



Ariadne-Kurzdossier

Umsetzbarkeit der Stromwende: Regionale Potenziale Erneuerbarer Energien und gesellschaftliche Akzeptanz

KOPERNIKUS
Ariadne **PROJEKTE**
Die Zukunft unserer Energie

GEFÖRDERT VOM



**Bundesministerium
für Bildung
und Forschung**

Autorinnen und Autoren



» Norman Gerhardt
Fraunhofer-Institut für
Energiewirtschaft und
Energiesystemtechnik



» Katja Treichel-Grass
Mercator Research Institute on
Global Commons and Climate
Change



» Dr. Carsten Pape
Fraunhofer-Institut für
Energiewirtschaft und
Energiesystemtechnik



» Dr. Ingo Wolf
Forschungsinstitut für
Nachhaltigkeit – Helmholtz-Zentrum
Potsdam (RIFS)



» Sybille Reitz
Hochschule für Politik der
Technischen Universität München



» Dr. Hartmut Kahl
Stiftung Umweltenergierecht



» Yannic Harms
Fraunhofer-Institut für
Energiewirtschaft und
Energiesystemtechnik



» Benita Ebersbach
Forschungsinstitut für
Nachhaltigkeit – Helmholtz-Zentrum
Potsdam (RIFS)



» David Geiger
Fraunhofer-Institut für
Energiewirtschaft und
Energiesystemtechnik



» Mareike Jentsch
Fraunhofer-Institut für Energiewirt-
schaft und Energiesystemtechnik

Dieses Papier zitieren:

Norman Gerhardt, Katja Treichel-Grass, Carsten Pape, Ingo Wolf, Sybille Reitz, Hartmut Kahl, Yannic Harms, Benita Ebersbach, David Geiger, Mareike Jentsch (2023): Umsetzbarkeit der Stromwende – Regionale Potenziale Erneuerbarer Energien und gesellschaftliche Akzeptanz. Kopernikus-Projekt Ariadne, Potsdam.
<https://doi.org/10.48485/pik.2023.013>

Kontakt zu den Autorinnen und Autoren:

Norman Gerhardt, norman.gerhardt@iee.fraunhofer.de

Das vorliegende Ariadne-Kurz Dossier wurde von den oben genannten Autorinnen und Autoren des Ariadne-Konsortiums ausgearbeitet. Es spiegelt nicht zwangsläufig die Meinung des gesamten Ariadne-Konsortiums oder des Fördermittelgebers wider. Die Inhalte der Ariadne-Publikationen werden im Projekt unabhängig vom Bundesministerium für Bildung und Forschung erstellt.

Herausgeben von

Kopernikus-Projekt Ariadne
Potsdam-Institut für Klimafolgen-
forschung (PIK)
Telegrafenberg A 31
14473 Potsdam

November 2023

Bildnachweis

Titel: Adobe Stock / 飞黄

INHALT

Zusammenfassung und zentrale Ergebnisse im Überblick	1
1. Einleitung	3
2. Vorüberlegungen und methodisches Vorgehen	5
2.1 Kombination verschiedener Ansätze	5
2.2 Erkenntnisse aus der Bürgerdeliberation zu den Energiewelten	6
2.3 Vergleich politischer Ziele mit möglichen Bürger-Szenarien	7
3. Erneuerbare-Energien-Potenziale und Akzeptanz	9
3.1 Methodik	9
3.2 Standortpräferenzen für Erneuerbare-Energien-Anlagen	10
3.3 Windenergieanlagen auf See und Netzausbau an Land	11
3.4 Windenergieanlagen an Land	12
3.5 PV-Dachanlagen	18
3.6 PV-Freiflächenanlagen	21
4. Ausprägung eines Bürger-Szenarios im Strommarkt und Stromnetz	25
5. Schlussfolgerungen	28
Abkürzungsverzeichnis	30
Literaturangaben	31
Anhang	33

ZUSAMMENFASSUNG UND ZENTRALE ERGEBNISSE IM ÜBERBLICK

Der Ausbau der Erneuerbaren Energien (EE) ist eines der Kernelemente auf dem Weg zur Klimaneutralität. Mit dem Osterpaket der derzeitigen Bundesregierung wurde eine Reihe von Gesetzen erlassen, die den Ausbau voranbringen sollen, indem neben deutlich höheren Ausschreibungen für Windenergie und Freiflächen-Photovoltaik (PV) beziehungsweise wirtschaftlichen Anreizen für Dachflächen-PV auch Genehmigungsverfahren beschleunigt und Flächen bereitgestellt werden. Zusätzlich zu offenen Fragen der technisch-ökonomischen Potenziale kommen Fragen der Akzeptanz auf Seiten der Bürgerinnen und Bürger: Was sind sie bereit mitzutragen und welche Änderungen im gesetzlichen Rahmen braucht es, um weitere gesellschaftliche Potenziale zu heben? Auch die Bundesregierung betont die Bedeutung von Akzeptanz und Teilhabe der Menschen beim Ausbau der Erneuerbaren Energien und greift Ansätze in ihrer Photovoltaik- sowie Wind-an-Land-Strategie auf.

Das vorliegende Ariadne-Kurzdossier verbindet verschiedene Perspektiven, die für den Ausbau der Erneuerbaren Energien eine erhebliche Rolle spielen: Flächenpotenziale und Gestaltungsmöglichkeiten der räumlichen Steuerung des Zubaus und Rückwirkungen auf das Übertragungsnetz sowie Fragen der gesellschaftlichen Akzeptanz. Es soll bewertet werden, inwieweit die bundesweiten Ausbauziele des Erneuerbaren-Energie-Ge-

setzes (EEG) 2023 so umsetzbar sind, dass sie aus Bürgersicht tragfähig sind. Bürgersicht bezieht sich hierbei sowohl auf die Ergebnisse des Deliberationsprozesses mit Bürgerinnen und Bürgern im Rahmen des Projekts Ariadne (Treichel et al., 2022) als auch auf die Resultate von bundesweiten Befragungsstudien des Sozialen Nachhaltigkeitsbarometers der Energie- und Verkehrswende (SNB, Wolf et al., 2022; Wolf et al., 2021). Dabei gehen wir technologiespezifisch in der Bewertung vor und stellen dar, wie diese Bundesziele regional umgesetzt werden können, und was Bürger:innen in Deutschland über die Maßnahmen zur Erreichung der Ausbauziele denken.

Dazu werden die Erkenntnisse aus den Dialogformaten mit Bürger:innen beschrieben sowie die sozio-politische und lokale Akzeptanz von Erneuerbare-Energien-Technologien auf Basis des Sozialen Nachhaltigkeitsbarometers (SNB) untersucht. Anschließend werden die einzelnen Technologien, ihre Potenziale in der Fläche sowie rechtliche Fragen in den Blick genommen. Abschließend wird ein Ariadne-Bürger-Szenario vorgestellt, welches sowohl die neuen EE-Ausbauziele, die Flächenpotenziale der Bundesländer als auch Akzeptanzfragen der Ariadne-Bürgerdeliberation mit aufnimmt.

Zentrale Ergebnisse im Überblick

- ▶ Allgemein wird der **Ausbau der Erneuerbaren Energien von der Gesellschaft befürwortet**, trotz des damit einhergehenden Flächenbedarfs im dicht besiedelten Deutschland, und dies bei steigendem Trend. Dabei wird eine dezentrale Ausgestaltung der Stromwende mit hohem Anteil von PV-Aufdachanlagen bevorzugt, zusätzlich verbunden mit der Bereitschaft, dezentrale Flexibilitäten bereitzustellen (z.B. privater E-Pkw als Stromspeicher) und einzubinden.
- ▶ Während andere Potenzialstudien ausreichend EE-Flächenpotenziale zur Umsetzung der energiepolitischen Ziele aufzeigen, wird bei differenzierter Analyse insbesondere bei PV-Dachanlagen deutlich, dass die **Potenziale teilweise schwer zu erschließen** sind. Deshalb wurden weitere Maßnahmen als notwendig identifiziert wie zum Beispiel. Anreize für Mieterstrom oder die Vereinbarkeit von energetischer Sanierung und Solarnutzung, um die Potenziale zu heben.
- ▶ Trotz der begrenzten kurzfristigen Flächenverfügbarkeit bestehen gerade bei **Windenergieanlagen an Land**, aber auch teilweise bei **PV-Freiflächenanlagen**, grundsätzlich **Gestaltungsspielräume**, die Flächenausweisung beziehungsweise zusätzliche Instrumente **zur räumlichen Steuerung** zu nutzen. Dies kann einerseits erfolgen, um durch Konzentrationszonen eine höhere Akzeptanz zu schaffen und andererseits, um Synergien durch lastnahe Stromerzeugung zu nutzen und damit den notwendigen Stromnetzausbau reduzieren zu können. Andere Gestaltungsspielräume zeigen sich bei der Einbindung von **Wind Offshore**¹, welches sowohl über mehr neue Stromtrassen, oder wie im Bürgerszenario, auch über **mehr Wasserstoffherzeugung per Elektrolyse direkt auf oder an der See** möglich ist.
- ▶ Auch auf lokaler Ebene ist die Mehrheit der Gesellschaft mit dem (Aus-)Bau von EE-Anlagen einverstanden. Dies gilt ebenso für Menschen, die in der unmittelbaren Nachbarschaft von EE-Anlagen wohnen. Um das Einverständnis lokaler gegnerischer Minderheiten zumindest teilweise einzuholen, braucht es eine **frühzeitige und transparente Kommunikation** der Notwendigkeit und konkreten Ausgestaltung der EE-Projekte sowie strukturierte Möglichkeiten für Bürgerinnen und Bürger, sich an den diesen zu beteiligen, beispielsweise durch Mitsprache bei der Standortwahl oder finanzielle Teilhabe.

1. EINLEITUNG

Erneuerbare Energien sind Kernelement der Energiewende: Mit dem Osterpaket kündigte die Bundesregierung an, dass bereits in sieben Jahren 80 % des deutschen Bruttostromverbrauchs aus regenerativen Quellen stammen soll. Somit wurden im Rahmen des Erneuerbare-Energien-Gesetzes 2023 (EEG 2023)² (Bundesregierung 2022) sehr ambitionierte Ziele für den Ausbau der Erneuerbaren Energien (EE) festgelegt. Bei einem prognostizierten Stromverbrauch von 750 TWh im Jahr 2030 bedeutet das, die erneuerbare Stromerzeugung von knapp 240 TWh im Jahr 2022 auf 600 TWh in weniger als 10 Jahren (unter Be-

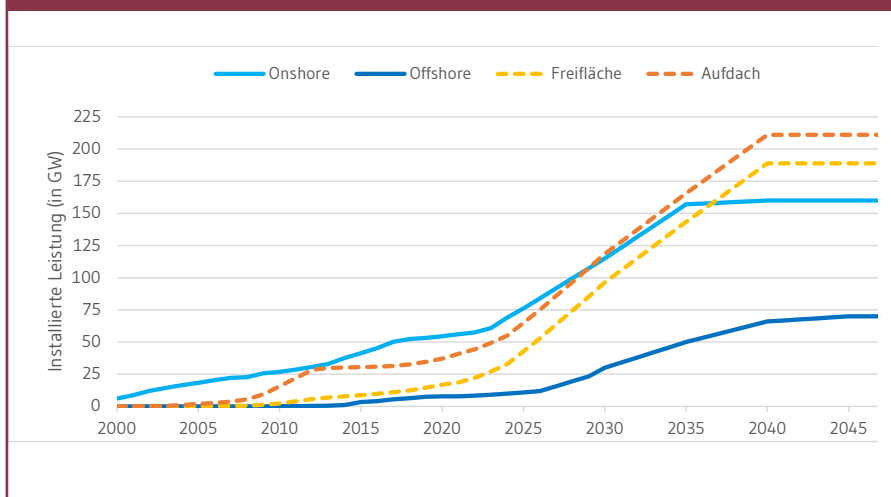
rücksichtigung des Rückgangs der Stromerzeugung aus Biomasse) fast zu verdreifachen, mit einem entsprechenden Bedarf an Flächen für Windenergie- und Solaranlagen. Die Herausforderung der nächsten zwei Jahrzehnte wird dabei insbesondere mit Blick auf die historische Entwicklung seit der Einführung des EEG im Jahr 2000 deutlich (siehe Abbildung 1). Seit 2000 wurden 59 GW Wind an Land und 71 GW Solar bis Mitte 2023 ausgebaut³. Für die kommenden zwei Jahrzehnte muss sich dies vervielfachen: Angestrebt wird ein Ausbau von 400 GW Photovoltaik (ca. 53 % Dach- /47 % Freiflächen)⁴, 160 GW Wind Onshore⁵ (Energiegewinnung aus Wind auf dem Festland) und 70 GW Wind Offshore (Energiegewinnung aus Wind auf dem Meer) in 2040 (Abbildung 1).

Diese Ausbauziele sind unter bestimmten Annahmen geeignet, um die Klimaziele Deutschlands mit Ausweitung der Stromnutzung in allen Sektoren und einer reduzierten Importabhängigkeit von Wasserstoff und weiteren Power-to-X (PtX)-Produkten zu erreichen (z.B. E-Pkw statt E-Fuels). Letzteres wird durch eine relativ hohe eigene Wasserstoffherzeugung und damit einen relevanten Anteil am gesamten PtX-Bedarf erreicht.

Ziel dieses Kurzdossier ist es, die Flächenpotenziale und Gestaltungsmöglichkeiten der räumlichen Steuerung des Zubaus entsprechend der energiepolitischen Ziele zu quantifizieren und die Rück-

Abbildung 1: Entwicklung des historischen EE-Ausbaus (BMWK 2022a) und Ausbauziele EEG 2023 sowie WindSeeG 2023.

Quelle: Eigene Darstellung, Daten: Bundesregierung 2022, sowie eigene Interpolation zwischen Stützjahren, höheren Zwischenzielen gemäß Offshore-Realisierungsvereinbarung 2022, Trennung Freifläche/Dachfläche in Anlehnung an BMWK Photovoltaik-Strategie



² bzw. für Offshore auch Wind-auf-See-Gesetz

³ Vgl. Ampel-Monitor Energiewende: www.diw.de/ampel-monitor

⁴ Ausgehend vom bestehenden Anlagenpark gemäß BMWK-Solarstrategie

⁵ Onshore = Windkraft an Land

wirkungen auf das Übertragungsnetz qualitativ einzuordnen. Wir bewerten, inwieweit die bundesweiten Ausbauziele des EEG 2023 so umsetzbar sind, dass sie aus Bürgersicht tragfähig sind. Bürgersicht bezieht sich hierbei sowohl auf die Ergebnisse des Dialogprozesses mit Bürger:innen im Rahmen des Kopernikus-Projekts Ariadne (Treichel et al., 2022) als auch auf die Resultate von bundesweiten Befragungsstudien des Sozialen Nachhaltigkeitsbarometers der Energie- und Verkehrswende (SNB, Wolf et al., 2022; Wolf et al., 2021). Wir gehen technologiespezifisch in der Bewertung vor und stellen dar, wie diese Bundesziele regional umgesetzt werden können, welche rechtlichen Pflichten beziehungsweise Gestaltungsspielräume es gibt und was Menschen in Deutschland über die Maßnahmen zur Erreichung der Ausbauziele denken.

Im ersten Kapitel werden zunächst die Erkenntnisse aus den Dialogformaten mit den Bürgerinnen und Bürgern beschrieben, die sich gezielt auf die Gestaltung und Weiterentwicklung der Szenarienwelten aus der Ariadne Bürgerdeliberation beziehen. Anschließend werden die sozio-politische und lokale Akzeptanz von Erneuerbare-Energien-Technologien auf Basis des Sozialen Nachhaltigkeitsbarometers untersucht. Mit der zweifachen Integration von Bürgersichten in die Analyse sowie deren Verschränkung⁶ innerhalb des Projekts soll ein vertieftes Verständnis über die Einflussfaktoren gesellschaftlicher Akzeptanz und Trägerschaft erreicht werden. So erreichen wir in Befragungen statistisch repräsentative Ergebnisse zur Frage, welche Technologien befürwortet oder abgelehnt werden, mit der Bürgerdeliberation erfahren wir mehr zu den Begründungen, Hintergründen oder auch alternativen Lösungsideen. In Kapitel 3 wird auf die einzelnen Technologien, ihre Potenziale in der Fläche sowie Akzeptanzwerte aus den Befragungen eingegangen, um deutlich zu machen, welche Chancen und Herausforderungen in der Umsetzung der Potenziale beste-

hen. Anschließend wird ein Ariadne-Bürger-Szenario vorgestellt, welches sowohl die neuen EE-Ausbauziele, die Flächenpotenziale der Bundesländer als auch Akzeptanzfragen der Ariadne-Bürgerdeliberation mit aufnimmt.

2. VORÜBERLEGUNGEN UND METHODISCHES VORGEHEN

2.1. Kombination verschiedener Ansätze

Bisher beschriebene Szenarien (z.B. Die „Big 5“-Szenarien zur Klimaneutralität – Ariadne (2022)) zum Ausbau der Erneuerbaren Energien vor allem ökonomisch effiziente Handlungsoptionen. Fragen gesellschaftlicher Akzeptanz spielten eher keine oder eine untergeordnete Rolle. Mit der Verschränkung von quantitativen Potenzialanalysen, repräsentativen Bevölkerungsumfragen und verschiedenen Dialogformaten im Rahmen der Bürgerdeliberation wurde für den Themenbereich Ausbau der Erneuerbaren Energien im Kopernikus-Projekt Ariadne der Versuch unternommen, diese mit einem

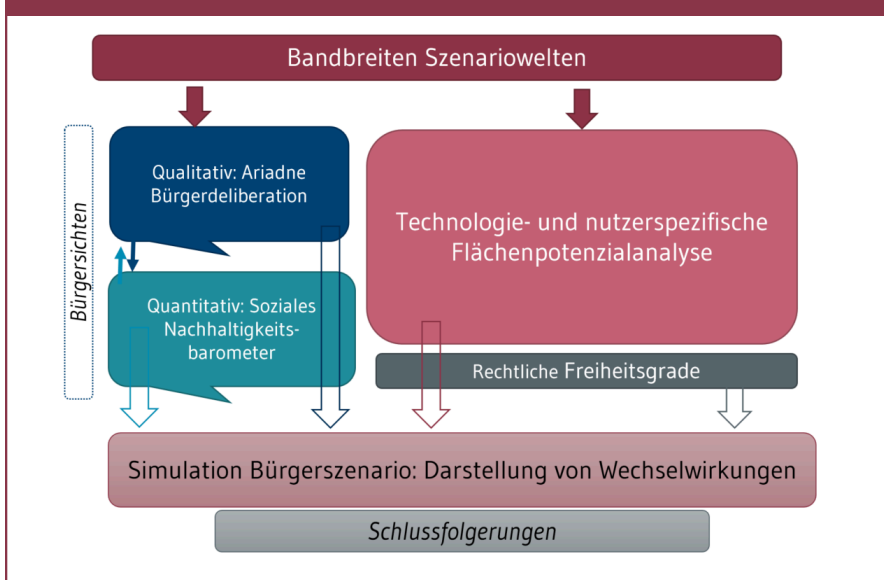
stärker trans- und interdisziplinären Ansatz zu integrieren. Interdisziplinär bezieht sich hierbei auf den Austausch und die Zusammenarbeit verschiedener wissenschaftlicher Disziplinen wie Energiewirtschaft, Rechtswissenschaft und Sozialwissenschaften, transdisziplinär auf die Zusammenarbeit zwischen Wissenschaft und Gesellschaft, hier Bürgerinnen und Bürger.

Dazu wurde seit Projektbeginn ein iterativer Lernprozess aufgesetzt zwischen Dialogformaten mit Bürger:innen einerseits und der Entwicklung von Handlungsoptionen durch Forschende andererseits. Ziel war dabei nicht, einen Konsens aller Beteiligten zu erreichen. Vielmehr sollten verschiedene Bürgersichten auf die Stromwende diskutiert, Konflikte adressiert und über die Vor- und Nachteile einzelner Handlungsalternativen beraten werden. Sowohl die am Prozess Beteiligten als auch die Zielgruppen der wissenschaftlichen Politikberatung erhalten im Ergebnis eine vertiefende Gesamtbetrachtung, was aus gesellschaftlicher Sicht wichtige Auswirkungen einzelner Handlungsoptionen sind, und wie gesellschaftlich tragfähige Pfade gemeinsam weiterentwickelt und ausdifferenziert werden können. Dieser gegenseitige Lernprozess kann alternative Politikoptionen aufzeigen und das Verständnis für politische Prozesse stärken.

Für diesen Lernprozess wurden basierend auf den Ergebnissen regionaler On-

Abbildung 2: Vorgehen des Kurzdossiers.

Quelle: Eigene Darstellung



line-Diskussionen mit Bürger:innen sowie einem Co-Creation-Workshop gemeinsam mit der Wissenschaft **zwei Energiewelten (proWind/zentral und proPV/dezentral)** anhand von Modellrechnungen des Fraunhofer IEE entwickelt und im Explorationsmodul Stromwende wie folgt dargestellt. Die beiden Welten sollten bewusst Gegensätze darstellen, um Alternativen zu reflektieren. Diese Bandbreite ist gleichzeitig die Ausgangsbasis für die Kondensation in ein reflektiertes Bürgerszenario in Kapitel 4.

Beide Welten und die zugrundeliegenden Maßnahmen sowie begleitende Herausforderungen der Energiesystementwicklung wurden im November 2021 auf einer Bürgerkonferenz diskutiert. Die beiden Energiewelten dienten dabei als Pole, zwischen denen sich der **Möglichkeitsraum einer zukünftigen, nachhaltigen Energiewelt** vereinfacht aufspannt (Treichel et al. 2021). In beiden Welten wird ein erhöhter Stromverbrauch von 700 TWh in 2030 prognostiziert. In der Struktur der Stromwirtschaft unterscheiden

sich die Welten jedoch: Während in der zentralen Energiewelt vornehmlich große Energieerzeuger die Stromversorgung gewährleisten mit starkem Schwerpunkt auf dem Ausbau von Windenergie, erfolgt die Stromproduktion in der dezentralen Welt annahmegemäß an vielen verschiedenen Orten unter starker Beteiligung der Gesellschaft und einem verstärkten Ausbau von Photovoltaik.

2.2 Erkenntnisse aus der Bürgerdeliberation zu den Energiewelten

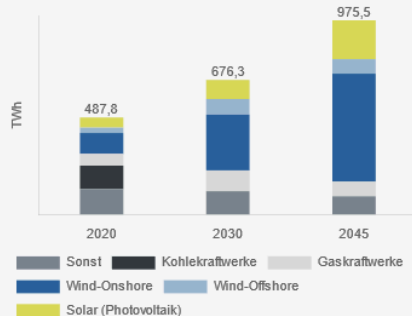
Die Auswertung der Diskussionen der Bürgerkonferenz sowie begleitende Vornachher-Befragungen zeigte, dass sich die Teilnehmenden für eine **Kombination der vorgestellten Energiewelten** aussprechen (Treichel et al., 2021). Bedürfnisse und Forderungen, die ihnen hierbei besonders wichtig waren, sind Schnelligkeit des Ausbaus in der zentralen Welt sowie Mitbestimmung und Teilhabe in der dezentralen Energiewelt: Die dezentrale Welt ist aus Sicht der Bürger:innen attraktiv, da sie Raum für technische

und soziale Innovationen, Teilhabe und Interessenausgleich auf verschiedenen Ebenen ermöglicht. Der Ausbau der Erneuerbaren Energien kann gewissermaßen überall stattfinden, umfasst verschiedene Technologien und Umsetzungsformen. Gleichwohl ist diese Welt voraussetzungsreich, da viele verschiedene Akteure für die Umsetzung der Energiewende verantwortlich sind. Dies erfordert einen kontinuierlichen Aufbau von Strukturen und Kompetenzen auf Seiten der Kommunen und Gesellschaft, was kurzfristig im Spannungsverhältnis zur Dringlichkeit des Ausbaus steht. Die zentrale Welt, wie sie für die Bürgerdeliberation konzipiert wurde, lasse sich einfacher und effizienter steuern, da sie in der Verantwortung von wenigen Akteuren mit viel Erfahrung und Kompetenz liege. Sie liefere daher schnellere Ergebnisse und ein Gefühl von Sicherheit. Allerdings wird angenommen, dass Teilhabemöglichkeiten stark begrenzt sind, und der Ausbau der Erneuerbaren aus finanzieller Perspektive wenig gerecht über Deutschland verteilt wird. Die Ge-

Abbildung 3: Auszug Explorationsmodul Stromwende als Diskussionsgrundlage für die Bürgerkonferenz.

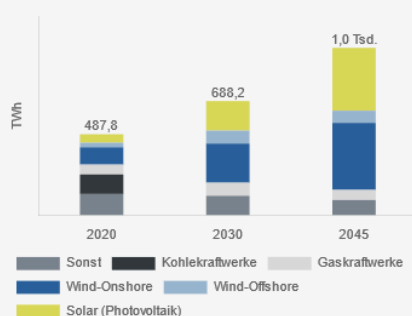
Quelle: <https://ariadneprojekt.de/explorationsmodul-energiewende/>

↑ Zentral



Strom wird verstärkt durch große Windenergieanlagen erzeugt: vor der Küste (offshore) und an Land (onshore), vorwiegend an Standorten mit viel Wind. Solche Anlagen stehen auch in Wäldern. Es gibt auch einige Solaranlagen auf Dachflächen und Freiflächen. Die Gesamtkosten sind niedriger, allerdings werden sie nicht gleichmäßig auf alle in der Gesellschaft verteilt. Auch die Gewinne konzentrieren sich auf einige wenige Unternehmen.

☀ Dezentral



Strom kommt verstärkt aus Solaranlagen: Auf fast allen Dachflächen von privaten und öffentlichen Gebäuden sind Solarmodule. Zusätzlich stehen Solaranlagen auf Äckern, neben Autobahnen und weiteren Freiflächen. Windkraft wird an ertragreichen Standorten ausgebaut. Die Gesamtkosten sind höher, da Solardachanlagen teurer für das Energieversorgungssystem sind als Windkraftanlagen

winne kommen nur großen Energieerzeugern und Flächeneigentümern zugute, während die Lasten wie Schattenwurf und Sichtbarkeit der Anlagen andere zu tragen haben.

In Bezug auf die **Standortpräferenz der EE-Anlagen** sind den Teilnehmenden zwei Aspekte besonders wichtig: einerseits für Verbrauchsnähe, um den Netzausbau möglichst gering zu halten. Gleichwohl waren sie auch dafür, besonders ertragreiche Standorte gut zu nutzen. Im Vergleich Windenergieanlagen (WEAs) und Solaranlagen wurden letztere von den Bürger:innen präferiert, da sie das Landschaftsbild weniger stören und sie auf bereits vorhandenen Dächern installiert werden können. In der Konsequenz wünschten sich die Teilnehmenden der Bürgerkonferenz eine Solarpflicht auf öffentlichen Gebäuden. Außerdem sollten Parkplätze, Radwege und gegebenenfalls sogar Autobahnen mit Solarpaneelen überdacht werden. Das verbrauche keine weiteren Flächen und hat positive Nebeneffekte wie Sonnenschutz, Trockenheit bei Regen und für Parkplätze in Kombination mit Ladestationen. Kleine WEAs sollten vor allem auf bereits bebauten Flächen, beispielsweise Gewerbeflächen und neben Solaranlagen, konzentriert werden, große WEAs in ertragreichen Lagen.

Hinsichtlich der Frage von **räumlicher Verteilungsgerechtigkeit** war eine eher grundsätzliche Auffassung unter den Teilnehmenden, dass zwar ein „**Level playing field**“⁷⁷ zwischen Bundesländern, Kommunen und Bürger:innen geschaffen werden sollte, es aber auch Entscheidungsspielräume geben müsse. Dazu sollte es mehr zentrale Bundesvorgaben geben und weniger föderalistische Alleingänge zum Beispiel hinsichtlich der Abstandsvorgaben von WEAs oder der Flächenbereitstellung. Kein Bundesland dürfe sich der Verantwortung entziehen. Allerdings war die Tiefe der zentralen Vorgaben umstritten. Zum einen wüssten Kommunen selbst am besten, welche Flächen wie genutzt werden sollten. Zum anderen können tiefgehende Regelungen auch immer einen Eingriff in persönliche Freiheiten bedeuten. Konkretes Beispiel stelle eine Solardachpflicht dar,

wenn sie für alle Eigenheimbesitzende gelte.

Die teilnehmenden Bürger:innen konnten sich **flexible Stromtarife** gut vorstellen, sprachen sich aber gegen eine absolute Steuerungshoheit des Energieversorgers über den eigenen Stromverbrauch aus. Verbrauchende sollten die Kontrolle behalten und die Gerätesteuerung selbstbestimmt verwalten. Elektroautos sollten **als Stromspeicher** genutzt werden können, auch zum Rückspeisen in das Stromnetz. Wichtig war aber dem Großteil der Anwesenden, dass sie am Morgen ein ausreichend geladenes Auto für den Arbeitsweg und weiterer Erledigungen zur Verfügung haben. All diese und auch die davor genannten Punkte gehen – wenn möglich – als Inputparameter für die Modellierung des Bürgerszenarios ein.

Einvernehmlich war der Wunsch, dass mit den Menschen vor Ort Kompromisse, Kompensationen und finanzielle Angebote eingegangen werden sollten, um Konflikte zu reduzieren und gesellschaftliche Potenziale zu aktivieren. Dazu müssen sich Investor:innen und Projektierer:innen mit den kommunalen Strukturen bekannt machen. Gemeinsam mit den Verwaltungen und Bürger:innen vor Ort sollten sie die lokalen Interessen und Bedürfnisse in Planungsprozesse einbeziehen.

2.3 Vergleich politischer Ziele mit möglichen Bürger-Szenarien

Die ermittelten qualitativen Präferenzen wurden anhand der Flächenpotenziale bewertet (Kapitel 3) und in Modellparameter übersetzt (Kapitel 4), um zu einem quantifizierten „Bürger-Szenario“ zu gelangen. Einige der auf der Bürgerkonferenz geäußerten Wünsche und Vorschläge zum künftigen Ausbau der Erneuerbaren wurden in der Zwischenzeit politisch im Rahmen des Osterpakets mit ersten Maßnahmen angegangen. Somit können wir keinen generellen Widerspruch zu den Zielen des EEG 2023 bzw. der derzeitigen Ampel-Regierung und möglichen Bürger-Szenarien feststellen. Vor dem Hintergrund der von den Bürger:innen geäußerten Präferenzen soll-

ten jedoch folgende Punkte kritisch in Bezug auf die gesellschaftliche Akzeptanz diskutiert werden:

- ▶ **Wind-Offshore-Netzanbindung:** Eine Steigerung der Ausbauziele von ursprünglich 42 GW auf 70 GW induziert einen Netzausbau über weitere Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragungs-(HGÜ)-Trassen. Dies kann in den betroffenen Regionen zu gesellschaftlichen Konflikten führen, zum Beispiel über Landschafts- oder Lebensraumzerschneidung durch Trassenausbau. Deshalb werden im eigenen Szenario als eine technische Alternativ eine Verwertung von 28 GW direkt in Elektrolyse-Anlagen unterstellt, wahlweise auf See oder direkt an der Küste.
- ▶ **Flächenbedarf für PV-Freiflächen:** Während der Ausbau von Photovoltaik auf dem Seitenstreifen entlang von Autobahnen und Schienen im Umfang von 500 m in der Bevölkerung mehrheitlich auf Zustimmung stößt, sind beim Bau sehr großer Anlagen außerhalb des EEG (bis zu 300 MW/Anlage derzeit umgesetzt, Power-Purchase-Agreement-(PPA) - Fokus derzeit auf Ostdeutschland) und der Ausbau von mittelgroßen Anlagen im EEG bis zu 30 MW/Anlage (benachteiligte Gebieten – Fokus derzeit auf Bayern) gesellschaftliche Widerstände in betroffenen Gemeinden sehr viel wahrscheinlicher und werden in der Potenzialbewertung in Kapitel 3 reflektiert. Im Bürger-Szenario wird ein Fokus auf Seitenstreifen entlang von Autobahnen in ganz Deutschland (Akzeptanz und Lastnähe zum Ladebedarf für E-Mobilität) und eines generell höheren PV-Anteils in Süddeutschland sowie eines Zubaus auf weiteren Flächen gelegt (Lastnähe zum Industriestrombedarf).
- ▶ **Wind-Onshore** stellt traditionell einen Punkt für gesellschaftliche Widerstände und Konflikte dar – generell und spezifisch bei Flächennutzung im Wald, was auch Gegenstand der Diskussion in Kapitel 3 ist. Die Nutzung von Wind im Wald wird im Bürgerszenario aber notwendig, um eine

faire Verteilung und lastnahe Erzeugung in Mittel- und Süddeutschland zu erreichen. Im Bereich der PV-Dachflächen stellt sich die Frage der Akzeptanz weniger in Hinblick auf die Flächennutzung aus Sicht der Anwohnenden, sondern in Hinblick auf die notwendigen individuellen Investitionen der Gebäudeeigentümer:innen und die Frage, ob Gebäude selbst genutzt oder vermietet werden. Um ausreichende Flächenpotenziale verbrauchsnahe auch in Städten für das Bürgerszenario zu heben, werden weitere Maßnahmen notwendig.

In Hinblick auf die im Rahmen der Bürgerkonferenz identifizierten Präferenzen der teilnehmenden Bürger:innen werden **wenige Punkte** in der Simulation des Fraunhofer IEE **zum zukünftigen Energiesystem** und deren Wechselwirkungen (Ergebnisse in Kapitel 4) **nicht berücksichtigt**. So gibt es vernachlässigte, aber sinnvolle Nischenanwendungen wie PV-Überdachung von Parkplätzen, landwirtschaftlichen Nutzflächen oder kleine Windrädern in Gewerbegebieten, welche bei den notwendigen jährlichen Ausbauvolumen in den nächsten Jahren nur eine untergeordnete Rolle spielen können. Im Laufe der nächsten Jahre ist aber zu prüfen, inwiefern sich diese Konzepte dennoch im Markt, gegebenenfalls mit gewisser Zusatzförderung, etablieren können.

Bei der technischen **Flexibilitätsbereitstellung** wird zusätzlich zu zentralen Optionen im Bereich Industrie-Prozesswärme, Fernwärme und Elektrolyse eine Präferenz für PV-Eigenstromoptimierung und einer Vermarktung der zusätzlich freien Kapazitäten (z.B. Solar-Speicher im Herbst und Winter) am Strommarkt inklusive Rückspeisung aus Elektrofahrzeugen und flexiblen Wärmepumpen abgebildet. Um den notwendigen innerdeutschen Netzausbau zu begrenzen, wird auch der Stromhandel in Europa und damit der Ausbau der Kuppelkapazitäten des Stromnetzes an den deutschen Grenzen moderat erweitert abgebildet.

3. ERNEUERBARE- ENERGIEN-POTENZIALE UND AKZEPTANZ

3.1 Methodik

Zur Untersuchung der EE-Potenziale wurden umfassende, räumlich hoch aufgelöste Daten und Computersimulationen des regionalen Markthochlaufs⁸ analysiert. Fragen der gesellschaftlichen Akzeptanz des Ausbaus von EE-Anlagen wurden anhand von Umfragedaten des Sozialen Nachhaltigkeitsbarometers der Energie- und Verkehrswende untersucht.

Die Ermittlung der Stromerzeugung aus Erneuerbaren basiert auf **energyANTS** (energy system ANalyses using Temporal and spatial Simulation), einem physikalischen Energiesystemmodell für die zeitliche und räumliche Simulation von Energiesystemen des Fraunhofer IEE. Grundlage der Szenarienrechnungen ist eine umfangreiche Datengrundlage, bestehend aus Geoinformationen, wie Potenzialflächen, Bestandsanlagen, Gebäuden, und Studien zu Technologie- und Kostenentwicklung. Zudem werden auch state-of-the-art Zeitreihenmodelle und hochaufgelöste Wetterdaten (z.B. zur lokalen stündlichen Erzeugung von Windkraft und PV) einbezogen. Die Modelle werden in EE-Szenarien für die vier deutschen Übertragungsnetzbetreiber (ÜNB) im Rahmen des aktuellen Netzentwicklungsplan (NEP 2023) (BNetzA 2022b) eingesetzt sowie für Windflächenpotenzialanalysen im Auftrag des BMWK (BMWK

2022c) und Umweltbundesamts (UBA 2023). Bei der Potenzialflächenanalyse werden im ersten Schritt verschiedene Flächenkulissen, die prinzipiell für den Bau einer EE-Anlage geeignet sind, in Form von Geodatenlayern mittels geografischer Verschneidung zu einer Potenzialkarte zusammengeführt. Diese wird mit dem Ausschlusslayer zu einer sogenannten Weißflächenkarte verschnitten, die nur noch Flächen enthält, die nicht mit harten Restriktionen belegt sind. Da in den spezifischen Flächenbedarfen der einzelnen Technologien Umsetzungsaspekte berücksichtigt sind, führt diese Betrachtung zum technisch realisierbaren Potenzial. Diese Flächen werden nach wirtschaftlichen Kriterien bewertet (Wind- und Solarstrahlungsressource) und eine Nutzung nur für Flächen mit hoher Eignung unterstellt. Die regional und zeitlich aufgelösten Daten bilden gleichzeitig die Grundlagen für die Optimierung von Markt und Netz in Kapitel 4.

Bei dem Sozialen Nachhaltigkeitsbarometer der Energie- und Verkehrswende (SNB) handelt es sich um eine repräsentative Bevölkerungsumfrage zu den Wahrnehmungen, Einstellungen und Anliegen der deutschen Bevölkerung im Hinblick auf die Ausgestaltung und Umsetzung der Energie- und Verkehrswende (Fischer et al., 2022). Die hier dargestellten Ergebnisse aus der im jährlichen

Rhythmus durchgeführte Online-Panelstudie stammen aus den Jahren 2021 und 2022 (Wolf et al., 2021; Wolf et al., 2022). Die Erhebung wurde vom Meinungsforschungsinstitut forsa in zwei Befragungswellen in den Zeiträumen vom 18.03. bis 12.04.2021 (erste Welle) und vom 23.03. bis 13.04.2022 (zweite Welle) durchgeführt. Die Nettostichprobe umfasste 6.822 Personen im Jahr 2021 (Bruttostichprobe: 13.000; Abbruch: 1.029) und 6.615 Personen im Jahr 2022 (Bruttostichprobe: 21.310; Abbruch: 1.215 Personen). Die Auswahl der Befragten erfolgte nach dem Zufallsprinzip aus dem forsa.omninet-Panel. Mit den erhobenen Daten aus dem SNB werden die sozio-politische und die lokale Akzeptanz der Erneuerbare-Energien-Technologien untersucht. Unter sozio-politischer Akzeptanz wird dabei die öffentliche Meinung bezüglich Energietechnologien und -politik verstanden. Lokale Akzeptanz bezieht sich auf die Reaktionen von betroffenen Bürger:innen hinsichtlich der Planung und des Ausbaus von EE-Anlagen in der eigenen Wohnumgebung.

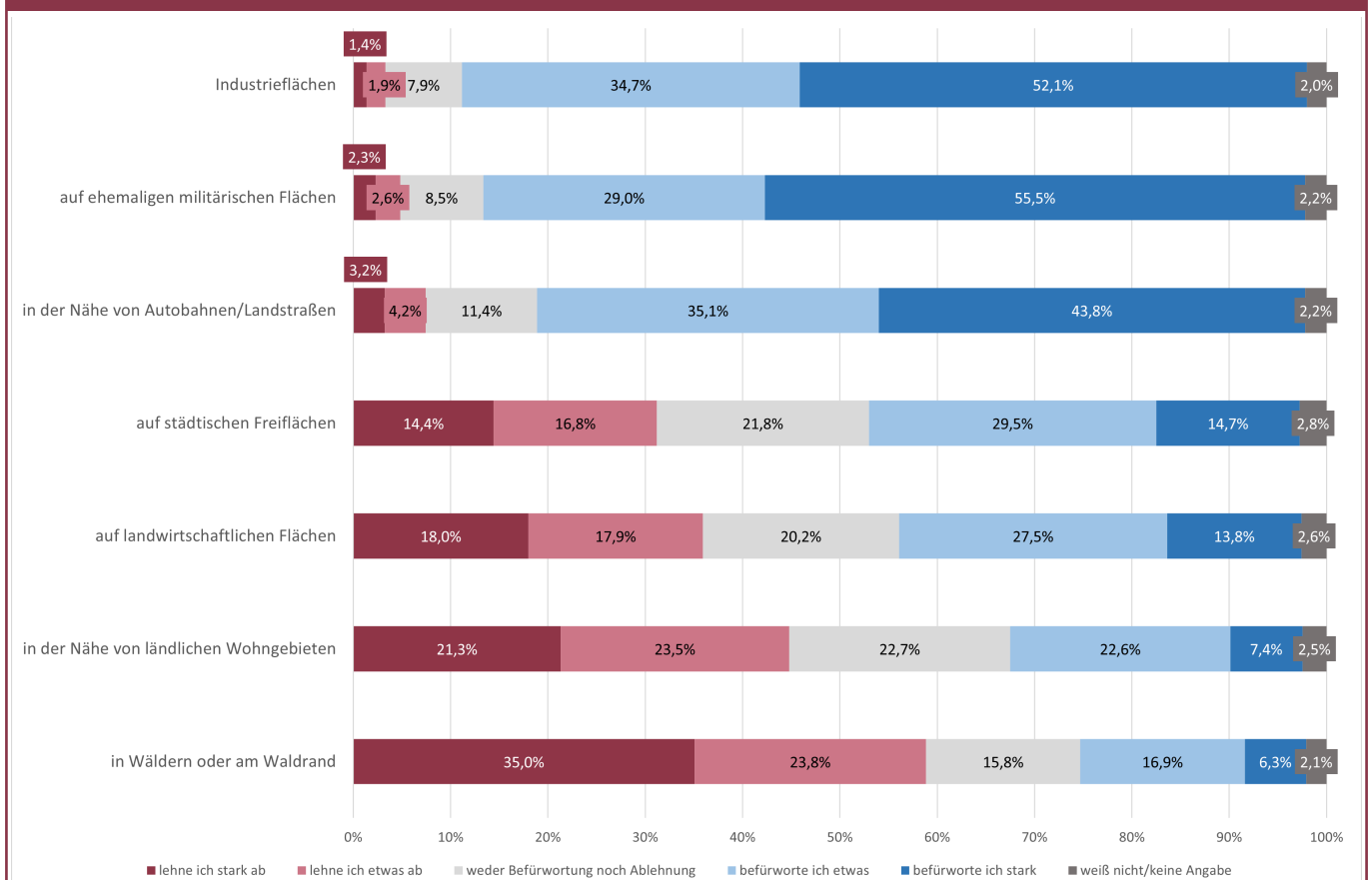
3.2 Standortpräferenzen für Erneuerbare-Energien-Anlagen

Im Allgemeinen erfahren die Energie-wende und der Ausbau von Erneuerbaren Energien in der deutschen Bevölkerung seit Jahren zunehmenden Zuspruch (Levi et al., 2023, Wolf et al., 2022, Wolf, 2020). Doch nicht alle aus technischer Sicht geeigneten Ausbaustandorte treffen unter den Menschen auf Zustimmung. Bei der Betrachtung der **Standortpräferenzen** über alle Technologien hinweg zeigen sich teilweise deutliche Unterschiede in den Zustimmungswerten zur Nutzung der verschiedenen Flächen (siehe Abbildung 4). Die höchste Befürwortung erhalten Industrieflächen (86,8 %⁹), gefolgt von ehemaligen militärischen Flächen (84,5 %) und Flächen in der Nähe von Landstraßen oder Autobahnen (78,9 %).

Bei der Verwendung von städtischen und landwirtschaftlichen (Frei-)Flächen ergibt sich ein geteiltes Meinungsbild: Die Nutzung der ersteren für Erneuerbare-Ener-

gien-Anlagen befürwortet weniger als die Hälfte eher beziehungsweise stark (44,2 %). Ein Drittel lehnt diese eher beziehungsweise stark ab (31,2 %). Ähnlich stellt sich dies bei dem Aus- und Neubau von Anlagen auf landwirtschaftlichen Flächen dar: Zwei von fünf Personen befürworten die Verwendung dieser eher beziehungsweise stark (41,3 %). Rund ein Drittel lehnt diesen Standort eher oder stark ab (35,9 %). In beiden Fällen ist jede(r) Fünfte unentschlossen (städtische Flächen: 21,8 %, landwirtschaftliche Flächen: 20,2 %). Zu den Standorten, die nach den Befragten eher nicht für den Bau von Erneuerbare-Energien-Anlagen genutzt werden sollen, zählen zum einen Flächen in der Nähe von ländlichen Wohngebieten, zum anderen Flächen in Wäldern oder am Waldrand. Der Aus- oder Neubau von Erneuerbare-Energien-Anlagen in der Nähe von ländlichen Wohngebieten wird von knapp der Hälfte der Befragten eher beziehungsweise stark abgelehnt (44,8 %). Lediglich ein Drittel (30,0 %) befürwortet den Aus- oder Neubau von Erneuerbare-Energie-

Abbildung 4: Standortpräferenz für den Aus- oder Neubau von Erneuerbare-Energien-Anlagen (2021).
n = 6.822. Datenquelle RIFS. Abweichungen von 100 Prozent rundungsbedingt.



⁹ Die berichteten Prozentzahlen der Befürwortung in diesem Kapitel setzen sich aus den Antwortkategorien „befürworte ich etwas“ und „befürworte ich stark“ zusammen.

Anlagen an diesem Standort. Gegen Waldflächen als Standort von Anlagen spricht sich die Mehrheit der in Deutschland lebenden Bevölkerung aus (58,8 %). Lediglich jede(r) Fünfte befürwortet die Verwendung dieser Flächen (23,2 %).

3.3 Windenergieanlagen auf See und Netzausbau an Land

Während Wind-Onshore oder Photovoltaik dezentral in den Verteilnetzen angeschlossen werden und zumindest das Potenzial haben, durch eine Flächensteuerung lastnäher ausgebaut werden zu können, und damit der überregionale Stromnetzausbaubedarf teilweise reduziert werden kann, stellt sich dies für **Offshore-Wind** grundsätzlich anders dar. Im Rahmen des EEG wird angestrebt, eine zentrale Stromerzeugung in der Nordsee auszubauen, welche den strukturellen **Nord-Süd-Transportbedarf** insbesondere im Übertragungsnetz direkt erhöht. Hierbei muss unterschieden werden zwischen dem generellen Netzausbau an Land und dem Finden technisch möglicher Netzverknüpfungspunkte für die direkte Offshore-Anlandung.¹⁰ Der folgende Abschnitt nimmt deshalb Bezug auf den Netzentwicklungsplan und diskutiert mögliche Wechselwirkungen, ohne eigene detaillierte Netzberechnungen selbst durchzuführen. Es handelt sich damit um eine qualitative Einordnung.

Mit den durch die Bundesnetzagentur bestätigten Maßnahmen ist die Netzanbindung von 42 GW Offshore-Erzeugungsleistung geplant. Eine Erhöhung auf das Ziel 70 GW ist jedoch nicht ohne einen weiteren Ausbau der Offshore-Netzanbindungssysteme möglich. Dabei reduziert sich die Anzahl der geeigneten Netzverknüpfungspunkte in Norddeutschland immer weiter. Aufgrund von technischen Rahmenbedingungen dürfen nicht mehr als 2 GW an einem Netzverknüpfungspunkt angeschlossen werden gemäß Bestätigung NEP 2035 (BNetzA 2022a), und im windstarken Norden sind diese Netzknoten teilweise bereits durch Onshore-Wind der unterla-

gerten Netze ausgelastet. Aus diesem Grund sind Anlandungen mittlerweile nicht mehr ausschließlich an küstennahen Netzverknüpfungspunkten, sondern auch in Nordrhein-Westfalen (NRW) notwendig. Hier besteht zudem eine Abwägung von Länge der Leitung zur Anlandung vs. des Onshore Netzausbaubedarfs.

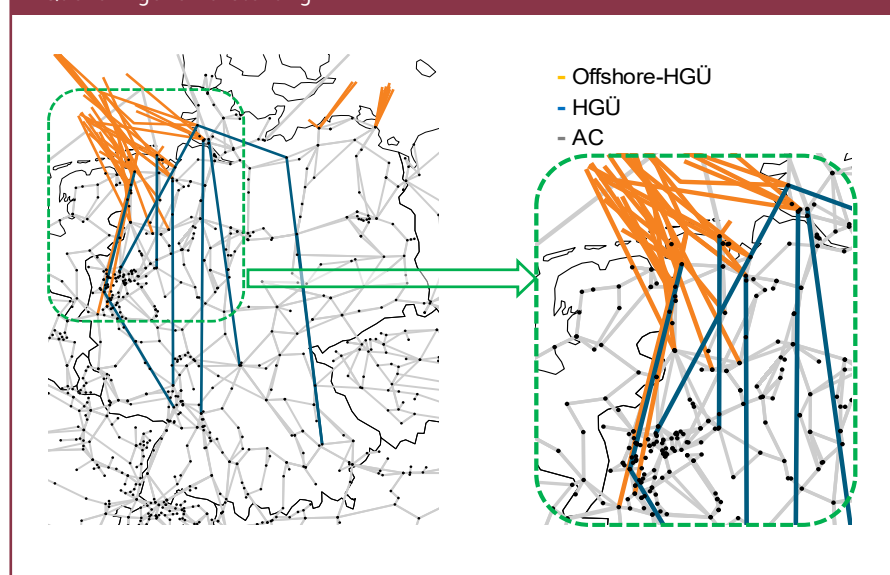
Der **Onshore-Netzbaubau** in Nord-Süd-Richtung kann dabei sowohl durch die Verstärkung bestehender Abschnitte (graue Trassen Abbildung 5) der Wechselspannungstrassen (AC) erfolgen oder über neue Trassen, wobei beim letzteren insbesondere Gleichstromtrassen (HGÜ) über lange Entfernungen zu tragen kommen. Hier sind in Summe 10 Verbindungen mit je 2 GW Übertragungsleistung, also in Summe 20 GW, genehmigt (blaue Trassen, teilweise zwei Verbindungen in einer Trasse – Abbildung 5).¹¹

Allein für die **Offshore-Anlandung** sind in Summe 42 Anbindungssysteme genehmigt beziehungsweise in Betrieb mit einer Gesamtübertragungskapazität von ca. 42,1 GW (orange Trassen Abbildung 4) [Bestätigung NEP 2035 (BNetzA-2022a)] [Bestätigung NEP 2030 (BNetzA-

2019)]. Zum Teil befinden sich die Netzverknüpfungspunkte der genehmigten Anbindungssysteme in Süd-Niedersachsen und Nordrhein-Westfalen. In dieser Region zeigt sich damit auch die höchste Betroffenheit der Anwohner:innen.

Gestaltungsmöglichkeiten bezüglich der Netzausbaupermeidung liegen aus diesen technischen Gründen nicht in der räumlichen Steuerung des Aus- und Zubaus sondern in der Frage direkter Stromnutzung von Offshore-Strom (z.B. für Industrie, Haushalte, Wärmepumpen und Elektromobilität) gegenüber einer Umwandlung in Wasserstoff. So können Elektrolyse-Anlagen zum Beispiel auf Offshore-Inseln (geplant in den Niederlanden und Dänemark) oder direkt an der deutschen Küste errichtet werden. Wenn alle Ausbauziele des EEG erreicht werden, dann gewinnt die Wasserstoffherzeugung in Deutschland einen relevanten Stellenwert zusätzlich zur direkten Stromnutzung. Gerade für eine Ausweitung der Offshore-Stromerzeugung von 42 auf 70 GW (bei den genannten hohen Leistungen für PV und Onshore-Wind) nimmt auch der Stromverbrauch der Elektrolyse im Strommarkt deutlich zu. Alternativ zur Elektrolyse im Strom-

Abbildung 5: Schematische Darstellung der bestätigten innerdeutschen HGÜ-Verbindungen sowie Offshore Anbindungssysteme nach Bestätigung NEP 2035 (BNetzA 2022a).
Quelle: Eigene Darstellung



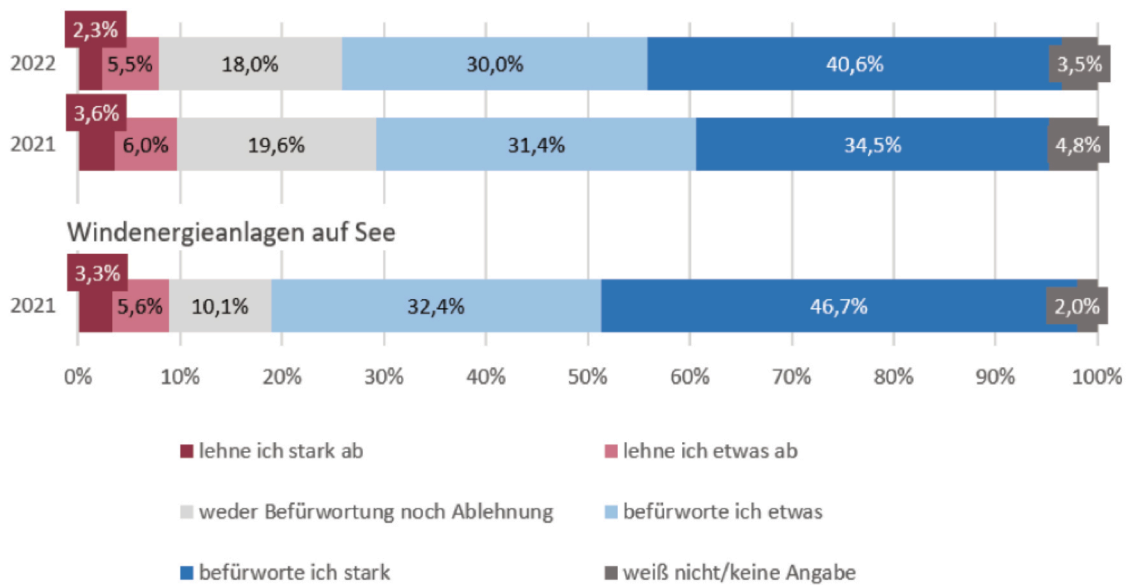
¹⁰ Geplante Netzanbindung für 2030 gemäß Szenariorahmen NEP 2030-2019: Erzeugungskapazität Offshore Wind: 17,0 (2030) und für 2035 und 2040 gemäß Szenariorahmen NEP 2035-2021: Erzeugungskapazität Offshore Wind: 28,0 (2035) - 40,0 (2040) GW.

Konkret mündet dies in diese Projekte: NEP 2035-2021: 23 Starnetzmaßnahmen Offshore (bereits in Betrieb oder genehmigt) sowie bestätigte Zubaumaßnahmen Offshore: 18, davon 1 unter Vorbehalt, Nicht bestätigt: 0, (11 Maßnahmen aus NEP 2030-2019 erneut bestätigt)

¹¹ Insgesamt 10 Verbindungen mit 2 GW Übertragungsleistung: Ultraret, 2x SüdLink, SüdOstLink, Emden Ost – Osterath (A-Nord), SüdOstLink/ SüdOstLink+, Wilhelmshaven 2 – Region Hamm, Heide/West – Polsum, Suchraum Heide – Gemeinden Klein Rogahn/Stralendorf/ Warsaw/ Holthusen/ Schossin, Suchraum Rastede – Bürstadt

Abbildung 6: Befürwortung des Ausbaus überregionaler Stromnetze (Stromtrassen) im Jahresvergleich. Ausbau von Windenergieanlagen auf See wurde nur in 2021 erhoben.

2022: n = 3.305, 2021: n = 6.822. Datenquelle RIFS. Abweichungen von 100 % rundungsbedingt.



markt erscheint eine direkte Einbindung der Elektrolyse (Offshore-Inseln oder direkt an der Küste) im Vergleich zum Bau weiterer Stromtrassen kosteneffizienter und sollte weitergehend geprüft werden.

Im Transformationsatlas Energiewende (s. <https://maps.iee.fraunhofer.de/trafo-atlas/>) werden die Wechselwirkungen zwischen EE-Ausbau und Netzausbaubedarf genauer analysiert. Grundsätzlich sind neue HGÜ-Trassen sehr anspruchsvoll in der Umsetzung. Hier zeigt sich ein Wechselspiel aus Akzeptanz (Trassen in direkter Nachbarschaft), Kosten (Erdverkabelung, Entschädigungen) und damit verbundenen Verzögerungen, welche wiederum ein Hemmnis für die Integration des EE-Ausbaus darstellen können. Im Vergleich dazu ist die Verstärkung von bestehenden AC-Trassen eher weniger aufwändig. Hierbei können bestehende 2-Leitersysteme (220 oder 380 kV) durch 4-Leitersysteme (380 kV) in derselben Trasse ersetzt werden. Im Gegensatz zum Neubau von Trassen werden Anwohner hierbei nur mit höheren Masten konfrontiert.

Gesellschaftliche Akzeptanz

In den Ergebnissen der Befragung des SNB wird deutlich, dass die überwiegende Mehrheit der in Deutschland lebenden Menschen die Förderung und den Ausbau von Windenergieanlagen auf See etwas beziehungsweise stark befürwortet (2021: 79,1 %, siehe Abbildung 6). Ein ähnliches Bild stellt sich bei der Zustimmung zum Ausbau überregionaler Stromnetze (Stromtrassen)¹² dar: Etwa zwei Drittel der Befragten befürworten diese Maßnahme etwas beziehungsweise stark (2022: 70,6 %, s. Abbildung 6). Im Jahresvergleich stieg damit die Zustimmung zum Ausbau von Stromtrassen um fünf Prozentpunkte (2021: 65,9 %).

Betrachtet man die Befürwortung deutschlandweit, zeigt sich mit Ausnahme von Baden-Württemberg ein leichtes Nord-Süd-Gefälle mit höheren Zustimmungswerten im Norden (siehe Abbildung A1 im Anhang). Wird nach dem Einverständnis zum Aus- und Neubau von Hochspannungsleitungen im direkten Wohnumfeld, der sogenannten lokalen Akzeptanz, gefragt, ist die Zustimmung in der deutschen Bevölkerung deutlich geringer: Nur noch zwei von fünf Perso-

nen stimmen diesem (eher) zu (2022: 41,8 %), es ist aber zumindest ein leichter Anstieg um sechs Prozentpunkte gegenüber 2021 (2021: 36,1 %) zu beobachten. Ein Drittel der Befragten lehnt den Bau (eher) ab (2022: 31,5 %; 2021: 35,6 %).

3.4 Windenergieanlagen an Land

Windenergie an Land weist einen hohen **Flächenbedarf** auf. Im Vergleich zur Photovoltaik wird jedoch nur ein sehr kleiner Teil der Fläche tatsächlich bebaut, sodass innerhalb von Windparks beispielsweise noch eine land- oder forstwirtschaftliche Nutzung möglich ist. Aufgrund der Größe der Anlagen von mittlerweile über 230 m (bedrängende Wirkung) sowie Schallemissionen sind Abstände zu Siedlungsflächen einzuhalten, wobei insbesondere Siedlungsflächen im Innenbereich¹³ mit einer überwiegenden Wohnnutzung ein höherer Schutzstatus zugestanden wird, als beispielsweise Wohnsiedlungen außerhalb der zusammenhängenden Bebauung. Ausschlaggebend für die einzuhaltenen Abstände sind neben klaren Vorgaben zur bedrängenden Wirkung insbesondere die Grenzwerte aus immis-

¹² In der Befragung des SNB wurde lediglich nach der sozio-politischen und lokalen Akzeptanz des Ausbaus überregionaler Stromnetze (Stromtrassen) gefragt. Eine Differenzierung zwischen dem Neubau von HGÜ-Trassen und der Verstärkung bestehender AC-Trassen ist nicht erfolgt.

¹³ Innenbereich ist ein im Zusammenhang bebauter Ortsteil, welcher grundsätzlich generell bebaut werden darf, sofern ein qualifizierter Bebauungsplan vorliegt oder das betreffende Vorhaben den in § 34 Abs. 1 BauGB Regelungen entspricht.

sionsschutzrechtlicher Perspektive. Weitere **Einschränkungen** bestehen aus natur- und artenschutzrechtlichen Gründen, wobei die Frage einer Nutzbarkeit von Landschaftsschutzgebieten und Wäldern in den verschiedenen Bundesländern unterschiedlich gehandhabt wird. Weitere Restriktionen bestehen unter anderem durch Infrastruktur, Verkehr/ Flugsicherung, Militär. Weiterhin spielt die Windressource eine wichtige Rolle. Dies zeigt sich einerseits durch immer höhere WEA, welche stärker als spezifische Schwachwindanlagen ausgelegt werden. Andererseits zeigt sich dies durch das Referenzertragsmodell (also die standortspezifische EEG-Förderung), worüber zwar in einem gewissen Umfang ein Angleichen der Erlösmöglichkeiten erfolgt, aber weiterhin nicht überall ein wirtschaftlicher Betrieb der Anlagen möglich ist. Aus den genannten Gründen sind die verfügbaren Flächen für eine Windenergienutzung beschränkt und werden insbesondere durch die Faktoren Siedlungsflächen, Arten- und Naturschutz sowie der Windhöflichkeit stark eingeschränkt.

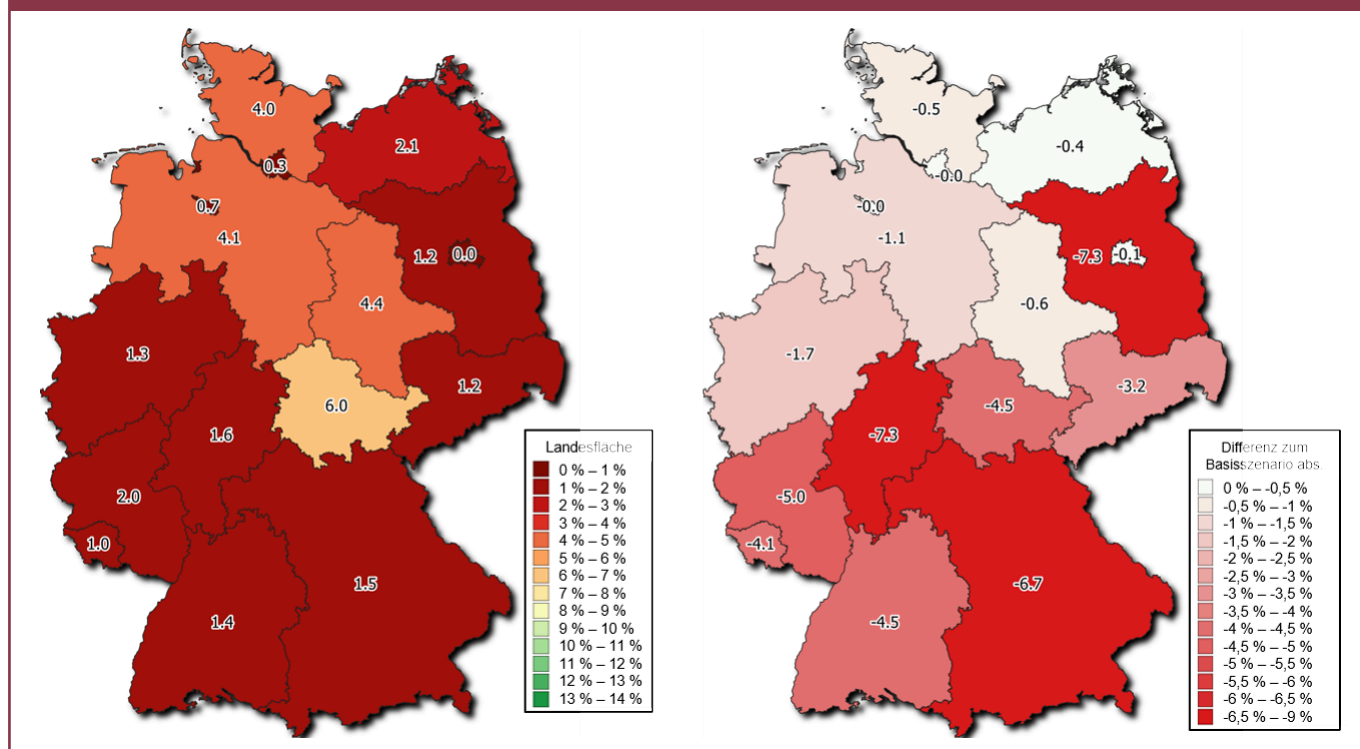
In Abschnitt 3.1 ist die Methodik für Potenzialanalysen mittels des Modells energyANTS dargestellt. **Potenzialanalysen**

untersuchen die grundsätzliche Verfügbarkeit von geeigneten Flächen und führen üblicherweise zu einer Überschätzung des Potenzials (Weißflächenkartierung), da eine detaillierte Betrachtung, wie sie beispielsweise bei Gebietsausweisungen auf Ebene der Regional- und Bauleitplanebene erfolgt, für eine deutschlandweite Analyse nie möglich ist. Für den Bereich Windenergie an Land wurden deshalb weitere Parameter in die Modellierung integriert. Im BMWK-Vorhaben zur Flächenverfügbarkeit für Windenergie nach 2030 (BMWK 2022c) wurde eine zusätzliche Bewertung der Flächen vorgenommen, wobei in Abhängigkeit der zu erwartenden anderweitigen **Nutzungsinteressen** Konfliktisrikoklassen gebildet wurden, für die unterschiedlich hohe nutzbare Anteile angenommen wurden. Diese Analysen zeigen, dass insbesondere die **Siedlungsabstände**, aber auch die teilweise sehr unterschiedliche **Siedlungsstruktur** das Potenzial eingrenzen. Einen weiteren wichtigen Faktor stellt der **Natur- und Artenschutz** dar. Die Ausweisung von Landschaftsschutzgebieten ist nicht einheitlich, denn es werden sehr unterschiedliche Anteile der Landesflächen derart ausgewiesen.

Die Nutzung von **Windenergie im Wald** (ob und wenn, wie) ist bundeslandspezifisch geregelt. Zudem sind diese Flächen je nach Waldtyp unterschiedlich schützenswert. Das mögliche Nutzungspotenzial hat hier aber zugenommen, denn es bestehen meist bei Fichten-Monokulturen viele „Kalamitätsflächen“ (zerstörte Waldgebiete durch Windwurf (Sturm), Borkenkäfer und Trockenheit (Folgen des Klimawandels)). Häufig kommen Wälder im Mittelgebirge in Kuppenlagen vor und sind daher aufgrund höherer Windgeschwindigkeiten für die Windenergienutzung gut geeignet.

Um die Verfügbarkeit von ausgewiesenen Flächen zu erhöhen, hat die derzeitige Bundesregierung das **Windenergieflächenbedarfsgesetz** eingeführt. Hierdurch müssen bundesweit 2 % der Landesfläche bis Ende 2032 für Windenergie ausgewiesen werden, mit Bandbreite von 1,8 bis 2,2 %. Zwar besteht im Rahmen des Gesetzes die Option des Flächenübertrags per Staatsvertrag zwischen Bundesländern, aber aufgrund des Aufwandes für die Flächenausweisung ist es nicht sehr wahrscheinlich, dass davon im relevanten Umfang Gebrauch gemacht wird. Hieraus ergeben sich sehr unterschiedliche Spielräume für die Identifika-

Abbildung 7: Bei Waldausschluss noch verbleibendes Flächenpotenzial (in %) je Bundesland (links) und dadurch verloren gegangenes Potenzial (rechts) von Wind im Wald.
Quelle: Eigene Darstellung



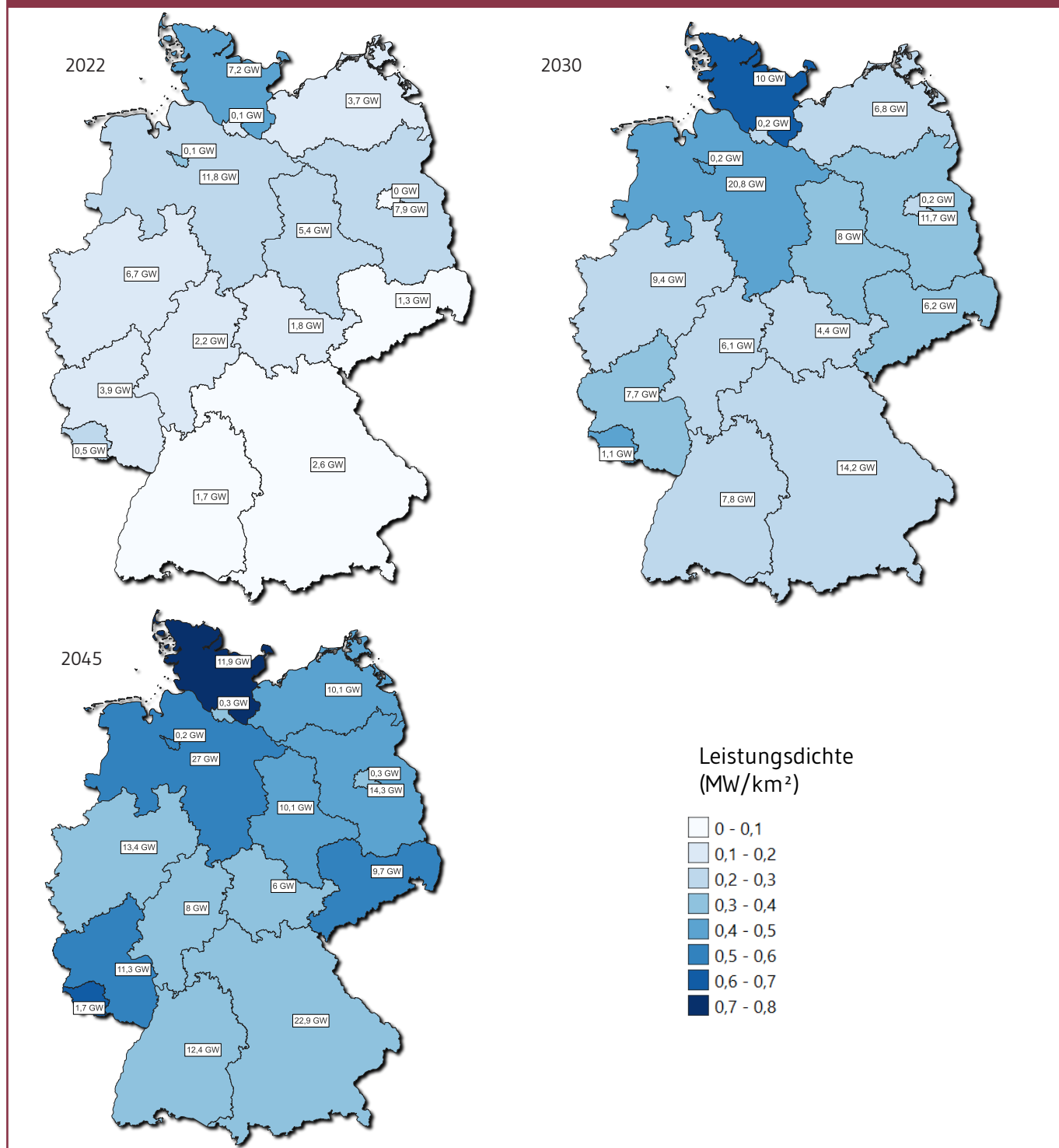
tion geeigneter Flächen. Während beispielsweise das ermittelte Potenzial den Ausbaubedarf in Nordrhein-Westfalen oder Baden-Württemberg nur um einen Faktor ~1,5 übersteigt, weisen Bundesländer wie Brandenburg, Thüringen und Sachsen-Anhalt deutlich größere Freiheitsgrade auf. Diese Freiheitsgrade können in der Regionalplanung genutzt werden (siehe Abbildung 7, rechts). Die

Potenzialanalysen zeigen aber auch, dass ohne eine Windenergienutzung im Wald insbesondere im Süden die Potenziale kaum ausreichen, um die 1,8 bis 2,2 % zu erreichen (siehe Abbildung 7, links).

Diese 2 % der Landesfläche müssen zwar ausgewiesen werden, um ein ausreichendes Marktvolumen für Investoren zu gewährleisten. Hieraus ergeben sich einer-

seits Freiheitsgrade, andererseits zeigen Analysen wie UBA (2023), dass sich für ausgewiesene Flächen der dann in der Praxis doch nicht nutzbare Anteil (gesammelte Praxiserfahrungen z.B. aufgrund von Naturschutzrestriktionen) auf ca. 30 % beläuft. Auf Basis des IEE-Modells energyANTS werden für das angestrebte Szenario von langfristig 160 GW unter Berücksichtigung von Bestandsan-

Abbildung 8: Windenergie Onshore installierte Leistung und Leistungsdichte je Bundesland 2022, 2030, 2045 – berechnet im Rahmen des Projekts Ariadne für das Bürger szenario in Kapitel 4.
Quelle: Eigene Darstellung



lagen und deren Repowering-Fähigkeit ein möglicher und wirtschaftlich wahrscheinlicher Zubau simuliert.

Bundesweit ergibt sich ein mittlerer spezifischer Flächenbedarf von 2,6 ha/MW bezogen auf einen Windpark. Dieser ist jedoch regional unterschiedlich (wie in der Einfärbung der Bundesländer in Abbildung 8 bezogen auf die Landesfläche ersichtlich wird). Grund hierfür ist die Konfiguration der WEA (Starkwindanlagen im Norden mit kleineren Rotoren, Schwachwindanlagen im Süden mit größeren Rotoren und damit auch der Abstand zwischen den WEA), aber auch Größe und Zuschnitt des Windparks je nach Verfügbarkeit zusammenhängender Flächen.

Durch die technischen Innovationen (immer größere Neuanlagen und Repowering von Altanlagen) **steigt zwar der Flächenbedarf, aber nicht die Anzahl der Anlagen** (siehe Tabelle 1).

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass Flächen grundsätzlich vorhanden sind und die politischen Flächenvorgaben zu einer gleichmäßigeren Verteilung führen werden. Es bestehen größere Unsicherheiten in der Umsetzung ausgewiesener Flächen durch Investoren in der Praxis. Näherungsweise stehen einer EEG-Ausschreibung von 160 GW ein umsatzbares Potenzial von 200 GW gegenüber. Aber durch die Auswahl aus dem gesamten Flächenpotenzial eines Bundeslandes auf die vorgegebenen 2 % sind

Tabelle 1: Entwicklung der Windenergieanlagen Deutschlands – berechnet für das Bürgerszenario (siehe Kapitel 4).

	Ende 2022	2030 (115 GW installierte Leistung):	2045 (160 GW installierte Leistung):
Summe Anlagen in Deutschland	ca. 28.400 WEA	ca. 28.000 WEA	ca. 26.000 WEA
durchschnittliche Leistung	2,0 MW je WEA	4,1 MW je WEA	6,1 MW je WEA
durchschnittlicher Rotor-durchmesser	82 m	131 m	170 m

Reserven je Bundesland von zusätzlich 1 % (Nordrhein-Westfalen) bis 10,5 % (Thüringen) vorhanden, welche für netzentlastende Standorte oder Standorte mit höherer Akzeptanz genutzt werden können.

Gesellschaftliche Akzeptanz

Generell nimmt die **sozio-politische Akzeptanz** des Ausbaus von Windenergie an Land in Deutschland weiter zu: Mehr als drei Viertel der Bürger:innen (76,2 %) sprechen sich in der Befragung des SNB in 2022 (eher) für den Ausbau und die Förderung aus – eine Steigerung um knapp fünf Prozentpunkte im Vergleich zum Vorjahr (2021: 71,4 %, siehe Abbildung 9). Im bundesweiten Vergleich liegt die Zustimmung vor allem in den ostdeutschen Bundesländern (mit Ausnahme von Mecklenburg-Vorpommern und

Berlin) bis zu 13 % unter dem deutschlandweiten Durchschnitt (siehe Abbildung A2 im Anhang).

Im Vergleich zu der sozio-politischen Akzeptanz fällt die lokale Akzeptanz geringer aus: Etwa zwei Drittel (2022: 60,5 %) sind mit dem **Bau von Windkraftanlagen im direkten Wohnumfeld** (eher) einverstanden. Im Jahresvergleich zeigt sich jedoch, dass auch hier die Befürwortung steigt: So war im Jahr 2021 nur etwa die Hälfte der Bürger:innen (55,0 %) mit Windkraftanlagen im Wohnumfeld (eher) einverstanden. Diese Einschätzungen der Befragten werden neben der persönlichen Betroffenheit auch von soziodemografischen und regionalen Faktoren sowie politischen Ansichten beeinflusst. So zeigt sich eine höhere Akzeptanz unter Frauen und mit zunehmendem Alter sinkt das Einverständnis zum Bau von Windenergieanlagen im Wohnumfeld: In der Altersgruppe 18 bis 39 Jahre ist die Zustimmung um durchschnittlich zehn Prozentpunkte höher (68,5 %) als in den Altersgruppen ab 40 Jahren (57,5 %). Zudem wird in den Ergebnissen ein Ost-West-Gefälle sichtbar: Bewohner:innen in Ostdeutschland sind tendenziell weniger mit dem Bau von Anlagen im Wohnumfeld einverstanden (48,9 %) als in Westdeutschland (62,8 %). Schließlich ist zu beobachten, dass sich die Akzeptanz des Windausbaus vor Ort je nach politischer Orientierung der Menschen unterscheidet: Unter Wähler:innen der SPD (68,2 %), der Linken (71,7 %) oder des Bündnis 90/Die Grünen (78,8 %) sind die Zustimmungswerte am höchsten, unter den Anhänger:innen der CDU/CSU (49,9 %) und

Abbildung 9: Befürwortung des Ausbaus und der Förderung von Windenergieanlagen an Land im Jahresvergleich.
2022: n = 3.305, 2021: n = 6.822. Datenquelle RIFS. Abweichungen von 100 % rundungsbedingt.
Quelle: Eigene Darstellung

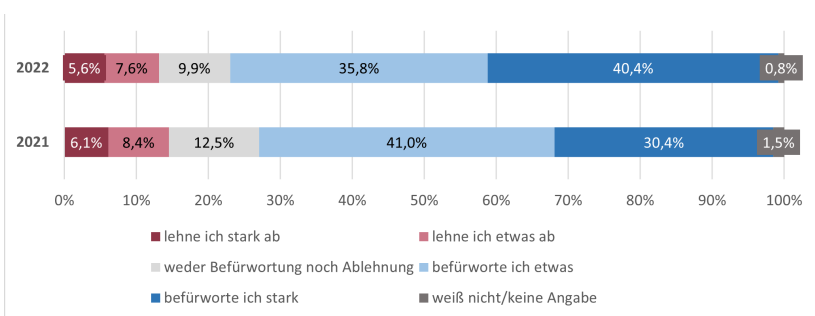
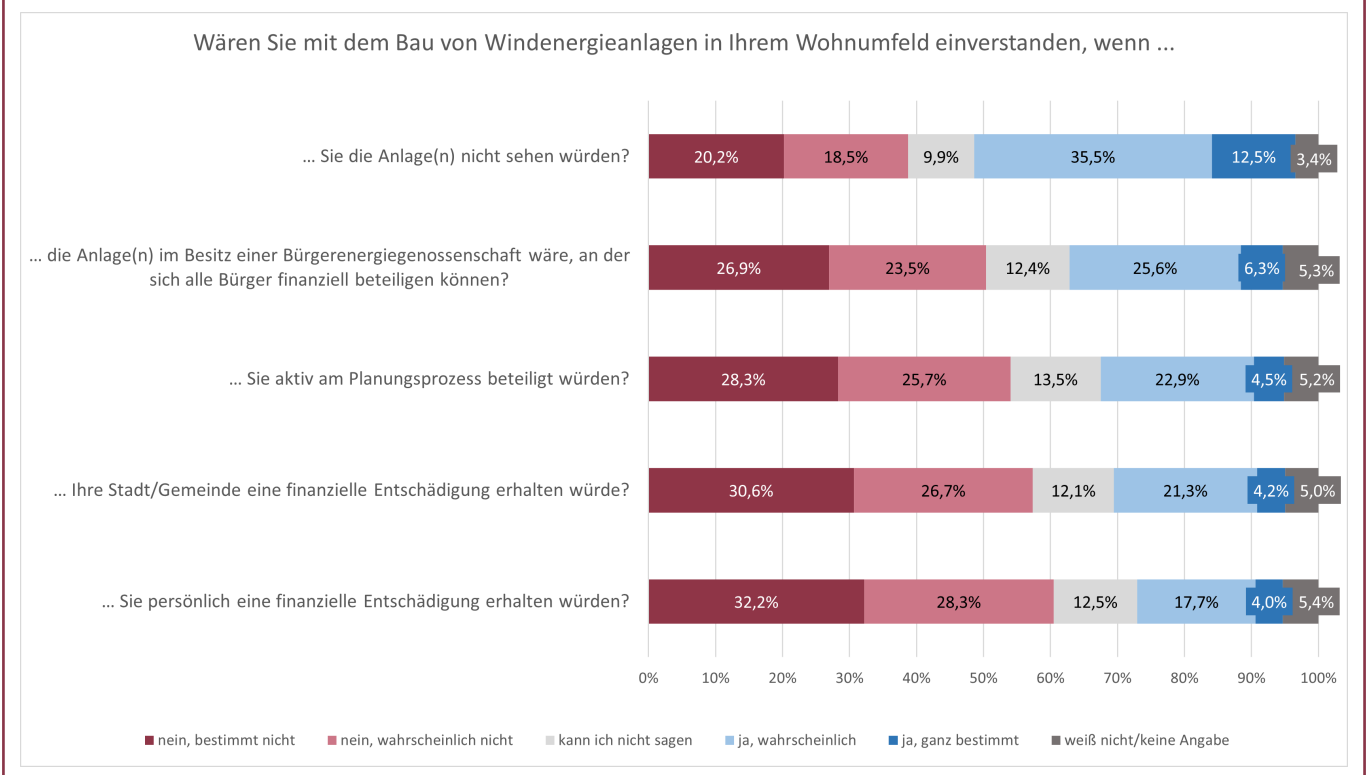


Abbildung 10: Umstände, unter denen Personen, die den Neubau von Windkraftanlagen im Wohnumfeld (etwas) ablehnen oder keine feste Meinung dazu haben, befürworten würden (2021).

n = 2.536. Datenquelle RIFS. Abweichungen von 100 % rundungsbedingt. Quelle: Eigene Darstellung



FDP (47,1 %) spricht sich eine knappe Mehrheit dafür aus, während unter den Anhänger:innen der AfD nur jede(r) Vierte (24,6 %) damit einverstanden ist.

Personen, die in der Befragung von 2021 dem Bau von Windkraftanlagen skeptisch gegenüberstanden, wurden außerdem nach den **Umständen** gefragt, **unter welchen sie mit dem Bau einverstanden wären** (siehe Abbildung 10). Knapp die Hälfte der Skeptiker:innen gibt an, dass die Sichtbarkeit der Anlagen für sie entscheidend ist – sie also mit dem Bau einverstanden wären, wenn sie die Anlagen nicht sehen würden (48,0 %). Weiterhin würden etwa ein Drittel der Befragten dem Bau von Anlagen im Wohnumfeld zustimmen, wenn diese im Besitz einer Bürgerenergiegenossenschaft wären, an der sich alle Bürger:innen finanziell beteiligen könnten (31,9 %) oder wenn die Befragten selbst aktiv am Planungsprozess beteiligt würden (27,4 %). Dagegen spielt die persönliche finanzielle Entschädigung nur für ein Fünftel eine Rolle bei ihrem Einverständnis (21,7 %). Wichtiger scheint die finanzielle Entschädigung der Stadt/Gemeinde

zu sein, die für jede(n) Vierte(n) ein Anlass wäre, die Anlagen im Wohnumfeld (eher) zu akzeptieren (25,5 %). Generell zeigt sich, dass sich ein bis zwei Drittel (eher) jeweils nicht durch die genannten Maßnahmen umstimmen lassen und an ihrer Gegnerschaft zum Bau von neuen Anlagen im Wohnumfeld festhalten: So lehnen beispielweise immer noch 38,5 % der Befragten den Bau ab, auch wenn sie die Anlagen nicht sehen würden.

EXKURS: KOSTEN-NUTZEN-VERTEILUNG ZU WINDENERGIE AN LAND VOR ORT

In den Akzeptanzbefragungen wird deutlich, dass es einerseits lokale Konflikte gibt, andererseits aber auch Präferenzen für bestimmte Standorte für den EE-Ausbau. Sollen die EE-Ziele erreicht werden, muss von Präferenzstandorten abgewichen und mit lokalen Ausbaukonflikten umgegangen werden. Hier kommen Ausgleichsmaßnahmen zum Zuge, die Kosten-Nutzen der beteiligten und betroffenen Akteure austarieren.

Besonders beim Ausbau von Windenergie ist der Ausgleich für den Eingriff in die Natur, Umwelt und Arten weit entwickelt und auch gesetzlich verankert. Von dem Erhalt beziehungsweise einer Aufwertung von Natur, Umwelt und Arten profitieren auch Kommunen und ihre Bürger:innen. Jedoch ist der Nutzen einer besseren Umweltqualität eher langfristig spürbar und teilweise ungewiss. Zudem werden diese Maßnahmen nicht unbedingt am Ort des Eingriffes durchgeführt. Viele Bürger:innen wünschen sich aber durchaus sichtbare und für sie persönlich vorteilhafte Maßnahmen und für Kommunen die Finanzierung von Maßnahmen, die keine naturschutzfachliche Anerkennung als Ausgleichsmaßnahmen finden. Das sind zum Beispiel landschaftsverschönernde Maßnahmen, wie das Anlegen eines Dorfteiches, oder die Entsiegelung landschaftsprägender Bauten. Diese sind aus naturschutzfachlicher Sicht in der Regel nicht als Ausgleichsmaßnahmen für den Eingriff in das Landschaftsbild vorgesehen.

Allerdings sind über die gesetzlich verpflichtenden Regelungen hinausgehende Politikinstrumente, welche die Verteilungsgerechtigkeit erhöhen, eher eingeschränkt verfügbar beziehungs-

weise nutzbar. Das hat verschiedene Gründe. Zum einen sind Möglichkeiten der lokalen Steuerung mithilfe von Bauungsplänen, Flächennutzungsplänen, Flächenpools, Ökokonten, oder Stiftungskonzepten komplex, zeitintensiv und unter Umständen kostenintensiv. Darüber hinaus lagen Zusagen von freiwilligen Leistungen durch Projektentwickler im Vorfeld eines Vertragsabschlusses in der Vergangenheit in einem rechtlichen Graubereich und konnten den Straftatbestand der Vorteilsnahme und Bestechung erfüllen. Auch deshalb wurde mit dem EEG 2021 §6 eine offizielle Möglichkeit zur finanziellen Beteiligung eingeführt. Danach „dürfen“ Anlagenbetreiber den betroffenen Gemeinden Beträge von insgesamt 0,2 Cent pro Kilowattstunde anbieten.

Brandenburg und Mecklenburg-Vorpommern gehen sogar einen Schritt weiter: Brandenburg verpflichtet Anlagenbetreiber zu einer Zahlung einer Sonderabgabe von 10.000 Euro für jedes Windrad pro Jahr an die umliegenden Gemeinden; Mecklenburg-Vorpommern verpflichtet Vorhabenträger zu einem finanziellen Beteiligungsangebot an Windparks für Anwohnerinnen und Anwohner sowie standortnahe Gemeinden. Allerdings sollten sich solche Kompensationsmaßnahmen wiederum nicht hemmend auf Seiten der Projektierer auswirken: so wird die pauschale Zahlung in Brandenburg nicht nur als akzeptanzfördernd gelobt, sondern im Rahmen von Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen auch kritisiert. Denn kleinere Anlagen mit einem Ertrag von unter 10.000 Euro pro Jahr rechnen sich so nicht mehr. Das verpflichtende finanzielle Beteiligungsangebot in Mecklenburg-Vorpommern bedeutet eine höhe-

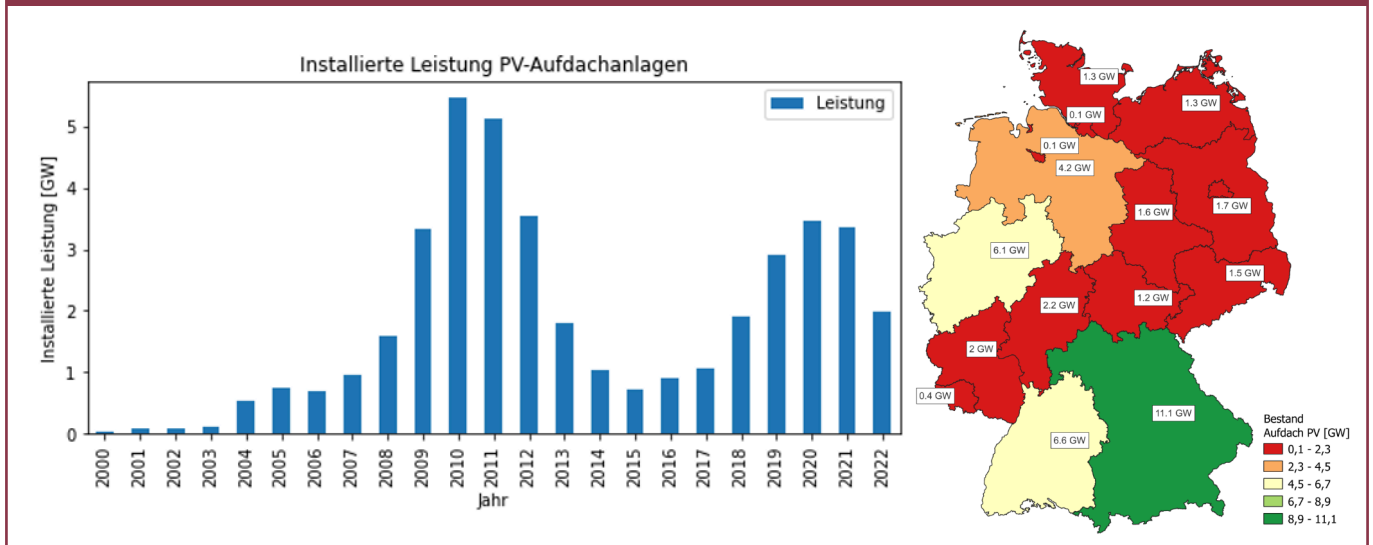
re Belastung des Vorhabenträgers und somit geringere Wirtschaftlichkeit der Anlage, was ein mögliches Hemmnis beim Ausbau bedeuten könnte.

In der Ariadne-Bürgerdeliberation und auch im Sozialen Nachhaltigkeitsbarometer wünschen sich Bürger:innen im Rahmen der Energiewende mehr Beteiligungsmöglichkeiten und finanzielle Teilhabe. Beides führt nicht zwangsläufig zu höherer Akzeptanz und Entschärfung lokaler Konflikte bei konkreten Ausbauprojekten. Vor allem sind die lokalen und individuellen Bedürfnisse bei der Art und Ausgestaltung von Beteiligungen und von Instrumenten zur finanziellen Teilhabe sehr unterschiedlich.

Deshalb sind Information, Dialog, gemeinsame Verständigung über Beteiligung sowie für alle verständliche Strukturen zur Teilhabe notwendige Basiskomponenten. Diese müssen auf die jeweilige lokale Situation gut zugeschnitten werden, um gesellschaftliche Trägerschaft im Lokalen zu fördern. Gesellschaftliche Trägerschaft geht über ein einfaches Akzeptanzkonzept hinaus und beinhaltet ein aktives Verständnis von Gesellschaft. Im Kern geht es darum, dass betroffene Akteure bereit sind, Entscheidungen mitzutragen, die sie eigentlich ablehnen, wenn sie auf gemeinsam getroffenen Kompromissen basieren (Colell et al. 2021). Damit umfasst gesellschaftliche Trägerschaft mehr als nur die Akzeptanz von beschlossenen Entscheidungen.

Abbildung 11: Zeitlicher Verlauf der installierten Leistung von PV-Aufdachanlagen und regionale Verteilung heute.

Quelle: Eigene Darstellung auf Basis von MaStR-Daten (2022 vorläufig)



3.5 PV-Dachanlagen

Bei der Bestimmung des **Aufdach-PV-Potenzials** gibt es verschiedene Aspekte, die zu berücksichtigen sind. Geht man vereinfacht an die Potenzialbestimmung und nimmt an, dass sämtliche Gebäude zumindest teilweise genutzt werden können und nutzt pauschale Abschlagsfaktoren für Verschattung, Neigung und Ausrichtung der Dächer, ergibt sich für Deutschland ein Dachflächenpotenzial von etwa 300 GW. Dieses Potenzial basiert auf einer Auswertung aller individuellen Hausumringe (HU = Grundriss in 2D) in Deutschland unabhängig von ihrem Zustand und ihrer Nutzung.

Der **Ausbau Ende 2021** beläuft sich auf etwa 41 GW, also etwa 14 % Potenzialausnutzung und etwa 19 % der angestrebten 211 GW in 2040 (siehe Abbildung 1). Mit Blick auf die Entwicklung der letzten 20 Jahre und der stagnierenden Zubaurate (siehe Abbildung 11) hat sich vor der Energiepreiskrise die Frage gestellt, ob **wirtschaftliche Anreize ausreichen oder eine PV-Pflicht** zielführender ist, um die Installationsrate weiter zu erhöhen. Im Zuge sinkender Energiepreise oder auch im Hinblick auf die langfristige Erschließbarkeit der Potenziale stellt sich diese Frage aber trotz der aktuellen dynamischen Marktentwicklung¹⁴ auch weiterhin.

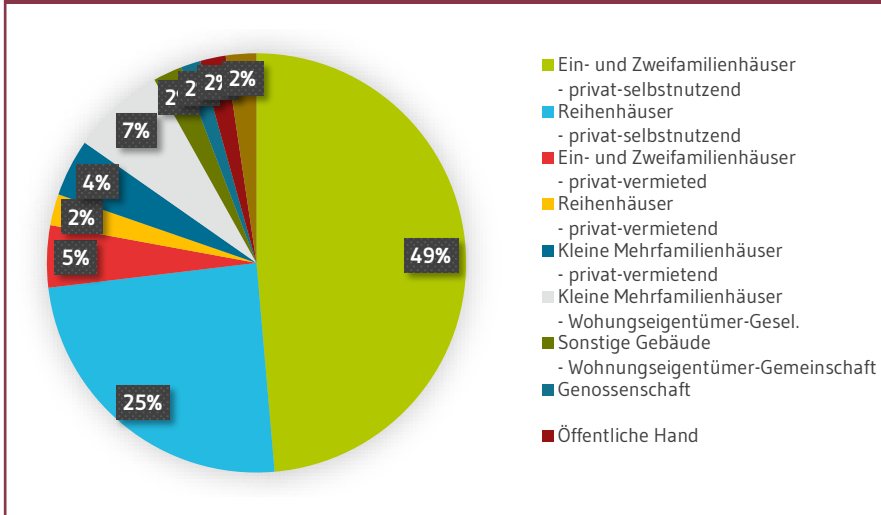
Die Ausgestaltung der PV-Pflicht sollte von der Sanierungsrate abhängig gemacht werden; ist diese ausreichend hoch, wäre eine PV-Pflicht nur im Sanierungsfall denkbar. Ist sie zu niedrig, wird die PV-Zuwachsrate nicht hinreichend gesteigert und eine allgemeine PV-Pflicht würde die gesteckten Ziele besser erreichen. Jedoch muss berücksichtigt werden, dass die durchschnittliche Lebensdauer von Satteldächern mit 50-75 Jahren sehr hoch ist, sodass eine PV-Pflicht bei anlassbezogener Sanierung nur einen begrenzten Effekt hätte. Theoretisch wäre die Verbindung mit einer verpflichtenden Erstellung eines Sanierungsfahrplans (und Kontrolle von dessen Einhaltung) denkbar, um die Nutzungsdauer alter ungedämmter Dächer gegenüber der technischen Lebensdauer zu reduzieren und mit einer Steigerung der Sanierungsrate mehr PV-Anlagen mit einer Aufdachpflicht umzusetzen. Flachdächer hätten mit einer Nutzungsdauer von 20-25 Jahren hier bessere Voraussetzungen. Dennoch würde eine PV-Pflicht zur Sanierung nur bei dem Anteil der beheizten und damit nach GEG regulierten Gebäude greifen und das Potenzial wird durch maximale Deckenlasten weiter eingeschränkt. Dies würde also nur einen schnellen Markthochlauf in diesem sehr kleinen Marktsegment ermöglichen. Heute zeigt sich eine Konzentration von PV-Anlagen in Süddeutschland und keine Gleichverteilung ent-

sprechend der GEG-Gebäudeflächen, wie es als Trendentwicklung für eine Zielerreichung notwendig wäre.

Durch die Verfügbarkeit von **3D Gebäudeinformationen** (erstmalig angewendet im Projekt Ariadne und im Rahmen dieser Veröffentlichung) und einer verbesserten Datengrundlage lassen sich die Gebäude inzwischen detaillierter auswerten, sodass einerseits die Ausrichtung, Neigung und Fläche der Dächer berücksichtigt werden kann und andererseits die **Gebäudetypen, die Nutzung und die Besitzverhältnisse**. Besonders aus der Kombination von Gebäudetyp und Besitzverhältnissen (siehe Abbildung 12) lassen sich die Zubauwahrscheinlichkeiten und weitere Rahmenbedingungen für PV-Anlagen gut abschätzen. In Deutschland bestehen 18 Mio. Wohngebäude (15,5 Mio. Ein- und Zweifamilienhäuser; 2,5 Mio. Mehrfamilienhäuser). Hauptmarkt sind 49 % der Gruppe selbstgenutzter Ein- und Zweifamilienhäuser. Weitergehend gibt es mit 25 % selbstgenutzter Reihenhäuser zwar eine hohe Anzahl an Möglichkeiten, welche zwar grundsätzlich für PV geeignet ist, die aber über relativ kleine Dachflächen verfügt. Privat-vermietete und Wohnungseigentümergeinschaften sind dagegen schwerer für Investitionen in PV-Anlagen umsetzbar (20 % der Gebäude). Andererseits bieten 11,2 Mio. private Garagen und Carports wiederum Poten-

Abbildung 12: Anteile Anzahl Wohngebäudetyp und Besitzverhältnisse in Deutschland.

Datenquelle: Fraunhofer IEE – Gebäudebestandsmodell AgentHomeID auf Basis von Tabula, Zensus, Mikrozensus, BBR-Befragung, BBSR-Befragung. Eigene Darstellung



nutzbaren Flächen auf Gebäuden mit Energieverbrauch schaffen ein zusätzliches Leistungspotenzial von **ca. 149 GW** (kursive Zahlen ohne Abschlagsfaktoren) – **in Summe 292 GW**. Dies macht deutlich, dass es weiterer Maßnahmen bedarf, um das politische Ziel erreichen zu können. Auf den nicht GEG relevanten Gebäuden könnte zusätzlich eine Leistung von 17 - 22 GW (blaue Zahlen in Tabelle 2) installiert werden.

In der zukünftigen Entwicklung ergeben sich weitere Einschränkungen. Die bisher genannten Zahlen beziehen sich auf den aktuellen Gebäudebestand. Bis 2045 ist aber mit starken Bevölkerungsverschiebungen aufgrund des demografischen Wandels bei einer langfristigen Schrumpfung der Bevölkerung Deutschland um 10 % zu rechnen. Dieser wirkt sich zusätzlich auf das Potenzial aus. Vor allem im ländlichen Raum wird dies geringer.

Generell ist die **Dachflächen-PV** durch aufwändigere Montage in der Installation etwas teurer als Freiflächenanlagen, und die Entscheidung für den Bau einer verhältnismäßig kleinen Anlage muss von sehr vielen Akteuren individuell getätigt werden. Das heißt, ein Forcieren des Ausbaus ist nur über flächendeckende Anreize (EEG-Vergütung, Eigenstrom)

zualflächen, die über verschiedene politische und wirtschaftlich Anreize erschlossen werden können (dena 2016).

Weiterhin könnten beispielsweise die Potenziale auf den 3,4 Mio. unter GEG-Anforderungen fallenden Nichtwohngebäuden durch eine Nutzungspflicht in Verbindung mit Sanierung anteilig gehoben werden (siehe oben). Andererseits gibt es 6,9 Mio. Nichtwohngebäude, die nicht oder nur teilweise GEG-relevant sind (un-

beheizt, sehr geringer Stromverbrauch usw.) und wo eine Nutzungspflicht nicht greifen würde (Hörner et. al. 2022). Insgesamt bieten die **gut bis sehr gut nutzbaren Potenzialflächen** (Gewichtung von Ertrag sowie Besitzverhältnisse, Energieverbrauch, Sanierungswahrscheinlichkeit, Traglast), eine installierbare Leistung von **ca. 143 GW** (Abschlagsfaktoren bezogen auf rote Zahlen in Tabelle 2)¹⁵ und damit weniger als das politische Ausbauziel. Die **weniger gut**

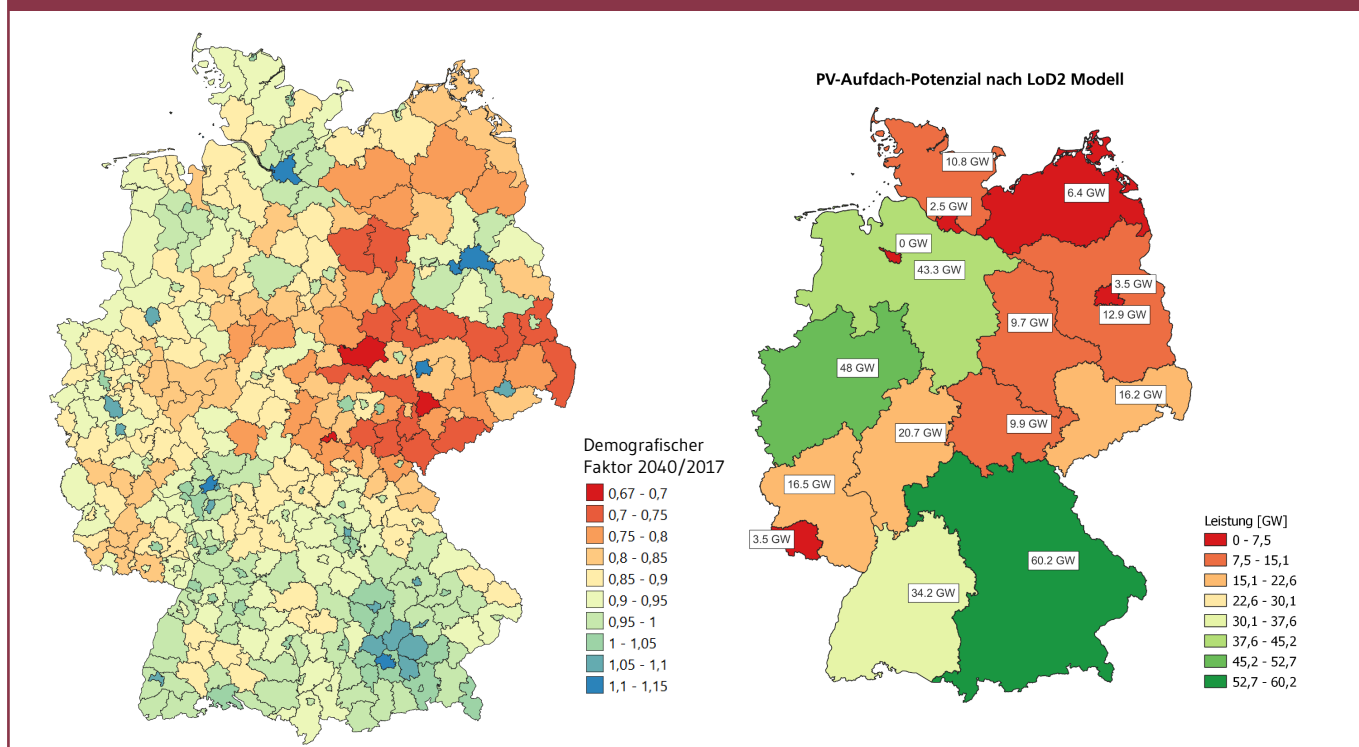
Tabelle 2: Theoretisches PV-Dachpotenzial auf Basis des 3D-Gebäudemodells (LoD2) und Klassifizierung hinsichtlich möglicher Nutzungseinschränkungen. (Einschränkungen sind: zu geringer Solarertrag („Rest“ + ggf. „Mittel“); Wohnen aufgrund Vermietung; Traglast Industrie-Flachdach; geringe Sanierungsrate; Schrägdach; kein Stromverbrauch im Gebäude).

Gebäudefunktion	Sanierungswahrscheinlichkeit		Gesamt	Ertragspotenzial (Ausrichtung + Neigung)			
	Niedrig Schrägdach	Hoch Flachdach		Sehr gut	Gut	Mittel	Rest
Wohnen (GEG, anteilig privat-selbstnutzend)	450	52	502	94	47	43	318
Industrie/ Gewerbe (GEG)	267	144 (weniger umsetzbar aufgr. Traglast)	412	29	50	27	306
Öffentlich (GEG)	33	18	51	4	5	3	39
Rest (nicht GEG => kein Verbrauch)	55	13	68	9	8	5	46
SUMME	805 GW	227 GW	1033 GW	136 GW	110 GW	78 GW	709 GW

¹⁵ Abschätzungen zu Abschlagsfaktoren von ca. 54 % bei Wohngebäuden, 75 % bei öffentlichen Gebäuden und 84 % bei öffentlichen Gebäuden auf Besitzverhältnisse Wohngebäude, Sanierungswahrscheinlichkeit Schrägdächer, Traglast Flachdächer).

Abbildung 13: Relative Bevölkerungsentwicklung bis 2040 bzw. demografischer Faktor bezogen auf 2017.

Quelle: Bertelsmann Stiftung 2015; Fortschreibung bis 2040: Thomsen 2020) sowie Dachflächenpotenzial mit weiteren Maßnahmen (292 GW) als Grundlage für die relative Leistungsverteilung im Rahmen des Projekts Ariadne für das Bürgerszenario im Zieljahr 2045 in Kapitel 4. Eigene Darstellung



oder Nutzungspflichten umsetzbar. Diese Nachteile dieser Technologie werden dadurch ausgeglichen, dass die Potenzialflächen **nicht in Konkurrenz zu anderen Flächennutzungen** stehen, und dass die Stromproduktion direkt am Ort des Verbrauchs anfällt. Weiterhin sind die Potenziale aufgrund der guten Datenverfügbarkeit sehr detailliert ermittelbar und es könnten Ausbauanreize effektiver und akzeptanzfördernd spezifisch für Gebäudetypen oder die Besitzstruktur gesteuert werden.

Generell ist die **Dachflächen-PV** durch aufwändigere Montage in der Installation etwas teurer als Freiflächenanlagen, und die Entscheidung für den Bau einer verhältnismäßig kleinen Anlage muss von sehr vielen Akteuren individuell getätigt werden. Das heißt, ein Forcieren des Ausbaus ist nur über flächendeckende Anreize (EEG-Vergütung, Eigenstrom) oder Nutzungspflichten umsetzbar. Diese Nachteile dieser Technologie werden dadurch ausgeglichen, dass die Potenzialflächen **nicht in Konkurrenz zu anderen Flächennutzungen** stehen, und dass die Stromproduktion direkt am Ort des Verbrauchs anfällt. Weiterhin sind die Poten-

ziale aufgrund der guten Datenverfügbarkeit sehr detailliert ermittelbar und es könnten Ausbauanreize effektiver und akzeptanzfördernd spezifisch für Gebäudetypen oder die Besitzstruktur gesteuert werden.

Gesellschaftliche Akzeptanz

In der Befragung des SNB spricht sich die überwiegende Mehrheit der deutschen Bevölkerung eher beziehungsweise stark für die Förderung und den Ausbau von Solarstromanlagen auf Hausdächern aus (2021: 91,4 %, siehe Abbildung 14). Auch sehen die Teilnehmenden der Bürgerdeliberation die Nutzung von Dächern zum Ausbau der Erneuerbaren Energien als sinnvoll an, da „sie sowieso schon da sind“ (Treichel et al 2022: 11). Weiterhin zeigt sich im Vergleich mit der gesellschaftlichen Akzeptanz von Windenergieanlagen (2022: 76,2 %, siehe Kapitel 3.4) und PV-Freiflächenanlagen (2022: 79,8 %, siehe Kapitel 3.6), dass davon auszugehen ist, dass die Ausbaupotenziale von PV-Dachanlagen weitaus weniger durch Widerstände in der Bevölkerung eingeschränkt werden. Dennoch stellt sich die Frage, ob bisheri-

ge energiewirtschaftliche Anreize für Einspeiservergütung und Eigenstromnutzung ausreichen, um die hohen Ausbauziele für PV zu erreichen, oder ob es einer PV-Aufdachpflicht bei Gebäuden bedarf. Hierzu erfolgt als Einordnung ein juristischer Exkurs zum Status Quo ohne Bewertung hinsichtlich des Bürgerszenarios:

EXKURS: PV-AUFDACH-PFLICHTEN – STATUS QUO

Die Rechtslage in Deutschland mit Blick auf PV-Pflichten ist sehr heterogen. So gibt es Solarpflichten bisher nur auf Ebene der Bundesländer. Am weitesten gehen dabei Baden-Württemberg, Bayern, Berlin und Hamburg. Dort werden – teils mit zeitlicher Staffelung – jeweils nicht nur neue Gebäude adressiert, sondern auch Fälle der grundlegenden Sanierung. Rheinland-Pfalz, Bayern und Niedersachsen nehmen nur gewerbliche Neubauten, Schleswig-Holstein den Neubau und die Renovierung von Nichtwohngebäu-

den in die Pflicht. In mehreren anderen Bundesländern sind PV-Pflichten in Planung, so in Bremen, Brandenburg und Nordrhein-Westfalen.

Eine bundesweite PV-Aufdachpflicht ist nicht unmittelbar absehbar. Zwar hatten die Ampelparteien in ihrem Koalitionsvertrag vereinbart, „Alle geeigneten Dachflächen sollen künftig für die Solarenergie genutzt werden. Bei gewerblichen Neubauten soll dies verpflichtend, bei privaten Neubauten soll es die Regel werden.“ (S. 56 des Koalitionsvertrags), dies wird jedoch in der Photovoltaik-Strategie des Bundesministeriums für Klimaschutz vom Mai 2023 nicht aufgegriffen. Auch der Entwurf des novellierten Gebäude-Energie-Gesetzes vom Mai 2023 sieht keine PV-Pflicht vor.

Impulse in Richtung einer bundeseinheitlichen Pflicht könnten jedoch von der EU kommen: So hat die EU-Kommission im Rahmen ihres REPowerEU-Plans auch eine Solarstrategie vorgeschlagen. Mit dieser soll u. a. in die Gebäudeeffizienz-Richtlinie (Energy Performance of Buildings Directive, EPBD) ein neuer Art. 9a aufgenommen werden, nach dem alle neuen Gebäude „solar ready“ so zu konzipieren sind, dass das Potenzial zur Erzeugung von Solarenergie optimiert wird, um eine spätere kosteneffiziente Installation zu ermöglichen. Darüber hinaus sollen die Mitgliedstaaten verpflichtet werden,

die Installation geeigneter Solarenergieanlagen zu gewährleisten, und zwar in drei Phasen: (1) bis zum 31.12.2026 auf allen neuen öffentlichen/gewerblichen Gebäuden > 250 m², (2) bis zum 31.12.2027 auf allen bestehenden öffentlichen/gewerblichen Gebäuden > 250m² und (3) bis zum 31.12.2029 dann auch auf allen neuen Wohngebäuden. Die Kriterien für die praktische Umsetzung der Verpflichtungen und mögliche Ausnahmen sollen die Mitgliedstaaten ebenfalls festlegen. Zwischenzeitlich haben auch EU-Parlament und Rat ihre Positionen dargelegt, die derzeit im Rahmen des informellen Trilogs diskutiert werden. Änderungsbedarf sieht das EU-Parlament unter anderem bezüglich der Ausgestaltung der Umsetzungsfristen, während der Rat den Aspekt der Technologieneutralität stärker einfließen lassen möchte. Wie die endgültige Fassung der Solardachpflicht ausgestaltet sein wird, kann erst nach Abschluss der Trilogverhandlungen beurteilt werden.

Die Bürger:innen stehen mehrheitlich hinter der von der Bundesregierung geplanten Maßnahme, die Installation von Solaranlagen auf Neubauten für Privatleute zur Pflicht zu machen. Annähernd drei Viertel der Befragten befürworten diese Vorgabe eher beziehungsweise stark (2022: 73,7 %). Noch deutlicher fällt

die Zustimmung zur PV-Pflicht bei gewerblichen Neubauten aus: Mehr als vier von fünf der Befragten (2022: 84,4 %) sprechen sich dafür aus. Gleichwohl merkten Teilnehmende der Ariadne-Bürgerdeliberation an, dass eine Solardachpflicht als Eingriff in die Freiheit und das Eigentum gesehen werden könnte. Darüber hinaus muss aus deren Sicht bei einer Pflicht der soziale und finanzielle Stand betroffener Haushalte berücksichtigt werden und finanzielle Unterstützungen bei der Erstinvestition möglich sein. Ebenfalls bedarf es ausreichender Informationen zu Fragen, in welcher Größenordnung PV-Dachanlagen zur Energiewende beitragen können und welche Absicherungen bei Naturkatastrophen greifen, beispielsweise wenn aufgrund eines Wetterereignisses die private PV-Dachanlage stark beschädigt ist und lange Zeit nicht genutzt werden kann oder eine teure Reparatur notwendig ist.

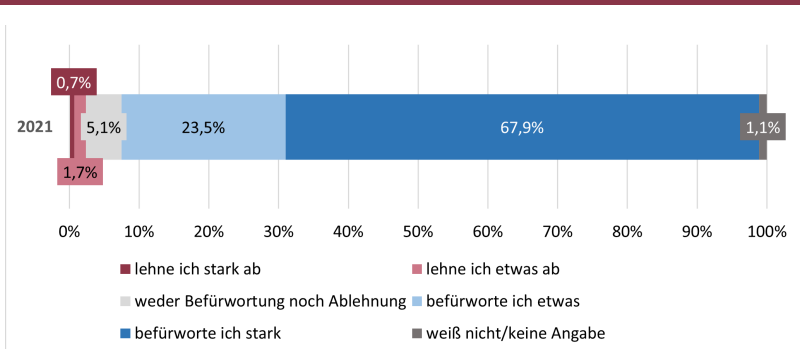
Trotz dieser genannten Unsicherheiten nimmt die Verbreitung von Solaranlagen zu: In der Befragung des SNB gibt jeder fünfte befragte Haushalt mit Besitz eines Eigenheimes im Jahr 2022 an, sich bereits eine eigene Solarstromanlage (22,0 %) beziehungsweise Solarwärmanlagen (17,7 %) angeschafft zu haben.¹⁶ Das sind im Vergleich zum Vorjahr 4,6 beziehungsweise 3,1 Prozentpunkte mehr. Weitere 47,8 beziehungsweise 42,7 % können sich den Kauf und die Installation einer Solarstrom- beziehungsweise Solarwärmanlage gut vorstellen oder haben es sich fest vorgenommen.

3.6 PV-Freiflächenanlagen

Da PV-Freiflächenanlagen werden laut Marktstammdatenregister (MaStR) aktuell **vorrangig auf Acker-, Konversions- und Gewerbeflächen** errichtet. Die Autobahn- und Schienenrandstreifen (bisherige Abstände 110 und 200 m) machen noch einen relativ geringen Anteil aus (siehe Abbildung 15). Da im MaStR relativ viele Flächen unter „Sonstiges“ und „keine Datengrundlage“ fallen, wurde für Anlagen mit Geokoordinaten die Flächenkategorie am Installationsstandort laut Basis-DLM ermittelt. Die Anlagen sind aber grob anteilig Industrie und Gewerbeflächen sowie Agrarflächen zuzu-

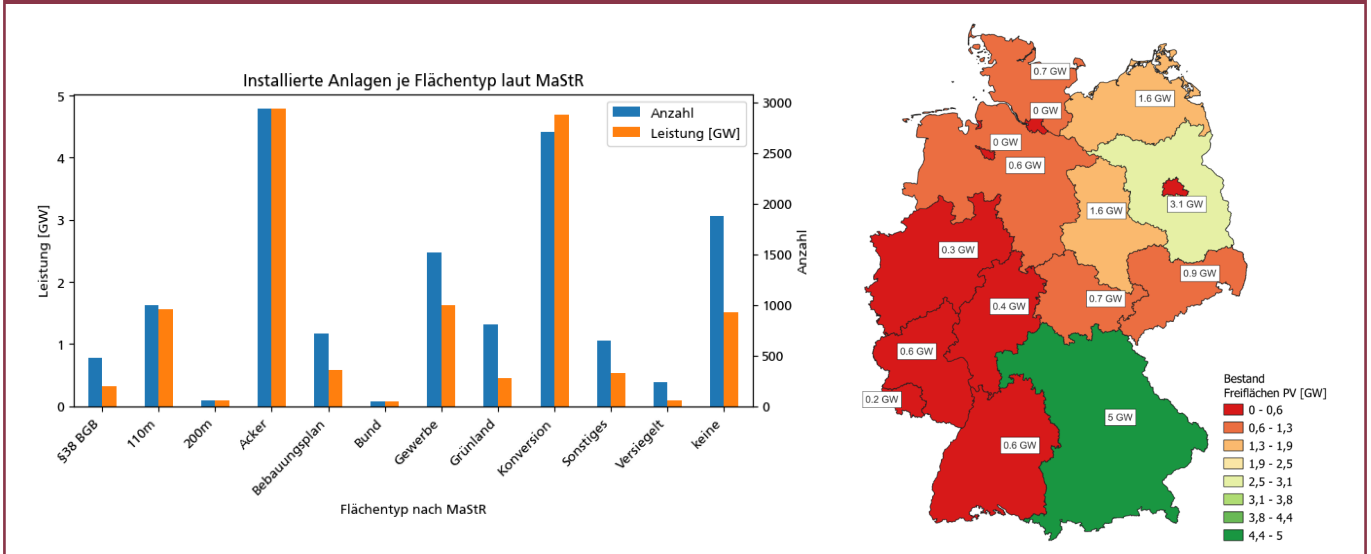
Abbildung 14: Befürwortung des Ausbaus und der Förderung von Solarstromanlagen auf Hausdächern (2021).

n = 6.822. Datenquelle RIFS. Abweichungen von 100 Prozent rundungsbedingt. Ei-



¹⁶ Anmerkung: In der Stichprobe der Befragung sind Eigenheimbesitzende im Vergleich zur Grundgesamtheit überrepräsentiert (s. Wolf et al., 2022).

Abbildung 15: Flächentypen laut MaStR und regionale Verteilung heute.
Eigene Darstellung



ordnen, wodurch an dieser Stelle noch eine Verzerrung bei der Bewertung auftreten kann. Die Anlagen sind insbesondere in Bayern (nach EEG, benachteiligte Gebiete¹⁷) und Brandenburg (nach PPA, geringe Bodenpunkte) konzentriert. In Hinblick auf eine möglichst hohe Akzeptanz des räumlich steuerbaren PV-Ausbaus müssen die beiden Punkte Auswirkungen auf den Bedarf neuer **Stromtrassen** und Nutzung von weiteren **Agrarflächen statt Autobahnrandstreifen** abgewogen werden. Um möglichst netzentlastend zu wirken, sollten PV-Freiflächenanlagen vorrangig im Süden Deutschlands als in lastschwachen Regionen mit viel Onshore-Wind und zusätzlichen PV-Dachflächen errichtet werden. Gleichzeitig ist dies von Vorteil, da große PV-Parks möglichst wirtschaftlich betrieben werden müssen und die Strahlungsressource dabei eine wesentliche Rolle spielt. Diese und damit die erzielbaren

Volllaststunden sind im Süden vergleichsweise hoch.

Durch eine **Verbreiterung der Randstreifen um Autobahnen und Schienen** von 200 m auf 500 m kann das Potenzial für EEG-Anlagen sehr stark erhöht werden und bietet Freiheitsgrade für eine räumliche Steuerung. Bei einem lastnahen netzentlastenden Fokus des Zubaus in der Südregion¹⁸ müsste dieses Potenzial aber theoretisch fast vollständig gehoben werden, wie folgende Tabelle zeigt. Zudem ist das Potenzial entlang von Schienen sehr hoch, gleichwohl sind Anwohnende in Hinblick auf die Lärmbelastung weniger benachteiligt. In der Praxis kann eine Nutzung auf Agrarflächen in benachteiligten Gebieten notwendig werden (siehe dazu Abbildung 16 und Tabelle 3). Zusätzlich muss berücksichtigt werden, dass bereits heute große Solarparks insbesondere in Ostdeutschland instal-

liert werden. Unter Beibehaltung dieser Standorte, aber unter Berücksichtigung des Repowering dieser Bestandsanlagen inkl. Leistungserhöhung, würde sich in diesem Szenario der Ausbaubedarf von 189 GW Freiflächenanlagen zu 59 Prozent auf die Südregion auf Autobahnen und Schienen konzentrieren, sowie mit 41 % in der Nordregion den Fokus auf Autobahnen legen (ca. 50 % der Autobahnrandstreifen).

In Abhängigkeit der Ausrichtung und des Aufstellwinkels variiert die **Flächenausnutzung** unterschiedlich stark, das heißt im günstigen Fall (Südausrichtung) ist der Abstand der Module innerhalb eines Parks so groß, dass eine Ko-Nutzung (Naturschutz oder Viehhaltung) der Fläche ermöglicht wird. Bei Ost-West-Ausrichtung können die Module dichter zusammengesetzt werden, sodass der Flächenbedarf des Parks insgesamt sinkt, eine Ko-Nutzung nun aber gar nicht mehr möglich ist. Diese Aufstellung wird in der heutigen Praxis aber seltener (insbesondere bei Eigenstromanwendungen unter begrenzter Flächenverfügbarkeit) gewählt und wird in der Simulation und Potenzialbestimmung vernachlässigt. Demgegenüber stellt der Ansatz der Agri-PV zwar eine deutliche Verbesserung dar, denn die Module werden senkrecht in Ost-West-Richtung aufgestän-

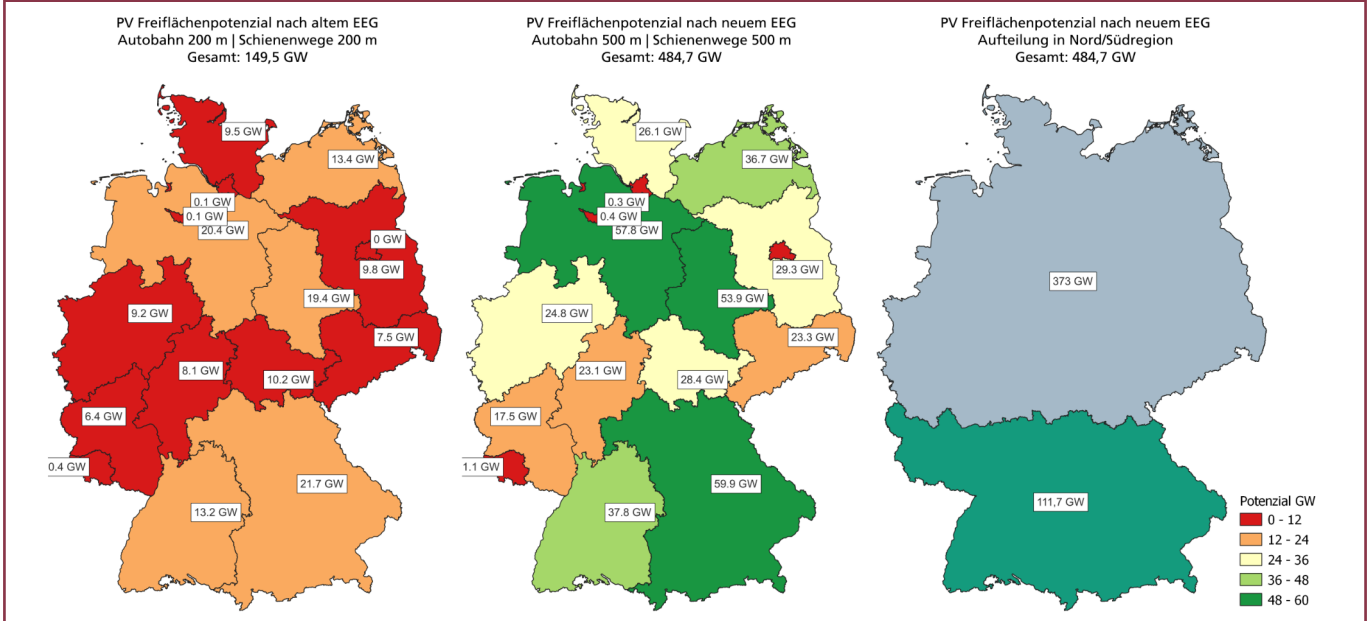
Tabelle 3: Verteilung des PV-FFA-Potenzials entlang von Autobahnen und Schienen.

GW	Altes EEG (200m)	Neues EEG (500m)	500m Schiene	500m Autobahn
Gesamt	149,5	484,7	310,2	193,9
Nur Südregion	39,8	117	71	46,7

¹⁷ PV-Anlagen sind auf Agrarflächen in benachteiligten Gebieten nach EEG förderfähig, aber nur bei Nutzung der Länderöffnungsklausel für Solaranlagen nach § 37c EEG 2021. Nur in Bayern sind dies relevanten Mengen - https://www.naturschutz-energiewende.de/wp-content/uploads/UEbersicht_Stand_Laenderoeffnungsklausel_Solaranlagen.pdf

¹⁸ Gemäß BNetzA Netzengpassregion

Abbildung 16: PV-FFA-Potenzial in Abhängigkeit der Breite von Autobahn- und Schienenrandstreifen.
Eigene Darstellung



dert und ein Großteil der Fläche steht für die landwirtschaftliche Nutzung weiter zur Verfügung. Aber hier ist von einem Nischenmarkt (Gartenbau, Sonderkulturen) auszugehen, der ebenfalls in der Simulation vernachlässigt wird.

Gesellschaftliche Akzeptanz

Im Gegensatz zur Windenergie haben PV-Freiflächenparks hauptsächlich unmittelbar am Standort eine **negative Auswirkung auf das Landschaftsbild**, sind aber aufgrund der niedrigen Bauhöhe in flachem Gelände in größerer Entfernung nicht störend. Zudem können Hecken als Sichtschutz gepflanzt werden. Dies könnte dazu beitragen, dass sie im Vergleich zu Windkraft eher ak-

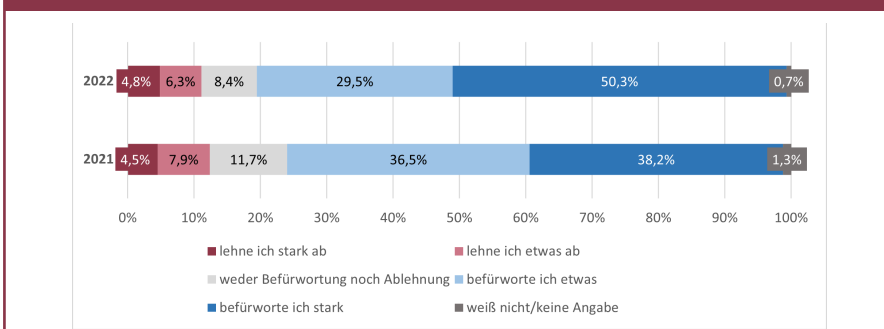
zeptiert werden (Experteninterviews im Rahmen des Projektes Ariadne, geführt von den Autorinnen und Autoren dieses Kurzdossiers). Allerdings lassen bisherige Studien zu Akzeptanz sowie die Empirie vermuten, dass Eingriffe in das Landschaftsbild nur ein Ablehnungsgrund auf Seiten der lokalen Bevölkerung sind. Grundsätzlich muss bei der Planung von PV-Freiflächenanlagen die Teilhabe der Bürger:innen anliegender Gemeinden mitbedacht werden. Insgesamt kann Freiflächen-PV verglichen mit der Aufdach-PV wesentlich einfacher mit sehr hohen Leistungen installiert werden. Damit ist diese kostengünstiger und der Nutzen einer einzelnen Anlage deutlich größer. Diese Technologie konkurriert allerdings deutlicher stärker mit einer

landwirtschaftlichen Nutzung um verfügbare Flächen.

Die **generelle Befürwortung von Solarstromanlagen auf Freiflächen** ist ähnlich hoch wie die von Windenergieanlagen an Land (siehe Kapitel 3.4): Acht von zehn Personen der Befragten des SNB sprechen sich für die Förderung und den Ausbau derartiger Anlagen aus (2022: 79,8 %), was einen Anstieg gegenüber 2021 um fünf Prozentpunkte darstellt (2021: 74,7 %, siehe Abbildung 17). In Betrachtung regionaler Unterschiede ist im Gegensatz zu der sozio-politischen Akzeptanz von Stromtrassen und Wind an Land kein besonderes Muster zu erkennen: Die höchste Zustimmung herrscht in Thüringen vor, die niedrigste in Sachsen-Anhalt (siehe Abbildung A3 im Anhang). Ähnlich wie bei dem (Aus-)Bau von Windkraftanlagen an Land (siehe Kapitel 3.3.) liegt das Akzeptanzniveau auf lokaler Ebene jedoch etwas unter der allgemeinen sozio-politischen Akzeptanz der Maßnahme: Im Jahr 2022 akzeptierten über zwei Drittel den Bau neuer Solarstromanlagen auf Freiflächen in ihrem Wohnumfeld (71,6 %); im Vergleich zum Vorjahr ist dies ein Anstieg um fünf Prozentpunkte (2021: 67,1 %).

Betrachtet man, welche regionalen und soziodemografischen Faktoren die lokale Akzeptanz von Freiflächen-PV beeinflus-

Abbildung 17: Befürwortung des Ausbaus und der Förderung von Solarstromanlagen auf Freiflächen im Jahresvergleich (2022: 3.305 Antworten, 2021: 6.822 Antworten).
Datenquelle RIFS. Abweichungen von 100 Prozent rundungsbedingt.
Eigene Darstellung

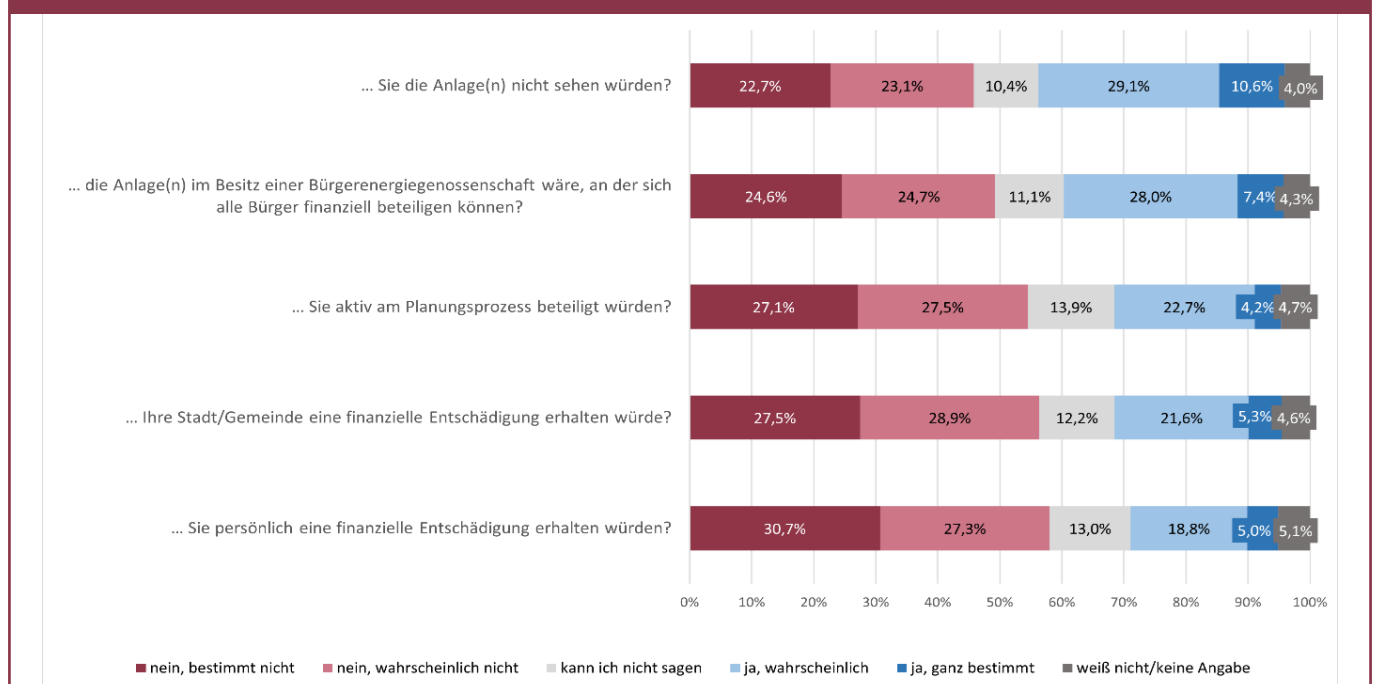


sen, zeigen sich im Gegensatz zur Akzeptanz von Windkraftanlagen (siehe Kapitel 3.4) keine Unterschiede zwischen den Geschlechtern, Altersgruppen oder der Region Ost- und Westdeutschland. Lediglich in Bezug auf den Wohnort und der politischen Orientierung sind Unterschiede festzustellen: Ländlich lebende Bürger:innen sind tendenziell weniger mit dem Neubau von Solarstromanlagen im Wohnumfeld einverstanden. Betrachtet man die Zustimmungswerte getrennt noch den parteipolitischen Präferenzen der Befragten, so zeigt sich, dass die überwiegende Mehrheit der Anhänger:innen des Bündnis 90/Die Grünen (82,3 %), der SPD (79,1 %), der Linken (72,8 %), der CDU/CSU (67,3 %) und der FDP (66,6 %) dem Neubau im Wohnumfeld positiv gegenüberstehen. Unter den Anhänger:innen der AfD sind es weniger als die Hälfte (40,7 %).

Befragt man die Gegner:innen oder Skeptiker:innen, **unter welchen Umständen diese mit dem Bau von PV-Freiflächenanlagen im Wohnumfeld einverstanden** wären, zeigt sich eine ähnliche Priorisierung wie bei der Frage nach dem Einverständnis von Windkraftanlagen im Wohnumfeld (siehe Kapitel 3.2., Abbildung 9): Auch bei Solarstromanlagen auf Freiflächen spielt die Sichtbarkeit der An-

lagen eine große Rolle für die lokale Akzeptanz. So geben annähernd zwei von fünf Personen an, dass sie einem Bau zustimmen würde, wenn sie die PV-Anlagen nicht sehen würde (39,7 %). Weiterhin wäre etwa ein Drittel mit neuen Anlagen einverstanden, wenn diese im Besitz einer Bürgerenergiegenossenschaft wären, an der sich alle Bürger:innen finanziell beteiligen könnten (35,4 %). Etwa jede(r) Vierte würde neue Anlagen akzeptieren, wenn sie selbst aktiv am Planungsprozess beteiligt würde (26,9 %), die Stadt/Gemeinde (26,9 %) oder sie selbst eine finanzielle Entschädigung erhalten würden (23,8 %). Im Vergleich mit einem möglichen Einverständnis unter bestimmten Umständen von Windenergie- oder PV-Freiflächenanlagen zeigt sich jedoch, dass die Gegnerschaft bei PV-Freifläche hartnäckiger zu sein scheint. Mehr als die Hälfte der Menschen mit kritischer Haltung gegenüber dieser Technologie lehnt alle möglichen Umstände (eher) ab oder ist sich unsicher, inwiefern diese Maßnahmen ihr Einverständnis zum Bau von Solarstromanlagen auf Freiflächen ändern würden (siehe Abbildung 18).

Abbildung 18: Umstände, unter denen Personen, die den Neubau von Solarstromanlagen auf Freiflächen im Wohnumfeld (etwas) ablehnen oder keine feste Meinung dazu haben, befürworten würden (2021).
n = 1.909. Datenquelle RIFS. Abweichungen von 100 % rundungsbedingt. Eigene Darstellung



4. AUSPRÄGUNG EINES BÜRGER-SZENARIOS IM STROMMARKT UND STROMNETZ

Auf Basis der in Kapitel 2 dargestellten zwei Energiewelten (proWind/zentral und proPV/dezentral) sowie der Diskussion der Flächenpotenziale und Ergebnisse der Bürgerdeliberation wurde ein Szenario, welches die zukünftige Stromversorgung in Deutschland umfasst, modelliert. Dieses ist eingebunden in den europäischen Strommarkt, welcher unter Berücksichtigung der energiepolitischen Ziele der EU ebenfalls in der Modellierung berücksichtigt wird. Die Szenario-Annahmen wurden unter den deutschlandweiten Zielvorgaben des EEG 2023 zusammengestellt und auf ein regionales Mengengerüst heruntergebrochen, welches aus unserer Sicht einen Kompromiss zwischen den verschiedenen Bürgerinteressen darstellen kann (siehe Kapitel 2.3. auf Basis von Treichel, K., Blum, K., Kowarsch, M. (2022)). Neben den erläuterten regionalen EE-Ausbauszenarien wurden ebenfalls die Erwartungen zur Eigenstromnutzung (auf Haushaltsebene optimierte PV-Batteriesysteme) und die Bereitstellung von dezentralen Flexibilitätspotenzialen (flexibles Laden von E-Kfz mit der zusätzlichen Option der Rückspeisung ins Netz im Jahr 2045) modelltechnisch berücksichtigt. Die Wechselwirkungen zwischen Stromerzeugung und -verbrauch mit den verschiedenen dezentralen und zentralen Flexibilitätsoptionen wurden im europäischen Strommarkt mittels der Ener-

giesystem-Modelle des Fraunhofer IEE SCOPE-Path (zur Ermittlung der Investitionsentscheidungen)¹⁹ und SCOPE-EM (zur Abbildung des detaillierten Anlagen-einsatzes auf Basis des Strommarktes)²⁰ bestimmt. Ziel ist es, durch die Darstellung des Zusammenspiels von Erzeugung und Verbrauch für Bürger:innen zu veranschaulichen, dass das Energiesystem unter diesen Erwartungen effizient funktionieren kann. Dieser Nachweis ersetzt aber nicht die konkrete Partizipation bei Einzelmaßnahmen, sondern soll diese Prozesse unterstützen.

Im Folgenden sind die wesentlichen Annahmen als Input für die Modellierung dargestellt. Ergebnis der Modellierung sind dagegen installierte Leistungen für thermische Kraftwerke, Großwärmepumpen und Elektrodenkessel inkl. Wärmespeicher, Elektrolyse im Strommarkt, große Batteriespeicher sowie die Energiebilanzen von Stromverbrauch und Erzeugung.

Der Beitrag der einzelnen Regionen zur Versorgung eines klimaneutralen Deutschlands im Jahr 2045 ist heterogen, trotz der gegenüber den Szenarien proWind/zentral und proPV/dezentral berücksichtigten gerechter verteilten (Wind-Onshore) und lastnäheren (PV-Freiflächen und Dachflächen) Flächennutzung. Dies kann sehr gut über die Bi-

19 SCOPE-Path – Einsatz- und Ausbauplanung (LP, Jahresplanung) zur Minimierung der Kapital- und Betriebskosten für 28 europäische Länder
20 SCOPE-EM - Einsatzplanung (GGLP, rollierende Planung) zur Minimierung der Betriebskosten für 28 europäische Länder

lanz der Knoten des Übertragungsnetzes veranschaulicht werden. Dargestellt ist dies in Abbildung 19 als eine Heat-Map des Netto-Exportes als Mittelwert über 8.760 Stunden des Jahres 2045. Rot sind Gebiete mit hohen Stromüberschüssen (Nordsee-Einzugsgebiet und Ostdeutschland) und dunkelblau Gebiete, welche im Jahresmittel viel Strom von Außerhalb beziehen müssen (Lastzentren). Deutlich wird zusätzlich auch die Transportaufgabe für das Übertragungsnetz, sowohl hinsichtlich Nord/Süd (rote Punkte in Norden) als auch Stadt/Land (dunkelblaue Ballungszentren). Durch die dezentrale Ausgestaltung des Bürger-Szenarios kann diese Anforderung (gegenüber einer fiktiven Fortschreibung der heutigen EE-Verteilung ohne dezentrale Flexibilitäten) nur verringert, aber nicht vermieden werden. Der Netzausbau weist gegenüber heute in etwa eine Verdoppelung auf. Gegenüber den bereits bewilligten Maßnahmen mit ca. +60 % bis 65% der Netzkilometer ist dieser zusätzliche Ausbau aber weitestgehend in den bestehenden Trassen umsetzbar²¹. Eine Verteilung zwischen den Gemeinden innerhalb eines Bundeslandes, insbesondere bei Wind-Onshore, aber auch bei PV-Freiflächen abseits von Autobahnen/Schienen oder Konversionsflächen, stellt dabei einen gewissen Spielraum für weitere Detailoptimierungen dar.

Abbildung 20 zeigt die Zusammensetzung der Stromerzeugung und des -verbrauchs als Jahressumme für die betrachteten Szenario-Jahre 2030 und 2045. Es wird ersichtlich, dass die Stromerzeugung in beiden Szenario-Jahren weit überwiegend auf Strom aus Windkraftanlagen (Onshore und Offshore) sowie PV-Anlagen beruht. Zu einem geringen Anteil erfolgt die Stromerzeugung aus flexiblen Kraft-Wärme-Kopplungs (KWK)-Anlagen und Gasturbinen und sonstigen unflexiblen Anlagen.

Um die hohen Erzeugungsspitzen aus Photovoltaik und Windkraftanlagen nutzen zu können, stehen in den Szenarien verschiedene Flexibilitätsoptionen zur Verfügung. Im Jahr 2030 sind dies insbesondere zentrale Flexibilitätsoptionen. Der Einsatz von elektrischen Heizstäben zur Erzeugung von Prozesswärme oder

Tabelle 4: Wesentliche Annahmen für die Modellierung.

	2030	2045
EE-Ausbau im Strommarkt	215 GW PV-Anlagen, 115 GW Wind Onshore und 26 GW Wind Offshore. Regionale Verteilung ausgehend vom Bestand Ende 2021 (59 GW PV-Anlagen, 56 GW Wind Onshore und 7 GW Wind Offshore) und Zielzustand.	400 GW PV-Anlagen (mehr Dachanlagen in Städten, mehr Freifläche in Süddeutschland), 160 GW Wind Onshore (höhere Gleichverteilung zwischen Bundesländern) und 42 GW Wind Offshore
Einbindung Offshore	Zusätzlich 4 GW Direktnutzung durch Elektrolyse	Zusätzlich 28 GW Direktnutzung durch Elektrolyse
Kuppelkapazitäten zu Anrainern Deutschlands	37 GW (ausgehend von 26 GW in 2021)	50 GW
Flexibilität	Ca. 25 % der E-Pkw PV-Eigenstrom; Restliche E-Pkw zu 70% ungesteuert und 30% Lastverschiebung; 100 %; PV-Speicher im Segment Zubau PV in selbstgenutzten Ein- und Zweifamilienhäusern inkl. Reihenhäusern ohne Teilnahme am Spotmarkt; Wärmepumpen 100 % Lastverschiebung	Ca. 25% der E-Pkw PV-Eigenstrom; Restliche E-Pkw zu 40% ungesteuert und 60% Rückspeisung; 100%; PV-Speicher im Segment Zubau PV in selbstgenutzten Ein- und Zweifamilienhäusern inkl. Reihenhäusern mit nachrangiger Teilnahme am Spotmarkt; Wärmepumpen 100% Lastverschiebung
Gas- und CO₂-Preis	27 €/MWh Erdgas; 93 €/MWh Wasserstoff; 120 €/t CO ₂	85 €/MWh Wasserstoff; 200 €/t CO ₂
Nachfrage (herkömmlicher Stromverbrauch, Industrieprozesswärme, Gebäudewärme, Verkehr)	Ariadne Szenario „Mix-Hybrid“	Ariadne Szenario „Mix-Hybrid“

Abbildung 19: Regionale Belastungen von Verbrauch und Erzeugung im Jahr 2045 (Netto-Export) je Netzknoten.
Quelle: Eigene Darstellung

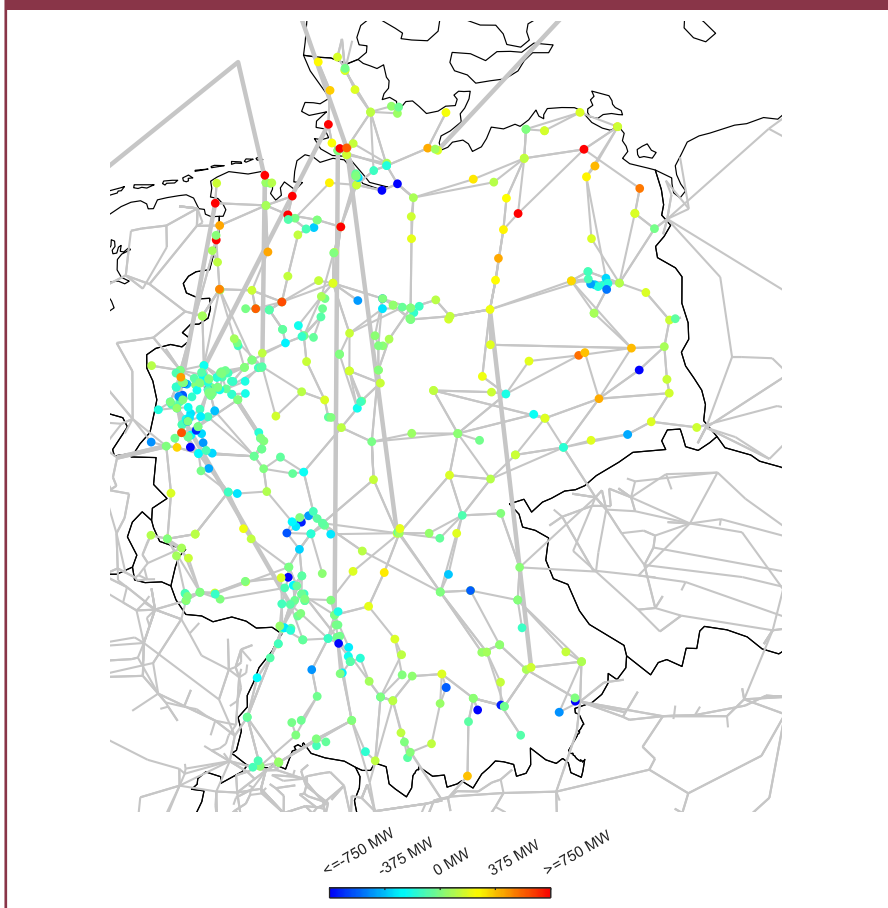
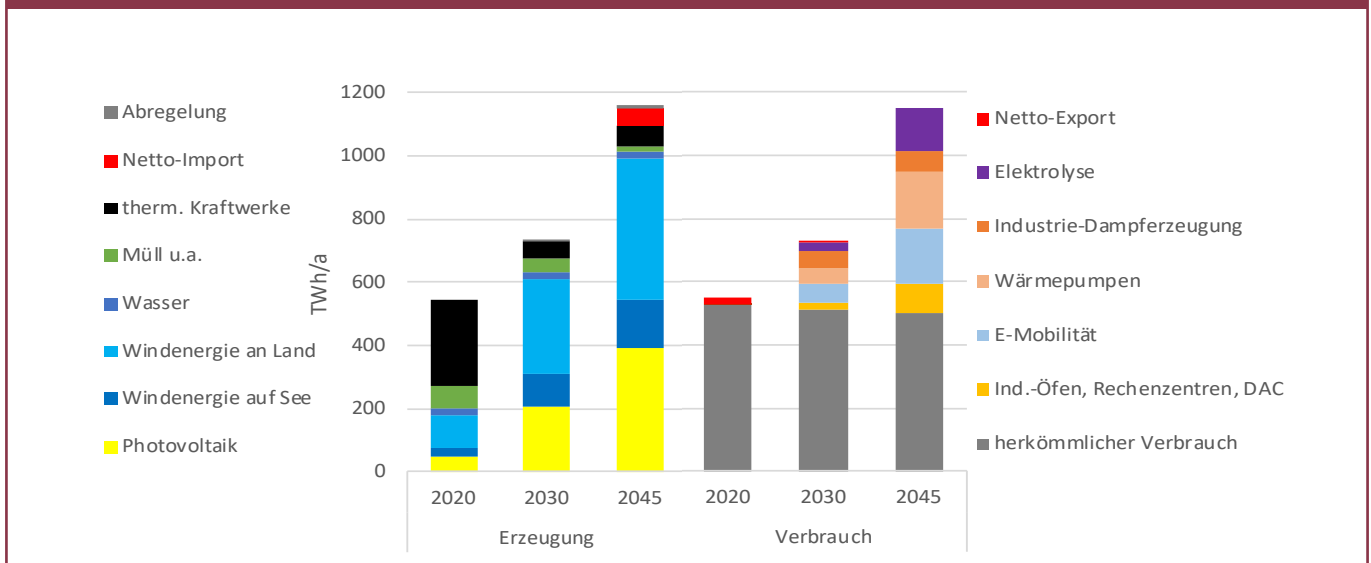


Abbildung 20: Stromerzeugung und -verbrauch für Deutschland in TWh/a in den Szenarien 2030 und 2045 (netto, zzgl. Netz- und Speicherverluste, ohne Offshore-Elektrolyse).

Quelle: Eigene Darstellung



die Erzeugung von Wasserstoff (insbesondere an den Anlandungspunkten der Offshore Windenergie) stellen hier eine hohe Flexibilität bereit. Außerdem stehen Pumpspeicherwerke und große Batteriespeicher dem Stromsystem zur Verfügung. Zusätzlich können Wärmepumpen die Wärmebereitstellung über wenige Stunden verschieben sowie ein Teil der Elektrofahrzeuge (E-Kfz) in Abhängigkeit des Stromangebots flexibel geladen werden. Auch PV-Batterie-Systeme in Haushalten spielen eine kleine Rolle zur gezielten Lastverschiebung, um den Eigenstromverbrauch zu maximieren.

ren Stromerzeugung (400 GW PV-Anlagen, 160 GW Wind Onshore und 42 GW Wind Offshore) bestmöglich nutzen zu können. Im Szenario-Jahr 2045 tragen nun auch große Wärmespeicher in Wärmenetzen zu einer zusätzlichen Flexibilisierung des Stromverbrauchs aus Wärmepumpen bei. Außerdem ist die Anzahl der PV-Home-Speichersysteme stark gestiegen und zusätzlich verfügt ein großer Anteil der E-Kfz im Szenario für 2045 nun, zusätzlich zur Möglichkeit der zeitlichen Verschiebung des Strombezugs, auch über die Möglichkeit der Rückspeisung ins Stromnetz, um Engpässe der Stromerzeugung ausgleichen zu können.

Im Verlauf erhöht sich der Strombedarf (netto zzgl. Netz- und Speicherverluste) von heute ca. 530 TWh/a, über 730 TWh im Szenario für 2030 auf 1.150 TWh stark. (Zusätzlich fallen 32 TWh in 2030 und 112 TWh in 2045 Strom im Bereich Offshore-Elektrolyse an). Dies ist darauf zurückzuführen, dass fossile Kraftstoffe in den Sektoren Industrie, Wärme und Verkehr nun nahezu vollständig durch direkte Nutzung des erneuerbaren Stroms oder durch strombasierte klimaneutrale Kraftstoffe (insbesondere auf Basis von synthetischem Wasserstoff) ersetzt wurden. Die hieraus resultierenden neuen Stromverbrauche können sehr flexibel eingesetzt werden, um die Stromerzeugungsspitzen, die sich aus den dann installierten Leistungen zur erneuerba-

5. SCHLUSSFOLGERUNGEN

Aus der vorliegenden Potenzialanalyse des Fraunhofer IEE wird deutlich, dass die vorhandenen Flächen gemäß dem technologiespezifischen und regulatorischen Rahmen für den EE-Ausbau ausreichen, um sowohl die Ausbauziele umzusetzen als auch Gestaltungsmöglichkeiten zur Netzentlastung und Akzeptanzsteigerung in der konkreten Ausgestaltung vor Ort zu haben. Netzentlastend kann hierbei sowohl die Vermeidung der strukturellen Nord-Süd-Engpässen im Übertragungsnetz wirken (Elektrolyse zur Integration von Windenergie auf See, Freiheitsgrade einer stärkeren Fokussierung von PV-Freiflächen im Süden) als auch die Berücksichtigung regionaler Netzintegrationsfragen zum Beispiel innerhalb eines Bundeslandes (Synergien von PV-Freiflächen zur Ladeinfrastruktur von Autobahnen, Freiheitsgrade der 2 %-Flächenausweisung von Vorrangs und Eignungsflächen für Windenergie an Land in Nähe zu Übertragungsnetz-Knoten/-Trassen mit höherer Aufnahme- und Transportkapazität).

Repräsentative Befragungen wie das Soziale Nachhaltigkeitsbarometer der Energie- und Verkehrswende (Wolf et al. 2022, 2021) zeigen, dass der überwiegende Teil der Bevölkerung dem EE-Ausbau in Deutschland positiv gegenübersteht. Auch auf lokaler Ebene ist die Mehrheit mit dem (Aus-)Bau von EE-Anlagen einverstanden, und Betroffene haben eine überwiegend positive Einstellung zu bestehenden Anlagen. Dies gilt auch für Menschen, die in der unmittel-

baren Nachbarschaft von EE-Anlagen wohnen (Schöpfer 2020, Setton, 2019). Dennoch zeigen die Daten des SNB auch, dass es, wenn auch in der Minderheit, Gegnerinnen und Gegner gibt, unter denen es zu Widerständen gegen den Infrastrukturausbau der Energiewende kommen kann. Eine frühzeitige und transparente Kommunikation, strukturierte Bürgerbeteiligungen und finanzielle Teilhabe an den Erlösen der Stromerzeugung vor Ort sind dabei demokratisch legitime und ökonomisch sinnvolle Ansätze, um betroffene Bürgerinnen und Bürger für die aktive Mitgestaltung der Energiewende auf lokaler Ebene zu gewinnen. Die akzeptanzsteigernde Wirkung von Beteiligungs- und Teilhabemöglichkeiten wird sowohl in den Diskussionen der Ariadne-Bürgerkonferenzen als auch in den Ergebnissen der repräsentativen Befragung des Sozialen Nachhaltigkeitsbarometers deutlich (Blum et al. 2023, Treichel et al. 2022). Weiterhin wurde zur Vermittlung einer gesellschaftlichen Trägerschaft in den Diskussionen die Möglichkeit der finanziellen Teilhabe insbesondere für einkommensschwache Haushalte betont. Ebenso spielen die Vermeidung von Netzausbau, weitere lokale Wertschöpfungsmöglichkeiten, die gerechte Verteilung über das Bundesgebiet und Gestaltungsmöglichkeiten hinsichtlich des Landschafts- und Naturschutzes für die Akzeptanz eine Rolle. Eine grundsätzlich positivere Einstellung im Vergleich der Technologien zeigt die Bevölkerung in Bezug auf PV-Anlagen auf Hausdächern, da diese „sowieso schon da sind“ und

keine neuen Eingriffe in die Landschaft bedeuten (Zitat aus der Ariadne-Bürgerkonferenz, siehe Treichel et al, 2022; Wolf et al., 2022; Wolf et al., 2021). Allerdings müssen die vorhandenen Potenziale durch entsprechende Änderungen des rechtlichen Rahmens sowohl hinsichtlich der Verständlichkeit und Zugänglichkeit (insbesondere bei Mieterstrom) als auch der Förderung noch weiter gehoben werden. Dies wurde auch von der Bundesregierung in ihrer Photovoltaik-Strategie aufgenommen, so dass hier weitere Entwicklungen zu erwarten sind.

Aufgrund des größten Flächenpotenzials sind die Gestaltungsmöglichkeiten für Photovoltaik-Freiflächenanlagen am höchsten. Hier bestehen jedoch Wechselwirkungen zu weiteren Aspekten. Eine deutschlandweite Fokussierung auf Autobahnen und Schienen führt tendenziell zu einem höheren Übertragungsnetzausbaubedarf als eine Fokussierung auf Agrarflächen in Süddeutschland im Bürgerszenario. Diese Tendenz sollte durch weitergehende Untersuchungen quantifiziert werden. Gewisse Gestaltungsmöglichkeiten bestehen auch für Wind Onshore, wobei die 2 %-Flächenausweisung je Bundesland (BMWK 2022b) einen gleichmäßigeren und damit netzentlastenden Ausbau gegenüber dem Status Quo ermöglicht. Die Nutzung von Windenergie auf forstwirtschaftlichen Flächen ist dabei in bestimmten Bundesländern aufgrund der Siedlungsstruktur und den verfügbaren Standorten mit Mindestwindgeschwindigkeiten notwendig. Die Einbindung von Wind Offshore in eine direkte Stromnutzung über ein bestimmtes Maß hinaus (im Bürgerszenario über 42 GW) würde zu einem Ausbaubedarf von neuen separaten Stromnetztrassen führen. Im Hinblick auf das hohe Stromangebot aus PV und Wind Onshore für eine direkte Stromnutzung und im Hinblick auf den Bedarf an Elektrolysestrom wäre dabei die Fokussierung der Wasserstoffherzeugung entweder auf See oder direkt an der Küste sowohl aus ökonomischen als auch aus Gründen der gesellschaftlichen Akzeptanz folgerichtig und sollte weitergehend untersucht werden. PV-Dachfläche wird sich zunehmend gleichmäßiger und lastnaher in Deutschland durch eine Konzentrierung auf ländliche und vorstädtische Gebäude in Südwestdeutschland verteilen – entweder

aufgrund von Eigenstromnutzung oder Anforderungen für vermietete Wohn- und Nichtwohngebäude, welche unter das Gebäudeenergiegesetz fallen. Die vorliegende Potenzial- und Umsetzungsanalyse erlaubt durch verschiedene Perspektiven und Methoden einen tiefergehenden Blick auf die zukünftige Gestaltung der Stromwende. Die Verschneidung von quantitativen Szenarien, repräsentativen Befragungen und qualitativen Diskussionen gibt Anhaltspunkte, welche Hürden in der weiteren Umsetzung zu adressieren sind, welche Informationen für die Kommunikation von Maßnahmen an die Gesellschaft wichtig sind und welche Prioritäten gesetzt werden sollten. Dabei ist zu beachten, dass gesellschaftliche Akzeptanz keine statische Größe ist, sondern durch neue Entwicklungen, Informationen und Verständigungsprozesse beeinflusst wird und sich verändern kann. Es ist deshalb wichtig, ähnliche Analysen in dieser Breite auch in Zukunft zu wiederholen, in denen die Wirkung neuer politischer Maßnahmen, wie beispielsweise des Windanland-Gesetzes oder der finanziellen Beteiligung von Kommunen im Zuge des EEG23 besser abgeschätzt werden kann.

Abkürzungsverzeichnis

AC - Wechselstrom

BMWK – Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz

CO₂ – Kohlenstoffdioxid

EE – Erneuerbare Energie

EEG – Erneuerbare Energien Gesetz

FFA – Freiflächenanlagen

GEG – Gebäudeenergiegesetz

GW – Gigawatt

HGÜ – Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragung

NEP – Netzentwicklungsplan

MW – Megawatt (elektrische Leistung)

MaStR - Marktstammdatenregister

PtX – Power-to-X als Wasserstoff oder daraus weiterverarbeitete Syntheseprodukte

PV – Photovoltaik

SNB – Soziales Nachhaltigkeitsbarometer der Energie- und Verkehrswende

TWh – Terawattstunden (Energienmenge)

WEA – Windenergieanlagen

Wind Offshore – Windenergieanlagen auf See

Wind Onshore – Windenergieanlagen an Land

Literaturangaben

- Ariadne (2022): Szenarien zur Klimaneutralität: Vergleich der „Big 5“-Studien. URL: <https://ariadneprojekt.de/news/big5-szenarien-vergleich/> (Stand: 14.05.2023)
- Bertelsmann Stiftung (2015): Daten zur Bevölkerungsprognose auf Kreisebene. Bevölkerungsvorausberechnung bis zum Jahr 2030. URL: [Policy_LebensWK_Febr_2015_final.pdf](https://www.bertelsmann-stiftung.de/Policy/LebensWK_Febr_2015_final.pdf) (bertelsmann-stiftung.de) (Stand: 14.05.2023)
- Blum, M., Wolf, I., Huttarsch, J. und Kowarsch, Martin (2023): Quo vadis Klimapolitik? Bürgerperspektiven auf Politikoptionen in Energie und Verkehr, Ariadne-Analyse. URL: <https://ariadneprojekt.de/publikation/quo-vadis-klimapolitik-buergerperspektiven-auf-politikoptionen-in-energie-und-verkehr/> (Stand: 14.05.2023)
- BNetzA (2019): Bestätigung des Netzentwicklungsplans Strom für das Zieljahr 2030. URL: https://www.netzentwicklungsplan.de/sites/default/files/paragraphs-files/NEP2019-2030_Bestaetigung.pdf (Stand: 14.05.2023)
- BNetzA (2022a): Bestätigung des Netzentwicklungsplans Strom für das Zieljahr 2035. URL: https://data.netzausbau.de/2035-2021/NEP2035_Bestaetigung.pdf (Stand: 14.05.2023)
- BNetzA 2022: Genehmigung des Szenariorahmens 2023-2037/2045. URL: https://www.netzentwicklungsplan.de/sites/default/files/paragraphs-files/Szenariorahmen_2037_Genehmigung.pdf (Stand: 14.05.2023)
- BMWK 2022a: Erneuerbare Energien in Zahlen. URL: https://www.erneuerbare-energien.de/EE/Navigation/DE/Service/Erneuerbare_Energien_in_Zahlen/Zeitreihen/zeitreihen.html (Stand: 1.11.2022)
- BMWK 2022b: Wind-an-Land-Gesetz. URL: https://www.bmwsb.bund.de/SharedDocs/gesetzgebungsverfahren/Webs/BMWSB/DE/Downloads/kabinettsfassung/walg-kabinett.pdf;jsessionid=179BCC0B9A7456C30210D866FC9C539E.1_cid369?__blob=publicationFile&v=2 (Stand: 1.11.2022)
- BMWK 2022c: Bons, M.; Jakob, M.; Sach, T.; Klessmann, C.; Pape, C.; Zink, C.; Geiger, D.; Häckner, B.; Wegner, N.; Benz, S.; Peters, W.; Schicketanz, S.; Thylmann, M. (2022): Analyse der Flächenverfügbarkeit für Windenergie an Land post-2030. Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz, URL: https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/windenergie-an-land-strategie.pdf?__blob=publicationFile&v=11
- BMWK 2023a: Windenergie-an-Land-Strategie. Wir stellen die Weichen für 160 Gigawatt an Land bis 2035. URL: https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/windenergie-an-land-strategie.pdf?__blob=publicationFile&v=11
- BMWK 2023b: Photovoltaik-Strategie. Handlungsfelder und Maßnahmen für einen beschleunigten Ausbau der Photovoltaik. URL: https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/photovoltaik-strategie-2023.pdf?__blob=publicationFile&v=8
- Bundesregierung 2022: Gesetzesentwurf der Bundesregierung. Entwurf eines Gesetzes zu Sofortmaßnahmen für einen beschleunigten Ausbau der erneuerbaren Energien und weiteren Maßnahmen im Stromsektor. URL: https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Downloads/Energie/04_EEG_2023.pdf?__blob=publicationFile&v=8 (Stand: 1.11.2022)
- dena (2016): Der dena-GEBÄUDEREPORT 2016. Statistiken und Analysen zur Energieeffizienz im Gebäudebestand. URL: https://www.dena.de/fileadmin/user_upload/8162_dena-Gebaeudereport.pdf
- WindSeeG 2023. URL: <https://www.gesetze-im-internet.de/windseeg/BJNR231000016.html>
- Colell, A., Knodt, M., Stoll, P., Kemmerzell, J., Reitz, S., Goshen, L und Olhorst, D. (2021): Hintergrund: Konflikte und Akteure – Gesellschaftliche Herausforderungen bei der Umsetzung der Stromwende. URL: <https://ariadneprojekt.de/publikation/hintergrund-konflikte-und-akteure/> (Stand 12.05.2023)
- Fischer, A.-K., Huttarsch, J.-H., & Wolf, I.(2022). Soziales Nachhaltigkeitsbarometer der Energie- und Verkehrswende 2021 — Daten- und Methodenbericht. Kopernikus-Projekt Ariadne, Potsdam. URL: <https://ariadneprojekt.de/publikation/methodenberichts-nb2021/> (Stand 12.05.2023)
- Fraunhofer IEE, Universität Kassel (2023): Transformationsatlas Energiewende, URL: <https://maps.iee.fraunhofer.de/trafo-atlas/>
- Hörner, Michael; Bischof, Julian. (2022): Typologie der Nichtwohngebäude in Deutschland. IWU, Darmstadt
- Levi, S., Wolf, I., & Sommer, S.(2023). Geographische und zeitliche Unterschiede in der Zustimmung zu Klimaschutzpolitik in Deutschland im Zeitverlauf. Kopernikus-Projekt Ariadne, Potsdam. URL: https://ariadneprojekt.de/media/2023/02/Ariadne-Analyse_Lokaler_Klimaschutzeinstellungen_Februar2023.pdf (Stand 12.05.2023)
- Schöpfer, Y. 2020: Akzeptanz in der Fläche, Protest im Lokalen? Studie zur Windenergie an Land, Renew's Spezial Nr. 90/ April 2020, Agentur für Erneuerbare Energien
- Setton, D. (2019). Soziales Nachhaltigkeitsbarometer der Energiewende 2018: Kernaussagen und Zusammenfassung der wesentlichen Ergebnisse. IASS Brochure, URL: <https://doi.org/10.2312/iass.2019.002> (Stand 12.05.2023)
- Thomsen, Gyde (2020): Entwicklung eines Modells zur Regionalisierung von Ladestellen für Elektrofahrzeuge. Masterarbeit, Europa-Universität Flensburg
- Treichel, K., Blum, K., Kowarsch, M. (2022): Bürgersichten auf zukünftige Energiewelten — Ergebnisse der Ariadne-Bürgerkonferenz. Kopernikus-Projekt Ariadne, Potsdam. URL: https://ariadneprojekt.de/media/2022/07/Ariadne-Report_Buergerkonferenz-Energiewende_Juli2022.pdf (Stand 23.11.2022)
- UBA (2023): Bons, M.; Jakob, M.; Sach, T.; Pape, C.; Zink, C.; Geiger, D.;Wegner, N.; Boinski, O.; Benz, S.; Kahles, M.: Flächenverfügbarkeit und Flächenbedarfe für den Ausbau der Windenergie an Land. Studie im Auftrag des Umweltbundesamts.
- Wolf, I., Fischer, A.-K., & Huttarsch, J.-H. (2021). Soziales Nachhaltigkeitsbarometer der Energie- und Verkehrswende 2021: Kernaussa-

- gen und Zusammenfassung der wesentlichen Ergebnisse. Potsdam: Kopernikus-Projekt Ariadne. URL: https://snb.ariadneprojekt.de/sites/default/files/medien/dokumente/soziales_nachhaltigkeitsbarometer_2021.pdf (Stand 12.05.2023)
- Wolf, I., Fischer, A.-K., Huttarsch, J.-H., & Ebersbach, B. (2022). Soziales Nachhaltigkeitsbarometer der Energie- und Verkehrswende 2022: Was die Menschen in Deutschland bewegt – Ergebnisse einer Panelstudie zu den Themen Energie und Verkehr. Kopernikus-Projekt Ariadne. URL: https://snb.ariadneprojekt.de/sites/default/files/medien/dokumente/iass_soziales_nachhaltigkeitsbarometer_2022_web.pdf (Stand 12.05.2023)
- Wolf, I. (2020). Soziales Nachhaltigkeitsbarometer der Energiewende 2019: Kernaussagen und Zusammenfassung der wesentlichen Ergebnisse. - IASS Broschüre. URL: <https://doi.org/10.2312/iass.2020.010> (Stand 12.05.2023)

Abbildung A1: Befürwortung des Ausbaus überregionaler Stromnetze (Stromtrassen) nach Bundesländern (2022).

n = 3305. Datenquelle RIFS. Eigene Darstellung

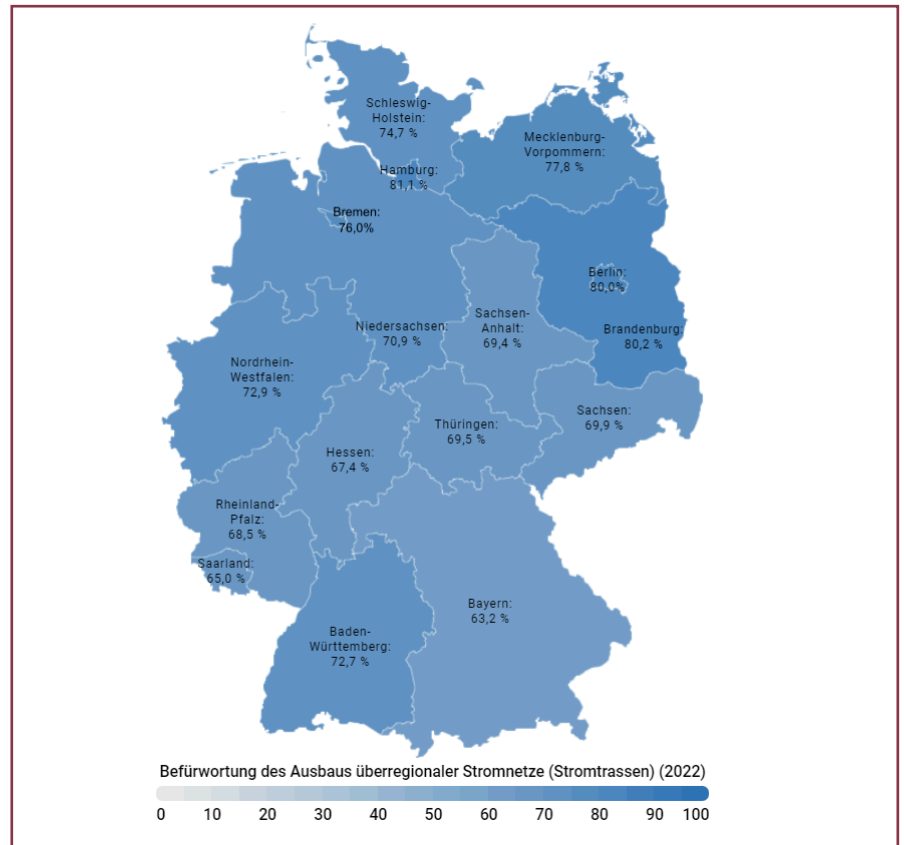


Abbildung A2: Befürwortung des Ausbaus und der Förderung von Windenergieanlagen an Land nach Bundesländern (2022).

n = 3305. Datenquelle RIFS. Eigene Darstellung

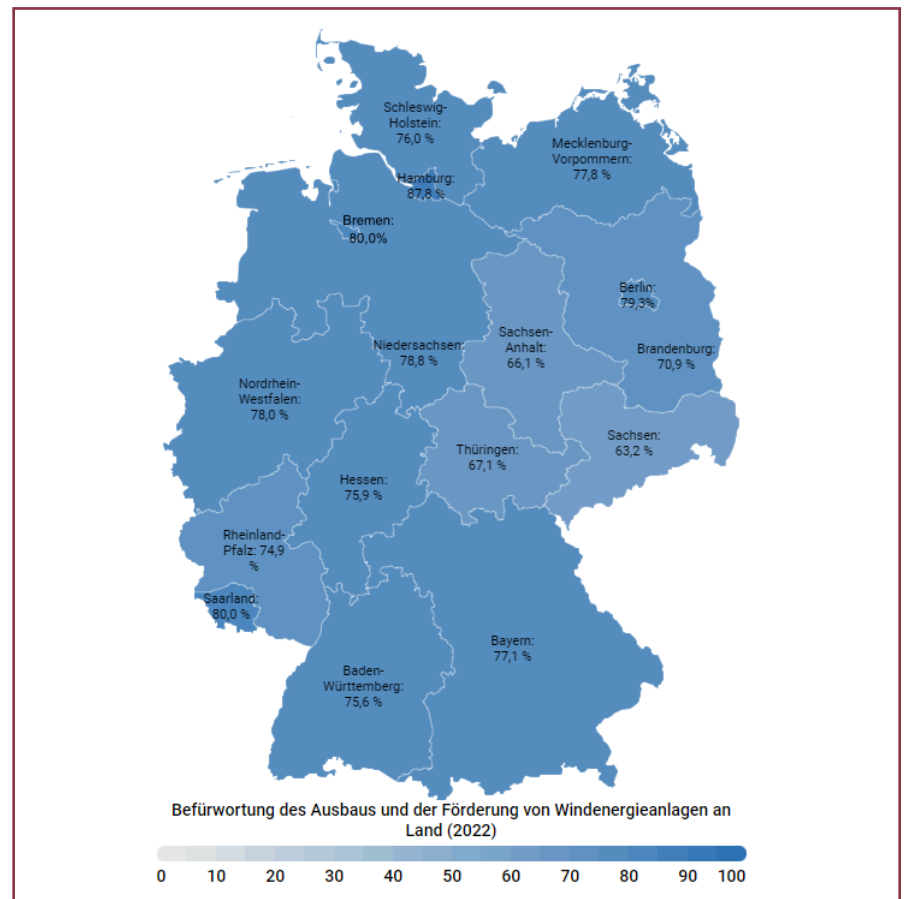
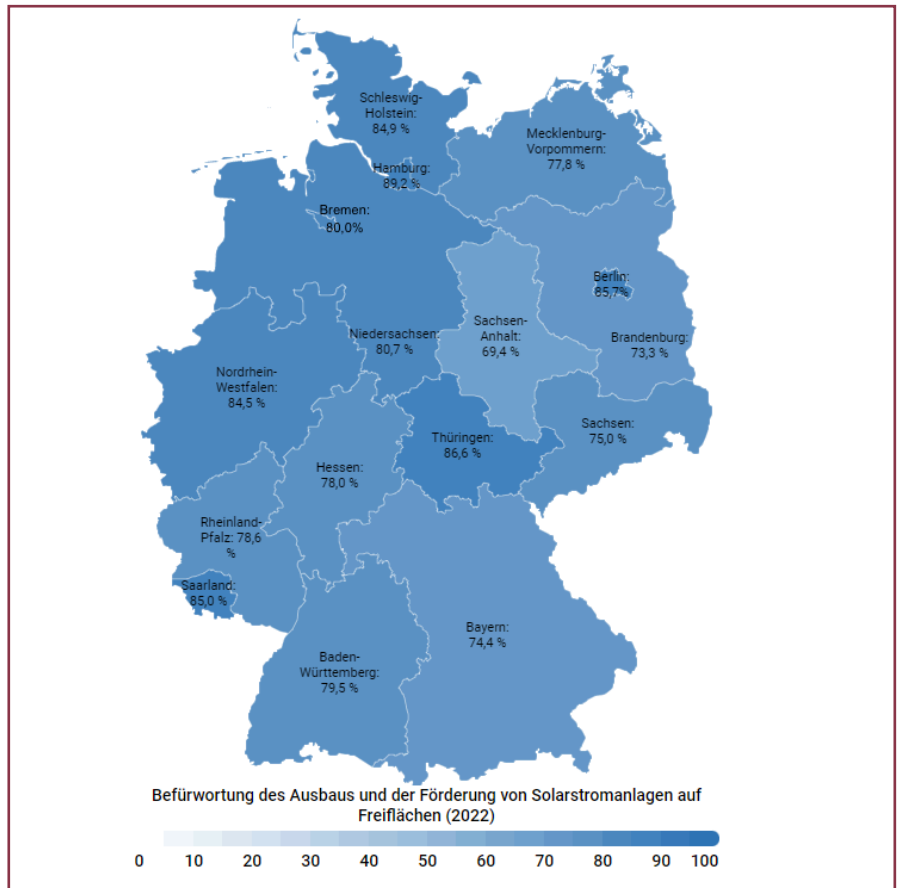


Abbildung A3.: Befürwortung des Ausbaus und der Förderung von Solarstromanlagen auf Freiflächen nach Bundesländern (2022).
n = 3305. Datenquelle RIFS. Eigene Darstellung





Der rote Faden durch die Energiewende: Das Kopernikus-Projekt Ariadne führt durch einen gemeinsamen Lernprozess mit Politik, Wirtschaft und Gesellschaft, um Optionen zur Gestaltung der Energiewende zu erforschen und politischen Entscheidern wichtiges Orientierungswissen auf dem Weg zu einem klimaneutralen Deutschland bereitzustellen.

Folgen Sie dem Ariadnefaden:

 @AriadneProjekt

 Kopernikus-Projekt Ariadne

 ariadneprojekt.de

Mehr zu den Kopernikus-Projekten des BMBF auf kopernikus-projekte.de

Wer ist Ariadne? In der griechischen Mythologie gelang Theseus durch den Faden der Ariadne die sichere Navigation durch das Labyrinth des Minotaurus. Dies ist die Leitidee für das Energiewende-Projekt Ariadne im Konsortium von mehr als 27 wissenschaftlichen Partnern. Wir sind Ariadne:

adelphi | Brandenburgische Technische Universität Cottbus-Senftenberg (BTU) | Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung (DIW) | Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) | Ecologic Institute | Forschungsinstitut für Nachhaltigkeit – Helmholtz-Zentrum Potsdam (RIFS) | Fraunhofer Cluster of Excellence Integrated Energy Systems (CINES) | Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg | Hertie School | ifo Institut – Leibniz-Institut für Wirtschaftsforschung an der Universität München | Institut der deutschen Wirtschaft Köln | Julius-Maximilian-Universität Würzburg | Mercator Research Institutes on Global Commons and Climate Change (MCC) | Öko-Institut | Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung (PIK) | RWI – Leibniz-Institut für Wirtschaftsforschung | Stiftung Umweltenergierecht | Stiftung Wissenschaft und Politik | Technische Universität Berlin | Technische Universität Darmstadt | Technische Universität München | Universität Duisburg-Essen | Universität Greifswald | Universität Hamburg | Universität Potsdam | Universität Stuttgart – Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung (IER) | ZEW – Leibniz-Zentrum für Europäische Wirtschaftsforschung