte zukünftige Strombedarf naturverträglich und weitgehend außerhalb von Wald- und Schutzgebieten regenerativ erzeugt werden kann.

Die Ergebnisse dieses Projekts zur raumverträglichen Nutzung von Windenergie werden in der Politik des Landes Baden-Württemberg wie auch der Länder Hessen und Bayern im Gegensatz z.B. zu Rheinland-Pfalz bisher nicht berücksichtigt.

Die Umstellung der Energieversorgung auf regenerative Energieformen ist zwingend nötig, um die Energieversorgung in Zukunft klimaneutral und krisensicherer zu gestalten. Wir sollten dabei aber nicht in ähnliche Fehler verfallen wie beim Aufbau der fossilen und nuklearen Energieversorgung vor vielen Jahrzehnten, als vor allem das Ziel der Energieversorgung verfolgt wurde und Nebeneffekte vernachlässigt oder untergeordnet wurden.

Es ist deshalb notwendig, in Zukunft klare Prioritäten zu setzen wie

1. An erster Stelle muss in allen Bereichen die bessere Nutzung und Einsparung von Energie stehen. Dabei dürfen auch Änderungen von Verhaltensgewohnheiten kein Tabu sein.
2. Priorität für Sonnenenergienutzung auf bebauten Flächen (Dächern, Lärmschutzwänden, Hauswänden etc.) statt in Naturräumen und auf landwirtschaftlichen Flächen

3. Priorität für Windkraftwerke auf landwirtschaftlichen Flächen, auf Industriebrachen oder in der Nähe von Verkehrsinfrastruktur statt Anlagen im Wald. Die in Kapitel 7.2 beschriebene Studie bietet dafür eine gute Grundlage.

Windenergie wird in Zukunft eine wichtige Rolle im Klimaschutz spielen müssen. Aufgabe der Politik und Verwaltung wird es sein, die Rahmenbedingungen so zu gestalten, dass beim Ausbau der Windenergie die ökologischen Schäden nicht größer werden als ihr Nutzen.

9 Bildverzeichnis

Bild 1: Untersuchte Konzentrationszonen für Windenergieanlagen in Heidelberg, Stand November 2015	3
Bild 2: Auszug aus der Planhinweiskarte Windenergie Region Rhein-Neckar 2022	4
Bild 3: WindPotenzialflächen im Bereich Münchel, Lärchengarten und Lammerskopf in Heidelberg und Schönau	5
Bild 4: Geplante hessische Windkraftwerksflächen an der Grenze zu Baden-Württemberg bei Heiligkreuzsteinach	6
Bild 5: Heutiger Waldweg entlang der 2015 geplanten Windenergievorrangfläche südlich des Weißen Steins in Heidelberg	9
Bild 6: Geländemodellierung für Windkraftwerk (3,3 MW _p) auf dem Gipfel des ursprünglich dicht bewaldeten Stillfüssels südlich Waldmichelbach	10
Bild 7: Wegebau und Geländemodellierung für Windkraftwerke auf dem Stillfüssel südlich Waldmichelbach	10
Bild 8: Dauerhaft gerodeter Wald für die Arbeitsfläche eines Windkraftwerkes auf dem Stillfüssel	11
Bild 9: „Ausgleichsmaßnahmen“ für ein Windkraftwerk auf dem Stillfüssel: abgestorbene Baumsetzlinge	11
Bild 10: Windkraftwerk (3 MW _p) auf ehemals bewaldeten Bergrücken „Greiner Eck“ östlich Schönau	13
Bild 11: Windkraftwerk auf ehemals bewaldeten Bergrücken „Greiner Eck“	13
Bild 12: Windkraftwerk auf dem „Greiner Eck“	14
Bild 13: Windkraftwerk auf dem „Greiner Eck“: Freihaltefläche	14
Bild 14: „Ausgleichsmaßnahmen“ Windkraftwerk auf dem „Greiner Eck“: abgestorbene Baumsetzlinge	15
Bild 15: „Ausgleichsmaßnahme“ Windkraftwerk auf dem „Greiner Eck“: Blick ins Innere der Kunststoffhülsen nach fünf Jahren	15
Bild 16: Im Jahr 2015 geplante Windenergie-Vorrangfläche Hoher Nistler	16

Bild 17: Gipfelbereich des Hohen Nistlers, der für ein Windkraftwerk eingeebnet werden müsste.....	16
Bild 18: Ab 15 m/s gekappte Windleistungsdichte (W/m^2) 160 m über Grund	22
Bild 19: Leistungskennlinie eines Windkraftwerks (Vestas V-150 4,2 MW _p) bei Standardluftdichte, aus ⁴²	23
Bild 20: Einfluss der Kappungsgrenze auf den Ertrag bei Standorten in der Ebene und auf Höhen.....	24
Bild 21: Mittlere meteorologische Umgebungsturbulenzintensität in 160 m Höhe	25
Bild 22: Vergleich des Ertrags von Windkraftwerken im Odenwald und in der Ebene	26
Bild 23: Mittlerer Rotordurchmesser je Inbetriebnahmejahr, aus , inzwischen gibt es Schwachwindanlagen mit 160 m Rotordurchmesser.....	27
Bild 24: Einfluss von Nabenhöhe und Rotorblattlänge auf den Stromertrag von Windkraftwerken in der Ebene	28
Bild 25: Stromgestehungskosten für erneuerbare Energien und konventionelle Kraftwerke an Standorten in Deutschland im Jahr 2021	28
Bild 26: Durchschnittlicher Strompreis Haushalte in ct/kWh, Grundpreis enthalten	29
Bild 27: Rheinland-Pfalz: Windkraftwerke in der Ebene statt im Wald, hier bei Landau.....	30
Bild 28: Windkraftwerke auf landwirtschaftlichen Flächen bei Biedesheim/Pfalz	31
Bild 29: Windkraftwerke bei Biedesheim/Pfalz	31
Bild 30: Windkraftwerk auf Acker bei Biedesheim/Pfalz	32
Bild 31: Windkraftwerke auf landwirtschaftlichen Flächen bei Bellheim/Pfalz	32
Bild 32: Windkraftwerke bei Offenbach an der Queich	33
Bild 33: Windkraftwerke in der Rheinebene auf landwirtschaftlichen Flächen bei Haßloch/Pfalz	33
Bild 34: Mäusebussard in der Rheinebene bei Offenbach an der Queich	34
Bild 35: Biotop des Naturschutzbundes (NABU) neben Windkraftwerken bei Herxheim/Landau in der Rheinebene.....	34
Bild 36: Windkraftwerke bei Biedesheim/Pfalz	35
Bild 37: Ortsbildprägende Windkraftwerke in Biedesheim/Pfalz	35
Bild 38: Windkraftwerk vor Donnersberg.....	36
Bild 39: Anteil regenerativer Energie am Energieverbrauch Deutschlands.....	37
Bild 40: Bedarf regenerativen Stroms für verschiedene Antriebsarten	39
Bild 41: Entwicklung der CO ₂ Äq-Emissionen in Deutschland in den letzten drei Jahrzehnten	40
Bild 42: Anteile von SUVs und Geländewagen an allen Neuzulassungen in Deutschland 1997 - 2022	41

Bild 43: Jährlich neu installierte Photovoltaikkapazität in Heidelberg	43
Bild 44: Ausfallarbeit verursacht durch Einspeisemanagementmaßnahmen	45
Bild 45: Regionale Verteilung der Ausfallarbeit im Jahr 2021 ⁷⁹	46
Bild 46: Abbau klimaschädlicher Subventionen: CO ₂ -Einsparpotential und Fiskalische Einnahmen (Quelle: FÖS).....	48
Bild 47: Zahl der Windkraftwerke in den Bundesländern 2022	52
Bild 48: Gekappte Windleistungsdichte in Baden-Württemberg in 160 m Höhe ⁴²	54
Bild 49: Gekappte Windleistungsdichte in Baden-Württemberg in 200 m Höhe ⁴²	55
Bild 50: Wald in Baden-Württemberg.....	56
Bild 51: Flächen zur Nutzung von Windenergie mit geringem (hellgrün) Raumwiderstand in Deutschland, Ergebnisse aus ^{102 103}	59
Bild 52: Flächen zur Nutzung von Windenergie mit geringem (hellgrün) und mittlerem (hellblau) Raumwiderstand in Baden-Württemberg, Ergebnisse aus ^{102 103}	60
Bild 53: Flächen zur Nutzung von Windenergie mit geringem (hellgrün) und mittlerem (hellblau) Raumwiderstand in Nordbaden, Ergebnisse aus ^{102 103}	61
Bild 54: Flächen zur Nutzung von Windenergie mit geringem (hellgrün) und mittlerem (hellblau) Raumwiderstand im Großraum Heidelberg, Ergebnisse aus ^{102 103}	61
Bild 55: Flächen zur Nutzung von Windenergie mit geringem (hellgrün) und mittlerem (hellblau) Raumwiderstand in Heidelberg, Ergebnisse aus ¹⁰²	62
Bild 56: Flächen zur Nutzung von Windenergie mit geringem (hellgrün) und mittlerem (hellblau) Raumwiderstand in Nordhessen, Ergebnisse aus ^{102 103}	62
Bild 57: Flächen zur Nutzung von Windenergie mit geringem (hellgrün) und mittlerem (hellblau) Raumwiderstand in Mittel- und Südhessen, Ergebnisse aus ^{102 103}	63
Bild 58: Flächen zur Nutzung von Windenergie mit geringem (hellgrün) und mittlerem (hellblau) Raumwiderstand in Bayern, Ergebnisse aus ^{102 103}	64
Bild 59: Vergleich von Möglichkeiten zur CO ₂ -Einsparung in Heidelberg ¹¹⁵	69
Bild 60: Vergleich von Möglichkeiten zur CO ₂ -Einsparung in Baden-Württemberg.....	69

10 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Windenergie in Deutschland 2021 ^{48 97}	21
Tabelle 2: Bedarf an Wind- und Solarstrom bei weiter hohem Energieverbrauch.....	38
Tabelle 3: Wirkungsbereiche sinnvoller Kombinationsmaßnahmen im Klimaschutz	65
Tabelle 4: Bisher ungenutzte Möglichkeiten zur CO ₂ -Reduktion in Heidelberg	67
Tabelle 5: Bisher ungenutzte Möglichkeiten zur CO ₂ -Reduktion in Baden-Württemberg...	68

