

*Uwe Nestle**

Dezentrale Energiewende

Mehr regionale Autarkie oder Verzicht auf
neue Stromleitungen führt zu einem höheren Bedarf
von Windrädern

Abstract

Laut Koalitionsvertrag soll der Anteil der Erneuerbaren Energien bis 2030 auf 65% erhöht werden. Gleichzeitig wurde zumindest bis zur Novelle des EEG Ende 2020 der Ausbau der Windenergie dort begrenzt, wo Engpässe in den Stromleitungen drohen. Neue Hochspannungsgleichstromübertragungsleitungen sollen die Engpässe beseitigen. Neue Stromtrassen werden aber von einigen politischen Akteuren sehr kritisch betrachtet und teilweise abgelehnt, nicht zuletzt von manchen Umweltverbänden. Vor diesem Hintergrund werden in diesem Artikel drei wissenschaftliche Arbeiten ausgewertet. Ihnen sind konkrete Aussagen darüber zu entnehmen, inwiefern bei einem hohen Ökostromanteil aufgrund eines teilweisen Verzichtes auf neue Stromleitungen oder einer geographisch dezentralen Energiewende besonders viele Windenergieanlagen benötigt werden.

Dabei hat ein Mehrbedarf von Windrädern sowohl ökonomische als auch ökologische Auswirkungen, so dass zwei von drei Säulen der Nachhaltigkeit betroffen sind.

* Energie- und KlimaPolitik | Beratung (EnKliP).

1. Einführung

Die Energiewende und der Ausbau der Ökostromtechnologien müssen zahlreiche Anforderungen erfüllen. Beispiel Naturschutz: Zwar ist in der Wissenschaft kaum bestritten, dass eine auf Erneuerbaren Energien basierende Energieversorgung bei vernünftiger Ausgestaltung deutlich umweltfreundlicher ist als die bestehende. Kein Klimaschutz wäre aus ökologischer, sozialer und volkswirtschaftlicher Betrachtung die schlechteste Alternative. Dennoch sollte die Energiewende so umwelt- und naturfreundlich ausgestaltet werden wie möglich. Dies ist auch für die Sicherung der bestehenden hohen Akzeptanz zwingend notwendig.

Angesichts der anspruchsvollen Ziele des Pariser Klimaabkommens und der dramatischer werdenden Folgen der Erderhitzung müssen Energiewende und Ökostromausbau sehr schnell gehen. Dem wurde mit dem Ziel des Koalitionsvertrages, bis 2030 einen Ökostromanteil von 65 % zu erreichen, Rechnung getragen (CDU/CSU/SPD 2018, 71). Danach muss die Energiewende zügig fortgesetzt werden in Richtung einer erneuerbaren Vollversorgung im Strom-, Wärme- und Verkehrsbereich. Das Ziel aus der vorherigen Legislaturperiode lag bei nur 55-60% im Jahr 2035 (CDU/CSU/SPD 2013, 51). Verschiedene Organisationen wie Bündnis 90/Die Grünen (2017, 233), Die Linke (2019, 4), der Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland (BUND) (2017, 3), Fridays for Future (2019, 3) oder GermanZero (2019, 20) fordern einen noch schnelleren Ausbau. Selbst das zur Erreichung der Paris-Klimaziele unbedingt und mindestens umzusetzende 65%-Ziel dürfte dabei eine enorme Herausforderung darstellen.

Selbstverständlich müssen Energiewende und Ausbau der Ökostromtechnologien bezüglich Energiepreisen und zwangsläufig entstehendem Strukturwandel sozialverträglich sein. Die Konkurrenzfähigkeit der deutschen Wirtschaft darf nicht unangemessen beeinträchtigt werden. Auf diese beiden letzten Punkte wird im vorliegenden Artikel nicht eingegangen, sondern auf vorliegende Literatur verwiesen.¹

Bezüglich der Umwelt- und insbesondere Naturverträglichkeit steht bezüglich der Energiewende und dem Ausbau der Erneuerbaren Energien neben der Windenergie insbesondere der beschlossene Netzausbau in der Kritik (FA Wind 2020; Öko-Institut e.V. 2018b, 45). So fordern eine Reihe gesellschaftlicher Akteure einen möglichst dezentralen Ausbau der

¹ Siehe hierzu u.a. EnKliP 2016 und FÖS 2019.

Erneuerbaren Energien. Diese Forderung wird nicht nur mit einer möglichst hohen lokalen Wertschöpfung und einhergehenden Arbeitsplätzen vor Ort begründet, sondern häufig auch mit dem durch einen dezentralen Ausbau erhofften geringeren Bedarf des Ausbaus des Stromleitungsnetzes. So stellen unter anderem mehrere der größten deutschen Umweltverbände fest, dass der Netzausbau „aus ökologischen Gründen ... so gering wie möglich ausfallen“ sollte (Aktionsbündnis gegen die Süd-Ost-Trasse et al. 2018, 10). Laut Bund für Umwelt- und Naturschutz Deutschland (BUND) sollte die Stromnetzplanung der Bundesregierung „mit der Zielsetzung einer Minimierung der Ausbaus (des Stromnetzes) neu“ gestartet werden (BUND 2017, 34). Angesichts dieser Forderungen gewinnt die Frage an Relevanz, ob eine „Minimierung des Ausbaus des Stromnetzes“ eine Auswirkung auf die für die Erreichung der Klimaziele notwendigen Windenergieanlagen hat und wenn ja welche.

Denn nicht nur der Stromnetzausbau, sondern auch der Ausbau von Windenergieanlagen hat Auswirkungen auf Natur, Umwelt und Mensch. Diese sind bei der Windenergie deutlich stärker als bei der zweiten zentralen Ökostromtechnologie, der Photovoltaik. Daher wird im Weiteren der wichtige Zusammenhang zwischen der Anzahl der langfristig notwendigen – aus ökologischer Sicht besonderes relevanten – Windenergieanlagen auf der einen Seite und einem mehr oder weniger geographisch dezentralem Ausbau der Erneuerbaren Energien bzw. einem mehr oder weniger starken Stromnetzausbau auf der anderen Seite betrachtet.

2. Grundsätzliche Zusammenhänge

Folgende Gründe machen die Aussage plausibel, dass ein nicht strikt dezentraler Ökostromausbau bzw. ein angemessener Stromnetzausbau bei einem unterstellten Ökostromanteil tendenziell die notwendige Anzahl von Windenergieanlagen in Deutschland verringert. Dies sind v.a.:

- Bei einer stark regional ausgeprägten Energiewende ist zu beachten, dass aufgrund der durchschnittlich besseren Windverhältnisse eine Anlage mit gleicher installierter Leistung im Norden Deutschlands in der Regel spürbar mehr Strom erzeugt als eine Anlage im Süden (Consentec et al. 2017a, 4). Dies gilt im Durchschnitt auch dann, wenn die

Anlagen im Norden aufgrund von Netzengpässen häufiger abgeregelt werden müssen.

- Ferner werden im Süden in der Regel Windräder mit einer niedrigeren installierten Leistung gewählt. Denn nur dann kann bei durchschnittlich schlechteren Windverhältnissen im Süden eine Volllaststundenzahl erreicht werden, die eine Windenergieanlage wirtschaftlich macht (Deutsche WindGuard 2019, 6). Für die gleiche insgesamt installierte Leistung werden somit im Süden mehr Anlagen benötigt als im Norden.
- Nicht zuletzt sorgen zusätzliche Stromleitungen dafür, dass Windenergieanlagen seltener abgeregelt werden müssen. Dies führt dazu, dass Windenergieanlagen effizienter genutzt werden und damit mehr Strom erzeugen können. Erzeugen sie Strom für die Zwischenspeicherung, geht Strom verloren, da die Speicherung in jedem Fall zu Stromverlusten führt. Auch die Umwandlung von ansonsten abgeregeltem Ökostrom in grünen Wasserstoff ist ineffizienter als der direkte Verbrauch des Stroms.

Die beim Stromtransport über längere Strecken entstehenden Stromverluste sehen den o.g. Effekten entgegen, sind aber vergleichsweise gering. Sie können daher zunächst vernachlässigt werden – soweit sie in den hier betrachteten Studien nicht bereits berücksichtigt wurden.

3. Quantitative Aussagen der Literatur

Im Folgenden werden quantitative Aussagen aus der Literatur wiedergegeben, welche Folgen eine unterschiedliche geographische Verteilung der Windräder und unterschiedliche Szenarien des Stromnetzausbaus auf den jeweils notwendigen Windenergieausbau haben. Tabelle 1 in Abschnitt 4 fasst die im Folgenden genannten und erläuterten Zahlen zusammen.

3.1 Wimmer et al. (2014)

Der im Jahr 2014 erschienene Artikel betrachtet die Auswirkungen von unterschiedlich räumlich verteilter Windstromproduktion auf den Flexi-

bilitätsbedarf im deutschen Stromsystem (Wimmer, Heinemann und Bauknecht 2014).² Es werden zwei Szenarien analysiert, in denen im angenommenen Zieljahr 2030 jeweils 140 TWh Strom durch Windenergieanlagen an Land erzeugt werden.³ Damit kann bei einem häufig verwendeten Ökostrommix ein Ökostromanteil von rund 40 bis 45 % erreicht werden.

Im Szenario „Beste Standorte“ kommen fast ausschließlich Standorte in den Küstenländern zum Zuge. Nur rund 5 % der Anlagen stehen im Süden Deutschlands. Im Szenario „Gleichverteilung“ werden die Windenergieanlagen auf der verfügbaren Fläche so aufgeteilt, dass jeder Quadratkilometer dieselbe Jahreswindstromproduktion aufweist. Die installierte Leistung der Windenergieanlagen liegt bei der gleichmäßigen Verteilung mit 65 GW um 25 % über der des Szenarios mit den besten Standorten. Die Anzahl der Windenergieanlagen ist im Szenario mit gleicher Verteilung sogar um 38 % höher.⁴

3.2 N-Ergie 2016

Im Jahr 2016 erschien im Auftrag des regionalen Energieversorgers N-Ergie die Studie *„Dezentralität und zellulare Optimierung – Auswirkungen auf den Netzausbaubedarf“* (Prognos und FAU 2016). Sie untersucht in erster Linie die Auswirkungen unterschiedlicher Szenarien auf den notwendigen Leitungsausbau und die monetären gesamtgesellschaftlichen Kosten. In diesem Zusammenhang werden konkrete quantitative Aussagen zum Zusammenhang zwischen Leitungsausbau und notwendiger installierter Leistung von Ökostromanlagen gemacht, u.a. von Windenergieanlagen, die im vorliegenden Artikel betrachtet werden. In allen modellierten Szenarien kann mit den Erneuerbaren Energien die exakt gleiche Strommenge erzeugt werden. Aufgrund der Schwankungen bei den Abregelungen zwischen 3,6 und 7,4 % ergeben sich Ökostromanteile von 55

² Auf Basis der Studie Wimmer, D. O.: The Effect of Distributed Wind Production on the Necessary System Flexibility: in Germany in the Year 2030. Aalborg 2014.

³ Im Jahr 2019 erzeugte die Windenergie an Land bereits etwas über 100 TWh Strom (Agora Energiewende 2020, S. 20).

⁴ Zu den Gründen hierzu siehe Kapitel 2.

bis 60 % für das Jahr 2035. Dies entspricht den Zielsetzungen des damaligen Netzentwicklungsplans.

Die Szenarien unterscheiden sich insbesondere in der Verteilung der Ökostromanlagen in Deutschland. Zusätzlich werden Szenarien auf Grundlage des bestehenden einheitlichen deutschen Strommarktes und -preises sowie unter der Annahme eines Nodalpreissystems⁵ berechnet (Prognos und FAU 2016, 46).⁶ Als Ergebnis wird angegeben, wie viele der im Netzentwicklungsplan vorgesehenen neuen Leitungen in den einzelnen Szenarien verzichtbar und welche installierten Leistungen u.a. von Windenergieanlagen jeweils benötigt werden. Danach seien bei einem Ökostromanteil von maximal 60 % (bezogen auf das Jahr 2035) auch unter ungünstigen Bedingungen von den 15 im damaligen Netzentwicklungsplan geplanten neuen Leitungen nur 14 notwendig (Prognos und FAU 2016, 51).

Nach den Analysen kann auf eine weitere Leitung verzichtet werden, wenn eine optimale Auswahl der Standorte stattfindet. Diese wird im Modell nach ökonomischen Kriterien vorgenommen (Szenario MG_{EE}). Wird zusätzlich – im Vergleich zum theoretischen völligen Verzicht von Einspeisemanagement und Redispatch⁷ – ein optimiertes Einspeisemanagement und Redispatch unterstellt (Szenario MG_{EM&RD}), reduziert sich die Anzahl der notwendigen Leitungen auf nur noch 8 (Prognos und FAU 2016, 51). In diesen Szenarien ergeben sich kaum Auswirkungen auf die

⁵ In einem Nodalpreissystem entstehen in verschiedenen Regionen Deutschlands im Großhandel unterschiedliche Strompreise. Damit spiegelt der Strompreis beispielsweise wider, wenn dem insgesamt relativ geringen Stromverbrauch im Norden Deutschlands zu bestimmten Zeiten ein hohes Angebot von Windenergie gegenübersteht.

⁶ In dem in der Studie betrachteten Modellrahmen wurde eine wohlfahrtsoptimale Lösung durch ein Nodalpreissystem implementiert. In diesem System werden knotenscharfe Preise ermittelt, welche die Übertragungsgengpässe abbilden. Dadurch werden Netzengpässe bereits beim Stromhandel berücksichtigt, wodurch der Einsatz von Redispatch (siehe Fußnote 7) deutlich verringert wird (Prognos und FAU 2016, 46).

⁷ Beim Stromhandel in Deutschland wie in der EU wird unterstellt, dass der Strom von den Erzeugungsanlagen zum/zur Verbraucher_in transportiert werden kann. Dies ist allerdings technisch nicht immer möglich, da die notwendigen Stromnetzkapazitäten fehlen. Ist dies der Fall, sind Redispatch-Maßnahmen notwendig. Dabei werden Kraftwerke vor dem Netzengpass runter- und Kraftwerke nach dem Engpass hochgefahren. Die Betreiber der entsprechenden Kraftwerke werden entschädigt, die Kosten über die Netzentgelte überwälzt. Bei starker Einspeisung von Strom aus erneuerbaren Energien finden Redispatch-Maßnahmen häufiger statt.

insgesamt installierte Leistung von Windenergieanlagen an Land (Prognos und FAU 2016, 56). Auch die Verteilung der Anlagen innerhalb Deutschlands ändert sich nur unwesentlich.

Deutlich andere Ergebnisse ergeben sich bei der Unterstellung eines Nodalpreissystems. Schon mit einer optimierten Standortwahl kann so mit einer Ausnahme auf alle neuen Leitungen verzichtet werden (Szenario FB_{EE}). Allerdings erhöht sich im Vergleich zum einheitlichen Preissystem die installierte Leistung aller Windenergieanlagen an Land um knapp 18 GW auf rund 108 GW. Während die zusätzliche Optimierung von Einspeisemanagement und Redispatch (Szenario FB_{EM&RD}) keine weitere Leitung verzichtbar macht, steigt die nötige installierte Leistung von Windenergieanlagen um weitere rund 11 GW. In diesem Szenario steigt die notwendige installierte Leistung im Süden deutlich, allein in Bayern von rund 8 GW auf rund 21 GW (Prognos und FAU 2016, 59).⁸

Insbesondere wird in den Szenarien mit weniger Leitungsausbau deutlich weniger Offshore-Windenergie ausgebaut. Die nicht erzeugte Strommenge wird stattdessen vor allem durch Windenergieanlagen an Land Offshore gewonnen, deutlich weniger durch Solaranlagen. Die zusätzlichen Windenergieanlagen an Land müssen insbesondere im Süden Deutschlands errichtet werden, da angesichts des fehlenden Leitungsaubaus auch Strom von Windenergieanlagen an Land aus den nördlichen Bundesländern nicht nach Süden transportiert werden kann.

Es ist darauf hinzuweisen, dass in dieser Studie davon ausgegangen wird, dass bis zu einem Ökostromanteil von 55-60% im Süden noch überwiegend sehr gute Standorte verfügbar sind.⁹ Bei höheren Ökostromanteilen müssten dagegen auch schlechtere Standorte genutzt werden. Der Effekt von geringeren Volllaststunden und niedrigeren installierten Leistungen für Anlagen im Süden wird damit deutlich relevanter, je näher man an eine erneuerbare Vollversorgung kommt. Die durch einen geringeren Leitungsausbau zusätzlich notwendige Anzahl an Windenergieanla-

⁸ Für das Szenario FB_{EE} werden keine Angaben über die quantitative Verteilung auf die Bundesländer gemacht.

⁹ Der Bundestag hat den Bundesländern als Opt-in-Option ermöglicht, eine Abstandsregelung von mindestens 1.000 Metern für Windenergieanlagen zur Wohnbebauung zu einzuführen. Inwieweit die besten Standorte für Windenergieanlagen noch zur Verfügung stehen, wenn diese Option von den Bundesländern genutzt wird, kann hier nicht beurteilt werden.

gen steigt also überproportional, wenn der Ökostromanteil höher wird. Hinzu kommen mit höheren Ökostromanteilen bei geringerem Leitungsausbau steigende Abregelungen und Stromspeicherungen (Öko-Institut e.V. 2018b, 42).

3.3 BMWi

Im Jahr 2017 wurden Teile der neuen Langfristszenarien der Bundesregierung für die Transformation des Energiesystems in Deutschland veröffentlicht, beauftragt vom Bundeswirtschaftsministerium (Consentec et al. 2017a und b). In allen hier betrachteten Szenarien wird von einem gesamten Ökostromanteil von rund 90% im Jahr 2050 ausgegangen.¹⁰

Im „*Basisszenario*“ findet die Verteilung der Windräder an Land anhand einer Kostenminimierung statt, aufgrund derer bei stärkerem Leitungsausbau vor allem Standorte mit hohen Volllaststunden im Norden zum Zuge kommen (Consentec et al. 2017a, 1). Im „*Regionalszenario*“ wird die Verteilung der Windenergieanlagen regional vollständig festgelegt. Die Verteilung zwischen den Regionen entspricht dabei der Verteilung der bestehenden Windpotenziale mit Stand 2012. Ab 2013 wird – anders als in der Realität – der Zubau entsprechend der Annahmen in den Szenarien vorgenommen (Consentec et al. 2017a, 3).

Im Szenario „*Geringerer Netzausbau*“ (geNA) wird das Stromnetz spürbar weniger ausgebaut. Bereits heute in Bau befindliche Vorhaben und solche, deren Planung in der Folge gesetzlicher Bestimmungen bereits vorangeschritten ist, werden allerdings wie im Basis- und Regionalszenario als vorhanden angenommen (Consentec et al. 2017b, 2).¹¹ Die im Szenario geNA eingesparten Leitungen haben aber einen Preis. Während die an Land benötigte installierte Leistung an Windenergieanlagen im Regionalszenario im Vergleich zum Basisszenario um gut 6 GW auf

¹⁰ Im Rahmen dieser Studie wurde eine Anrechnung von EE-Stromimport auf das EE-Stromziel in einer maximalen Höhe von 10%-Punkten zugelassen.

¹¹ Dies sind hauptsächlich die Projekte des Gesetzes zum Ausbau von Energieleitungen (EnLAG), des Gesetzes über den Bundesbedarfsplan (BBPlG) und für das Ausland Projekte des Ten Year Network Development Plans (TYNDP). Diese befinden sich bereits in der Umsetzung bzw. deren Umsetzung wird als sehr wahrscheinlich angesehen.

knapp 82 GW steigt (Consentec et al. 2017a, 17, 21), werden im Szenario geNA insgesamt knapp 100 GW, also gut 24 GW installierte Leistung Windenergie an Land zusätzlich benötigt (Consentec et al. 2017b, 23). Auch hier ist zu beachten, dass die zusätzlich benötigte installierte Leistung bei geringerem Leitungsausbau vor allem im Süden Deutschlands installiert werden muss.

4. Ermittlung der notwendigen Windenergieanlagen

Während bei Wimmer et al. (2014) konkrete Angaben über die in den beiden untersuchten Szenarien jeweils notwendige Anzahl von Windenergieanlagen gemacht wird, ist dies bei N-Ergie (2016) und BMWi (2017) nicht der Fall. In diesem Artikel aber soll genau diese notwendigen Folge eines geographisch dezentraleren Ausbaus der Erneuerbaren Energien betrachtet werden: nämlich dass dann insgesamt mehr Windenergieanlagen benötigt werden. Daher werden im Folgenden die in den verschiedenen Szenarien von N-Ergie (2016) und BMWi (2017) notwendigen Windenergieanlagen abgeschätzt (Tabelle 1).

Verwendet wird dabei die durchschnittlich installierte Leistung von Windenergieanlagen in den beiden Szenarien von Wimmer et al. (2014). Diese betragen beim dort untersuchten Szenario „Beste Standorte“ 3,3 MW, beim Szenario „Gleichverteilung“ 3,0 MW. Zum Vergleich: Die durchschnittliche Leistung der im Jahr 2018 in Deutschland installierten Windenergieanlagen beträgt 3,233 MW, während die durchschnittlich in den nördlichen Bundesländern Schleswig-Holstein, Niedersachsen, Mecklenburg-Vorpommern, Hamburg und Bremen installierte Leistung 3,375 MW und die in den südlichen Bundesländern Bayern, Baden-Württemberg, Rheinland-Pfalz und dem Saarland 3,074 MW beträgt (Deutsche WindGuard 2019, 6). Vor dem Hintergrund, dass in den nördlichen Bundesländern viele der guten Standorte bereits vergeben sind, in den südlichen allerdings nicht, erscheinen somit die Annahmen in Wimmer et al. (2014) auch einige Jahre nach der Veröffentlichung noch realistisch.

Bei der Abschätzung der notwendigen Windenergieanlagen der Szenarien von N-Ergie (2016) und BMWi (2017) wurde für die am wenigsten

dezentralen Szenarien¹² die durchschnittliche Leistung von Windenergieanlagen des Wimmer-Szenarios „Beste Standorte“ verwendet. Für die de-

Tabelle 1: Annahmen und Ergebnisse der drei betrachteten wissenschaftlichen Veröffentlichungen

Szenario	EE-Stromanteil (%)	Installierte Leistung WEA (GW)	Anzahl WEA
<i>N-Ergie, Zellulare Optimierung (2016)</i>			
MG	55-60	79,17	23.990*
MG _{EE}	55-60	89,0	29.678*
MG _{EE&EM&RB}	55-60	88,8	28.195*
FB	55-60	79,17	23.990*
FB _{EE}	55-60	107,9	34.260*
FB _{EE&EM (und RD)}	55-60	119,0	39.872*
<i>BMWi, Langfristszenarien (2017)</i>			
Basisszenario	90	75,4	22.848*
Regionalszenario	90	81,6	25.909*
Geringerer Netzausbau (geNA)	90	99,7	33.246*
<i>Wimmer et al. (2014)</i>			
Beste Standorte	40-45	52,0	15.757
Gleichverteilung	40-45	65,0	21.675

* Eigene Berechnungen

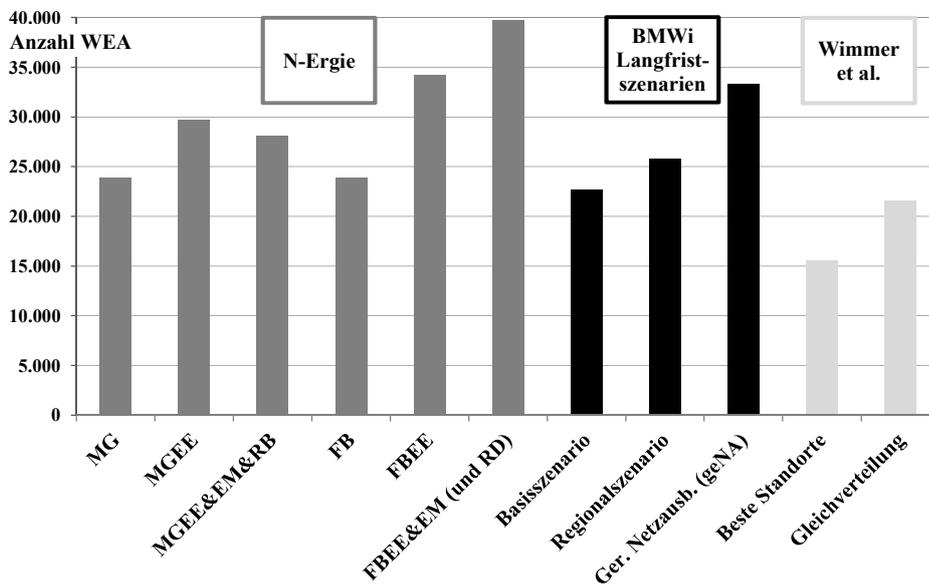
zentralsten Szenarien¹³ wurde die durchschnittliche Leistung des Wimmer-Szenarios „gleiche Verteilung“ verwendet. Für die übrigen, mittleren Szenarien wurde der Mittelwert der beiden Szenarien von Wimmer et al. (2014) verwendet. Die Ergebnisse werden in Abbildung 1 dargestellt.

¹² Für BMWi (2017) das Basisszenario und für N-Energie die Szenarien MG und FB.

¹³ Für BMWi (2017) das Szenario geringerer Netzausbau und für N-Ergie die Szenarien MG_{EE&EM&RB} und FB_{EE&EM (und RD)}.

Es wird deutlich, dass für die Umsetzung der besonders dezentralen Szenarien deutlich mehr Windenergieanlagen notwendig sind. Bei den dezentralsten Szenarien mit dem geringsten Netzausbau sind bei Wimmer et al. knapp 6.000, bei N-Ergie knapp 15.800 und beim BMWi rund 10.400 Windenergieanlagen zusätzlich notwendig.

Abb. 1: Anzahl der laut den betrachteten wissenschaftlichen Arbeiten und Szenarien notwendigen Windenergieanlagen an Land in Abhängigkeit vom Netzausbau



Anmerkung: Im Grundsatz sind die Szenarien mit den höheren Balken diejenigen mit einer höheren geographischen Dezentralität.

Quelle: eigene Berechnungen und Darstellung

Da in diesem Artikel teilweise mit relativ überschlägigen Annahmen gearbeitet werden musste und nur eine Abschätzung durchgeführt wurde, geben die o.g. Zahlen nur eine Größenordnung an. Zu beachten ist dabei, dass die Gründe, warum bei einem dezentraleren Ausbau der Erneuerbaren Energien und einem zurückhaltenden Stromnetzausbau mehr Windenergieanlagen notwendig sind, mit einem steigenden Ökostromanteil an Relevanz gewinnen (siehe oben) (Öko-Institut e.V., 2018b, 42). Die Sze-

narien von Wimmer et al. (2014) und N-Ergie (2016) betrachten allerdings nur Ökostromanteile von 40-45 bzw. 55-60%.

Darüber hinaus ist zu beachten, dass mindestens ein Großteil dieser zusätzlichen Windenergieanlagen in Süddeutschland stehen muss. Denn genau hier werden in den weniger geographisch dezentralen Szenarien aufgrund der schlechteren Windbedingungen im Süden weniger Anlagen vorgesehen. Das bedeutet, dass bei einer Umsetzung einer geographisch dezentraleren Energiewende bzw. einem verringertem Stromnetzausbau zur Einhaltung der Klimaschutzziele der Ausbau der Windenergie in Süddeutschland noch deutlich stärker beschleunigt werden muss als ohnehin dringend notwendig (Öko-Institut e.V. 2018a, 5). In der politischen Realität ist allerdings absehbar nicht zu erkennen, dass dies tatsächlich auch umgesetzt würde oder werden könnte. Erschwerend dürfte dabei die vom Bundestag beschlossene Regelung zu Mindestabständen zwischen Windenergieanlagen und Wohnbebauung sein (siehe Fußnote 9).

5. Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Sowohl die anfangs genannten grundsätzlichen Zusammenhänge als auch die quantitativen Aussagen der hier verwendeten wissenschaftlichen Veröffentlichungen machen deutlich, dass ein geographisch sehr dezentraler Ausbau der Erneuerbaren Energien zwangsläufig mit insgesamt spürbar mehr notwendigen Windenergieanlagen einhergeht. Dies ist umso mehr der Fall, wenn er mit einem reduzierten Stromnetzausbau verbunden wird. Es erscheint realistisch, dass unter solchen Bedingungen eine fünfstellige Zahl von Windenergieanlagen zusätzlich notwendig ist, wenn als Ziel eine zumindest annähernde erneuerbare Vollversorgung angestrebt wird. Andersherum: Mit weniger Dezentralität und mehr Stromleitungsausbau kann auf eine fünfstellige Zahl von Windenergieanlagen verzichtet werden.

Dieser Zusammenhang wird in der Debatte um eine (dezentrale) Energiewende in der Regel übersehen. Aus Sicht des Naturschutzes muss hier aber zwingend abgewogen werden. Konkret geht es darum, wie viele zusätzliche Windenergieanlagen aus Sicht des Naturschutzes einem konkreten Stromnetzausbau vorzuziehen sind. Dabei sollte beachtet werden, dass Hochspannungsgleichstromübertragungs-Leitungen (HGÜ-Leitungen) grundsätzlich unter der Erde verlegt werden können und damit potenziell

relativ geringe Naturschutzbeeinträchtigungen verursachen. Ferner beeinträchtigen sie das Landschaftsbild kaum.

Ein durch einen geographisch dezentraleren Ausbau vor allem im Süden notwendigen deutlich stärkerer Ausbau von Windrädern dürfte dabei neue gesellschaftliche Konflikte auslösen bzw. bestehende verstärken (Aktionsbündnis gegen die Süd-Ost-Trasse et al. 2018, 10; Öko-Institut e.V. 2018b, 42). Der Windenergieausbau kommt schließlich sowohl in Bayern als auch in Baden-Württemberg u.a. aufgrund massiver Widerstände kaum voran. Es ist vor diesem Hintergrund sehr fraglich, ob es gelingen kann, genau in diesen Bundesländern in einer sehr kurzen Zeit die bei einem geographisch dezentralen Ökostromausbau notwendige Anzahl neuer Windräder rechtzeitig zu errichten – und damit die Klimaziele zu erreichen.

Denn aus der Perspektive des Klimaschutzes ist es außerordentlich wichtig, wie schnell die Energiewende umgesetzt wird. Um die im Pariser Klimaabkommen gesetzten Ziele zu erreichen, muss die fossile Stromproduktion sehr schnell massiv zurückgedrängt werden. Vor diesem Hintergrund müssen so schnell wie möglich überall dort Windräder gebaut werden, wo Standorte gefunden und Projekte umgesetzt werden können – im Norden wie im Süden, und zunächst unabhängig von der Frage, ob dies dezentral stattfinden soll oder nicht. Sonst tendiert die Chance, das Paris-Ziel zu erreichen, tatsächlich gegen null. Diese Ökostromanlagen und der erzeugte Strom müssen dabei effizient genutzt werden. Abregelungen und Zwischenspeicherungen müssen also minimiert werden. Dies gilt auch dann, wenn dabei eine ansonsten möglicherweise bessere Verteilung von Windenergieanlagen nicht oder nicht sofort erreicht werden kann und möglicherweise mehr neue Stromleitungen gebaut werden müssen.

Unabhängig davon soll darauf hingewiesen werden, dass der Umfang des Ausbaus des Stromnetzes und die Anzahl der notwendigen Ökostromanlagen durch Steigerungen bei der Energieeffizienz gesenkt werden können – und sollten. Dies betrifft sowohl den traditionellen Strombereich als auch den künftigen Stromverbrauch im Wärme- und Verkehrsbereich.

Es wird angesichts der beschriebenen Problematik angeregt, diese wissenschaftlich intensiver zu untersuchen und die Ergebnisse in der Debatte um die (dezentrale) Energiewende angemessen zu würdigen. Es mag in dieser Debatte ferner hilfreich sein, die verschiedenen Arten einer dezentralen Energiewende zu betrachten. Dezentral kann – wie in diesem Artikel – geographisch gemeint sein. Aber auch die zehntausenden Windenergie-

anlagen und hunderttausenden Photovoltaikanlagen, die schon heute in allen Regionen Deutschland zu finden sind, sind dezentraler als die wenigen hundert nuklearen und fossilen Großkraftwerke, die durch die Erneuerbaren Energien ersetzt werden. Auch die Verwendung von nicht direkt in den traditionellen Strombereichen nutzbarem Strom z.B. im Wärmebereich oder zur Erzeugung von EE-Gas wird überwiegend dezentral stattfinden. Nicht zuletzt kann die Vielzahl von (wirtschaftlichen) Akteuren – statt den wenigen großen Stromversorgern – und die Bürgerenergie als Dezentralität verstanden werden. Deren aktive Teilhabe und die Teilhabe von Anwohnern kann in großem Maße unabhängig von einer geographischen Dezentralität umgesetzt werden (Öko-Institut e.V. 2018a, 4).

Literatur

Agora Energiewende (2020): Die Energiewende im Stromsektor: Stand der Dinge 2019. Berlin.

URL: https://www.agora-energiewende.de/fileadmin2/Projekte/2019/Jahresauswertung_2019/171_A-EW_Jahresauswertung_2019_WEB.pdf (zuletzt geprüft am 10.6.2020).

Aktionsbündnis gegen die Süd-Ost-Trasse et al. (2018): Projekt „Transparenz Stromnetze“. Interpretationen und Schlussfolgerungen der teilnehmenden gesellschaftlichen Akteure aus der gemeinsamen Arbeit im BMBF-Projekt „Erhöhung der Transparenz über den Bedarf zum Ausbau der Strom-Übertragungsnetze“. Berlin.

URL: http://www.transparenz-stromnetze.de/fileadmin/downloads/Schlussfolgerungen_Stakeholder.pdf (zuletzt geprüft am 04.08.2018).

BUND (2017): Konzept für eine zukunftsfähige Energieversorgung. Berlin.

URL: https://www.bund.net/fileadmin/user_upload_bund/publikationen/bund/position/zukunftsfaeheige_energieversorgung_position.pdf (zuletzt geprüft am 31.12.2019).

Bündnis 90 / Die Grünen (2017): Zukunft wird aus Mut gemacht. Bundestagswahlprogramm 2017. Berlin.

URL: https://cms.gruene.de/uploads/documents/BUENDNIS_90_DIE_GRUENEN_Bundestagswahlprogramm_2017_barrierefrei.pdf (zuletzt geprüft am 31.12.2019).

CDU/CSU/SPD (2013): Deutschlands Zukunft gestalten. Koalitionsvertrag zwischen CDU, CSU und SPD. Berlin.

URL: <http://www.cdu.de/artikel/der-koalitionsvertrag-von-cdu-csu-und-spd>
(zuletzt geprüft am 9.2.2020).

CDU/CSU/SPD (2018): Ein neuer Aufbruch für Europa. Koalitionsvertrag zwischen CDU, CSU und SPD. Berlin.

URL: https://www.spd.de/fileadmin/Dokumente/Koalitionsvertrag/Koalitionsvertrag_2018.pdf (zuletzt geprüft am 29.03.2018).

Consentec et al. (2017a): Langfristszenarien für die Transformation des Energiesystems in Deutschland. Modul 5. Berlin. Consentec, IFEU, ISI.

URL: <http://www.consentec.de/wp-content/uploads/2017/09/berichtsmodul-5-alternative-regionale-ee-verteilung.pdf>

Consentec et al. (2017b): Langfristszenarien für die Transformation des Energiesystems in Deutschland Studie. Modul 4. Berlin. Consentec, IFEU, ISI.

URL: <http://www.consentec.de/wp-content/uploads/2017/09/berichtsmodul-4-geringerer-ausbau-der-uebertragungsnetze.pdf>

Deutsche WindGuard (2019): Status des Windenergieausbaus an Land. Jahr 2018. Varel.

URL: <https://www.windguard.de/jahr-2018.html> (zuletzt geprüft am 09.02.2020).

Die Linke (2019): Klimagerechtigkeit. Das Klima retten, die Wirtschaft umbauen und das Leben besser machen. Berlin.

URL: <https://www.die-linke.de/fileadmin/download/themen/klima/Klimagerechtigkeit.pdf> (zuletzt geprüft am 31.12.2019).

EnKliP (2016): Energiewende und Kosten. Kritischer Überblick und Handlungsoptionen. Kiel.

URL: https://www.enklip.de/projekte_58_2225932476.pdf (zuletzt geprüft am 20.04.2019).

FA Wind (2020) Akzeptanz für Windenergie. Berlin.

URL: <https://www.fachagentur-windenergie.de/themen/akzeptanz.html>

FÖS (2019): Kostenersparnis durch den zusätzlichen Ausbau Erneuerbarer Energien. Berlin.

URL: http://www.foes.de/pdf/20191015_FOES-Analyse_EEsparen_Kosten_FINAL.pdf (zuletzt geprüft am 31.12.2019).

Fridays for Future (2019): Unsere Forderungen für den Klimaschutz. Berlin.

URL: <https://fridaysforfuture.de/wp-content/uploads/2019/04/Forderungen-min.pdf> (zuletzt geprüft am 31.12.2019).

GermanZero (2019): Der 1,5-Grad-Klimaplan für Deutschland. Berlin.

URL: https://germanzero.de/downloads/GermanZero_Klimaplan_191217_ES.pdf (zuletzt geprüft am 31.12.2019).

- Öko-Institut e.V. (2018a): Dezentralität, Regionalität und Stromnetze. Berlin.
URL: <https://www.oeko.de/fileadmin/oekodoc/Meta-Studie-Dezentralitaet-Regionalisierung-und-Stromnetze.pdf> (zuletzt geprüft am 31.12.2019).
- Öko-Institut e.V. (2018b): Transparenz Stromnetze. Stakeholder-Diskurs und Modellierung zum Netzausbau und Alternative. Berlin.
URL: http://transparenz-stromnetze.de/fileadmin/downloads/Oeko-Institut_2018_Transparenz_Stromnetze.pdf (zuletzt geprüft am 04.08.2018).
- Prognos und FAU (2016): Dezentralität und zellulare Optimierung – Auswirkungen auf den Netzausbaubedarf. Berlin und Nürnberg.
URL: https://www.n-ergie.de/public/remotemedien/media/n_ergie/internet/die_n_ergie/unternehmen_1/dezentralitaetsstudie/N-ERGIE_Studie_Zellulare_Optimierung_final.pdf (zuletzt geprüft am 28.12.2019).
- Wimmer, Damian; Heinemann, Christoph; Bauknecht, Dierk (2014): Die Auswirkung räumlich verteilter Windstromproduktion auf den Flexibilitätsbedarf im deutschen Stromsystem. In: Energiewirtschaftliche Tagesfragen 64 (12), 32-35.
URL: http://www.transparenz-stromnetze.de/fileadmin/downloads/Wimmer_et_al_2014_Raeumlich_verteilt_Windstromproduktion_Flexibilitaetsbedarf.pdf (zuletzt geprüft am 04.08.2018).