



**HINTERGRUND // NOVEMBER 2019**

# Erneuerbare Energien für ein treibhausgasneutrales Deutschland

## Politikpapier zur RESCUE-Studie

# Impressum

**Herausgeber:**

Umweltbundesamt  
Wörlitzer Platz 1  
06844 Dessau-Roßlau  
Tel: +49 340-2103-0  
Fax: +49 340-2103-2285  
info@umweltbundesamt.de  
Internet: www.umweltbundesamt.de

 /umweltbundesamt.de

 /umweltbundesamt

 /umweltbundesamt

 /umweltbundesamt

**Autoren:**

Katja Purr, Matthias Futterlieb, Matthias Klingel,  
Manuel Rudolph, Carla Vollmer und Max Werlein

**Redaktion:**

Fachgebiet V 1.2 „Strategien und Szenarien zu  
Klimaschutz und Energie“  
Katja Purr

**Satz und Layout:**

publicgarden GmbH, Berlin

**Publikationen als pdf:**

[www.umweltbundesamt.de/publikationen](http://www.umweltbundesamt.de/publikationen)

**Bildquelle:** Fotolia

**Stand:** November 2019

**ISSN** 2363-829X

**HINTERGRUND // NOVEMBER 2019**

**Erneuerbare Energien für ein  
treibhausgasneutrales Deutschland**  
Politikpapier zur RESCUE-Studie



# Inhalt

<b>1 Hintergrund</b> .....	<b>6</b>
<b>2 Wind- und Solarenergie als entscheidende Energiequellen in einem treibhausgasneutralen Deutschland</b> .....	<b>8</b>
<b>3 Windenergie an Land</b> .....	<b>11</b>
<b>4 Windenergie auf See</b> .....	<b>15</b>
<b>5 Photovoltaik</b> .....	<b>17</b>
<b>6 Ausbau erneuerbare Energien für Importe</b> .....	<b>20</b>
<b>7 Quellenverzeichnis</b> .....	<b>22</b>

# 1 Hintergrund

Der Klimawandel und seine Folgen sind eine der größten globalen Herausforderungen unserer Zeit. Industriestaaten wie Deutschland kommt im Klimaschutz eine besondere Verantwortung zu, da deren heutiger Wohlstand im erheblichen Umfang auf der Nutzung fossiler Energien und der weltweiten Ausbeutung natürlicher Ressourcen wie Landfläche basiert. Um diesen globalen Herausforderungen entgegen zu treten, hat die Bundesregierung mit dem Klimaschutzplan sektorale Beiträge zur Treibhausgasminderung bis 2030 und das übergreifende Handlungsziel einer „weitgehenden Treibhausgasneutralität“ für Deutschland bis 2050 definiert. Mit der Ratifizierung des Übereinkommens von Paris (ÜvP) ist Deutschland strenge internationale Verpflichtungen eingegangen, die um die Erderwärmung im Vergleich zum vorindustriellen Zeitalter auf deutlich unter 2 °C zu begrenzen und Anstrengungen zu unternehmen, den Temperaturanstieg bereits bei 1,5 °C zu stoppen (UNFCCC 2015). Gleichwohl bestätigt der Klimaschutzplan 2050 den Zielkorridor für 2050 aus dem Energiekonzept des Jahres 2010, (Bundesregierung, 2010) zur Treibhausgasminderung um 80 bis 95 % gegenüber 1990. Das Umweltbundesamt hält es daher für erforderlich bis 2050 in Deutschland Treibhausgasneutralität zu erreichen. Mit den im September 2019 erschienen „Eckpunkten für das Klimaschutzprogramm 2030“ (Bundesregierung, 2019) legt die Bundesregierung „Treibhausgasneutralität“ für Deutschland bis 2050 als neues Umwelthandlungsziel fest. Eine Ambitionssteigerung für den Zeithorizont 2030 wird indes nicht vorgenommen.

In der UBA-Studie „Wege in eine ressourcenschonende Treibhausgasneutralität – RESCUE“ (UBA, 2019d) werden sechs verschiedene Transformationspfade für Deutschland bis 2050 aufgezeigt, mit denen der Lösungs- und Handlungsspielraum dorthin aufgespannt wird. In allen Green-Szenarien wird eine Treibhausgasminderung bis 2050 von mindestens 95 % und bis 2030 mindestens 55 % gegenüber 1990 dargestellt. Unter Berücksichtigung von natürlichen Senken kann 2050 in nahezu allen Szenarien Treibhausgasneutralität erreicht werden.

Die Szenarien GreenEe1 und GreenLate gehen von insgesamt steigenden Produktionskapazitäten und weiterhin einer auf erheblichen Exporten orientierten

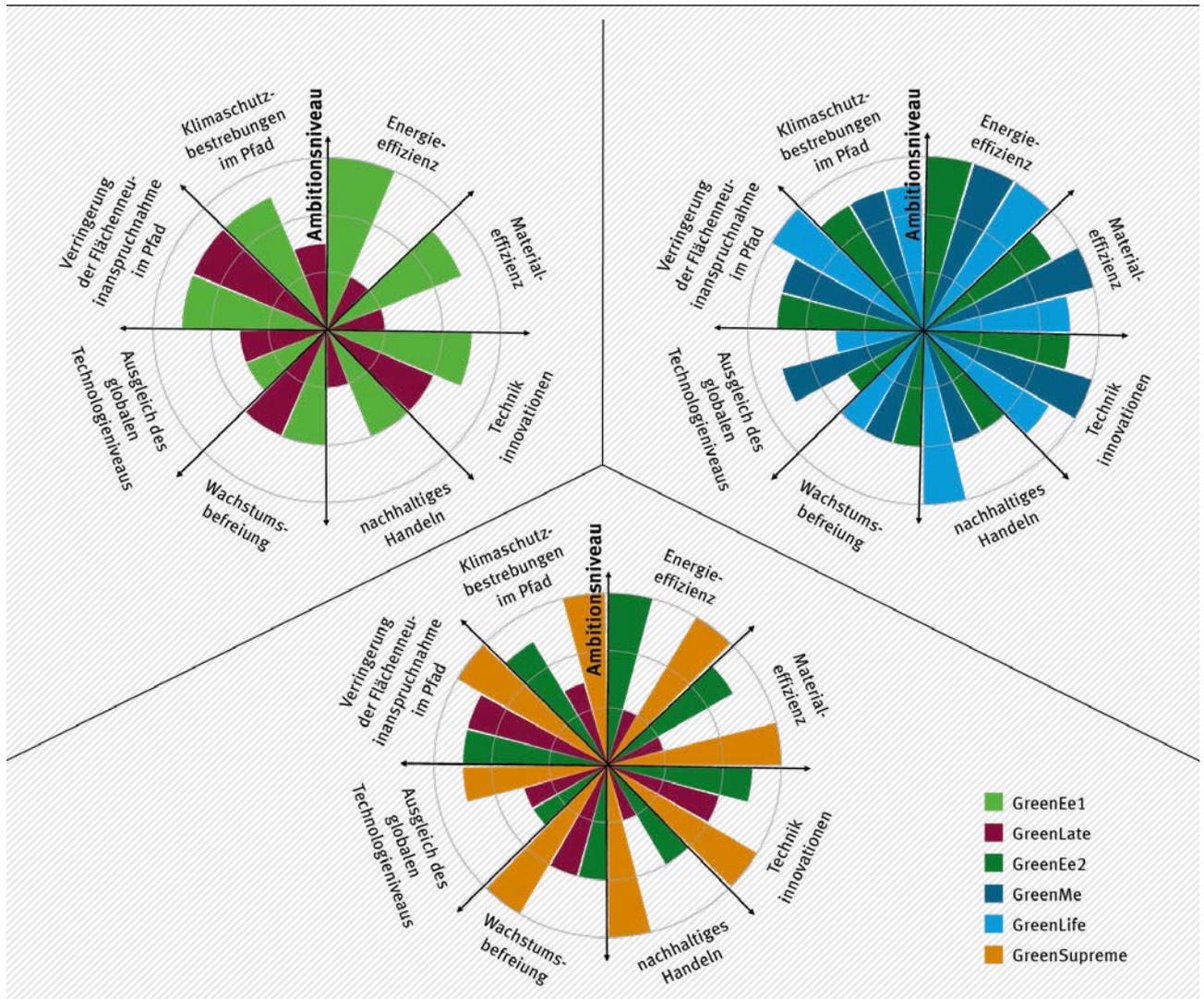
Produktion in Deutschland aus. Sie unterscheiden sich jedoch deutlich im Ambitionsniveau zur Treibhausgasminderung im Transformationspfad sowie bei der Energie- und Materialeffizienzsteigerung. So werden in GreenLate auch langfristig konventionelle Techniken, wie Verbrennungsmotoren im Schwerlasttransport oder Gasverbrennungstechniken, eingesetzt. GreenLate stellt somit ein Szenario der geringen „Elektrifizierung“ und verspäteten Handelns bei Innovationen und Umsetzung von Klimaschutzmaßnahmen dar. Bezüglich der Treibhausgasminderung liegt GreenLate am ambitionierten Rand des Zielkorridors der Bundesregierung, also Minderung um 55 % bis 2030, 70 % bis 2040 und 95 % bis 2050. Bei einer ausgeglicheneren Handelsbilanz gegenüber heute werden in GreenEe2, GreenMe und GreenLife die Einflüsse technischer Klimaschutz- und Rohstoffeffizienzmaßnahmen sowie Änderungen der Lebensweise auf den möglichen Transformationspfad dargestellt. GreenEe2 fokussiert wie GreenEe1 auf hohe technische Innovationen, Integration effizienter Sektorkopplungstechniken und dem Heben von Energieeffizienzpotenzialen. Im GreenMe-Szenario wird zudem eine weitere Steigerung der Materialeffizienz betrachtet. GreenLife charakterisiert deutlich nachhaltigeres Handeln im Konsum aber auch in der Produktion, zum Beispiel bei der gesunden, fleischarmen Ernährung sowie der Produktion und der stärkeren Nutzung reparaturfähiger und materialeffizienter Produkte. Das GreenSupreme-Szenario vereinigt alle vorteilhaften Innovationen, technischen Maßnahmen sowie Lebensweisen. Zusätzlich erfolgt deren Integration und Umsetzung deutlich schneller als in den anderen Szenarien, um so die kumulierten Emissionen zu reduzieren und einen für den internationalen Klimaschutz wichtigen Beitrag auf dem Weg zum Ziel des ÜvP zu erreichen. Zum Überblick sind die charakteristischen Eigenschaften der Szenarien in Abbildung 1 dargestellt.

Zentrales Element für das Erreichen der Klimaschutzziele ist der Verzicht auf fossile Energieträger und die Gestaltung einer vollständig auf erneuerbaren Energien basierenden Energieversorgung (Strom-, Brennstoff-, Kraftstoff- und Rohstoffversorgung<sup>1</sup>).  
Abbildung 1

<sup>1</sup> Bei der Rohstoffversorgung ist der nicht-energetische Bedarf der chemischen Industrie gemeint.

Abbildung 1

## Charakteristische Einflussfaktoren der Green-Szenarien



Quelle: Umweltbundesamt

**Somit steht und fällt mit dem Ausbau der erneuerbaren Energien das Gelingen der Energiewende und damit auch der Klimaschutzbestrebungen.**

Um den internationalen Verpflichtungen im Klimaschutz gerecht zu werden und die Primärrohstoffinanspruchnahme Deutschlands global gerechter zu gestalten, werden in diesem Papier die wesentlichen Erkenntnisse aus den Green-Szenarien und resultierender Handlungsbedarf für den Ausbau der erneuerbaren Energien komprimiert dargestellt. Den zentralen Einflussfaktoren auf den Ausbaubedarf der erneuerbaren Energien, also die Entwicklung der Energiebedarfe und der Treibhausgasminderungen,

wird durch die Gestaltung der Green-Szenarien Rechnung getragen. So decken GreenLate mit geringerer Elektrifizierung, weniger Effizienzmaßnahmen und Treibhausgasminderungen entsprechend der Zielvorgaben der Bundesregierung sowie GreenSupreme mit ambitionierten Effizienz- und Vermeidungsansätzen, schnellem und ambitioniertem Vorgehen bei der Treibhausgasminderung bis 2030, einen breiten Bereich der möglichen Entwicklung ab. Vor diesem Hintergrund wird nachfolgend vor allem auf diese beiden Szenarien (GreenLate und GreenSupreme) eingegangen. Ausführliche Darstellungen auch zu den anderen Green-Szenarien sind in der RESCUE-Studie (UBA, 2019d) zu finden.

## 2 Wind- und Solarenergie als entscheidende Energiequellen in einem treibhausgasneutralen Deutschland

Der Anteil der erneuerbaren Energien am Bruttoenergieverbrauch ist in den letzten Jahren stetig gestiegen und betrug 2018 16,7 % (429,6 TWh) (UBA, 2019e). An der Stromversorgung trugen erneuerbare Energien 37,8 % (224,7 TWh) bei. Dieser Beitrag basiert zu 40,3 % auf Windenergie an Land und zu 20,4 % auf Photovoltaik. In der Wärmeversorgung betrug der Anteil erneuerbarer Energien 14,2 % und im Verkehr 5,7 % (UBA, 2019e).

**Der Klima- und Ressourcenschutz erfordert ein schnelleres und konsequenteres Vorgehen als bisher stattfand und für die nahe Zukunft geplant ist.** In der RESCUE-Studie wird deutlich, dass ein vollständiger Verzicht auf fossile Energien und damit eine ausschließlich auf erneuerbaren Energien basierende Energieversorgung erforderlich ist. Darüber hinaus ist vor dem Hintergrund der Sektorkopplung eine schnelle Steigerung des Anteils erneuerbarer Energien an der Stromversorgung notwendig. Im Wesentlichen werden die notwendigen Ausbaupfade der erneuerbaren Energien zur Stromversorgung beeinflusst durch:

- ▶ das avisierte Treibhausgasminderungsziel sowohl in den Stützjahren als auch für 2050,
- ▶ die Entwicklung des zu deckenden Strombedarfs, der sowohl von Effizienzmaßnahmen als auch von der Integration von Sektorkopplungstechniken abhängt und
- ▶ den Rückbau von Windenergie- und Photovoltaikanlagen entsprechend ihrer Lebensdauer.

Ausgehend von einer installierten Leistung von 52,5 GW bei Windenergie an Land und 45,3 GW bei Photovoltaik (Ende 2018) und dem Blick auf eine vollständige erneuerbare Energieversorgung in 2050, ergibt sich in den meisten Green-Szenarien bis 2030 eine Steigerung der installierten Leistung beider Techniken um jeweils ca. 30 GW auf mehr als 80 GW. Die installierte Leistung der Windenergie auf See steigt von 6,4 GW (Ende 2018) auf knapp 16 GW in 2030. **Der Anteil erneuerbarer Energien am Bruttostromverbrauch steigt damit in den**

**Green-Szenarien auf mindestens 70 % in 2030.**

Dabei kann der schwächelnde Zubau einer Erzeugungstechnik nur sehr eingeschränkt durch stärkeren Zubau der jeweils anderen Erzeugungstechnik substituiert werden, da diese unterschiedlichen Erzeugungsprofile aufzeigen und sich im Hinblick auf eine möglichst stetige Stromproduktion und Netzauslastung gut ergänzen.

Bis 2030 entspricht der erforderliche Kapazitätszubaue der Green-Szenarien demjenigen Ausbau, der im Szenario B des Netzentwicklungsplans (NEP, Bundesnetzagentur, 2016) 2030 vorgesehen ist, gleichwohl dort nur ein Anteil von 65 % am Bruttostromverbrauch unterstellt wird. Der Unterschied ist vor allem in den ambitionierten Annahmen zur Reduktion des Stromverbrauchs in den Green-Szenarien begründet. Damit wird deutlich, wie entscheidend der Einfluss von Effizienzmaßnahmen und Energieeinsparungen für eine erfolgreiche Transformation des Energiesystems und für den Ausbaubedarf der erneuerbaren Energien ist.

Im Szenario GreenSupreme ist vor dem Hintergrund der ambitionierteren Treibhausgasminderung ein stärkerer Ausbau erforderlich. **Bereits 2030 sind für beide Techniken installierte Kapazitäten von jeweils über 100 GW erforderlich. Es wird ein Anteil erneuerbarer Energien am Bruttostromverbrauch von 86 % erreicht.**

Um diese installierten Leistungen und den damit verbundenen notwendigen Treibhausgasminderungsbeitrag sicherzustellen, ist für Windenergie an Land ab sofort ein durchschnittlicher jährlicher Bruttozubau von mindestens 4 GW und bei der Photovoltaik von mindestens 3,5 GW<sup>2</sup> erforderlich, siehe Abbildung 2. Dieser Ausbau stellt das Minimum dar, weil die in den Green-Szenarien unterstellten Effizienzmaßnahmen sehr ambitioniert sind. Werden diese nicht vollumfänglich ergriffen, so müssen mehr erneuerbaren Energieanlagen zugebaut werden.

<sup>2</sup> Es wird eine Anlagennutzungsdauer von 20 Jahren angenommen, welche dem Förderzeitraum des Erneuerbare-Energien-Gesetzes entspricht. In den Green-Szenarien wird vor dem Hintergrund einer rohstoffschonenden Entwicklung eine Lebensdauer von 25 Jahren unterstellt. Die unterschiedlichen Auswirkungen sind in Kapitel 5.2.3.2.1.2 in (UBA, 2019d) beschrieben.

Tabelle 1

**Entwicklung der zentralen erneuerbaren Energien in ausgewählten Green-Szenarien**

			2030	2040	2050
Windenergie an Land	GreenLate	Leistung in GW / Strom in TWh	88 / 235	88 / 254	150 / 493
		Anteil an Stromversorgung in %	43	38	53
	GreenSupreme	Leistung in GW / Strom in TWh	103 / 275	128 / 393	128 / 423
		Anteil an Stromversorgung in %	48	57	57
Windenergie auf See	GreenLate	Leistung in GW / Strom in TWh	7,5 / 34	18 / 79	32 / 140
		Anteil an Stromversorgung in %	6	12	15
	GreenSupreme	Leistung in GW / Strom in TWh	16 / 71	27,5 / 120	32 / 132
		Anteil an Stromversorgung in %	13	17	18
Photovoltaik	GreenLate	Leistung in GW / Strom in TWh	81 / 83	123,5 / 126	218 / 227
		Anteil an Stromversorgung in %	15	19	24
	GreenSupreme	Leistung in GW / Strom in TWh	105 / 106	119 / 118	130,5 / 134
		Anteil an Stromversorgung in %	19	17	18

Quelle: UBA, 2020a, 2020b, 2020c, 2020d, 2020e

**Um den internationalen Verpflichtungen im Übereinkommen von Paris nahe zu kommen, ist wie im Szenario GreenSupreme ein jährlicher Zubau von mindestens 5,5 GW bei Windenergie an Land und 4,8 GW bei Photovoltaik erforderlich.**

**Um dies nachhaltig zu ermöglichen und die Transformation möglichst gleichmäßig zu gestalten, sind stetige Anpassungen der Ausbaufade notwendig. Allerdings sind abrupte politische Kursänderungen zu vermeiden.** Dies erhöht die Planungs- und Investitionssicherheit für die Branchen der erneuerbaren Energien einschließlich der Zulieferindustrie, vermeidet Fehlinvestitionen und ist ein wesentlicher Faktor, dass im Inland eine solide industrielle und wirtschaftliche Basis für die Energiewende entsteht. Insbesondere sind die Entwicklung des Strombedarfes und dessen Projektionen zu berücksichtigen. Sollten Energieeffizienzmaßnahmen nicht im erforderlichen Maße umgesetzt werden, sind die erforderlichen Ausbauraten zu steigern. In den Szenarien der RESCUE-Studie wird dies im Szenario GreenLate charakterisiert.

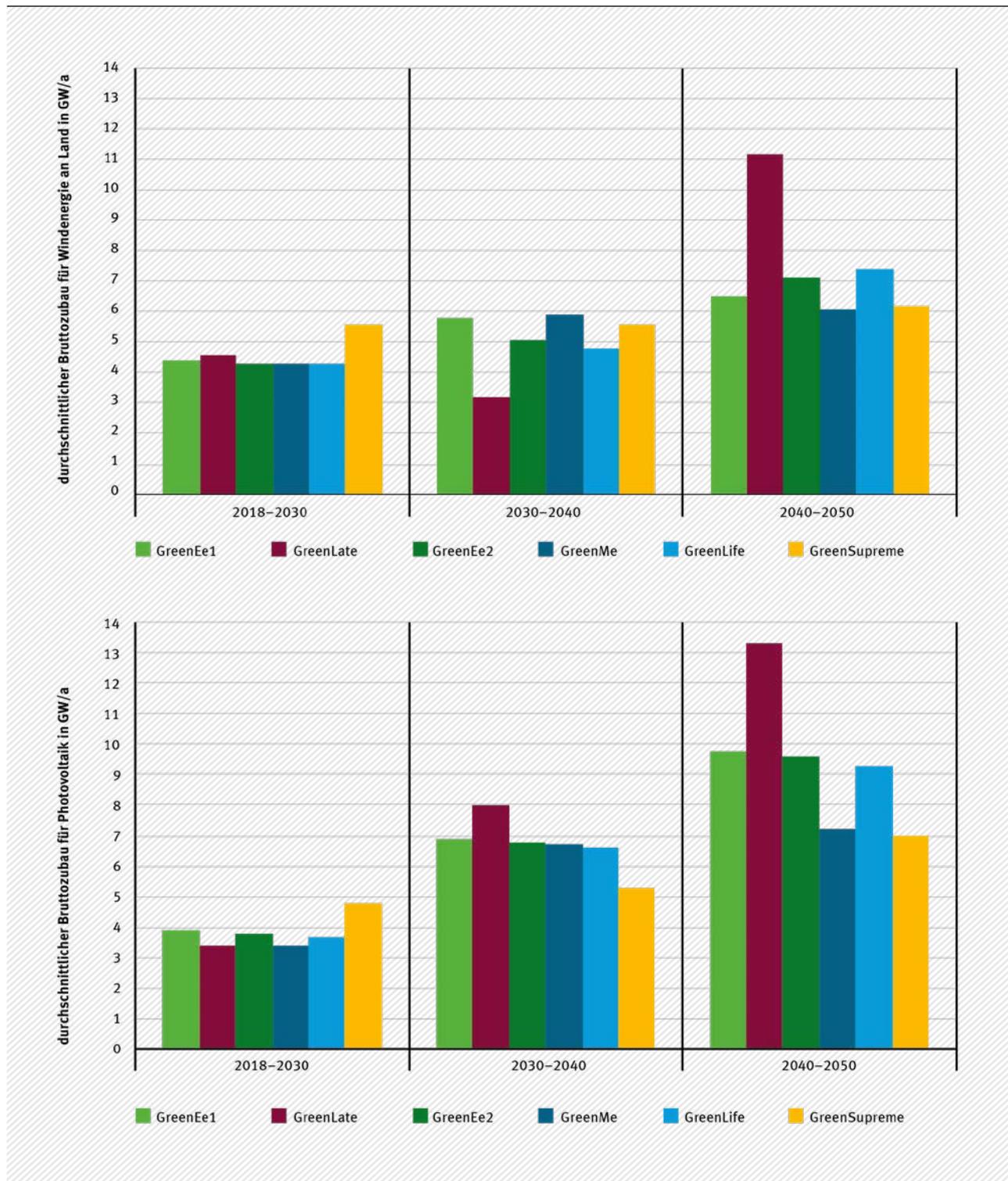
Nachfolgend werden die Herausforderungen des Ausbaus erneuerbare Energien für einen ressourcenschonenden Weg hin zur Treibhausgasneutralität in Deutschland bis 2050 aufgezeigt.

**Schlussfolgerung**

- ▶ Eine vollständig auf erneuerbaren Energien basierende Energieversorgung (Strom-, Brennstoff-, Kraftstoff- und Rohstoffversorgung) ist für den Klima- und Ressourcenschutz unausweichlich.
- ▶ Windenergie an Land und Photovoltaik werden die tragenden Säulen der nationalen Energieversorgung sein.
- ▶ Ein schwacher Ausbau der einen Erzeugungstechnik kann nur begrenzt durch die andere erneuerbare Technik aufgefangen werden.
- ▶ Der erforderliche Ausbau erneuerbarer Energien muss mit einer konsequenten Umsetzung von Effizienzmaßnahmen und einer effizienten Sektorkopplung flankiert werden.

Abbildung 2

**Durchschnittlicher jährlicher Bruttozubau\* in den Green-Szenarien (oben Windenergie an Land und unten Photovoltaik)**



\* Bei einer unterstellten Lebensdauer von 20 Jahren.

Quelle: eigene Darstellung auf Basis UBA, 2020a, 2020b, 2020c, 2020d, 2020e

## 3 Windenergie an Land

### Aktuelle Situation und rechtlicher Rahmen

Die Windenergie an Land stellt im Jahr 2050 in jedem der Green-Szenarien den größten Beitrag zur Stromerzeugung, mit bis zu 57 % in GreenSupreme. Diese zentrale Rolle wird derzeit noch nicht adäquat im rechtlichen Rahmen der Förderung der erneuerbaren Energien, dem Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG), abgebildet. Das EEG 2017 sieht für die Windenergie an Land einen jährlichen Brutto-Zubau von 2,8 GW und ab dem Jahr 2020 von 2,9 GW vor. Für die Jahre 2019 bis 2021 wurde dieser Ausbaupfad um jährliche Sonderausschreibungen in Höhe von 1,0 bis 1,6 GW ergänzt. Für die darauf folgenden Jahre wurde bisher keine Anpassung der Ausbaupfade formuliert. Bei der anstehenden EEG-Novelle besteht die Chance, den Ausbaupfad für die Windenergie an Land so anzupassen, dass das im Koalitionsvertrag vereinbarte 65-Prozentziel erreicht und ein angemessener Klimaschutzbeitrag, wie beispielsweise in den Green-Szenarien skizziert, realisiert werden kann. Der aktuelle Entwurf des Netzentwicklungsplans 2030 bildet das 65-Prozentziel bereits ab. Für das Jahr 2030 wird demnach für die Windenergie an Land mit einer Erzeugungskapazität von 74,3 bis 85,5 GW gerechnet. Die in den Green-Szenarien aufgezeigte Spannweite mit einerseits GreenLate (rund 88 GW) und andererseits GreenSupreme (rund 103 GW) erfordert jedoch einen noch ambitionierteren Ausbau. Der vorläufige Höhepunkt des Zubaus neuer Windenergieanlagen (WEA) wurde im Jahr 2017 mit einem Zubau von rund 5 GW erreicht. Damals führten die EEG-Novelle 2017 und die damit verbundene Umstellung des Förder-systems auf Ausschreibungen zu Vorzieheffekten. Im Jahr darauf brach der Netto-Zubau bereits auf etwa 2,3 GW ein. **Im ersten Halbjahr 2019 wurden nur 275 MW (UBA, 2019b) netto neu installiert. Dies stellt den niedrigsten Zubau seit etwa 20 Jahren dar.** Die Ergebnisse der Ausschreibungen für Windenergie an Land seit 2017 bestätigen dieses Bild. Seit 2018 wurde, abgesehen von einer Ausnahme, in keiner der Ausschreibungsrunden das ausgeschriebene Volumen ausgeschöpft, so dass sich die negative Entwicklung der Zubauzahlen zunächst fortsetzen wird. Einen weiteren Frühindikator für die Entwicklung des Zubaus liefern die Zahlen gemeldeter immissionsschutzrechtlicher Genehmigungen für neue WEA. Diese sind nach dem Rekordjahr 2016 (ca. 9,4 GW) auf ca. 1,4 bzw. 1,6 GW in den Jahren 2017 bzw. 2018

(eigene Berechnung auf Basis Bundesnetzagentur, 2019a) eingebrochen. Im ersten Halbjahr 2019 wurden neue Genehmigungen für WEA mit einer Leistung von insgesamt rund 770 MW (Fachagentur Wind an Land, 2019) gemeldet.

**Zudem muss neben geringeren Zubauzahlen ab 2021 auch mit zunehmenden Stilllegungen von Altanlagen gerechnet werden.** Zum 01.01.2021 erreichen die ersten WEA das Ende des EEG-Förderzeitraumes. Im Jahr 2021 betrifft dies eine Leistung von etwa 3,8 GW, in den Folgejahren jährlich rund 2,5 GW (Abbildung 3). Derzeit ist weder absehbar, ob und wenn ja, wie viele dieser Anlagen überhaupt wirtschaftlich weiterbetrieben werden können, noch wie lang diese Weiterbetriebszeiträume ausfallen werden. Insofern ist mit Stilllegungen in Größenordnungen zu rechnen, welche den jährlichen Brutto-Zubau sogar überschreiten könnten, so dass in einzelnen Jahren mit einem Netto-Rückbau gerechnet werden muss.

### Herausforderungen

Die Ursachen der aktuellen Ausbauprobleme bei der Windenergie an Land liegen in der komplexen Gemengelage aus förder-, planungs- und genehmigungsrechtlichen sowie gesellschaftlichen Aspekten. Die Überwindung der daraus resultierenden Hemmnisse erfordert kurzfristig entschlossenes, aber gleichsam an den langfristigen Zielen orientiertes Handeln. Auch bedarf es eines eindeutigen Bekenntnisses auf bundes- und landespolitischer Ebene zum Ausbau der Windenergie an Land.

#### ► Rechtlicher Rahmen der EE-Förderung

Langfristig verlässliche und an den Klimaschutzzielen orientierte, **gesetzlich verankerte Ausbaupfade stellen die Grundvoraussetzung für den weiteren Windenergieausbau dar.** Die Entwicklung von Windenergieprojekten ist ein mehrjähriger und mit frühzeitigen, hohen Investitionen verbundener Prozess. Daher ist eine langfristige Planungs- und Investitionssicherheit für die Branchenakteure essenziell. Diese muss der Gesetzgeber durch rechtliche Verankerung hinreichender Ausbaupfade schaffen. Um den Ausbau möglichst gleichmäßig zu gestalten, sind regelmäßige Anpassungen mit Blick auf die

Erreichung der Klimaschutzziele und die Entwicklung des Strombedarfes notwendig. Auf Grundlage der Green-Szenarien wären Bruttoausbauraten von über 4 GW/a zwischen 2018 bis 2030 erforderlich. Mit den Sonderausschreibungen wurde dieser Pfad bereits angelegt. Nun gilt es, ihn auch über das Jahr 2021 hinaus fortzuschreiben.

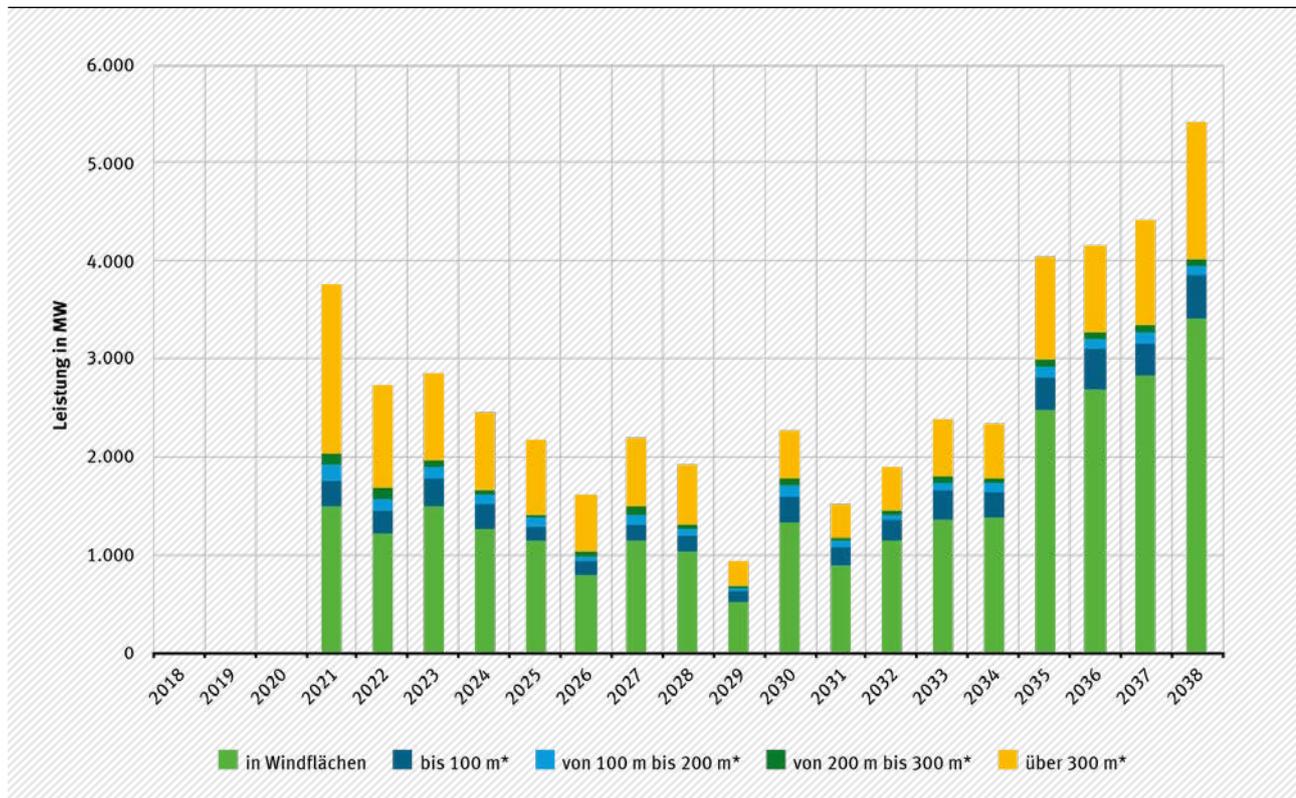
► Flächenverfügbarkeit

Aufgrund ihrer Raumbedeutsamkeit und der Privilegierung nach § 35 BauGB liegen WEA im besonderen Fokus der Raumplanung. Zur Vermeidung eines ungesteuerten Ausbaus werden überwiegend auf Ebene der Regional- und/oder Bauleitplanung Konzentrationsflächen für die Windenergie festgelegt, wodurch die Errichtung außerhalb der festgesetzten Flächenkulisse in der Regel nicht möglich ist. Die Flächenverfügbarkeit wird somit maßgeblich durch die Planungsträger bestimmt. Gemäß der UBA-Studie

„Flächenanalyse Windenergie an Land“ (UBA, 2019f) **umfasst die derzeit insgesamt ausgewiesene und sich in Aufstellung befindliche Fläche rund 3.100 km<sup>2</sup>, dies entspricht etwa 0,9% der Landesfläche. Ohne Berücksichtigung bereits errichteter Bestandsanlagen wären auf diesen Flächen WEA mit einer Gesamtleistung von theoretisch rund 81 GW installierbar.** Werden die vorhandenen WEA – auch außerhalb von ausgewiesenen Flächen – berücksichtigt und wird diesen eine Lebensdauer von 20 Jahren unterstellt, so ergibt sich für das Jahr 2030 eine theoretische Erzeugungskapazität von rund 82 GW. Die Erzeugungskapazitäten der Szenarien GreenLate und GreenSupreme sind auf den aktuellen Flächen somit nicht realisierbar. Derzeit deutet nichts auf maßgebliche Ausweitungen dieser Flächenkulisse hin. Im Gegenteil: die ermittelte Kulisse basiert weitgehend auf aktuellen Plänen und Planentwürfen.

Abbildung 3

**Erwartete Rückbauleistung von WEA bei einer Nutzungsdauer von 20 Jahren sowie der aus planungsrechtlicher Sicht repoweringfähige Leistungsanteil (grün)**



\* außerhalb von Windflächen

Quelle: UBA, Oktober 2019

Da der Raumplanung in der Regel ein Planungshorizont von zehn Jahren und mehr unterliegt, droht somit ein langjähriges Verharren auf dem aktuellen Niveau. Bis 2050 wären für den Ausbau der Windenergie an Land in den Green-Szenarien etwa 2 % der Landesfläche Deutschlands erforderlich. Um einem angemessenen Beitrag Deutschlands zur Erreichung der Pariser Klimaziele so nahe wie möglich zu kommen, wie es GreenSupreme aufzeigt, müssten bis 2030 ca. 1,2 % der Landesfläche bereitgestellt werden. **Dass die erforderlichen Flächenpotenziale grundsätzlich vorhanden sind, konnte die UBA-Potenzialstudie 2013 (UBA, 2013) aufzeigen. Nun müssen diese Potenziale raumplanerisch erschlossen werden.** Die Voraussetzung dafür sind entsprechende Zielvorgaben auf Landes- oder Bundesebene. Impulse für eine deutlich ambitioniertere Flächenausweisung müssen daher zeitnah aus einem Dialog zwischen Bund und Ländern hervorgehen.

- Nutzbarkeit vorhandener Flächen

**Das realisierbare Leistungspotenzial der vorhandenen Flächen ist** – gegenüber dem oben genannten Potenzial von 81 GW – aufgrund verschiedener Unsicherheiten **erheblich geringer zu beurteilen.** Denn auch rechtskräftig ausgewiesene Flächen sind teilweise aus genehmigungsrechtlichen, wirtschaftlichen oder privatrechtlichen Gründen nicht nutzbar. Eine Auswertung im Rahmen der Studie „Flächenanalyse Windenergie an Land“ zeigt, dass auf 23 % der Flächen, welche bis Ende 2014 ausgewiesen wurden, bisher keine Anlagen installiert wurden (UBA, 2019f).

**Eine maßgebliche Einschränkung ergibt sich aus den Zugriffsverboten des Artenschutzrechtes (§ 44 Abs. 1 BNatSchG).** Bislang spielt die Anwendung der Ausnahmebestimmung des § 45 Abs. 7 BNatSchG in der Praxis selten eine Rolle. Es ist erforderlich, diese Möglichkeit von Ausnahmen von den Zugriffsverboten konsequent in jedem Einzelfall zu prüfen und in der Anwendung der erneuerbaren Stromerzeugung und damit dem Klimaschutz mehr Gewicht einzuräumen – zumindest ebenso viel Gewicht, wie bislang der fossilen Energieversorgung und wirtschaftlichen Entwicklung durch Infrastrukturprojekte in ähnlichen Situationen im Gebietsschutz eingeräumt

wurde. Ob allerdings damit der Anteil nicht-genehmigungsfähiger Vorhaben signifikant gesenkt würde, ist unklar, zum einen weil es insgesamt wenig Praxiserfahrung gibt und weil insbesondere ohne vertiefte Prüfung im Einzelfall offen ist, ob auch die weiteren Hürden des § 45 Abs. 7 in S. 2 und 3 BNatSchG überwunden werden können. Für eine breite Wirkung wäre der Erlass von ermessensleitenden Rechtsverordnungen durch die Bundesländer nach § 45 Abs. 7 S. 4 BNatSchG hilfreich. Ohne einen ambitionierten Klimaschutz ist langfristig jedoch auch kein wirkungsvoller Artenschutz möglich. Ein weiterer Anstieg der globalen Temperaturen bedroht die Lebensräume vieler Arten und kann zu einem erheblichen Verlust an Biodiversität (IPCC, 2013/2014) führen.

**Neben den Belangen des Artenschutzes haben sich Anlagenschutzbereiche um Funknavigationsanlagen (VOR/DVOR) der Flugsicherung sowie die militärische Luftraumnutzung und –überwachung zu einem erheblichen Hemmnis entwickelt.** Aktuell werden dadurch deutschlandweit fast 2000 WEA (8,4 GW) blockiert. Zum Abbau dieser Hemmnisse sollte eine Reduzierung der Anlagenschutzbereiche um DVOR von 15 auf 10 km entsprechend den Richtlinien der internationalen Zivilluftfahrtorganisation ICAO geprüft werden. Die geplante Stilllegung einzelner VOR/DVOR im Rahmen der Umstellung auf satellitengestützte Navigation (DFS, 2017) bis 2029 sollte vorrangig und schnellstmöglich für Anlagen mit besonders hoher Blockadewirkung erfolgen. Die Deutsche Flugsicherung und die Bundeswehr sollten sich möglichst frühzeitig aktiv in Planungsverfahren einbringen. Im Rahmen von Genehmigungsverfahren muss durch konstruktiven Dialog nach Lösungen gesucht werden, die Interessen der Luftfahrt und Landesverteidigung mit den Erfordernissen des Klimaschutzes in Einklang zu bringen.

**Pauschale und über die Anforderungen des Immissionsschutzes hinausgehende Mindestabstände, wie sie das Eckpunktepapier zum Klimaschutzprogramm 2030 (Bundesregierung, 2019) der Bundesregierung vom September 2019 vorsieht, stellen eine zusätzliche Nutzungseinschränkung der ausgewiesenen Flächenkultise dar und sollten daher vermieden werden.**

Mindestens jedoch sollte die aktuelle Flächenkulisse Bestandsschutz genießen und das Repowering von Altanlagen ermöglicht werden, sofern die immissionsschutzrechtlichen Anforderungen gewahrt werden. **Etwa die Hälfte der bestehenden Altanlagen steht außerhalb der heute planungsrechtlich festgesetzten Flächenkulisse und ist damit aus planungsrechtlicher Sicht in der Regel nicht repoweringfähig.** Nach endgültiger Stilllegung der betroffenen Altanlagen können keine neuen WEA an diesen Standorten errichtet werden. Aus Sicht des Klimaschutzes ist daher ein möglichst langer Weiterbetrieb nicht repoweringfähiger Anlagen wünschenswert, weshalb jegliche Anreize zur frühzeitigen Stilllegung dieser WEA vermieden werden müssen.

### Schlussfolgerungen

- ▶ Die Nutzung der Windenergie an Land ist ein essenzielles Instrument für den Klimaschutz. Deshalb muss ihr ein höherer Stellenwert in Planungs- und Genehmigungsverfahren eingeräumt werden. Belange des Artenschutzes oder der zivilen und

militärischen Luftfahrt dürfen nicht pauschal entgegengehalten werden, sondern müssen im jeweiligen Einzelfall gegenüber den Belangen des Klimaschutzes abgewogen werden.

- ▶ Der jährliche Brutto-Ausbaupfad ist für den Zeitraum bis 2030 auf mindestens 4 GW pro Jahr zu erhöhen. Um den Zielen des Übereinkommens von Paris zu entsprechen, wäre ein Ausbau von mindestens 5,5 GW pro Jahr erforderlich.
- ▶ Da aktuell die notwendigen Flächen nicht vorhanden sind, sind verbindliche Flächenziele der Länder (z.B. 2 % der Landesfläche) und deren schnellen Umsetzung durch die Träger der Raumplanung erforderlich.
- ▶ Der Ausbau der Windenergie tangiert Belange vieler Ressorts. Dessen klimaschutzpolitische Notwendigkeit muss daher auf allen politischen Ebenen und ressortübergreifend verstanden und prioritär behandelt werden.

## 4 Windenergie auf See

### Aktuelle Situation und rechtlicher Rahmen

Ende 2018 waren in Deutschland, verteilt auf die Nord- und Ostsee, Windenergieanlage auf See (WEA) mit einer Leistung von 6,4 GW in Betrieb. Damit ist **das Ausbauziel gemäß EEG 2017 für das Jahr 2020 von 6,5 GW nahezu erreicht**. Bis 2030 soll die Erzeugungskapazität laut des „Gesetzes zur Entwicklung und Förderung der Windenergie auf See“ (WindSeeG) auf 15 GW ausgebaut werden. Dies ist zur Erreichung des 65-Prozentziels zwar nicht ausreichend, entspricht aber in etwa den in den meisten Green-Szenarien angenommenen Kapazitäten. Das Eckpunktepapier zum Klimaschutzprogramm 2030 der Bundesregierung im September 2019 (Bundesregierung, 2019) sieht dem gegenüber eine Steigerung des Zielwerts auf 20 GW vor. Ebenso geht der Szenariorahmen des NEP 2030 zur Erreichung des 65-Prozentziels mit einer Leistung von 17 bis 20 GW im Jahr 2030 über das WindSeeG hinaus. Das Szenario B geht für das Jahr 2035 von einer Erzeugungskapazität von 23,5 GW aus. Den Green-Szenarien der RESCUE-Studie liegen installierte Leistungen im Jahr 2040 von bis zu 27 GW (GreenSupreme) und im Jahr 2050 in allen Green-Szenarien von etwa 32 GW zugrunde.

Mit dem EEG 2017 und dem zeitgleich implementierten WindSeeG erfolgte auch bei der Windenergie auf See mit der Umstellung auf Ausschreibungen ein Systemwechsel des Förderregimes. Das WindSeeG regelt die Flächenvoruntersuchung und -ausweitung, die Ausschreibungen, die Anlagengenehmigung und die Abstimmung des Windpark-Ausbaus mit der Netzanbindung. Hierdurch werden zentrale Aspekte der Windenergie auf See, wie Raumordnung, Genehmigung, Vergütung und Netzausbau aufeinander abgestimmt und in einem Gesetz miteinander verzahnt. Ab dem Jahr 2021 sollen jährlich 700 bis 900 MW ausgeschrieben werden. Für den Zubau bis 2025 erfolgten zwei Ausschreibungen in den Jahren 2017 und 2018, in denen insgesamt eine Leistung von 3,1 GW bezuschlagt wurde.

**Im Vergleich mit der Windenergie an Land ist die Erschließung von Standorten auf See insgesamt mit höheren Kosten verbunden und der Strom muss über weite Entfernung in die verbrauchsstarken Regionen im Süden transportiert werden. Dennoch bieten die deutlich höheren**

**Volllaststunden sowie das insgesamt gleichmäßigere Einspeiseverhalten in Verbindung mit einer höheren Akzeptanz entscheidende Vorteile.**

Seit Errichtung der ersten WEA im Jahr 2009 hat die Branche eine erhebliche technische und ökonomische Entwicklung durchlaufen. Diese wird sich auch in absehbarer Zukunft noch fortsetzen, so dass die Anlagenleistung im Zubau von heute durchschnittlich 5 MW im Jahr 2025 bereits doppelt so hoch sein könnte.

### Herausforderungen

Ungeachtet der positiven Entwicklung innerhalb der vergangenen zehn Jahre sind für den weiteren Ausbau der Windenergie auf See anspruchsvolle Aufgaben zu lösen:

- Verfügbarmachung von Flächen

Die Fläche ist auch im Meer ein sehr begehrtes Gut. Neben der Windenergienutzung unterliegt der Meeresraum zahlreichen intensiven Nutzungen, wie vor allem Fischfang, Schifffahrt, Kiesgewinnung, militärischen Nutzungen sowie Belangen des Meeresschutzes. **Ein integriertes Küstenzonenmanagement (UBA, 2017) wägt Nutzungsansprüche untereinander und mit der Belastbarkeit des Küstenmeeres ab und räumt der Windenergie den notwendigen Raum ein.**

- Netzanbindung und landseitiger Netzausbau der Übertragungsnetze

**Planung und Bau von Windparks und Netzan-schlüssen müssen angesichts unterschiedlicher Vorhabenträger zeitlich und räumlich abgestimmt werden.** Die Grundsätze hierzu sind im Flächenentwicklungsplan des Bundesamts für Seeschifffahrt und Hydrographie gegeben.

- Berücksichtigung umwelt- und naturschutzfachlicher Belange

Die Nord- und Ostsee bilden innerhalb Europas ein zentrales Gebiet für den Meeresnaturschutz. Die Wattenmeerküste stellt einen einmaligen Lebensraum dar und ist für Zugvögel ein zentraler Rastplatz im Herbst und Frühling. Während der Errichtungsphase

eines Windparks sind auch Schallemissionen von Bedeutung. Die im Rahmen der Flächenerschließung erfolgende eingehende Untersuchung der Wirkungen auf die Umweltschutzgüter sowie eine räumliche und zeitliche Koordination des Ausbaus der Windparks ermöglichen es, kumulative Auswirkungen auf die Meeresumwelt in bestimmten Regionen zu vermindern.

► Vorausschauende Weiterentwicklung

Die zeitaufwendigen Flächenvoruntersuchungen und Umweltprüfungen müssen rechtzeitig angestoßen werden. Dies ist insbesondere auch für die Vorhabenträger erforderlich, um vor dem Hintergrund langer Planungszeiträume und hoher Investitionssummen langfristige Planungs- und Investitionssicherheit zu schaffen.

**Somit besteht auf politischer Ebene akuter Handlungsbedarf, den erforderlichen, zusätzlichen Ausbaubedarf bereits zeitnah rechtlich zu verankern.** Für die langfristige Planungssicherheit müssen die Ausbaupfade frühzeitig auch über das Jahr 2030 hinweg fortgeschrieben werden. Das

Leistungspotenzial der Windenergie auf See, in dem für Deutschland verfügbaren Teil von Nord- und Ostsee, liegt bei voller Ausnutzung der geeigneten Flächen bei 57 GW (Fraunhofer IWES, 2017) und bietet somit ausreichend Spielraum zur Umsetzung der in den Green-Szenarien unterstellten Erzeugungskapazitäten.

**Schlussfolgerungen**

- Der im EEG verankerte Ausbaudeckel von 15 GW im Jahr 2030 muss unter Beachtung von Umwelt- und Naturschutzaspekten auf 17 bis 20 GW angehoben werden.
- Der Ausbau über das Jahr 2030 hinaus muss frühzeitig rechtlich verankert werden, um die erforderlichen Flächenvoruntersuchungen und Umweltprüfungen anzustoßen und Planungssicherheit für die Branche zu schaffen.
- Damit der Zubau seine Dynamik behält, sollten die derzeit freien Konverter-Kapazitäten von etwa 1,5 GW im Rahmen der vereinbarten Sonderausreibungen zeitnah vergeben werden.

## 5 Photovoltaik

### Aktuelle Situation und rechtlicher Rahmen

Die Photovoltaik leistet in den Green-Szenarien im Jahr 2050 einen Anteil an der Stromversorgung in Höhe von 24 % (GreenLate) bzw. 18 % (GreenSupreme) (UBA, 2019d). Dafür wird im Jahr 2050 eine installierte Leistung von 218 GW bzw. 130,5 GW benötigt. Selbst wenn der gegenwärtig im Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG, 2017) verankerte jährliche Brutto-Zubau in Höhe von 2,5 GW bis zu diesem Zeitpunkt umgesetzt werden sollte, so bleibt die installierte PV-Leistung noch deutlich hinter diesen errechneten Zielgrößen zurück. Mit einem Nettozubau von rund 2,9 GW und einer damit installierten Gesamtleistung von 45,3 GW (Ende 2018) wurde in 2018 und voraussichtlich auch 2019 (UBA, 2019c) erstmals seit mehreren Jahren der im EEG vorgesehene Ausbaukorridor wieder erreicht bzw. überschritten. Die Aufhebung des sogenannten „52 GW-Förderdeckel“ wurde erst mit den Beschlüssen des Klimakabinetts am 20.09.2019 festgelegt (Bundesregierung, 2019), insofern könnten beim Zubau 2018 und 2019 auch Vorzieheffekte eine Rolle gespielt haben. Die Sonderausschreibungen in den Jahren 2019 bis 2021 (1 GW; 1,4 GW; 1,6 GW) erhöhen den Ausbau der Photovoltaik in etwa auf den gemäß der Green-Szenarien benötigten Mindestausbaupfad (vgl. Kapitel 2) – dies allerdings nur temporär.

Ausgehend von der politischen Zielsetzung, im Jahr 2030 65 % der Bruttostromerzeugung aus erneuerbaren Energieträgern zu decken, wird im Netzentwicklungsplan 2030 eine installierte Photovoltaik-Leistung von 91 GW (Szenario B 2030) bzw. 104,5 GW (Szenario C 2030) zu Grunde gelegt. Im Szenario GreenLate werden 81 GW und bei GreenSupreme 105 GW ermittelt. **Mit dem gegenwärtig im EEG verankerten Ausbaukorridor für Photovoltaik wird keiner dieser Ausbaupfad und auch nicht das Zwischenziel von 65 % der Bruttostromerzeugung bis 2030 hinreichend abgebildet.**

**In sämtlichen der seit 2015 stattgefundenen Ausschreibungsrunden für Photovoltaik ist das ausgeschriebene Volumen voll ausgeschöpft worden. Die Ausschreibungen waren im Mittel um den Faktor 3 überzeichnet.** In der ersten Sonderausschreibung 2019 war dieser Faktor – wahrscheinlich bedingt durch das hohe Volumen (500 MW) – auf 1,7

abgesunken. In den regulären Ausschreibungen lag er nie unterhalb von 2 (Bundesnetzagentur, 2019b). Dies weist darauf hin, dass ein gewichtiges Hemmnis in den zu niedrigen Ausschreibungsmengen selbst liegt. Für Photovoltaikanlagen lag bei den ersten sechs Ausschreibungsrunden die Realisierungsrate bei 96 % (ZSW, 2019, S. 64).

### Herausforderungen

Nach einer Phase der Stagnation zwischen 2013 und 2017 füllt die Photovoltaik auf Dächern und Freiflächen den im EEG vorgegebenen Ausbaupfad wieder aus. Dieser ist jedoch angesichts der oben skizzierten Erfordernisse insgesamt zu niedrig angesetzt.

#### ► Rechtlicher Rahmen der Photovoltaik-Förderung

Die jährlich in Deutschland installierte Photovoltaikleistung stieg nach den Anfangsjahren des EEG stark an: 2008 waren es noch knapp 2 GW jährlich, in den Jahren 2010 bis 2012 wurde ein Allzeithoch (7,5 GW; 7,9 GW; 8,16 GW) erreicht (UBA, 2019e). Obgleich die System- und Stromgestehungskosten stetig reduziert werden konnten, wurde die Förderung in den Jahren 2009 bis 2011 nur langsam und auf jährlicher Basis angepasst. Als Folge ergaben sich Überrenditen und ein damit einhergehender hoher Zubau an Photovoltaikanlagen. Mit der Novelle des EEG im April 2012 wurde die Förderung schließlich massiv abgesenkt und eine monatliche Basisdegression sowie ggf. weitere Absenkungen in Abhängigkeit vom vergangenen Zubau („atmender Deckel“) eingeführt. Der lange Zeitraum, bis der im EEG festgelegte Ausbaukorridor im Jahr 2018 wieder erreicht wurde, verdeutlicht die Folgen abrupter politischer Richtungswechsel.

Aufgrund dieser Erfahrung ist es angeraten, für die Zukunft der Photovoltaik eine gleichmäßige und absehbare Anpassung des Ausbaus anzustreben und die Förderpolitik darauf und auf die Erfüllung der Klimaziele hin auszurichten. **Dazu sollte der jährliche Zubau als Minimum etwa in Höhe der derzeitigen Sonderausschreibungen ergänzt werden.** Ein solcher Ausbaupfad in der genannten Mindestgröße von etwa 3,5 GW/a wird im Zeitraum 2021 bis 2023 durch die Realisierung der Sonderausschreibungen bereits angelegt. Diesen gilt es über die Phase der Sonderausschreibungen hinaus mindestens zu verstetigen.

► Photovoltaik-Dachanlagen stärken

**Angesichts der Flächeninanspruchnahme von Photovoltaik-Freiflächenanlagen (siehe unten) sollte ein höherer Ausbaupfad nicht in der Fläche, sondern vor allem auf den Dächern umgesetzt werden.** Dieser Fokus verspricht Synergien zu anderen Umweltzielen der Bundesregierung – hier insbesondere einer reduzierten Flächenneuinanspruchnahme durch Siedlungen und Verkehr. In vier Green-Szenarien<sup>3</sup> sind die Photovoltaik-Zubaumengetzt werden.<sup>4</sup> Der bislang realisierte Ausbau der Photovoltaik ist zu etwa zwei Dritteln dem Dach- und zu knapp einem Drittel dem Freiflächensegment zuzurechnen. Für die Green-Szenarien wird von 1.630 km<sup>2</sup> verfügbarer Dachfläche ausgegangen, was einem Leistungspotenzial von 283 GW entspricht (UBA, 2019d).

Momentan werden kaum Photovoltaik-Dachanlagen oberhalb 750 kW errichtet, weil solche Anlagen zwar an den Ausschreibungen teilnehmen müssen, aufgrund ihrer Kostenstruktur jedoch nicht mit den niedrigeren Gebotspreisen von Freiflächenanlagen konkurrieren können. Dieses Anlagensegment sollte mit Hilfe separater Ausschreibungen oder eines Bonussystems für Dachanlagen oberhalb 750 kW im Rahmen der bestehenden Ausschreibungen beflügelt werden. So könnten deutlich größere Dachanlagen, z.B. auf Logistikzentren, kostengünstig errichtet werden, ohne dass die Kostendifferenz zwischen (Freiflächen-) Ausschreibungen und gesetzlich festgelegter Vergütung zu einer künstlichen Beschränkung der Anlagengröße auf 750 kW führt. Ziel muss es sein, dass Dachflächen immer maximal ausgenutzt werden. Die dort vorhandenen Flächenpotenziale sollten nicht durch eine Übergewichtung der Eigenverbrauchsoptimierung oder durch andere Restriktionen im Fördersystem verschenkt werden.

3 GreenEe1, GreenEe2, GreenLate und GreenLife, siehe (UBA, 2019d).

4 Hintergrund ist der Fokus auf eine geringe Rohstoffinanspruchnahme in den Szenarien GreenMe und GreenSupreme – bei Dachanlagen wird sowohl der Bedarf an Aufständungen und Fundamenten reduziert, als auch Fläche als Rohstoff eingespart, da der Zubau überwiegend auf (bereits versiegelten) Dachflächen stattfindet.

► Flächeninanspruchnahme und -potenziale von Freiflächenanlagen

Für Photovoltaik-Freiflächenanlagen wird in den Green-Szenarien in Deutschland eine verfügbare Fläche von etwa 3.150 km<sup>2</sup> angenommen (UBA, 2019d). Dies sind weniger als 1 % der bundesweiten Gesamtfläche und in keinem Bundesland mehr als 1,5 % der Landesfläche (vgl. auch BMVI, 2015, S. 112). Daraus ergibt sich ein gesamtes Leistungspotenzial für Freiflächenanlagen von 195 GW. Die Flächeninanspruchnahme pro Megawatt installierter Leistung ist in den letzten Jahren stetig gesunken: 2006 lag sie noch bei ca. 4 ha/MW, 2018 im Durchschnitt bei 1,34 ha/MW (ZSW, 2019).<sup>5</sup>

Über alle Green-Szenarien betrachtet, werden die Flächenpotenziale der Photovoltaik (Dach- und Freiflächenanlagen kombiniert) zu maximal 50 % ausgeschöpft. Somit bestehen in allen Szenarien noch deutliche Spielräume. Die höchste Potenzialausnutzung liegt mit 56 % bei den Freiflächenanlagen im Szenario GreenLate vor. Folglich ist – anders als bei der Windenergie – die Flächenverfügbarkeit selbst im Szenario mit dem höchsten Freiflächen-Zubau von 109 GW (GreenLate) unproblematisch, zumal als flächenneutraler Ersatz noch die Dachanlagen möglich wären.

► Akzeptanz von Photovoltaik-Freiflächenanlagen erhalten

Infolge der relativ geringen Umweltwirkungen von Freiflächenanlagen ist die Akzeptanz im Vergleich zur Windenergie zum gegenwärtigen Zeitpunkt hoch. Die Akzeptanzfrage stellt sich jedoch insbesondere in Zusammenhang mit der landwirtschaftlichen Flächenkonkurrenz (ZSW, 2019, S. 119). Hintergrund ist, dass besonders in den Boomjahren der Freiflächenanlagen eine Steigerung der Bodenpreise zu verzeichnen war. Dies führte zu Einschränkungen der förderfähigen Flächenkulisse im EEG besonders hinsichtlich Ackerflächen – noch heute kann mit der

5 In den Green-Szenarien wird konservativ rund 1,5 ha/MW angenommen.

Flächenverpachtung für Freiflächenanlagen ein Vielfaches der Erträge aus landwirtschaftlicher Nutzung generiert werden.<sup>6</sup>

Die hohe Akzeptanz hängt vermutlich auch mit der im EEG verankerten Größenbegrenzung einer Photovoltaik-Freiflächenanlage auf maximal 10 MW zusammen. Diese Begrenzung gilt sofern eine Förderung in Anspruch genommen wird. Eine Ausnahme bildet Photovoltaik auf „sonstigen baulichen Anlagen“. Durch die Größenbegrenzung bleiben Änderungen der Raumstruktur, die technische Prägung der Landschaft, die Barrierewirkung durch die Zuanlagen oder Standortveränderungen durch Beschattung überschaubar. Gleiches gilt für den Umfang der notwendigen Bautätigkeit. Allerdings wäre es denkbar, die Größenbeschränkung von einer festen Leistungszahl auf die beanspruchte Flächengröße und ggf. -qualität umzustellen. So kann durch Wirkungsgradsteigerungen der Module eine 20 MW-Anlage heute auf derselben Fläche errichtet werden, die im Jahr 2010 nur für 10 MW ausgereicht hätte (siehe oben).

Im Zuge der sinkenden Stromgestehungskosten wurden in jüngster Vergangenheit verstärkt ungefördernde Freiflächenanlagen in Betrieb genommen. Diese unterliegen keiner Größenbegrenzung, teilweise wurden bereits dreistellige Hektarzahlen für eine einzige Anlage beansprucht. Die aus naturschutzfachlicher Sicht besonders wertvollen Randbereiche sinken im Verhältnis zur Gesamtfläche stark ab, gleichzeitig steigen die Raumwirkung und der landschaftsprägende Charakter des Solarparks deutlich an. Diese Entwicklung gilt es aufmerksam zu beobachten, auch mit dem Ziel, die hohe Akzeptanz der Photovoltaik langfristig zu erhalten.

- ▶ Weiterbetrieb ausgeförderter Photovoltaikanlagen sichern

**Ab dem Jahr 2021 endet für die ersten Photovoltaikanlagen die Förderung durch das EEG. Sie haben jedoch zumeist nicht das Ende ihrer technischen Lebensdauer erreicht, und können auch weiterhin zu einer klimagerechten**

**Stromversorgung beitragen.** Die in Abschnitt 2 skizzierten Ausbaupfade, wie auch ein rohstoffeffizientes Handeln, werden durch den Weiterbetrieb unterstützt. Im Bereich der Photovoltaik handelt es sich zunächst überwiegend um Kleinanlagen, die sich jedoch bis Ende 2025 auf knapp 2 GW summieren. Ob der Weiterbetrieb betriebswirtschaftlich darstellbar ist, hängt von den Rahmenbedingungen ab. Vor allem für kleine Anlagen muss der administrative Aufwand für die Teilnahme am Strommarkt zumutbar und die wirtschaftlichen Erträge hinreichend genau abschätzbar sein. Bisher ist dieser Bereich noch nicht reguliert, dies wird jedoch durch die neue Erneuerbare-Energien-Richtlinie 2018/2001 eingefordert. Die vielfach diskutierten „power purchase agreements“ (PPA) beruhen auf individuellen privatwirtschaftlichen Vereinbarungen und können die beiden genannten Rahmenbedingungen deshalb nur eingeschränkt erfüllen. Eine gesetzliche Regelung sollte mindestens die Vergütung entsprechend eines zeitlich gemittelten Marktwerts der Strombörse vorsehen.

### Schlussfolgerungen

- ▶ Der jährliche Bruttozubau der Photovoltaik ist auf mindestens 3,5 GW pro Jahr zu erhöhen. Um den Zielen des Übereinkommens von Paris zu entsprechen, wäre ein Ausbau von mindestens 4,8 GW pro Jahr erforderlich.
- ▶ Dachanlagen oberhalb 750 kW werden derzeit kaum zugebaut. Dieses Segment sollte durch separate Ausschreibungen oder ein Bonussystem im Rahmen der bestehenden Ausschreibungen gestärkt werden. Ziel muss es sein, vorhandene Dachflächen so gut wie möglich für die Installation von Photovoltaikmodulen zu nutzen und so die Flächenneuanspruchnahme zu reduzieren.
- ▶ Die Umweltwirkungen seitens Freiflächenanlagen sind gering, die gesellschaftliche Akzeptanz ist relativ hoch. Sollte eine Öffnung der Flächenkulisse oder eine Erweiterung der maximalen Anlagengröße notwendig werden, so muss dies maßvoll geschehen, um die Umweltwirkungen niedrig und die Akzeptanz auch weiterhin hoch zu halten.

<sup>6</sup> Dieses kostenseitige Ungleichgewicht ist einer der Hinderungsgründe für innovative Kombinationen von Landwirtschaft und Photovoltaik (sogenannte „Agrar-PV“).

## 6 Ausbau erneuerbare Energien für Importe

Heute basiert rund 70 % der Primärenergieversorgung auf Importen. Diese dienen im Wesentlichen zur Versorgung der Brenn-, Kraft- und Rohstoffbedarfe. Trotz effektiver Sektorkopplung in allen Bereichen verbleiben nach heutigem Kenntnisstand Kraftstoffbedarfe für die Mobilität, insbesondere im Luft- und Seeverkehr aber auch im Straßenverkehr, sowie Brennstoffbedarfe zur Prozesswärmeversorgung in der Industrie (UBA, 2019d). Auch müssen die rohstofflichen Bedarfe der Industrie, insbesondere der chemischen Industrie, gedeckt werden. Sollten innovative Sektorkopplungstechniken nicht frühzeitig entwickelt und integriert und daher an konventionellen Techniken festgehalten werden, so steigen die Bedarfe erneuerbarer Brenn- und Kraftstoffe. Dies wird in der RESCUE-Studie durch das Szenario GreenLate dargestellt. Darin wird der scheinbar einfachere Transformationspfad in den Anwendungen gewählt, so dass verstärkt noch brennstoffbasierte Wärmetechniken, auch in der Raumwärmeversorgung, sowie kraftstoffbasierte Antriebe im Verkehr weiter in Betrieb sind. Im Szenario GreenLate werden rund 930 TWh erneuerbare Energieträger für die Brenn-, Kraft- und Rohstoffversorgung benötigt, wohingegen es in dem effizienten und ambitionierten Szenario GreenSupreme nur rund 495 TWh 2050 bedarf.

**Es ist davon auszugehen, dass die Klimaschutzbestrebungen Deutschlands nicht losgelöst von Europa und der Welt erfolgen. Vielmehr werden die heutigen globalen Vernetzungen und Infrastrukturen im Energiemarkt prinzipiell bestehen bleiben, aber insgesamt auf erneuerbare Energien umgestellt werden.** Es wird also kein grundlegender Strukturwandel unterstellt, wie es beispielsweise in Autarkieszenarien der Fall wäre.

In einem globalen erneuerbaren Energiemarkt ist eine Vielzahl von Standorten denkbar, welche konkurrenzfähige strombasierte nachhaltige erneuerbare Power to Gas/Power to Liquid – Produkte (PtG/PtL) bereitstellen könnten. Jeder einzelne denkbare Erzeugungsstandort weist unterschiedliche Charakteristiken bzgl. der Stromerzeugung, Volllaststunden, Kohlenstoffquelle, Transportentfernung etc. auf. Um eine Größenordnung zu den benötigten erneuerbaren Stromerzeugungs- und PtG/PtL-Produktionskapazitäten für die Bereitstellung

der Importe<sup>7</sup> zu erhalten, wurde beispielhaft in der RESCUE-Studie die Produktion in Nordafrika simuliert. In GreenSupreme werden bis 2030 rund 50 TWh erneuerbarer Strom für die PtG/PtL-Produktion bereitgestellt, wofür am beispielhaften Standort der Ausbau von rund 8 GW Windenergie an Land und 9 GW Photovoltaik erforderlich sind. In 2050 ist eine Erzeugung von rund 800 TWh erneuerbaren Stroms erforderlich, welche mit rund 122 GW Windenergie an Land und 136 GW Photovoltaik bereitgestellt werden. **Diese installierte Leistung liegt etwa in der gleichen Größenordnung der nationalen Erzeugungskapazitäten.** Hierfür sind derzeit noch kaum Kapazitäten vorhanden – entsprechend höhere jährliche Ausbauraten sind erforderlich.

Wenn, wie im GreenLate-Szenario, der scheinbar einfache Weg gewählt wird, bei dem Energieeffizienzpotenziale nicht konsequent erschlossen und an konventionellen Energieträgern und deren Infrastruktur festgehalten wird, muss im Pfad deutlich mehr erneuerbare Stromerzeugung ausgebaut werden. Konkret werden in GreenLate zwischen 2030 und 2040 durchschnittlich 10 GW Wind an Land und 11 GW Photovoltaik Zubau pro Jahr benötigt, um die erforderlichen PtG/PtL-Mengen bereitzustellen (siehe Abbildung 5). Nach 2040<sup>8</sup> erhöht sich der notwendige Ausbau durch die hohen Treibhausgasreduzierungen, die in der letzten Dekade bis 2050 zu erbringen sind, auf durchschnittlich rund 17 GW Windenergie an Land und rund 18 GW Photovoltaik pro Jahr. In 2050 können so die hohen Bedarfe von rund 1.800 TWh erneuerbaren Strom in GreenLate gedeckt werden (UBA, 2019d).

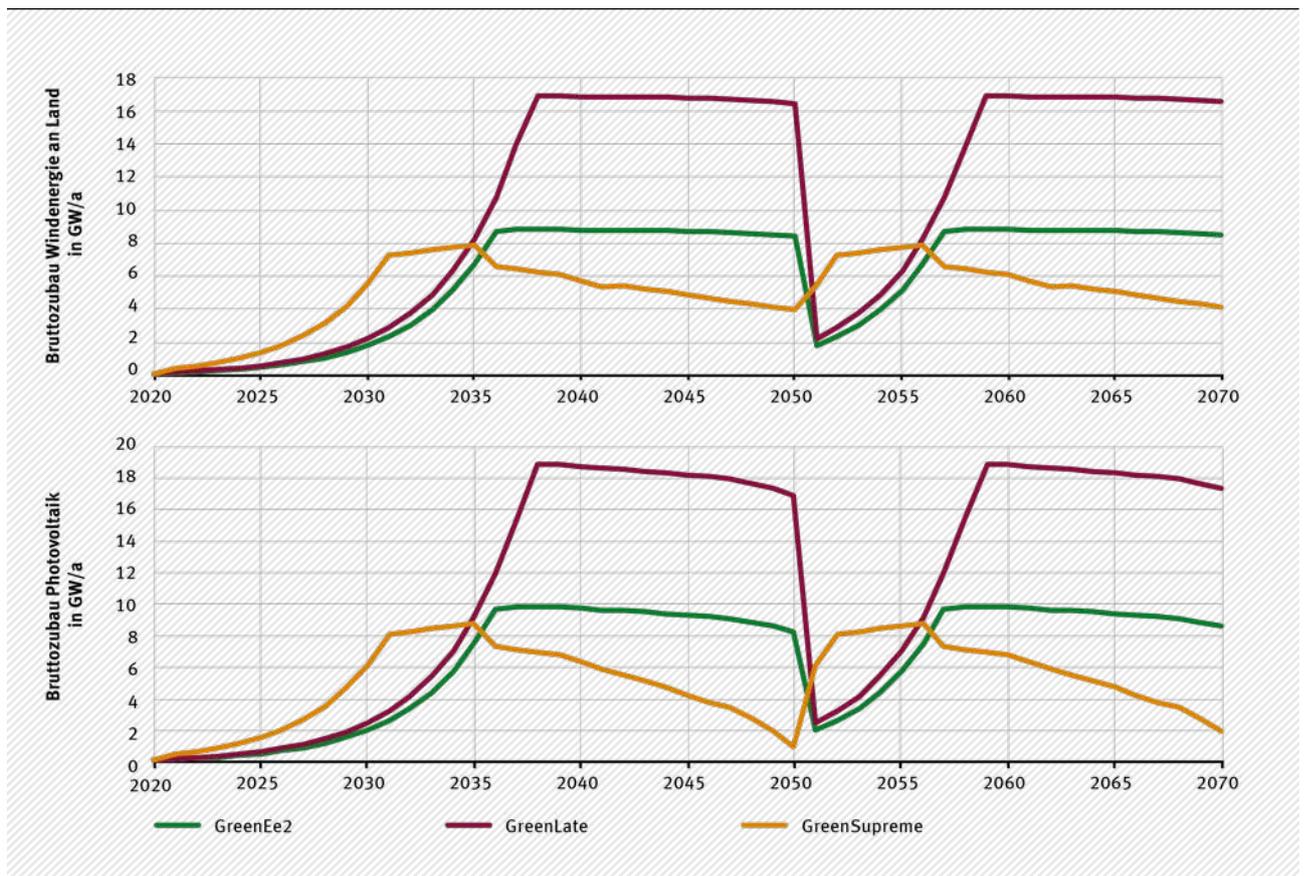
Eine vollständige erneuerbare Energieversorgung Deutschlands basiert, wie heute die fossile Energieversorgung, auch auf globalen Energiemärkten. **Wenn Effizienzmaßnahmen nicht konsequent umgesetzt oder Sektorkopplungstechniken nicht effizient integriert werden, verlagern sich die Herausforderungen einer treibhausgasneutralen Energieversorgung vor allem ins Ausland.**

<sup>7</sup> Die national erzeugten Anteile sind bereits in der Darstellung in Kapitel 2 enthalten. Nähere Informationen zu den Anteilen der nationalen Erzeugungen im Brenn-, Kraft- und Rohstoffmarkt finden sie in der RESCUE-Studie im Kapitel 5.2.4 (UBA, 2019d).

<sup>8</sup> Analog zu den nationalen Kapazitäten, ist dieser Ausbau ab 2040 in geringem Maße auf den Ersatz der Kapazitäten zurückzuführen, die das Ende ihrer Lebensdauer erreichen.

Abbildung 4

### Entwicklung des Ausbaus der erneuerbaren Energien für die Importe in ausgewählten Green-Szenarien



Quelle: eigene Darstellung auf Basis UBA, 2020a, 2020b, 2020c, 2020d, 2020e

Es ergeben sind frühzeitigere und deutlich größere Ausbaubedarfe für Importe an erneuerbaren Energieträgern.

#### Schlussfolgerungen

- ▶ Vor diesem Hintergrund sollte Deutschland international und europäisch darauf hinwirken, dass auch andere Staaten eine Treibhausgasneutralität bis 2050 anstreben und sich so globale Energiemärkte für nachhaltige erneuerbare Energien entwickeln können.
- ▶ Frühzeitig sollte Deutschland nachhaltige Kooperationen mit anderen Staaten eingehen, um Forschung, Entwicklung und Verbreitung der Kenntnisse um die erneuerbaren Energietechniken und der Ressourcenschonung konsequent auszubauen (UBA, 2019a).
- ▶ Beim Aufbau globaler erneuerbarer Energiemärkte sind die Entwicklungschance für die Regionen zu nutzen und zu gewährleisten, dass weltweit lokale und regionale Akteure merklich und im Sinne gleichberechtigter Partnerschaften profitieren sowie Vorort im Sinne des Klimaschutzes auch die lokale Energieversorgung sich verändert.
- ▶ Beim Aufbau globaler erneuerbarer Energiemärkte ist der Nachhaltigkeit Rechnung zu tragen. So sind Umweltwirkungen vor Ort wie der Flächen- und Wasserverbrauch zu beachten sowie die Klimaschutzwirkung des verwendeten Stromes aus erneuerbaren Energien und der Kohlenstoffquelle zu gewährleisten.
- ▶ In den Anwendungsbereichen, insbesondere Luft- und Seeverkehr sowie der chemischen Industrie, sollten die regulatorischen Rahmenbedingungen geschaffen werden, um die nachhaltige Entwicklung globaler Brenn-, Kraft- und Rohstoffmärkte zeitnah zu unterstützen.

## 7 Quellenverzeichnis

**BMVI (2015).** Räumlich differenzierte Flächenpotentiale für erneuerbare Energien in Deutschland. BMVI-Online-Publikation, Nr. 08/2015. Berlin. Download unter: <https://d-nb.info/1075812623/34> (Zugriff am 09.09.2019)

**Bundesnetzagentur (2016).** Szenariorahmen 2017-2030. Download unter: [https://www.netzausbau.de/bedarfsermittlung/2030\\_2017/szenariorahmen2017-2030/de.html](https://www.netzausbau.de/bedarfsermittlung/2030_2017/szenariorahmen2017-2030/de.html) (Zugriff am 12.09.2019)

**Bundesnetzagentur (2019a).** Anlagenregister. Stand 01/2019. Download unter: [https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Sachgebiete/ElektrizitaetundGas/Unternehmen\\_Institutionen/ErneuerbareEnergien/ZahlenDatenInformationen/EEG\\_Registerdaten/EEG\\_Registerdaten\\_node.html](https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Sachgebiete/ElektrizitaetundGas/Unternehmen_Institutionen/ErneuerbareEnergien/ZahlenDatenInformationen/EEG_Registerdaten/EEG_Registerdaten_node.html) (Zugriff am 20.09.2019)

**Bundesnetzagentur (2019b).** Statistiken zum Ausschreibungsverfahren zur Ermittlung der finanziellen Förderung von Solaranlagen nach dem Erneuerbaren-Energien-Gesetz (EEG). Download unter: [https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Sachgebiete/Energie/Unternehmen\\_Institutionen/Ausschreibungen/Hintergrundpapiere/Statistik\\_Solar.xlsx](https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Sachgebiete/Energie/Unternehmen_Institutionen/Ausschreibungen/Hintergrundpapiere/Statistik_Solar.xlsx)

**Bundesregierung (2010).** Drucksache 17/3049. Energiekonzept für eine umweltschonende, zuverlässige und bezahlbare Energieversorgung und 10-Punkte-Sofortprogramm – Monitoring und Zwischenbericht der Bundesregierung. Berlin.

**Bundesregierung (2019).** Eckpunkte für das Klimaschutzprogramm 2030. Fassung nach Klimakabinett. Berlin. Download unter: <https://www.bundesregierung.de/resource/blob/975226/1673502/855f58eed07bcbbd697820b4644e83a7/2019-09-20-klimaschutzprogramm-data.pdf?download=1> (Zugriff am 26.09.2019)

**DFS (2017).** Die Deutsche Flugsicherung startet Navigation der Zukunft. Download unter: [https://www.dfs.de/dfs\\_homepage/de/Presse/Pressemitteilungen/2017/22.09.2017.-%20Die%20Deutsche%20Flugsicherung%20startet%20Navigation%20der%20Zukunft/](https://www.dfs.de/dfs_homepage/de/Presse/Pressemitteilungen/2017/22.09.2017.-%20Die%20Deutsche%20Flugsicherung%20startet%20Navigation%20der%20Zukunft/) (Zugriff am 23.09.2019)

**Fachagentur Wind an Land (2019).** Ausbausituation der Windenergie an Land im 1. Halbjahr 2019 Auswertung windenergiespezifischer Daten im Marktstammdatenregister für den Zeitraum Januar bis Juni 2019. Berlin. Download unter: [https://www.fachagentur-windenergie.de/fileadmin/files/Veroeffentlichungen/Analysen/FA\\_Wind\\_Zubauanalyse\\_Wind-an-Land\\_Halbjahr\\_2019.pdf](https://www.fachagentur-windenergie.de/fileadmin/files/Veroeffentlichungen/Analysen/FA_Wind_Zubauanalyse_Wind-an-Land_Halbjahr_2019.pdf) (Zugriff am 20.09.2019)

**Fraunhofer IWES (2017).** Energiewirtschaftliche Bedeutung der Offshore-Windenergie für die Energiewende. Update 2017. Varel, Berlin. Download unter: [https://www.offshore-stiftung.de/sites/offshorelink.de/files/documents/Studie\\_Energiewirtschaftliche%20Bedeutung%20Offshore%20Wind.pdf](https://www.offshore-stiftung.de/sites/offshorelink.de/files/documents/Studie_Energiewirtschaftliche%20Bedeutung%20Offshore%20Wind.pdf) (Zugriff am 23.09.2019)

**IPCC (2013/2014).** Zusammenfassungen für politische Entscheidungsträger. Beiträge der drei Arbeitsgruppen zum Fünften Sachstandsbericht des Zwischenstaatlichen Ausschusses für Klimaänderungen (IPCC). Deutsche Übersetzungen durch Deutsche IPCC-Koordinierungsstelle. Bonn, Wien, Bern. Download unter: [https://www.de-ipcc.de/media/content/AR5-WGII\\_SPM.pdf](https://www.de-ipcc.de/media/content/AR5-WGII_SPM.pdf) (Zugriff am 20.09.2019)

**UBA (2012).** Planung und Entwicklung der Meeres- und Küstengebiete. Download unter: <https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/461/publikationen/4250.pdf> (Zugriff am 23.09.2019)

**UBA (2013).** Potenzial der Windenergie an Land. Studie zur Ermittlung des bundesweiten Flächen- und Leistungspotenzials der Windenergienutzung an Land. Dessau-Roßlau. Download unter: [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/potenzial\\_der\\_windenergie.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/potenzial_der_windenergie.pdf) (Zugriff am 09.09.2019)

**UBA (2019a).** Den Weg zu einem treibhausgasneutralen Deutschland ressourcenschonend gestalten- 2. Auflage mit methodischen Anpassungen und Teilneuberechnung in Kapitel 2 und 3. Dessau-Roßlau. Download unter: [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/376/publikationen/190215\\_uba\\_fachbrosch\\_rtd\\_bf.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/376/publikationen/190215_uba_fachbrosch_rtd_bf.pdf) (Zugriff am 06.09.2019)

**UBA (2019b).** Entwicklung der erneuerbaren Energien in Deutschland im 1. Halbjahr 2019. Quartalsbericht der Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien-Statistik (AGEE-Stat). Stand: 15.08.2019. Dessau-Roßlau. Download unter: [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/361/dokumente/agee-stat\\_quartalsbericht\\_q2-2019.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/361/dokumente/agee-stat_quartalsbericht_q2-2019.pdf) (Zugriff am 27.09.2019)

**UBA (2019c).** Monatsbericht zur Entwicklung der erneuerbaren Stromerzeugung und Leistung in Deutschland. Stand: 12.09.2019. Dessau-Roßlau. Download unter: [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/361/dokumente/09-2019\\_agee-stat\\_monatsbericht\\_ee\\_final.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/361/dokumente/09-2019_agee-stat_monatsbericht_ee_final.pdf) (Zugriff am 23.09.2019)

**UBA (2019d).** RESCUE – Wege in eine ressourcenschonende Treibhausgasneutralität. Dessau-Roßlau. Download unter: [www.uba.de/rescue](http://www.uba.de/rescue)

**UBA (2019e).** Zeitreihen zur Entwicklung der erneuerbaren Energien in Deutschland. Stand: August 2019. Dessau-Roßlau. Download unter:  
[https://www.erneuerbare-energien.de/EE/Navigation/DE/Service/Erneuerbare\\_Energien\\_in\\_Zahlen/Zeitreihen/zeitreihen.html](https://www.erneuerbare-energien.de/EE/Navigation/DE/Service/Erneuerbare_Energien_in_Zahlen/Zeitreihen/zeitreihen.html)  
(Zugriff am 27.09.2019)

**UBA (2019f).** Analyse der kurz- und mittelfristigen Verfügbarkeit von Flächen für die Windenergienutzung an Land. Im Auftrag des Umweltbundesamtes. Climate Change, Oktober 2019. Dessau-Roßlau.

**UBA (2020a).** Transformationsprozess zum treibhausgasneutralen und ressourcenschonendem Deutschland – GreenEe  
Climate Change 01/2020.

**UBA (2020b).** Transformationsprozess zum treibhausgasneutralen und ressourcenschonendem Deutschland – GreenLate.  
Climate Change 02/2020. Dessau-Roßlau.

**UBA (2020c).** Transformationsprozess zum treibhausgasneutralen und ressourcenschonendem Deutschland – GreenMe.  
Climate Change 03/2020. Dessau-Roßlau.

**UBA (2020d).** Transformationsprozess zum treibhausgasneutralen und ressourcenschonendem Deutschland – GreenLife.  
Climate Change 04/2020. Dessau-Roßlau.

**UBA (2020e).** Transformationsprozess zum treibhausgasneutralen und ressourcenschonendem Deutschland – GreenSupreme.  
Climate Change 05/2020. Dessau-Roßlau.

**ZSW (2019).** Untersuchung im Rahmen des Fachloses 4 zu Solare Strahlungsenergie – EEG-Erfahrungsbericht. Stand: 29.03.2019. Stuttgart. Download unter:  
[https://www.erneuerbare-energien.de/EE/Redaktion/DE/Downloads/bmwi\\_de/zsv-boschundpartner-vorbereitung-begleitung-eeg.html](https://www.erneuerbare-energien.de/EE/Redaktion/DE/Downloads/bmwi_de/zsv-boschundpartner-vorbereitung-begleitung-eeg.html) (Zugriff am 09.09.2019)



► **Unsere Broschüren als Download**  
Kurzlink: [bit.ly/2dowYYI](https://bit.ly/2dowYYI)

 [www.facebook.com/umweltbundesamt.de](https://www.facebook.com/umweltbundesamt.de)  
 [www.twitter.com/umweltbundesamt](https://www.twitter.com/umweltbundesamt)  
 [www.youtube.com/user/umweltbundesamt](https://www.youtube.com/user/umweltbundesamt)  
 [www.instagram.com/umweltbundesamt/](https://www.instagram.com/umweltbundesamt/)