

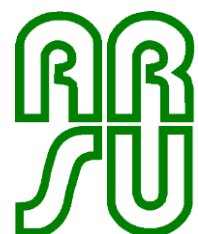
Maritime Wasserstoffwirtschaft: Eine energiewirtschaftliche Einordnung



Quelle: bremenports

Januar 2016

ARSU GmbH
Escherweg 1
26121 Oldenburg



ARSU GmbH

Arbeitsgruppe für regionale Struktur- und Umweltforschung GmbH
Escherweg 1, 26121 Oldenburg
Postfach 11 42, 26001 Oldenburg

Tel. +49 441 971 74 97

Fax +49 441 971 74 73

www.arsu.de

info@arsu.de

Bearbeiter:

Ulrich Scheele & Silke Badewien

Stand:

Januar 2016

INHALT

1	Einleitung	7
2	Die Metropolregion Bremen-Oldenburg im Nordwesten.....	9
3	Potenziale und Produktion erneuerbarer Energien in der Untersuchungsregion	12
3.1	Offshore-Windenergie	13
3.2	Onshore-Windenergie	14
3.3	Photovoltaik	15
3.4	Biomasse	16
4	Entwicklungstrends der erneuerbaren Energien bis 2030	17
4.1	Offshore-Windenergie	17
4.2	Onshore-Windenergie	18
4.3	Photovoltaik	20
4.4	Biomasse	20
4.5	Wasserkraft	20
4.6	Meeresenergie.....	21
4.7	Geothermie	21
4.8	Ausbaupfade erneuerbarer Energien: Regulative Rahmenbedingungen	22
5	Abschätzung der Überschusskapazitäten: Konkurrenz der Flexibilitätsoptionen	27
5.1	Rolle der Flexibilitätsoptionen	29
5.2	Flexibilitätsbedarf.....	33
5.3	Regionale Flexibilitätsoptionen.....	37
6	Alternative Antriebstechnologien und Kraftstoffe im Transportsektor	39
6.1	Entwicklung des Energieverbrauchs und der Schadstoffemissionen im Verkehrssektor	40
6.2	Neue Technologien in der maritimen Wirtschaft	44
7	Nachhaltige Entwicklung von Seehäfen.....	51
8	Zusammenfassung und Handlungsempfehlungen	54
	Anhang.....	56
	Literatur	59

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abb. 1: Die Metropolregion Bremen-Oldenburg im Nordwesten	9
Abb. 2: Logistikstandort Metropolregion Bremen-Oldenburg im Nordwesten.....	10
Abb. 3: In Betrieb befindliche Windparks in der Nordsee, Stand Februar 2015	13
Abb. 4: Offshore-Windenergieanlagen in der Nordsee, Stand 30. Juni 2015.....	14
Abb. 5: Windenergieanlagenstandorte in Nordwestniedersachsen.....	15
Abb. 6: Biogasanlagenstandorte in Nordwestniedersachsen.....	16
Abb. 7: Installierte und im Bau befindliche Windparks in der Nordsee, Stand Februar 2015	17
Abb. 8: Windenergiepotenzial in Niedersachsen	19
Abb. 9: Verteilung guter Standorte für die Windenergienutzung in Deutschland.....	19
Abb. 10: Merkmale von Wasserkraftwerken.....	21
Abb. 11: Klimapolitische Ziele der Bundesregierung	22
Abb. 12: Ermittlung der Ausschreibungsmenge für Onshore-Windenergie	25
Abb. 13: Die Transformation des Stromsystems – schematische Darstellung der wichtigsten Zusammenhänge	27
Abb. 14: Netzausbauplanungen	30
Abb. 15: Flexibilisierungs- und Integrationsoptionen im Elektrizitätssystem	32
Abb. 16: Regionale Schwerpunkte von Redispatch-Maßnahmen.....	35
Abb. 17: Abschätzung der Stromüberschüsse (Flexibilitäts- und Speicherbedarf) in Deutschland bis 2050	36
Abb. 18: Negative Residualenergie nach Bundesländern.....	38
Abb. 19: Gegenüberstellung der bisherigen und der zur Zielerreichung notwendigen Veränderungen ausgewählter Zielwerte bis 2020	40
Abb. 20: Deutsche Seehäfen Umschlagsentwicklung und Marktanteile nach Seegebiet	41
Abb. 21: Entwicklung des gesamten Primärenergieverbrauchs im Verkehrssektor	42
Abb. 22: Entwicklung des spezifischen Energieverbrauchs im Verkehrssektor	42
Abb. 23: Entwicklung des Endenergieverbrauchs im Verkehr in Deutschland von 1991 bis 2014 sowie Ziele für 2020 und 2050.....	43
Abb. 24: Entwicklung der CO ₂ Emissionen in der Seeschifffahrt	44
Abb. 25: Modell einer autarken Wasserstoffproduktion aus erneuerbaren Energien	46
Abb. 26: Zielsteckbrief – Anteil erneuerbarer Energien im Verkehrsbereich	47

Abb. 27: Entwicklung des Anteils verschiedener Kraftstoffe am Endenergieverbrauch des Schifffahrtssektors.....	49
Abb. 28: Handlungsspielräume von Hafenbetreibern	53

TABELLENVERZEICHNIS

Tab. 1: Wirtschaftsfelder und Beschäftigung in der Metropolregion.....	10
Tab. 2: Seehäfen in der Metropolregion.....	11
Tab. 3: Stromspeicher im engeren Sinne und weitere Flexibilitätsoptionen.....	32
Tab. 4: Quantitative Ziele der Energiewende	39
Tab. 5: Treiber der Entwicklung erneuerbarer Energien in der maritimen Wirtschaft.....	49
Tab. 6: Erneuerbare Energien in der der Metropolregion Bremen-Oldenburg im Nordwesten, Stand 22.03.2015.....	71

1 Einleitung

Die Schifffahrtsindustrie und die Seehäfen sind wichtige Bestandteile globaler Handelsströme und für ein exportorientiertes Land wie die Bundesrepublik von zentraler gesamtwirtschaftlicher Bedeutung. Häfen und der Bereich der Logistik stellen daneben in den Küstenregionen einen bedeutenden Wirtschaftsfaktor von hoher arbeitsmarktpolitischen Relevanz dar.

Gleichzeitig rücken aber auch die Umweltbelastungen dieses Sektors in den Vordergrund. Dabei spielen vor allem die lokalen Umweltbelastungen durch den Schiffsverkehr und Hafenbetrieb eine Rolle, aber auch der Beitrag der internationalen Schifffahrt zur Emission von Treibhausgasen und damit zum Klimawandel rückt zunehmend in den Fokus der Debatte.

Es gibt in der Zwischenzeit zahlreiche gesetzliche Vorgaben auf nationaler und internationaler Ebene und vielfältige freiwillige Initiativen, mit denen das Ziel verfolgt wird, langfristig einen umweltverträglichen und nachhaltigen Transportsektor zu erreichen. Die Transformation des Sektors gestaltet sich dabei nicht einfach, vor allem auch vor dem Hintergrund der komplexen Akteurskonstellation. Eine besondere Aufgabe wird in diesem Zusammenhang auch den Häfen zugewiesen, die den Kern für innovative Prozesse bilden sollen.

Im Kontext der Debatte über einen nachhaltigen Transportsektor ist auch die Frage nach den Potenzialen eines Umstiegs auf alternative Treibstoffe zu sehen. Neben dem Einsatz von LNG (engl. liquified natural gas) wird zumindest langfristig auch die Wasserstofftechnologie als eine Option speziell auch für die Seeschifffahrt betrachtet. Es gibt dazu bereits viele Studien und Konzepte, oft verbleiben sie aber auf einem abstrakten Niveau oder legen den Fokus lediglich auf die technischen Lösungen.

Im Rahmen des Projektes „Maritimer Wasserstoffwirtschaft“ wird der Versuch unternommen, das Thema in einer konkreten Region zu positionieren und den Rahmen für zukünftige Aktivitäten vorzugeben. Die Metropolregion Bremen-Oldenburg ist nicht nur eine geeignete Untersuchungsregion aufgrund ihrer herausgehobenen Stellung als Logistikkdrehscheibe, sondern auch weil sie sich in den letzten Jahren zu einer der führenden Energieregionen in Deutschland entwickelt hat und damit die günstigsten Voraussetzungen für die „grüne“ Wasserstoffproduktion vorliegen.

In der vorliegenden Kurzstudie wird eine Einordnung der Wasserstoffwirtschaft in den aktuellen energie- und klimapolitischen Kontext vorgenommen und potenzielle Handlungsstrategien diskutiert.

Das 2. Kapitel informiert über die Metropolregion Bremen-Oldenburg. Daten und Fakten zu Wirtschaft, Industrie und Logistik stellen die Struktur in der Metropolregion vor.

Kapitel 3 beschreibt die derzeitigen Potenziale der erneuerbaren Energien allgemein und in der Metropolregion. Der Schwerpunkt liegt hier auf den bekanntesten erneuerbaren Energien Offshore- und Onshore-Windenergie, Photovoltaik und Biomasse. Das Kapitel 4 gibt einen Ausblick auf die Entwicklungstrends der erneuerbaren Energien für die nächsten Jahrzehnte. Neben den bekanntesten EE (Erneuerbare Energie) werden hier auch kurz die Energiepotenziale aus Wasserkraft, Meeresenergie und Geothermie behandelt.

Inwieweit diese Mengen erneuerbarer Energien dann auch tatsächlich langfristig für die Produktion von Wasserstoff zur Verfügung stehen, ist ganz entscheidend von der zukünftigen Entwicklung des Energiesystems abhängig. Der Ausbau erneuerbarer Energien und der wachsende Anteil am Energiemix stellen neue Anforderungen an das System zur Gewähr-

leistung der Systemsicherheit. Der notwendige Ausgleich von Angebot und Nachfrage nach Strom unter den Bedingungen fluktuierender Einspeisung kann dazu führen, dass es zu einem Überangebot an Strom kommt und möglicherweise aus Gründen der Systemstabilität auch EE-Anlagen heruntergeregelt werden müssen. In der Nutzung dieses überschüssigen Stroms für die Produktion von Wasserstoff kann daher eine sinnvolle und nachhaltige Strategie gesehen werden.

Der Umgang mit dieser negativen Residuallast ist von einer Vielzahl von Faktoren und sich ändernder Rahmenbedingungen abhängig. Eine solche Abschätzung der zukünftigen Potenziale kann im Rahmen dieser Untersuchung an dieser Stelle nicht geleistet werden. Kapitel 5 versucht aber eine qualitative Bewertung vor dem Hintergrund der aktuellen energiepolitischen Debatte und unter Auswertung vorhandener Studien und Gutachten.

Wichtige Impulse für die Entwicklung neuer Treibstoffkonzepte ergeben sich aus der umwelt- und klimapolitischen Perspektive. Kapitel 6 gibt einen kurzen Überblick über die umweltpolitischen Dimensionen und skizziert den Handlungsbedarf. Kapitel 7 geht daneben kurz auf die Rolle von Häfen in diesem Transformationsprozess ein.

Im Schlusskapitel 8 werden die Ergebnisse kurz zusammengefasst und einige Handlungsempfehlungen für die weiteren Arbeiten an einer gemeinsamen Wasserstoffstrategie skizziert.

2 Die Metropolregion Bremen-Oldenburg im Nordwesten

Die Metropolregion Bremen-Oldenburg liegt im Nordwesten Niedersachsens und umfasst die Landkreise Friesland, Ammerland, Cuxhaven, Wesermarsch, Osterholz, Cloppenburg, Oldenburg, Verden, Diepholz, Vechta und Osnabrück, die kreisfreien Städte Wilhelmshaven, Delmenhorst und Oldenburg sowie die Stadtgemeinden Bremen und Bremerhaven. Etwa 2,72 Millionen Einwohner leben hier auf einer Fläche von gut 13.700 km² (Metropolregion Bremen-Oldenburg im Nordwesten e.V. 2014).



13.749 km²
Fläche

2,72 Mio.
Einwohner (31.12.2010)

918.849
sozialversicherungspflichtig
Beschäftigte (2011)

68.580 Mio. €
Bruttowertschöpfung (2010)

11,97 Mio. touristische Über-
nachtungen (in Betrieben mit
mehr als 9 Betten)(2012)

53.482 Studierende im Win-
tersemester 2011/2012

Abb. 1: Die Metropolregion Bremen-Oldenburg im Nordwesten

(Metropolregion Bremen-Oldenburg im Nordwesten e.V. o. J., Metropolregion Bremen-Oldenburg im Nordwesten e.V. 2014)

Neben den Landkreisen, kreisfreien Städten und Stadtgemeinden sind weitere Einrichtungen Mitglied in der Metropolregion Bremen-Oldenburg. Dazu zählen die Industrie- und Handelskammern (IHK) Bremerhaven, Oldenburg, Hannover, die IHK Osnabrück-Emsland-Grafschaft Bentheim sowie die IHK Stade für den Elbe-Weser-Raum, die Handelskammer Bremen und die Länder Bremen und Niedersachsen (Metropolregion Bremen-Oldenburg im Nordwesten e.V. 2014).

Die Kompetenzfelder der Metropolregion liegen in verschiedenen Wirtschaftsfeldern, die jeweils mit einer hohen Beschäftigungswirkung verbunden sind (vgl. Tab. 1).

Tab. 1: Wirtschaftsfelder und Beschäftigung in der Metropolregion

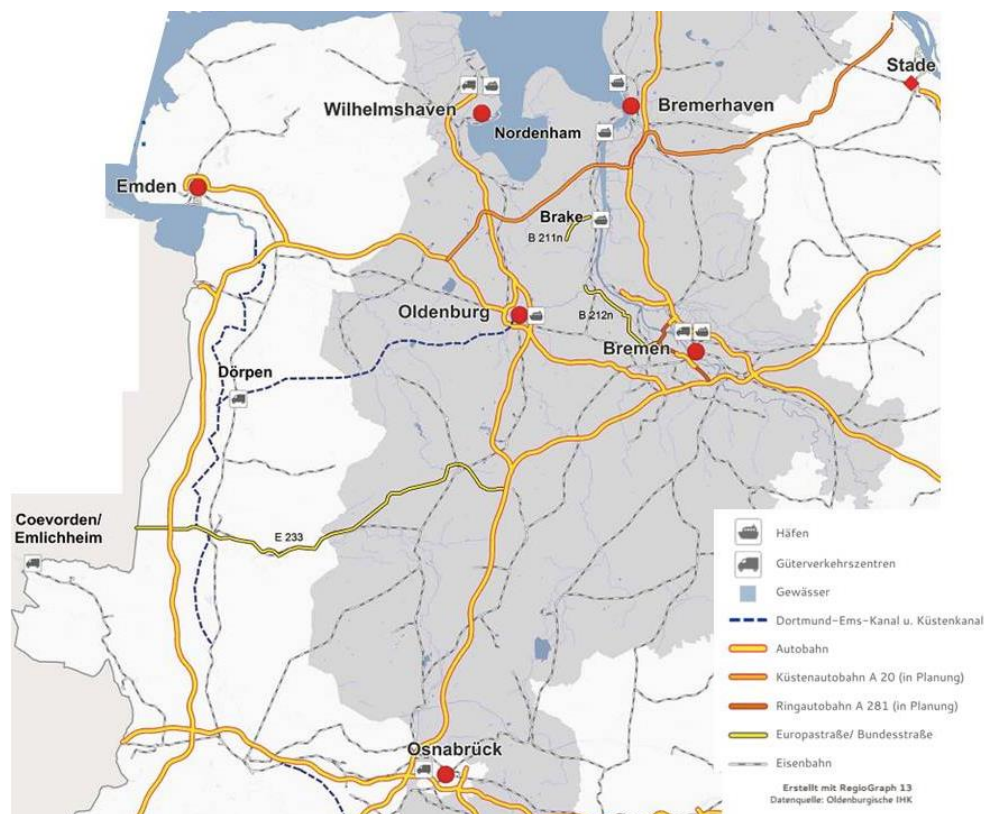
Quelle: IHK Bremerhaven 2013

Wirtschaftsfeld	Anzahl Beschäftigte
Agrar- und Ernährungswirtschaft	Mehr als 156.000
Automotive	Mehr als 72.000
Energiewirtschaft	Mehr als 30.000
Gesundheitswirtschaft	Mehr als 152.000
Luft- und Raumfahrt	Mehr als 20.000
Maritime Wirtschaft und Logistik	Mehr als 115.000

Im Bereich Wissenschaft und Forschung sind in der Metropolregion zahlreiche Einrichtungen vorhanden. Zu den 17 Hochschulen zählt neben der Exzellenzuniversität Bremen auch die European Medical School, ein deutsch-niederländisches Kooperationsprojekt der Universitäten Oldenburg und Groningen. Weiterhin sind verschiedene universitäre und außeruniversitäre Forschungseinrichtungen in der Region vorhanden, darunter verschiedene Helmholtz-, Fraunhofer- und Leibniz-Institute sowie mehrere Bundesforschungseinrichtungen (Metropolregion Bremen-Oldenburg im Nordwesten e.V. 2014).

Industrie und Logistik

Die Metropolregion Bremen-Oldenburg hat sich in den letzten Jahrzehnten als bedeutender Logistikstandort etabliert. Über die Seehäfen, Güterverkehrs- und Luftfrachtzentren verfügt die Region über gute Anbindungen an internationale Verkehrswege und Logistikketten.

**Abb. 2: Logistikstandort Metropolregion Bremen-Oldenburg im Nordwesten**

Quelle: verändert nach IHK Bremerhaven 2013

Vor allem die sieben Seehäfen übernehmen eine wichtige wirtschaftliche Funktion in der Metropolregion. Sie dienen als Schnittstelle zwischen dem Transport über Land und über Wasser und verbinden den Nordwesten über die Binnenwasserstraßen mit den internationalen Güterverkehrswegen.

Tab. 2: Seehäfen in der Metropolregion

Quellen: IHK Bremerhaven 2013, Seaports Niedersachsen o. J., MW 2014, Seestadt Bremerhaven 2015, bremenports o. J.

Seehäfen	Größe	Umschlag	Spezialisierung
Brake	110 ha Land- und 20 ha Wasserfläche	Gesamtumschlag* 2013: 6.711.892 t	Agrar-/Schüttgüter, Stahl- und Projektladung, Forstprodukte, Windkraft, Schwefel; nur geringer Container-Umschlag
Bremen	k. A.	2014: 12.861.000 t	Stückgüter, Schwergüter, Massengüter
Bremerhaven	780 ha	2012: mehr als 6 Mio. Standardcontainer; 2014: 65.399.000 t	Viertgrößter Containerhafen Europas; Export und Import deutscher Autokonzerne
Cuxhaven	307 ha Land- und 187 ha Wasserfläche	Gesamtumschlag* 2013: 2.706.020 t	Mehrzweckhafen; Stückgut, Kraftfahrzeuge, Fischwaren, Schwergüter, Windkraft
Nordenham	k. A.	Gesamtumschlag* 2013: 3.841.971 t	Kohle, Holz, Eisen- und Stahlprodukte, Mineralölprodukte, Erze, rollende Ladung
Oldenburg	k. A.	Gesamtumschlag* 2013: 1.163.171 t	Futtermittel, Getreide, Baustoffe, chemische Erzeugnisse
Wilhelmshaven	k. A.	Gesamtumschlag* 2013: 25.591.490 t	Einziger Tiefwasserhafen Deutschlands, Massenguthafen; Rohöl, Kohle, Baustoffe, Polyvinylchlorid

* Gesamtumschlag = Seeverkehr und Binnenschifffahrt

Vor allem die Seehäfen Bremerhaven und Cuxhaven übernehmen wichtige Funktionen im internationalen Güterverkehr und sichern damit auch die internationale Wettbewerbsfähigkeit der Bundesrepublik. Als viertgrößter Containerhafen Europas verfügt Bremerhaven über die längste zusammenhängende Stromkaje der Welt. Bis 2030 soll der Umschlag hier auf 9,9 Mio. Standardcontainer ansteigen. Auch im JadeWeserPort in Wilhelmshaven soll der Güterumschlag gesteigert werden, bis 2030 wird ein Anstieg des Umschlags auf 3,4 Mio. Standardcontainer erwartet. Die Chancen dafür scheinen günstig. Die drei Branchenführer im Reedereigeschäft planen den Aufbau einer Europa-Asien-Route und haben angekündigt, Bremerhaven und Wilhelmshaven auf dieser Strecke in den Fahrplan zu integrieren (IHK Bremerhaven 2013).

3 Potenziale und Produktion erneuerbarer Energien in der Untersuchungsregion

Die norddeutschen Küstenregionen gelten aufgrund der besonderen naturräumlichen Gegebenheiten als die Vorreiter der Energiewende. Der hier regenerativ erzeugte Strom trägt ganz wesentlich mit dazu bei, den Umbau des deutschen Energiesystems in Richtung auf eine CO₂-freie Energiewirtschaft voranzutreiben. Auch unter regionalwirtschaftlichen Gesichtspunkten ist die Energiewirtschaft in den Küstenräumen zu einem der wichtigsten Wirtschaftszweige geworden. (Stadt Oldenburg & OLEC e.V. 2015).

Die Internetseite www.foederal-erneuerbar.de bietet eine gute Übersicht zu aktuellen Zahlen der erneuerbaren Energien-Nutzung der einzelnen Bundesländer. Eine Informationsquelle für räumliche differenziertere Analysen bietet die Plattform energymap (<http://www.energymap.info/energieregionen/DE/105.html>). Bei der Nutzung dieser Datenbank ist jedoch zu berücksichtigen, dass auf der Grundlage der EEG-Meldungen (Erneuerbare-Energien-Gesetz - EEG 2014) nicht alle Anlagen jeweils den korrekten Standortgemeinden zugeordnet werden können.

Eine Übersicht über die energymap-Daten zur Produktion erneuerbarer Energien in den Landkreisen und Städten der Metropolregion ist dem Anhang dieses Berichts zu entnehmen.

Der Endenergieverbrauch in Niedersachsen führte 2011 zu CO₂-Emissionen in Höhe von 78,7 Mio. t. Wärme hatte dabei den größten Anteil mit 48 %, gefolgt von Strom (38,2 %) und Kraftstoff (21,9 %). Der „Runde Tisch Energiewende“¹ sieht die Herausforderungen darin, das Energiesystem so umzustellen, dass das 2 Grad-Ziel erreicht werden kann. Die Mitglieder entwickelten gemeinsam das Zielszenario „100 % erneuerbare Energien“ für Niedersachsen, das durch Konversion und Speicherung auf eine stromdominierte Infrastruktur (Power-to-Power, Power-to-Heat, Power-to-Gas, Power-to-Liquid) im Jahr 2050 setzt. Dies erfordert eine Reduktion des Endenergieverbrauchs um 48 % zwischen 2012 und 2050, damit der restliche Endenergiebedarf mit erneuerbaren Energien gedeckt werden kann. In diesem Szenario sind Wind, Sonne und Biomasse die bedeutendsten Energieträger (Faulstich 2015).

In der Metropolregion Bremen-Oldenburg betrug der gesamte Stromverbrauch Anfang 2015 etwa 20 Mio. MWh/Jahr. Aus erneuerbaren Energien wurde Strom in Höhe von rund 9 Mio. MWh/Jahr produziert. Dies entspricht bereits einem Anteil von 49 % der Nutzung erneuerbarer Energien am gesamten Stromverbrauch. Die Anteile der einzelnen Landkreise, Samtgemeinden und Städte sind dabei sehr unterschiedlich und liegen zwischen 6 % in der Hansestadt Bremen und 123 % im Landkreis Cloppenburg. Dabei dominiert die Produktion erneuerbarer Energien aus Windkraft, gefolgt von Biomasse und Solarstrom (energymap 2015). Vor allem bei einer kleinräumigen Betrachtung wächst die Zahl der Gemeinden, die bereits heute, bilanziell gesehen, energieautark sind. Der in ihren Grenzen erzeugte Strom aus erneuerbaren Energieanlagen übersteigt den lokalen Strombedarf nicht selten um das 2- bis 3-Fache. (ARSU GmbH/RaUm 2014).

¹ Der Runde Tisch Energiewende setzt sich aus rund 50 Persönlichkeiten aus der niedersächsischen Wirtschaft und Energiewirtschaft, aus Wissenschaft, Gewerkschaften, Kirchen, Kammern, öffentlichen Einrichtungen sowie Umwelt- und Fachverbänden zusammen (MU 2015).

Die einzelnen erneuerbaren Energien spielen in der Region sehr unterschiedliche Rollen.

3.1 Offshore-Windenergie

Vor der deutschen Nordseeküste herrschen anders als an Land höhere Windgeschwindigkeiten von etwa 10 Meter pro Sekunde. Bei einer Nabenhöhe von etwa 100 Metern verfügen Offshore-Windenergieanlagen über Turbinen mit einem Rotordurchmesser zwischen 126 und 164 Metern. Dies ermöglicht den Offshore-Windenergieanlagen, mehr und konstanter Strom zu produzieren als Onshore-Anlagen. (BMW 2015a)

In der deutschen Nordsee wurde im ersten Halbjahr 2015 von 574 Windenergieanlagen 2.468 MW eingespeist. In der Ostsee waren es 94 Offshore-Windenergieanlagen mit 310 MW eingespeister Leistung. Demnach werden in der Nordsee etwa 89 % der Offshore-Windenergie in Deutschland produziert (Deutsche WindGuard GmbH 2015).

Nordsee		
Windpark in Betrieb		
	Windenergie- anlagen	Parkleistung in MW
ENOVA Offshore Ems-Emden	1	4,5
Hooksiel	1	5
alpha ventus	12	60
BARD Offshore 1	80	400
Meerwind Süd/Ost	80	288
Riffgat	30	108
Gesamt	204	865,5

Abb. 3: In Betrieb befindliche Windparks in der Nordsee, Stand Februar 2015
Quelle: BMW 2015a



Abb. 4: Offshore-Windenergieanlagen in der Nordsee, Stand 30. Juni 2015

Quelle: Deutsche WindGuard GmbH 2015

„Im Zentrum Nordeuropas – in der Nordsee – wird in den nächsten Jahren ein gigantisches Kraftwerk entstehen, das einen bedeutenden Teil der Stromversorgung der angrenzenden Länder übernimmt und wesentlich zur Reduzierung von deren CO₂-Emissionen beitragen wird. Noch stehen wir am Anfang dieser Entwicklung und es wird noch viel Forschung und Entwicklung notwendig sein, um diese Vision Realität werden zu lassen. Ziel dieser Konferenz ist der wissenschaftliche Austausch zu aktuellen Forschungs- und Entwicklungsergebnissen in der Offshore Windenergienutzung.“, so Reuter weiter. (Offshore Wind R&D Conference 2015, Kostensenkungspotenziale für Offshore-Windenergie aufspüren, RAVE Presseinformation 13. Oktober 2015)

3.2 Onshore-Windenergie

Seit Ende Juli 2015 stellt das Niedersächsische Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (ML) den Energieatlas Niedersachsen als Onlinekarte zur Verfügung. Der Energieatlas bietet eine Übersicht über die Standorte der über 5.500 Windenergie- und 1.700 Biogasanlagen in Niedersachsen. Auch die ausgewiesenen Vorranggebiete für Windenergienutzung sind dort einsehbar. Der Atlas soll kontinuierlich aktualisiert werden, damit alle Interessierten die aktuellen Daten zu den Anlagen abrufen können. Eine Erweiterung soll es ebenfalls geben (ML 2015b).

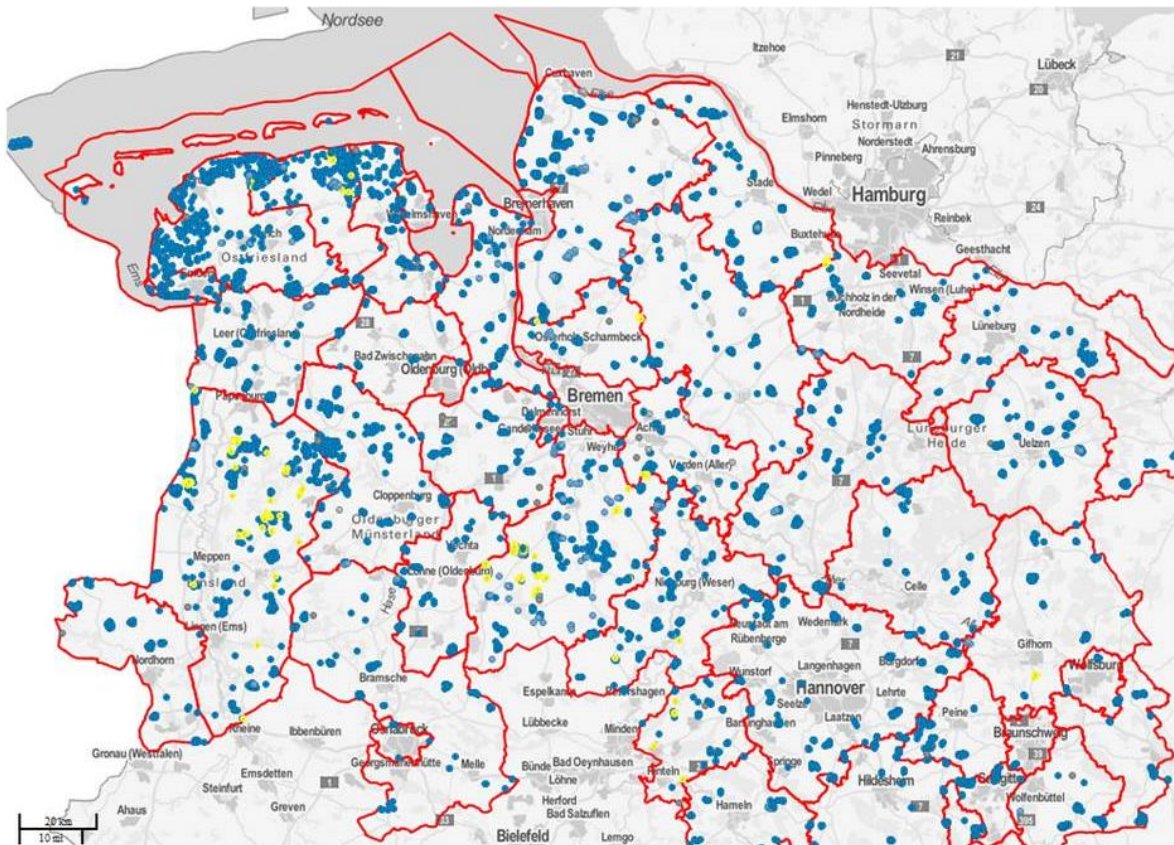


Abb. 5: Windenergieanlagenstandorte in Nordwestniedersachsen
Quelle: ML 2015a

Aufgrund der besonderen Standortvorteile im Norden Deutschlands dominiert weiterhin die Produktion von Windenergie in der Region (Stadt Oldenburg & OLEC 2015). Von 1.963 Windenergieanlagen werden in der Metropolregion derzeit 5.109.837 MWh Strom pro Jahr produziert (energymap 2015).

3.3 Photovoltaik

Eine Stromerzeugung aus Sonnenenergie ist über Photovoltaikdachflächenanlagen und -freiflächenanlagen möglich. Gemäß EEG 2014 zählen Seitenrandstreifen, Konversionsflächen und versiegelte Flächen zu den bebauungsfähigen Flächen für Freiflächenphotovoltaikanlagen.

Die Stromproduktion aus Photovoltaikanlagen ist stark von der abnehmenden Förderung im EEG betroffen, viele Anlagen sind nicht mehr wirtschaftlich zu betreiben. Sinkende Preise für die Photovoltaikmodule und eine Begrenzung des Zubaus in Deutschland führten zu den sinkenden Vergütungssätzen. In der EEG-Novelle 2011 wurde die Vergütung von Freiflächenanlagen auf Ackerflächen gestrichen, seitdem ist die Anzahl der Freiflächenanlagen gesunken (BMWi 2015)).

In der Metropolregion sind Anfang 2015 50.718 Anlagen registriert, die 1.211.069 MWh Strom pro Jahr erzeugen (energymap 2015).

3.4 Biomasse

Bei der Produktion von Strom aus Biomasse erfolgt die Stromerzeugung größtenteils aus Biomasse, Klärgas oder Deponiegas, die über das EEG gefördert wird. Eine Produktion ist aber auch aus Abfall, der Verbrennung von Schwarzlaug oder aus Klärschlamm möglich (außerhalb des EEG) (BMW 2015k). Ein Vorteil von Biomasseanlagen ist, dass sie — im Gegensatz zu Sonne und Wind — ganzjährig für die Stromproduktion zur Verfügung stehen. Bedingt durch das EEG hat seit dem Jahr 2000 eine Entwicklung von Biomasseanlagen stattgefunden, die stark durch Förderungen gekennzeichnet war (Stadt Oldenburg & OLEC 2015).

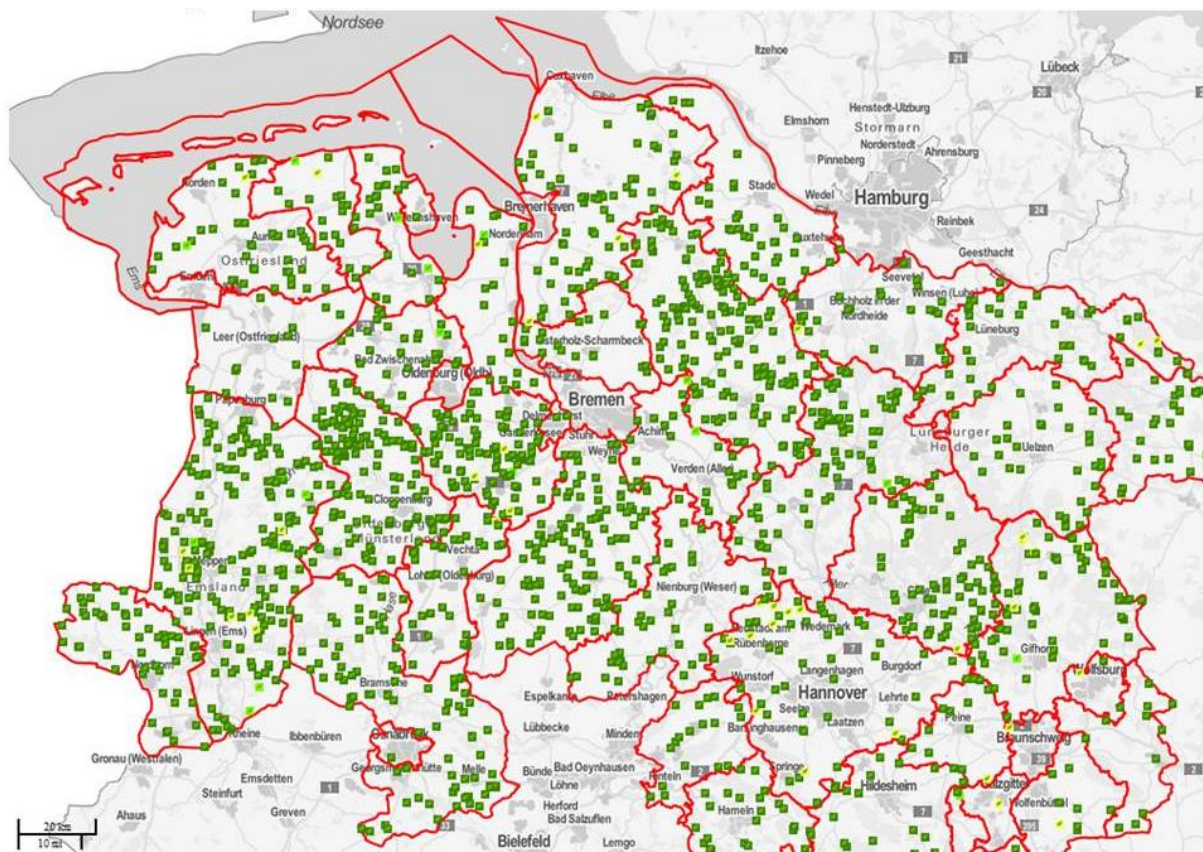


Abb. 6: Biogasanlagenstandorte in Nordwestniedersachsen

Quelle: ML 2015a

Derzeit sind in den Landkreisen und Städten der Metropolregion 1.015 Biomasseanlagen verzeichnet, mit einer Stromproduktion von 2.732.115 MWh im Jahr (energymap 2015; Fachverband Biogas 2015).

4 Entwicklungstrends der erneuerbaren Energien bis 2030

4.1 Offshore-Windenergie

In der Nordsee gibt es aufgrund der Flächenverfügbarkeit ein recht hohes Potenzial für Windenergieanlagen, die jedoch weiter von der Küste entfernt liegen. Dies erschwert den Bau, den Betrieb und den Netzanschluss bzw. birgt Effizienznachteile (BMWi 2015d). Ein kontinuierlicher Ausbau der Netzinfrastruktur ist zwingend erforderlich, insbesondere nach 2020 muss gesichert werden, dass hier keine Engpässe entstehen. Auch für die Investitionsentscheidung von Unternehmen ist dies notwendig (BWE 2015).

Das Entwicklungspotenzial im Bereich Offshore-Windenergie ist zudem abhängig von den Rahmenbedingungen, insbesondere vom EEG, das voraussichtlich 2016 novelliert wird.

Abb. 7 gibt einen Überblick über die Windparks in der Nordsee, die bereits installiert sind oder sich noch im Bau befinden.

Windpark installiert/im Bau		
	Windenergie- anlagen	Parkleistung in MW
DanTysk	80	288
Global Tech 1	80	400
Nordsee Ost	48	295,2
Borkum West II – Phase I	40	200
Butendiek	80	288
Amrumbank West	80	288
Sandbank	72	288
Godewind 1	55	332
Nordsee One	54	332
Gesamt	589	2.711,2

Abb. 7: Installierte und im Bau befindliche Windparks in der Nordsee, Stand Februar 2015
Quelle: BMWi 2015a

Das Ziel, bis Ende des Jahres eine Gesamtleistung von Windenergieanlagen in der deutschen Nord- und Ostsee bis zu 3.300 MW im Netz zu haben, wird demnach voraussichtlich erreicht. Bis 2020 sollen es 6.500 MW werden an Offshore-Windenergie werden (BWE 2015).

4.2 Onshore-Windenergie

Die Standortbedingungen für Windenergieanlagen in Deutschland sind in den nördlichen Bundesländern am besten. Das Leistungs- und Ertragspotenzial ist hier aufgrund der höheren Auslastungen besser. Das Potenzial der Windenergie an Land hängt jedoch stark von den unterschiedlichen Ansprüchen an die Flächennutzung ab. Ausgeschlossen für die Errichtung von Windenergieanlagen sind insbesondere Flächen, die als Siedlungsbereiche angelegt sind, hier ist ein Mindestabstand zu den Wohnbauflächen einzuhalten. Weitere Ausschlusskategorien bilden die Nutzung von Flächen für Infrastruktur, Schutzgebiete, Waldflächen, Gewässer und Flächen für den Biotopverbund (Lütkehus et al. 2013).

Das Bundeswirtschaftsministerium schätzt die zukünftige Rolle der Onshore-Windenergieanlagen weiterhin als bedeutend ein. Als Grund hierfür wird das kostengünstige Ausbaupotenzial im Vergleich zu anderen erneuerbaren Energien genannt, das kurz- bis mittelfristig zum Tragen kommt. Eine gute Möglichkeit zur Effizienzsteigerung bestehender Anlagen und zur Erhöhung des Energieertrags bietet hier das Repowering. (Lüers, Wallasch et al. 2015). Nachhaltigkeit, Standortwahl, transparente Genehmigungsverfahren und Bürgerwindparks sind wichtige Stichworte, wenn es künftig um die Ausnutzung des vorhandenen Potenzials geht (BMW 2015h).

Die potenziell nutzbaren Flächen in Niedersachsen liegen bei 12.500 km². Niedersachsen hat im Bundesvergleich die größte restriktionsfreie Fläche². Damit beträgt der nutzbare Flächenanteil in Niedersachsen 27 % (BWE 2011). Auch in der Metropolregion Bremen-Oldenburg im Nordwesten sind somit ausreichende Potenziale vorhanden. Die Region verfügt zudem über wettbewerbsfähige Unternehmen der Windenergiebranche, auch in den vor- und nachgelagerten Wirtschaftsbereichen. Die breit aufgestellte Forschungslandschaft und eine Vielzahl an Bildungsangeboten in diesem Bereich unterstreichen die Bedeutung der Windenergie in der Metropolregion.

² Flächen ohne Restriktionen sind: „Landwirtschaftlich genutzte Flächen (nicht bewässertes Ackerland, Wiesen und Weiden, Obst- und Beerenobstbestände, Weinbauflächen und landwirtschaftlich genutzte Flächen mit natürlicher Bodenbedeckung) sowie natürliche Flächen mit geringem Bodenbewuchs (natürliches Grünland, Heiden, Moorheiden und Flächen mit spärlicher Vegetation)“ (BWE 2011).

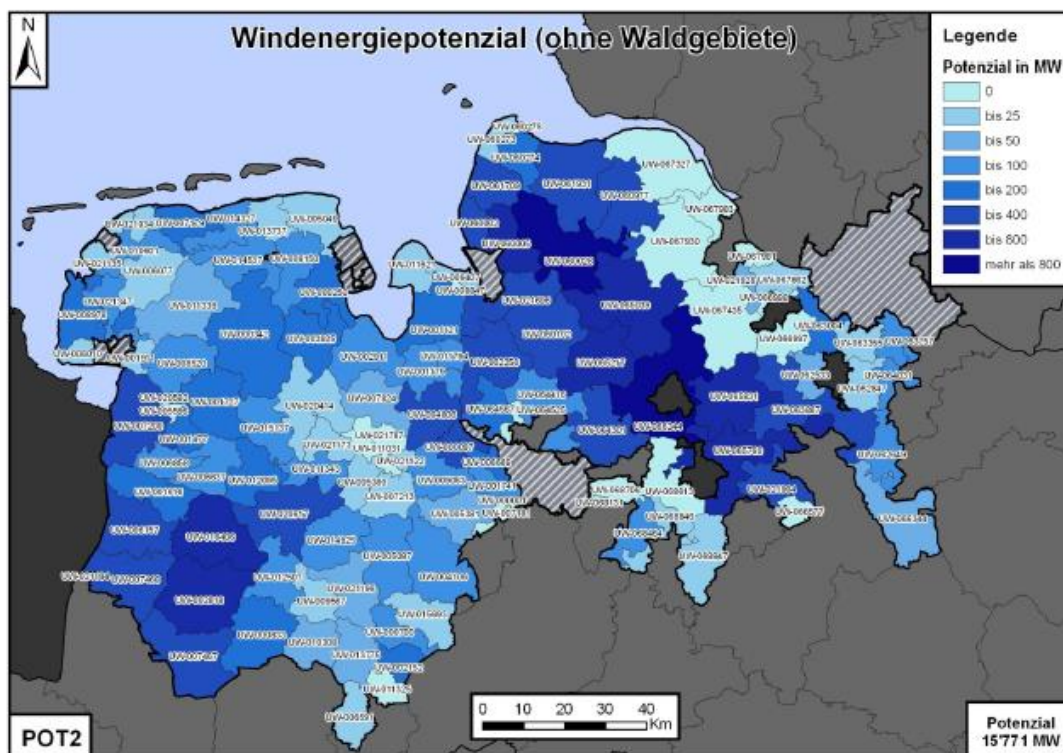


Abb. 8: Windenergiepotenzial in Niedersachsen
Quelle: Schorer 2014

ABBILDUNG 11:
Verteilung von Flächen für gute
Standorte und Schwachwind-
standorte in Deutschland auf
Basis der DWD-Daten

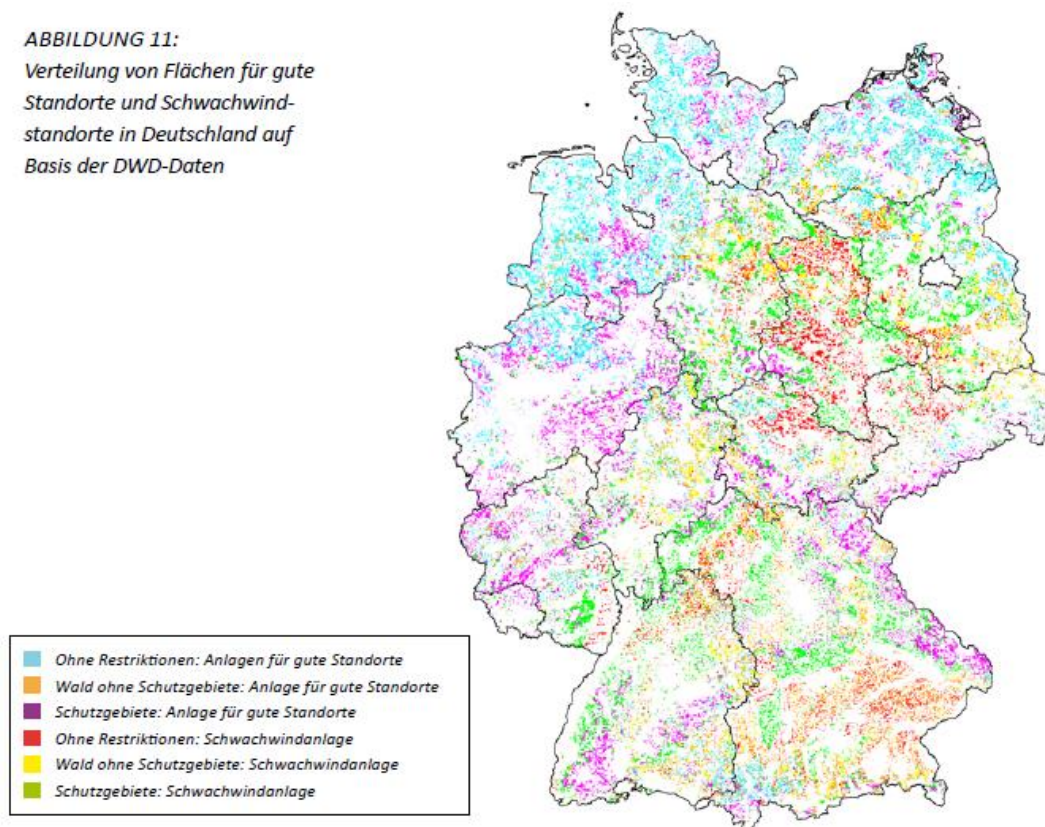


Abb. 9: Verteilung guter Standorte für die Windenergienutzung in Deutschland
Quelle: Bundesverband WindEnergie 2012

4.3 Photovoltaik

Derzeit wird ein rückläufiger Trend beim Ausbau von Photovoltaikanlagen verzeichnet und auch in Zukunft wird der Zubau aufgrund der niedrigen Vergütungssätze gering sein. Für Deutschland ergibt sich ein künftiges Ausbaupotenzial von 14 GW Dachflächenphotovoltaik. Laut Mengensteuerung des EEG 2014 ist ein Zubau von 2.500 MW Leistung aus Photovoltaikanlagen vorgesehen, der jedoch voraussichtlich nicht erreicht wird (BMWi 2015j).

Interessanter für die Zukunft scheinen eher dezentrale Speichermaßnahmen zu sein. Bei steigendem Ausbau von Photovoltaikanlagen wird es tagsüber zur Produktion von Überschüssen kommen. Diese können z. B. durch Batteriespeicher vollständig genutzt werden. Vor allem die privaten Haushalte können hiervon profitieren. Richten sie bei ihren Photovoltaiksystemen Batteriespeicher ein, können bis zu 80 % ihres Strombedarfs gedeckt werden (Weniger et al. 2015).

4.4 Biomasse

Der künftige Ausbau zur Stromerzeugung aus Biomasse ist einerseits abhängig von den technisch verfügbaren Biomassepotenzialen und andererseits vom wirtschaftlichen Potenzial. Die bedeutendsten Biomassearten zur Stromerzeugung sind Altholz, Lebensmittelabfälle, Klärgas, Deponiegas, biogene Anteile der Abfallverbrennung sowie Schwarzlauge und Reststoffe der Zellstoffherstellung. Hierbei sind die kostengünstigsten Potenziale bereits weitgehend erschlossen worden und es gibt nur noch ein sehr geringes Ausbaupotenzial. Die weiteren Erschließungspotenziale (z. B. Gülle, Stroh) sind dagegen mit hohen Kosten verbunden. Ein weiteres Hindernis stellen die Nutzungskonflikte bei der Biomasseproduktion zur Stromerzeugung dar. Bereits heute werden zehn Prozent der Ackerfläche in Deutschland für die Erzeugung von Biogas genutzt. Nach der EEG-Reform besteht somit nur noch geringes Potenzial beim Zubau von Biomasseanlagen, auch sie sind von Förderkürzungen betroffen (BMWi 2015k).

4.5 Wasserkraft

Weltweit ist die Wasserkraft die zweitwichtigste Technologie (nach Biomasse) zur Nutzung erneuerbarer Energien. In Deutschland wird sie größtenteils zur Erzeugung elektrischen Stroms genutzt. Dabei wird die potenzielle und kinetische Energie von Wasserströmen in mechanische Rotationsenergie umgewandelt und zum Antrieb von Generatoren und Maschinen genutzt (BMWi 2015f).

Folgende Übersicht zeigt die Charakteristika der verschiedenen Wasserkraftwerke:

Abb. 10: Merkmale von Wasserkraftwerken

Quelle: BMWi 2015 f)

Kleine Anlagen (kleiner 1 MW)	Große Anlagen (größer 1 MW)	
Kleinwasserkraftwerke	Speicherkraftwerke Anteil in Deutschland: 20 %	Laufwasserkraftwerke Anteil in Deutschland: 80 %
Ebenfalls Speicher- und Laufwasserkraftwerke; charakterisiert durch niedrigere Fallhöhen und geringere Wassermengen; dies führt zu relativ geringer Leistung	Zur Stromerzeugung werden die Speicherkapazität und das Gefälle von Bergseen und Talsperren genutzt; Einsatz sowohl zur Deckung der Grundlast, als auch im Spitzenlastbetrieb	Zur Stromerzeugung wird die Strömung eines Flusses oder Kanals genutzt, bei geringer Fallhöhe und relativ hohen Wassermengen

Die größten Potenziale für die Nutzung von Wasserkraft liegen in Süddeutschland, da hier der Voralpenraum für das benötigte günstige Gefälle sorgt. Im Norden Deutschlands und auch in der Metropolregion ist das Potenzial hingegen sehr gering. Möglichkeiten ergeben sich hier vor allem durch Ersatz, Modernisierung oder Reaktivierung vorhandener Anlagen (AEE 2015, BMUB 2010).

4.6 Meeresenergie

Meeresenergie wird aus den Veränderungen im Meer gewonnen. Aus Schwankungen in der Temperatur und dem Salzgehalt, durch die Tidebewegungen, Strömungen, Seegang und Wellenbewegungen kann Elektrizität gewonnen werden.

In Deutschland erfolgt derzeit noch keine Umsetzung möglicher Meeresenergiegewinnung. Projekte mit deutscher Beteiligung gibt es jedoch. Beispiele hierfür sind das Projekt NEMOS (Nutzung des Energiepotenzials von Meereswellen in Offshore-Windparks zur Stromerzeugung)³ oder die Erforschung von Gezeitenströmungsturbinen und Wellenkraftwerken⁴. Hier laufen zwar Forschungsprojekte zu diesem Thema, das Potenzial für die Gewinnung von Meeresenergie ist in naher Zukunft auch in der Metropolregion als sehr gering anzusehen.

4.7 Geothermie

Unter der Erdoberfläche herrschen in den ersten 100 m etwa 10 °C. Umso tiefer man kommt, desto höher werden die Temperaturen, sie steigen im Durchschnitt um 3 °C pro 100 Meter an. Diese Erdwärme (Geothermie) kann zur Energiegewinnung genutzt werden. Unterschieden werden dabei die oberflächennahe Geothermie (bis 400 Meter Tiefe), die auch Privathaushalte nutzen können, und die tiefe Geothermie (bis etwa 5.000 Meter Tiefe) (BMWi 2015g).

Insbesondere im Osten Norddeutschlands gibt es seit mehreren Jahren Projekte zur Nutzung von Geothermie. Nun soll dies auch in Niedersachsen vorangetrieben werden. Das Land fördert verschiedene Machbarkeitsstudien, um tiefengeothermische Projekte zu unter-

³ Weitere Informationen unter <http://www.nemos.org/>.

⁴ Weitere Informationen unter <http://www.ihs.uni-stuttgart.de/forschung/meeresenergie>.

stützen. Derzeit sind zwölf Projekte zur Tiefengeothermie in Planung (ITG 2015). Die Lage im Norddeutschen Becken, einer von drei tiefengeothermischen Regionen Deutschlands, bietet gute Voraussetzungen für die Nutzung der Geothermie in Niedersachsen (Bundesverband Geothermie 2015).

Das technische Potenzial zur Nutzung von Geothermie ist somit in der Metropolregion vorhanden, jedoch ist dieses meist wirtschaftlich nicht nutzbar.

4.8 Ausbaupfade erneuerbarer Energien: Regulative Rahmenbedingungen

Der Ausbau der erneuerbaren Energien zählt mit zu den Erfolgen der Energiewende. Vor allem über das EEG konnte der Anteil der erneuerbaren Energien am gesamten Stromverbrauch auf über 32 % gesteigert werden; erneuerbare Energien sind damit die dominierende Technologie zur Stromerzeugung (Agora Energiewende 2016). Speziell mit Blick auf den Ausbau der erneuerbaren Energien sind die langfristigen Energiewendeziele also durchaus erreichbar.

Klimapolitische Ziele der Bundesregierung

Kategorie	2013	2014*	2020	2030	2040	2050
Treibhausgas-Emissionen						
Treibhausgas-Emissionen im Vergleich zu 1990	- 23,8 %	- 27 %	min. - 40 %	min. - 55 %	min. - 70 %	min. - 80 bis -95 %
Steigerung des Anteils erneuerbarer Energien am Energieverbrauch						
Anteil am Bruttoendenergieverbrauch	12,4 %	-	18 %	30 %	45 %	60 %
Anteil am Bruttostromverbrauch	25,4 %	27,8 %	min. 35 %	min. 50 % (2025: 40 bis 45 %)	min. 65 % (2035: 55 bis 60 %)	min. 80 %
Anteil am Wärmeverbrauch	9,9 %	9,9 %	14 %			
Anteil im Verkehrsbereich	5,5 %	5,4 %				
Reduktion des Energieverbrauchs und Steigerung der Energieeffizienz						
Primärenergieverbrauch im Vergleich zu 2008	- 3,8 %		- 20 %	→		- 50 %
Endenergieproduktivität		+ 0,2 % pro Jahr (2008-2013)	+ 2,1 % pro Jahr (2008-2050)			
Bruttostromverbrauch im Vergleich zu 2008	- 3,2 %		- 10 %	→		- 25 %
Primärenergiebedarf im Vergleich zu 2008	- 5,5 %					etwa - 80 %
Wärmebedarf im Vergleich zu 2008	+ 0,8 %		- 20 %			
Endenergieverbrauch Verkehr im Vergleich zu 2005	+ 1 %		- 10 %			- 40 %

*Schätzung

Quelle: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, Die Energie der Zukunft - Erster Fortschrittsbericht zur Energiewende, Abweichungen aufgrund von Datenaktualisierungen aus: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, Energiedaten (Stand: Oktober 2014); Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien-Statistik (Stand: Februar 2015) und Umweltbundesamt (Stand: März 2015)

Abb. 11: Klimapolitische Ziele der Bundesregierung

Quelle: BMWi 2015c

Welche Zubauten für erneuerbare Energien bis 2050 notwendig werden, um die energie- und klimapolitischen Ziele zu erreichen, hängt aber auch ganz wesentlich von der Entwicklung des Stromverbrauchs ab. Die vorliegenden Studien zeigen hier jedoch ganz deutliche Unterschiede, die vor allem auf die unterschiedlichen Rahmenbedingungen zurückzuführen sind, die diesen Szenarien zugrunde liegen. Das Fraunhofer IWES hat sich in einer aktuellen Studie mit diesen unterschiedlichen Treibern auseinandergesetzt. Eine ganz wesentliche Erklä-

rung für die unterschiedliche Verbrauchsentwicklung liefert dabei der Umfang, in dem strombasierte Technologien im Verkehrssektor realisiert werden können (Fraunhofer IWES 2015).

Diese positive Entwicklung bei den erneuerbaren Energien hat jedoch eine sehr intensive Diskussion über den zugrundeliegenden Fördermechanismus ausgelöst. So ist es vor allem die Frage der Kosten des Ausbaus der erneuerbaren Energien, die eine Reform des EEG maßgeblich vorangetrieben und den Wechsel auf eine marktorientierte Politik begünstigt hat. Mit diesem wettbewerblichen Ansatz soll der weitere Ausbau der erneuerbaren Energien gesichert, die Kostenbelastung der Verbraucher reduziert und aus volkswirtschaftlicher Sicht eine maximale Kosteneffizienz erreicht werden. Der Systemwechsel wurde maßgeblich von der Europäischen Kommission vorbereitet und vorangetrieben (European Commission 2014, Bonn et al. 2014; Münchmeyer et al. 2014) und stützt sich in Deutschland auf die Empfehlungen zahlreicher Forschungsinstitute und Organisationen der Politikberatung (Monopolkommission 2013, 2014; Sachverständigenrat für Umweltfragen 2013).

Über das Instrument von Ausschreibungen sollen zumindest theoretisch eine wettbewerbliche Bestimmung der Vergütungen und die Festlegung von Prämien oder Investitionszuschüssen möglich sein. Bei Ausschreibungen im Stromsektor geht es in der Regel darum, eine vorab definierte Leistung zu einem möglichst niedrigen Preis zu erhalten.

Auch international sind in den letzten Jahren in vielen Ländern Ausschreibungsmodelle zur Anwendung gekommen. In Vorbereitung der EEG-Novellierung sind diese sehr differenzierten Erkenntnisse ausgewertet worden. (Agora Energiewende 2014; Grau 2014; Izes gGmbH 2014) Nachdem in Deutschland bereits erste Erfahrungen mit Ausschreibungsmodellen im Bereich der Freiflächenphotovoltaik gemacht wurden (Bundenetzagentur 2015, BMWi 2015b), wird nun ab 2017 die Förderung der erneuerbaren Energien weitgehend auf das neue Förderregime umgestellt (BMWi 2015a). In einem Eckpunktepapier hat das Bundeswirtschaftsministerium die wichtigsten Bestandteile des geplanten Konzepts dargelegt und zur Diskussion gestellt. Mit den Ausschreibungen wird das Ziel verfolgt, den Ausbau der erneuerbaren Energien stetig und kosteneffizient fortzusetzen, gleichzeitig aber auch die Akzeptanz des Ausbaus zu wahren.

Das Ausschreibungsmodell gilt in Zukunft für die folgenden Technologien, die ganz wesentlich die Energiewende tragen:

- Windenergieanlagen an Land
- Windenergieanlagen auf See
- große Photovoltaikanlagen

Ausgenommen von den Ausschreibungen sind alle Anlagen bis zu einer installierten Leistung von 1 MW. Für die Biomasse wurde aufgrund des geringen Potenzials ein Ausschreibungsmodell für neue Anlagen als nicht sinnvoll erachtet. Geprüft wird noch, inwieweit Ausschreibungen bei der Anschlussförderung von bestehenden Anlagen angewandt werden können. Auch bei Geothermie und der Wasserkraft wird es bei dem bisherigen Förderregime bleiben.

Für die drei ausgewählten Technologien wird jeweils ein eigenes Ausschreibungsdesign entwickelt. Es gibt jedoch einige allgemeine Vorgaben:

- Ein Förderanspruch besteht zukünftig nur dann, wenn die Anlage im Rahmen einer Ausschreibung einen Zuschlag bekommen hat. Zuständig für die Ausschreibungen ist die Bundesnetzagentur (BNetzA).

- Für Wind an Land und für Photovoltaik werden jeweils mehrere Ausschreibungsrunden pro Jahr durchgeführt, für jede Runde wird für jede Technologie eine vorab bestimmte installierte Leistung ausgeschrieben.
- Die Bieter geben einmalige, verdeckte Gebote ab.
- Um sicherzustellen, dass die Gebote auch ernst gemeint sind, muss für jedes Gebot eine Sicherheit hinterlegt werden.
- Den Zuschlag erhalten die niedrigsten Gebote, bis die ausgeschriebene installierte Leistung erreicht ist; gleichzeitig gilt ein Höchstpreis, der von den Geboten nicht überschritten werden darf. Der Höchstpreis wird vorab veröffentlicht und orientiert sich an der bisherigen Förderhöhe.
- Ein erteilter Zuschlag gilt grundsätzlich projektbezogen, d. h. bei Windenergie an Land kann ein erteilter Zuschlag nicht auf andere Projekte übertragen werden.
- Um zu gewährleisten, dass die bezuschlagten Projekte innerhalb einer bestimmten Frist auch realisiert werden, wird im Falle einer Nichtrealisierung eine Strafzahlung (Pönale) fällig.

Für die einzelnen Technologien gelten weitere spezifische Vorgaben, konkret für die Windenergie bedeutet dies:

Windenergie: Onshore

Der Höchstwert für die Gebote wird auf 8,9 Cent pro Kilowattstunde festgelegt und jährlich automatisch um 1 Prozent abgesenkt. Die Höhe der Sicherheitsleistung liegt mit 30 Euro pro Kilowatt relativ niedrig. Der Grund ist hier, dass an dem Ausschreibungsverfahren nur Windenergieanlagen teilnehmen dürfen, die bereits über eine Genehmigung nach dem Bundesimmissionsschutzgesetz verfügen („späte Ausschreibung“). Die Wahrscheinlichkeit einer Realisierung ist daher relativ hoch. Die Anlagen, die einen Zuschlag erhalten haben, sollen innerhalb von zwei Jahren nach Zuschlagserteilung errichtet werden.

Windenergie: Offshore

Für alle Anlagen, die ab 2021 in Betrieb genommen werden, werden Ausschreibungen eingeführt. Die konkreten Vorgaben werden in einem neuen Gesetz zur Windenergie auf See geregelt werden. Um überhaupt einen ausreichenden Wettbewerb bei den Ausschreibungen gewährleisten zu können, sollen die Flächen für künftige Offshore-Windparks staatlich voruntersucht werden (sog. „zentrales Modell“). Die potenziellen Bieter konkurrieren also um die Errichtung eines Windparks auf der voruntersuchten Fläche. Ziel dieser Regelung ist, Flächenplanung und Raumordnung, Anlagengenehmigung, EEG-Förderung sowie die Netzanbindung besser und kosteneffizienter miteinander zu verzahnen.

Photovoltaik

Die als Pilotprojekte durchgeführten Ausschreibungsverfahren für Freiflächenanlagen werden evaluiert und gegebenenfalls angepasst. Nur Photovoltaikanlagen auf baulichen Anlagen (wie Deponien und versiegelten Flächen) und auf Gebäuden mit jeweils einer installierten Leistung von über 1 Megawatt sollen an der Ausschreibung teilnehmen.

Ausschreibungsmengen

Entscheidend für das Ausschreibungsmodell ist die Festlegung der jeweiligen Ausschreibungsmengen. Mit dem EEG 2014 wurde ein Korridor für den Ausbau der erneuerbaren Energien beschlossen, der von zentraler Bedeutung für die Synchronisation mit dem Ausbau der Stromnetze ist. Der Ausbaukorridor soll den Akteuren zudem eine gesicherte Planungsgrundlage bieten.

Für den Offshore-Bereich gilt das Ziel, bis 2020 6,5 GW bzw. bis 2030 15 GW zu installieren. Für große PV-Anlagen beträgt die Ausschreibungsmenge jährlich 500 MW.

Soll der Ausbaukorridor für die erneuerbaren Energien insgesamt eingehalten werden, muss dies über die Ausschreibungsmenge bei Wind an Land gesteuert werden. Hierfür wird eine Formel genutzt, die auf folgendem Grundprinzip beruht:

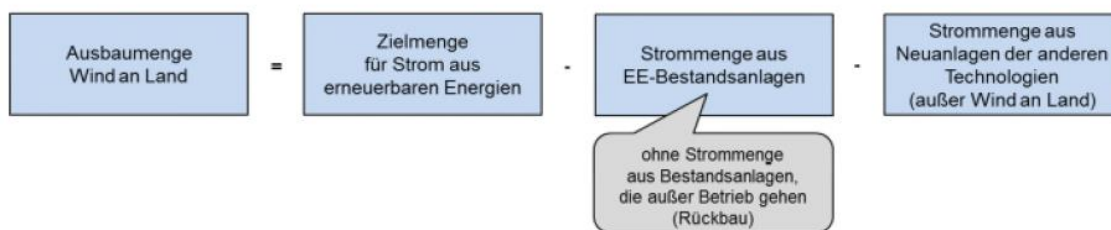


Abb. 12: Ermittlung der Ausschreibungsmenge für Onshore-Windenergie

Quelle: BMWi 2015a

Berücksichtigt wird dabei die Entwicklung der Strommenge aus erneuerbaren Energien und des Bruttostromverbrauchs. Dies ist notwendig, um die Zielmenge für Strom aus erneuerbaren Energien bestimmen zu können. Bei deren Ermittlung wird von einem Anteil von 45 Prozent erneuerbarer Energien im Jahr 2025 ausgegangen. Voraussichtlich wird es bei der Zugrundelegung dieser Formel zu Anfang zu einer Ausschreibungsmenge bei Wind an Land von rund 2.900 MW (brutto) kommen; unter bestimmten extremen Entwicklungen kann aber auch die Ausschreibungsmenge unter 2.000 MW fallen. Unsicherheiten bestehen auch darüber, in welcher Weise sich die durch die Ausschreibung ergebenden Zusatzkosten auf die Wirtschaftlichkeit der Onshore-Windenergie auswirken werden. (Lüers, Wallasch et al. 2015)

Die Chancen, dass auch in der Zukunft die Metropolregion Bremen-Oldenburg als Windenergieproduktionsstandort eine wichtige Rolle spielen wird, werden durch zahlreiche Potenzialstudien bestätigt (Bundesverband WindEnergie 2012, Mono/Glasstetter 2012, Lütkehus, Salecker et al. 2013, Schorer 2014). Ob diese vorhandenen Potenziale auch realisiert werden können, hängt nicht nur von den Förderbedingungen ab, sondern auch davon, ob die Akzeptanz für den weiteren Ausbau erneuerbarer Energien gesichert werden kann. Selbst in den norddeutschen Regionen, die bislang ganz erheblich auch ökonomisch von dem Ausbau erneuerbarer Energien profitiert haben, wächst der Widerstand gegen die Errichtung weiterer Anlagen.

Mit dem Windenergieerlass hat die Niedersächsische Landesregierung den Versuch unternommen, den Windenergieausbau umweltverträglich, sozialverträglich und wirtschaftlich zu gestalten. Der Erlass enthält für die kommunalen Planungsträger die Informationen über die rechtlichen Grundlagen und die zu beachtenden Rahmenbedingungen. Ein Teil der Windenergieanlagen, die in den letzten Jahren errichtet wurden, steht nach heutigen Maßstäben

zu dicht an der Wohnbebauung. Zukünftige Planungen müssen die Potenziale vorhandener Standorte für das „Repowering“ nutzen. Auf der Basis von bundespolitischen Vorgaben enthält der Windenergieerlass nun die Vorgabe, dass der Umkreis im Radius der doppelten Höhe der modernsten Anlagentypen (400 m) als „harte Tabuzone“ gewertet wird. Innerhalb dieser Zone soll die Windenergienutzung auch bei ganz leisen Windrädern definitiv unterbleiben. Etwa 25 Prozent der niedersächsischen Anlagen stehen heute jedoch innerhalb dieser Zone; diese Standorte stehen damit nicht für ein Repowering zur Verfügung. Kommunale Planungsträger können im Rahmen ihrer Planungen aber auch größere Abstände vorsehen und sogenannte weiche Tabubereiche im Rahmen eines schlüssigen Gesamtkonzepts für den Planungsraum festlegen und die Windenergienutzung außerhalb der planerisch festgelegten Flächen ausschließen.

Es muss jedoch ein ausreichender Platz für Windenergieanlagen gesichert werden; der Erlass liefert dafür Orientierungswerte. Würde man weitergehende Vorschläge für weiche Tabuzonen umsetzen, würden von den 20 % der nds. Landfläche, die für die Windenergienutzung grundsätzlich in Frage kommen, lediglich 0,6 % übrig bleiben. Da auch auf diesen Flächen weitere Nutzungsansprüche bestehen, würde die Energiewende insgesamt in Frage gestellt werden.

Gerade mit Blick auf die für die Metropolregion bedeutsamen Energieträger bleibt also nach dem gegenwärtigen Stand eine unerhebliche Unsicherheit über die zukünftigen Zubaumengen. Dies erschwert natürlich auch die Abschätzung der Entwicklung der Überschussmengen.

5 Abschätzung der Überschusskapazitäten: Konkurrenz der Flexibilitätsoptionen

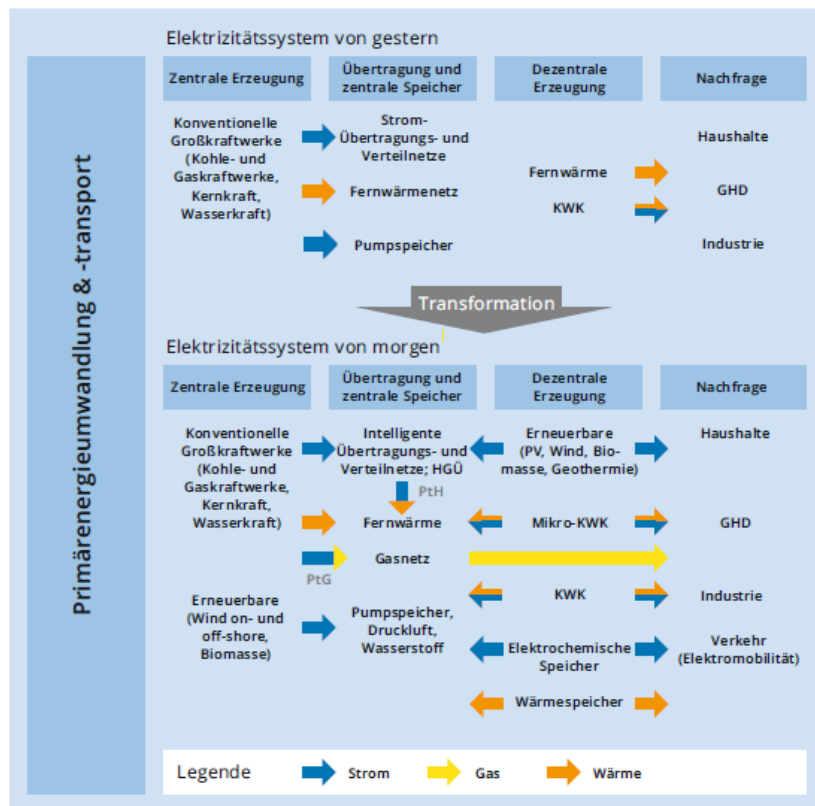


Abb. 13: Die Transformation des Stromsystems – schematische Darstellung der wichtigsten Zusammenhänge

Quelle: Fraunhofer ISI 2015 nach Wietschel, et al. 2015, S. 7

Ein Energieversorgungssystem der Zukunft, das vollständig oder zumindest weitgehend auf erneuerbare Energien setzt, erfordert einen grundlegenden Transformationsprozess, bei dem es nicht allein um die Einführung neuer Technologien geht, sondern auch oder vielmehr um die Entwicklung neuer Marktmodelle und institutioneller Strukturen. (Gawel et al. 2014, Zimmermann 2014) In einem hochindustrialisierten Land wie Deutschland gestaltet sich ein derartiger Umbau jedoch als ein sehr langwieriger und schwieriger Prozess. Die besonderen Herausforderungen ergeben sich auch daraus, dass häufig Maßnahmen im Rahmen der Energiewende nicht oder nur unzureichend aufeinander abgestimmt sind oder komplexe Wechselwirkungen bei der Umsetzung einzelner Maßnahmen nur unzureichend berücksichtigt werden (Ausfelder et al. 2015).

Die Bundesregierung hat die zentralen Vorhaben im Zusammenhang mit der Umsetzung der Energiewende für die laufende Legislaturperiode in einer 10-Punkte-Energie-Agenda zusammengefasst. (BMWi 2014c). Die Liste umfasst u. a. die Reform des Erneuerbaren-Energien-Gesetzes und des europäischen Emissionshandels, den Ausbau der Übertragungs- und Verteilernetze und die Entwicklung eines neuen Strommarktdesigns.

Der Umbauprozess des Energiesektors wird durch ein umfassendes und kontinuierliches Monitoring begleitet. In regelmäßigen Abständen sind Monitoring- und Fortschrittsberichte vorzulegen (BMWi 2014a, Bundesregierung 2014), in denen die bisherigen Entwicklungen aufgezeigt und erkennbare Defizite benannt werden. Eine unabhängige Expertenkommission

begleitet diesen Prozess und erarbeitet eigene Stellungnahmen zu diesen offiziellen Berichten (Expertenkommission zum Monitoring-Prozess „Energie der Zukunft“ 2015).

Die spezifischen klimapolitischen Ziele sind in einem Aktionsplan Klimaschutz dargelegt (BMUB 2014), zu dem in der Zwischenzeit ein aktueller Evaluationsbericht vorliegt (BMUB 2015). Im Jahre 2014 legte die Bundesregierung ein sog. Grünbuch zum Strommarkt vor, das sich mit den drängendsten Herausforderungen der Energiewende befasste, u. a. mit

- der Zukunft der emissionsintensiven fossilen Kraftwerkskapazitäten,
- dem Umfang und der Rolle flexibler Speicher- und Kraftwerkskapazitäten zum Ausgleich fluktuierender Einspeisungen aus erneuerbaren Energien,
- der Schaffung notwendiger Investitionsanreize,
- dem ökonomisch und sozial verträglichen Umbau des Energiesystems
- sowie mit der Notwendigkeit der Integration der Energiewende in das europäische Energiesystem.

(BMWi 2014b)

Das Grünbuch lieferte den ersten Entwurf eines solchen Masterplans, ließ zunächst jedoch eine entscheidende Frage offen: Soll die Stromversorgung auch in der Zukunft nur durch Angebot und Nachfrage gesichert werden (sog. Energy Only Markt) oder ist ein zusätzlicher Markt erforderlich, über den z. B. Kohle- und Gaskraftwerke Kapazitäten für den Fall vorhalten müssen, dass eine Versorgung aus erneuerbaren Energien nicht reicht? Die Ergebnisse des öffentlichen Konsultationsprozesses und die Schlussfolgerungen aus einer Vielzahl weiterer Studien und Gutachten schufen wichtige Grundlagen für das Weißbuch Strommarkt im August 2015. (BMWi 2015e). Dieses Weißbuch selbst mündete dann in den Entwurf eines Gesetzes, das dann im Laufe des Jahres 2016 verabschiedet werden soll. (Bundesregierung 2015).

Weißbuch und Gesetzesentwurf sprechen sich gegen die Einführung eines zusätzlichen Kapazitätsmarktes aus und für die Schaffung von Rahmenbedingungen, die eine Refinanzierung der benötigten Kapazitäten über bestehende Marktmechanismen ermöglichen. Das Weißbuch enthält die Eckpunkte für 20 Maßnahmen, mit denen der Strommarkt 2.0 umgesetzt werden soll. Die Kernaussagen sagen:

- Freie Preisbildung garantieren: Verankerung des Grundsatzes der freien Preisbildung beim Stromhandel im EnWG (Energiewirtschaftsgesetz); Preise senden wichtige Informationen an die Marktteilnehmer darüber, wie knapp der Strom zu einem Zeitpunkt ist.
- Versorgungssicherheit überwachen: Ein fortlaufendes Monitoring wird mit den neuesten Methoden überwachen, ob die Versorgung tatsächlich sicher ist.
- Kapazitätsreserve einführen: Absicherung der Stromversorgung gegenüber nicht vorhersehbaren Ereignissen
- Regelleistungsmärkte weiterentwickeln: Um das System jederzeit stabil zu halten und Prognosefehler auszugleichen, nutzen die Übertragungsnetzbetreiber Regelleistung. Mehr Anbieter sollen nun Zugang zu den Regelleistungsmärkten bekommen. Dies erhöht den Wettbewerb auf diesen Märkten und senkt damit die Kosten.

5.1 Rolle der Flexibilitätsoptionen

Die Studien und Projektionen zu einem erfolgreichen Umbau des Energiesystems gehen in der Mehrheit von einer hohen Flexibilität des Systems aus, d. h. davon, dass zumindest langfristig jederzeit ein Ausgleich von Erzeugung und Verbrauch gewährleistet werden kann. (Wimmer, Heinemann et al. 2014, IEA-RETD/Mott MacDonald 2015, Stiller, Göke et al. 2015).

In der Regel werden mehrere grundlegende Flexibilitätsoptionen unterschieden (Wietschel et al. 2015) wobei die Studien jeweils sehr unterschiedliche Kombinationen von Optionen präferieren:

- Ausbau der nationalen und europäischen Stromnetze und Optimierung des europäischen Stromhandels, um so die Ausgleichsmöglichkeiten für Last und Erzeugung innerhalb Deutschlands, aber auch zwischen den europäischen Mitgliedstaaten zu verbessern. Im Hinblick auf den geplanten Ausbau der inländischen Übertragungs- und Verteilnetze (50Hertz Transmission GmbH et al. 2015) ist das Akzeptanzproblem von besonderer Bedeutung. Die Debatte fokussiert aber auch auf die Möglichkeiten, über eine verbesserte Koordination der Standortplanung von erneuerbaren Energieanlagen mit der Netzinfrastruktur und durch eine Veränderung des Netzentgeltssystematik den Netzausbaubedarf zu reduzieren (Nailis et al. 2015).

SZENARIO B1 2025



Abb. 14: Netzausbauplanungen

Quelle: NEP 2025, Stand Oktober 2015, <http://www.netzentwicklungsplan.de>

Reduktion des Netzausbaubedarfs

Beispiel: Spitzenkappung von 5 % bei der Einspeisung von erneuerbaren Energien

- Ein kostenintensiver Netzausbau wird oft notwendig, um nur kurzfristig auftretende Erzeugungsspitzen abzudecken.
- Falls kein rechtzeitiger Netzausbau stattgefunden hat, müssen die EE-Anlagen heruntergeregt werden.
- Berechnungen für das Gebiet der EWE NETZ zeigten, dass doppelt so viel Leistung aus Erneuerbaren Energien in das Netz integriert werden könnte, wenn die Einspeisung je Anlage Windkraft- und Photovoltaikanlage bei Bedarf um maximal fünf Prozent der jährlichen Erzeugung gedrosselt würde (EWE 2014). Erfolgreicher Feldtest wurden von der EWE im LK Wittmund (http://de.slideshare.net/EWE_AG/20150702-abschlusspräsentation-systemstudie-einspeisemanagementfinal?ref=http://magazin.ewe.com/) durchgeführt.
- Die Untersuchung der Übertragbarkeit auf andere Regionen wurde im Rahmen einer Studie der RWTH Aachen durchgeführt (Moser 2015).

- Es gibt keine one size fit's all-Lösung, zu realisierende Konzepte sind abhängig von den jeweiligen regionalen Rahmenbedingungen.
 - Eine intelligente Umsetzung des Konzepts erfordert eine Ausstattung aller EE-Anlagen mit einer entsprechenden Steuerungstechnologie.
 - Konzept ist als Maßnahme in das Weißbuch Strommarktdesign aufgenommen worden.
-
- Fossilen Kraftwerken wird zumindest noch während einer Übergangsphase eine wichtige Funktion im Energiesystem zugewiesen werden, die jedoch gerade unter Klimaschutzgesichtspunkten sehr kritisch gesehen wird. (Agentur für erneuerbare Energien 2013, Graichen, Rosenkranz et al. 2015, Agora Energiewende 2016) Dieser konventioneller Kraftwerkspark könnte technisch und organisatorisch so aufgestellt werden, dass er entsprechend der jeweiligen Marktbedingungen und Netzsituation schneller an- und heruntergefahren werden könnte und sich somit die Flexibilität des Systems insgesamt erhöhen würde.
 - Einsatz und Flexibilisierung von Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen z. B. durch den Einsatz von Wärmespeichern (Fraunhofer IWES 2014, LBD Beratungsgesellschaft mbH 2015).
 - Ermittlung von Demand-Side-Management-Potenzialen insbesondere im Bereich der Industrie- und Gewerbeunternehmen. Verschiedene Studien verweisen zwar auf ein nicht unerhebliches Lastverschiebungspotenzial, häufig aber auch auf die relativ hohen Kosten dieser Ansätze im Vergleich zu alternativen Handlungsstrategien. (Wedler and et al. 2013, Connect Energy Economics 2015, de Bruyn, Kollmann et al. 2015). Man kann jedoch ausgehen, dass bei einem weiteren Fortschreiten der Energiewende die Rolle der Industrieunternehmen als aktive Teilnehmer am Markt an Bedeutung gewinnen wird (Veit/Gawel 2014). Für die Realisierung der Potenziale werden jedoch detaillierte regional- und branchenspezifische Analysen erforderlich. (Steurer, Klemp et al. 2015)
 - Erbringung von Systemdienstleistungen durch erneuerbare Energien und weitere Alternativen, um die Mindesterzeugung aus konventionellen Kraftwerken reduzieren zu können. Hier kommt vor allem den Biogasanlagen als potenzieller Anbieter von Regelleistung eine besondere Rolle zu. (Agentur für erneuerbare Energien 2014, Hauser, Baur et al. 2014).
 - Der Einsatz von Energiespeichern als Puffer zwischen Energieerzeugung und Energieverbrauch: Bei Energiespeichern kann differenziert werden nach sektoralen und sektorübergreifenden Energiespeichern (Sterner/Stadler 2014). Zu der ersten Kategorie zählen Speicher, die nur im Energiesektor selbst zur Anwendung kommen, d. h. das Ein- und Ausspeichern erfolgt bidirektional im selben Sektor. Sektorenübergreifende Energiespeicher können dagegen in einem oder mehreren Sektoren eingesetzt werden und arbeiten uni- und/oder bidirektional. Das Ein- und Ausspeichern von Energie erfolgt also nicht zwangsläufig in demselben Sektor.
 - Diese letzte Speicherkategorie — darunter fallen die vielfältigen sog. Power-to-x-Lösungen (Götz, Lefebvre et al. 2016, Götz, Buchholz et al. k. A.) — ist von besonderem Interesse, da sie die Schnittstelle des Stromsektors zum Mobilitäts- und zum Wärmesektor darstellt und damit einen zusätzlichen Puffer für den zeitlichen und

räumlichen Ausgleich von Erzeugungsschwankungen schafft. (Fraunhofer IWES, et al. 2015)

Tab. 3: Stromspeicher im engeren Sinne und weitere Flexibilitätsoptionen

Quelle: Schill et al. 2015

Kategorie	Beispiele
Stromspeicher im engeren Sinne (Power-to-Power)	Mechanische, elektrochemische, chemische Stromspeicher
Funktionale Stromspeicher (Power-to-Power)	- Lastverschiebung - Indirekte Wasserspeicherung - Flexibilisierung KWK und Biomasse
Andere erzeugungs- oder nachfrageseitige Optionen (x-to-Power)	- Flexible thermische Kraftwerke - Bedarfsgerechte Einspeisung erneuerbarer Energien - Temporärer Lastverzicht/Lastabwurf
Neue flexible Lasten (Power-to-x)	- Power-to-heat - Power-to-Mobility - Power-to-Gas (ohne Rückverstromung)
Netzseitige Maßnahmen	- Netzausbau und -optimierung - Leistungselektronik

Das Zusammenspiel der verschiedenen Erzeugungs-, Verbrauchs- und Speicheroptionen in einem zukünftigen Energiesystem verdeutlicht noch einmal die folgende Abbildung:

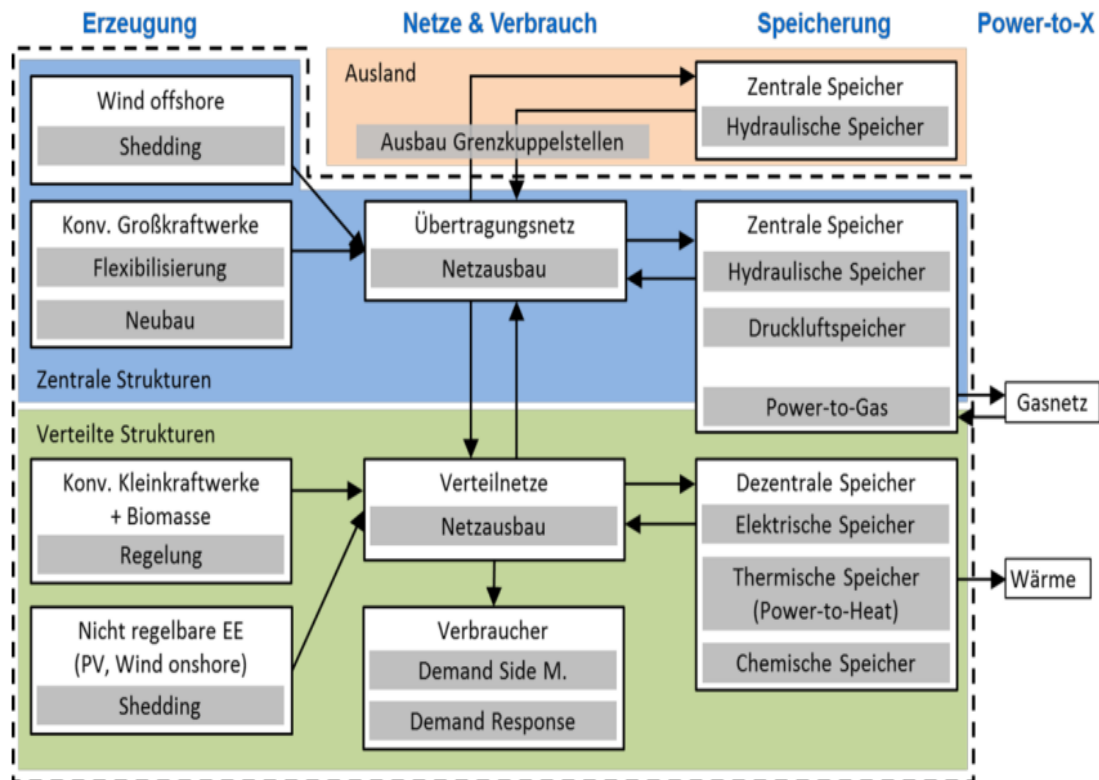


Abb. 15: Flexibilisierungs- und Integrationsoptionen im Elektrizitätssystem

Quelle: Bothor et al. 2015

Die Weiterentwicklung der Power-to-Gas-Technologie nimmt gegenwärtig einen breiten Raum ein, dabei geht es im Wesentlichen um die Produktion von Wasserstoff oder synthetischem Erdgas aus erneuerbarem Strom. Das Fraunhofer ISE kommt in einer Studie zu dem Ergebnis, dass die deutschen Klimaziele ohne die kommerzielle Verfügbarkeit dieser Power-to-Gas-Technologie im Gigawatt-Maßstab nicht erreichbar wären. (Fraunhofer ISE 2015). Kritiker verweisen dagegen auch auf die hohen Kosten von Methanisierungsstrategien und die mangelnde Abstimmung mit anderen Klimaschutzstrategien (Hermann, Emele et al. 2014).

Diese verschiedenen Flexibilitätsoptionen stehen in Konkurrenz zueinander. Sie unterscheiden sich sowohl unter Umweltaspekten (Pellow et al. 2015, Sternberg/Bardow 2015) aber auch unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten. Sinnvoll ist daher der Einsatz der Optionen nach der Vorgabe der Minimierung der Energieverluste. Der verstärkte Einsatz von Elektrizität in neuen Anwendungsfeldern (Verkehr, Wärme, industrielle Prozesse) ist in diesem Zusammenhang ein erster wichtiger Schritt zur Nutzung der Überschussenergie. Für den nicht direkt als Strom einsatzbaren Überschuss ständen dann Optionen wie die Umwandlung in Wasserstoff und dessen unmittelbaren Verwendung in verschiedenen Einsatzfeldern oder die chemische Speicherung von Wasserstoff zur Verfügung. (Leitner, Schüth et al. 2014)

5.2 Flexibilitätsbedarf

Bevor der Einsatz von Flexibilitätsoptionen und die verschiedenen Technologien bewertet werden kann, steht zunächst die Frage im Vordergrund, wie hoch der Speicher- bzw. der Flexibilitätsbedarf in der Zukunft eigentlich sein werden. Der Bedarf ergibt sich aus den Überschüssen bei Überdeckung und Defiziten bei Unterdeckung von Residuallast (Verbrauch — erneuerbare Einspeisung).

Gegenwärtig sind die Phasen, in denen Energieerzeugung und Energieverbrauch nicht mehr synchron verlaufen, noch überschaubar, dennoch zeigen die verschiedenen Monitoringberichte den zunehmenden Handlungsbedarf.

Als ein Indiz für einen Nachholbedarf im Bereich der Systemflexibilität kann die Entwicklung der Phasen mit negativen Preisen an den Strombörsen gelten, Situationen also, in denen die eingespeiste Menge die Stromnachfrage übersteigt. Noch sind diese Phasen überschaubar, (Graichen, Kleiner et al. 2015, Höfling et al. 2015), das Problem dürfte jedoch zunehmen.

Dies gilt auch hinsichtlich der wachsenden Anforderungen an das Einspeisemanagement. Es kommt vermehrt zu Situationen, in denen auf unterschiedliche Weise Eingriffe in das Stromversorgungssysteme notwendig werden, um die Systemsicherheit zu gewährleisten. Ein Hauptgrund ist, dass der Netzausbau mit dem Ausbau der erneuerbaren Energien nicht Schritt gehalten hat.

Im Berichtsjahr 2014 mussten laut aktuellem Monitoringbericht der Bundesnetzagentur die Netzbetreiber verstärkt Maßnahmen zur Wahrung der Netz- und Systemstabilität tätigen. (Bundesnetzagentur & Bundeskartellamt 2015). Mit dem Einspeisemanagement bezeichnet man eine speziell geregelte Netzsicherheitsmaßnahme. Zwar muss in EE-Anlagen erzeugter Strom vorrangig abgenommen werden. Unter ganz bestimmten Voraussetzungen kann ein verantwortlicher Netzbetreiber diese bevorrechtigte Einspeisung vorübergehend herunterregeln, wenn die Netzkapazitäten nicht ausreichen, um den insgesamt erzeugten Strom abzu-

transportieren. Sichergestellt werden muss jedoch, dass zuvor alle vorrangigen Regelungsmaßnahmen gegenüber konventionellen Kraftwerkskapazitäten ausgeschöpft wurden. Der Betreiber der heruntergeregelten Anlage hat gegenüber dem Netzbetreiber einen Anspruch auf eine Entschädigung der entstandenen Ausfallarbeit.

Bei diesem Einspeisemanagement gab es 2014 gegenüber dem Vorjahr fast eine Verdreifachung der Ausfallarbeit auf zuletzt rd. 1.581 GWh. Das waren bezogen auf die gesamte Netto-Stromerzeugungsmenge aus EEG-vergütungsfähigen Erzeugungsanlagen jedoch nur rd. 1,35 %. Die zu leistenden Entschädigungszahlungen haben sich gleichzeitig stark erhöht und beliefen sich auf rd. 83 Mio. Euro. Dieser Trend sowohl hinsichtlich der Ausfallarbeit als auch der Entschädigungszahlungen setzt sich 2015 fort. Von den Einspeisemanagementmaßnahmen ist nach wie vor die Windenergie mit über 77 % besonders betroffen, der weitaus größte Teil der Maßnahmen entfiel auch im Jahre 2014 auf die nördlichen Bundesländer.

Auch die sog. Redispatch-Maßnahmen der Übertragungsnetzbetreiber sind im Vergleich zu 2013 um 6 Prozent auf nunmehr 8.453 Stunden angestiegen. Mit Redispatch bezeichnet man den Eingriff in den marktbasierten Fahrplan der Erzeugungseinheiten zur Verlagerung der Kraftwerkseinspeisungen, um somit einer Überlastung von Netzen vorzubeugen oder bereits eingetretene Überlastungen zu beheben. Dies geschieht etwa durch die Senkung der Einspeiseleistung eines Kraftwerks bei gleichzeitiger Steigerung der Einspeiseleistung eines anderen Kraftwerks.

Der Anteil, der durch Redispatch verursachten Absenkungen, belief sich auf 0,58 Prozent, bezogen auf die Gesamterzeugung von nicht-EEG-vergütungsfähigen Anlagen. Die Kosten wurden mit rd. 187 Mill € angegeben. Von den Redispatch-Maßnahmen waren hauptsächlich die Gebiete der Übertragungsnetzbetreiber TenneT und 50Hertz betroffen.

Strombedingte Redispatchmaßnahmen auf den am stärksten betroffenen Netzelementen
im Jahr 2014 gemäß Meldungen der ÜNB

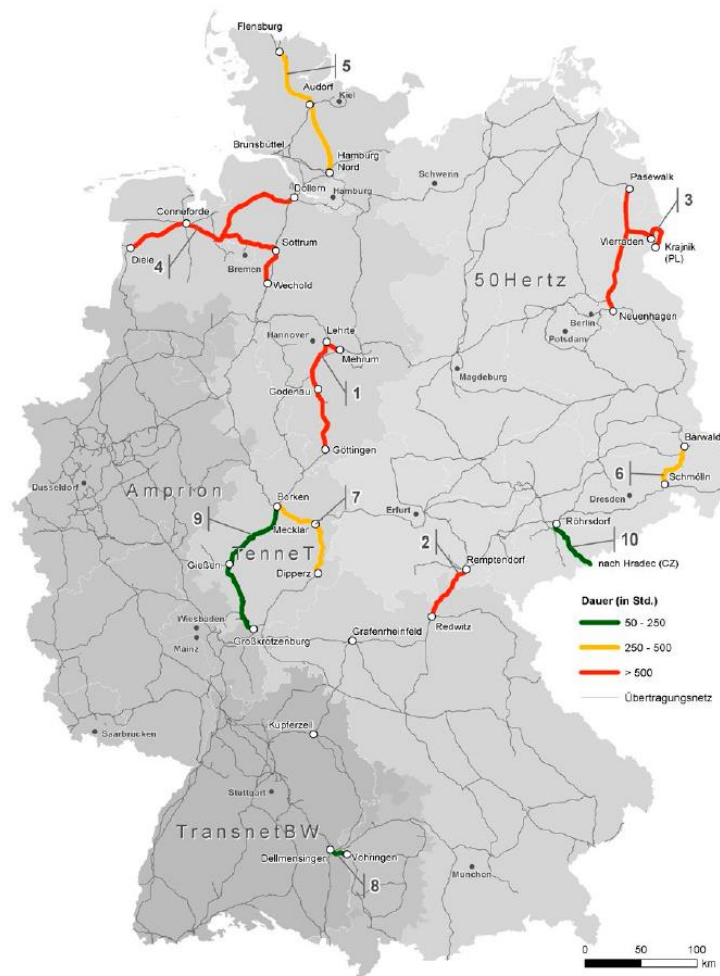


Abbildung 38: Strombedingte Redispatchmaßnahmen auf den am stärksten betroffenen Netzelementen im Jahr 2014 gemäß Meldungen der ÜNB

Abb. 16: Regionale Schwerpunkte von Redispatch-Maßnahmen

Quelle Bundesnetzagentur & Bundeskartellamt 2015., S. 105

Abseits dieser kurzfristigen Maßnahmen als Reaktion auf die Residuallasten, stellt sich die Frage, wie sich bei einem wachsenden Anteil erneuerbarer Energien diese Überschussmengen langfristig entwickeln und in welchem Umfang dann Flexibilitätsoptionen zum Zuge kämen.

Im Hinblick auf die Umwandlung von erneuerbarer Energien in Wasserstoff ist dann zu prüfen, wie hoch das Produktionspotenzial an Wasserstoff theoretisch wäre, wenn die gesamte überschüssige Energiemenge entsprechend umgewandelt würde bzw. nur die Menge an erneuerbarer Energien, die übrig bliebe, wenn alle anderen vorrangigen, kostengünstigeren Flexibilitätsoptionen berücksichtigt worden sind.

Deutlich wird, dass eine Abschätzung der Überschussenergie — vor allem auch bei einer regionalen Betrachtung — nur unter sehr vielen Annahmen und Unsicherheiten möglich ist und auch hinreichend präzise nur Einsatz von umfassenderen Energiemodellen gelingen kann. Ein eher aktuellen Studie zu den Flexibilitätsoptionen in der Energieversorgung befas-

sen sich Elsner et al. sehr ausführlich mit dem verschiedenen Konzepten zur Ermittlung von Residuallasten (Elsner, Fishedick et al. 2015).

Es sind jedoch einige grundsätzliche Einschätzungen auf der Auswertung von vorhandenen Studien möglich:

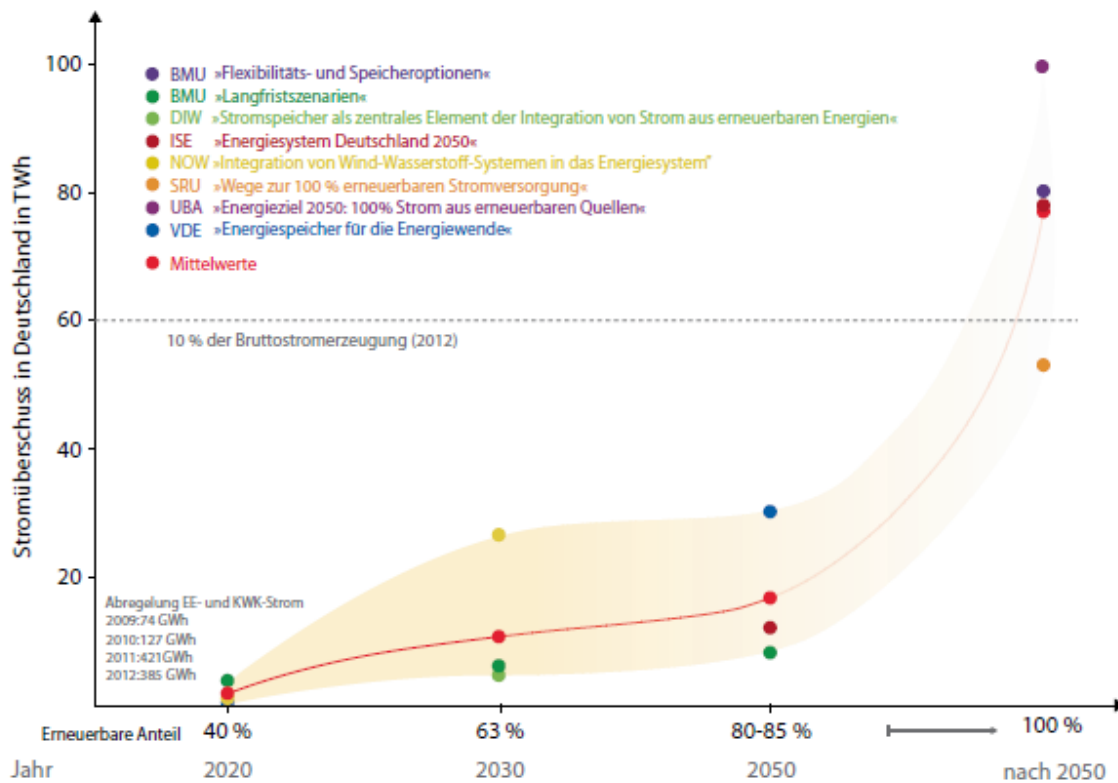


Abb. 17: Abschätzung der Stromüberschüsse (Flexibilitäts- und Speicherbedarf) in Deutschland bis 2050

Quelle: Sterner/Stadler 2014, S. 114

Die Notwendigkeit des Ausbaus zusätzlicher Speicherkapazitäten zum gegenwärtigen Zeitpunkt wird in den meisten Studien zumindest in Frage gestellt (Adamek, Aundrup et al. 2012, Fraunhofer IWES 2014, Agora Energiewende 2015). Zwar wird es bei dem weiteren Ausbau der erneuerbaren Energien einen Bedarf an Flexibilität geben, der jedoch durch die bereits verfügbaren Flexibilitätsoptionen kostengünstig bereitgestellt werden kann. Selbst bei hohen EE-Anteilen müsste danach nicht zwangsläufig auf Speicherlösungen im weiteren Sinne gesetzt werden, auch dann würden noch andere kosteneffizientere Optionen zunächst zum Einsatz kommen (Bard 2015, Zerrahn/Schill 2015). Mittels einer verbesserten europäischen Integration des Energiesektors ließe sich bspw. der Bedarf an Speicherkapazitäten erheblich reduzieren.

Bauknecht et al. fassen die Ergebnisse zusammen: Nach ihrem Phasenmodell dürften bis 2020 und einem Anteil der erneuerbaren Energien von ca. 40 % die bereits im System vorhandenen Flexibilitätsoptionen ausreichen, ab 2030 würde bei einem Anstieg auf 60 % EE-Anteil ein zusätzlicher Flexibilitätsbedarf bestehen, der durch eine Kombination unterschiedlicher Optionen gesichert werden könnte. Erst ab einem Anteil von über 75 % erneuerbarer Energien entsteht eine zusätzliche Nachfrage nach Langzeitspeichern. (Bauknecht, Heinemann et al. 2014, Bauknecht/ Vogel 2015)

Der Umstand, dass die vorhandenen Flexibilitätsspielräume zumindest auf absehbare Zeit ausreichend sind, bedeutet jedoch nicht, dass auf die Entwicklung innovativerer Flexibilitätsoptionen verzichtet werden kann. Die Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena) (2014) verweist z. B. darauf, dass die in den meisten Studien herausgehobenen Flexibilitätsoptionen oft mit großen Unsicherheiten verknüpft sind. Nicht immer ist eindeutig vorherbestimmbar, ob und wann diese Technologien dann auch zur Verfügung stehen. So kommt etwa der Ausbau des Stromnetzes nach wie vor nur zögernd voran. Vor diesem Hintergrund wird für eine Intensivierung der Forschungen zu Speicherkonzepten und Power-to-x-Ansätzen, wie der Wasserstofftechnologie, plädiert.

5.3 Regionale Flexibilitätsoptionen

Mit Blick auf den Flexibilitäts- bzw. Speicherbedarf kommen Hennings et al. nach einer Querauswertung zu dem Ergebnis, dass die räumliche Auflösung in den meisten Studien eher gering ist und auch dass der Mobilitätssektor als Absatzmarkt für Power-to-x-Produkte eher vernachlässigt wird (Hennings, Markewitz et al. 2015).

In der Tat gibt es bislang nur relativ wenige Studien, die sich systematisch mit den Residuallasten auf regionaler Ebene auseinandersetzen. Eine interessante Ausnahme bildet die Studie von (Robinius/Stolten 2015). Sie untersuchen das Potenzial an Stromüberschüssen, das im Rahmen eines Power- to-Gas-Konzepts in Wasserstoff für den Einsatz im Verkehrssektor umgewandelt werden kann. Die Studie unterscheidet für den so erzeugten Wasserstoff drei Nutzungspfade:

1. Einspeisung des Wasserstoffs in begrenzter Menge direkt in das Erdgasnetz
2. Methanisierung des Wasserstoffs und Einspeisung des Methans ins Erdgasnetz
3. Direkte Nutzung des Wasserstoffs, bspw. durch den Aufbau einer Wasserstoffinfrastruktur für die Nutzung des Wasserstoffs im Verkehrssektor bzw. in der Industrie.

Die letzte Variante der direkten Nutzung des Wasserstoffs im Verkehrssektor unter Verwendung eines Wasserstoffpipelinesnetzes wird als wirtschaftlichste Variante ermittelt. Um Umfang und Ort des Entstehens der negativen Residuallast ermitteln zu können, wird zunächst der Ausbau der Windenergie an Land analysiert. Es wird ein neues Verfahren vorgestellt, welches die stündliche Windenergieeinspeisung von Windenergieanlagen berechnet. Das mit sehr detaillierten räumlichen Daten arbeitende Modell erlaubt die Lokalisierung der zukünftigen Stromüberschüsse auf der Gemeindeebene. Die Standortauswahl der Windkraftanlagen ist dabei von entscheidender Bedeutung, wobei die Studie nach sehr unterschiedlichen Ausbaustrategien differenziert.

Wird der prognostizierte Zubau realisiert, ist der Stromüberschuss insbesondere in den Bundesländern Niedersachsen, Schleswig-Holstein, Mecklenburg-Vorpommern und in Nordhessen sehr hoch. In einem Ausbauszenario mit einer installierten Leistung von 141 GW ist ohne Berücksichtigung von Speichern eine negative Residualenergie von 324 TWh erreichbar. Dies entspricht einer produzierten Wasserstoffmenge von 6,8 Mio. t.

Bereits mit einer Menge von 5,4 Mio. t Wasserstoff können mittels eines Wasserstoffpipelinesnetzes $\frac{3}{4}$ des deutschen Verkehrssektors rein theoretisch mit Wasserstoff versorgt werden.

Die Abb. 18 fasst die Ergebnisse der Residualenergie und der möglichen produzierten Wasserstoffmenge auf Bundeslandebene zusammen.

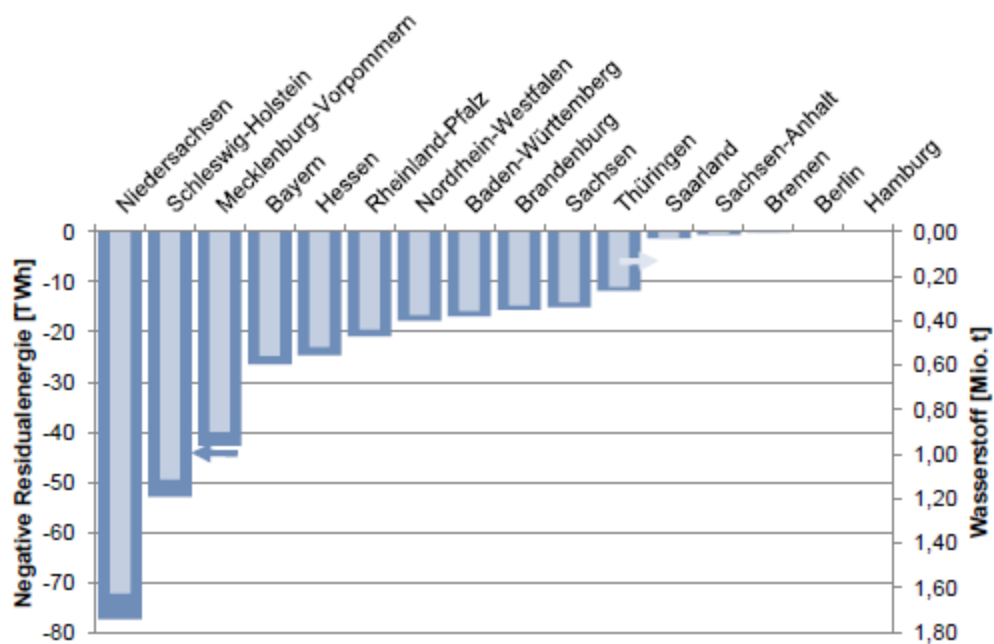


Abb. 18: Negative Residualenergie nach Bundesländern

Quelle Robinius/Stolten 2015

6 Alternative Antriebstechnologien und Kraftstoffe im Transportsektor

In der Debatte über die Energiewende spielt der gesamte Verkehrssektor im Vergleich zu den anderen Sektoren immer noch eine eher nachrangige Rolle. Dies ist insbesondere erstaunlich, als der Verkehrssektor für etwa 20 % der deutschen Treibhausgasemissionen verantwortlich und von daher in alle klimapolitische Strategien mit einzubinden ist. (Agentur für erneuerbare Energien 2015)

Eine aktuelle Studie der Internationalen Organisation für erneuerbare Energien (IRENA) (2015) bescheinigt Deutschland eine sehr erfolgreiche Politik mit Blick auf den Ausbau erneuerbarer Energien. Der Bericht verweist aber gleichzeitig auf die Notwendigkeit, den Schwerpunkt vermehrt auf Technologien zur Nutzung von erneuerbaren Energien und zur Elektrifizierung im Endverbraucherbereich sowie auf das enorme Potenzial von erneuerbaren Energien in den Bereichen Wärme und vor allem auch für Verkehr zu legen.

Tab. 4: Quantitative Ziele der Energiewende
Quelle: Expertenkommission 2015

Tabelle 2.1: Quantitative Ziele der Energiewende und Status quo (2014)

	2014	2020	2030	2040	2050
Treibhausgasemissionen					
Treibhausgasemissionen (gegenüber 1990)	-27 %	mindestens -40 %	mindestens -55 %	mindestens -70 %	mindestens -80 bis -95 %
Erneuerbare Energien					
Anteil am Bruttoendenergieverbrauch	13,5 %	18 %	30 %	45 %	60 %
Anteil am Bruttostromverbrauch	27,4 %	mindestens 35 %	mindestens 50 % EEG 2025: 40 bis 45 %	mindestens 65 % EEG 2035: 55 bis 60 %	mindestens 80 %
Anteil am Wärmeverbrauch	12,0 %	14 %			
Anteil im Verkehrsbereich	5,6 %				
Effizienz und Verbrauch					
Primärenergieverbrauch (gegenüber 2008)	-8,7 %	-20 %	 -50 %		
Endenergieproduktivität (2008–2050)	1,6 % pro Jahr (2008–2014)	2,1 % pro Jahr (2008–2050)			
Bruttostromverbrauch (gegenüber 2008)	-4,6 %	-10 %	 -25 %		
Primärenergiebedarf Gebäude (gegenüber 2008)	-14,8 %	 -80 %			
Wärmebedarf Gebäude (gegenüber 2008)	-12,4 %	-20 %			
Endenergieverbrauch Verkehr (gegenüber 2005)	1,7 %	-10 %	 -40 %		

Quelle: Eigene Darstellung Bundesministerium für Wirtschaft und Energie 10/2015

6.1 Entwicklung des Energieverbrauchs und der Schadstoffemissionen im Verkehrssektor

Im Vergleich zu den anderen emittierenden Sektoren der Volkswirtschaft wie der Energiewirtschaft und dem industriellen Sektor konnte der Verkehrssektor in den letzten Jahrzehnten keine Fortschritte bei der Reduktion der Treibhausgase erreichen. Im Gegenteil sind sie sogar gestiegen (Umweltbundesamt 2014, Expertenkommission zum Monitoring-Prozess „Energie der Zukunft“ 2015). Ein weiter anhaltend niedriger Ölpreis könnte diesen Trend sogar noch verstärken.

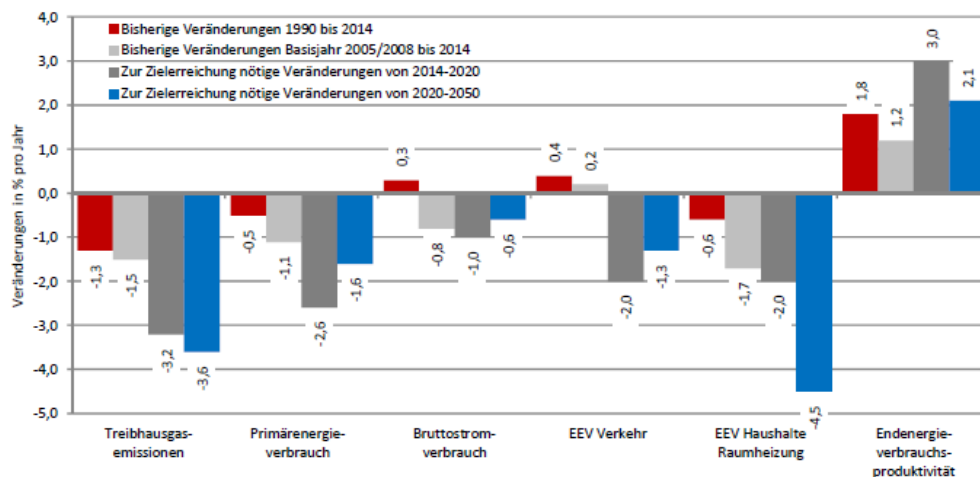


Abb. 19: Gegenüberstellung der bisherigen und der zur Zielerreichung notwendigen Veränderungen ausgewählter Zielwerte bis 2020
Expertenkommission 2015, S. Z-4

Die wesentliche Ursache für diese Entwicklung ist der nach wie vor ungebrochene Anstieg der Verkehrsleistungen im Personen- als auch im Güterverkehr. Die vorliegenden Verkehrsprognosen gehen von einem weiteren Wachstum aus. Dies gilt auch für den Umschlag in den deutschen Seehäfen. Nach der Seeverkehrsprognose 2030 wird im Kernszenario der Umschlag in den deutschen Nordseehäfen zwischen 2010 und 2030 um jährlich rd. 3 % pro Jahr ansteigen. (MWP, IHS. et al. 2014)

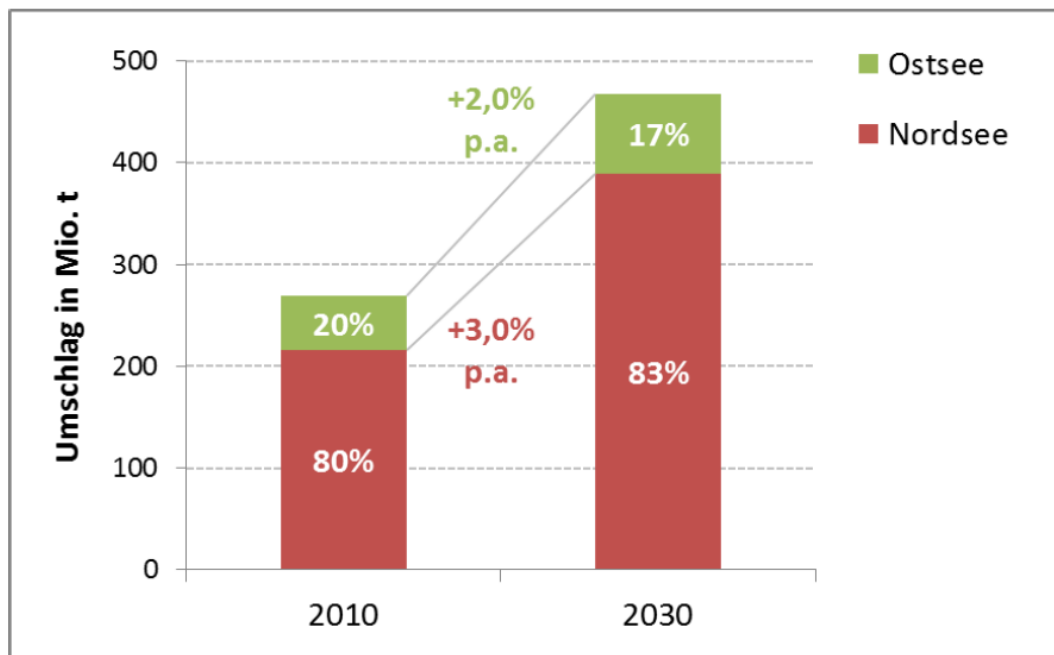


Abb. 20: Deutsche Seehäfen Umschlagsentwicklung und Marktanteile nach Seegebiet

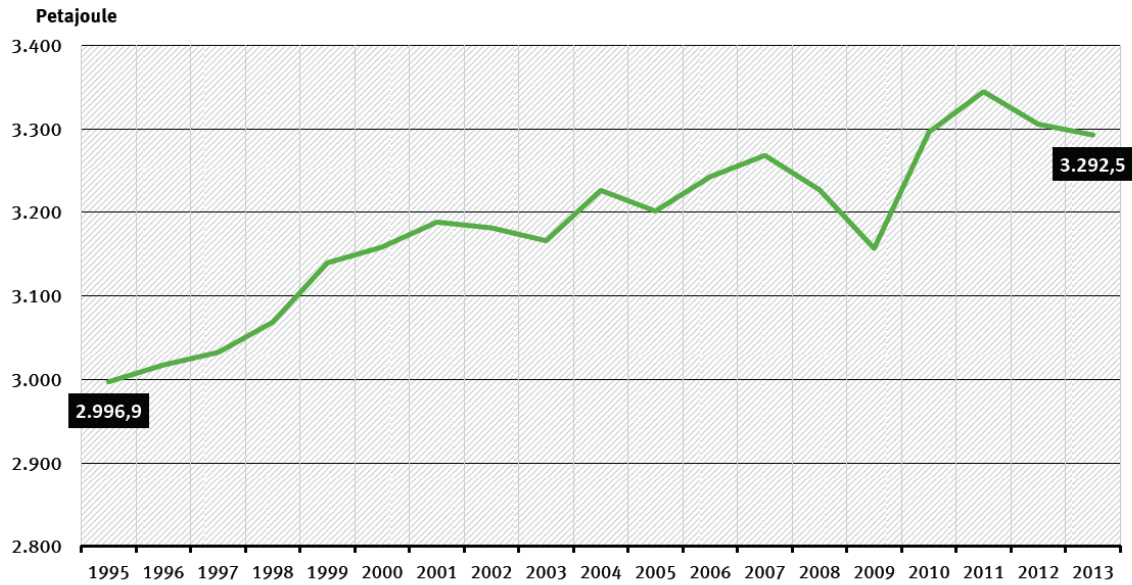
Quelle: MWP, IHS. et al. 2014

Energieverbrauch

Die Entwicklung des Verkehrsvolumens spiegelt sich auch in der Entwicklung des Energieverbrauchs wider. Im Jahr 2014 lag in Deutschland der Endenergieverbrauch in diesem Sektor rund 1,7 Prozent über dem Niveau von 2005. (BMWi 2015c)

In der Regel werden die Energieverbräuche für den Seeschiffahrtverkehr nicht gesondert ausgewiesen und auch in den Szenarien bis 2050 nur am Rande thematisiert. (Öko-Institut, et al. 2015)

Entwicklung des gesamten Primärenergieverbrauchs im Verkehrssektor

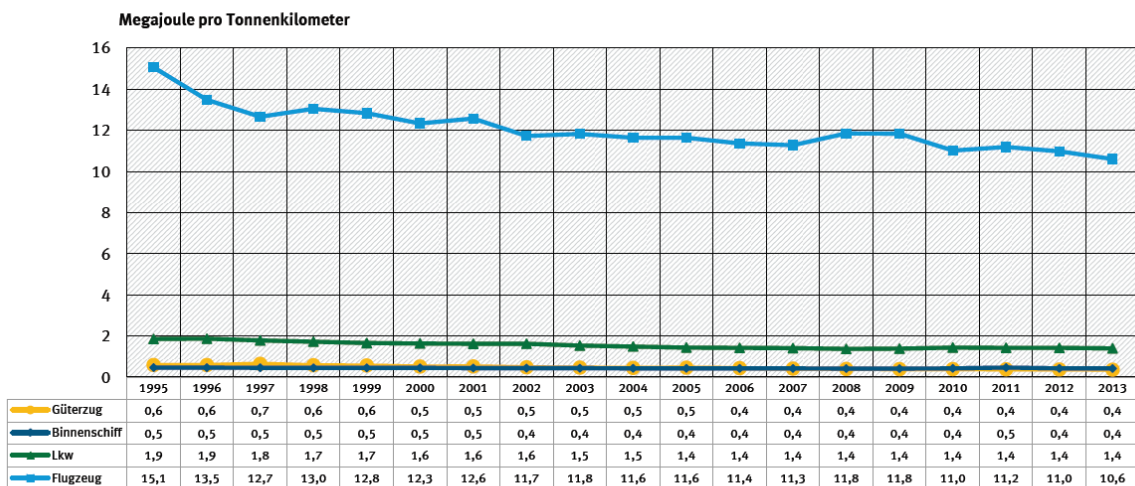


Quelle: Umweltbundesamt, Daten und Rechenmodell TREMOD, Version 5.53 (11/2014)

Abb. 21: Entwicklung des gesamten Primärenergieverbrauchs im Verkehrssektor

Quelle: <https://www.umweltbundesamt.de/daten/verkehr/energieverbrauch-nach-verkehrstraegern>

Entwicklung des spezifischen Energieverbrauchs im Güterverkehr



Quelle: Umweltbundesamt, Daten und Rechenmodell TREMOD, Version 5.53 (11/2014)

Abb. 22: Entwicklung des spezifischen Energieverbrauchs im Verkehrssektor

Quelle: <https://www.umweltbundesamt.de/daten/verkehr/energieverbrauch-nach-verkehrstraegern>

Die folgende Abbildung zeigt den Handlungsbedarf in diesem Sektor, sollen die langfristigen Ziele erreicht werden:

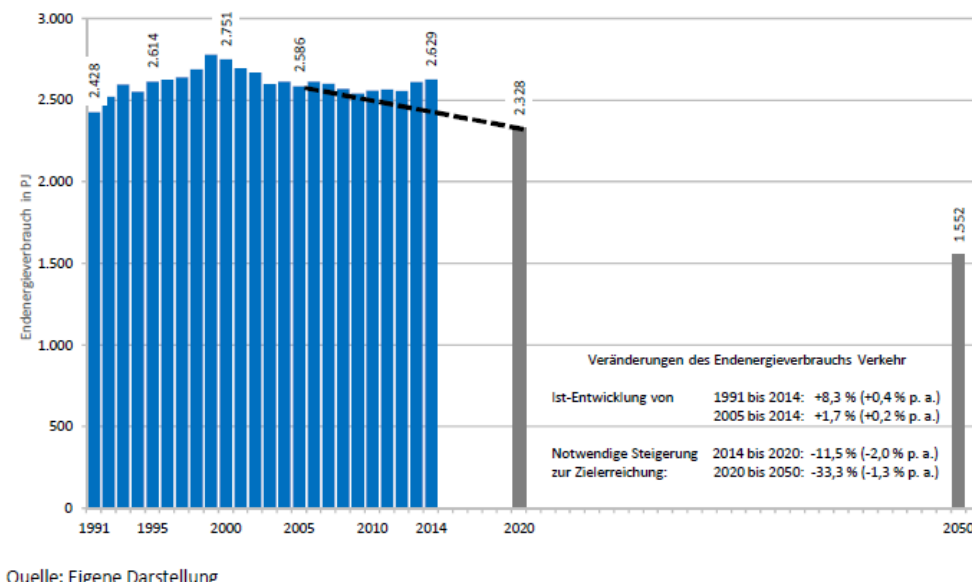


Abb. 23: Entwicklung des Endenergieverbrauchs im Verkehr in Deutschland von 1991 bis 2014 sowie Ziele für 2020 und 2050

Quelle: Expertenkommission 2015

Die meisten von der AEE ausgewerteten Studien sehen große Energieeinsparpotenziale im motorisierten Individualverkehr, während die Reduktionspotenziale vor allem im Straßengüter-, Schiffs- und Luftverkehr eher gering eingeschätzt werden, sodass es bei einem steigenden Verkehrsaufkommen trotz Effizienzsteigerungen zu einem absoluten Anstieg kommen könnte. (Agentur für Erneuerbare Energien 2014, 2015)

Nach dem letzten IPCC-Report müssten im Jahr 2050 die globalen Treibhausgasemissionen um 40 bis 70 % unter dem Niveau von 2010 liegen, um einen globalen Temperaturanstieg von mehr als 2 °C gegenüber dem vorindustriellen Niveau zu verhindern. Um dieses Ziel zu erreichen, sind alle Sektoren gefordert, ihren Beitrag zur Reduktion der Treibhausgasemissionen zu leisten. Die meisten Studien und Szenarien für den Zeitraum bis 2020 gehen davon aus, dass die Treibhausgasemissionen des Verkehrs weiter ansteigen werden. In der amtlichen Statistik ist der internationale Luft- und Schiffsverkehr wie auch in vielen Studien nicht enthalten. Detailliertere Szenarien und Studien zeigen aber dass diese Emissionen beträchtlich sein werden. (Repenning, Emele et al. 2014)

Nach der 3. Treibhausgas-Studie der internationalen Schifffahrtsorganisation (IMO) werden die Emissionen des Schiffsverkehrs von 2012 bis 2050 je nach Szenario um 50 bis 250 % steigen. (International Maritime Organization 2015; (Bows-Larkin 2014). Unter der Annahme, dass alle anderen Emittenten den Weg in Richtung 2 Grad-Ziel gehen, bedeutet dies eine Erhöhung des Anteils des Schifffahrtssektors an den weltweiten Emissionen von zurzeit rd. 2 auf 10 %. (Lee, Lim et al. 2015).

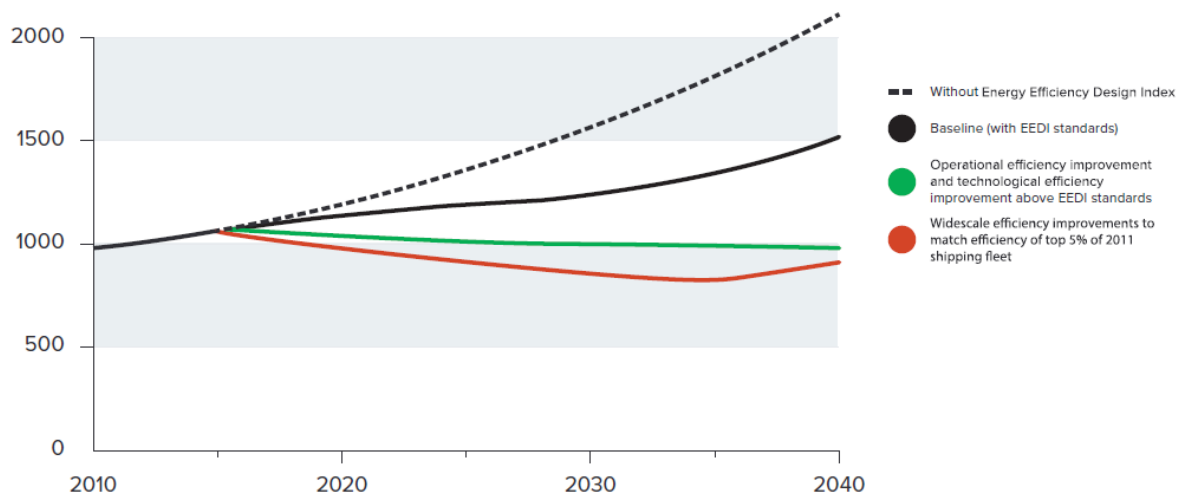
Neben den Treibhausgasemissionen sind auch die Nicht-CO₂-Emissionen von erheblicher Relevanz: So entfallen rd. 15 % der globalen anthropogenen Stickoxidemissionen (NO_x) und 12 % der Schwefeloxidemission auf den Schifffahrtssektor (Lindstad, Verbeek et al. 2015, The Partnership on Sustainable 2015; European Environment Agency 2009,2013; del Saz-Salazar, García-Menéndez et al. 2013, European Environment Agency 2013, European En-

vironment Agency 2013, Bracher, Gies et al. 2014, International Transport Forum 2014, Cames and et al. 2015, European Union 2015, International Maritime Organization 2015).

Der Schifffahrtssektor verfügt zwar über ein erhebliches technisches und operatives Potenzial zur Emissionsverringierung; in den meisten Szenarien wird jedoch darauf hingewiesen, dass zusätzlich zu den bereits ergriffenen oder geplanten Maßnahmen weitere effizienzsteigernde Instrumente erforderlich sind, um die langfristigen klimapolitischen Ziele zu erreichen.

Shipping fleet CO₂ emissions with efficiency standards

Shipping fleet CO₂ emissions with efficiency standards, additional technologies, and full deployment of best available technology and best practices for in-use ship efficiency.



Source: International Council on Clean Transportation (ICCT), 2013. Long-term Potential for Increased Shipping Efficiency through the Adoption of Industry-Leading Practices. White paper. ICCT, Washington, DC.

Abb. 24: Entwicklung der CO₂ Emissionen in der Seeschifffahrt

Quelle: Gençsü/Hino 2015, S. 12

Ein besonderes Augenmerk im Bereich des internationalen Schifffahrtssektors wird dabei auf die Einführung von alternativen Kraftstoffen gelegt. In den meisten Studien wird deutlich, dass der Erfolg vieler Technologien aus heutiger Perspektive noch ungewiss ist und stark vom Fortschritt in Forschung und Entwicklung abhängt. Darüber hinaus zeigen Metaanalysen, dass die aktuellen politischen Rahmenbedingungen nicht ausreichen und viele weitere Maßnahmen getroffen werden müssen, um die Energiewende im Verkehrssektor voranzubringen.

6.2 Neue Technologien in der maritimen Wirtschaft

Auch wenn die mittel- bis langfristigen Nutzen einer Strategie der Emissionsreduzierung in der Zwischenzeit offenkundig ist, führt die komplexe Struktur dieses international operierenden Sektors und das Zusammenspiel der Seeschifffahrt und der Hafenstandorte mit anderen Transportsektoren dazu, dass eine Klimaschutzstrategie für den Schifffahrtssektor eine sehr anspruchsvolle Aufgabe darstellt.

Es gibt in der Zwischenzeit zahlreiche Technologien zur Emissionsreduzierung, bislang haben viele dieser Technologien jedoch nicht geschafft, sich aus ihrem Nischenstadium heraus zu entwickeln. Der Schifffahrtssektor gilt eher als zögerlich, wenn es um die Umsetzung und Adaption neuer Technologien geht. Dazu zählt u. a. auch der Wasserstoffeinsatz in Brennstoffzellen, einer Option, bei der neben den Kosten und auch technische Herausforderungen als Restriktionen gelten.

Gilbert, Bows-Larkin et al. (2015) setzen sich sehr ausführlich mit den driving forces und Hemmnissen auseinander und verweisen vor allem auf das Problem der Pfadabhängigkeiten, die einen Umstieg auf neue Technologien erschweren können. Letztlich wird es keine one size fit's all-Lösung in diesem Sektor geben.

Der Einsatz von Elektromobilität in Verkehrsbereich als eine Option wird im Wesentlichen auf den Straßenverkehr beschränkt bleiben; zwar gibt es auch Überlegungen für Einsatzmöglichkeiten im Straßengüterverkehr, die Perspektiven werden jedoch eher ungünstig eingeschätzt. Dies gilt auch im Luftverkehr und mit Einschränkungen auch für den Schiffsverkehr, wo ein elektrischer Direktantrieb für Fähren diskutiert wird.

In den Fällen, bei denen diese direkte Nutzung von Strom im Verkehrssektor nicht möglich ist, können strombasierte Kraftstoffe zur Anwendung kommen. (Agentur für Erneuerbare Energien 2014, van Basshuysen 2015). Ihre Nutzung ist jedoch in der Regel mit einem hohen technischen Aufwand und mit entsprechend hohen Kosten verbunden; viele Studien aus der jüngsten Zeit gehen daher in ihren Modellierungen davon aus, dass strombasierte Kraftstoffe erst ab 2030 einen relevanten Beitrag spielen können. Einige Studien sind auch hinsichtlich der langfristigen Perspektiven eher skeptisch (Prognos AG, EWI et al. 2014), andere dagegen erhebliche Potenziale für einen klimaneutralen Energiesektor (Öko-Institut e.V. 2013, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR), et al. 2014). Dabei setzen einige Studien auf Wasserstoff (Fraunhofer ISE 2013, Nitsch 2015), andere sehen in Methan oder Flüssigkraftstoffen eine Option (Öko-Institut e.V. 2013).

Dem Wasserstoff wird zumindest als langfristige Option eine wichtige Funktion im Umbau des Energiesystems zugewiesen (Ball/Weeda 2015). Gleichzeitig wird dieser Transformationspfad in Richtung auf eine Wasserstoffwirtschaft mit gewaltigen technischen, ökonomischen und sozialen Herausforderungen verbunden sein (McDowall 2014; Ball/Weeda 2015, Marchenko/Solomin 2015, Rosen 2015, Wietschel et al. 2015). Es gibt gegenwärtig eine sehr umfangreiche Literatur, die sich mit der Rolle von Wasserstoff und Brennstoffzellen in einem zukünftigen Energiemodell auseinandersetzt (Decourt, Lajoie et al. 2014, Ehteshami/Chan 2014, Garmsiri, Rosen et al. 2014, E4tech et al. 2015, Sgobbi, Nijs et al. 2015, Sharma/Ghoshal 2015, Furfari 2016).

Autarke versus netzgebundene Lösungen

In den Konzepten zum Aufbau einer Wasserstoffwirtschaft wird in der Regel davon ausgegangen, dass die Entnahme der überschüssigen Energien für die Produktion aus dem Stromnetz erfolgt.

Denkbar sind aber auch autarke Lösungen, bei denen die Wasserstoffproduktion in unmittelbarer Nähe zu einer erneuerbaren Energieanlage errichtet wird und der Strom nicht aus dem öffentlichen Netz erfolgt, und damit auch entsprechende Netzentgelte eingespart werden könnten. Bei einer Onshore-Lösung müssten entsprechend Flächen und eine ausreichende

Erzeugungskapazität an erneuerbarer Energie für diese Direktversorgung dauerhaft verfügbar sein. Die Vor- und Nachteile dezentraler Lösungen sind daher immer unter den konkreten regionalen Bedingungen zu prüfen (Meier 2014).

Ein Beispiel für eine derartige autarke Lösung sind Überlegungen für den Aufbau zentraler Produktionsanlagen offshore in der unmittelbaren Nähe von Offshore-Windparks (Meier 2014). Der Strom aus den Windparks wird genutzt, um auf einer nahegelegenen Plattform Wasserstoff zu produzieren. In diesem Modell würde ein Umwandlung des Wasserstoffs und von CO₂ in Methan erfolgen (Synthetic or substitute natural gas SNG) erfolgen. Der Weitertransport des L-SNG von der Plattform würde mittels Tanker erfolgen. Die Zuführung von CO₂ erfolgt dagegen über eine Pipeline von Land aus.

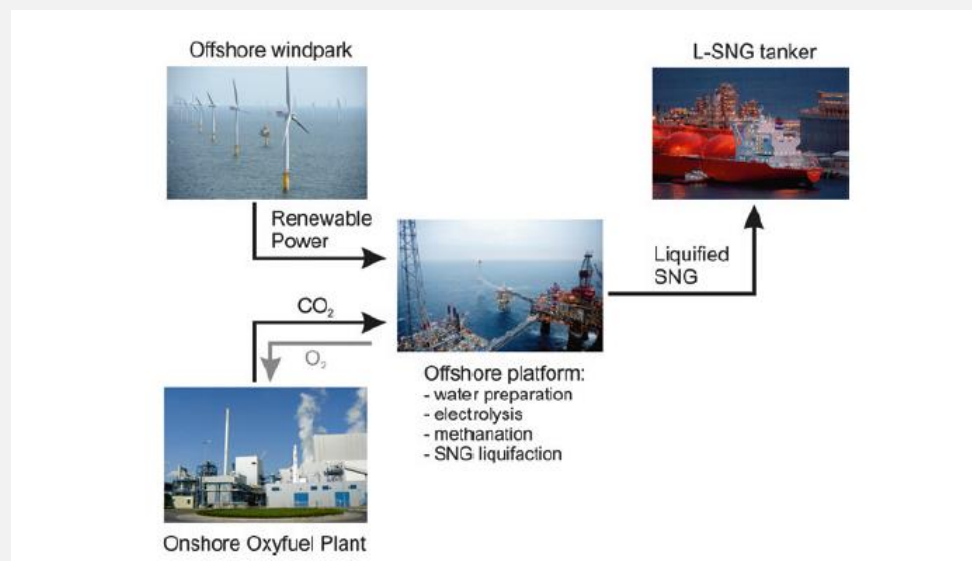


Abb. 25: Modell einer autarken Wasserstoffproduktion aus erneuerbaren Energien

Quelle: Lehner, Tichler et al. 2014

Lehner et al. verweisen aber auch auf den visionären Charakter dieser Lösungen: „*This concept is a kind of “big picture” for the Power-to-Gas technology. It is, of course, far from realization, but it demonstrates future possibilities of a gas “exploration” which is completely on a renewable basis*“ (Lehner, Tichler et al. 2014), S. 13.

Die Entwicklung alternativer Kraftstoffe wird maßgeblich durch nationale und europäische Vorgaben bestimmt. Die EU-Richtlinie 2009/28/EG zur Förderung der Nutzung erneuerbarer Energiequellen schreibt für die Mitgliedsstaaten der EU bis 2020 einen verbindlichen Anteil von jeweils mindestens 10 Prozent erneuerbarer Energien am Endenergieverbrauch im Verkehrsbereich vor.

In Deutschland lag im Jahr 2014 der Anteil der erneuerbaren Energien im Verkehrssektor bei 5,6 Prozent. Den wesentlichen Beitrag leistet hierbei das Biokraftstoffquotengesetz, das bei Kraftstoffen einen bestimmten Mindestanteil (Quote) in Form von Biokraftstoffen vorschreibt.

Ziel 2020	Anteil erneuerbarer Energien im Verkehrsbereich von 10 Prozent
Status 2014	5,6 Prozent

Steckbrief – Zentrale Maßnahmen im Verkehrssektor**Alternative Kraftstoffe****Richtlinie über den Aufbau der Infrastruktur für alternative Kraftstoffe 2014**

- Ziel ist es, eine angemessene Mindestausstattung an Tank- und Lademöglichkeiten für alternative Kraftstoffe aufzubauen und die notwendigen Mindeststandards sowohl technischer Art als auch in Bezug auf Verbraucherinformation zu setzen.
- Die Richtlinie ist Teil des europäischen Maßnahmenpakets „Saubere Energie für den Verkehr“ („Clean Power for Transport Package“).
- Der Aufbau der Infrastruktur für alternative Kraftstoffe und somit die Umsetzung der Richtlinie ist integraler Bestandteil der MKS.

Kraftstoffe der See- und Binnenschifffahrt

- Weiter werden konkrete Unterstützungsmaßnahmen für die See- und Binnenschifffahrt vorbereitet, um die Nachfrage nach verflüssigtem Erdgas (LNG) anzuregen und somit das Angebot an LNG-Tankinfrastruktur zu befördern.
- Ein Pilotprojekt zur Umrüstung eines Schiffsmotors auf LNG-Antrieb wurde gestartet. Pilotprojekte über die Einsatzmöglichkeiten von LNG zur Stromversorgung von Containerschiffen in Seehäfen werden derzeit geprüft. Auch in der Binnenschifffahrt werden mögliche Pilotprojekte für den Einsatz von LNG als alternativem Kraftstoff untersucht.

Steckbrief – Zentrale Maßnahmen im Verkehrssektor**Mobilitäts- und Kraftstoffstrategie (MKS) (Bundesministerium für Verkehr 2013)**

Das Bundeskabinett hat im Juni 2013 eine Mobilitäts- und Kraftstoffstrategie (MKS) beschlossen, die ein wichtiges Instrument für die Umsetzung der Energiewende im Verkehrssektor darstellt.

Die Strategie enthält einen Überblick über Technologien sowie Energie- und Kraftstoffoptionen der verschiedenen Verkehrsträger. Um die energie- und klimapolitischen Ziele zu erreichen, sind nach dieser Strategie mehrere Voraussetzungen zu schaffen:

- Diversifizierung der Energiebasis des Verkehrs mit alternativen Kraftstoffen in Verbindung mit innovativen Antriebstechnologien,
- die Steigerung der Energieeffizienz von Verbrennungsmotoren,
- die Optimierung der Verkehrsabläufe und Verlagerungen eines möglichst großen Anteils des Verkehrs auf den jeweils effizientesten Verkehrsträger.

Quelle: BMWi 2015c.S. 45f

Die Internationale Agentur für Erneuerbare Energien IRENA (2015) hat sich erstmals auch intensiv und detailliert mit den Chancen und Risiken der Wasserstofftechnologie und anderen Formen der EE in der Schifffahrt auseinandergesetzt. Der Bericht enthält eine umfassende Darstellung der Technologien und geht dann zusätzlich auf die Treiber der Entwicklung und die Barrieren ein.

Tab. 5: Treiber der Entwicklung erneuerbarer Energien in der maritimen Wirtschaft

Quelle: in Anlehnung an IRENA 2015, S. 41

Umwelt	Technik	Wirtschaftlich	Politik und Regulierung
• Emissionsreduktion/Schadstoffkontrolle • Klimawandel • Energieverfügbarkeit • Nachhaltigkeit • Life Cycle Ansätze • Gesundheit und Sicherheit • Gesellschaftlicher Druck	• Antriebssysteme • Motorentechnologie • Brennstoffeigenschaften • Materialeigenschaften • Informationstechnologie • Energiespeicher • Hybride Systeme und Optimierung	• Preise für fossile Brennstoffe • Investitionskosten • Betriebskosten • Wirtschaftswachstum • Welthandel • Ökonomische Integration • Anreize und Marktmechanismen • Finanzierungsmechanismen • Preispolitik und Tarifregulierung • Public Private Partnership	• Governance • Regelungsrahmen/Regelungsumfeld • Energiesicherheit • Investitionen in Forschung und Entwicklung

Eine aktuelle Studie im Auftrag der EU-Kommission befasst sich mit dem Stand und der Entwicklung von alternativen Kraftstoffen bis zum Jahre 2050 (COWI 2015). Die Abbildung zeigt einen steigenden, aber im gesamten Energiemix eher geringen Anteil von Elektrizität und Wasserstoff.

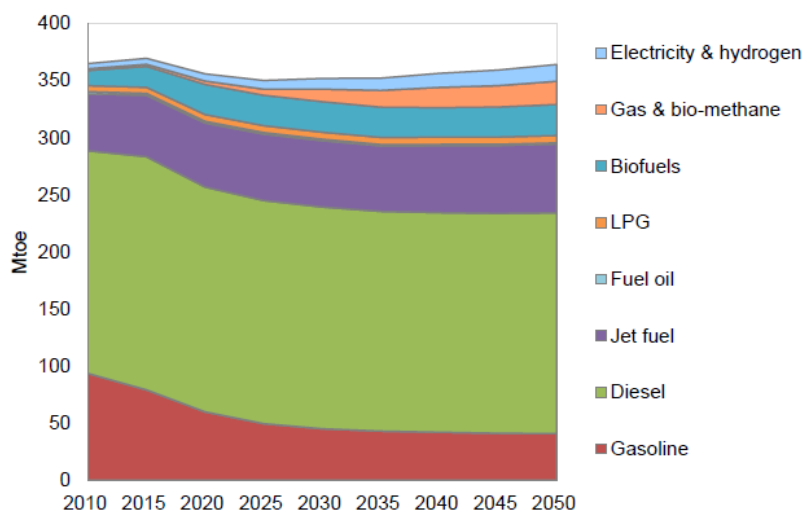


Figure 2-3: Final energy use in transport under current trends and adopted policies. Source: Source: Reference+ scenario, PRIMES-TREMOVE model, E3M-Lab (ICCS/NTUA)⁵

Abb. 27: Entwicklung des Anteils verschiedener Kraftstoffe am Endenergieverbrauch des Schifffahrtssektors

Quelle: COWI

Dennoch sieht der Report gerade mit Blick auf Wasserstoff positive Perspektiven:

„For example, production of hydrogen from renewable biomass is a promising mid-term option with very low net carbon emissions. In the longer term, transition to hydrogen from wind energy should enable zero-carbon mobility. While this technology is rapidly improving, high

cost of electrolyzers and renewable electricity constitute key barriers towards wider uptake. However, on the basis of significant benefits to coupling hydrogen production with flexible storage of off-peak renewable electricity whereas the share of RES in European electricity grids will continue to increase, these barriers have a good chance to be overcome in a not too distant future.”

Neben den sehr praxisnahen und umsetzungsorientierten Arbeiten gibt es auch modellgestützte Studien, die sich mit dem Umstieg auf eine Wasserstoffwirtschaft befassen.

Samsatli, Staffell et al. 2015 modellieren für Großbritannien ein Energieversorgungssystem, das Windenergie und Wasserstofftechnologien und die entsprechende Infrastruktur kombiniert und in der Lage ist, die gesamte Energienachfrage des britischen Transportsystems zu bedienen. Die Arbeit geht dabei auf die verschiedenen technischen, räumlichen und auch ökologische Restriktionen einer solchen Strategie ein. Auf einer eher hochaggregierten Ebene befassen sich (Raucci et al. 2014) mit der Rolle von Wasserstoff in der internationalen Schifffahrt, in dem sie mit gekoppelten Energie- und Schifffahrtsmodellen arbeiten.

Umweltschutz in der maritimen Wirtschaft:

Internationale Abkommen, europäische Richtlinien und freiwillige Initiativen

- Internationale Übereinkommen zur Bedeutung und Entwicklung des Schiffsverkehrs und der durch ihn verursachten Schadstoffemissionen (MARPOL)
- Internationale MARPOL-Regelungen sollen die Verschmutzung durch die Schifffahrt senken; erste Regelungen zielen darauf ab, die Verschmutzung durch Öl und flüssige Stoffe einzudämmen, es folgten Regelungen zur Verhinderung der Einleitung von Schiffsabwasser (2003) und zur Senkung die Emission von Luftschadstoffen (2005)
- Seit 2010 dürfen in Häfen der EU nur Brennstoffe mit weniger als 0,1 Prozent Schwefel verwendet werden (Richtlinie 2005/33/EG); in der Nord- und Ostsee sowie im Ärmelkanal (Sulphur Emission Control Area (SECA) – gilt seit 2015 ein Grenzwert von 0,1 Prozent Schwefel (Richtlinie 2012/33/EU).
- Seit 2011 gelten für neue Schiffe Grenzwerte für NO_x-Emissionen; ab 2016 gilt eine Verschärfung in den SECA
- Neue Schiffe müssen einen Energieeffizienzkennwert (EEDI) einhalten, der die CO₂-Emissionen pro Tonne Ladung und gefahrener Seemeile angibt
- Seit 2013 muss ein Energy Efficiency Management Plan (SEEMP) an Bord mitgeführt werden
- Umweltzeichen „Blauer Engel für Seeschiffe“ als ein Beispiel für eine freiwillige Initiative; spezielle Anforderungen an das Design der Schiffe und deren Betrieb
- Auf internationaler Ebene ist es bislang nicht gelungen, die Emissionen der internationalen Schifffahrt in die CO₂-Reduktionsziele einzubeziehen.
- Weißbuch der Europäischen Kommission (2011): Reduktion der CO₂-Emissionen von Bunkerölen für die Seeschifffahrt in der EU um 40 Prozent bis 2050
- Überlegungen, den Schiffsverkehr in den CO₂-Emissionshandel einzubeziehen, wurden bislang nicht weiter verfolgt.

Quelle: Engerer 2015

7 Nachhaltige Entwicklung von Seehäfen

Seehäfen spielen eine zentrale Rolle in der globalisierten Wirtschaft, in den integrierten Transport- und Logistikketten, aber auch als Impulsgeber für die regionalen Ökonomien (Ulatowski/Timm 2014, Dooks, Haezendonck et al. 2015). Häfen gelten aber gleichzeitig auch als Verursacher von Umweltbelastungen durch die Schifffahrt selbst, Hafenaktivitäten und auch landseitige Emissionen, da Hafenstandorte nicht selten als Industriekomplexe entsprechenden Auswirkungen auf die Ökosysteme haben (Sakellariadou 2015; NABU 2014). Bei den Strategien zum Ausbau von Hafenstandorten besteht die Aufgabe also zunehmend darin, wirtschaftliches Wachstum unter Berücksichtigung ökologische und sozialer Aspekte umzusetzen (European Commission 2015; Cariou, Ferrari et al. 2014).

In den letzten Jahren haben viele Häfen entsprechende Initiativen für eine nachhaltige Hafenentwicklung gestartet (World Ports Climate Initiative: <http://wpci.iaphworldports.org>; Sustainable Ports: <http://sustainable-ports.eu/downloads>; European Sea Ports Organisation: <http://www.ecoport.com>; „Green and Effective Operations at Terminals and in Ports“: <http://www.green-efforts.eu>). Der Druck in Richtung auf eine nachhaltige Hafenentwicklung ergibt sich im Wesentlichen aus Vorgaben der internationalen und nationalen Regulierung und neuen Umweltauflagen. Häfen müssen sich aktiv mit diesen Vorgaben auseinandersetzen, stehen andererseits in einem harten Wettbewerb, der sie zwingt, alle Möglichkeiten einer effizienten Gestaltung von Produktionsprozessen auszuschöpfen. (Davarzani, Fahimnia et al. 2015, Fahimnia, Bell et al. 2015)

Dass die nachhaltige Hafenentwicklung zu einem wichtigen Trend in den letzten Jahren geworden ist, zeigt sich auch in der sehr breiten Literatur zu diesem Thema und der Dokumentation von Fallbeispielen. Vergleichende Studien stellen jedoch eher eine Ausnahme dar. (Hiranandani 2014). Offen ist dabei auch die Frage, ob alle der vorgeschlagenen Umweltmaßnahmen auch tatsächlich nachhaltig sind und ob in welchem Umfang eine nachhaltige Entwicklung in den Häfen möglicherweise zu einer Verlagerung von Problemen in andere Regionen führen kann.

Nach einer aktuellen Untersuchung von Puig et al. (2015) verfolgen rd. 90 % der europäischen Seehäfen eine eigenständige umweltpolitische Strategie und 94 % der Häfen verfügen über eigenes Personal im Umweltbereich. Besonders ausgeprägt ist der Trend zur Etablierung von Umweltmanagementsystemen wie ISO 14001; PERS, SDM (Puig, Wooldridge et al. 2015, ESPO 2011, 2012). Auch die Häfen innerhalb der Metropolregion Bremen-Oldenburg haben entsprechende Initiativen gestartet (o.V. 2015).

Die umweltpolitischen Themenschwerpunkte sind Verbesserung der Luftqualität, die Optimierung des Abfallmanagements, die Erhöhung der Energieeffizienz und die Integration von Naturschutz in die Hafenentwicklungsstrategie. Im Rahmen der internationalen Strategien, wie sie etwa in der World Port Climate Initiative zusammengefasst sind, spielt das Thema „erneuerbare Energien“ bislang noch eher eine untergeordnete Rolle (Fenton 2014).

Dabei kommt Seehäfen im Rahmen der Energiewende grundsätzlich eine wichtige Funktion zu:

- Häfen sind wichtiger Umschlagplatz für den Export von Anlagen erneuerbarer Energien und sind wichtige Serviceanbieter für Offshore-Windenergieanlagen (<http://www.zds-seehaefen.de/offshore-hafenatlas>).

- Seehäfen sind Standorte für konventionelle Kraftwerke.
- Häfen sind Standorte für die Produktion und Speicherung alternativer Kraftstoffe und für eine entsprechende Infrastruktur (Acciario, Ghiara et al. 2014, ClimateWorks et al. 2015, Fiedler, Roth et al. 2015, Gajipra 2015, Winkel, Weddige et al. 2015).
- Seehäfen sind als Industriestandorte gleichzeitig auch große Energienachfrager.
- Seehafenstandorte können als „gateways to a green economy“ innovative Prozesse anstoßen (Rynikiewicz 2011); interessante Ansätze gibt es hier mit Blick auf Konzepte der Industrial Ecology (Mat, Cerceau et al. , Cerceau, Mat et al. 2014, Vrolijk 2015).

Es gibt einige Faktoren, die die Realisierung von nachhaltigen Strategien in Hafenstandorten erschweren können. Nachhaltige Strategien zeichnen sich vor allem durch die Einbeziehung aller relevanten Stakeholder. Partizipations- und Kommunikationsstrukturen sind daher entscheidende Voraussetzungen. Im Gegensatz zu der eher traditionell expertengetriebenen Hafenplanung sind diese Ansätze in der Regel jedoch sehr zeitaufwändig. Nicht immer sind zudem allen Datengrundlagen verfügbar, die eine problemorientierte Nachhaltigkeitsstrategie ermöglichen. (Puig, Wooldridge et al. 2015). Für viele Häfen sind dies aber vor allem auch wirtschaftliche Faktoren. So kann der Umbau des Energiesystems, der Aufbau einer neuen Infrastruktur für alternative Kraftstoffe und die Einführung neuer Technologien mit hohen Kosten verbunden sein, die viele Hafenverwaltungen zunächst scheuen (Rojon/Dieperink 2014; Rehmatulla/Smith 2015).

Im Rahmen des in der Zwischenzeit abgeschlossenen EU-Forschungsvorhabens Green and Effective Operations at Terminals and in Ports (Green EFFORT) stand das Thema Energiemanagement im Vordergrund. Die Projektdokumentation enthält auch einen Zusammensetzung von Beispielen, in denen die Wasserstofftechnologie in unterschiedlicher Weise in Häfen und in der Schifffahrt zum Einsatz kommt. (Eggert 2012, Bergholz 2014, Froese 2014, Froese, Töter et al. 2014, Hasberg 2014, Tao and Guo 2014)

Als zentraler Bestandteil der globalen Logistikketten sind Häfen langfristig aber auch indirekt von den Auswirkungen des Klimawandels und der Klimaschutzpolitik tangiert (Luo 2013). Die dadurch veränderten Handelsströme können Seehäfen je nach ihrer Position im Logistiksystem sehr unterschiedlich treffen. (Mander, Walsh et al. 2014) untersuchen am Beispiel Großbritanniens die Auswirkungen einer Dekarbonisierung des Energiesystems bis 2050 auf die Schifffahrt. In ihrer Analyse stehen dabei weniger die Maßnahmen zur Reduzierung der Emissionen bei Schiffen im Mittelpunkt, sondern die sich im Zuge der Energiewende veränderten Transportströme und die damit verbundenen Implikationen für die britischen Hafenstandorte. Einen vergleichbaren Ansatz verfolgen (Sanchez Rodrigues V., Pettit S. et al. 2015). Auf der Grundlage von fünf Szenarien über die Entwicklung der Importströme untersuchen sie für Großbritannien mögliche Reduktionen der Treibhausgasemissionen über eine Anpassung der Transportketten, d. h. einer Kombination von alternativen Hafen- und intermodalen Logistikketten.

Die Möglichkeiten für Hafenbetreiber eine nachhaltige Entwicklung voranzutreiben, sind jedoch begrenzt. Ihre unmittelbaren Einflussmöglichkeiten sind mit Blick auf den Hafenbetrieb hoch, der damit verbundene positive Umwelteffekt ist jedoch eher gering, wenn man die gesamte Logistikkette betrachtet. Unter Nachhaltigkeitsgesichtspunkten liegen die größten Potenziale bei einer grundlegenden Neuorientierung der Logistikketten, die Möglichkeiten der

Hafenverwaltung, das Verhalten anderer relevanter Akteure zu beeinflussen, sind jedoch begrenzt.

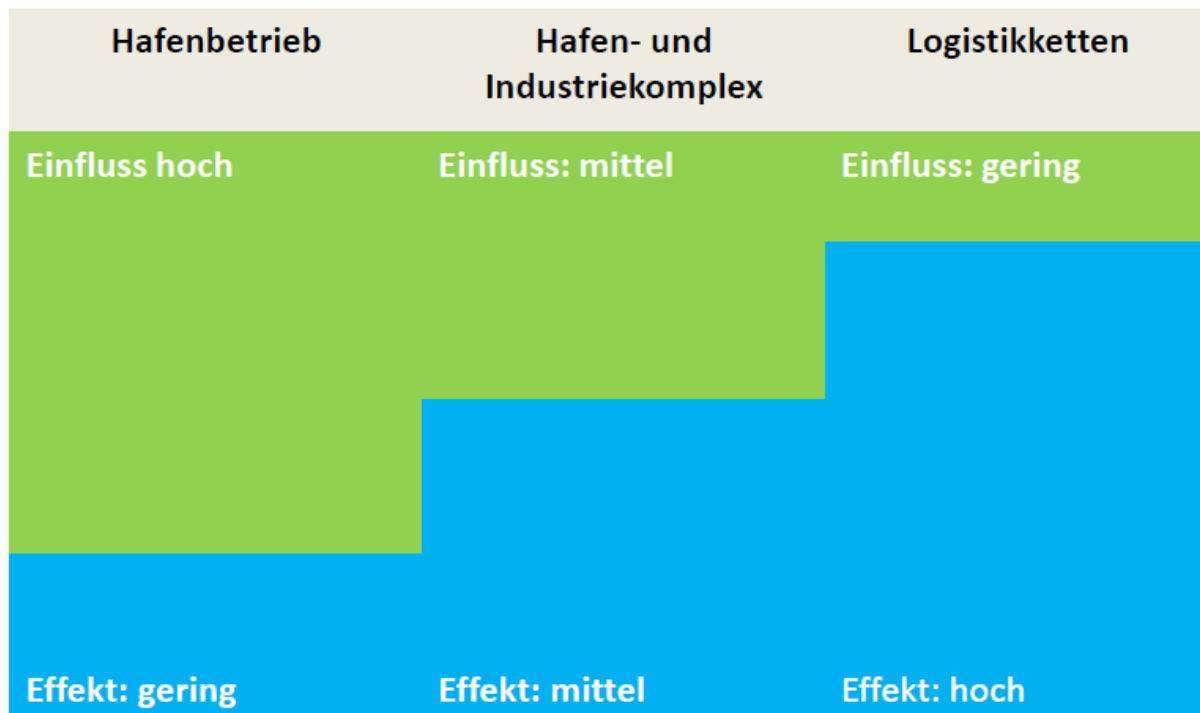


Abb. 28: Handlungsspielräume von Hafenbetreibern

Quelle: in Anlehnung an: Havenbedrijf Rotterdam 2013, S. 1

Verschiedene Studien setzen sich mit den Auswirkungen der verschiedenen Governance-Strukturen auseinander und dabei u. a. mit der Frage, ob bspw. private Lösungen für die Umsetzung nachhaltiger Lösungen besonders vorteilhaft sind. Die Ergebnisse dieser Studien sind jedoch nicht ganz eindeutig. (Peeters et al. 2015, Van der Lugt et al. 2015; Wang/Notteboom 2015; Ferrari, Parola et al. 2015)

Der Einsatz umweltökonomischer Instrumente in der Schifffahrt und Hafenwirtschaft stellt bislang eher die Ausnahme dar. Nikolakaki (2012) gibt einen umfassenden Überblick über die verschiedenen Instrumente, mit dem Schifffahrtssektor und der Hafenwirtschaft entsprechende Anreize für ein energieeffizientes und klimaverträgliches Verhalten gegeben werden soll. Verschiedene Hafenstädte verwenden etwa nach ökologischen Kriterien gestaffelte Hafengebühren oder bereiten entsprechende Initiativen vor (Niedersächsischer Landtag 2015). Die Studie betont zwar, dass Häfen eine wichtige Rolle mit Blick auf die Erreichung umweltpolitischer Ziele spielen können, aber diese räumlich begrenzten Ansätze nur unzureichende Incentives für die Einführung von umweltfreundlichen Technologien leisten können. Zwar sind neue Entwicklungen in Richtung auf eine nachhaltige Entwicklung zu erwarten, neue eingesetzte umweltökonomische Instrumente sollten aber sicherstellen, dass der globale Handel dadurch nicht tangiert wird und es zu Wettbewerbsverzerrungen kommt.

8 Zusammenfassung und Handlungsempfehlungen

- Die Metropolregion Bremen-Oldenburg gehört mit zu den Vorreiterregionen in der Energiewende
- Massiver Ausbau erneuerbarer Energien; Teilregionen, die bereits heute bilanziell energieautark sind
- Weiterer Ausbau erneuerbarer Energien, aber Unsicherheiten hinsichtlich der Auswirkungen der veränderten Förderbedingungen und der Akzeptanzproblematik
- In der Region zeigen sich aber auch die besonderen Herausforderungen des Systemumbaus; die Region wird nicht nur als Produktionsstandort erneuerbarer Energien, sondern zunehmend auch als Standort für neue innovative Speicherkonzepte und Flexibilitätsoptionen eine Rolle spielen

Flexibilitätsoptionen

- Mit einer Zunahme der erneuerbaren Energien am Energiemix steigen auch die Anforderungen an die Stabilisierung des Energiesystems
- Es besteht ein wachsender Bedarf an innovativen Lösungen, die einen Ausgleich zwischen Nachfrage und fluktuierender Einspeisung gewährleisten
- Es gibt eine große Bandbreite an Flexibilitätsoptionen, d. h. die Nutzung der Stromüberschüsse für die Wasserstoffproduktion stellt nur eine unter mehreren konkurrierenden Optionen dar
- Speicheroptionen wie die unterschiedlichen Power-to-Gas-Ansätze sind langfristig entscheidende Bausteine der Energiewende
- Frühzeitige Entwicklung dieser neuen Technologien eine Voraussetzung

Herausforderungen an die maritime Wirtschaft

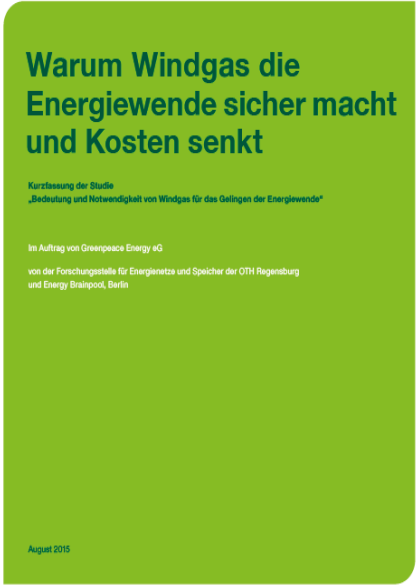
- Die internationale Schifffahrt trägt nicht unwesentlich mit bei zum Klimawandel; der Schiffsverkehr aber auch die vielfältigen Hafenaktivitäten sind zudem mit lokalen Umweltbelastungen verbunden
- Zahlreiche nationale und internationale Regulierungen zur Reduzierung der Schadstoffbelastungen durch die Schifffahrt setzen Anreize für die Umsetzung neuer technischer oder organisatorischer Lösungen
- Die Seehäfen stellen sich zunehmend diesen Herausforderungen und entwickeln vor allem im Rahmen internationaler Initiativen neue Konzepte einer nachhaltigen Hafenwirtschaft
- Energiemanagement und Ausbau erneuerbarer Energien in Seehafenstandorten sind wesentliche und an Bedeutung gewinnende Bausteine dieser Nachhaltigkeitsstrategien
- Es gibt keine one size fits all-Lösungen: Für jeden Hafenstandort müssen eigene Handlungsstrategien unter Berücksichtigung der lokalen und regionalen Rahmenbedingungen entwickelt werden
- Seehäfen können wichtige Funktionen als innovative Kerne einer nachhaltigen Regionalentwicklung übernehmen

Kurzfristige Handlungsansätze:

- Einrichtung runder Tische in Hafenstandorten zum Thema Energie und Energieeffizienz; Einbindung aller relevanten Akteure (Hafenbetreiber, Reedereien, Lagerhausgesellschaften, Terminalbetreiber; Industrieunternehmen, Energieversorger, Stadtplanung etc.)
- Initiierung von konkreten Pilotprojekten
- Stärkung der Kooperation der Häfen der Metropolregionen im Bereich der Umsetzung alternativer Kraftstoffe; Anstoßen eines regionalen Diskussionsprozesses über eine gemeinsame Strategie (Bsp. Koordination der Planungen für den Ausbau einer LNG- und einer Wasserstoffinfrastruktur)
- Lobbyarbeit und Weiterführung der vorhandenen Plattform www.maritimewasserstoffwirtschaft.de
- Intensivierung der Kooperation zwischen der Hafenwirtschaft und den regionalen energiewirtschaftlichen Clustern (Wab, OLEC)
- Intensivierung des internationalen Informationsaustausches (Greenport Initiativen)
- Einbindung der Konzepte in regionale Handlungsstrategien; Ausnutzung regionaler Förderprogramme auf der Ebene der Bundesländer

ANHANG

Regionale Speicherstudien

	• Windgas-Technologie zur Speicherung von Strom aus Wind und Sonne ermöglicht in Deutschland bis 2050 eine vollständige Stromversorgung mit 100 % erneuerbaren Energien und senkt zugleich die Kosten für die Energiewende um hohe Milliardenbeträge. • Ein Stromsystem mit Windgasanlagen ab Mitte der 2030er Jahre wird günstiger sein als eines ohne. • Im Jahre 2040 liegt die jährliche Ersparnis zwischen 2 und 6 Mrd. € und steigt bis 2050 auf 12 bis gut 18 Mrd. € an. • Bislang wird überschüssiger Wind- und Solarstrom, der bspw. nicht ins Netz aufgenommen werden kann, kaum genutzt. • Stromüberschüsse werden bei dem Ausbau erneuerbarer Energien stark ansteigen und 2050 bis zu 154 TWh pro Jahr betragen. Dies entspricht rund 20 Prozent der deutschen Bruttostromerzeugung im Jahr 2012. • Windgas (Wasserstoff oder nach einem weiteren Syntheseschritt Methan) kann in bereits vorhandene deutsche Gasspeicher eingespeist werden
--	--



- Im Rahmen der Zusammenarbeit in der Metropolregion Hamburg ist von den drei norddeutschen Bundesländern, Unternehmensverbänden und weiteren Organisationen ein Projekt durchgeführt worden, in dem am Modell der Untere Elberegion eine betriebswirtschaftliche Umsetzung der Erzeugung, der Lagerung, des Transports und der Verwendung von Windwasserstoff untersucht wurde.
- Die Region Untere Elbe ist für diese Fragestellung und als Pilotregion prädestiniert, das sie ideale Voraussetzungen für die Erzeugung und Speicherung von Wasserstoff aus Windenergie aufweist. Neben einem hohen Windpotenzial verfügt sie mit geologischen Salzformationen über die notwendigen Voraussetzungen für die Errichtung von Kavernen. Der Aufbau eines Windwasserstoffnetzwerks kann insbesondere für die chemische und die Grundstoffindustrie, aber auch für den Verkehrssektor von Bedeutung sein. Die Untersuchung kann eine realitätsnahe Nutzung des im Wasserstoff gespeicherten Überschussstroms wirtschaftlich für eine Region ableiten. Die Analyse erfolgt unter Berücksichtigung der erwarteten erneuerbaren Energieerzeugung, den Ausbauplänen des norddeutschen Stromnetzes, der daraus resultierenden Überschussstrommengen und der mit dem Wasserstoff verbundenen Transport- und Speicherinfrastruktur. Die Studie umfasst dabei nicht nur das Wasserstoffangebot aus der Elektrolyse von Windstrom, sondern auch aus anderen industriellen Produktionsprozessen. Grundlage der Untersuchung bildete eine empirische Vollerhebung relevanter Erzeuger und Verbraucher von Wasserstoff in der Wertschöpfungskette der Region.
- Die Studie schlägt die Errichtung einer zentralen Infrastruktur über in öffentlich-privater Partnerschaft finanzierte Projekte vor.

STUDIE Status Quo und Potentialanalyse von Speichertechnologien, Energieinfrastrukturen und Lastmanagement für Unternehmen in der Metropolregion Hamburg  Erneuerbare Energien Hamburg 	• Die Studie liefert eine einführende Analyse von Flexibilitätsoptionen zur Integration von EE dar, sie analysiert den Einsatz der Optionen in unterschiedlichen Anwendungsfällen und unter Berücksichtigung unterschiedlicher Geschäftsmodell. Zentrales Ziel ist die Sensibilisierung der Akteure in der Metropolregion Hamburg für die steigenden Anforderungen einer Flexibilisierung des Energiesystems. Ausgangspunkt ist eine qualitative Bewertung des Bedarfes und der Einsatzmöglichkeiten von Flexibilitätsoptionen in der Untersuchungsregion bis 2030. Die Studie enthält daneben einen Überblick über bereits realisierten oder in der Realisierung befindlichen (Pilot-) Projekte in der MRH. • In der Studie erfolgt eine Einteilung der Anwendungsfälle nach den strukturellen Unterschieden in der EE-Erzeugung und den Verbrauchsstrukturen in ○ städtisches Gebiet mit hoher Netzlast (hoher Verbrauch und hohe Verbrauchsdichte) aber geringer EE-Erzeugung ○ landwirtschaftlich geprägtes und dünn besiedeltes, ländliches Gebiet mit wenig Industrie und geringer Netzlast (Verbrauch), aber hoher regenerativer Erzeugung sowie ○ halbstädtisches Mischgebiet mit industrieller Ansiedlung und mittlerer Netzlast(Verbrauch). • Die Studie empfiehlt u. a. den Industrieunternehmen, bereits früh erste Erfahrungen zu sammeln und entsprechende Leistungen anzubieten. Besondere Chancen werden dabei im Zusammenschluss sich ergänzender Unternehmen bei der Erzeugung und Abnahme von Wasserstoff als Rohstoff für die chemische Industrie oder als Treibstoff für den Verkehrssektor gesehen.
---	--

LITERATUR

50Hertz Transmission GmbH and et al. (2015). Netzentwicklungsplan Strom 2025. Version 2015. Erster Entwurf der Übertragungsnetzbetreiber. Berlin

Acciaro, M., et al. (2014). "Energy management in seaports: A new role for port authorities." Energy Policy 71: 4-12.

Adamek, F., et al. (2012). Energiespeicher für die Energiewende: Speicherungsbedarf und Auswirkungen auf das Übertragungsnetz für Szenarien bis 2050. Frankfurt/M., EGT Task Force Energiespeicherung; VDE Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik e.V.

Agentur für erneuerbare Energien (2013). Studienvergleich zumkünftigen Bedarf an steuerbaren Kapazitäten bzw. konventioneller Kraftwerksleistung. Berlin

Agentur für Erneuerbare Energien (2014). Energiewende im Verkehr Potenziale für erneuerbare Mobilität. Renew's Spezial Ausgabe 71. Berlin.

Agentur für erneuerbare Energien (2014). Potenziale der Bioenergie: Metaanalyse. Berlin

Agentur für Erneuerbare Energien (2015): Bundesländer in der Übersicht – Stromerzeugung aus Wasserkraft. Über: http://www.foederal-erneuerbar.de/uebersicht/bundeslaender/BW|BY|B|BB|HB|HH|HE|MV|NI|NRW|RLP|SL|SN|ST|SH|TH|D/kategorie/wasser/auswahl/177-stromerzeugung_aus_w/#goto_177.

Agentur für erneuerbare Energien (2015). Metaanalyse: Energiewende im Verkehr. Berlin

Agora Energiewende (2014). Ausschreibungen für Erneuerbare Energien: Welche Fragen sind zu prüfen? Berlin

Agora Energiewende (2015). Die Energiewende im Stromsektor: Stand der Dinge 2014 Rückblick auf wesentliche Entwicklungen sowie Ausblick auf 2015. Präsentation. Berlin.

Agora Energiewende (2016). Die Energiewende im Stromsektor: Stand der Dinge 2015. Rückblick auf die wesentlichen Entwicklungen sowie Ausblick auf 2016. Berlin

Ausfelder, F. and et al. (2015). Wechselwirkungen im Energiesystem Schriftenreihe Energiesysteme der Zukunft. München

Ball, M. and M. Weeda (2015). "The hydrogen economy – Vision or reality?." International Journal of Hydrogen Energy 40(25): 7903-7919.

Bard, J. (2015). Power-to-Gas als Möglichkeit der Langzeitspeicherung erneuerbarer Energien und Nutzung zeitweiliger regenerativer Überschussleistung. VDE-Symposium 2015. Energiespeicherung - Baustein der Energiewende. IWES Fraunhofer-Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik. Erfurt.

Bauknecht, D. and M. Vogel (2015). "Rahmenbedingungen für Flexibilitätsoptionen." Energiewirtschaftliche Tagesfragen 65(3): 65-67.

Bauknecht, D., et al. (2014). "Entwicklung des Flexibilitätsbedarfs im Stromsystem und der Beitrag verschiedener Flexibilitätsoptionen." *Energiewirtschaftliche Tagesfragen* 64(11): 52-55.

Bergholz, W. (2014). Electrical Energy storage in the Context of Container Terminals. Green EFFORTS White Paper #13. G. E. p. innovation. Bremen.

BMUB - Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (2010): Potentialermittlung für den Ausbau der Wasserkraftnutzung in Deutschland als Grundlage für die Entwicklung einer geeigneten Ausbaustrategie. Schlussbericht. Aachen.

BMUB - Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit. (2014). Aktionsprogramm Klimaschutz 2020. Berlin.

BMUB - Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit. (2015). Klimaschutzbericht 2015: Zum Aktionsprogramm Klimaschutz 2020 der Bundesregierung. Berlin.

BMVI- Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur. (2013). Die Mobilitäts- und Kraftstoffstrategie der Bundesregierung (MKS).Energie auf neuen Wegen. Berlin.

BMWi - Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (2014). Die Energie der Zukunft. Erster Fortschrittsbericht zur Energiewende. Berlin.

BMWi - Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (2015). Ausschreibungen für die Förderung von Erneuerbare-Energien-Anlagen. Eckpunktepapier. Berlin.

BMWi - Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (2014a). Ein Strommarkt für die Energiewende Diskussionspapier des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (Grünbuch). Berlin.

BMWi - Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (2014b). Zentrale Vorhaben Energiewende für die 18. Legislaturperiode (10-Punkte-Energie-Agenda des BMWi). Berlin.

BMWi - Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (2015a): Die Energiewende – ein gutes Stück Arbeit. Offshore-Windenergie. Ein Überblick über die Aktivitäten in Deutschland. Berlin.

BMWi - Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (2015b). Ein Strommarkt für die Energiewende. Ergebnispapier des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (Weißbuch). Berlin.

BMWi - Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (2015c): Informationsportal Erneuerbare Energien. Wasserkraft. Über: <http://www.erneuerbare-energien.de/EE/Navigation/DE/Technologien/Wasserkraft/wasserkraft.html?sessionId=AEB91DA3E8EF1AD0621D3E46FC7C6975>.

BMWi - Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (2015d): Informationsportal Erneuerbare Energien. Geothermie. Über: <http://www.erneuerbare-energien.de/EE/Navigation/DE/Technologien/Geothermie/geothermie.html>.

BMWi - Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (2015e): Marktanalyse Windenergie auf See. Berlin.

BMWi - Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (2015f): Marktanalyse Photovoltaik-Dachanlagen. Berlin.

BMWi - Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (2015g): Marktanalyse Biomasse. Berlin.

BMWi- Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (2015h). Ausschreibungsbericht nach § 99 Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG 2014). Berlin.

BMWi. - Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (2015i). Die Energie der Zukunft. Vierter Monitoring-Bericht zur Energiewende. Berlin.

BMWi--Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (2015j): Informationsportal Erneuerbare Energien. Windenergie. Über http://www.erneuerbare-energien.de/EE/Redaktion/DE/Dossier/windenergie.html?cms_docId=69020

Bonn, M., et al. (2014). Entwurf der Leitlinien der Europäischen Kommission für staatliche Umwelt- und Energiebeihilfen 2014-2020. Juristische und ökonomische Bewertung der Prüfkriterien zur Förderung erneuerbarer Energien. cep | Centrum für Europäische Politik. Freiburg.

Bothor, S. and et al. (2015). Bedarf und Bedeutung von Integrations- und Flexibilisierungsoptionen in Elektrizitätssystemen mit steigendem Anteil erneuerbarer Energien. 9. Internationale Energiewirtschaftstagung an der TU Wien, Wien.

Bows-Larkin, A. (2014). "All adrift: aviation, shipping, and climate change policy." Climate Policy 15(6): 681-702.

Bracher, T., et al. (2014). Umweltverträglicher Verkehr 2050: Argumente für eine Mobilitätsstrategie für Deutschland. TEXTE 59/2014. Umweltbundesamt. Dessau-Roßlau.

Bremenports (o. J.): Zwei Häfen – eine Gruppe. Das maritime Logistikzentrum Bremen/Bremerhaven. Über: <http://www.bremenports.de/standort/die-haefen/zwei-haefen--eine-gruppe>.

Bundenetzagentur (2015). Hintergrundpapier. Vorläufige Ergebnisse der dritten Ausschreibungsrunde für Photovoltaik (PV)-Freiflächenanlagen vom 1. Dezember 2015. Bonn.

Bundesnetzagentur and Bundeskartellamt (2015). Monitoringbericht 2015. Bonn.

Bundesregierung (2014). Zweiter Monitoring-Bericht „Energie der Zukunft“. Berlin Deutscher Bundestag.

Bundesregierung (2015). Gesetzesentwurf der Bundesregierung: Entwurf eines Gesetzes zur Weiterentwicklung des Strommarktes (Strommarktgesetz). Berlin

Bundesregierung (2015a). Nationales Hafenkonzept für die See- und Binnenhäfen 2015. Berlin.

Bundesverband Geothermie (2015): Einstieg in die Geothermie. Über: <http://www.geothermie.de/wissenswelt/geothermie/einstieg-in-die-geothermie.html>.

Bundesverband WindEnergie (2012). Potenzial der Windenergienutzung an Land. Kurzfassung. Berlin

BWE - Bundesverband WindEnergie (2015): Offshore-Windenergie Halbjahreszahlen 2015 in Deutschland. Ausbau verläuft nach Plan: 1.765 Megawatt neu am Netz. Pressein-

formation, 20. Juli 2015. Über: <https://www.wind-energie.de/presse/pressemitteilungen/2015/offshore-windenergie-halbjahreszahlen-2015-deutschland-ausbau>.

Cames, M. and et al. (2015). Emission Reduction Targets for International Aviation and Shipping. European Parliament's Committee on Environment Public Health and Food Safety.

Cerceau, J., et al. (2014). Implementing industrial ecology in port cities: international overview of case studies and cross-case analysis. *Journal of Cleaner Production* 74: 1-16.

ClimateWorks, et al. (2015). Faster & Cleaner: Decarbonization in the Power & Transport Sectors is surpassing Predictions & Offering Hope for Limiting Warming to 2 C.

Connect Energy Economics (2015). Aktionsplan Lastmanagement. Studie im Auftrag von Agora Energiewende. Berlin

COWI (2015). State of the Art on Alternative Fuels Transport Systems in the European Union. Final Report E. Commission.

Davarzani, H., et al. (2015). "A Review of the Literature of Green Ports and Maritime Logistics." 149-158.

de Bruyn, K., et al. (2015). LoadShift: Lastverschiebung in Haushalt, Industrie, Gewerbe und kommunaler Infrastruktur. Potenzialanalyse für Smart Grids. Österreichische Begleitforschung zu Smart Grids 7/2015. I. u. T. Bundesministerium für Verkehr. Wien.

Decourt, B., et al. (2014). Hydrogen-Based Energy Conversion. More than Storage: System Flexibility. s-Gravenshage, SBC Energy Institute.

del Saz-Salazar, S., et al. (2013). The Port and its Environment: Methodological Approach for Economic Appraisal. OECD Regional Development Working Papers 2013/24. Paris.

Deutsche Energie- Agentur GmbH (dena) (2014). Die Bedeutung von Stromspeichern im Energiesystem. Standpunkte der Deutschen Energie-Agentur (dena) zur aktuellen Speicherdiskussion. Berlin.

Deutsche WindGuard GmbH (2015): Status des Offshore-Windenergieausbaus in Deutschland. 1. Halbjahr 2015. Varel.

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR) Institut für Verkehrsforschung and et al. (2015). Erneuerbare Energien im Verkehr. Potenziale und Entwicklungsperspektiven verschiedener erneuerbarer Energieträger und Energieverbrauch der Verkehrsträger. Berlin.

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR), et al. (2014). Power-to-Gas (PtG) im Verkehr Aktueller Stand und Entwicklungsperspektiven. Kurzstudie im Rahmen des Auftrags Wissenschaftliche Begleitung, Unterstützung und Beratung des BMVBS in den Bereichen Verkehr und Mobilität mit besonderem Fokus auf Kraftstoffen und Antriebstechnologien sowie Energie und Klima des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI). München et al.,

Eggert, T. (2012). Status Quo of Use of Hydrogen as Fuel in Port, Shipping and Transport Industry. Green EFFORTS White Paper #03. Green EFFORTS innovation port

Ehteshami, S. M. M. and S. H. Chan (2014). "The role of hydrogen and fuel cells to store renewable energy in the future energy network – potentials and challenges." *Energy Policy* 73: 103-109.

Elsner, P., et al. (2015). Flexibilitätskonzepte für die Stromversorgung 2050. Technologien – Szenarien – Systemzusammenhänge. Analyse aus der Schriftenreihe Energiesysteme der Zukunft,. München

Energymap (2015): Bundesland Niedersachsen, Stand: 22.03.2015. Über: <http://www.energymap.info/energieregionen/DE/105/116.html>.

Engerer, H. (2015). Green Shipping. diw roundup 81. Deutsches INstitut für Wirtschaftsforschung. Berlin.

ESPO (2011). Port Environmental Review System (PERS) – the only port-sector specific environmental management standard.

ESPO (2012). ESPO Green Guide; Towards excellence in port environmental management and sustainability.

European Commission (2014). A policy framework for climate and energy in the period from 2020 to 2030. } Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of Regions: . Brussels.

European Commission (2015). Report of the Exchange of Views Between Ports CEO and Transport Commissioner Bulc Brussels.

European Environment Agency (2009). Transport emissions of greenhouse gases.

European Environment Agency (2013). The impact of international shipping on European air quality and climate forcing. EEA Technical report No 4/2013. Copenhagen.

European Environment Agency (2013a). Towards a green economy in Europe. EU environmental policy targets and objectives 2010–2050. EEA Report No 8/2013. Copenhagen

European Environment Agency (2014). Focusing on environmental pressures from long-distance transport. TERM 2014: transport indicators tracking progress towards environmental targets in Europe. EEA Report No 7/2014. Copenhagen

European Environment Agency (2015). European briefings Transport. SOER 2015. Copenhagen.

European Union (2015). Reducing CO2 emissions from transport. Briefing.

EWE (2014). Politische Handlungsempfehlungen zur EEG- Novelle 2014. Positionspapier der EWE AG. Oldenburg.

Expertenkommission zum Monitoring-Prozess „Energie der Zukunft“ (2015). Stellungnahme zum vierten Monitoring-Bericht der Bundesregierung für das Berichtsjahr 2014. Berlin · Münster · Stuttgart.

Fachverband Biogas (2015). Branchenzahlen 2014 und Prognose der Branchenentwicklung 2015. Freising.

Fahimnia, B., et al. (2015). "The Future of Green Logistics and Transportation." 193-197.

- Faulstich, M. (2015):** Szenarien zur Energieversorgung in Niedersachsen im Jahr 2050. Vortrag Runder Tisch Energiewende, 7. Mai 2015, Land Niedersachsen, Hannover.
- Ferrari, C., et al. (2015).** "Governance models and port concessions in Europe: Commonalities, critical issues and policy perspectives." *Transport Policy* 41: 60-67.
- Fiedler, R., et al. (2015).** Bedarfsanalyse LNG in Brunsbüttel F.-C. f. M. L. u. D. CML.
- Fraunhofer ISE (2013).** Energiesystem Deutschland 2050. Sektor- und Energieträgerübergreifende, modellbasierte, ganzheitliche Untersuchung zur langfristigen Reduktion energiebedingter CO₂ Erneuerbarer Energien -Emissionen durch Energieeffizienz und den Einsatz Erneuerbarer Energien. Freiburg.
- Fraunhofer ISE (2015).** The Role of Power- to - Gas in Achieving Germany's Climate Policy Targets with a Special Focus on Concepts for Road Based Mobility. Freiburg.
- Fraunhofer (IWES) (2014).** Power-to-Heat zur Integration von ansonsten abgeregeltem Strom aus Erneuerbaren Energien. Handlungsvorschläge basierend auf einer Analyse von Potenzialen und energiewirtschaftlichen Effekte. A. Energiewende. Berlin
- Fraunhofer IWES (2015).** Wie hoch ist der Stromverbrauch in der Energiewende? Energiepolitische Zielszenarien 2050 – Rückwirkungen auf den Ausbaubedarf von Windenergie und Photovoltaik. . Studie im Auftrag von Agora Energiewende,. Berlin.
- Fraunhofer IWES and et al. (2015).** INTERAKTION EE-STROM, WÄRME UND VERKEHR. Analyse der Interaktion zwischen den Sektoren Strom, Wärme/Kälte und Verkehr in Deutschland in Hinblick auf steigende Anteile fluktuierender Erneuerbarer Energien im Strombereich unter Berücksichtigung der europäischen Entwicklung. Kassel.
- Froese, J. (2014).** Recommendations for Standardization. Calculation and Declaration of Energy Consumption and GHG Emissions on Terminals Deliverable 12.2. Green EFFORTS port innovation.
- Froese, J., et al. (2014).** Recommendations Manual for Terminals. Deliverable 12.1. Green EFFORTS port innovation.
- Gajipra, K. (2015).** Low Carbon Shipping. Coventry University.
- Garmsiri, S., et al. (2014).** "Integration of Wind Energy, Hydrogen and Natural Gas Pipeline Systems to Meet Community and Transportation Energy Needs: A Parametric Study." *Sustainability* 6(5): 2506-2526.
- Gawel, E., et al. (2014).** Die Zukunft der Energiewende in Deutschland. *Energiewirtschaftliche Tagesfragen* 64(4): 37-43.
- Gençsü, I. and M. Hino (2015).** Raising Ambition to Reduce International Aviation and Maritime Emissions. Contributing paper for Seizing the Global Opportunity: Partnerships for Better Growth and a Better Climate. N. C. Economy. London, Washington, DC.
- Gilbert, P., et al. (2015).** "Technologies for the high seas: meeting the climate challenge." *Carbon Management* 5(4): 447-461.
- Götz, M., et al. (2016).** "Renewable Power-to-Gas: A technological and economic review." *Renewable Energy* 85: 1371-1390.
- Götz, M., et al. (k. A.).** "Speicherung elektrischer Energie aus regenerativen Quellen im Erdgasnetz." *bbr Sonderheft Netzausbau*: 14-19.

- Graichen, P., et al. (2015).** Die Energiewende im Stromsektor: Stand der Dinge 2014. Rückblick auf die wesentlichen Entwicklungen sowie Ausblick auf 2015. Agora Energiewende; Berlin
- Graichen, P., et al. (2015a).** Zehn Fragen und Antworten zum Beitrag der Stromerzeugung zum Klimaschutzziel 2020. Hintergrundpapier. Agora Energiewende. Berlin.
- Grau, T. (2014).** Geplante Ausschreibungen für die Förderung von Strom aus erneuerbaren Energien. DIW roundup 50. Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung. Berlin.
- Hasberg, D. (2014).** Wind Energy in Ports and on Terminals. GREEN EFFORTS White Paper #10. Green EFFORTS port innovation.
- Hauser, E., et al. (2014).** Beitrag der Bioenergie zur Energiewende. Gutachten im Auftrag des Fachverband Biogas e.V. Saarbrücken IZES gGmbH Institut für ZukunftsEnergieSysteme.
- Havenbedrijf Rotterdam (2013).** De duurzame haven. Havenbedrijf investeert in lucht, natuur en klimaat. Rotterdam
- Hennings, W., et al. (2015).** Auswertung von Studien zu künftigem Bedarf an Stromspeicherung Beitrag zum Vorprojekt "Virtuelles Institut: Strom zu Gas und Wärme – Flexibilisierungsoptionen im Strom-Gas-Wärme-System". Forschungszentrum Jülich GmbH and Energiewirtschaftliches Institut an der Universität zu Köln (EWI). Jülich/Köln.
- Hermann, H., et al. (2014).** Prüfung der klimapolitischen Konsistenz und der Kosten von Methanisierungsstrategien Berlin, Öko-Institut e.V. : 45.
- Hiranandani, V. (2014).** "Sustainable development in seaports: a multi-case study." WMU Journal of Maritime Affairs 13(1): 127-172.
- Höfling, H. and et al. (2015).** Zukunftswerkstatt EE - Negative Preise. Erste Ergebnisse. Berlin
- IEA-RETD and Mott MacDonald (2015).** Integration of Variable Renewables: Volume I: Main Report. Brighton.
- IHK Bremerhaven (Hrsg.) (2013):** Logistikstandort Metropolregion Bremen-Oldenburg im Nordwesten. Bremerhaven.
- International Maritime Organization (2015).** Third IMO Greenhouse Gas Study 2014. Executive Summary. London.
- International Transport Forum (2014).** Shipping Emissions in Ports. Discussion Paper 20. Paris.
- IRENA (2015).** Renewable Energy Prospects: Germany, REmap 2030 analysis.
- ITG - Informationsportal Tiefe Geothermie (2015):** Tiefengeothermie im Norddeutschen Becken. Über: <http://www.tiefengeothermie.de/top-themen/tiefengeothermie-im-norddeutschen-becken>.
- Izes gGmbH (2014).** Ausschreibungsmodelle für Wind Onshore: Erfahrungen im Ausland. Studie im Auftrag der Bundesverband Windenergie.

LBD Beratungsgesellschaft mbH (2015). Die Rolle der Kraft-Wärme-Kopplung in der Energiewende. Status quo, Perspektiven und Weichenstellungen für den sich wandelnden Strom- und Wärmemarkt. Agora Energiewende. Berlin.

Lee, D. S., et al. (2015). Shipping and aviation emissions in the context of a 2°C emission pathway. Manchester Metropolitan University. Manchester.

Lehner, M., et al. (2014). The Power-to-Gas Concept. Power-to-Gas: Technology and Business Models. SpringerBriefs in Energy,. M. Lehner and et al.: 7-17.

Lindstad, H., et al. (2015). GHG emission reduction potential of EU-related maritime transport and on its impacts. TNO report. Delft.

Lütkehus, I., H. Salecker, K. Adlunger (2013): Potenzial der Windenergie an Land. Studie zur Ermittlung des bundesweiten Flächen- und Leistungspotenzials der Windenergienutzung an Land. Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau.

Mander, S., et al. (2014). "Decarbonizing the UK energy system and the implications for UK shipping." Carbon Management 3(6): 601-614.

Marchenko, O. V. and S. V. Solomin (2015). "The future energy: Hydrogen versus electricity." International Journal of Hydrogen Energy 40(10): 3801-3805.

Mat, N., et al. "Socio-ecological transitions toward low-carbon port cities: trends, changes and adaptation processes in Asia and Europe." Journal of Cleaner Production.

McDowall, W. (2014). "Exploring possible transition pathways for hydrogen energy: A hybrid approach using socio-technical scenarios and energy system modelling." Futures 63: 1-14.

Metropolregion Bremen-Oldenburg im Nordwesten e.V. (Hrsg.) (2014): Intelligentes, nachhaltiges und integriertes Wachstum für die Metropolregion Bremen-Oldenburg im Nordwesten. Handlungsrahmen 2014–2017.

Metropolregion Bremen-Oldenburg im Nordwesten e.V. (o. J.): Daten und Fakten. Über: <http://www.metropole-nordwest.de/internet/page.php?navID=901000040&site=901000029&broID=901000040&typ=2&rubrik=901000016>.

ML - Niedersächsisches Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (2015a): Energieatlas Niedersachsen. Über: [http://ndsmleeportal.la-lon.de/deegree2-igeopor-tal/control?rpc=%3CmethodCall%3E%3CmethodName%3EmapClient%3AcontextSwitch%3C/methodName%3E%3Cparams%3E%3Cparam%3E%3Cvalue%3E%3Cstruct%3E%3Cmember%3E%3Cname%3EmapContext%3C/name%3E%3Cvalue%3E%3Cstring%3Eusers/default/wmc_start.xml%3C/string%3E%3C/value%3E%3C/member%3E%3C/struct%3E%3C/value%3E%3C/param%3E%3C/params%3E%3C/methodCall%3E](http://ndsmleeportal.la- lon.de/deegree2- igeopor- tal/control?rpc=%3CmethodCall%3E%3CmethodName%3EmapClient%3AcontextSwitch%3C/methodName%3E%3Cparams%3E%3Cparam%3E%3Cvalue%3E%3Cstruct%3E%3Cmember%3E%3Cname%3EmapContext%3C/name%3E%3Cvalue%3E%3Cstring%3Eusers/default/wmc_start.xml%3C/string%3E%3C/value%3E%3C/member%3E%3C/struct%3E%3C/value%3E%3C/param%3E%3C/params%3E%3C/methodCall%3E).

ML - Niedersächsisches Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (2015b): Energieatlas Niedersachsen online. Über: http://www.ml.niedersachsen.de/portal/live.php?navigation_id=1810&article_id=135898&ps_mand=7.

Mono, R. and P. Glasstetter (2012). Windpotenzial im räumlichen Vergleich. Berlin, 100 Prozent erneuerbar stiftung.

Monopolkommission (2013). Energie 2013: Wettbewerb in Zeiten der Energiewende. Sondergutachten der Monopolkommission gemäß § 62 Abs. 1 EnWG. Berlin

Monopolkommission (2014). Kapitel I: Aktuelle Probleme der Wettbewerbspolitik: Neuere Entwicklungen im Energiebereich. Hauptgutachten XX (2012/2013). Berlin.

Moser, A. (2015). Systemstudie zum Einspeisemanagement erneuerbarer Energien. Wissenschaftliche Studie im Auftrag der EWE Aktiengesellschaft. Institut für Elektrische Anlagen und Energiewirtschaft der RWTH Aachen. Aachen.

MU - Niedersächsisches Ministerium für Umwelt, Energie und Klimaschutz (2015): Auftakt Runder Tisch Energiewende Niedersachsen - Umweltminister Wenzel: Umbau des Energiesystems auf 100 Prozent Erneuerbare Energien bis zum Jahr 2050 – Niedersachsen ist Energieland Nummer 1. Über: <http://www.umwelt.niedersachsen.de/aktuelles/pressemitteilungen/auftakt-runder-tisch-energiewende-niedersachsen---umweltminister-wenzel-umbau-des-energiesystems-auf-100-prozent-erneuerbare-energien-bis-zum-jahr-2050--niedersachsen-ist-energieland-nummer-1-133525.html>.

Münchmeyer, H., et al. (2014). Erfordert das europäische Beihilferecht die Einführung von Ausschreibungsverfahren im EEG. Würzburger Berichte zum Umweltenergie recht Nr. 5 Würzburg.

MW- Niedersächsisches Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Verkehr (2014): Die Niedersächsischen Häfen im Profil: Zahlen – Daten – Fakten.

MWP, et al. (2014). Seeverkehrsprognose 2030: Verkehrsverflechtungsprognose 2030 sowie Netzumlegung auf die Verkehrsträger. Hamburg/Frankfurt/M., .

NABU (2014). Clear in Ports: Working Paper. NABU LIFE+ Project Clean Air in Ports.

Nailis, D., et al. (2015). NEMO IV. Gutachten zum Netzentwicklungsplan 2024 im Auftrag der Bundesnetzagentur. BET. Aachen.

Niedersächsischer Landtag (2015). GreenShipping in Niedersachsen voranbringen Beschluss des Landtages vom 18.03.2015 - Hannover. Drs. 17/3191.

Nikolakaki, G. (2012). "Economic incentives for maritime shipping relating to climate protection." WMU Journal of Maritime Affairs 12(1): 17-39.

Nitsch, J. (2015). SZEN-15: Aktuelle Szenarien der deutschen Energieversorgung unter Berücksichtigung der Eckdaten des Jahres 2014. Kurzexpertise für den Bundesverband Erneuerbare Energien e.V. Stuttgart.

NPorts – Niedersachsen Ports GmbH & Co. KG (2015): Nachhaltigkeit in den niedersächsischen Seehäfen Niedersachsen Ports, JadeWeserPort und Seaports of Niedersachsen. Oldenburg, Wilhelmshaven.

o.V. (2015). "Wege zum grünen Hafen." Logistic Pilots(August): 10-14.

Öko-Institut and et al. (2015). Überblick über vorliegende Szenarienarbeiten für den Klimaschutz in Deutschland bis 2050. Arbeitspaket 1.1 im Forschungs- und Entwicklungsvorhaben des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit: Wissenschaft-

liche Unterstützung „Erstellung und Begleitung des Klimaschutzplans 2050“ für das FKZ UM 15 41 1860 Berlin.

Öko-Institut e.V. (2013). Treibhausgasneutraler Verkehr 2050: Ein Szenario zur zunehmenden Elektrifizierung und dem Einsatz stromerzeugter Kraftstoffe im Verkehr. Abschlussbericht im Auftrag des Umweltbundesamtes zum Forschungsvorhaben „Verkehr 2050 - Entwicklung von Parametern und Skizzierung eines vereinfachten Energie- und Emissions-szenarios“. Berlin.

Peeters, C. and et al. (2015). The governance structure of port authorities: Striking a balance between economic, social and environmental goals. University of Antwerp and Policy Research Corporation.

Prognos AG, et al. (2014). Entwicklung der Energiemärkte – Energiereferenzprognose. Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie. Basel/Köln/Osnabrück.

Puig, M., et al. (2015). "Current status and trends of the environmental performance in European ports." *Environmental Science & Policy* 48: 57-66.

Puig, M., et al. (2015). "Tool for the identification and assessment of Environmental Aspects in Ports (TEAP)." *Ocean & Coastal Management* 113: 8-17.

Rehmatulla, N. and T. Smith (2015). "Barriers to energy efficiency in shipping: A triangulated approach to investigate the principal agent problem." *Energy Policy* 84: 44-57.

Repenning, J., et al. (2014). Klimaschutzszenario 2050. Zusammenfassung. Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit. Berlin Öko- Institut, Fraunhofer ISI.

Robinius, M. and D. Stolten (2015). Power-to-Gas: Quantifizierung lokaler Stromüberschüsse in Deutschland anhand unterschiedlicher Windenergie-Ausbaustufen. Forschungszentrum Jülich; Institut für Energie- und Klimaforschung. Jülich.

Rojon, I. and C. Dieperink (2014). "Blowin' in the wind? Drivers and barriers for the uptake of wind propulsion in international shipping." *Energy Policy* 67: 394-402.

Rynkiewicz, C. (2011). "European port cities as gateways to a green economy?" *Network Industries Quarterly* 13(4): 23-25.

Sachverständigenrat für Umweltfragen (2013). Den Strommarkt der Zukunft gestalten. Sondergutachten. Berlin

Sakellariadou, F. (2015). "Maritime pollutants in shipping and commercial European ports based on relevant physical and biogeochemical environmental parameters (IUPAC Technical Report)." *Pure and Applied Chemistry* 87(11-12).

Schorer, T. (2014). Windenergie Ausbau in Niedersachsen: Status Quo, Potenziale und Ausblick. 5. OLEC Jahrestagung Transforming Energy – Perspektiven der Windenergienutzung im Nordwesten. Dewi. Oldenburg.

Seaports Niedersachsen (o.J.): Niedersachsens Seehäfen bieten vielfältige Logistikdienstleistungen - Hafenstandorte. Über: <http://www.seaports.de/virthos.php?//HOME/HAFENSTANDORTE>.

- Sgobbi, A., et al. (2015).** "How far away is hydrogen? Its role in the medium and long-term decarbonisation of the European energy system." International Journal of Hydrogen Energy.
- Sharma, S. and S. K. Ghoshal (2015).** "Hydrogen the future transportation fuel: From production to applications." Renewable and Sustainable Energy Reviews 43: 1151-1158.
- Stadt Bremerhaven (2015):** Überseehäfen. Über: <http://www.bremerhaven.de/meer-erleben/haefen-schiffe-schleusen/hafenbereiche/ueberseehaefen.13232.html>.
- Stadt Oldenburg, OLEC e.V. (Hrsg.) (2015):** Energieregion Weser-Ems – Struktur, Entwicklung und Perspektiven der energiewirtschaftlichen Potenziale. Oldenburg.
- Sterner, M. and I. Stadler (2014).** Energiespeicher – Bedarf, Technologien, Integration. Berlin. Heidelberg, Springer Vieweg.
- Steurer, M., et al. (2015).** Identifikation und Realisierung wirtschaftlicher Potenziale für Demand Side Integration in der Industrie in Deutschland. IER Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung. Stuttgart.
- Stiller, C., et al. (2015).** "Energiespeicher - Es gibt keinen Königsweg, aber auch keine Alternative." Chemie Ingenieur Technik 87(4): 335-339.
- The International Renewable Energy Agency (IRENA) (2015).** Renewable Energy Options for shipping. | Technology Brief. Bonn.
- The Partnership on Sustainable Low Carbon Transport (SLoCaT) (2015).** Emission Reduction Potential in the Transport Sector by 2030.
- Umweltbundesamt (2014).** Treibhausgasausstoß in Deutschland 2013. Vorläufige Ergebnisse aufgrund erster Berechnungen und Schätzungen des Umweltbundesamtes. Dessau.
- van Basshuysen, R., Ed. (2015).** Erdgas und erneuerbares Methan für den Fahrzeugantrieb. Wege zur klimaneutralen Mobilität. Wiesbaden, Springer Vieweg.
- Van der Lugt, L. M., et al. (2015).** "Beyond the landlord: worldwide empirical analysis of port authority strategies." International Journal of Shipping and Transport Logistics 7(5): 570-596.
- Veit, M. and E. Gawel (2014).** Implementierung von Demand Side Management im deutschen Strommarkt – eine ökonomische Analyse der Voraussetzungen. UFZ Discussion Papers 25/2014. Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung GmbH - UFZ. Leipzig.
- Vrolijk, E.-F. (2015).** Ecosystem-based port design An approach for sustainable port development. Delft University of Technology. Delft.
- Wang, S. and T. Notteboom (2015).** "The role of port authorities in the development of LNG bunkering facilities in North European ports." WMU J Marit Affairs 14: 61-92.
- Wedler, M. and et al. (2013).** Lastverschiebungspotenziale in kleinen und mittleren Unternehmen und Erfolgsfaktoren zur Hebung dieser Potenziale. B.A.U.M. Consult GmbH in Zusammenarbeit mit der Salzburg AG. München
- Weniger, J., J. Bergner, T. Tjaden, V. Quaschning (2015):** Dezentrale Solarstromspeicher für die Energiewende. Studie der Hochschule für Technik und Wirtschaft HTW Berlin. Berlin.
- Wietschel, M., et al., Eds. (2015).** Energietechnologien der Zukunft. Erzeugung, Speicherung, Effizienz und Netze. Wiesbaden, Springer Vieweg.

Wimmer, D., et al. (2014). "Die Auswirkung räumlich verteilter Windstromproduktion auf den Flexibilitätsbedarf im deutschen Stromsystem." *Energiewirtschaftliche Tagesfragen* 64(12): 32-35.

Winkel, R., et al. (2015). Potential for Shore Side Electricity in Europe. Final Report. Ecofys. Utrecht.

Zerrahn, A. and W. P. Schill (2015). A Greenfield Model to Evaluate Long-Run Power Storage Requirements for High Shares of Renewables. Discussion Papers 1457. Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung. Berlin.

Tab. 6: Erneuerbare Energien in der der Metropolregion Bremen-Oldenburg im Nordwesten, Stand 22.03.2015

Datenquelle: energymap 2015

	Solar		Wind		Biomasse		Strom- verbrauch	EEG- Strom	EE-Strom- produktion*
	Anlagen	Strom- produktion	Anlagen	Strom- produktion	Anlagen	Strom- produktion	gesamt	Anteil*	
	Anzahl	MWh/Jahr	Anzahl	MWh/Jahr	Anzahl	MWh/Jahr	MWh/Jahr	%	MWh/Jahr
Ammerland	2.391	63.782	48	76.534	42	102.455	849.601	29	245.113
Bremen, Hanse- stadt	1.403	21.023	60	169.687	9	24.184	4.039.896	6	250.486
Bremerhaven, Kreis	406	5.933	27	163.538	2	21.524	867.879	22	190.996
Cloppenburg	8.053	211.121	230	575.280	192	610.189	1.136.048	123	1.397.759
Cuxhaven	3.614	65.278	406	902.607	72	192.058	1.516.223	77	1.167.518
Delmenhorst	445	4.984	17	48.776	4	7.452	563.095	11	61.239
Diepholz	6.705	156.266	340	1.070.440	187	482.097	1.586.582	108	1.710.907
Friesland	2.045	40.393	208	491.848	33	81.513	753.660	82	614.459
Oldenburg, Kreis	3.398	119.361	100	239.090	126	356.242	915.676	78	614.459
Oldenburg, Stadt	1.155	26.969	18	98.928	10	17.982	1.172.115	13	151.929
Osnabrück, Kreis	9.680	224.113	127	331.300	183	399.417	2.589.940	37	958.279
Osterholz	1.868	43.554	43	48.991	21	47.268	827.630	17	139.814
Vechta	5.073	146.333	76	200.827	66	174.875	966.432	54	522.057
Verden	1.916	29.551	98	224.600	40	114.916	992.391	40	395.145
Wesermarsch	2.145	41.219	136	328.161	23	88.614	696.229	66	458.352
Wilhelmshaven	421	11.189	29	139.230	5	11.329	622.473	26	162.691
gesamt	50.718	1.211.069	1.963	5.109.837	1.015	2.732.115	20.095.870	49	9.041.203

* alle EE nach EEG