

Sektorkopplung durch die Energiewende: Warum wir weit mehr als 200 GW Photovoltaik für die deutsche Energiewende brauchen

Volker Quaschnig · Johannes Weniger · Joseph Bergner · Tjarko Tjaden

HTW Berlin · Wilhelminenhofstr. 75 A · 12459 Berlin

Tel.: 030/5019-3656, Fax: 030/5019-48-3656

E-Mail: volker.quaschnig@htw-berlin.de

Internet: <http://pvspeicher.htw-berlin.de/sektorkopplungsstudie>

Deutschland hat das Pariser Klimaschutzabkommen ratifiziert, dessen Ziel die Begrenzung der globalen Erwärmung auf möglichst 1,5 °C ist. Das dafür noch zulässige Kohlenstoffdioxidbudget wird selbst bei einem stetigen Rückgang der Emissionen voraussichtlich schon zwischen 2035 und 2040 erschöpft sein. Das bedeutet, die deutsche Energieversorgung muss spätestens im Jahr 2040 ganz ohne fossile Brennstoffe und Prozessmittel auskommen. Mit der derzeit angestrebten Reduktion der Treibhausgase um 80 bis 95 % bis 2050 ist eine Temperaturbegrenzung auf 1,5 °C praktisch unmöglich. Damit steht die aktuelle deutsche Energiepolitik im kras- sen Widerspruch zu den Klimaschutzbekenntnissen.

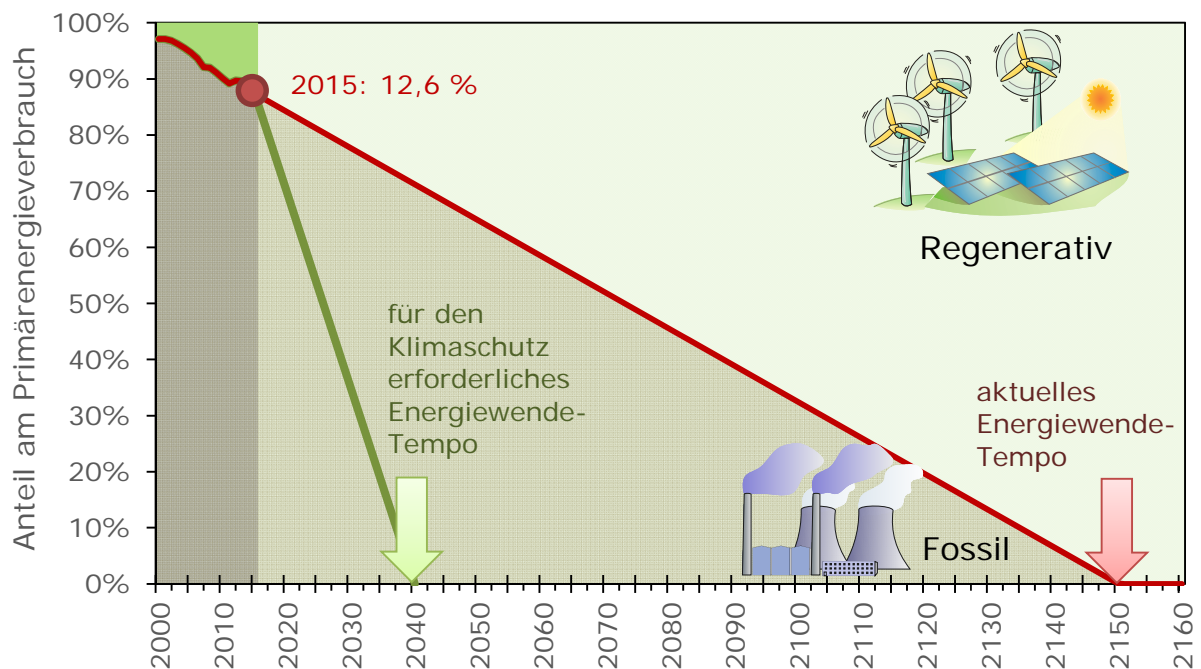


Bild 1 Bisherige Entwicklung des Anteils erneuerbarer Energien am Primärenergieverbrauch über alle Sektoren sowie Fortschreibung des aktuellen Energiewendetempos und Erfordernisse für den Klimaschutz

Bislang hat sich die deutsche Politik zwar eindeutig zum Pariser Klimaschutzabkommen und damit auch der Begrenzung des globalen Temperaturanstiegs auf 1,5 °C bekannt, aber nicht einmal ansatzweise die nötigen Schritte veranlasst, um dieses Ziel auch zu erreichen. Im Jahr 2016 betrug der Anteil regenerativer Energien am Primärenergieverbrauch in Deutschland, der alle Sektoren umfasst, gerade einmal rund 13 %. Das bedeutet, es fehlen noch über 87 % für eine erfolgreiche Energiewende. Wird das mittlere Ausbautempo erneuerbarer Energien von den Jahren 2000 bis 2015 weiter fortgesetzt, dauert die deutsche Energiewende noch weit über 100 Jahre (Bild 1). Um den Pariser Klimaschutzverpflichtungen gerecht zu werden, muss das derzeitige Tempo der Energiewende und damit der Umstieg auf erneuerbare Energien um den Faktor vier bis fünf gesteigert werden.

Wie sich dabei der Elektrizitätsbedarf entwickeln wird und welche Anteile davon durch die verschiedenen erneuerbaren Energien gedeckt werden müssen, wurde in der Sektorkopplungsstudie [HTW16] der HTW Berlin näher untersucht, deren zentrale Ergebnisse in diesem Beitrag vorgestellt werden.

Entwicklung des Strombedarfs in Deutschland

Wollen wir die Klimaschutzziele doch noch erreichen, muss die vollständige Dekarbonisierung nicht nur den Elektrizitätsbereich, sondern auch die Sektoren Wärme und Verkehr erfassen. Im Wärme- und im Verkehrsbereich wird derzeit der wesentliche Anteil des Energiebedarfs durch fossile Energieträger gedeckt.

Die Potenziale der Biomasse zur Herstellung regenerativer Treibstoffe sind in Deutschland begrenzt, da nicht ausreichend Flächen für eine signifikante nachhaltige Steigerung zur Verfügung stehen. Im Folgenden wird darum davon ausgegangen, dass der Anteil biogener Treibstoffe nicht weiter erhöht wird. Die bereits produzierten biogenen Treibstoffe sollen in den Bereichen Luft- und Schiffverkehr eingesetzt werden, in denen eine Dekarbonisierung die größte Herausforderung darstellt.

Daher muss der Individualverkehr künftig fast ausschließlich durch batteriebetriebene Elektrofahrzeuge bedient werden. Der LKW- und Busverkehr muss ebenfalls elektrifiziert werden. Da aufgrund der größeren Strecken hier Batteriefahrzeuge nur eingeschränkt möglich sind, ist eine Elektrifizierung wichtiger Fernstraßen mit Oberleitungen anzustreben. Ein Teil der Transportleistung im Schwerlastbereich kann auch mit Treibstoffen auf Basis von Power-to-Liquid erbracht werden. Auch eine deutliche Erhöhung des Schienengüterverkehrs erleichtert die Elektrifizierung.

Bei Straßenfahrzeugen kann von Produktzyklen von 15 Jahren ausgegangen werden. Daher wird empfohlen ab dem Jahr 2025 nur noch Neufahrzeuge im Straßenverkehr mit rein elektrischen Antrieben zuzulassen. Im Flug- und Schiffverkehr sind die Produktzyklen deutlich länger und technische Lösungen zur Elektrifizierung erheblich aufwändiger. Darum wird in diesem Bereich im Wesentlichen der Einsatz von Power-to-Liquid- und Biomassetreibstoffen vorgesehen.

Bei Berücksichtigung von Importen eines Teils der Power-to-Liquid-Treibstoffe beträgt der Inlandsstrombedarf für den gesamten Verkehrssektor bei Umsetzung der genannten Maßnahmen rund 200 TWh.

Im Wärmebereich kommt der Gebäudesanierung eine große Bedeutung zu. Prinzipiell ließe sich der Raumwärmebedarf durch optimale Dämmmaßnahmen und Wärmerückgewinnung um mehr als 80 % verringern. Eine durchschnittliche Reduzierung um mehr als 25 bis 50 % erscheint in einem Zeitraum von 25 Jahren allerdings

wenig realistisch. Soll der verbleibende fossile Endenergiebedarf im Wesentlichen durch Gas-Brennwertkessel gedeckt werden, die durch Gas aus Power-to-Gas-Anlagen versorgt werden, steigt der Strombedarf zur Herstellung des Gasbedarfs erheblich an. Deutliche Effizienzgewinne lassen sich hingegen künftig durch elektrische Wärmepumpen erreichen und damit der nötige Strombedarf signifikant reduzieren.

Im Folgenden wird allerdings davon ausgegangen, dass sich ein fast ausschließlicher Einsatz von Wärmepumpen und eine Halbierung des Wärmebedarfs in allen Gebäuden im anvisierten Zeitfenster nicht mehr umsetzen lassen. Darum entsteht auch bei ambitioniertem Einsatz von Effizienzmaßnahmen im Wärmebereich ein zusätzlicher Strombedarf, der mit 150 TWh deutlich über den theoretisch erreichbaren Werten liegt. Da bei Heizungssystemen von Produktzyklen von gut 20 Jahren ausgegangen werden muss, ist ein schnellstmögliches Verbot des Einbaus neuer Öl- und Gasheizungen sowie wärmegeführter KWK-Anlagen auf Erdgasbasis erforderlich, um eine vollständige Dekarbonisierung bis zum Jahr 2040 zu erreichen.

Für die Dekarbonisierung der Prozesswärme für Industrie und GHD wird ein zusätzlicher Strombedarf in der Größenordnung von 250 TWh unterstellt.

Durch den hohen Anteil fluktuierender erneuerbarer Energien ergibt sich ein stark gesteigerter Speicherbedarf. Neben Batterien muss er vor allem durch Speicher im vorhandenen Gasnetz gedeckt werden, die große Energiemengen aufnehmen und zeitlich ebenso wie räumlich verteilt wieder abgeben können. Um einen schnellen Kohleausstieg realisieren zu können, ist der Ausbau von Speichern von großer Dringlichkeit, um die Versorgungssicherheit letztendlich ohne fossile Backup-Kraftwerke sicherstellen zu können.

Durch den steigenden Speicherbedarf erhöht sich auch der Strombedarf durch Umwandlungs- und Speicherverluste um 20 %, sodass sich auch bei hoher Effizienz ein gesamter Elektrizitätsbedarf von 1320 TWh ergibt. Das ist mehr als das Doppelte des heutigen Strombedarfs. Die Werte der einzelnen Sektoren sind in Tabelle 1 und Bild 2 näher dargestellt.

Tabelle 1 Entwicklung des Strombedarfs für eine klimaneutrale Energieversorgung

Sektoren mit Effizienzmaßnahmen	TWh	Anteil
Stromverbrauch ohne weitere Sektorkopplung	500	37,9 %
Raumwärme und Warmwasser	150	11,4 %
Industrieprozesswärme von Industrie und GHD	250	18,4 %
Verkehr	200	15,2 %
Speicher- und Übertragungsverluste im Stromsektor	220	16,7 %
Summe	1320	100 %

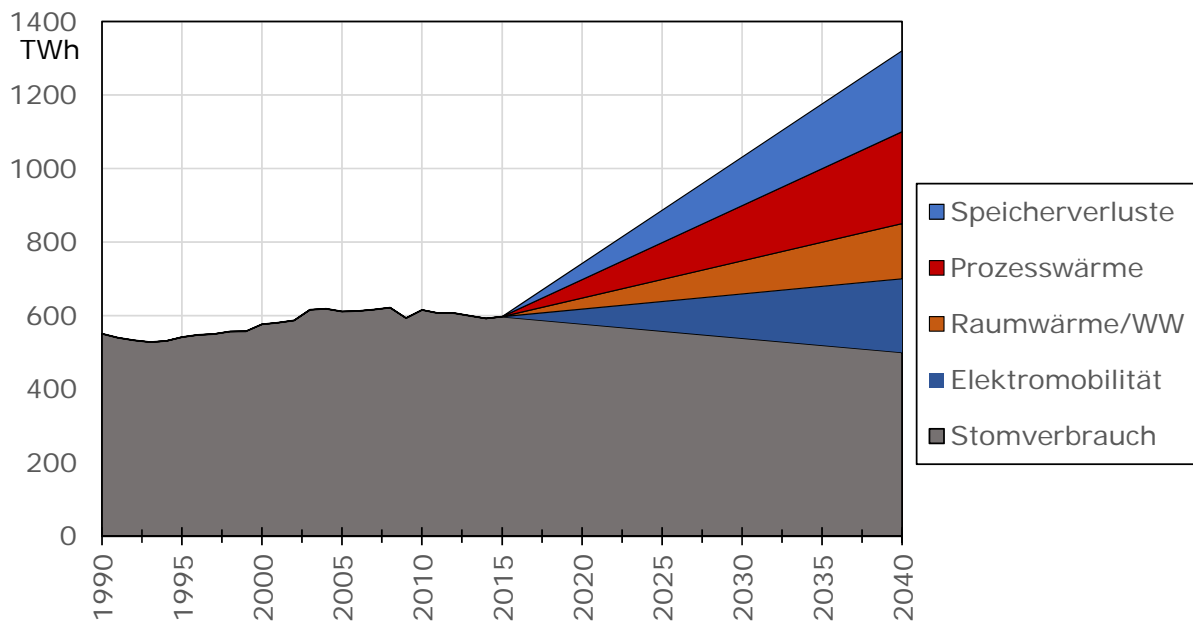


Bild 2 Entwicklung des Strombedarfs für eine klimaneutrale Energieversorgung (WW: Warmwasser)

Erforderliche Stromerzeugung aus regenerativen Energien

Die bisherigen Ergebnisse machen deutlich, dass für einen erfolgreichen Klimaschutz von einem deutlich steigenden Strombedarf auszugehen ist, der bereits im Jahr 2040 klimaneutral ausschließlich durch erneuerbare Energien gedeckt werden muss. Tabelle 2 zeigt, dass mit den Ausbauzielen des EEG 2017 bis zum Jahr 2040 lediglich eine regenerative Stromerzeugung von rund 350 TWh zu erwarten ist. Diese würde nicht einmal ausreichen, den heutigen Strombedarf klimaneutral zu decken, vom gesteigerten Strombedarf durch die Sektorkopplung ganz zu schweigen.

Tabelle 2 Entwicklung der regenerativen Stromerzeugung bis 2040 bei dauerhaftem Einhalten der EEG-Zielkorridore aus dem EEG 2017 [EEG16]

Erzeugung	Jährlicher Ausbau in GW	Installierte Leistung 2040 in GW ²⁾	Volllaststunden in h/a	Stromerzeugung 2040 in TWh ²⁾
Photovoltaik	2,5 (brutto)	50	950	48
Windkraft onshore	2,9 (brutto)	58	2500	145
Windkraft offshore ¹⁾	0,85 (netto)	24	4500	108
Biomasse	0,2 (brutto)	4	5500	22
Wasserkraft ¹⁾	0,05 (netto)	7	3800	27
Summe	6	187		350 (27 %)

¹⁾ Ausbauziele für Wind-Offshore: 6,5 GW bis 2020 und 15 GW bis 2030, keine Ziele für die Wasserkraft

²⁾ durchschnittliche Anlagenlebensdauer 20 Jahre

Da diese Zusammenhänge zumindest in groben Zügen den politisch Verantwortlichen bekannt sein sollten, kann entweder davon ausgegangen werden, dass das Verfehlen der Pariser Klimaschutzziele bewusst in Kauf genommen oder bereits jetzt auf eine nachträgliche Korrektur durch umfangreiche CCS-Maßnahmen (Carbon Dioxide Capture and Storage) gesetzt wird. Hier müsste das zu viel emittierte Kohlendioxid durch umstrittene, aufwändige und teure technische Maßnahmen wieder aus der Atmosphäre entfernt und sicher unter Tage endgelagert werden. Offen bleibt dabei die Frage, inwieweit es überhaupt möglich ist, mit CCS die Treibhausgaskonzentration wieder zu reduzieren. Daher ist es moralisch höchst fragwürdig, auf diese Verfahren zu setzen, ohne einen Versuch zu unternehmen, die Klimaschutzziele ohne CCS einzuhalten.

Im Folgenden soll der nötige Zubau erneuerbarer Kraftwerke bestimmt werden, mit dem ein erfolgreicher Klimaschutz auch ohne CCS-Maßnahmen gewährleistet werden kann. Bei der Onshore-Windkraft wird dabei unterstellt, dass aus Akzeptanzgründen maximal 2 % der Landesfläche Deutschlands für die Errichtung von Windkraftanlagen genutzt werden kann. Hierbei werden die Erkenntnisse der BWE-Potenzialstudie [BWE11] zugrunde gelegt. Die an Land installierbare Windkraftleistung beträgt darin rund 200 GW. Bis zum Jahr 2040 kann diese Leistung mit einem Nettozubau von rund 6,3 GW pro Jahr erreicht werden. Denkbar ist, durch größere Rotoren die Zahl der Volllaststunden weiter zu erhöhen und damit das Potenzial der Stromerzeugung noch etwas zu steigern. Dadurch ließen sich die Installationszahlen der Offshore-Windkraft und der Photovoltaik geringfügig reduzieren.

Bei der Photovoltaik wird unterstellt, dass gut 200 GW im Gebäudebereich installiert werden können. Wenn noch einmal die gleiche Menge im Freiflächenbereich installiert wird, wodurch inklusive Abstandsflächen rund 1 % der Landesfläche benötigt würden, ergibt sich bei einem Nettozubau von 15 GW pro Jahr eine installierte Photovoltaikleistung von 415 GW bis zum Jahr 2040.

Der Biomasseanteil wird durch den weiteren Zubau weitgehend konstant gehalten, wobei die heutigen Anlagen sukzessive durch flexiblere Anlagen mit deutlich geringen Volllaststunden ersetzt werden. Hierdurch können die Möglichkeiten der Biomasse, einen Beitrag zum Ausgleich von Fluktuationen zu leisten, deutlich gesteigert werden. Die Ausbaumöglichkeiten der Wasserkraft in Deutschland sind sehr begrenzt, sodass mit keinem nennenswerten Beitrag für eine schnelle Dekarbonisierung zu rechnen ist.

Der verbleibende Strombedarf muss dann durch die Offshore-Windkraft gedeckt werden. Mit einem Nettozubau von 2,9 GW pro Jahr können bis zum Jahr 2040 insgesamt 76 GW an installierter Leistung errichtet werden. Das Verhältnis der Stromerzeugung der Windkraft zur Photovoltaik beträgt dann rund zwei zu eins. Dies ist ein guter Wert, um den saisonalen Speicherbedarf gering zu halten, da die Photovoltaik im Sommer und die Windkraft im Winter jeweils höhere Deckungsbeiträge liefern.

Tabelle 3 fasst die Überlegungen zusammen. Die Werte für die installierte Leistung liegen dabei etwas über den Werten von [ISE12; ISE15], wobei in [ISE12] der Verkehrssektor nicht berücksichtigt und in [ISE15] keine vollständige Dekarbonisierung erreicht wurde. Insofern ist die Höhe der erforderlichen Leistung bereits durch mehrere Studien abgesichert. Bild 3 stellt die resultierende regenerative Erzeugung dem ermittelten Strombedarf gegenüber.

Prinzipiell sind auch unter den einzelnen regenerativen Erzeugungsmöglichkeiten noch leichte Verschiebungen möglich. Die generelle Größenordnung des erforderlichen Ausbaus wird sich dadurch aber kaum ändern.

Tabelle 3 Entwicklung der regenerativen Stromerzeugung bis 2040 zum Erreichen einer klimaneutralen Energieversorgung

Erzeugung	Jährlicher Ausbau in GW	Installierte Leistung 2040 in GW ¹⁾	Volllaststunden in h/a	Stromerzeugung 2040 in TWh
Photovoltaik	15,0 (netto)	415	950	394 (30 %)
Windkraft onshore	6,3 (netto)	199	2500	498 (38 %)
Windkraft offshore	2,9 (netto)	76	4500	343 (26 %)
Biomasse	1 (brutto)	20	2750	58 (4 %)
Wasserkraft	0,05 (netto)	7	3800	27 (2 %)
Summe	25,25	717		1320 (100 %)

¹⁾ bei einer durchschnittlichen Anlagenlebensdauer von 20 Jahren

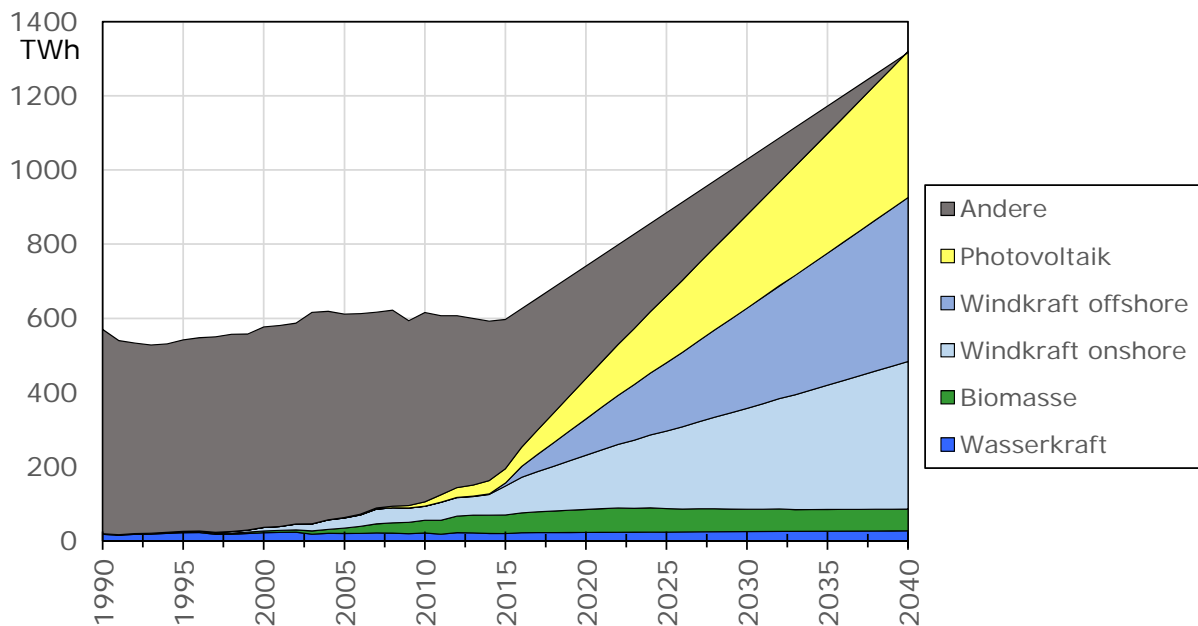


Bild 3 Entwicklung der regenerativen Stromerzeugung und des Stromverbrauchs bis 2040 zum Erreichen einer klimaneutralen Energieversorgung

Die nötige regenerative Gesamtleistung von 717 GW wird den durchschnittlichen Lastbedarf von etwa 150 GW erheblich übersteigen. Die aktuelle Diskussion um den Übertragungsleitungsbau geht damit völlig am Bedarf vor. Werden allerdings nicht schnellstmöglich die erforderlichen Speicherkapazitäten geschaffen, lässt sich eine sichere und klimaneutrale Energieversorgung in Deutschland nicht realisieren.

Vergleicht man den für den Klimaschutz benötigten Ausbaupfad mit den aktuellen Zielkorridoren, zeigt sich eine enorme Diskrepanz. Je länger mit dem schnellen Hochfahren des Ausbaus erneuerbarer Energien gewartet wird, umso schwieriger wird das Einhalten der Klimaschutzziele.

Fazit

Mit den aktuellen Reduktionszielen der Bundesregierung für Treibhausgase von nur 80 bis 95 % bis zum Jahr 2050 lässt sich die im Pariser Klimaschutzabkommen geforderte Begrenzung der globalen Erwärmung auf möglichst 1,5 °C nicht erreichen. Mit den aktuellen Zielkorridoren des EEG sind selbst diese niedrigen Treibhausgas-minderungen nicht einmal ansatzweise einzuhalten. Da durch den zusätzlichen Strombedarf in den Sektoren Verkehr und Wärme der Strombedarf künftig deutlich ansteigen wird, lässt sich mit den aktuellen Ausbauzielen des EEG bis 2040 nur ein regenerativer Anteil der Stromversorgung von 27 % erreichen.

Die Onshore-Windkraft hat hinsichtlich der Volllaststunden gegenüber der Photovoltaik Vorteile, ist aber vom Standortpotenzial her begrenzt. Eine Onshore-Windkraftleistung oberhalb von 200 GW scheint aus Akzeptanzgründen kaum realisierbar. Auch die Offshore-Windkraft stößt hinsichtlich kostengünstiger Standorte und vor allem des zu erwartenden Leitungsbedarfs an ihre Grenzen. Darum wird die Photovoltaik künftig mindestens 30 % des zu erwartenden Strombedarfs decken müssen. Hierfür ist eine installierte Leistung von über 400 GW erforderlich. Vor diesem Hintergrund sollte schnellstmöglich in die Diskussion eingestiegen werden, wie der Photovoltaikzubau geordnet auf mindestens 15 GW pro Jahr hochgefahren und wie diese Leistung optimal ins Netz eingebunden werden kann. Und es ist Zeit, dass die Solarbranche endlich auch selbst flächendeckend die für den Klimaschutz erforderlichen Ausbauziele einfordert. Wenn die Branche selbst nicht an die Realisierung derartiger Ausbaumengen glaubt, wie können wir dann das Umsetzen von der Politik erwarten?

Literatur

- [BWE11] Bundesverband Windenergie (BWE), Hrsg.: Potenzial der Windenergienutzung an Land. Berlin: BWE, 2011
- [EEG16] Deutscher Bundestag: Gesetz zur Einführung von Ausschreibungen für Strom aus erneuerbaren Energien und zu weiteren Änderungen des Rechts der erneuerbaren Energien vom 13.10.2016. Bundesgesetzblatt 2016 Teil I Nr. 49, S. 2258-2357
- [HTW16] Hochschule für Technik und Wirtschaft HTW Berlin / Volker Quaschnig: Sektorkopplung durch die Energiewende. Berlin 2016
<http://www.pvspeicher.htw-berlin.de/sektorkopplungsstudie>
- [ISE12] Henning, Hans-Martin; Palzer, Andreas, Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme (ISE): 100 % Erneuerbare Energien für Strom und Wärme in Deutschland. Freiburg: ISE, 2012
- [ISE15] Henning, Hans-Martin; Palzer, Andreas, Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme (ISE): Was kostet die Energiewende? Wege zur Transformation des deutschen Energiesystems bis 2050. Freiburg: ISE, 2015