Windkraftwerke im Wald

Bewertung und Alternativen

Dieter Teufel
Sabine Arnold
Petra Bauer
Alexandra Shemberova

UPI-Bericht Nr. 88

März 2023
4. erw. Auflage
Januar 2024

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung 2
2 Änderungen der gesetzlichen Rahmenbedingungen für Windkraftwerke 2
2.1 Änderungen im Naturschutzrecht 3
3 Beispiel: Windenergieplanung in Heidelberg 8
4 Folgen von Windkraftwerken im Wald 11
4.1 Folgen für den Wald 11
4.2 Aspekt Grundwasser 24
4.3 Aspekte für Menschen 26
5 Ertrag von Windenergieanlagen 27
6 Alternativen zu Windkraftwerken im Wald 36
6.1 Ertragsunterschiede Höhe - Ebene 36
6.2 Beispiel Rheinland-Pfalz: Windkraftwerke in der Rheinebene 40
6.3 Sparen und bessere Nutzung von Energie 46
6.4 CO_2-Quelle Verkehr 51
6.5 Photovoltaik 53
6.6 Netzausbau 56
6.7 Abbau klimaschädlicher Subventionen 58
6.8 CO_2-Bindung in Böden 60
6.9 Erhöhung der Albedo 62
6.10 Tempolimit 63
6.11 Flugverkehr 63
7 Ausblick 65
7.1 Windenergiepolitik in Baden-Württemberg ökologisch nicht zielführend 65
7.2 Raumverträgliche Standorte für Windenergieanlagen 70
7.3 Wirksame Klimapolitik notwendig 79
8 Zusammenfassung 81
9 Bildverzeichnis 85
10 Tabellenverzeichnis 88

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. Seit nunmehr 27 Jahren liegen in Deutschland nach Berechnungen des Deutschen Wetterdienstes die Temperaturen im Sommer über dem Durchschnitt der Referenzperiode 1961 bis 1990, im Jahr 2023 um 2,3 Grad.[1] Klimaschutz ist 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 CO_2-Reduktion ?
- 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 CO_2-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 Änderungen der gesetzlichen Rahmenbedingungen für Windkraftwerke

Die Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien soll nach den Zielen der Bundesregierung bis 2030 verdoppelt werden. Dazu wurden in den letzten beiden Jahren mehrere Gesetze geändert, um die Planungs- und Genehmigungsverfahren zu beschleunigen und die notwendigen Flächen bereitzustellen.

Mit dem Windenergieflächenbedarfsgesetz[2], das am 1. Februar 2023 in Kraft getreten ist, wurden den Bundesländern Flächenziele für den Ausbau der Windenergie vorgegeben. Bis Ende 2032 müssen die Länder im Durchschnitt 2% der Fläche für die Windenergie ausweisen. In Baden-Württemberg liegt dieser Wert bei 1,8%. Die Erreichung dieser Flächenziele soll durch Ausweisung von Vorranggebieten für Windenergie in den Regionalplänen erfolgen, die bis spätestens 30. September 2025 erstellt werden müssen.

---

[1] www.dwd.de/DE/presse/pressemitteilungen/DE/2023/20230830_deutschlandwetter_sommer2023_news.html

[2] Gesetz zur Festlegung von Flächenbedarfen für Windenergieanlagen an Land (Windenergieflächenbedarfsgesetz - WindBG)

Bis zur Festlegung der Windvorranggebiete in Regionalplänen kann eine raumplanerische Steuerung neuer Windkraftanlagen nicht mehr stattfinden.

In Baden-Württemberg stellten BÜNDNIS 90/DIE GRÜNEN und CDU bereits im Koalitionsvertrag 2021-2026 das Ziel auf, in Baden-Württemberg 1 000 neue Windkraftanlagen zu bauen und dafür vor allem Flächen im Staatsforst zu verwenden.[3] Landwirtschaftsminister Peter Hauk (CDU) erläuterte im RNZ-Interview am 21.5.2021 dazu: "*Es wird keine Tabuzonen geben.*"[4] Allein im Staatswald sollen 500 Windkraftwerke gebaut werden.[5] [6] Zusammen mit Anlagen in Gemeindewald und Privatwald würde die überwiegende Zahl der geplanten Windkraftwerke im Wald gebaut werden.

Die im Jahr 2023 entwickelten Entwürfe von Regionalplänen zeigen, dass in einzelnen Regionen Baden-Württembergs der überwiegende Teil der Windvorranggebiete in Wäldern geplant wird. Ein Beispiel ist der Entwurf des Regionalverbands Bodensee-Oberschwaben, in dem 38 Vorranggebiete mit einer Fläche von 7 570 ha vor allem in Wäldern geplant werden, davon die meisten in bisherigen „*Vorranggebieten für besondere Waldfunktionen*“ und in „*Vorranggebieten für Naturschutz + Landschaftspflege*“.[7]

2.1 Änderungen im Naturschutzrecht

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-, FFH-Fauna-Flora-Habitat-Richtlinien und der Richtlinie zur Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP) zur artenschutzrechtlichen Prüfung außer Kraft gesetzt.

Durch Einfügung des §45b Abs.8 Nr.1 BNatSchG wurde der Betrieb von WEA als „*im überragenden öffentlichen Interesse*“ liegend definiert. Windkraftwerke können dadurch nun auch in Landschaftsschutzgebieten gebaut werden. Der neue § 45b BNatSchG enthält jetzt z.B. eine abschließende Liste mit nur 15 kollisionsgefährdeten Vogelarten (Anhang 1), 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 neuen Gesetz aufgelisteten. Es widerspricht außerdem dem Stand der Wissenschaft. Das „Helgoländer Papier“ der Länderarbeitsgemeinschaft der Vogelschutzwarten empfiehlt z.B. auf der Grundlage ornithologischer Studien Mindestabstände, mit deren Einhaltung artenschutzrechtliche

---

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

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

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

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

7 Regionalverband Bodensee-Oberschwaben, Fortschreibung des Regionalplans Bodensee-Oberschwaben, Teilregionalplan Energie: Flächenkulisse der geplanten Vorranggebiete für Standorte regionalbedeutsamer Windenergieanlagen (ENTWURF, Stand: 20.10.2023)

Konflikte in der Regel vermieden werden können.[8] Darin sind als windkraftsensible seltene Arten z.B. Schwarzstorch, Kranich, Wachtelkönig, Goldregenpfeifer, Waldschnepfe, Ziegenmelker, Wiedehopf, Auer-, Birk- und Haselhuhn, Bekassine, Uferschnepfe, Brachvogel und Kiebitz aufgeführt. Diese und andere Vogelarten müssen jetzt durch die Änderung des § 45b BNatSchG im Genehmigungsverfahren nicht mehr betrachtet werden.

Die Änderung des Bundesnaturschutzgesetzes am 7.7.2022 beinhaltet darüber hinaus 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.[9]

Durch Änderung des Bundesnaturschutzgesetzes am 8.12.2022 wurde in § 45b „Betrieb von Windenergieanlagen an Land“ festgelegt, dass zur Feststellung von Brutplätzen gefährdeter Vogelarten lediglich noch bereits vorhandene „*behördliche Kataster und behördliche Datenbanken heranzuziehen*“ sind, Kartierungen durch den Vorhabenträger sind nicht mehr erforderlich.

Abschaltmaßnahmen zum Schutz z.B. gefährdeter Vogel- oder Fledermausarten gelten jetzt „*als unzumutbar, soweit sie den Jahresenergieertrag verringern*

1. *um mehr als 8 % bei Standorten mit einem Gütefaktor[10] ... von 90 % oder mehr oder*
2. *im Übrigen um mehr als 6 %*.“

In § 45b Abs. 9 wurde eine noch niedrigere Zumutbarkeitsschwelle bestimmt:
„(9) Wird eine Ausnahme nach § 45 Absatz 7 Satz 1 bis 3 erteilt[11], dürfen daneben fachlich anerkannte Schutzmaßnahmen für die in Anlage 1 Abschnitt 1 genannten Brutvogelarten, die die Abschaltung von Windenergieanlagen betreffen, unter Berücksichtigung weiterer Schutzmaßnahmen auch für andere besonders geschützte Arten, nur angeordnet werden, soweit sie den Jahresenergieertrag verringern

1. *um mehr als 6 % bei Standorten mit einem Gütefaktor ... von 90 % oder mehr oder*
2. *im Übrigen um mehr als 4 %*.“[12]

---

8 Länderarbeitsgemeinschaft Vogelschutzwarten (2015), Abstandsempfehlungen für Windenergieanlagen zu bedeutsamen Vogellebensräumen sowie Brutplätzen ausgewählter Vogelarten (Stand April 2015), Ber. Vogelschutz 51(2014), S. 15 (18) www.vogelschutzwarten.de/downloads/lagvsw2015_abstand.pdf

9 Persönliche Erklärung nach § 31 GO der Abgeordneten Harald Ebner (Berichterstatter 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, Protokoll Deutscher Bundestag – 20. Wahlperiode – 47. Sitzung. 7. Juli 2022, Seite 5042ff https://dserver.bundestag.de/btp/20/20047.pdf#page=182

10 Standorte von Windkraftanalgen in Süddeutschland haben in der Regel einen Gütefaktor <90%

11 „*zur Abwendung … wirtschaftlicher Schäden*“

12 Siehe dazu auch: Zusammenfassender Überblick über Gesetzesänderungen 2022/23 www.rechtsanwalt-armin-brauns.de/windkraft/gesetzesaenderungen-2022-23/

Die Berechnung obliegt dem Betreiber. Der Schutz gefährdeter Tiere durch Abschaltmaßnahmen wird damit wirtschaftlichen Interessen untergeordnet.

Dies betrifft z.B. konkret den Schutz von Fledermäusen. Fledermäuse können abhängig vom Standort der Anlagen durch Windkraftwerke gefährdet werden. Der Große Abendsegler jagt z.B. im offenen Luftraum nach Insekten. Die Zwergfledermaus und die Rauhautfledermaus jagen z.B. entlang von Waldrändern und können dadurch entlang der breiten Wege und gerodeten Flächen in den Bereich der Windkraftwerke kommen. Die Rotorblätter drehen sich an den Spitzen mit einer Geschwindigkeit von 200 - 300 km/h. Bei Fledermäusen, die durch die Rotorfläche fliegen, können durch Luftdruckunterschiede die Lungen platzen. Andere Fledermausarten, die unterhalb der Baumkrone nach Nahrung suchen, sind wegen der Höhe der Anlagen zwar keinem erhöhten Schlagrisiko ausgesetzt, diese Arten halten aber über hunderte von Metern Abstand zu Windkraftanlagen, wodurch ihr Lebensraum verkleinert wird. Auch beim jährlichen Zug der Fledermäuse können diese in den Bereich von Windkraftwerken gelangen. Eine Untersuchung des Leibniz-Instituts für Zoo- und Wildtierforschung (IZW) schätzt, dass bis zu 200 000 Fledermäuse jährlich an deutschen Windenergieanlagen verunglücken. [13] [14] [15]

Eine Untersuchung der Auswirkungen der aktuellen Gesetzesänderungen auf den Bestand der Fledermäuse in Deutschland durch mehrere Institute und Institutionen kommt zu dem Ergebnis, dass die „*aktuellen Änderungen keine gute artenschutzfachliche Praxis zulassen und sich wahrscheinlich negativ auf die Fledermauspopulationen auswirken. Wälder sollten möglichst WEA-frei bleiben und Landschaftsschutzgebiete ausgeschlossen werden. Zu Schutzgebieten und Quartieren sollten mindestens 500 m Abstand gehalten werden, zu Hecken und Waldkanten 200 m. Vor der Ausweisung neuer Windenergie-Flächen müssen adäquate Artenschutzgutachten durchgeführt werden. Die fehlende Begutachtung der Lebensräume ist insbesondere in Wäldern fatal, da hier alle Fledermausarten zumindest durch Störung betroffen sein können*.“ [16] [17]

Nach dem Bundesnaturschutzgesetz müssen unvermeidbare Eingriffe in Natur und Landschaft durch Maßnahmen des Naturschutzes und der Landschaftspflege vom Verursacher immer ausgeglichen (Ausgleichsmaßnahmen) oder in sonstiger Weise kompensiert werden (Ersatzmaßnahmen). Oft wird bei Windenergieplanungen im Wald behauptet, der gerodete Wald würde an anderer Stelle wieder vollständig aufgeforstet.

---

13 Leibniz-Institut für Zoo- und Wildtierforschung (Leibniz-IZW), Windräder in Wäldern verdrängen Waldfledermäuse, Pressemitteilung 20.07.2022 www.izw-berlin.de/de/pressemitteilung/windraeder-in-waeldern-verdraengen-waldfledermaeuse.html

14 Ellerbrok J, Delius A, Peter F, Farwig N, Voigt CC (2022): Activity of forest specialist bats decreases towards wind turbines at forest sites. Journal of Applied Ecology. https://besjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/1365-2664.14249

15 https://taz.de/Wie-Windraeder-Fledermaeuse-bedrohen/!5846677/

16 Mathgen, X., Fritzsche, A., Arnold, A., Bach, L., Gager, Y., Harder, J., Knörnschild, M., Meyer, F., Porschien, B., Seebens-Hoyer, A., Starik, N., Straka, T., Fritze, M. (2024): Zeitenwende im Artenschutz – Aktuelle Gesetzesänderung versus wissenschaftliche Evidenzen beim Fledermausschutz und dem Ausbau der Windenergienutzung. Nyctalus 20 (3-4), S. 182-202 https://nyctalus.com/wp-content/uploads/2024/05/24_04_29-Nyctalus-Mathgen.pdf

17 www.faz.net/aktuell/gesellschaft/tiere/fledermaeuse-sterben-in-rotorblaettern-folgen-der-windkraft-19755870.html?sfnsn=scwspmo

Dies ist jedoch häufig nicht der Fall, u.a. da Flächen zur Umwandlung in Wald in den meisten Fällen fehlen. Deshalb wird als Ausgleichsmaßnahme z.B. der Umbau von Monokulturen in Mischwald in bestehendem Wald durchgeführt und als Ausgleichsmaßnahme angerechnet. Eine Umwandlung von Mono- in Mischwaldkulturen ist aber seit Jahrzehnten normale forstwirtschaftliche Praxis. Solche „Ausgleichsmaßnahmen“ führen deshalb zu keinem ökologischen Ausgleich, sondern lediglich zu einem ökonomischen Nutzen der Forstwirtschaft, die Kosten für normale forstliche Maßnahmen einspart.

Bisher war das Prinzip der Realkompensation vorherrschend; das bedeutet, dass die Beeinträchtigungen von Funktionen des Naturhaushaltes (Schutzgüter Boden, Wasser, Tiere/Pflanzen, Luft) so weit wie möglich gleichartig ausgeglichen oder gleichwertig ersetzt werden sollen. Daneben gab es auch bisher schon, allerdings nachrangig die finanzielle Kompensation über Ersatzgeldzahlungen.

Am 28.03.2023 beschloss die Bundesregierung in dem „Modernisierungspaket für Klimaschutz und Planungsbeschleunigung“, dass künftig der Ausgleich für Infrastrukturprojekte (inkl. Windkraftwerke und Photovoltaik im Freiland) auch allein durch entsprechende Geldzahlungen ermöglicht werden soll.

Eine noch stärkere Aushebelung des Umwelt-, Arten- und Naturschutzes erfolgte mit der Einfügung des § 6 WindBG (Windenergieflächenbedarfsgesetzes) am 29.7.2023.

Danach ist keine Umweltverträglichkeitsprüfung nach dem UVPG (Gesetz über die Umweltverträglichkeitsprüfung) mehr notwendig, wenn

- die Anlagen in einem Windgebiet geplant werden
- für dieses Windgebiet eine „*strategische Umweltprüfung* (SUP)“ gemacht wurde
- Die Prüfungstiefe der SUP ist jedoch egal ! Das Gesetz erfordert lediglich formal das Vorliegen einer SUP, ohne irgendwelche Anforderungen an die SUP zu stellen. In welcher Art und mit welcher Tiefe z.B. der Artenschutzrecht bei der Planausweisung geprüft wurde, ist für die Anwendbarkeit des § 6 WindBG belanglos.
- Bei Vorhaben, die nach § 6 WindBG geführt werden, ist im Genehmigungsverfahren keine artenschutzrechtliche Prüfung nach § 44 Absatz 1 BNatSchG mehr durchzuführen.
- Das Windenergiegebiet muss dabei noch nicht einmal zur Antragsstellung bestehen, es kann auch später (Zeitpunkt der Genehmigung) ausgewiesen werden.
- Falls das Genehmigungsverfahren bereits vor Ausweisung des Windgebiets abgeschlossen wurde, kann das Verfahren mit Zustimmung des Antragstellers bis zur Wirksamkeit des Plans ruhend gestellt werden.
- Eine Versagung der Genehmigung in einem Vorranggebiet aufgrund des Artenschutzrechts (§§ 44 ff. BNatSchG) ist seit 2023 nicht mehr möglich. Für die Genehmigungsbehörde sind nur noch Auflagen möglich.
- Bei Auflagen hat die Behörde dabei ausschließlich auf vorhandene Daten zurückzugreifen. Liegen keine Daten vor, können keine Auflagen erteilt werden.

- Werden Auflagen erteilt, dürfen diese (wie oben beschrieben) nach dem zuvor eingefügten §44 Absatz 1 Nummer 1 BNatSchG den Jahresertrag der Anlage höchstens um 6% mindern. (In Starkwindgebieten um maximal 8%).
- Sind bei Energieanlagen im Wald keine Flächen für Ausgleichsmaßnahmen vorhanden, ist dies kein Problem. In diesem Fall werden keine Ausgleichsmaßnahmen angeordnet. Dabei reicht es aus, wenn der Antragsteller nachvollziehbar darlegt, dass er sich bemüht hat, Flächen zu sichern. Nicht angeordnete Ausgleichsmaßnahmen können vollständig durch (niedrige) Geldzahlungen ersetzt werden.

Damit werden sich Genehmigungsverfahren in Zukunft völlig anders vollziehen als bei bestehenden Anlagen, die Politikern und Öffentlichkeit oft als Vorbild und Beispiel für neu geplante Anlagen vorgestellt werden.

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 neue Regelungen vor.[18] 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*.“

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% der weltweiten Land- und Meeresflächen bis 2030 unter Schutz zu stellen.[19] Die EU übernahm das Ziel, bis zum Jahr 2030 30% ihrer Fläche als Schutzgebiete auszuweisen, 10% sollen streng geschützt sein. Die Fläche, die in den einzelnen Ländern streng geschützt ist, variiert stark. In Luxemburg sind es über 36%, in Deutschland lediglich 0,6%.[20] [21]

Am 20. September 2023 entschied der Europäische Gerichtshof (EuGH), dass Deutschland zu wenige Schutzgebiete ausgewiesen und für einen Großteil der ausgewiesenen Gebiete zu wenige oder zu unpräzise Erhaltungsziele festgelegt hat. Der EuGH gab damit einer Klage der EU-Kommission gegen die Bundesrepublik teilweise statt. Deutschland

---

18 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/

19 Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (BMUV) : Weltnaturkonferenz CBD COP 15 www.bmuv.de/weltnaturkonferenz-cbd-cop-15

20 Gatti, R. et al., Analysing the distribution of strictly protected areas toward the EU2030 target, Biodiversity and Conservation (2023) 32:3157–3174 https://link.springer.com/article/10.1007/s10531-023-02644-5

21 www.wissenschaft.de/erde-umwelt/eu-koennte-naturschutzziele-verfehlen/

habe 88 Gebiete nicht als besondere Schutzgebiete ausgewiesen und für 737 von 4.606 Schutzgebieten nicht die nötigen Erhaltungsmaßnahmen festgelegt, urteilten die Richter.[22]

In einem Rechtsgutachten für den NABU stellt Rechtsanwalt Thorsten Deppner fest, dass mehrere der im Vierten Gesetz zur Änderung des Bundesnaturschutzgesetzes vom 20.07.2022 vorgenommenen Änderungen im deutschen Naturschutzrecht mit der EU-Rechtslage nicht vereinbar sind.[23]

3 Beispiel: Windenergieplanung in Heidelberg

Im Januar 2023 wurden Pläne bekannt, dass das Land im Wald im Gebiet Lammerskopf auf einer Fläche von 600 Hektar[24] eine erste große Fläche für Windkraftwerke auf Heidelberger und Schönauer Gemarkung plant.[25] (Bild 1) Die Fläche liegt größtenteils in einem bisher durch EU-Recht geschützten Natura-2000-FFH-Gebiet.

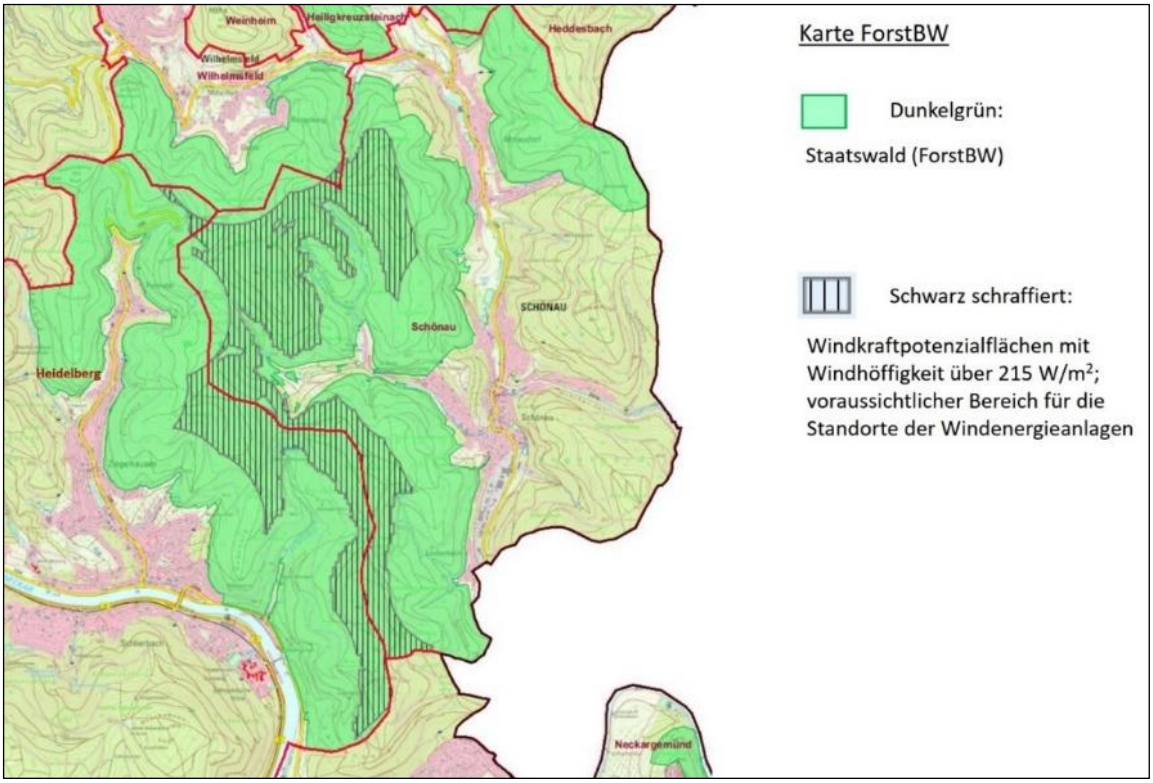

Bild 1: Windkraftpotenzialflächen im Bereich Münchel, Ochsenlager, Lärchengarten und Lammerskopf in Heidelberg und Schönau, ForstBW

22 EuGH: Deutschland verstößt teilweise gegen EU-Naturschutzvorgaben, Handelsblatt, 21.9.2023

23 Unionsrechtliche Bedenken gegenüber den deutschen Neuregelungen zum Artenschutz bei Windenergieanlagen an Land (§ 45b BNatSchG), März 2023 www.nabu.de/imperia/md/content/nabude/energie/230418-nabu_rechtsgutachten_osterpaket_artenschutz_eu.pdf

24 600 ha = 6 Millionen Quadratmeter = 6 Quadratkilometer

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

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:[26] „*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 ebenso wie in Baden-Württemberg vornehmlich im Wald gebaut werden sollen.

Bild 2 zeigt als Beispiel mögliche Standorte im Bereich Großer Adlerstein östlich Heiligkreuzsteinach. Dieses Areal besteht aus naturnahen, wenig gestörten Wäldern.

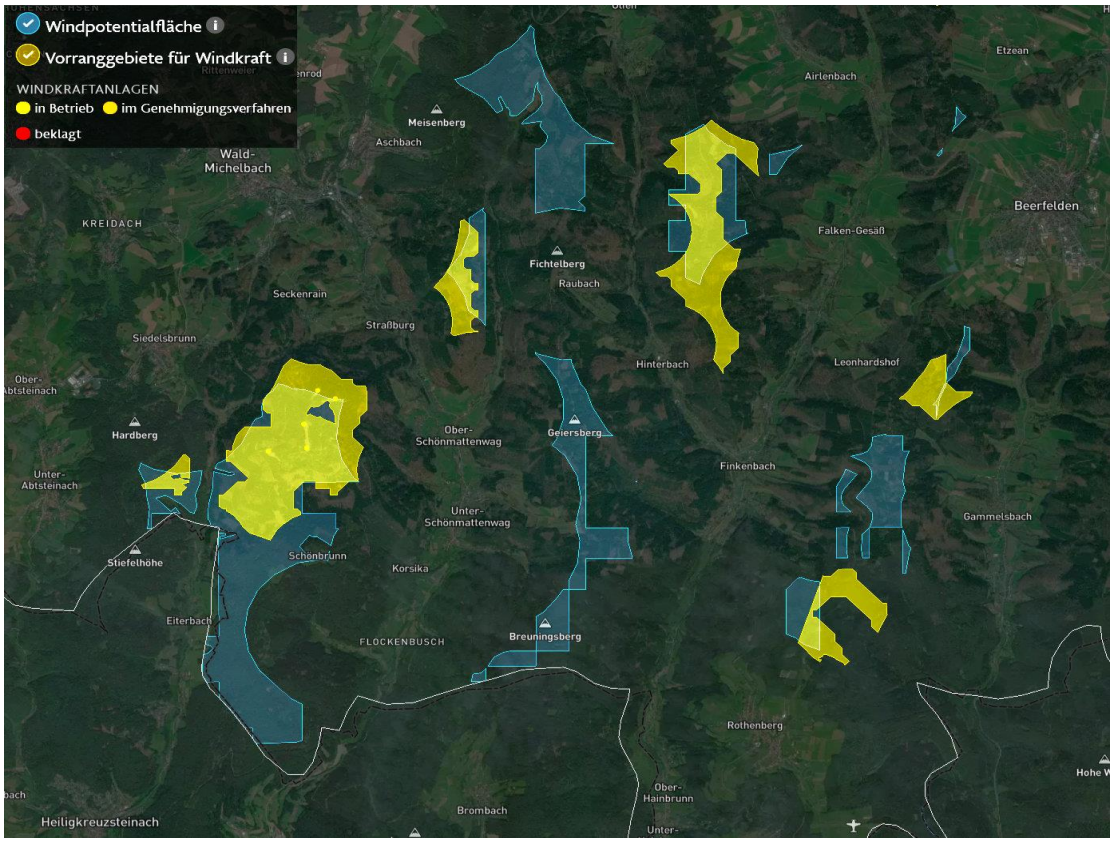

Bild 2: Geplante hessische Windkraftwerksflächen an der Grenze zu Baden-Württemberg bei Heiligkreuzsteinach [27]

Die Waldregion Lammerskopf z.B., die von ForstBW für den Bau von 10 - 15 Windkraftwerken ausgewählt wurde, war bereits 2015 vom Nachbarschaftsverband Heidelberg-

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

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

Mannheim und durch die zuständigen Ämter der Stadt Heidelberg für die Eignung für Windkraftwerke geprüft worden. Das damalige Ergebnis lautete:

„*Schutzgebiete: Die Fläche liegt innerhalb des Landschaftsschutzgebiets Bergstraße-Mitte und ist Teil des Naturparks Bergstraße-Odenwald. Sie schneidet zwei aneinander-grenzende FFH-Gebiete mit großflächigen Bereichen, die aufgrund des Lebensraumtyps Wald eine erhebliche Beeinträchtigung bei Nutzung der Windkraft erwarten lassen, weshalb diese für WEA nicht zur Verfügung stehen.*
Im östlichen Teilbereich befindet sich kleinflächig ein ausgewiesener Bodenschutzwald. Der südliche und mittlere Bereich ist als Wasserschutzzone III ausgewiesen. Die Fläche liegt vollflächig in einem ausgewiesenen Immissions- und Klimaschutzwald.

Gesetzl. geschützte Biotope: Nördlich, auf Schönauer Gemarkung grenzt ein großflächiges gesetzlich geschütztes Biotop an. Geringfügig ragt ein gesetzlich geschütztes Biotop im mittleren Bereich in die Fläche hinein. Im Bereich des Lärchengartens liegen zwei gelistete Naturdenkmale innerhalb der Fläche.“[28]

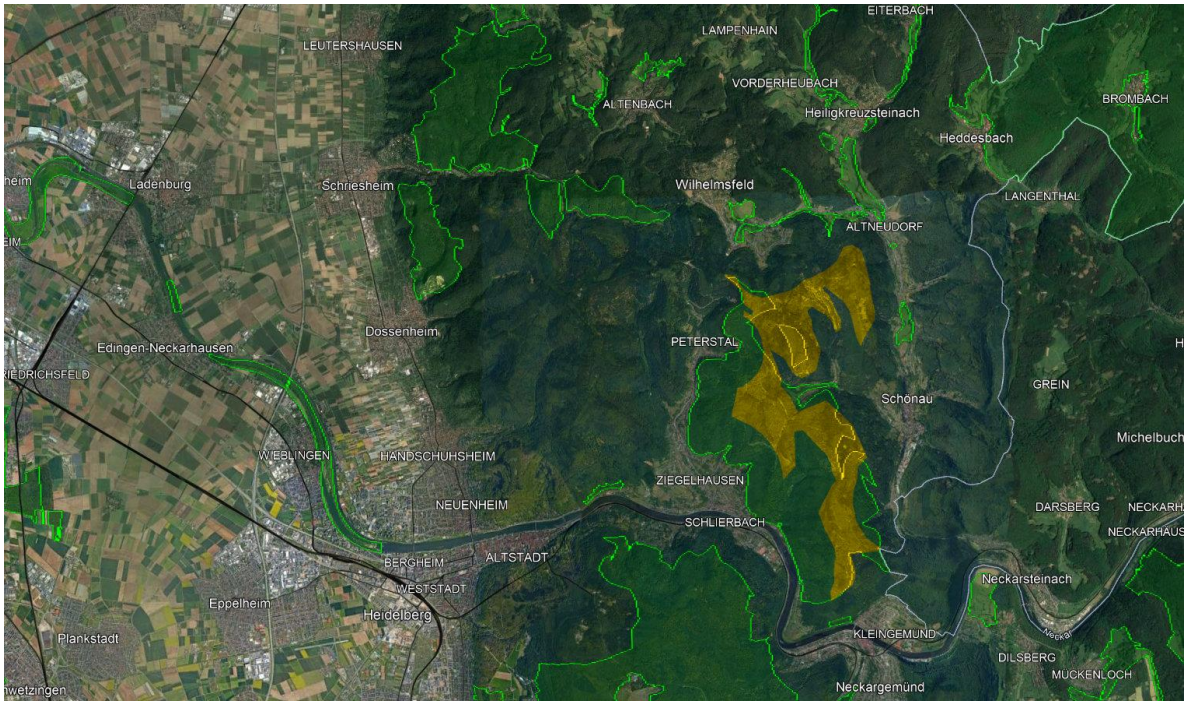

Bild 3: FFH-Schutzgebiete (hellgrün umrandet) im Großraum Heidelberg und geplante Windkraftwerkzone Lammerskopf (orange)[29]

---

28 Nachbarschaftsverband Heidelberg-Mannheim, Steckbriefe Sachlicher Teilflächennutzungsplan Windenergie, Mögliche Konzentrationszone 14 Lammerskopf www.nachbarschaftsverband.de/fnp/wind/Begruendung/Steckbrief_KZW_14.pdf

29 UPI nach Google Earth, Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg und ForstBW, 2023

Das für Windkraftwerke geplante Areal liegt überwiegend innerhalb von FFH-Gebieten. Die zuständigen Ämter der Stadt Heidelberg kamen 2016 für eine damals noch wesentlich kleiner geplante Fläche (90 ha, heute 600 ha) zu folgendem Ergebnis:

„*KZW 14 Lammerskopf: Der Standort besitzt fast für alle natur- und artenschutzrelevanten Kriterien ein hohes Konfliktpotenzial, nur für die Brutvogelarten besteht ein mittleres Konfliktpotenzial*. …
Fazit: Insbesondere seitens der unteren Naturschutzbehörde bestehen erhebliche Bedenken gegen eine Ausweisung von Konzentrationszonen im Odenwald."[30]

Die naturschutzrechtlichen Gutachten, die noch durchzuführen sind, werden im Falle der Windenergie von Gutachtern durchgeführt, die durch den Investor, der das Windkraftwerk bauen will, ausgewählt, beauftragt und bezahlt werden.

4 Folgen von Windkraftwerken im Wald

4.1 Folgen für den Wald

„*Im Klimawandel sind die Wälder unsere Verbündeten – nicht zuletzt als Klimaanlagen in der Landschaft, als Wasserspeicher und Kohlenstoffsenken. Werden Waldböden verwundet, freigelegt und versiegelt, werden Kohlenstoffspeicher und -senkenleistung reduziert. Kahlflächen werden sogar zur Kohlenstoff-Quelle.*"[31] 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 Schwertransportern 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 5,00 m und eine Durchfahrtsbreite von 7,00 – 7,50 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.

---

30 Anlage 02 zur Drucksache: 0039/2016/BV, Stellungnahme der Stadt Heidelberg als Untere Immissionsschutzbehörde, Untere Wasserbehörde, Untere Bodenschutzbehörde, Untere Naturschutzbehörde https://ww1.heidelberg.de/buergerinfo/vo0050.asp?__kvonr=23410

31 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/

Für den eigentlichen Standort einer Windenergieanlage musste in der Vergangenheit eine Fläche von ca. 6 500 qm gerodet werden, bei zukünftigen größeren Anlagen von 8 000 - 10 000 qm. Da die Neigung dieser Fläche höchstens 1% betragen darf und die Kranaufstellfläche absolut eben sein muss, müssten bei Standorten im Odenwald und anderen Mittelgebirgen 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.

Bild 4: Mischwald im FFH-Gebiet Lammerskopf in Heidelberg

Die Auswirkungen eines solchen Eingriffs in die Waldlandschaft lassen sich gut bei den bisher noch wenigen in den letzten Jahren gebauten Windkraftwerken im Odenwald studieren. (Bild 5 bis Bild 13)

Bild 5: Gerodete Arbeitsfläche für Windkraftwerk (3,3 MW_p[32]) auf dem Gipfel des ursprünglich dicht bewaldeten Stillfüssels südlich Waldmichelbach

Bild 6: Wegebau und Geländemodellierung für Windkraftwerke auf dem Stillfüssel südlich Waldmichelbach

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

Bild 7: Dauerhaft gerodeter Wald für die Arbeitsfläche eines Windkraftwerkes auf dem Stillfüssel

Bild 8: Geländenivellierung für ein Windkraftwerk von 3,45 MW[33]

33 Rudolf Ersepke, Drohnenaufnahmen Windpark Mannstein August 2023 www.youtube.com/watch?v=kt64paj6kwc

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:[34]

„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 Stetigkeits-verlust, indem sie die Waldinnenränder nicht nur deutlich verlängern, dadurch geschlossene Waldflächen zerstückeln, ihr Waldbinnenklima zerstören, ihr Vertikal- und

---

34 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/

Horizontalkontinuum mit künstlichen Kleinsteppen-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 deutscher 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. Dies gilt auch für heute geschädigte Baumbestände. 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*.“[31] 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.

In der öffentlichen Diskussion wird der Bau von Windkraftwerken im Wald mitunter damit begründet, dass dies gerade wegen der Schädigung von Waldarealen durch den Klimawandel zum Schutz des Waldes notwendig und alternativlos wäre. Hier einige Zahlen zu diesem bei linearer Betrachtung plausibel klingenden Argument:

Der Einfluss der Reduktion der CO_2-Emissionen durch z.B. 15 Windkraftwerke während ihrer Gesamtlaufzeit auf den globalen Klimawandel beträgt minus 0,00004%. Demgegenüber hätten z.B. 10 - 15 Windkraftwerke im Waldareal „Lammerskopf“ (mit einer Wahrscheinlichkeit von 100%) folgende Auswirkungen auf den Wald:

- Rodung von ca. 80 000 - 120 000 m^2 Wald nur für die Betriebs- und Kranflächen der Windkraftwerke
- Ausbau von ca. 10 km Zufahrtswegen im Wald auf befahrbare Breite von 4,50 m und Durchfahrtsbreite von 6,50 m bis 7,50 m (gerade Strecken), in Kurven bis 20 m Durchfahrtsbreite
- 60 cm tiefe Schotterung der Zufahrtswege
- Fragmentierung des Waldes, deutliche Erhöhung der Randeffekte: Temperaturerhöhung bis 55 °C durch Sonneneinstrahlung auf bisher durch Bäume beschattete Waldböden, dadurch Entstehung lokaler Thermiken heißer Luft und dadurch bedingter Austrocknungseffekte
- Bau von ca. 7 km Mittel- und Hochspannungsleitungen im Wald
- Einebnung der Bergkuppen (zulässige Neigung <1%)
- Insgesamt Rodung von ca. 130 000 - 150 000 m^2 Wald (dauerhaft, = ca. 3 000 bis 5 000 Bäume > 40 Jahre)
- Transport von ca. 15 000 LKW-Ladungen Schotter und Beton (ohne Transport der Anlagen)

Bild 10: Windkraftwerk (3,0 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“

Bei den Anlagen auf dem Greiner Eck handelt es sich um Anlagen der 3-MW-Klasse (ENERCON E 115-3.0) mit einer Höhe von 190 m und mit dem Spezialfall, dass bei dieser Anlage die Sektoren in 2 Teilen angeliefert und später verbunden werden konnten. Die Rotorsektorlänge, von der u.a. die Breite und die Kurvenradien der Zuwegung abhängen, betrug maximal 36 m. Bei heute geplanten Windkraftwerken handelt sich um Anlagen der 7 MW-Klasse, deren Rotorlänge ca. 85 m und die Gesamthöhe ca. 285 m beträgt.

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 mit je 4,2 MW im Schwarzwald bei Hohenlochen/ Oberwolfach zeigt ein eindrucksvolles Video von Jochen Armbruster: https://youtu.be/oT9VoP0YAIo

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

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

Weitere Aspekte zum Thema Folgen von Windkraftwerken im Wald finden sich in der Veröffentlichung „Wissenschaftler fordern: Keine Windenergie im Wald!“ der Naturschutzinitiative.[35]

Ein besonderes Problem ist die Möglichkeit von Bränden an einem Windkraftwerk im Wald, bei denen brennendes Öl oder brennende Rotorflügel z.T. weit in die Umgebung geschleudert werden können. Pro Jahr kommt es bei den bestehenden Windenergie-anlagen in Deutschland zu 10 bis 12 Brandereignissen. Ein Brand in einem Windkraftwerk ist wegen der Höhe durch Feuerwehren nicht löschbar. 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 brennendes Getriebe- oder Hydrauliköl führen.[36] [37]

Als Beispiel für einen ebenfalls noch ursprünglichen Berggipfel kann der Hohe Nistler zwischen Handschuhsheim und Dossenheim dienen, der 2015 als Vorrangfläche für Windkraftwerke vorgesehen war und jetzt auch wieder von der Stadtverwaltung als geeignete Fläche für eine Windindustriezone vorgeschlagen wurde.

35 https://naturschutz-initiative.de/neuigkeiten/1711-02-02-2024-wissenschaftler-fordern-keine-windenergie-im-wald

36 Kurzfilm eines brennenden Windkraftwerks: https://www.youtube.com/shorts/MnB5YJxS-nI

37 Saarland: Windkraftanlage abgebrannt, Spiegel Online, 29.12.2022

Bild 16: Weg zum Hohen Nistler

Bild 17: Bereiche des Hohen Nistlers, die für ein Windkraftwerk eingeebnet werden müssten

Bild 18: Bereiche des Hohen Nistlers, die für ein Windkraftwerk eingeebnet werden müssten

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 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 Stromnetz. Im Wald gibt es bisher keine leistungsfähigen Stromnetze. Um den Strom abzuleiten, müsste je kleinem Windpark ein Mittelspannungskabel (20 kV), ab ca. 5 Anlagen eine Hochspannungs-110kV-Leitung bis zum nächsten leistungsfähigen Umspannwerk verlegt werden. Wenn bei ungünstigem (z.B. felsigem) Untergrund der Mehrkostenfaktor von 2,75 für eine Verkabelung überschritten würde, wäre gem. § 43h EnWG eine Hochspannungs-Freileitung genehmigungsfähig.

In der Rheinebene gibt es im Offenland im Gegensatz zum Wald ein engmaschiges Netz von Hoch- und Mittelspannungsleitungen, die zur Aufnahme von Windstrom geeignet sind.

In der Ebene und im Offenland müssen die ökologischen Auswirkungen ebenfalls genau geprüft werden. In der Regel sind die Eingriffe jedoch wesentlich geringer als im Wald. Nach dem Bau kann der überwiegende Teil der Fläche wieder landwirtschaftlich genutzt werden (siehe Bild 19 bis Bild 21).

Bild 19: Windkraftwerk im Offenland

Im Offenland können Windkraftwerke meist entlang bestehender landwirtschaftlicher Wege angelegt werden (Bild 20), der Platzbedarf der fertigen Anlagen ist im Gegensatz zu Standorten im Wald minimal (Bild 21), das Gelände muss nicht aufwändig nivelliert werden, die Wege und Kranaufstellflächen müssen nicht geschottert werden. Der dauerhafte Flächenbedarf von Windkraftwerken im Offenland liegt deshalb nur bei einem Fünftel im Vergleich zu Standorten im Wald. (siehe auch Bild 44 auf Seite 47)

Bild 20: Windenergieanlagen auf landwirtschaftlichen Flächen

Bild 21: Platzbedarf von Windenergieanlagen auf landwirtschaftlichen Flächen

4.2 Aspekt Grundwasser

Die Wälder sind ein wichtiger Teil des Wasserhaushalts. Beim Bau von Windkraftwerken 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. Für das Grund- und Quellwasser bestehen sowohl während der Bauphase wie beim späteren Betrieb folgende Risikoarten:

Risiken für das Grundwasser - Bauphase

- Flächiger Verlust des Bodens als grundwasserschützende Deckschicht
- Risiko des unmittelbaren unfallbedingten Schadstoffeintrags in die offene Fundamentgrube (offen liegender klüftiger Fels)
- Gefahr der Freisetzung von Diesel oder Hydrauliköl bei Leckagen oder Handhabungsfehlern
- Erdkabelverlegung schafft neue Wasserwegsamkeiten für Oberflächenwasser

Risiken für das Grundwasser – Betriebsphase

- Getriebeanlagen mit bis zu 1 400 l Getriebeöl, zzgl. bis zu 500 kg Hydrauliköle und Schmierstoffe in der Gondel in ca. 150 m Höhe
- Trafo mit ca. 1 500 l Trennöl

- Ölaustausch ca. alle 3 Jahre mit Tankfahrzeugen, die mehrere 1 000 Liter Mineralöle transportieren. Der Austausch der Öle erfolgt unter hohen hydrostatischen Drücken über nicht flüssigkeitsdichtem Untergrund
- Freisetzung von Getriebe- und Hydrauliköl im Falle von Brand
- Flächiger Verlust des Bodens als grundwasserschützende Deckschicht
- Gefahr der Freisetzung von Diesel oder Hydrauliköl bei Leckagen oder Handhabungsfehlern

Bild 22 zeigt als Beispiel die Lage der geplanten Windindustriezonen im Heidelberger Wald im Vergleich zu den Wasserschutzgebieten.

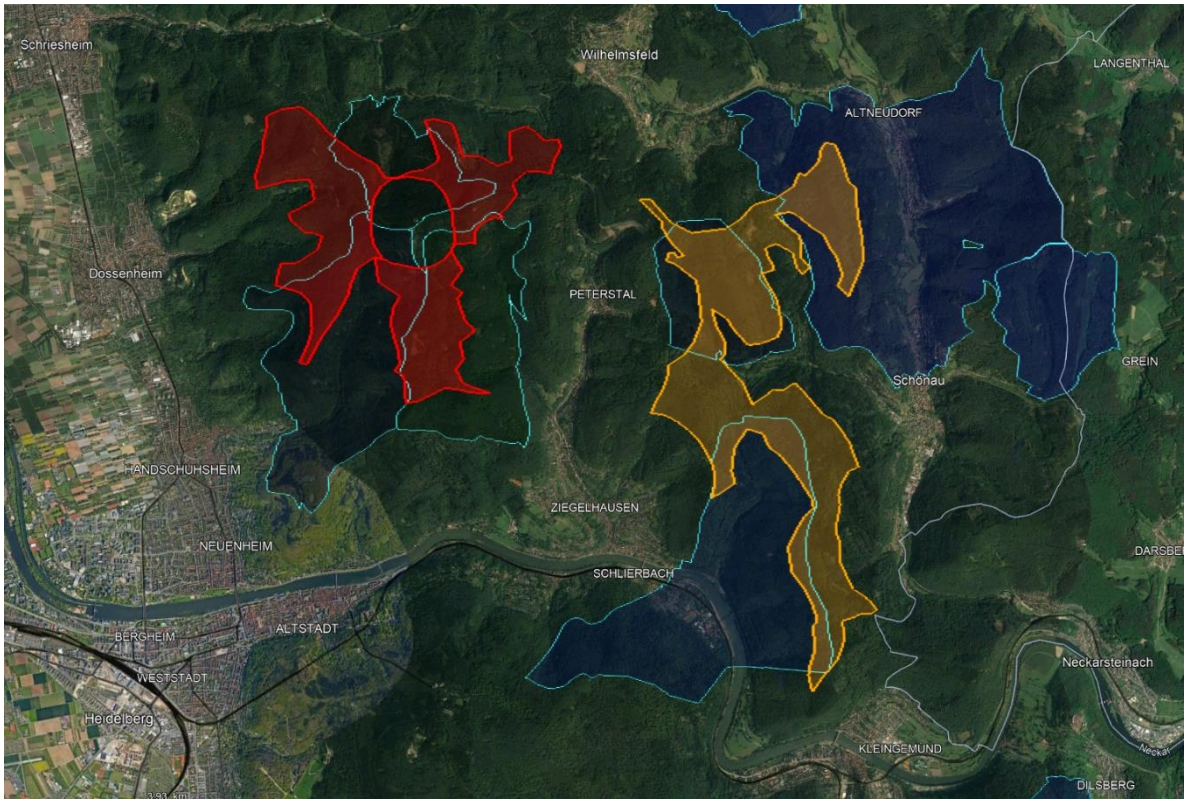

Bild 22: Wasserschutzgebiete im Heidelberger Wald (blau) und geplante Windindustriezonen Hoher Nistler, südlich Weißer Stein (rot) und Lammerskopf (orange)

Der als Fläche für Windkraftwerke vorgesehene Bergrücken zwischen Kreuzgrund- und Siebenmühletal („Südlich Weißer Stein“) liegt z.B. 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.

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 CO_2 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 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 [38] [39] [40] [41]

Da auf Bergen die Windgeschwindigkeiten höher sind, werden Windkraftwerkstandorte oft 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, das Ochsenlager, der Auerhahnenkopf, der Leiterberg 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.

---

38 Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft, LWF aktuell 119, 2018 www.lwf.bayern.de/wissenstransfer/waldpaedagogik/208428/index.php

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

40 Carstens Stiftung, Waldbaden: Prävention und Therapie, 3.6.2020 www.carstens-stiftung.de/waldbaden-praevention-und-therapie.html

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

5 Ertrag von Windenergieanlagen

Die Nutzung der Windenergie zur Energiegewinnung und zur Reduzierung der CO_2-Emissionen ist 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 3,45 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*."[42] Das ist so nicht richtig. Ein WKW im Wald (Stillfüssel 3,45 MW_p) erzeugt im Durchschnitt so viel Strom, wie 2 500 durchschnittliche Haushalte verbrauchen. Strom ist aber nur ein kleiner Teil des Energieverbrauchs der Haushalte. Berücksichtigt man den gesamten Primärenergieverbrauch der Haushalte (ohne Verkehr), dann erzeugt ein WKW (3,45 MW_p) gerade so viel Energie, wie ca. 320 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 WKW im Wald in Zukunft so viel Energie, wie ca. 530 Haushalte verbrauchen werden. Bei 7 MW-Anlagen wären die Zahlen zu verdoppeln. 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 40% 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.[43] [44]

Auch die CO_2-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 CO_2-Emmissionen pro*

---

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

43 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

44 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

Anlage beträgt ca. 14.000 t. pro Jahr."[45] Zur Berechnung dieser Zahl wurde unterstellt, dass Windstrom zu 100% ausschließlich Braunkohlestrom ersetzt, der mit Abstand am meisten CO_2 freisetzt. Allein dadurch wird die CO_2-Einsparung um mehr als 50% überschätzt, da Windstrom in der Realität nur zu etwa 14% Braunkohlestrom ersetzt.[46] [71]

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*."[47]

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. [48] [49] [50] [51]

Eine Auswertung der Schäden der Jahre 2010 bis 2016 an rund 4 600 Windenergieanlagen[52] 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.[53]

---

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

46 Siehe Kapitel 6.1

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

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

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

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

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

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

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

Die Zunahme der Reparaturen ist auch der Hauptgrund, weshalb Windenergieanlagen nur 20 bis 25 Jahre betrieben werden.

Ein weiteres Problem ist die Finanzierung des Rückbaus nach Ende der Betriebszeit. Diese wird zwar im Genehmigungsbescheid des Windkraftwerks dem Betreiber der Anlage auferlegt und meist auch im Pachtvertrag mit dem Waldbesitzer geregelt. Für die Finanzierung des Rückbaus kann im Genehmigungsbescheid eine Sicherheitsleistung verlangt werden. Der Bundesverband Windenergie schreibt dazu: „*Die Höhe der Sicherheitsleistung sowie die Berechnung sind jedoch sehr umstritten. Es gibt keine bundeseinheitliche Berechnungsformel für die Höhe der Sicherheitsleistung. Die voraussichtlichen Kosten für den Rückbau ca. 20 Jahre nach der Errichtung der Anlage als Grundlage der Berechnung lassen sich nicht allgemein beziffern*.“[54] In der Regel werden in den Genehmigungsbescheiden, besonders bei Waldstandorten, deutlich zu geringe Sicherheitsleistungen (z.B. in Hessen Nabenhöhe der Anlage x 1 000 €) festgelegt, die selbst bei einer Kostensteigerung von nur 1% pro Jahr die Rückbau- und Bodenwiederherstellungskosten in 20 Jahren voraussichtlich bei weitem nicht abdecken werden.

Betreiber von WKW sind oft kleine Kapitalgesellschaften mit beschränkter Haftung (GmbH), die nur über ein beschränktes Eigenkapital verfügen, ein Großteil der Finanzierung erfolgt über Kredite. Auch große Investoren wählen aus Haftungsgründen oft diese rechtliche Konstruktion. Der wirtschaftliche Erfolg einer Windenergieanlage kann im Vergleich zur Prognose z.B. durch Unfälle, Materialfehler oder durch Rückgang der Strompreise bei zeitweiser Stromüberproduktion beeinträchtigt werden. Aktuell war der Strompreis an der Börse z.B. während der Weihnachtstage 2023 insgesamt 52 Stunden negativ oder gleich null. Negative Strompreise entstehen an der Börse, wenn entweder Windenergie- oder Photovoltaikanlagen - oder beide zusammen – zu viel Strom erzeugen und fossile Kraftwerke zu langsam heruntergefahren werden können, sodass der erzeugte Strom nicht mehr vollständig genutzt werden kann. Die Stundenzahl, an denen der Strom am Spotmarkt der Börse wertlos ist, steigt dabei seit Jahren. Dabei treten niedrige oder negative Strompreise gerade in der Zeit auf, wenn Windenergie- oder Photovoltaikanlagen besonders viel Strom erzeugen können. Nach dem Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) wird in Zukunft bei negativen Preisen die Vergütung schrittweise gestrichen. Zur Zeit ist das dann der Fall, wenn die Preise für mehr als vier Stunden hintereinander negativ sind. Dieser Zeitraum wird für Neuanlagen ab 2024 auf drei und ab 2026 auf zwei Stunden gekürzt. Ab 2027 gibt es in Zeiten negativer Preise für Neuanlagen keine Vergütung mehr.[55]

Ein Rückbau der Anlage, des Fundaments und der durch Einbringung großer Mengen von Schotter bei Waldstandorten verursachten Versiegelung kann durch den Betreiber jedoch nur erfolgen, wenn dieser zum Zeitpunkt der Rückbaupflicht noch finanziell dazu in der Lage ist. Aus § 35 BauGB Abs. 5, Satz 2 ergibt sich, dass bei Insolvenz des Betreibers der

---

54 Bundesverband Windenergie (BWE), Rückbauverpflichtung bei Windenergieanlagen, 2018

55 Bernward Janzig, Erneuerbare Energien brechen Rekord, taz, 26. 12. 2023

Grundstücksbesitzer für Rückbau und Beseitigung der Bodenversiegelungen haftet.[56] [57] [58] [59]

Ende 2022 gab es in Deutschland 29 982 Windenergieanlagen. Die folgende Tabelle zeigt ihren Anteil an der Energieversorgung und ihren Beitrag zur CO_2-Einsparung:

Deutschland 2022	**Gesamt**	**davon Windenergie**	**Anteil Windenergie**
Endenergie Strom, TWh/Jahr	551	123	**22 %**
Primärenergie, TWh/Jahr	3 264	125	**4 %**
$CO_{2\,Äq}$-Emission[60], Mio t/Jahr	746	-93	**- 11 %**

Tabelle 1: Windenergie in Deutschland 2022 [61] [62] [71] [131]

Alle Windenergieanlagen reduzierten im Jahr 2022 die CO_2-Emissionen Deutschlands durch Ersatz von Strom aus fossilen Kraftwerken um 11%. Von allen 29 982 Windenergieanlagen stehen aber nur 7,6% im Wald (2 274). Diese erzeugen 5,8% des Windstroms in Deutschland und reduzieren die CO_2-Emissionen Deutschlands lediglich um 0,7%.

Die Strommenge, die ein Windkraftwerk erzeugen kann, hängt von zahlreichen Faktoren ab. Meist wird neben der Größe des Windrades vor allem die Windgeschwindigkeit betrachtet.[63]

Eine wichtige Grundlage für Standortentscheidungen ist der Windatlas Baden-Württemberg. 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 23). Darin eingerechnet ist die Tatsache, dass die Leistung einer Windenergieanlage durch die Nennleistung des Generators begrenzt ist und deshalb oberhalb einer bestimmten Windgeschwindigkeit nicht mehr ansteigt.

---

56 Pauli, F., Fachanwalt für Verwaltungsrecht, Ausgewählte Probleme des § 35 Abs. 4 – 6 BauGB, insbesondere die Rückbauverpflichtung und deren Sicherung nach Abs. 5 Satz 2 u. 3

57 Erlass des Hessischen Ministeriums für Wirtschaft, Energie, Verkehr und Wohnen und des Hessischen Ministeriums für Umwelt, Klimaschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz: Umsetzung der bauplanungsrechtlichen Anforderungen zur Rückbauverpflichtung und Sicherheitsleistung nach § 35 Abs. 5 Satz 2 und 3 BauGB bei der Genehmigung von Windenergieanlagen im Außenbereich, 27.8.2019

58 Siehe dazu auch z.B.: Ferdinand Graf Spiegel, Windräder im Wald: Erschreckend hohe Risiken für Waldeigentümer bei Pachtende, www.tichyseinblick.de/gastbeitrag/windraeder-wald-risiken-waldeigentuemer-windkraftanlagen-wka/amp

59 www.swr.de/swraktuell/rheinland-pfalz/windraeder-abbau-kosten-betreiber-rlp-100.html

60 Die Wirkung der verschiedenen Treibhausgase wird in der Einheit CO_2-Äquivalente zusammengefasst.

61 Umweltbundesamt, Treibhausgas-Emissionen in Deutschland, Kohlendioxid-Äquivalente, 10.10.2023

62 AG Energiebilanzen, Auswertungstabellen zur Energiebilanz Deutschland, Daten für die Jahre von 1990 bis 2022

63 Die Windgeschwindigkeit geht in der 3. Potenz in den Stromertrag ein.

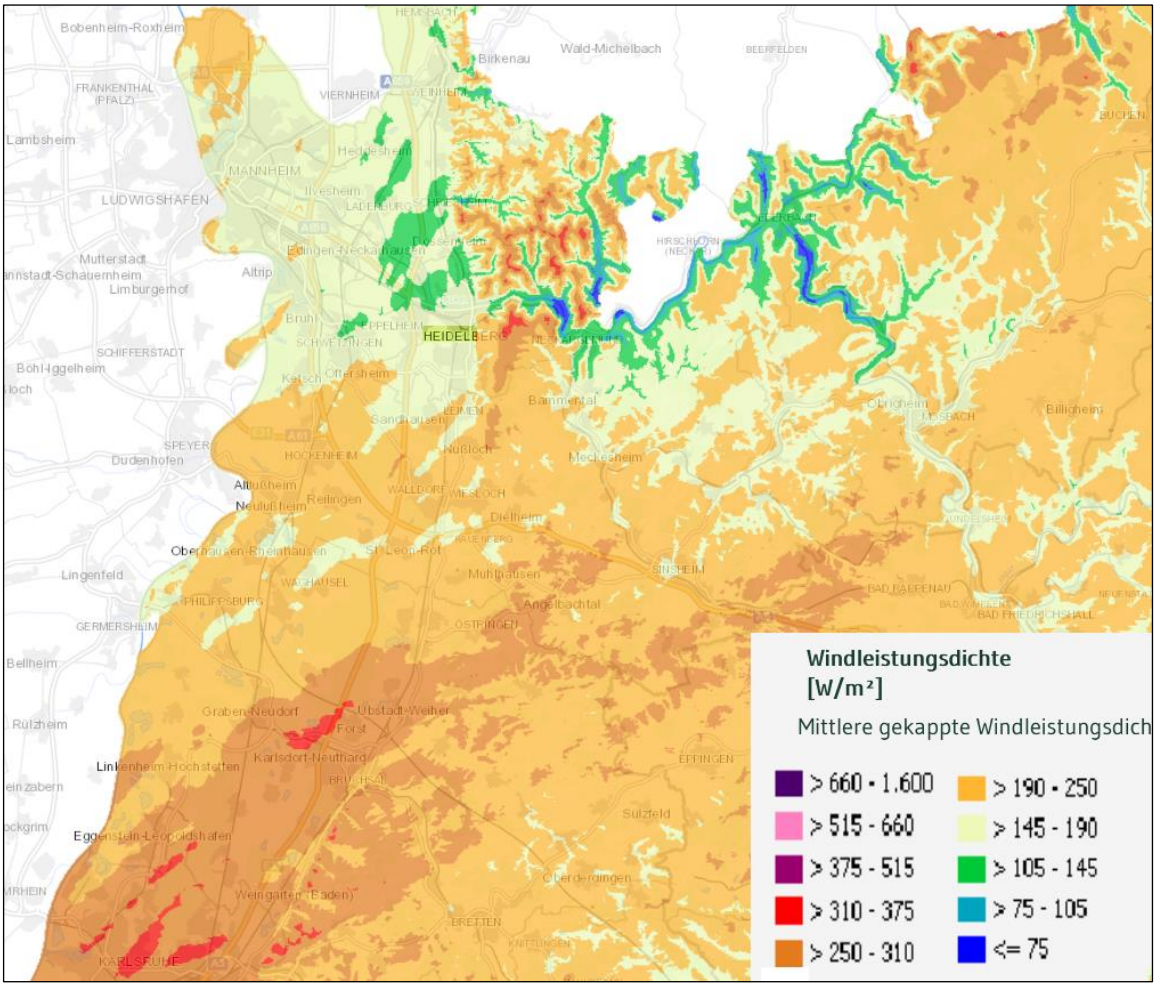

Bild 23: Ab 15 m/s gekappte Windleistungsdichte (W/m²) 160 m über Grund[64]

Der Windatlas zeigt die mit einer Kappungswindgeschwindigkeit von 15 m/s berechnete Windleistungsdichte. Allerdings begrenzen heutige Windkraftwerke ihre Leistung bereits ab Windgeschwindigkeiten von 10 - 11 m/s, da die Leistung des Generators aus wirtschaftlichen Gründen begrenzt ist. Bild 24 zeigt die Leistungskennlinien gängiger Windenergieanlagen. Die Stromerzeugung beginnt ab einer Windgeschwindigkeit von etwa 2,5 m/s bis 3 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 maximalen Leistung des Generators nicht mehr zu einer Steigerung der Stromerzeugung. Oberhalb einer Windgeschwindigkeit von etwa 21 bis 25 m/s werden die Anlagen aus Sicherheitsgründen abgeregelt.

64 Windatlas Baden-Württemberg
www.energieatlas-bw.de/wind/windatlas-baden-wurttemberg

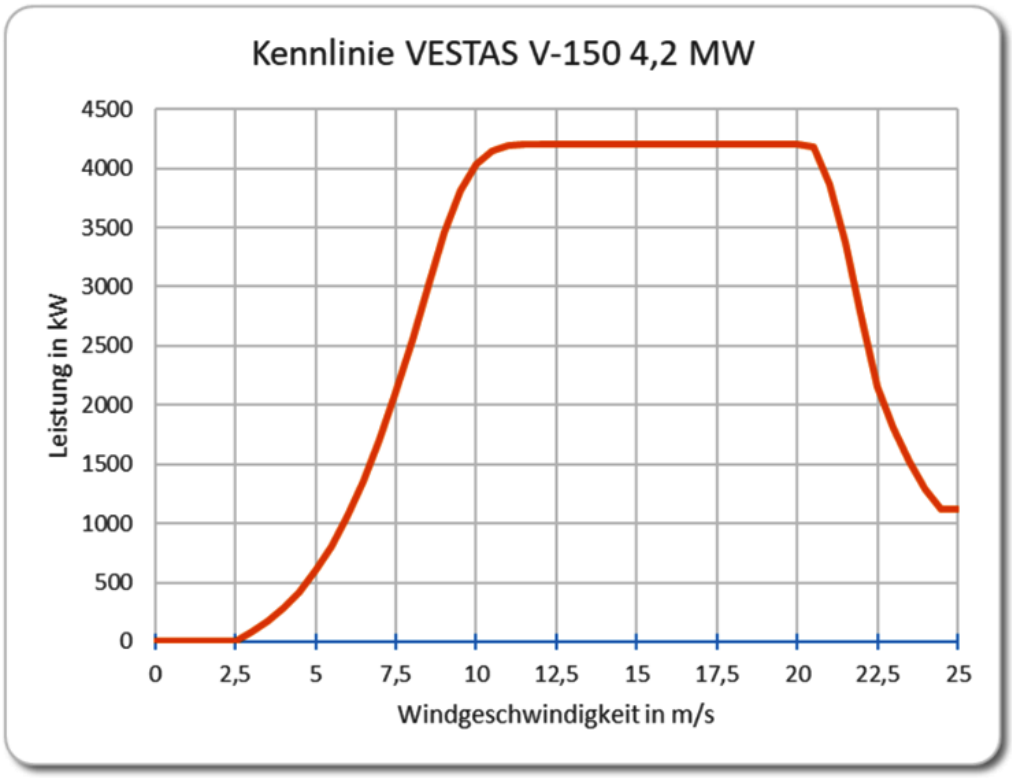

Bild 24: Leistungskennlinie eines Windkraftwerks (Vestas V-150 4,2 MW_p) bei Standardluftdichte, aus [64]

Die im Windatlas angegebenen Werte für die Windleistungsdichten sind aus diesem Grund zu hoch, da sie rechnerisch erst bei 15 m/s gekappt sind.

Bild 25 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. Weihbull-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. Insbesondere werden dadurch die Unterschiede zwischen Ebene und Bergen in den Karten etwa 15 - 20% stärker dargestellt als sie der Realität der Windkraftwerke an diesen Standorten entsprechen.

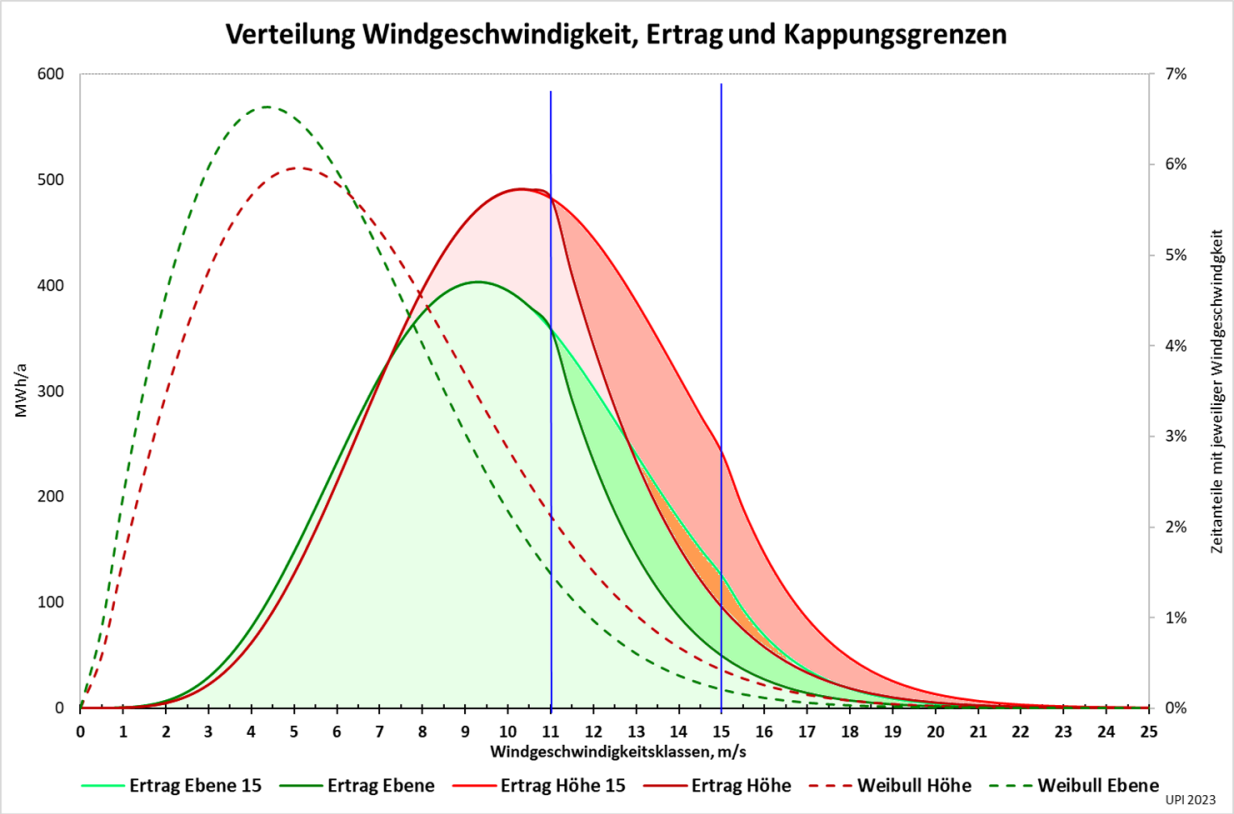

Bild 25: Einfluss der Kappungsgrenze auf den Ertrag bei Standorten in der Ebene und auf Höhen

Neben dieser Überschätzung des Windenergieertrags auf Bergen ist die Diskussion über geeignete Flächen für Windkraftwerke oft zu stark auf die Windgeschwindigkeiten bzw. die Windleistungsdichte des Windatlas beschränkt. Die Wirtschaftlichkeit von Windkraftwerken hängt neben der Windleistungsdichte aber außerdem von folgenden 16 Faktoren ab, die bei Standorten im Offenland oft günstiger sind als bei Standorten in Mittelgebirgen oder im Wald und die bei einer zu starken Fixierung auf den Windatlas leicht vergessen werden:

Aufwand für

1. Zuwegung (Länge der zu verbreiternden und zu schotternden Wege).
2. Zahl der LKW-Fahrten zum Transport des Schotters
3. Abstand zum nächstgelegenen Netzverknüpfungspunkt (Länge neuer Mittelspannungs- und Hochspannungsleitungen)
4. Abstand zu bestehendem Umspannwerk oder neues Umspannwerk notwendig ?
5. Höhe der Stromverluste bis zum Netzverknüpfungspunkt
6. Notwendigkeit von Geländenivellierungen (<1% ca. 8 000 qm) ?
7. Bodenrauhigkeit, die mit der Höhe von Bäumen zunimmt
8. Turbulenzintensität und notwendige Abstände zwischen den einzelnen Anlagen
9. Zahl der zu fällenden Bäume
10. Kosten für Ausgleichsmaßnahmen

11. Dauer notwendiger Abschaltzeiten
12. Effizienzverluste aufgrund von Verschmutzungen der Rotorblätter mit Überresten von getöteten Fluginsekten
13. Aufwand für das Genehmigungsverfahren
14. Öffentliche Akzeptanz
15. ggfls. gerichtliche Auseinandersetzungen
16. Wie schnell sind die Anlagen realisierbar ?

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

Zu den einzelnen Faktoren:

Zahl der LKW-Fahrten: Waldwege müssen in der Regel geschottert werden, im Offenland können meist asphaltierte landwirtschaftliche Wege oder Straßen benutzt werden. Beim Standort Lammerskopf wäre z.B. bei 10 WKW mit rund 10 000 LKW-Fahrten zu rechnen, davon die Hälfte für die Wegeschotterung.

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

Turbulenzintensität: 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 >= 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.[65] (Bild 26) Planungen im Wald bedürfen größerer Abstände zwischen den Anlagen, da durch den Wald selbst höhere Turbulenzen und zusätzliche Ablösewirbel an den Baumspitzen erzeugt werden.[66]

Fluginsekten: 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 ihren Gliedmaßen und Antennen durch Unterdruck beim Durchfliegen kommen. Überreste von Fluginsekten an Rotorblättern können zu Verlusten beim Wirkungsgrad der Windkraftanlagen führen.[67] 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

---

65 Windatlas Baden-Württemberg, 2019, „Übersicht und Erläuterung der ermittelten Kenngrößen“, S. 27

66 Windatlas Baden-Württemberg, 2011, „Standort innerhalb des Waldes“, S. 20

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

dadurch zu einem selektiven und eventuell relevanten Eingriff in die Insektenfauna kommen.[68] [69] 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.

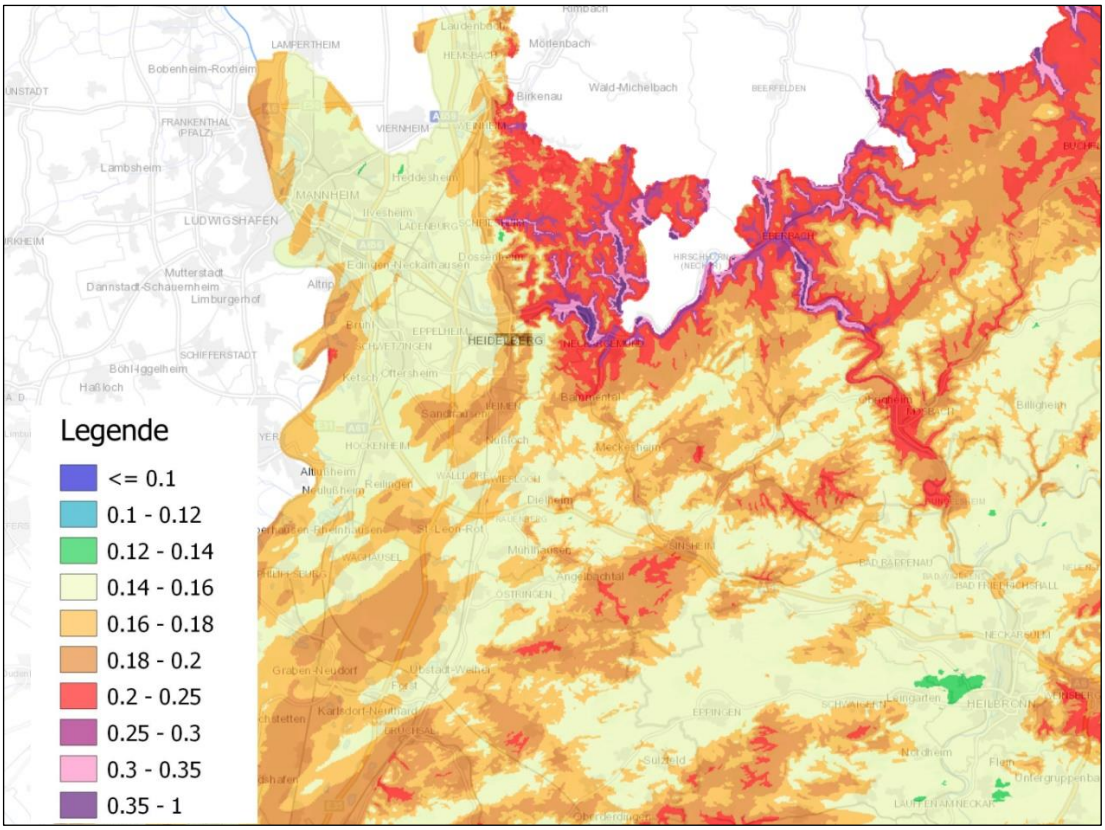

Bild 26: Mittlere meteorologische Umgebungsturbulenzintensität in 160 m Höhe[70]

<u>Stromübertragung</u>: Bei z.B. 10 Anlagen à 7,2 MW ist eine Spitzenleistung von 72 MW zum nächsten Netzeinspeisepunkt zu übertragen. Dazu muss der Windstrom zunächst auf 110 kV hochtransformiert werden. Zur Ableitung ist mindestens eine 110 kV-Leitung (Hochspannungsleitung) nötig. Wenn das Gelände für eine Bodenverkabelung wenig geeignet ist (z.B. steinige Untergründe) und der Mehrkostenfaktor von 2,75 für eine Bodenverkabelung überschritten würde, ist gem. § 43h EnWG eine Hochspannungs-Freileitung genehmigungsfähig. Die Umspann- und Übertragungsverluste mindern die

68 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, Modellanalyse liefert Hinweise auf Verluste von Fluginsekten in Windparks, Energiewirtschaftliche Tagesfragen, 68. Jg., 2018, Heft 11, 51-55

69 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

70 Windatlas Baden-Württemberg 2019

Stromausbeute am Einspeisepunkt und sind besonders in Starkwindphasen hoch (Verluste steigen mit wachsender Übertragungsleistung im Quadrat).

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 27. Dazu wurden die bisher in der Diskussion befindlichen Flächen zur Windenergienutzung (Nachbarschaftsverband, Potenzialstudie Rhein-Neckar-Kreis und Bundesamt für Naturschutz) zugrunde gelegt. Für die Berechnung wurden die Werte des Windatlasses mit einer realistischeren Kappungsgrenze (s.o.) verwendet.

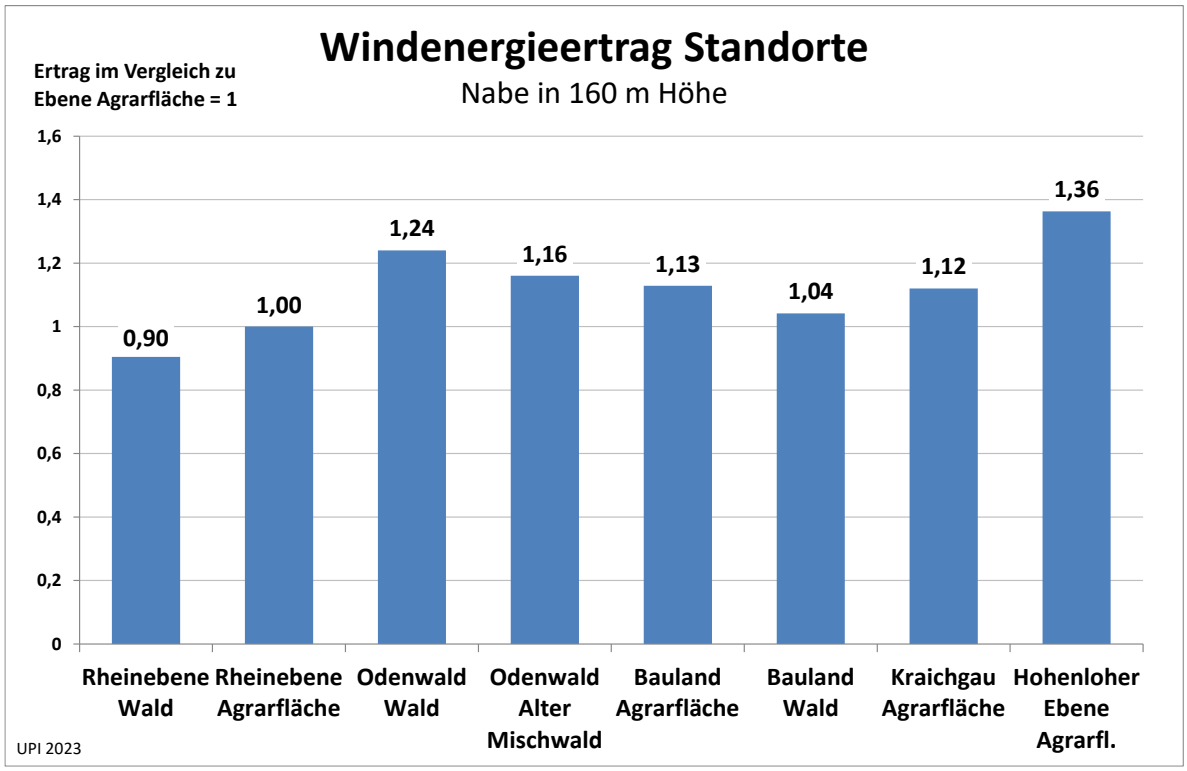

Bild 27: Vergleich des Ertrags von Windkraftwerken im Odenwald und in der Ebene

Für die Berechnung der CO_2-Einsparung durch Windenergie wird der vom Umweltbundesamt errechnete spezifische Emissionsvermeidungsfaktor von 753 g $CO_{2\text{-}Äq}$ pro $kWh_{el.}$

Windstrom verwendet.[71] Darin noch nicht berücksichtigt sind die bei Windkraftwerken im Wald durch Rodung, Geländenivellierung und Wegebau freigesetzten CO_2-Mengen aus Biomasse der Bäume, des Bodenlebens und des Humus im Boden, die bei Standorten ohne Wald nicht oder viel weniger anfallen. 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 6 MW Nennleistung auf den Höhen des Odenwalds pro Jahr CO_2-Emissionen von ca. 6 200 t vermeiden, ein Windkraftwerk in der Ebene von ca. 5 100 t/Jahr. Ein Windkraftwerk auf den Höhen ist also um ca. 1 000 t CO_2/Jahr effektiver.

Dieselbe CO_2-Menge von 1 000 t CO_2/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 28). Die Zusammenhänge zwischen Nabenhöhe, Rotorblattlänge und Ertrag zeigt Bild 29.

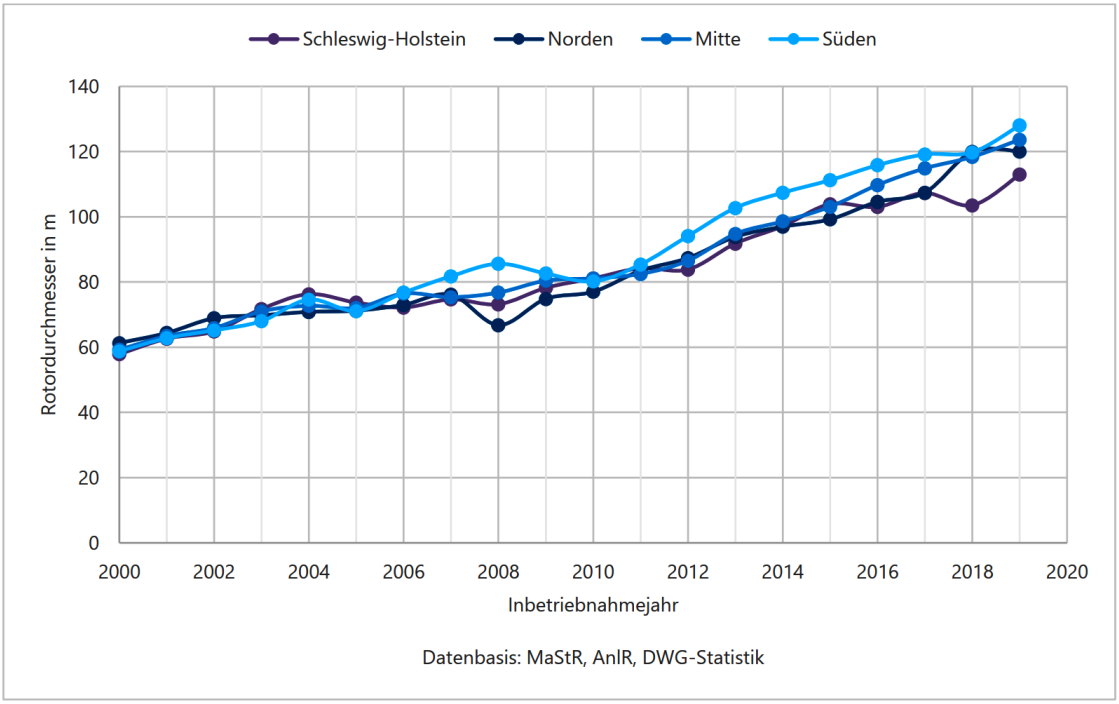

Bild 28: Mittlerer Rotordurchmesser je Inbetriebnahmejahr, aus [72], inzwischen gibt es Schwachwindanlagen mit 180 m Rotordurchmesser

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

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

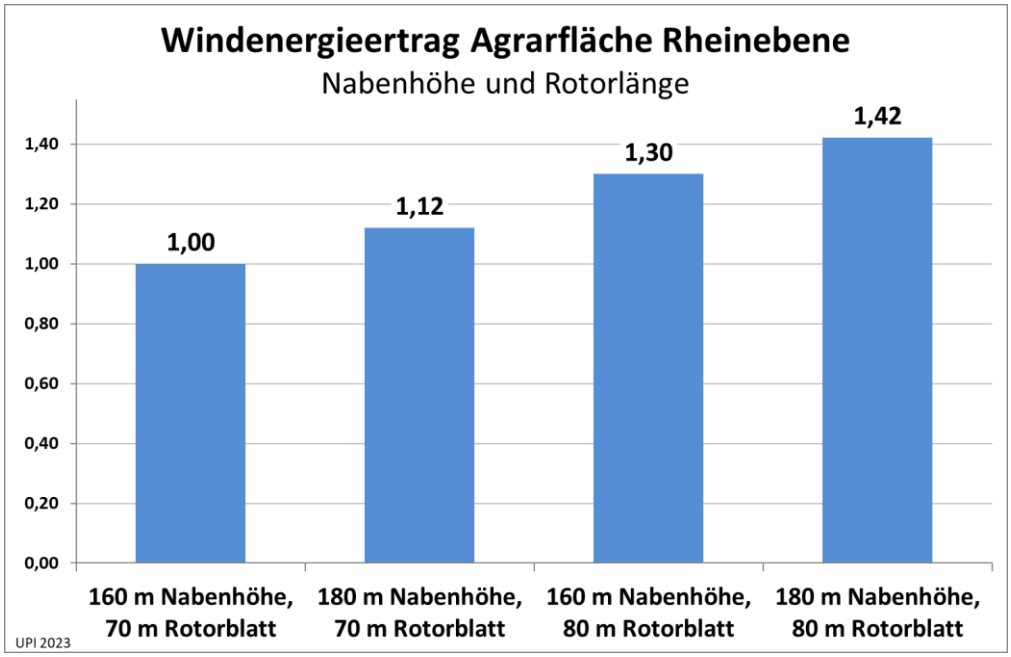

Bild 29: Einfluss von Nabenhöhe und Rotorblattlänge auf den Stromertrag von Windkraftwerken in der Ebene

Bild 30 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.

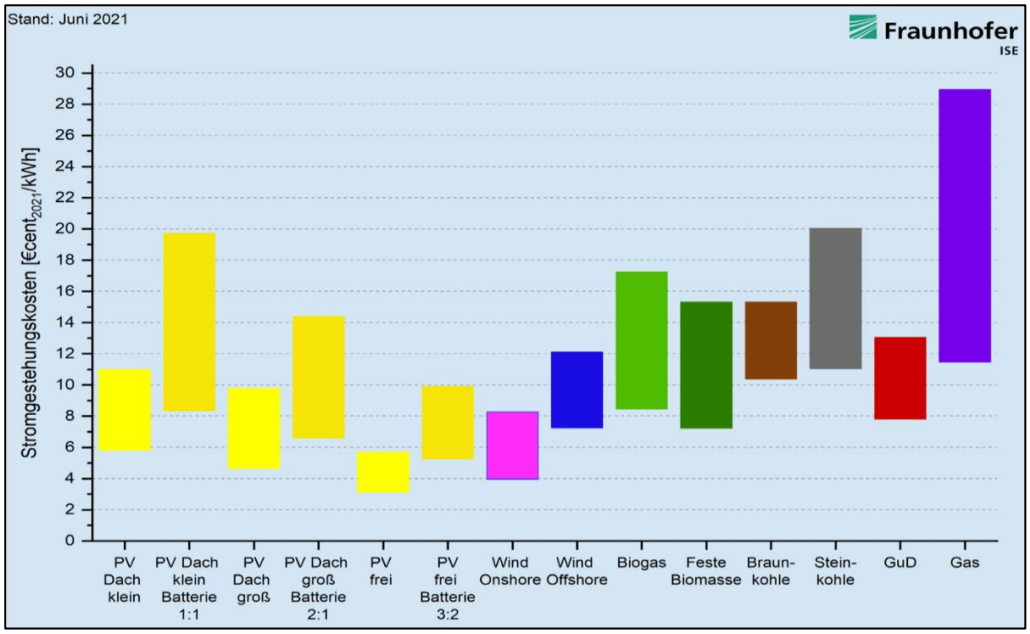

Bild 30: Stromgestehungskosten für erneuerbare Energien und konventionelle Kraftwerke an Standorten in Deutschland im Jahr 2021[73]

73 Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme ISE, Stromgestehungskosten erneuerbarer Energien, 2021

Bild 31 zeigt die Entwicklung der Strompreise für Haushalte in Deutschland:

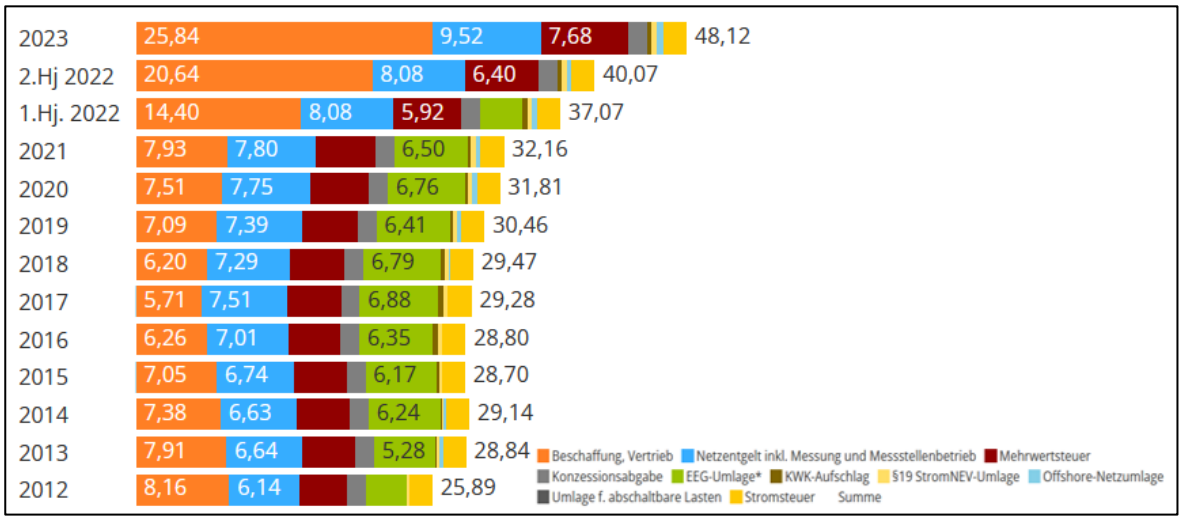

Bild 31: Durchschnittlicher Strompreis Haushalte in ct/kWh, Grundpreis enthalten[74]

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,
- Geländenivellierung,
- Baustelleneinrichtung,
- Ausgleichsmaßnahmen
- 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. Die im Windenergieflächenbedarfsgesetz festgelegten

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

Flächenziele für Windenergie gelten nicht für einzelne Gemeinden, sondern für Bundesländer bzw. für die Gesamtfläche von Regionalplänen.

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 Vogesen vor Windenergieanlagen zu schützen.

Seither wurden in der Pfalz außerhalb von Wald in der Rheinebene 160 Windkraftwerke errichtet. Im Koalitionsvertrag 2021-2026 schrieb Rot-Grün den Schutz des Pfälzerwalds vor Windkraftwerken fest.[75] 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 32: Rheinland-Pfalz: Windkraftwerke in der Ebene statt im Wald, hier bei Landau

75 https://www.rlp.de/fileadmin/02/Regierung/Regierungsbilanz/rlp_Koalitionsvertrag2021-2026.pdf

Bild 33: Windkraftwerke auf landwirtschaftlichen Flächen bei Biedesheim/Pfalz

Bild 34: Windkraftwerke bei Biedesheim/Pfalz

Bild 35: Windkraftwerk auf Acker bei Biedesheim/Pfalz

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 Pachteinnahmen erhalten. Oft befinden sich in der Ebene Mittel- oder Hochspannungsleitungen (siehe Bild 32 und Bild 38), an die die Kraftwerke angeschlossen werden können. Lange neue Stromleitungen durch oft unwegsames Gelände entfallen deshalb genauso wie aufwändiger Wegebau.

Bild 36: Windkraftwerke auf landwirtschaftlichen Flächen bei Bellheim/Pfalz

Bild 37: Windkraftwerke bei Offenbach an der Queich

Bild 38: Windkraftwerke in der Rheinebene auf landwirtschaftlichen Flächen bei Haßloch/Pfalz

Bild 39: 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 40: Biotop des Naturschutzbundes (NABU) neben Windkraftwerken bei Herxheim/Landau in der Rheinebene

Bild 41: Windkraftwerke bei Biedesheim/Pfalz

Bild 42: Ortsbildprägende Windkraftwerke in Biedesheim/Pfalz

Bild 43: Windkraftwerk vor Donnersberg

Interessant ist ein Vergleich mit weiteren Alternativen, mit denen CO_2 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.[76]

Im internationalen Vergleich ist Deutschland in den letzten Jahren zurückgefallen. Im 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.[77]

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

---

76 www.expertenrat-klima.de

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

fossiler oder nuklearer Energie nur eine geringe Energiedichte auf. Zu ihrer Gewinnung sind deshalb sehr große Flächen und Anlagen nötig, die mit Naturräumen konkurrieren (siehe Bild 44).

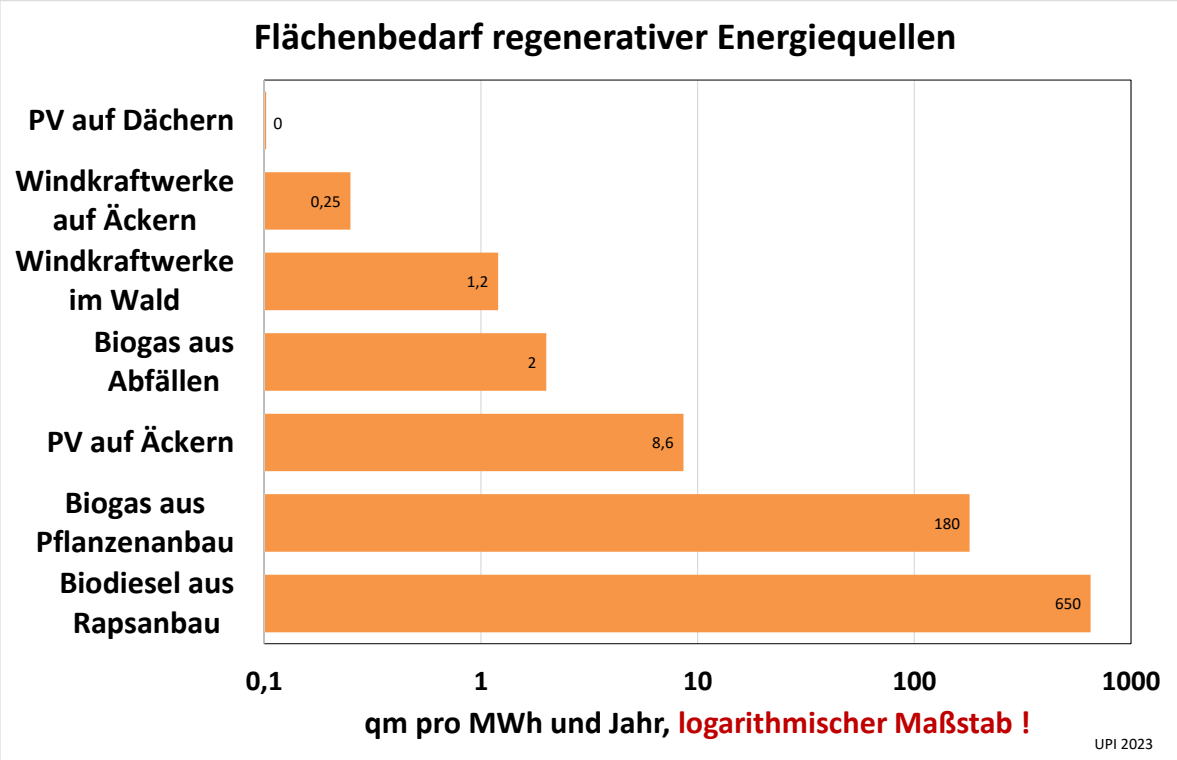

Bild 44: Flächenbedarf regenerativer Energiequellen (logarithmischer Maßstab !)

Bild 45 zeigt, dass 2022 mit 46% 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 heutigen Primärenergie haben regenerative Energiequellen erst einen Anteil von 18%. Davon muss noch der Teil abgezogen werden (rot), der in der Statistik zwar als regenerative Energieerzeugung gezählt wird, aber nicht CO_2-frei oder CO_2-arm ist wie z.B. Palmöl oder nicht aus Abfällen erzeugte Biokraftstoffe, die höhere CO_2-Emissionen als fossile Kraftstoffe verursachen.[78] [79]

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

79 Horst Fehrenbach und Silvana Bürck, CO_2-Opportunitätskosten von Biokraftstoffen in Deutschland, ifeu gGmbH, 2022

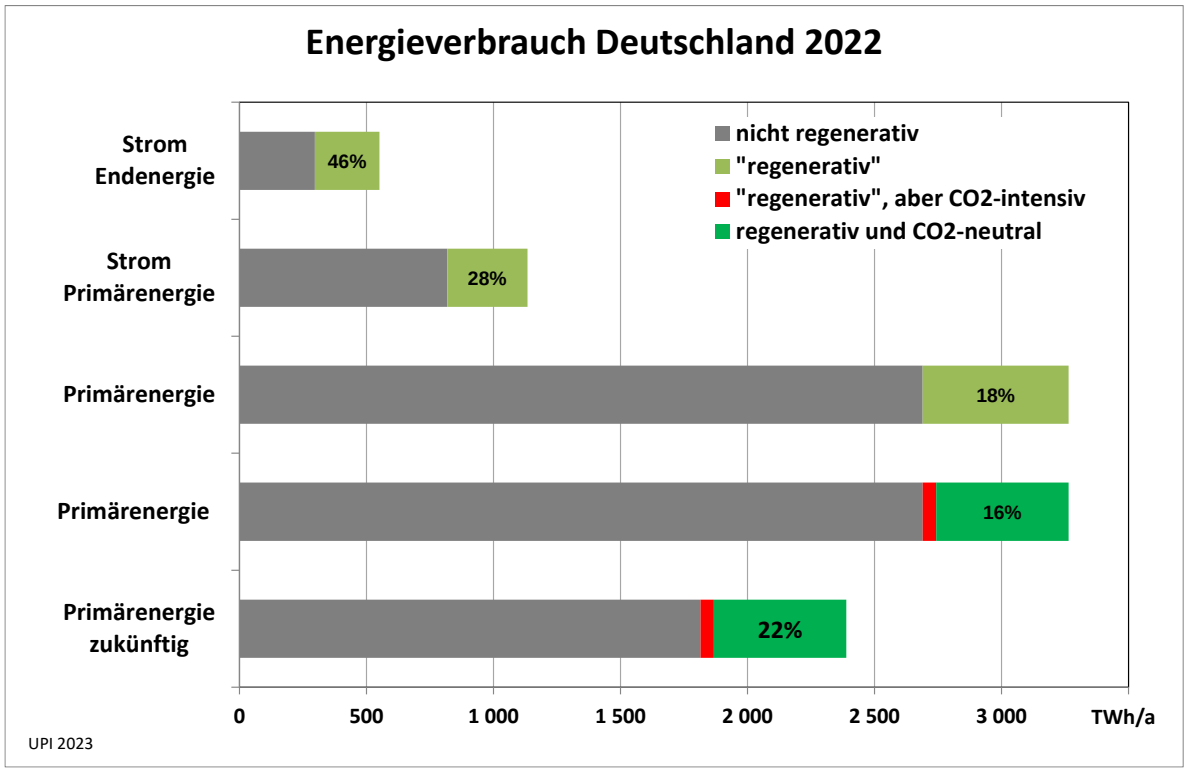

Bild 45: Anteil regenerativer Energie am Energieverbrauch Deutschlands[80]

Insgesamt wird erst 16% des heutigen Primärenergieverbrauchs in Deutschland regenerativ CO_2-frei oder CO_2-arm gedeckt. [81]

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 verzwölffachen 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.

80 AG Energiebilanzen, Auswertungstabellen zur Energiebilanz Deutschland, 2021

81 Da ein Teil des heutigen Primärenergieeinsatzes Umwandlungsverluste im Energiesystem sind (z.B. Abwärme von fossilen Kraftwerken), die in Zukunft wegfallen, sind es im Vergleich zum zukünftigen Primärenergieeinsatz 20%.

	TWh/Jahr	zu heutiger Stromerzeugung
Stromerzeugung 2022	588	100%
davon Wind	123	
" Photovoltaik	54	
" Wasser + Bioenergie	50	
Zusätzlicher Strombedarf in Zukunft:		
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 heute[82]	**12x**	

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

Eine Klimawende unter Beibehaltung der hohen Konsumgewohnheiten würde u.a. den Bau von ca. 100 000 großen Windkraftwerken bedeuten. Falls dies, wie in einigen Bundesländern bisher geplant ist, vor allem im Wald realisiert würde, würde dies zu einer massiven Schädigung des deutschen Waldes führen. In dieser Entwicklung stehen wir heute erst ganz am Anfang.

Bild 46 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.[83] [84]

82 Unter Berücksichtigung von Umwandlungs-, Speicher- und Leitungsverlusten

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

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

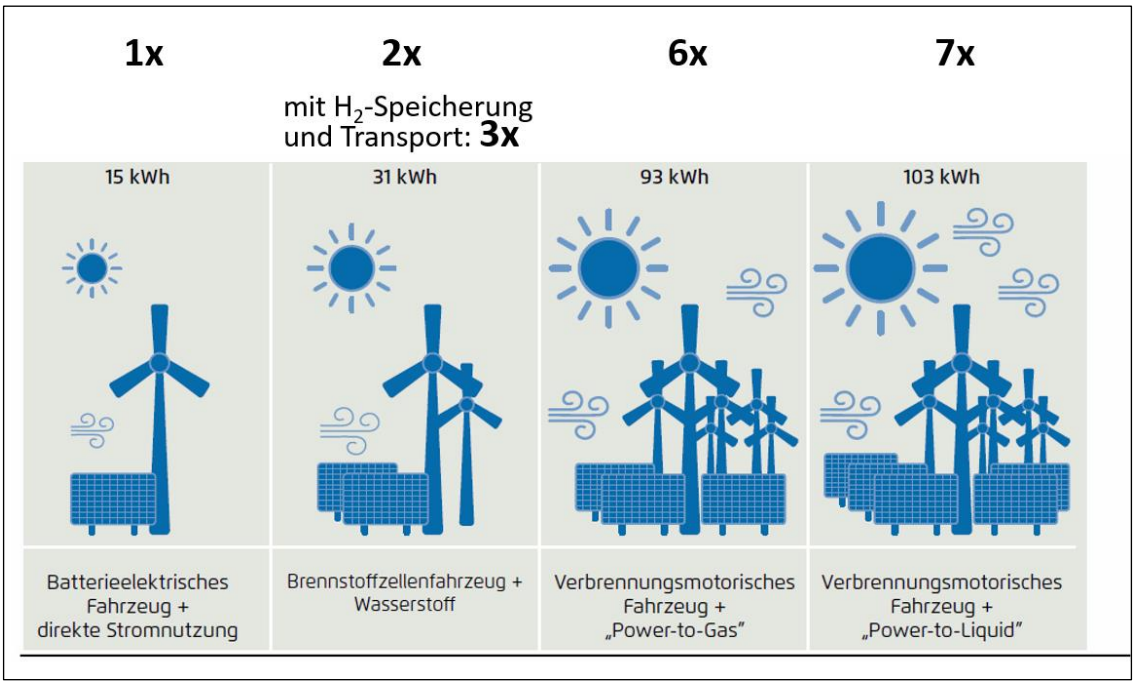

Bild 46: Bedarf regenerativen Stroms für verschiedene Antriebsarten[85]

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.[86]

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.[87] 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.[88]

---

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

86 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

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

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

6.4 CO_2-Quelle Verkehr

Bild 47 zeigt die Entwicklung der $CO_{2Äq}$-Emissionen nach Sektoren in Deutschland.

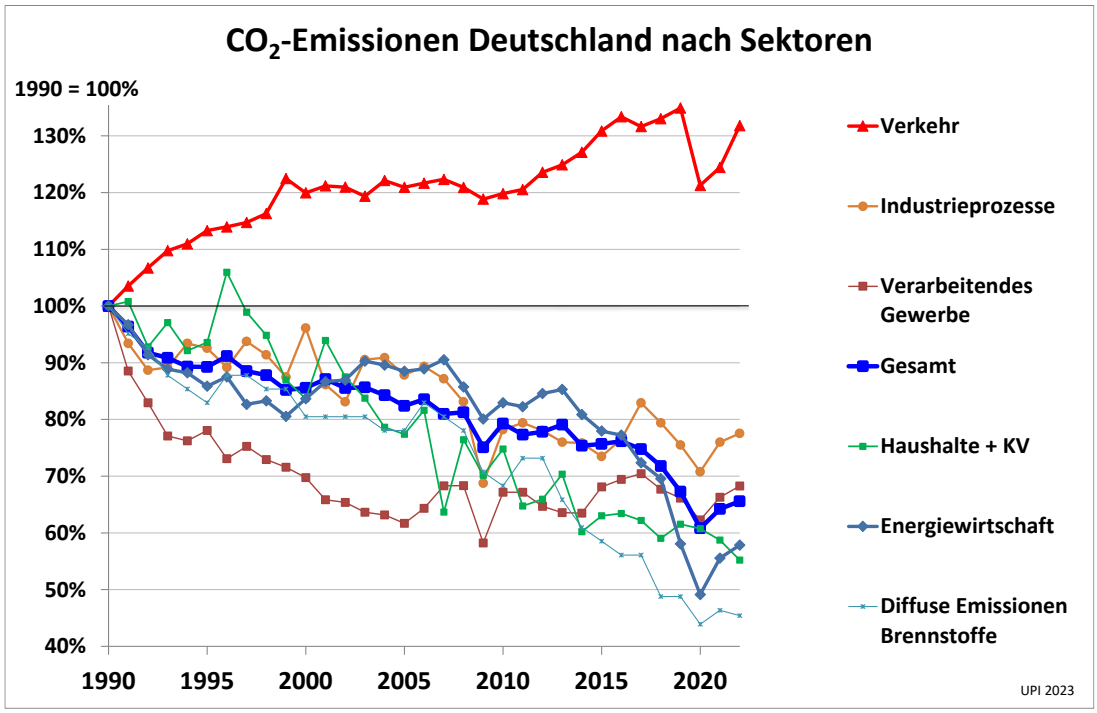

Bild 47: Entwicklung der $CO_{2Äq}$-Emissionen in Deutschland in den letzten drei Jahrzehnten[89]

Während in allen Sektoren außer dem Verkehrsbereich die CO_2-Emissionen abnehmen, ist der Verkehrsbereich von der Entwicklung völlig abgekoppelt. Die geringen Bemühungen zur CO_2-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 CO_2-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 48 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 CO_2 in Deutschland kompensiert inzwischen vollständig die CO_2-Einsparung durch alle 2 270 Windenergieanlagen im Wald, mit steigender Tendenz.

---

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

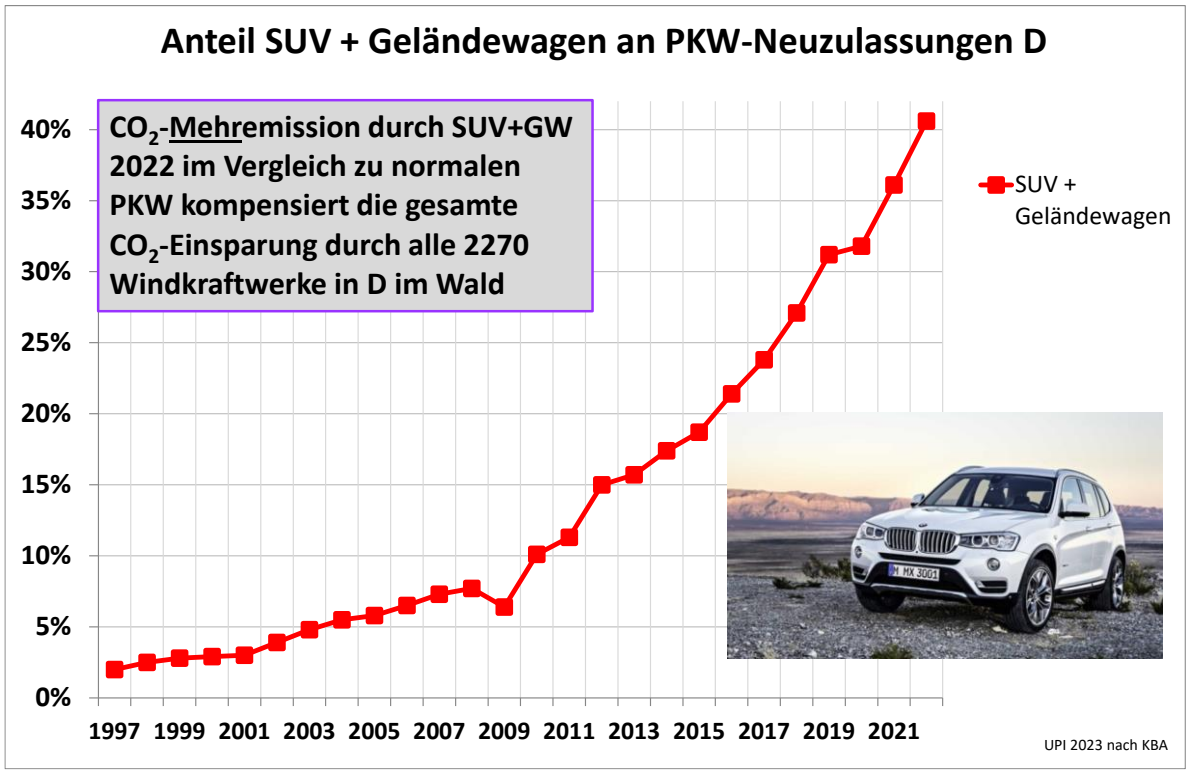

Bild 48: Anteile von SUVs und Geländewagen an allen Neuzulassungen in Deutschland 1997 - 2022

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.[90] Dazu solle den großen Fahrzeugen die tatsächlichen Kosten für Parken und Fahren zugeordnet werden.[91] [92]

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.

Die heute auf den Straßen Heidelbergs fahrenden SUVs und Geländewagen erzeugen im Vergleich zu durchschnittlichen PKW eine jährliche Mehremission von 14 000 t CO_2. Das ist 14-mal so viel wie der Unterschied in der CO_2-Einsparung durch ein Windkraftwerk auf Odenwaldhöhen oder in der Rheinebene.

---

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

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

92 Chef der Internationalen Energie-Agentur Briol: Staaten sollten gegen SUV-Verbreitung vorgehen, heise-online, 29.1.2024

Für Baden-Württemberg ergibt sich eine Mehremission der SUVs und Geländewagen im Vergleich zu durchschnittlichen PKW von 780 000 t CO_2 pro Jahr. Das entspricht dem Unterschied von rund 780 Windkraftwerken in der Ebene statt im Wald auf Bergen. Das sind eineinhalb 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 noch nicht einmal die (heutige !) Mehremission durch SUV und Geländewagen in Baden-Württemberg 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%.[93] Würde dieses Ziel in Heidelberg nur beim PKW-Verkehr realisiert, würde dies die CO_2-Emissionen Heidelbergs um 60 000 t pro Jahr verringern. Dies wäre 60-mal so viel wie die Differenz eines Windkraftwerks zwischen Odenwald und Ebene. Würde dieses Ziel auf Landesebene umgesetzt, würde dies die CO_2-Emissionen Baden-Württembergs um 4 400 000 t pro Jahr verringern. Dies wäre 4 500-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%. Bild 44 auf Seite 47 zeigt den Flächenbedarf regenerativer Energiequellen in Quadratmeter zur Gewinnung von 1 MWh Endenergie pro Jahr. Mit Abstand am besten schneidet Photovoltaik auf Dächern ab, da sie keine zusätzlichen Flächen benötigt.

Vergleicht man den Flächenbedarf zwischen Freiflächen-PV- und Windenergieanlagen, kommen Windkraftwerke mit ca. einem Achtzigstel der Fläche aus (siehe Bild 44). 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. Ein besonders krasses Beispiel ist ein PV-Projekt in Bad Freienwalde in Brandenburg, wo ein Investor 370 Hektar Wald[94] roden will, um auf 250 Hektar eine große PV-Freilandanlage zu errichten.[95] [96]

---

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

94 370 ha = 3,7 Mio qm. Das ist eine Fläche von z.B. 3,7 km Länge und 1 km Breite und entspricht ca. 500 Fußballfeldern.

95 Bernward Janzing, Kahlschlag für Sonnenenergie, taz, 31.7.2023

96 Bernward, Janzing, Kommentar, Solarprojekt in Brandenburg: Kein Wald für Photovoltaik, taz, 31.7.2023

Viel ökologischer und sinnvoller ist es, dafür bebaute Flächen zu verwenden. Hier weist z.B. Heidelberg einen deutlichen Rückstand im Vergleich zu anderen Städten auf. Ende 2021 waren in Heidelberg 22 MW_p[97] Photovoltaik installiert, davon 16 MW_p auf Dächern. Das sind bisher nur 5% des vorhandenen Photovoltaik-Potenzials auf Dächern. Damit liegt Heidelberg mit 150 W_p pro 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. Der Durchschnitt Baden-Württembergs liegt Ende 2021 bei 620 W_p, Rheinland-Pfalz bei 653 W_p PV auf Dachflächen pro Einwohner.

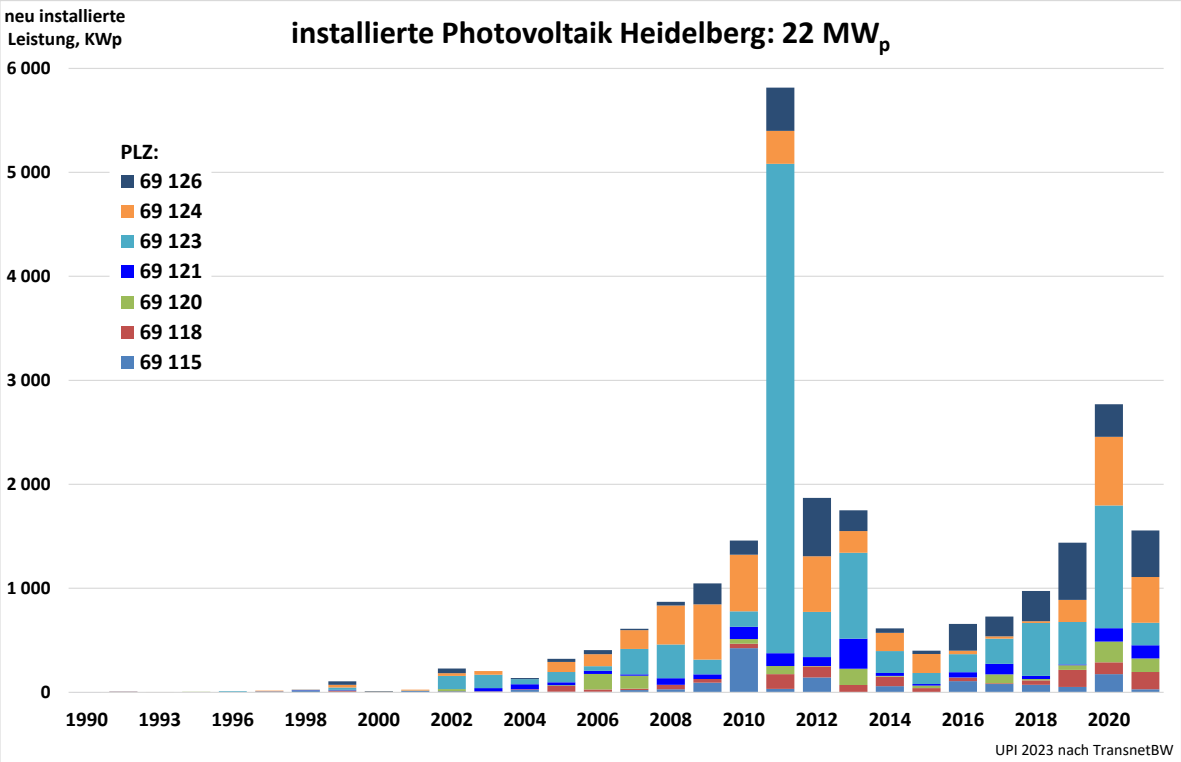

Bild 49: Jährlich neu installierte Photovoltaikkapazität in Heidelberg[98]

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 GWh[99] und in Zukunft 50

97 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.

98 TransnetBW GmbH Abrechnung 2021

99 1 GWh (GigaWattstunde) sind 1 Milliarde Wattstunden oder 1 Million Kilowattstunden

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 CO_2 eingespart werden. Das entspräche schon heute der Ertragsdifferenz von 27 Windkraftwerken, die in der Ebene statt im Wald gebaut würden, in Zukunft 34.

Das PV-Potenzial 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 ein neues Gebäude des DKFZ an der Berliner Straße sieht lediglich vor, dass „*Auf mindestens 30 % der Dachfläche*“ Photovoltaikanlagen zu errichten sind.[100]

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. [101] 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 CO_2/Jahr vermieden werden. Das entspräche der Ertragsdifferenz von 30 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, ein mögliches Potential von rund 61 500 MW_p Photovoltaik.[102] 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 CO_2/Jahr vermieden werden. Das entspräche der CO_2-Minderung von 1 200 Windkraftwerken im Wald oder der Differenz von 7 500 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 CO_2-Minderung durch ca. 6 000 Windkraftwerke im Wald. Weitere naturverträglich nutzbare PV-Potenziale

---

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

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

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

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 54). 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 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.[103] 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.[107]

In den Jahren 2017 bis 2022 lag die abgeregelte Ausfallarbeit zwischen 5 400 und 8 071 GWh pro Jahr.[104] [105] Die Tendenz ist steigend, im 1. Quartal 2023 nahm sie gegenüber dem 1. Quartal 2022 um weitere 8,9% auf 3 576 GWh zu.[106]

Der überwiegende Teil der Ausfallarbeit fällt in Norddeutschland an. Bild 50 zeigt die Entwicklung von 2013 bis 1. Qu. 2023, Bild 51 die regionale Verteilung.

---

103 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.

104 Bundesnetzagentur, Netzengpassmanagement Gesamtes Jahr 2021, 2022

105 www.energie-chronik.de/221205.htm

106 Bundesnetzagentur Netzengpassmanagement Quartalsbericht Erstes Quartal 2023

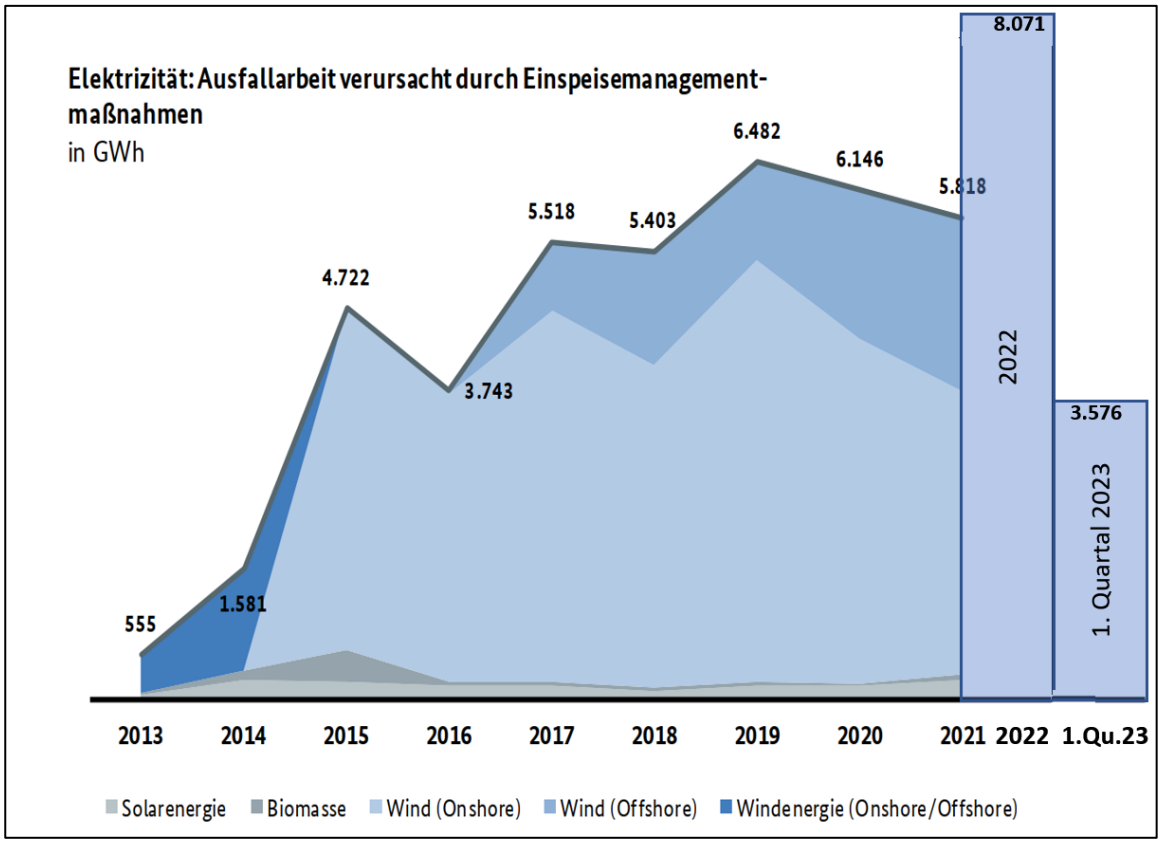

Bild 50: Ausfallarbeit verursacht durch Einspeisemanagementmaßnahmen [107]

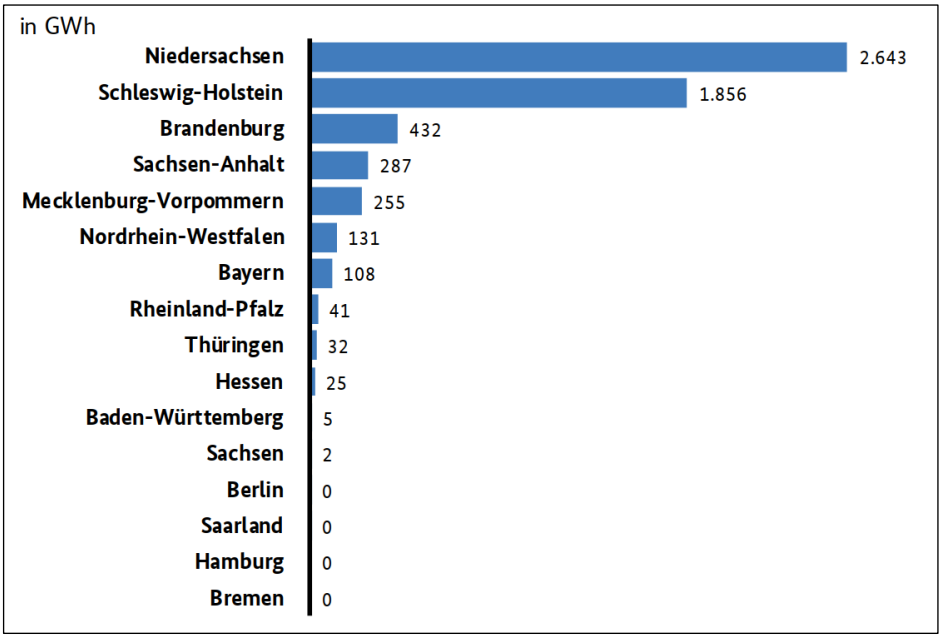

Bild 51: Regionale Verteilung der Ausfallarbeit im Jahr 2021 [107]

107 Bundesnetzagentur und Bundeskartellamt, Marktbeobachtung, Monitoring, Bericht Netzengpassmanagement Gesamtjahr 2022, 2023

Diese in Norddeutschland wegen fehlender Stromleitungen abgeregelte Windstrommenge ist inzwischen so viel, wie ca. 1 000 Windkraftwerke in Süddeutschland im Wald erzeugen könnten. Die abgeregelte Windstrommenge entspricht der Differenz von ca. 5 000 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 CO_2 unnötig emittiert, die bei Nutzung des abgeregelten Windstroms verhindert werden könnten. Würden 20% des in Norddeutschland abgeregelten Windstroms durch Ausbau der Netzinfrastruktur nach Baden-Württemberg geleitet, würden durch Ersatz von konventionell erzeugtem Strom 1 000 000 t CO_2 pro Jahr vermieden. Das entspräche der CO_2-Minderung durch 150 Windkraftwerke im Wald und wäre ca. 900-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) verbraucht[108], würden 60 000 t CO_2 pro Jahr vermieden. Das wäre 60-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.[109] 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*

---

108 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.

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

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 CO_2 reduziert werden.[110] [111] (Bild 52)

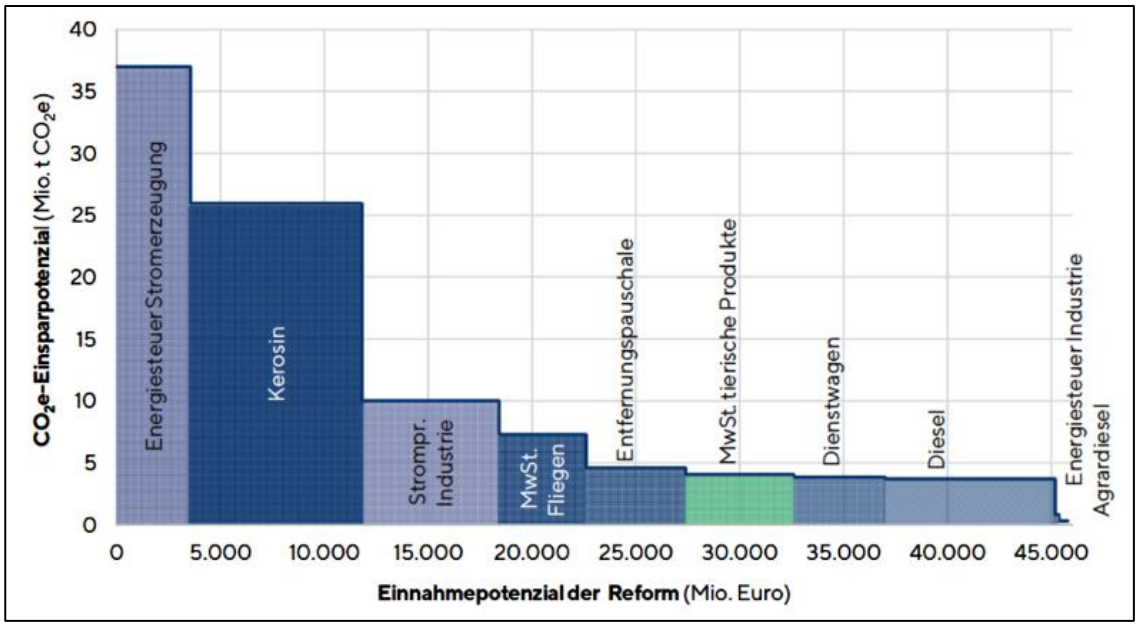

Bild 52: Abbau klimaschädlicher Subventionen: CO_2-Einsparpotential und fiskalische Einnahmen (Quelle: FÖS[112])

Im Koalitionsvertrag heißt es dazu: „*Subventionen: Wir wollen zusätzliche Haushalts-spielräume dadurch gewinnen, dass wir im Haushalt überflüssige, unwirksame und umwelt- und klimaschädliche Subventionen und Ausgaben abbauen*."[113] Etwa die Hälfte dieser umweltschädlichen Subventionen ließe sich nach Angaben des Umweltbundes-amtes bereits kurzfristig streichen.

Würde dieser im Koalitionsvertrag der Bundesregierung beschlossene, aber bisher nicht umgesetzte Abbau der umweltschädlichen Subventionen des Staates nur um ein Viertel durchgeführt, würden die CO_2-Emissionen Deutschlands so stark verringert werden wie 4 000 Windkraftwerke im Wald an CO_2 einsparen könnten oder so viel wie die Berg-

110 Forum Ökologisch-Soziale Marktwirtschaft, Zehn klimaschädliche Subventionen sozial gerecht abbauen - ein Zeitplan, 2021

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

112 https://foes.de/de-de/unsere-aufgaben/projekte/2020-klimaschaedliche-subventionen

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

Ebene-Differenz von 25 000 Windkraftwerken. Gleichzeitig würde sich die Verschuldung des Staates um ca. 15 Milliarden Euro pro Jahr verringern.

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 Vermächtnissen zur Krebsbekämpfung finanziert wird.

Eine Reduzierung der umweltschädlichen Subventionen des Staates nur um ein Viertel würde die CO_2-Emissionen Heidelbergs um rund 50 000 t $CO_{2\text{-Äq}}$ pro Jahr senken. Das ist 50-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 CO_2-Emissionen um ca. 3,6 Millionen t pro Jahr verringern. Das ist so viel, wie 600 Windkraftwerke im Wald an CO_2 einsparen können, und entspricht der Differenz von 3 600 Windkraftwerken auf bewaldeten Höhen statt unbewaldeter Ebene.

6.8 CO_2-Bindung in Böden

Böden spielen eine wichtige Rolle im Klimaschutz. Global betrachtet sind die Böden nach den Weltmeeren der zweitgrößte CO_2-Speicher. Sie enthalten ca. 2 000 Milliarden Tonnen organisch gebundenen Kohlenstoff in Form von Humus und Bodenleben[114]. Das ist mehr als doppelt so viel, wie sich heute Kohlenstoff als CO_2 in der Erdatmosphäre befindet.

Von der Kohlenstoffmenge im Boden hängen wichtige ökologische Eigenschaften des Bodens ab: die Versickerungs- und Speicherfähigkeit 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 CO_2 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 (CH_4)

---

114 engl.: Soil Organic Carbon - SOC; 1 t C entspricht 3,67 t CO_2

und Distickstoffoxid (N_2O) eine Rolle.[115] Ökologisch bewirtschaftete Böden setzen im Durchschnitt weniger N_2O 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 CO_2-Äquivalente zusammengefasst. Der Weltklimabericht quantifiziert die kumulierte Wirkung einer Umstellung auf ökologische Bewirtschaftung auf minus 1,08 t $CO_{2\text{-Äq}}$/ha pro Jahr.[116]

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 CO_2-Konzentration in der Atmosphäre deutlich reduzieren.[117]

Würde der Kohlenstoffgehalt im Waldboden Baden-Württembergs durch eine geänderte Forstwirtschaft nur um relativ 2‰ (2 Promille) pro Jahr erhöht werden, würde dies der Atmosphäre 1 Million Tonnen CO_2 pro Jahr entziehen. Dies entspräche der Differenz von 1 000 Windkraftwerken auf bewaldeten Höhen im Vergleich zu Standorten in der Ebene, doppelt so viel, wie die Landesregierung in Wäldern bauen will.

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 CO_2-Menge von ca. 2,7 Millionen t oder der 3,3-fachen Menge der CO_2-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.[118] Dazu wurde vom Landtag Baden-Württemberg im Juli 2022 das Biodiversitätsstärkungsgesetz verabschiedet.[119]

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 CO_2-Emissionen um ca. 1 000 t pro Jahr reduzieren bzw.

---

115 CH_4 ist pro kg 21-mal, N_2O 310-mal so klimawirksam wie CO_2.

116 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

117 https://4p1000.org/

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

119 § 17a Absatz 1 des Landwirtschafts- und Landeskulturgesetzes (LLG) Baden-Württemberg

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 Jahr[120] erhöht, ließen sich dadurch weitere 3 200 t CO_2-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.[121] Würde dieser Anteil tatsächlich bis 2030 auf 35% erhöht, würde dies zu einer jährlichen Reduktion der CO_2-Emissionen um 270 000 t führen. Dies entspräche der Berg-Ebene-Differenz von 270 Windkraftwerken.

Diese bisher vernachlässigten Maßnahmen wären nicht nur aktiver Klimaschutz. Sie hätten auch zahlreiche andere 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.

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 Watt/m^2 verringert.[122] Die Rückstrahlung der eingestrahlten 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.

---

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

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

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

Wenn in Heidelberg nur bei 1% der Siedlungsfläche[123] z.B. durch hellere Dächer die Albedo von 15% auf 40% erhöht würde, entspräche dies derselben Vermeidung von Treibhauseffekt wie durch die Einsparung von 9 000 t CO_2-Emissionen. Dieser Klimaeffekt träte sofort ein. Derselbe Klimaeffekt würde durch den Unterschied eines Windkraftwerks auf den Höhen des Odenwalds statt in der Rheinebene erst nach Inbetriebnahme nach ca. 9 Jahren erreicht. Gleichzeitig würde die Albedoerhöhung das Stadtklima verbessern.

6.10 Tempolimit

Ein Tempolimit von 120 km/h auf Autobahnen und 80 km/h auf Außerortsstraßen könnte den Treibhausgasausstoß des deutschen Straßenverkehrs um rund 5 Prozent reduzieren. Das entspricht 8 Mio t $CO_{2Äq}$ pro Jahr.[124] [125] Das ist so viel, wie 1 300 neue Windkraftwerke im Wald CO_2 einsparen könnten, und 60% mehr als die CO_2-Einsparung durch alle bisherigen 2 300 Windkraftwerke im Wald. Darin noch nicht eingerechnet sind mittelfristige Auswirkungen eines Tempolimits auf eine spritsparende Entwicklung der PKW-Motoren (Abkehr von ansteigenden Höchstgeschwindigkeiten und Motorleistungen bei Neufahrzeugen).

Daneben hätten Tempolimits erhebliche positive Auswirkungen auf das Unfallgeschehen, den Verkehrslärm, den Ausstoß an Schadstoffen und den Verschleiß von Straßen. Dies ist seit Jahrzehnten bekannt. Bisher wurde ein Tempolimit auf Autobahnen durch die jeweiligen Bundesverkehrsminister verhindert, obwohl sich in Umfragen seit langem Mehrheiten dafür aussprechen.

6.11 Flugverkehr

Die mit Abstand höchsten spezifischen CO_2-Emissionen im Verkehrsbereich werden durch den Flugverkehr erzeugt. Bild 53 zeigt einen aktuellen Vergleich der CO_2-Emissionen pro Personen-Kilometer verschiedener Verkehrsmittel.

Greenpeace berechnete 2023 die CO_2-Emissionen durch einen Teil des Privatflugverkehrs in Deutschland[126] [127] Die Privatjets, die von deutschen Flughäfen aus starten, verursachten im Jahr 2022 208 600 Tonnen CO_2-Emissionen. Im Vergleich zum Vorjahr nahmen sie um 91 % zu. In Europa wurden 2022 durch Privatjets 3,4 Millionen Tonnen CO_2 verursacht. Die Mehrzahl der Privatflüge sind Kurzstreckenflüge.

---

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

124 www.umweltbundesamt.de/themen/tempolimits-koennten-mehr-treibhausgase-sparen-als

125 Flüssiger Verkehr für Klimaschutz und Luftreinhaltung, Abschlussbericht, Umweltbundesamt, TEXTE 14/2023

126 www.greenpeace.de/publikationen/20230330_Factsheet_Privatjet_DE_EU_Report-1.pdf

127 Die Berechnungen enthalten nur einen kleinen Teil der Privatflüge, da z.B. einige kleine Flugzeugtypen mit weniger als drei Plätzen, die hauptsächlich für Freizeit- und nicht für Geschäfts- oder Privatflüge genutzt werden und Flüge von und zu Flughäfen ohne IATA-Code oder Flüge, die auf demselben Flughafen ankommen, von dem sie abgeflogen sind, nicht berücksichtigt wurden.

Allein die berechneten CO_2-Emissionen durch Privatflüge in Deutschland entsprechen dem Unterschied von 200 Windkraftwerken auf Waldstandorten auf Bergen im Vergleich zu Standorten in der Rheinebene.

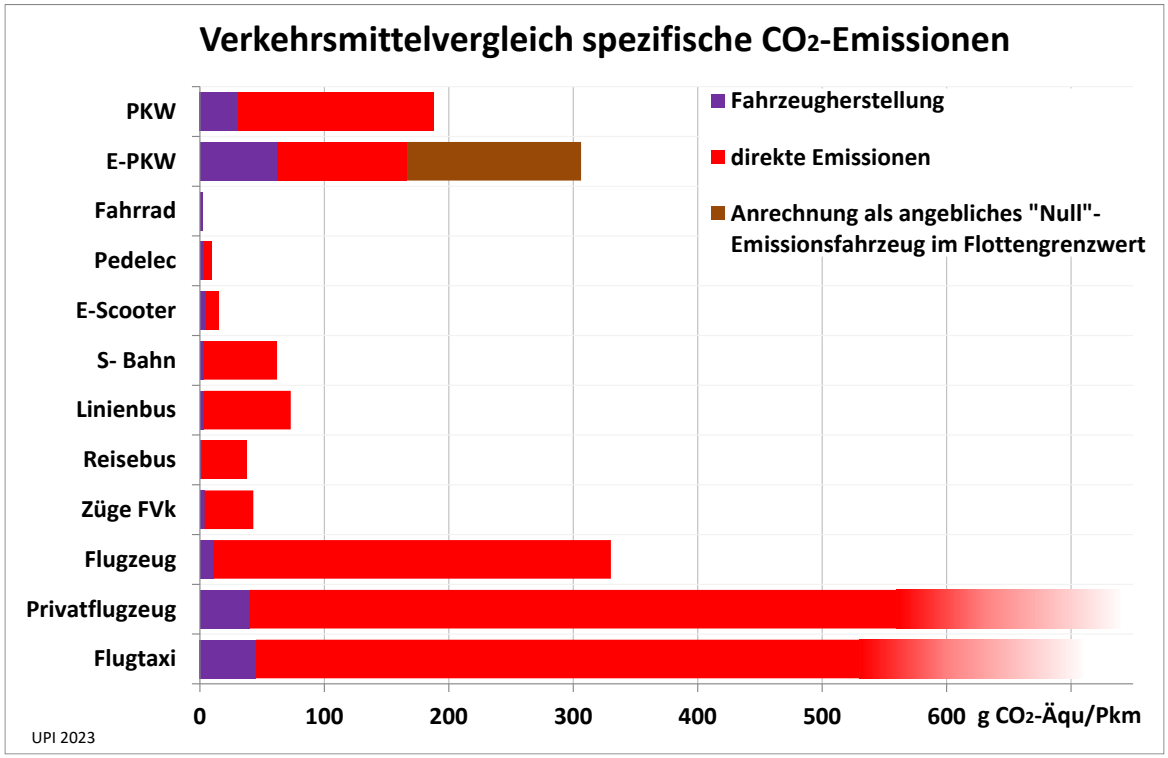

Bild 53: CO_2-Emissionen pro Personen-Kilometer[87]

Der Landesrechnungshof Baden-Württemberg rügte in seiner Denkschrift 2023 die Beteiligung des Landes an der Flughafen Friedrichshafen GmbH und der Rhein-Neckar Flugplatz GmbH und gab die Empfehlung, das Land solle sich von diesen Beteiligungen trennen.[128] Das Land Baden-Württemberg ist an der Rhein-Neckar Flugplatz GmbH mit 25 % beteiligt, die Stadt Heidelberg mit 6,67%. Der Landesrechnungshof schreibt: *„100 Prozent der Flüge vom Flugplatz Mannheim sind Kurzstreckenflüge, die das Land perspektivisch möglichst ersetzen möchte. Die Verkehrsanbindung ist über die Schiene bereits ausreichend gegeben. Hinzu kommt, dass lediglich etwa ein Drittel der Flugbewegungen kommerziell ist. Das Land unterstützt mit seiner Beteiligung somit überwiegend nicht-kommerzielle Flüge. Der Großteil dieser Flüge sind Hobbyflüge.*“

Sowohl das Ministerium für Finanzen wie das Ministerium für Verkehr lehnten die Forderung des Landesrechnungshofs nach Ausstieg aus den beiden Flugplätzen ab.[129]

---

128 https://rechnungshof.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/Denkschriften/Denkschrift_2023/Denkschrift_2023.pdf

129 Der Rechnungshof kritisiert die Landesbeteiligungen an den Regionalflughäfen, Rhein-Neckar-Zeitung, 18.7.2023

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.[130] 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 47% der Windkraftwerke im Wald errichtet, Ende 2015 waren es erst 25%.[131] Im Bundesdurchschnitt sind es heute nur 7% ! Bild 54 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.

In Niedersachsen, das bisher mit Abstand die meisten Windkraftwerke an Land gebaut hat, wurden lediglich 0,1% aller 6 243 Windkraftwerke[132] in den Wald gebaut. In der 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*
- *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:

---

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

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

132 https://de.wikipedia.org/wiki/Windenergie

„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,*
- *Munitionsdepots, 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.*“[133]

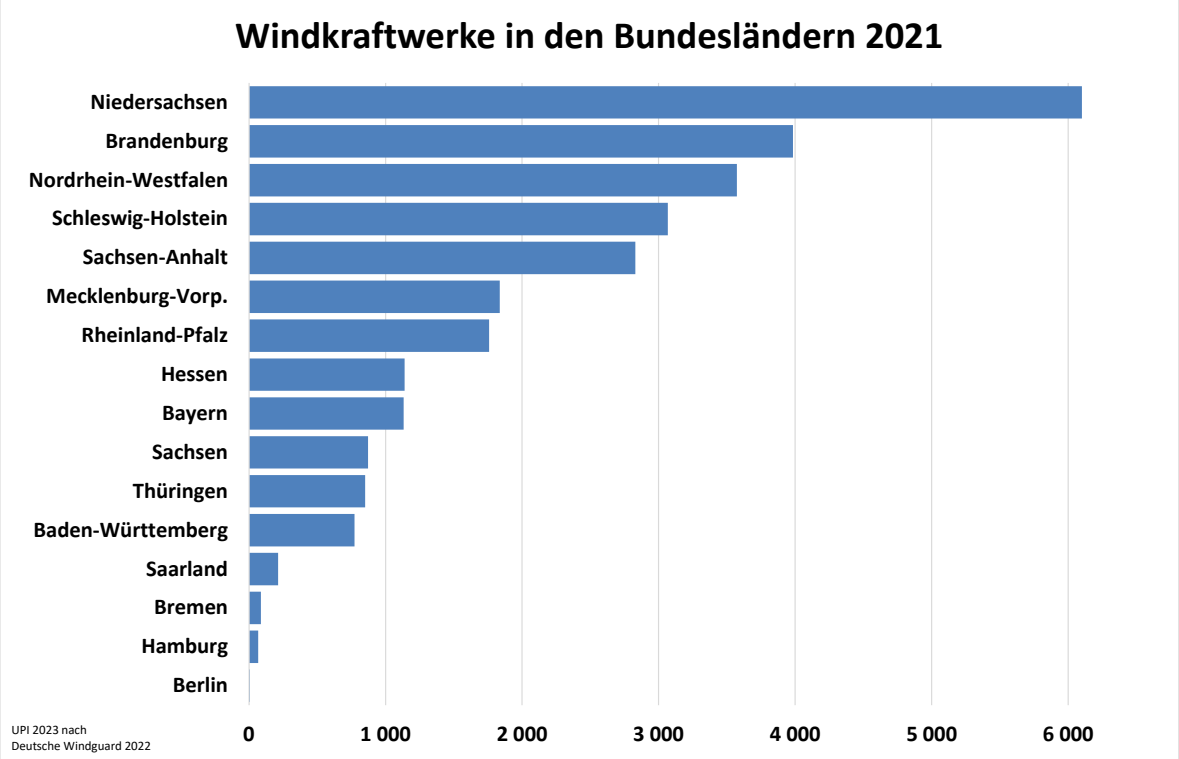

Bild 54: Zahl der Windkraftwerke in den Bundesländern 2022[134]

133 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)

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

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.

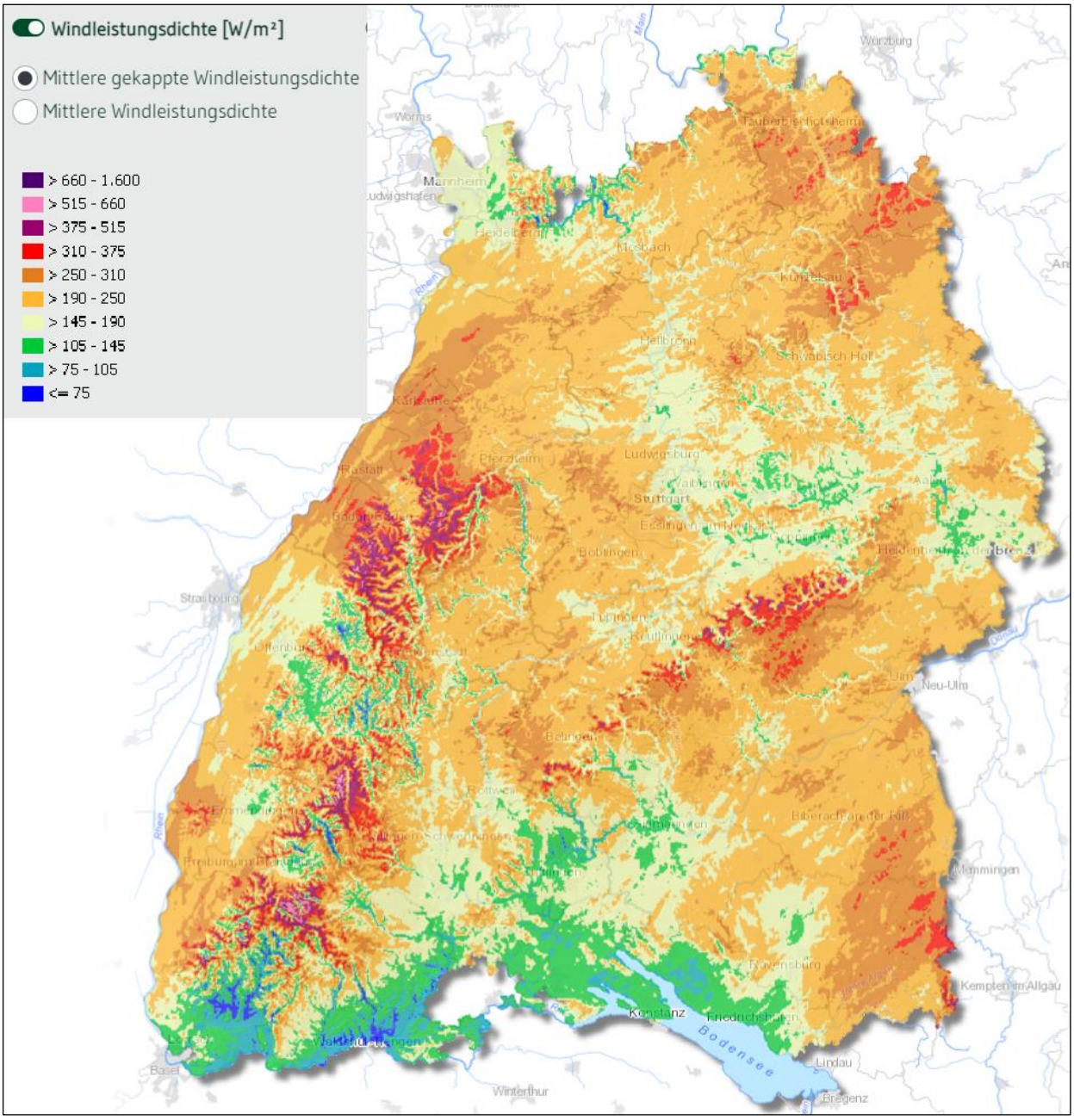

Bild 55: Gekappte Windleistungsdichte in Baden-Württemberg in 160 m Höhe[64]

Bild 55 und Bild 56 zeigen für Baden-Württemberg die gekappte Windleistungsdichte in 160 m und 200 m über Grund aus dem Energieatlas Baden-Württemberg und Bild 57 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.

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.

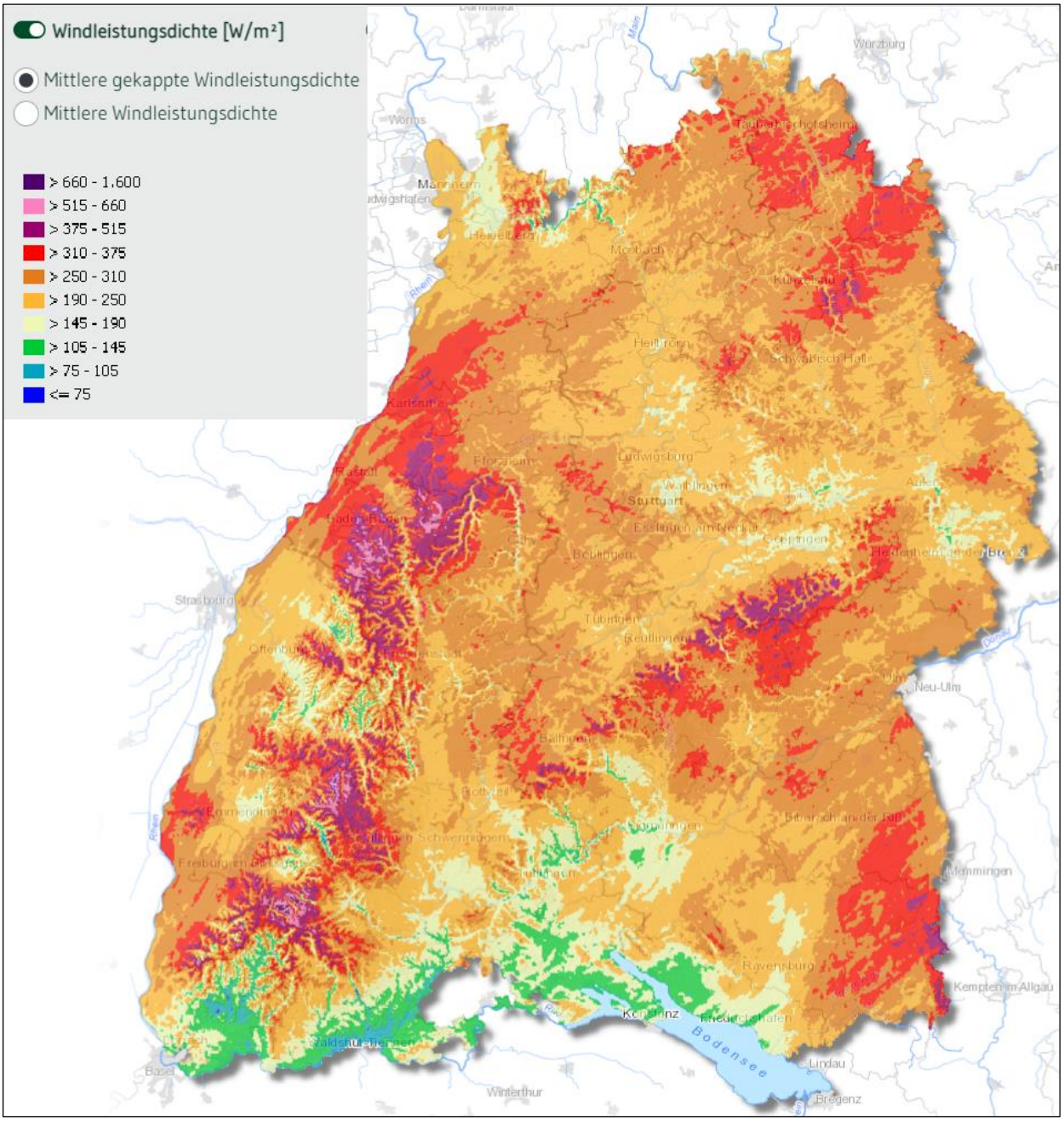

Bild 56: Gekappte Windleistungsdichte in Baden-Württemberg in 200 m Höhe[64]

Bild 57: Wald in Baden-Württemberg[135]

Durch das Umweltministerium wurde den Regionalverbänden für die Erstellung der Regionalpläne für Windvorranggebiete als Ausschlusskriterium für Windvorrangflächen

135 Google Earth

eine gekappte Windleistungsdichte in 160 m Höhe vorgegeben. Dies entspricht jedoch nicht mehr dem heutigen Stand der Technik. Die Nabenhöhe ist in der Vergangenheit kontinuierlich angestiegen, sie nahm von 2010 bis 2018 um 50 m zu.[136] Heutige Windenergieanlagen liegen in der Nabenhöhe z.T. deutlich über 160 m, wie Tabelle 3 zeigt. Auch in Zukunft wird die Nabenhöhe von Windkraftwerken weiter zunehmen, da Windgeschwindigkeiten und Stetigkeit des Windes mit der Höhe über Grund zunehmen.

WKW-Typ	**Jahr**	**Leistung, MW**	**Nabenhöhe, m**	**Rotordurch-messer, m**
General Electric 3.6-137	2017	3,6	**165**	137
Gamesa SWT-3.15-142	2017	3,15	**165**	130
Enercon E-160 EP5	2020	4,6	**166**	160
Gamesa SG 7.0-170	2021	7,0	**165**	170
Enercon E-175 EP5	2022	6,0	**162**	175
Nordex N175/6.X	2024	6,x	**179**	175
Vestas V172-7.2 a	2024	7,2	**175**	172
Goldwind GW 191/6000	2024	6,0	**185**	191
Vestas V172-7.2 b	2024	7,2	**199**	172

Tabelle 3: Leistung, Nabenhöhe und Rotordurchmesser gängiger Windkrafttypen

Da die Regionalpläne die Grundlage für die Windenergieplanung der nächsten Jahrzehnte sind, sollte dieses Ausschlusskriterium zumindest auf die Windleistungsdichte des Windatlasses in 200 m Höhe geändert werden. Dadurch würde die Definition geeigneter Windvorrangflächen im Rahmen der Regionalplanung erleichtert und die Zahl möglicher Flächen vergrößert.

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

[136] Deutsche WINDGUARD, Volllaststunden von Windenergieanlagen an Land – Entwicklung, Einflüsse, Auswirkungen, Oktober 2020

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.[137] Die umfangreichen Ergebnisdaten des Projekts sind als Shape Files verfügbar.[138] Sie wurden hier als Grundlage von Bild 58 bis Bild 63 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.

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

---

137 Julia Thiele, Julia Wiehe, Philip Gauglitz, Carsten Pape, Clemens Lohr, Astrid Bensmann, Richard Hanke-Rauschenbach, 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

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

- 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 58 bis Bild 63 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.

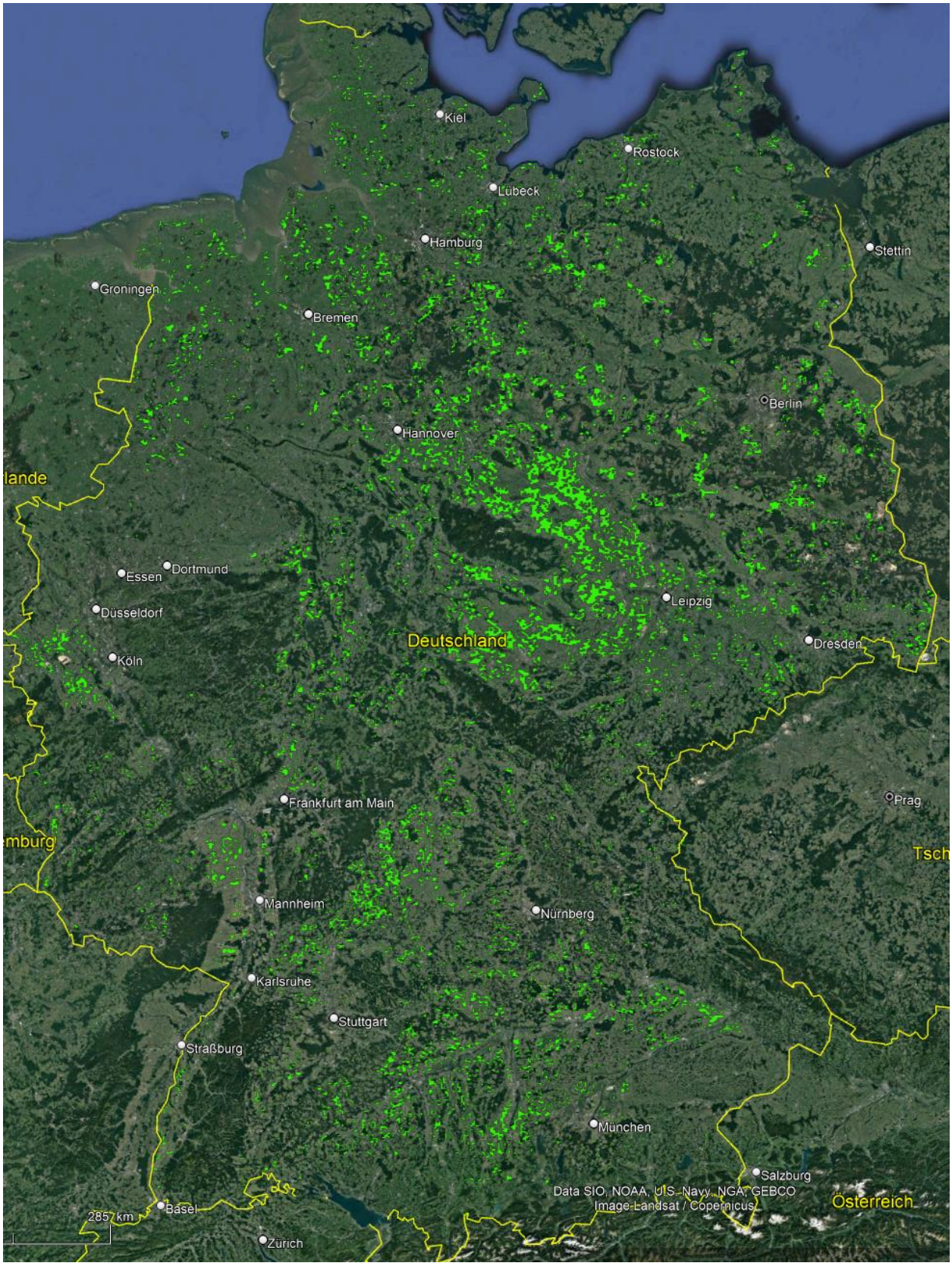

Bild 58: Flächen zur Nutzung von Windenergie mit geringem (hellgrün) Raumwiderstand in Deutschland, Ergebnisse aus [137] [138]

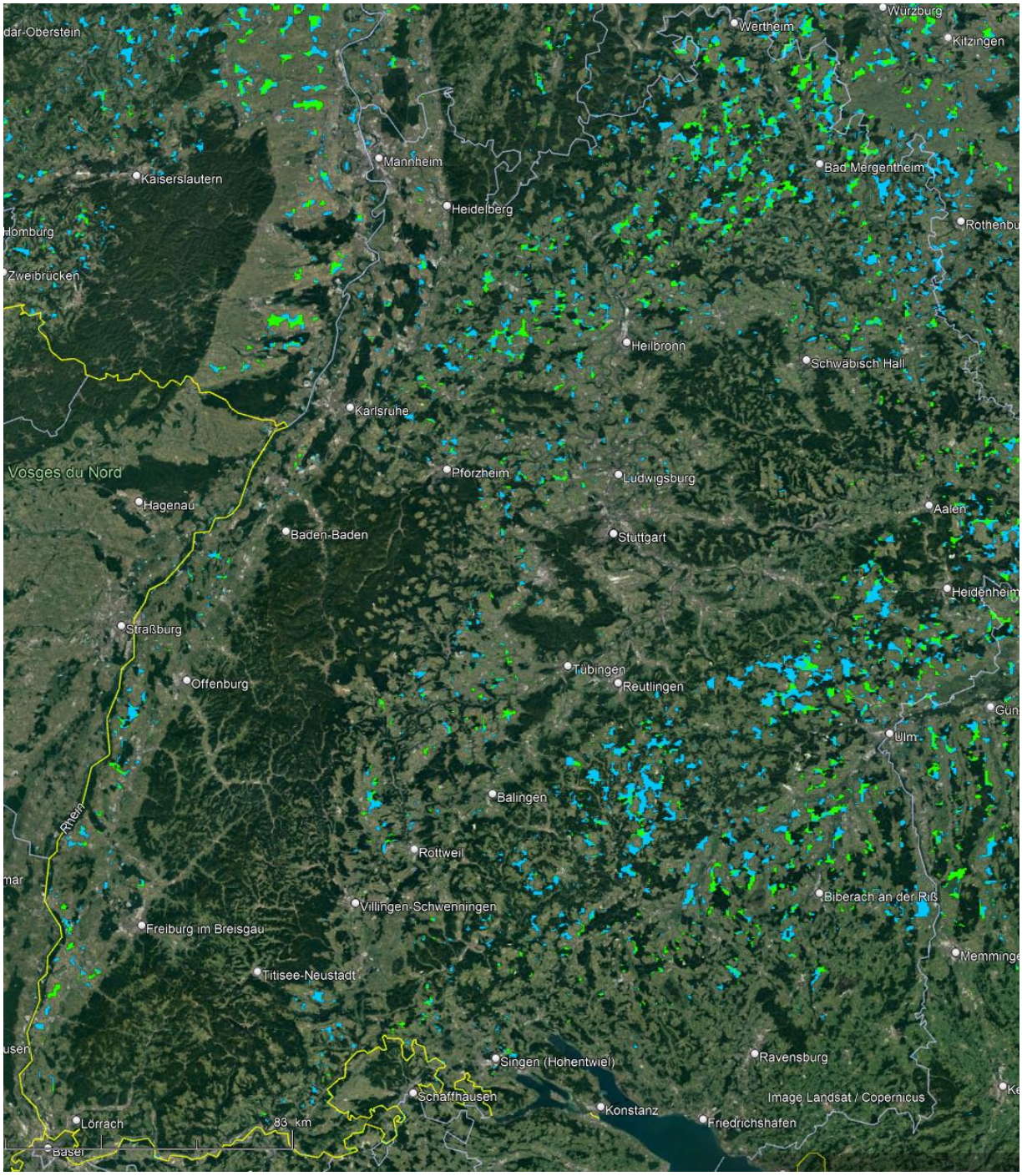

Bild 59: Flächen zur Nutzung von Windenergie mit geringem (hellgrün) und mittlerem (hellblau) Raumwiderstand in Baden-Württemberg, Ergebnisse aus [137] [138]

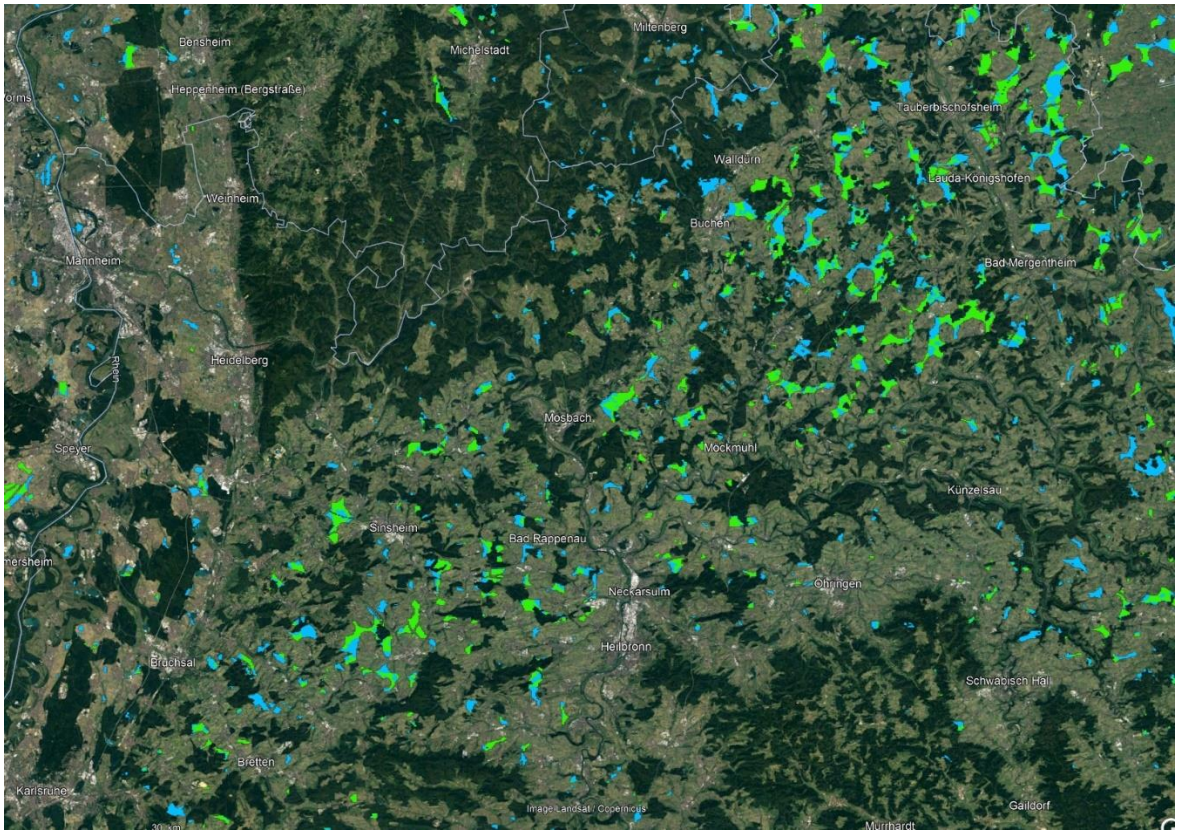

Bild 60: Flächen zur Nutzung von Windenergie mit geringem (hellgrün) und mittlerem (hellblau) Raumwiderstand in Nordbaden, Ergebnisse aus [137] [138]

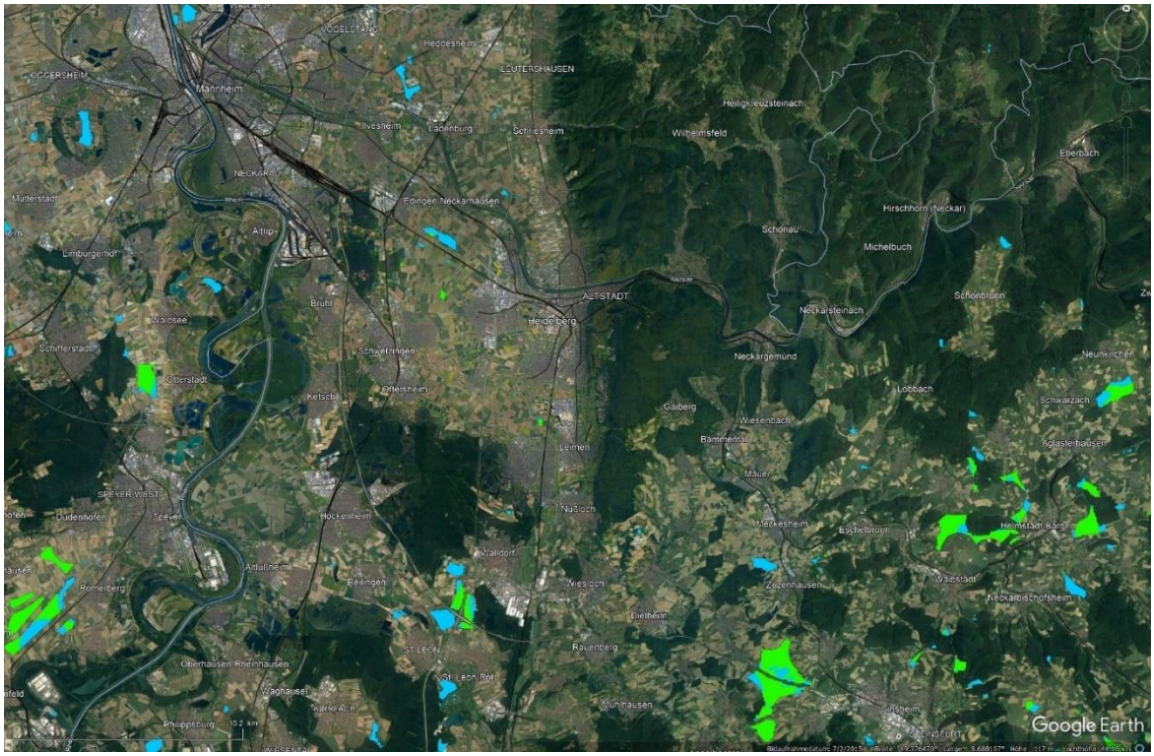

Bild 61: Flächen zur Nutzung von Windenergie mit geringem (hellgrün) und mittlerem (hellblau) Raumwiderstand im Großraum Heidelberg, Ergebnisse aus [137] [138]

Bild 62: Flächen zur Nutzung von Windenergie mit geringem (hellgrün) und mittlerem (hellblau) Raumwiderstand in Heidelberg, Ergebnisse aus [137]

Als Beispiel für eine Region in Hessen zeigt Bild 63 Nordhessen.

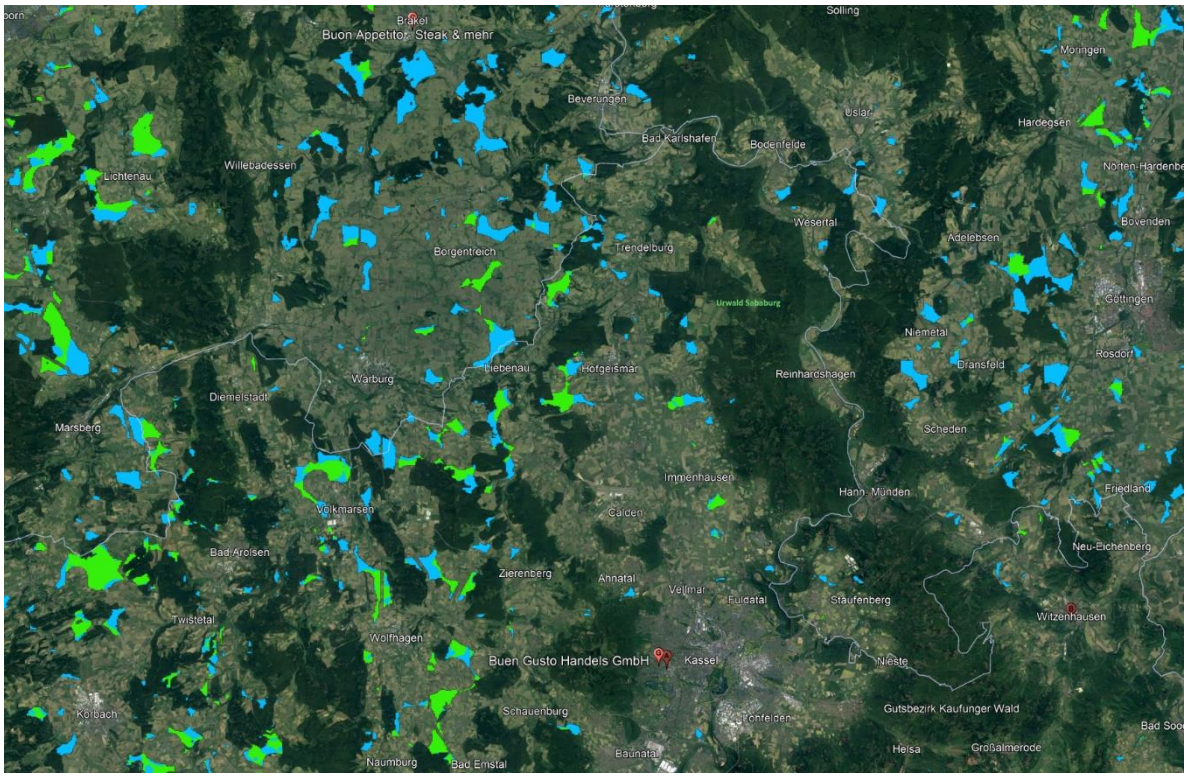

Bild 63: Flächen zur Nutzung von Windenergie mit geringem (hellgrün) und mittlerem (hellblau) Raumwiderstand in Nordhessen, Ergebnisse aus [137] [138]

In dem größten geschlossenen Waldgebiet Hessens, dem Reinhardswald (Bild 63), 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.

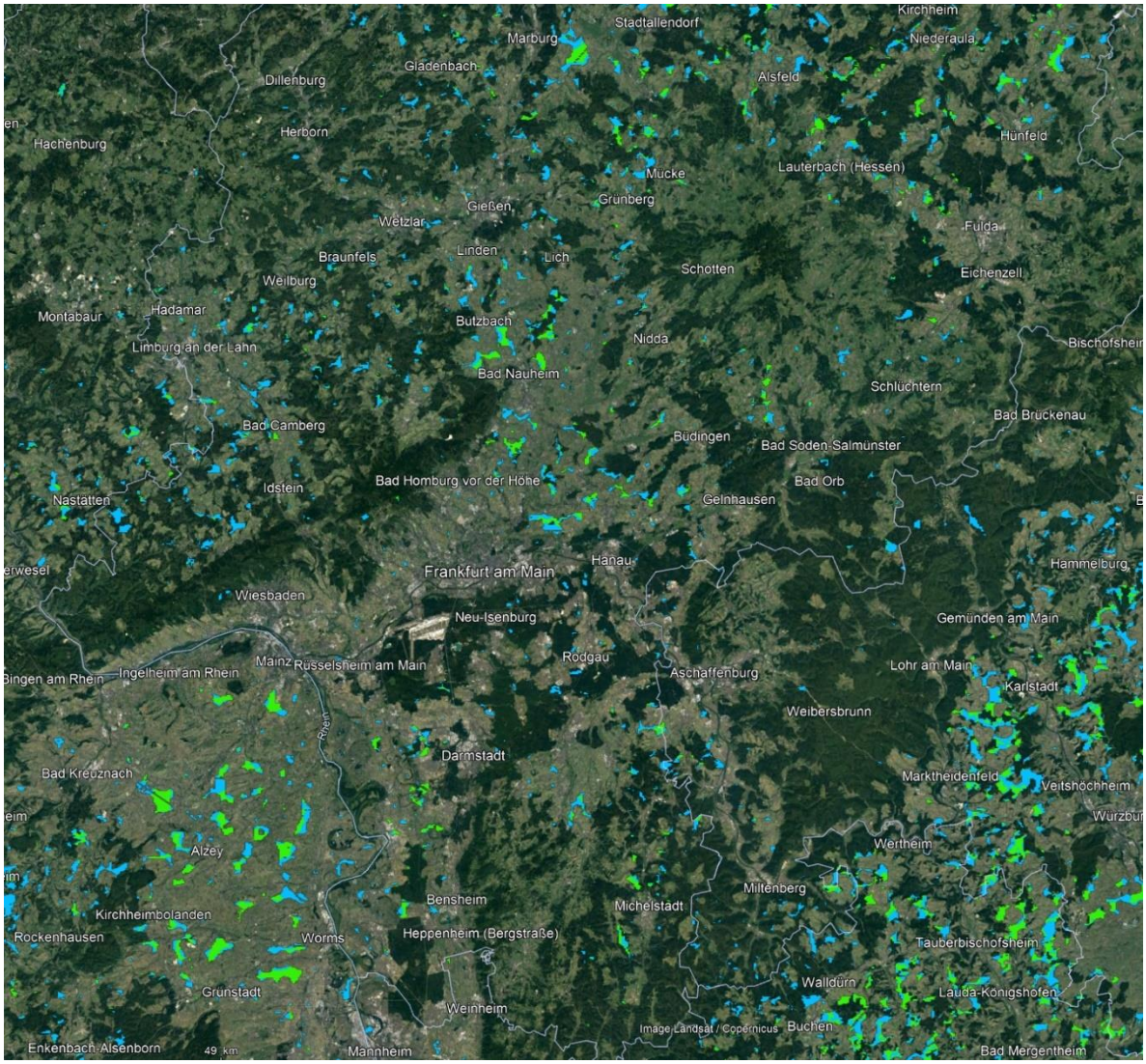

Bild 64: Flächen zur Nutzung von Windenergie mit geringem (hellgrün) und mittlerem (hellblau) Raumwiderstand in Mittel- und Südhessen, Ergebnisse aus [137] [138]

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.[139] Bild 64 zeigt die Ergebnisse des BfN-Projekts für Bayern.

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

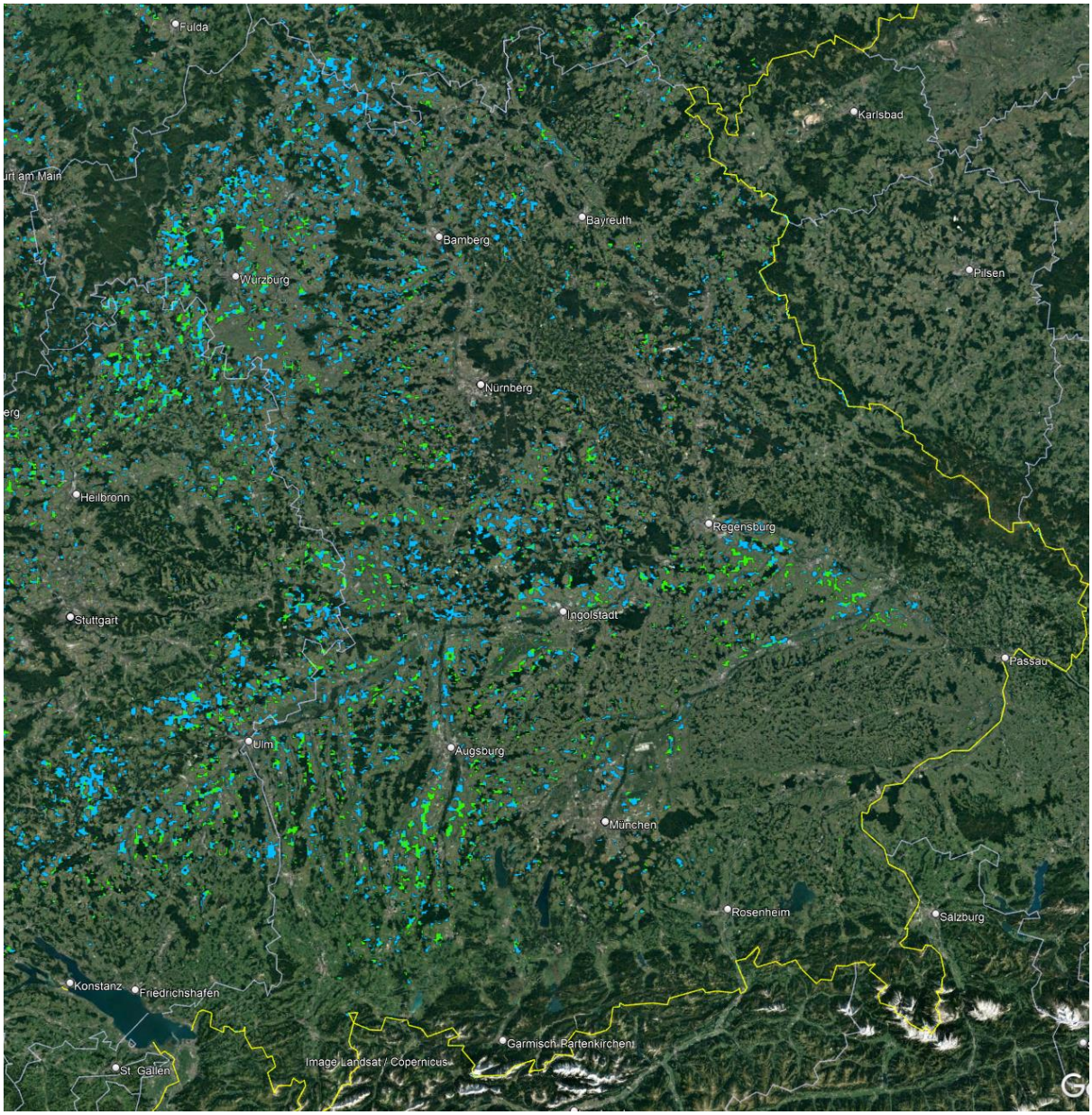

Bild 65: Flächen zur Nutzung von Windenergie mit geringem (hellgrün) und mittlerem (hellblau) Raumwiderstand in Bayern, Ergebnisse aus [137] [138]

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%).

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.: [140]

„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 4)

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 4: Wirkbereiche sinnvoller Kombinationsmaßnahmen im Klimaschutz

[140] 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.[141] Das Ergebnis war ein aus 7 Seiten bestehender Klimaschutzaktionsplan, der vom Gemeinderat in der Sitzung vom 21.11.2019 mit großer Mehrheit beschlossen wurde.[142]

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 CO_2-Emissionen Heidelbergs lediglich um 7% reduzieren würde.[143] [144] Ein ähnliches Ergebnis zeigte die Analyse der Klimaschutzmaßnahmen im Mobilitätsbereich durch das UPI-Umwelt- und Prognose-Institut.[145] [146] [147]

Eines der Ergebnisse war, dass die mit Abstand teuerste Maßnahme des Klimaschutz-aktionsplans, ein Nulltarif im ÖPNV Heidelbergs, die CO_2-Emissionen Heidelbergs lediglich um 0,02% reduzieren könnte. Pro eingesparter Tonne CO_2 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 CO_2-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 ankündigte[148], aber bis heute (November 2023) nicht umgesetzt hat.

Insgesamt wäre es z.B. im Verkehrsbereich wesentlich preiswerter und schneller realisierbar, CO_2-Emissionen zu reduzieren als durch den Bau neuer Kraftwerke oder im Wärmebereich.[149] Im Bereich Verkehr könnten durch Push&Pull-Maßnahmen weitgehend selbstfinanzierend hohe CO_2-Reduktionen erzielt werden.

---

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

142 Stadt Heidelberg, Klimaschutz-Aktionsplan, 2019

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

144 Rhein-Neckar Zeitung, Der Klimaschutzaktionsplan bringt deutlich weniger als erhofft, 23.6.2021

145 UPI, Klimaschutz-Aktionsplan der Stadt Heidelberg - Untersuchung der CO_2-Reduktionspotentiale der Mobilitätsmaßnahmen, im Auftrag der Stadt Heidelberg, 2021 www.upi-institut.de/upi85.pdf

146 Rhein-Neckar Zeitung, Heidelberger Aktionsplan verfehlt Klimaschutz-Ziele, 24.10.2021

147 Rhein-Neckar Zeitung, Muss die Stadt den Ferntourismus reduzieren?, 6.5.2022

148 https://ww1.heidelberg.de/buergerinfo/vo0050.asp?__kvonr=29925

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

8 Zusammenfassung

Die Reduktion der CO_2-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 Bundesland am Beispiel Baden-Württembergs berechnet. Die Studie ergab, dass es zahlreiche Möglichkeiten zur CO_2-Reduktion gibt, die effektiver und teilweise schneller zu realisieren wären als Windkraftwerke im Wald und die keine negativen ökologischen Auswirkungen hätten. Tabelle 5 zeigt die Ergebnisse für Heidelberg, Tabelle 6 für Baden-Württemberg.

Möglichkeiten 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	-1 000	1	6.1	Ja
Photovoltaik (PV) auf heutigen Flachdächern Unicampus NHF	-27 000	27	6.5	bei größeren Gewerbegebieten
PV auf 25% der geeigneten Dächer Heidelbergs ohne NHF	-30 000	30	6.5	Ja
Normal-PKW statt SUV auf Straßen Heidelbergs	-14 000	14	6.4	Ja
Reduktion Autoverkehr in Heidelberg um 10%	-30 000	30	6.4	Ja
Nulltarif ÖPNV in Heidelberg	-200	0,2	7.3	Ja
35% Öko-Landwirtschaft in HD	-1 000	1	6.8	abhängig von Agraranteil
Waldböden Heidelberg Humusgehalt +0,2%/a	-3 000	3	6.8	abhängig von Waldanteil
1,4% des abgeregelten Windstroms nach MRN*	-60 000*	60	6.6	Ja
umweltschädliche Subventionen -25%	-50 000	50	6.7	Ja
Summe	**-240 000**	**240**		

Tabelle 5: Bisher ungenutzte Möglichkeiten zur CO_2-Reduktion in Heidelberg [150]

150 * 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.

Möglichkeiten 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	-510 000	1	500	6.1
zusätzlich PV auf 20% der geeigneten Dächer BaWü's	-7 600 000	15	7 500	6.5
Normal-PKW statt SUV auf Straßen BaWü	-780 000	1,5	750	6.4
Reduktion KFZ-Verkehr in BaWü um 20%	-4 400 000	9	4 500	6.4
35% Öko-Landwirtschaft in BaWü	-270 000	0,5	250	6.8
Waldböden BaWü Humusgehalt +0,2%/a	-1 000 000	2	1 000	6.8
20% des abgeregelten Windstroms nach Baden-Württemberg	- 900 000	1,8	900	6.6
umweltschädliche Subventionen -25%	-3 600 000	7	3 500	6.7
Summe	**-18 500 000**	**36**	**18 000**	

Tabelle 6: Bisher ungenutzte Möglichkeiten zur CO_2-Reduktion in Baden-Württemberg

Insgesamt könnten durch die in Tabelle 6 enthaltenen Möglichkeiten zur CO_2-Einsparung in Baden-Württemberg ungefähr so viel CO_2 vermieden werden wie durch 3 000 neue Windkraftwerke im Wald. Diese Maßnahmen sind dabei nicht als Alternative zur Nutzung der Windenergie zu sehen, die zur Energie- und Klimawende notwendig ist. Diese Maßnahmen können jedoch im Gegensatz zu Windkraftwerken im Wald oder in anderen ökologisch sensiblen Räumen in der Regel ohne negative ökologische Schäden verwirklicht werden. In vielen Fällen hätten sie sogar positive ökologische Nebeneffekte. Sie stellen deshalb, neben besseren Standorten, eine Alternative zu Windkraftwerken im Wald dar.

Bild 66 zeigt grafisch die untersuchten Möglichkeiten zur CO_2-Reduktion (blaue Balken) in Heidelberg im Vergleich zur Differenz der CO_2-Reduktion eines Windkraftwerks auf bewaldeten Odenwaldbergen und einem Windkraftwerk in der Ebene ohne Wald (rot). ,

Bild 67 die entsprechenden Ergebnisse für Baden-Württemberg verglichen mit der Standortdifferenz Berge-Ebene von 500 Windkraftwerken.

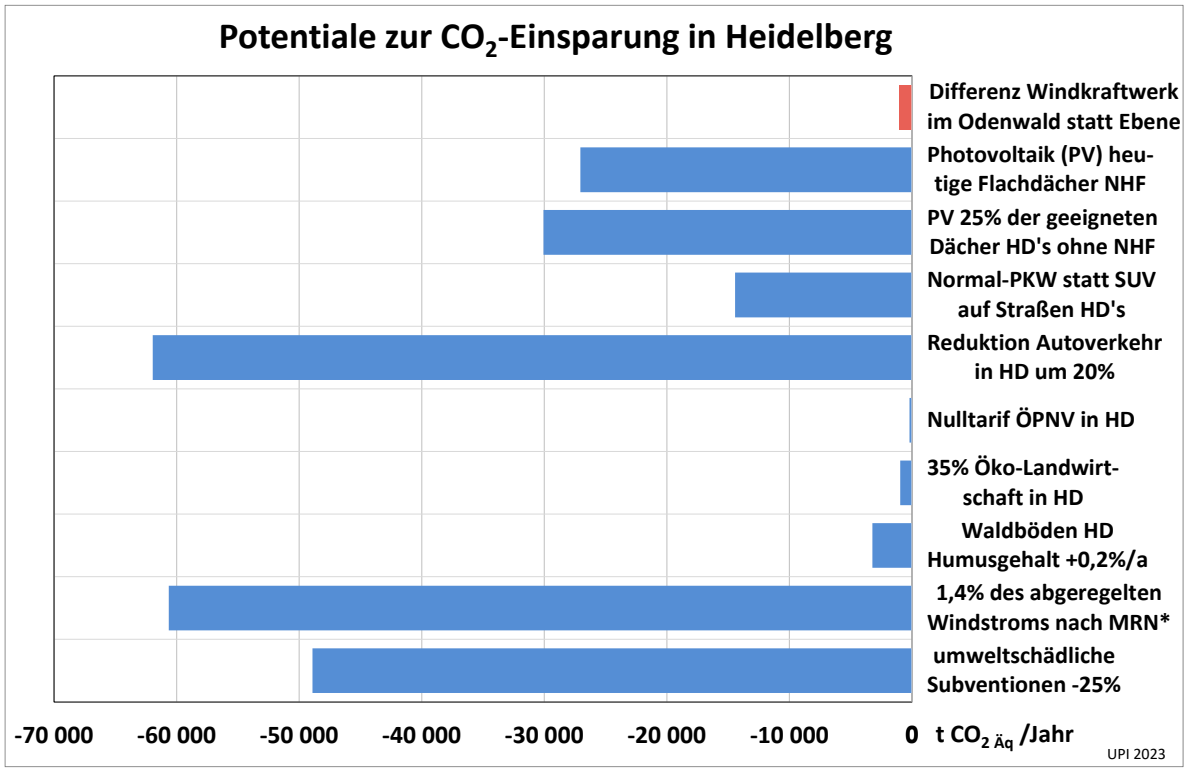

Bild 66: Vergleich von Möglichkeiten zur CO_2-Einsparung in Heidelberg [150]

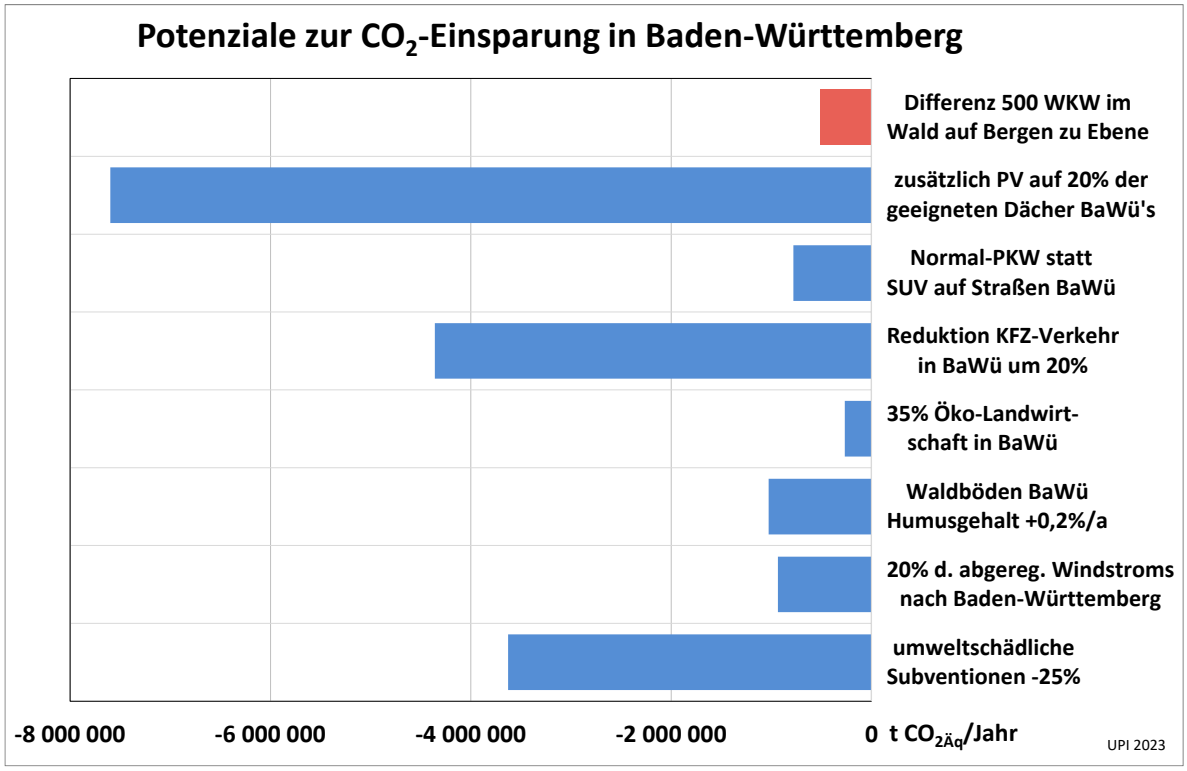

Bild 67: Vergleich von Möglichkeiten zur CO_2-Einsparung in Baden-Württemberg

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 CO_2-Emissionen um 250 000 t CO_2 pro Jahr reduzieren. Das wäre 250-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 CO_2-Emissionen in Baden-Württemberg um 19 Millionen t pro Jahr verringern. Das ist 19 000 mal so viel wie der Unterschied eines Windkraftwerks auf bewaldeten Höhen zu einem Standort in der Ebene oder 38 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.

Im Dezember 2024 ist der Nachfolgebericht **UPI 89 "Windkraftwerke im Wald - Ergänzungen zu UPI-Bericht 88"** erschienen, der hier als PDF heruntergeladen werden kann: www.upi-institut.de/UPI89.pdf

9 Bildverzeichnis

Bild 1: Windkraftpotenzialflächen im Bereich Münchel, Ochsenlager, Lärchengarten und Lammerskopf in Heidelberg und Schönau, ForstBW 8

Bild 2: Geplante hessische Windkraftwerksflächen an der Grenze zu Baden-Württemberg bei Heiligkreuzsteinach 9

Bild 3: FFH-Schutzgebiete (hellgrün umrandet) im Großraum Heidelberg und geplante Windkraftwerkzone Lammerskopf (orange) 10

Bild 4: Mischwald im FFH-Gebiet Lammerskopf in Heidelberg 12

Bild 5: Gerodete Arbeitsfläche für Windkraftwerk (3,3 MW_p) auf dem Gipfel des ursprünglich dicht bewaldeten Stillfüssels südlich Waldmichelbach 13

Bild 6: Wegebau und Geländemodellierung für Windkraftwerke auf dem Stillfüssel südlich Waldmichelbach 13

Bild 7: Dauerhaft gerodeter Wald für die Arbeitsfläche eines Windkraftwerkes auf dem Stillfüssel 14

Bild 8: Geländenivellierung für ein Windkraftwerk von 3,45 MW 14

Bild 9: „Ausgleichsmaßnahmen“ für ein Windkraftwerk auf dem Stillfüssel: abgestorbene Baumsetzlinge 15

Bild 10: Windkraftwerk (3,0 MW_p) auf ehemals bewaldeten Bergrücken „Greiner Eck“ östlich Schönau 17

Bild 11: Windkraftwerk auf ehemals bewaldeten Bergrücken „Greiner Eck“ 17

Bild 12: Windkraftwerk auf dem „Greiner Eck“ 18

Bild 13: Windkraftwerk auf dem „Greiner Eck“: Freihaltefläche 18

Bild 14: „Ausgleichsmaßnahmen“ Windkraftwerk auf dem „Greiner Eck“: abgestorbene Baumsetzlinge 19

Bild 15: „Ausgleichsmaßnahme“ Windkraftwerk auf dem „Greiner Eck“: Blick ins Innere der Kunststoffhülsen nach fünf Jahren 19

Bild 16: Weg zum Hohen Nistler 21

Bild 17: Bereiche des Hohen Nistlers, die für ein Windkraftwerk eingeebnet werden müssten 21

Bild 18: Bereiche des Hohen Nistlers, die für ein Windkraftwerk eingeebnet werden müssten 22

Bild 19: Windkraftwerk im Offenland in der Ebene 23

Bild 20: Windenergieanlagen auf landwirtschaftlichen Flächen 23

Bild 21: Platzbedarf von Windenergieanlagen auf landwirtschaftlichen Flächen 24

Bild 22: Wasserschutzgebiete im Heidelberger Wald (blau) und geplante Windindustriezonen Hoher Nistler, südlich Weißer Stein (rot) und Lammerskopf (orange)25

Bild 23: Ab 15 m/s gekappte Windleistungsdichte (W/m^2) 160 m über Grund 31

Bild 24: Leistungskennlinie eines Windkraftwerks (Vestas V-150 4,2 MW$_p$) bei Standardluftdichte, aus [61] 32

Bild 25: Einfluss der Kappungsgrenze auf den Ertrag bei Standorten in der Ebene und auf Höhen 33

Bild 26: Mittlere meteorologische Umgebungsturbulenzintensität in 160 m Höhe 35

Bild 27: Vergleich des Ertrags von Windkraftwerken im Odenwald und in der Ebene 36

Bild 28: Mittlerer Rotordurchmesser je Inbetriebnahmejahr, aus , inzwischen gibt es Schwachwindanlagen mit 180 m Rotordurchmesser 37

Bild 29: Einfluss von Nabenhöhe und Rotorblattlänge auf den Stromertrag von Windkraftwerken in der Ebene 38

Bild 30: Stromgestehungskosten für erneuerbare Energien und konventionelle Kraftwerke an Standorten in Deutschland im Jahr 2021 38

Bild 31: Durchschnittlicher Strompreis Haushalte in ct/kWh, Grundpreis enthalten 39

Bild 32: Rheinland-Pfalz: Windkraftwerke in der Ebene statt im Wald, hier bei Landau 40

Bild 33: Windkraftwerke auf landwirtschaftlichen Flächen bei Biedesheim/Pfalz 41

Bild 34: Windkraftwerke bei Biedesheim/Pfalz 41

Bild 35: Windkraftwerk auf Acker bei Biedesheim/Pfalz 42

Bild 36: Windkraftwerke auf landwirtschaftlichen Flächen bei Bellheim/Pfalz 42

Bild 37: Windkraftwerke bei Offenbach an der Queich 43

Bild 38: Windkraftwerke in der Rheinebene auf landwirtschaftlichen Flächen bei Haßloch/Pfalz 43

Bild 39: Mäusebussard in der Rheinebene bei Offenbach an der Queich 44

Bild 40: Biotop des Naturschutzbundes (NABU) neben Windkraftwerken bei Herxheim/Landau in der Rheinebene 44

Bild 41: Windkraftwerke bei Biedesheim/Pfalz 45

Bild 42: Ortsbildprägende Windkraftwerke in Biedesheim/Pfalz 45

Bild 43: Windkraftwerk vor Donnersberg 46

Bild 44: Flächenbedarf regenerativer Energiequellen (logarithmischer Maßstab !) 47

Bild 45: Anteil regenerativer Energie am Energieverbrauch Deutschlands 48

Bild 46: Bedarf regenerativen Stroms für verschiedene Antriebsarten 50

Bild 47: Entwicklung der $CO_{2Äq}$-Emissionen in Deutschland in den letzten drei Jahrzehnten 51

Bild 48: Anteile von SUVs und Geländewagen an allen Neuzulassungen in Deutschland 1997 - 2022 52

Bild 49: Jährlich neu installierte Photovoltaikkapazität in Heidelberg 54

Bild 50: Ausfallarbeit verursacht durch Einspeisemanagementmaßnahmen 57

Bild 51: Regionale Verteilung der Ausfallarbeit im Jahr 2021 [104] 57

Bild 52: Abbau klimaschädlicher Subventionen: CO_2-Einsparpotential und fiskalische Einnahmen (Quelle: FÖS) 59

Bild 53: CO_2-Emissionen pro Personen-Kilometer[84] 64

Bild 54: Zahl der Windkraftwerke in den Bundesländern 2022 66

Bild 55: Gekappte Windleistungsdichte in Baden-Württemberg in 160 m Höhe[61] 67

Bild 56: Gekappte Windleistungsdichte in Baden-Württemberg in 200 m Höhe[61] 68

Bild 57: Wald in Baden-Württemberg 69

Bild 58: Flächen zur Nutzung von Windenergie mit geringem (hellgrün) Raumwiderstand in Deutschland, Ergebnisse aus [134 135] 73

Bild 59: Flächen zur Nutzung von Windenergie mit geringem (hellgrün) und mittlerem (hellblau) Raumwiderstand in Baden-Württemberg, Ergebnisse aus [134 135] 74

Bild 60: Flächen zur Nutzung von Windenergie mit geringem (hellgrün) und mittlerem (hellblau) Raumwiderstand in Nordbaden, Ergebnisse aus [134 135] 75

Bild 61: Flächen zur Nutzung von Windenergie mit geringem (hellgrün) und mittlerem (hellblau) Raumwiderstand im Großraum Heidelberg, Ergebnisse aus [134 135] 75

Bild 62: Flächen zur Nutzung von Windenergie mit geringem (hellgrün) und mittlerem (hellblau) Raumwiderstand in Heidelberg, Ergebnisse aus [134] 76

Bild 63: Flächen zur Nutzung von Windenergie mit geringem (hellgrün) und mittlerem (hellblau) Raumwiderstand in Nordhessen, Ergebnisse aus [134 135] 76

Bild 64: Flächen zur Nutzung von Windenergie mit geringem (hellgrün) und mittlerem (hellblau) Raumwiderstand in Mittel- und Südhessen, Ergebnisse aus [134 135] 77

Bild 65: Flächen zur Nutzung von Windenergie mit geringem (hellgrün) und mittlerem (hellblau) Raumwiderstand in Bayern, Ergebnisse aus [134 135] 78

Bild 66: Vergleich von Möglichkeiten zur CO_2-Einsparung in Heidelberg [147] 83

Bild 67: Vergleich von Möglichkeiten zur CO_2-Einsparung in Baden-Württemberg 83

10 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Windenergie in Deutschland 2022 [68] [128] 30

Tabelle 2: Bedarf an Wind- und Solarstrom bei weiter hohem Energieverbrauch 49

Tabelle 3: Leistung, Nabenhöhe und Rotordurchmesser gängiger Windkrafttypen 70

Tabelle 4: Wirkbereiche sinnvoller Kombinationsmaßnahmen im Klimaschutz 79

Tabelle 5: Bisher ungenutzte Möglichkeiten zur CO_2-Reduktion in Heidelberg 81

Tabelle 6: Bisher ungenutzte Möglichkeiten zur CO_2-Reduktion in Baden-Württemberg ... 82