

SYNTHETISCHE ENERGIETRÄGER – PERSPEKTIVEN FÜR DIE DEUTSCHE WIRTSCHAFT UND DEN INTERNATIONALEN HANDEL

Eine Untersuchung der Marktpotentiale,
Investitions- und Beschäftigungseffekte

24. September 2018



Studie im Auftrag von:



Institut für Wärme und Oeltechnik e.V. (IWO)
Süderstraße 73a
20097 Hamburg
www.zukunftsheizen.de

Ansprechpartner

Dr. Ernst-Moritz Bellinghen

 040 2351 1318

 Bellinghen@iwo.de



MEW Mittelständische Energiewirtschaft Deutschland e.V.
Georgenstraße 23
10117 Berlin
www.mew-verband.de

Ansprechpartner

Matthias Plötzke

 030 80 950 4542

 Ploetzke@mew-verband.de



UNITI Bundesverband
mittelständischer
Mineralölunternehmen e.V.

UNITI Bundesverband mittelständischer Mineralölunternehmen e. V.
Jägerstraße 6
10117 Berlin
www.uniti.de

Ansprechpartner

Dirk Arne Kuhrt

 030 755 414 300

 Kuhrt@uniti.de

Autoren:



Dr. Jens Perner
Dr. David Bothe
Andrea Lövenich



Thilo Schaefer
Manuel Fritsch

Dr. Jens Perner

 0221 337 13 102

 jens.perner@frontier-economics.com

Dr. David Bothe

 0221 337 13 106

 david.bothe@frontier-economics.com

Das Frontier Economics Netzwerk besteht aus zwei unabhängigen Firmen: Frontier Economics Limited (registriert in Großbritannien) und Frontier Economics Pty Limited (registriert in Australien). Beide Firmen sind in unabhängigem Besitz und Management, und rechtliche Verpflichtungen einer Firma erlegen keine Verpflichtungen auf die andere Firma des Netzwerks.

INHALT

Auf einen Blick	4
1. Wir untersuchen die volkswirtschaftlichen Effekte einer weltweiten PtX Wirtschaft	7
Klimaziele treiben die Energiewende in Deutschland und Europa	7
Untersuchung der volkswirtschaftlichen Effekte eines weltweiten PtX Marktes	8
2. Synthetische Kraft- und Brennstoffe werden langfristig eine bedeutende Rolle für den Wandel hin zu einer CO ₂ -neutralen Energieversorgung haben	9
Die Energiewende macht eine „De-Fossilisierung“ der Energiesysteme erforderlich	9
Hohe Energiedichte chemischer Energieträger ist für bestimmte Energieanwendungen unverzichtbar	11
Energiespeicherung ist essentieller Bestandteil der Energiewende – dies erfordert chemische Energieträger	12
Systemkosten sind relevant – nicht der Fokus auf Umwandlungsverluste	13
Sich wandelnde Kostenstruktur macht Energie günstig – und Leistung teuer!	16
Nutzung vorhandener Infrastrukturen überwindet Akzeptanzgrenzen der Energiewende	18
3. Import von synthetischen Kraft- und Brennstoffen ist notwendig, um die Energiewendeziele in Deutschland und Europa zu erreichen	20
Autarke Energieversorgung Deutschlands auch nach der Energiewende unrealistisch	20
Importe Erneuerbarer Energien in größerem Umfang erfordern chemische Energieträger	22
Internationaler Handel von chemischen Energieträgern aus Erneuerbaren trägt zur Diversifizierung bei	25
Eine bezahlbare Energiewende sollte Kostensenkungspotentiale durch Importe nutzen	29
4. Globale Nutzung von synthetischen Kraft- und Brennstoffen bietet Deutschland als Technologielieferant grosse Chancen	31
Weltweite Nachfrage nach synthetischen Kraft- und Brennstoffen könnte bis 2050 leicht Größenordnungen von 20.000 TWh pro Jahr erreichen	31
Es wird sich ein großer Bedarf an Investitionen in Anlagenkapazitäten für die PtX Produktion ergeben	34
Deutschland bieten sich als Technologielieferant bei Wertschöpfung und Beschäftigung Chancen	42
Die Nachfrage nach Elektrolyseuren hat hierbei den größten Hebel	48
Der Anlagenbau würde über den Elektrolyseur hinaus wachsen	50
5. Synthetische Kraft- und Brennstoffe können Entwicklungspotentiale für Erzeugerländer schaffen und die internationale Zusammenarbeit fördern	53
Potentielle Exporteure von synthetischen Kraft- und Brennstoffen stellen heterogene Gruppen dar	53
Export von synthetischen Kraft- und Brennstoffen kann in Schwellen- und Entwicklungsländern wichtige Impulse entfalten	54
Länder, die derzeit große Mengen fossiler Energieträger exportieren, können mit PtX Alternativen für das „post-fossile Zeitalter“ entwickeln	60
Internationale Zusammenarbeit wird gestärkt – dies trägt zur politischen Stabilität bei	62
6. Fazit: Synthetische Kraft- und Brennstoffe sollten Bestandteil der internationalen Energie- und Klimaschutzagenda sein	65

AUF EINEN BLICK



Synthetische Kraft- und Brennstoffe

Strom, aus Erneuerbaren Energien wie Solar- oder Windenergie gewonnen (EE-Strom), wird durch chemische Prozesse in flüssige oder gasförmige synthetische Kraft- und Brennstoffe umgewandelt, und somit speicherfähig gemacht.

Wir untersuchen in dieser Studie im Auftrag von IWO, MEW und UNITI die relevanten Aspekte des Imports und weltweiten Handels synthetischer Kraft- und Brennstoffe, die aus Erneuerbaren Energien hergestellt werden.

Die Ergebnisse können wie folgt zusammengefasst werden:

Synthetische Kraft- und Brennstoffe werden für eine CO₂-neutrale Energieversorgung unverzichtbar sein

- Die hohe Energiedichte macht den Einsatz von chemischen Energieträgern, hergestellt aus Erneuerbaren Energien, in verschiedenen Sektoren wie dem Luft- und Seeverkehr unverzichtbar, in anderen Sektoren wird sich ein Wettbewerb zwischen den CO₂-reduzierten Optionen einstellen.
- Zudem kann die in einem von Erneuerbaren Energien geprägten Energiesystem erforderliche saisonale Speicherung von Energie und die allzeitige Spitzenlastabdeckung den Einsatz von chemischen Energieträgern erforderlich machen.
- Weiterhin erlaubt der Einsatz von synthetischen Kraft- und Brennstoffen die Nutzung vorhandener Infrastrukturen und Technologien, wodurch Akzeptanzgrenzen für die Transformation des Energiesystems überwunden und Kosten reduziert werden können.

Der Import synthetischer Kraft- und Brennstoffe ist notwendig, um die Energiewendeziele in Deutschland und Europa zu erreichen

- Eine autarke Energieversorgung Deutschlands ist auch nach der Energiewende unrealistisch – dies ergibt sich bereits aus der begrenzten Standortverfügbarkeit für Anlagen zur Erneuerbaren Stromerzeugung.
- Der Import von Energieträgern nach Deutschland wird demnach grundsätzlich zukünftig notwendig sein.
- Auf Erneuerbaren Energien basierende chemische Energieträger sind gegenüber Elektrizität beim Import aufgrund der guten Transportierbarkeit und vorhandenen Infrastruktur klar im Vorteil – dies gilt insbesondere für entferntere Bezugsregionen.
- Durch den Import synthetischer Kraft- und Brennstoffe können zudem die Vorteile bei den EE-Stromerzeugungspotentialen

Chemische Energieträger

umfassen sowohl fossile als auch synthetische Kraft- und Brennstoffe.

und damit Kostensenkungspotentiale bei der PtX Herstellung im Ausland genutzt werden.

PtX

„Power-to-X“ bezeichnet verschiedene Technologien zur Speicherung bzw. anderweitigen Nutzung von i.d.R. erneuerbarem Strom – synthetische Kraft- und Brennstoffe („Power-to-Liquids“ und „Power-to-Gas“) gehören daher zu PtX.

Ein Weltmarkt für PtX wird erhebliche Dimensionen erreichen und entsprechende Investitionen in Anlagen auslösen

- Die weltweite Nachfrage nach PtX könnte bis zum Jahr 2050 leicht Größenordnungen von 20.000 TWh erreichen – dies entspricht der Hälfte des derzeitigen weltweiten Rohölmarktes.
- Der weltweite Leistungsbedarf an Elektrolyseuren und weiteren Umwandlungskapazitäten (Methanisierungsanlagen und Anlagen zur Herstellung synthetischer Flüssigkraftstoffe) würde sich dann in einer Größenordnung von 8.000 GW bewegen.
- Hierdurch würden Investitionen in einer Größenordnung von schätzungsweise durchschnittlich 215 Mrd. Euro pro Jahr in PtX Anlagen (Elektrolyseure, weitere Umwandlungsanlagen, CO₂ Erfassungsanlagen aus der Luft) ausgelöst. Zum Vergleich: Weltweite Investitionen in den Öl- und Gassektor umfassen aktuell ca. 746 Mrd. Euro pro Jahr.

Deutschland ist schon gegenwärtig führend bei den Schlüsseltechnologien

- Bei Elektrolyseuren, den kostenseitig dominanten Anlagenkomponenten bei der PtX Herstellung, entfallen auf Deutschland derzeit 19 % der Exporte weltweit. Damit ist Deutschland der aktuell größte Exporteur von Elektrolyseanlagen weltweit.
- Bei Investitionsgütern des Anlagenbaus, die näherungsweise für die chemischen Anlagenkomponenten herangezogen werden können, entfällt auf Deutschland ebenfalls ein hoher Weltmarktanteil von 16 %.

Deutschland bietet sich als Technologielieferant in einem wachsenden Weltmarkt für PtX bei Wertschöpfung und Beschäftigung Chancen

- Dies illustrieren gesamtwirtschaftliche Berechnungen bei Fortschreibung heutiger Marktverhältnisse: Für die deutsche Wirtschaft ergäben sich zusätzliche Wertschöpfungseffekte in Höhe von insgesamt rund 36,4 Mrd. Euro jährlich. Hiervon entfielen 15,4 Mrd. Euro auf direkte Effekte der Nachfrage nach PtX Technologien, der Rest auf Multiplikatoreffekte, d.h. ausgelöste indirekte Nachfrageeffekte.
- Dies entspräche einer Erhöhung des erwarteten Bruttoinlandsproduktes im Jahr 2020 von rund 1,1 Prozentpunkten.
- Unter Annahme der heutigen Beschäftigungsintensität würden insgesamt bis zu 470.800 Beschäftigungsverhältnisse in der deutschen Wirtschaft auf diese Weise zusätzlich hinzukommen.

Multiplikatoreffekte bezeichnen

nachgelagerte Effekte auf eine Volkswirtschaft, die durch direkte Wertschöpfungseffekte indirekt ausgelöst werden – zum Beispiel die Erhöhung der Beschäftigungszahlen.

Hiervon entfielen rund 175.000 Stellen auf direkte Beschäftigungseffekte, der Rest wiederum auf indirekte Effekte.



PtX schaffen internationale Win-Win-Situation

Die Entwicklung des PtX Marktes führt zu positiven Wertschöpfungs- und Beschäftigungseffekten – in Deutschland und in den Erzeugerländern.

Für die PtX Exportländer bieten sich durch die entstehende Industrie und den Export ebenfalls Chancen

- Investitionen in Anlagen zur Erzeugung von synthetischen Kraft- und Brennstoffen und deren Exportpotentiale können aufgrund der zukünftigen weltweiten Nachfragemärkte an den Produktionsstandorten wichtige Entwicklungsimpulse entfalten. Stärkere Handelsverflechtungen, entstehende Industrien und Export können vor Ort Wirtschaft und Beschäftigung fördern.
- Hochgerechnet auf das abgeschätzte realistische Marktvolumen von 20.000 TWh PtX pro Jahr ergäbe sich eine hierdurch ausgelöste Gesamtwertschöpfung von rund 2.000 Mrd. Euro pro Jahr. Dies entspricht in etwa der Summe des BIP der 120 ärmsten Länder der Welt.
- Aufgrund von objektiven Standortvorteilen, insbesondere starker Erneuerbarer Energien Potentiale und großer Flächenverfügbarkeit, können diese Entwicklungsimpulse v.a. für die entwicklungsbedürftigen Regionen der Welt große Chancen bieten.
- Zudem bietet der Export von synthetischen Kraft- und Brennstoffen jenen Ländern im zukünftigen „post-fossilen“ Zeitalter eine langfristige Wachstumsperspektive, die gegenwärtig große Mengen an fossilen Energieträgern exportieren.

1. WIR UNTERSUCHEN DIE VOLKSWIRTSCHAFTLICHEN EFFEKTE EINER WELTWEITEN PTX WIRTSCHAFT

80-95%

Reduktion der
Treibhausgas-
Emissionen

ist als ambitioniertes
Energie- und Klimaziel bis
zum Jahr 2050 in
Deutschland festgesetzt –
im Vgl. zum Jahr 1990.

Das Thema Sektorkopplung

gilt dabei als wesentlicher
Baustein für das Erreichen
dieser mittel- bis
langfristigen
Klimaschutzziele.

Klimaziele treiben die Energiewende in Deutschland und Europa

Im Kontext des Pariser Klimaschutzabkommens haben sich Deutschland und die Europäische Union ambitionierte Ziele für die Minderung der Treibhausgas-Emissionen („THG“) gesetzt. Bis zum Jahr 2050 sollen die Emissionen von THG um mindestens 80 %, nach Möglichkeit aber um 95 % im Vergleich zum Jahr 1990 abgesenkt werden. Dies macht eine Reduktion der THG-Emissionen des Energiesystems erforderlich.

Die deutsche Bundesregierung sieht unter dem Stichwort „Sektorkopplung“ in dem Einsatz von Strom in Sektoren, die derzeit noch von fossilen Energieträgern dominiert sind (v.a. Wärme/Kälte, Verkehr und Industrieprozesse), einen wesentlichen Baustein für das Erreichen der mittel- und langfristigen Klimaschutzziele. Allerdings fokussieren sich einige Bereiche der Politik derzeit sehr stark auf die unmittelbare Verwendung von Strom im Rahmen der Sektorkopplung. Synthetische Energieträger aus erneuerbarem Strom – hier v.a. Power-to-Liquids und Power-to-Gas – werden dabei wegen zusätzlicher Umwandlungsprozesse und damit einhergehender reduzierter Wirkungsgrade derzeit nur als Ausweidlösung behandelt.

Andererseits können flüssige synthetische Kraftstoffe aus Erneuerbaren Energien aus technischer Sicht in weiten Bereichen des Verkehrssektors zur Anwendung kommen – nahezu unverzichtbar in der Luftfahrt, im Schiffs- und Schwerlastverkehr, im Bereich mobiler Arbeitsmaschinen z.B. in der Land-, Bau- und Forstwirtschaft oder generell in Fahrzeugen mit Verbrennungsmotoren, die im aktuellen Bestand nahezu ausschließlich mit chemischen Energieträgern betrieben werden.¹

Angesichts des voraussichtlich sehr hohen Bedarfs an EE-Strom als Primärenergieträger im Rahmen der Sektorkopplung, der langfristig begrenzten Flächenpotentiale für Photovoltaik (PV) und Windkraft in Deutschland und absehbarer Akzeptanzprobleme (teils für die Anlagen selbst, teils für den erforderlichen Netzausbau), besteht die

¹ Rund 98 % der Antriebsenergie im Verkehrssektor stammen aktuell aus flüssigen Energieträgern (Prognos et al., 2018).

Gefahr, dass die Verfügbarkeit von in Deutschland produziertem EE-Strom mit dem Bedarf langfristig nicht mithalten kann.

Eine Alternative besteht darin, synthetische Gase und flüssige Kraftstoffe, hergestellt aus EE-Strom, aus dem Ausland zu importieren. Denkbar wäre hierbei zunächst eine Beimischung eines bestimmten Anteils von synthetischen Kraft- und Brennstoffen, die aus (erneuerbarem) Strom hergestellt werden, zu den fossilen Kraft- und Brennstoffen („Blending“), bis hin zu einer vollständigen Deckung des Energiebedarfs in den betroffenen Sektoren in einem späteren Stadium.

Untersuchung der volkswirtschaftlichen Effekte eines weltweiten PtX Marktes

In dieser Studie untersuchen wir im Auftrag von IWO, MEW und UNITI die relevanten Aspekte des Imports und weltweiten Handels synthetischer Kraft- und Brennstoffe. Hierbei stehen die folgenden Fragestellungen im Fokus:

- Wie groß ist das weltweite Marktpotential für synthetische Kraft- und Brennstoffe?
- Welche industriepolitischen bzw. gesamtwirtschaftlichen Effekte sind in Deutschland vom Aufbau einer internationalen PtX Wirtschaft zu erwarten? Hierbei sind v.a. Chancen für den deutschen Anlagenbau beim Aufbau neuer Wirtschaftszweige relevant, die die Produktion von synthetischen Kraft- und Brennstoffen aus Erneuerbarer Energie ermöglichen (z.B. Export von Elektrolyseanlagen).
- Welche Regionen sind grundsätzlich für Standorte zur Produktion strombasierter synthetischer Kraft- und Brennstoffe geeignet?
- Welche positiven Effekte ergeben sich bei ausländischen Direktinvestitionen in Länder dieser Regionen, z.B. hinsichtlich Wirtschaftswachstum und Beschäftigung?
- Welche weiteren Chancen ergeben sich durch den internationalen Handel mit synthetischen Kraft- und Brennstoffen, z.B. bezüglich Standortverfügbarkeiten für Erneuerbare Energien, Kosten der Energiebereitstellung in Deutschland sowie Versorgungssicherheit?

2. SYNTHETISCHE KRAFT- UND BRENNSTOFFE WERDEN LANGFRISTIG EINE BEDEUTENDE ROLLE FÜR DEN WANDEL HIN ZU EINER CO₂-NEUTRALEN ENERGIEVERSORGUNG HABEN

Der internationale Handel und Bezug von synthetischen Kraft- und Brennstoffen setzt voraus, dass der Einsatz dieser chemischen Energieträger im Rahmen der Energiewende grundsätzlich sinnvoll ist. Im Folgenden erläutern wir die wesentlichen Gründe, warum dies der Fall ist.

Die Energiewende macht eine „De-Fossilisierung“ der Energiesysteme erforderlich

Zur Erreichung der ambitionierten Klimaschutzziele der Bundesregierung können synthetische Kraft- und Brennstoffe – also aus erneuerbarem Strom synthetisch erzeugte Gase („Power-to-Gas“) oder synthetisch erzeugte Flüssigkraftstoffe („Power-to-Liquid“) – einen wertvollen Beitrag leisten.

Synthetische Kraft- und Brennstoffe können hierbei gesamtbilanziell klimaneutral hergestellt und wieder verbrannt werden: Zwar fallen bei der Endnutzung CO₂-Emissionen an, dieses CO₂ wird jedoch bei der Herstellung der Umwelt entnommen. Die Klimabilanz ist somit ausgeglichen, klimaschädliche Effekte werden nahezu vollständig reduziert.

Abbildung 1 zeigt, dass die ambitionierten Klimaziele eine fast vollständige CO₂-Neutralität im Energie-, Wärme- und Verkehrssektor erfordern – das Energiesystem muss also „de-fossilisiert“ werden. Damit ist klar, dass die Energie langfristig aus klimaneutralen Quellen bereitgestellt werden muss, also v.a. aus Erneuerbaren Energien. In einer Reihe von Ländern werden überdies Kernenergie und fossile Energieträger mit CO₂-Abscheidung und Speicherung als CO₂-neutrale Energiequellen genutzt.

In Bezug auf Erneuerbare Energien, langfristig der wichtigste Eckpfeiler der Energieversorgung, bleibt aber die Frage offen, in welcher Form diese bereitgestellt werden sollen:

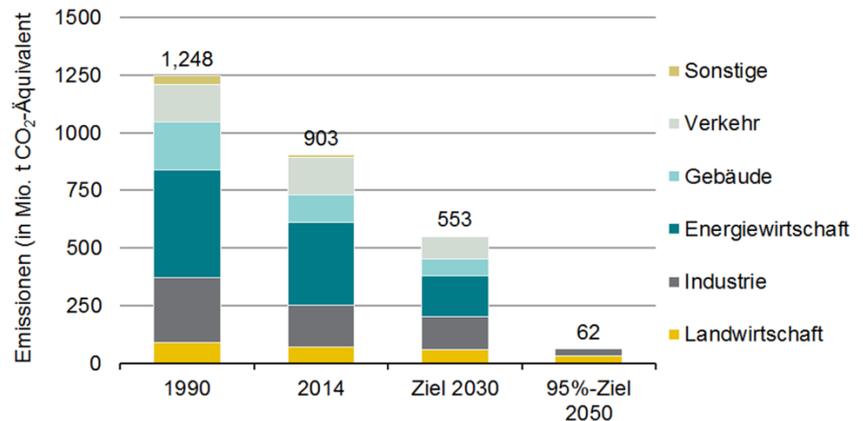
- unmittelbar als biogene Kraft- und Brennstoffe (z.B. Biomasse),

„De-Fossilisierung“ auch mithilfe von synthetischen Kraft- und Brennstoffen

Ob dem Endkunden Erneuerbare Energie in Form von Elektrizität oder CO₂-neutralen synthetischen Kraft- und Brennstoffen bereitgestellt wird, ist für die Klimabilanz unerheblich!

- als Elektrizität, oder
- als synthetisch hergestellte chemische Energieträger (z.B. Wasserstoff, Methan, Ammoniak, Benzin, Diesel, Kerosin oder Methanol). Zudem können chemische Substanzen, wie z.B. Ammonium, auf Basis Erneuerbarer Energien hergestellt und u.a. in der Industrie und Landwirtschaft eingesetzt werden.

Abbildung 1. Klima- und Dekarbonisierungsziele der einzelnen Sektoren



Quelle: Frontier Economics



Erneuerbarem Strom und synthetischen Kraft- und Brennstoffen werden Schlüsselrollen in der Energiewende zukommen.

Der unmittelbar direkte Einsatz von Erneuerbaren Energien, wie z.B. Solarthermie oder Geothermie, ist auf bestimmte Anwendungen, v.a. die Bereitstellung von Wärme, beschränkt. Dabei ist zu berücksichtigen, dass es auch für diese sektorenspezifischen Anwendungen technische und wirtschaftliche Limitierungen gibt. Andere Potentiale, wie die Wasserkraft oder biogene Energiequellen, sind in Deutschland weitgehend ausgeschöpft und bieten nur noch bedingt Wachstumspotentiale.

Insofern werden in Deutschland dem erneuerbar erzeugten Strom und seiner direkten Nutzung sowie den synthetischen Kraft- und Brennstoffen Schlüsselrollen in der Energiewende zukommen. Dabei stand in der Vergangenheit oftmals nur die direkte Nutzung im Fokus der klimapolitischen Debatten und nur am Rande die Potentiale synthetischer Kraft- und Brennstoffe – zu Unrecht, wie wir im Folgenden erläutern werden.

Hohe Energiedichte chemischer Energieträger ist für bestimmte Energieanwendungen unverzichtbar

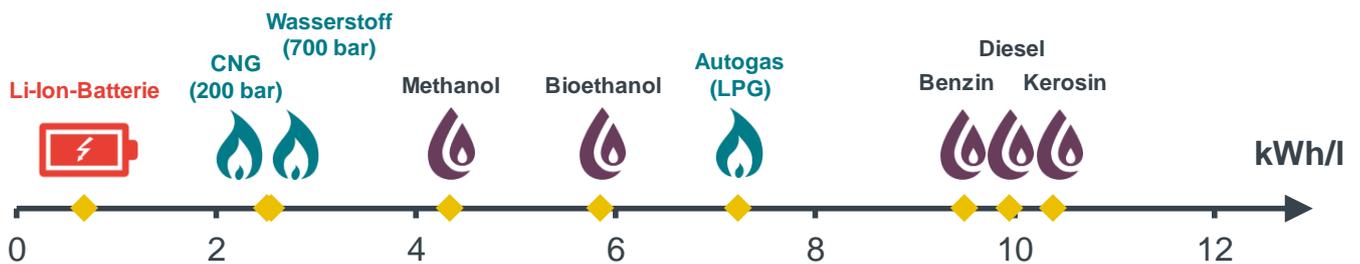
Rund **70%**

des Endenergieverbrauchs in Deutschland basiert auf chemischen Energieträgern – nicht zuletzt aufgrund der guten Transport- und Speicherbarkeit.

Ein wesentliches Merkmal chemischer Energieträger ist ihre hohe Energiedichte (Abbildung 2). Dies gilt insbesondere für flüssige Brennstoffe, aber auch für Gase wie Methan und Wasserstoff. Das bedeutet, dass immer wenn es darum geht, große Mengen Energie zu transportieren oder zu lagern (d.h. zu speichern), chemische Energieträger signifikante Vorteile gegenüber elektrischer Energie bieten. Nicht zuletzt aufgrund dieser grundlegenden chemisch-physikalischen Eigenschaften basiert der Endenergieverbrauch in Deutschland zu rund 70 % auf chemischen Energieträgern.

Insbesondere flüssige Energieträger sind in einigen Sektoren daher absehbar nicht oder nur schwer zu ersetzen, wie in Teilen des Verkehrssektors (z.B. Flugverkehr, Schifffahrt, Straßengüterfernverkehr) sowie in der chemischen Industrie.²

Abbildung 2. Energiedichten chemischer Energieträger vs. Batterien



Quelle: Zusammengefasste Darstellung basierend auf mehreren Quellen³

² U.a. Prognos et al (2018): Status und Perspektiven flüssiger Energieträger in der Energiewende.

³ Siehe u.a. (i) http://www.fnr.de/fileadmin/allgemein/pdf/broschueren/broschuere_basisdaten_bioenergie_2017_2.pdf; (ii) <https://www.dke.de/resource/blob/933404/fa7a24099c84ef613d8e7afd2c860a39/kompendium-li-ionen-batterien-data.pdf>; (iii) <https://www.elgas.com.au/blog/1698-cng-vs-lpg-comparing-properties-sources-uses-homes-cars-vehicles>; [http://www.fz-juelich.de/SharedDocs/Downloads/IEK/IEK-3/Flyer/Info_Direktmethanol-Brennstoffzellen%20\(D\).pdf?__blob=publicationFile](http://www.fz-juelich.de/SharedDocs/Downloads/IEK/IEK-3/Flyer/Info_Direktmethanol-Brennstoffzellen%20(D).pdf?__blob=publicationFile); (iv) [http://www.fz-juelich.de/SharedDocs/Downloads/IEK/IEK-3/Flyer/Info_Direktmethanol-Brennstoffzellen%20\(D\).pdf?__blob=publicationFile](http://www.fz-juelich.de/SharedDocs/Downloads/IEK/IEK-3/Flyer/Info_Direktmethanol-Brennstoffzellen%20(D).pdf?__blob=publicationFile); (v) https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/MKS/mks-kurzstudie-cng-lpg.pdf?__blob=publicationFile; (vi) <http://www.dglr.de/publikationen/2012/281188.pdf>; (vii) https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/VerkehrUndMobilitaet/wasserstoff-bewegt-minifolder.pdf?__blob=publicationFile

Energiespeicherung ist essentieller Bestandteil der Energiewende – dies erfordert chemische Energieträger

Die zunehmende Gewinnung von Energie aus Erneuerbaren Energien, in Deutschland insbesondere Windkraft und Photovoltaik, macht eine Speicherung der Energie unverzichtbar, denn Wind und Sonne sind nur fluktuierend verfügbar. Dies gilt sowohl kurzfristig, also innerhalb oder zwischen einzelnen Tagen und über Wochen hinweg, als auch saisonal, also über mehrere Monate hinweg.

Bislang fehlen Technologieoptionen für eine langfristige saisonale Stromspeicherung. Die Gas- und Öl-Infrastruktur ist dagegen in Deutschland so ausgebaut, dass eine hochdynamische landesweite Momentan-Nachfrage nach Energie in den verschiedenen Sektoren jederzeit zuverlässig bedient werden kann. Das gilt gleichermaßen für saisonale Nachfrageschwankungen.

Für dieses Maß an technischer Versorgungssicherheit sind speicherbare Energieträger mit einer möglichst hohen Energiedichte und die entsprechend erforderlichen Infrastrukturen unabdingbare Voraussetzung. Speicherbare Energieträger entkoppeln Nachfrage und Angebot voneinander. Dies ermöglicht ein Höchstmaß an Flexibilität bei der Energiebereitstellung und -verteilung.

So haben bereits existierende Speicher für flüssige Energieträger ein Speichervolumen von mehr als 535 TWh (dies entspricht rund 42 % der jährlichen Mineralölnachfrage oder 62% der jährlichen Nachfrage nach flüssigen Kraft- und Brennstoffen in Deutschland⁴) (Abbildung 3). Zusätzlich steht in den existierenden Gasspeichern in Deutschland ein Speichervolumen von etwa 260 TWh zur Verfügung (dies entspricht mehr als 33 % der jährlichen Gasnachfrage).⁵ Im Vergleich dazu beträgt das Speichervolumen von allen deutschen Stromspeichern⁶ nur etwa 0,04 TWh.⁷

Diese Speicherkapazität deutscher Stromspeicherkraftwerke reicht gegenwärtig aus, um die durchschnittliche Stromnachfrage rund 41 Minuten lang zu bedienen.

Rund **62%**

der jährlichen Nachfrage nach flüssigen Kraft- und Brennstoffen wird aktuell durch existierende Speichervolumina für flüssige Energieträger abgedeckt.

⁴ Die Bezugsgröße für die prozentuale Speicherabdeckung von 62 % ist der Inlandsgesamtabsatz der Mineralöl-Hauptprodukte Otto-, Dieselmotorenkraftstoff, Heizöl EL. (Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle: Mineralöldaten für die Bundesrepublik Deutschland, Dezember 2017).

⁵ Primärenergieverbrauch Gas 2016: 2.804 PJ (gemäß <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Infografiken/Energie/energie-primarverbrauch.html>).

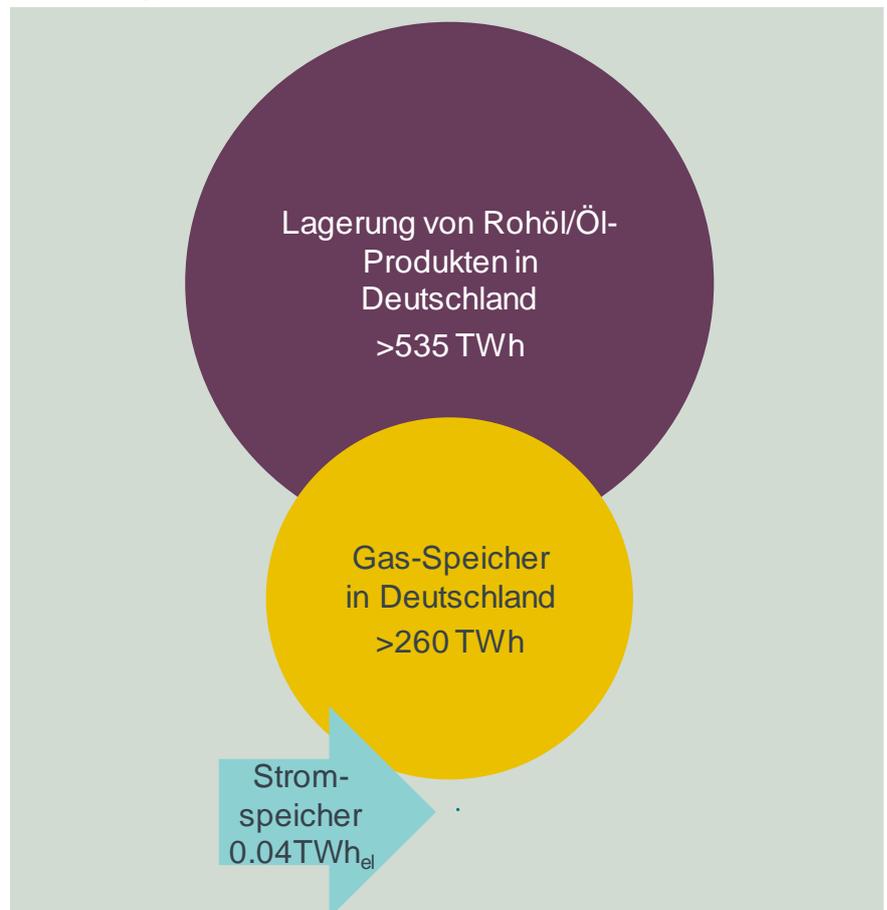
⁶ Die angegebenen Kapazitäten werden fast ausschließlich durch Pumpspeicherkraftwerke bereitgestellt. Es gibt keine systematische Statistik der Kapazität Bereitstellung von Batteriespeichern, aber selbst unter optimistischen Schätzungen stellen diese nur eine Kapazität im einstelligen GWh-Bereich bereit und die Kapazitäten sind daher vernachlässigbar gering.

⁷ Gasspeichervolumen gemäß Gas Infrastructure Europe, Speicherkapazitäten für flüssige Energieträger gemäß ETR Gutachten (2018) und Speicherkapazität von Stromspeichern entsprechend Deutscher Bundestag (2017), S. 8.

Abbildung 3. Speicherkapazitäten in Deutschland

Nur ca. **41**
Minuten

der durchschnittlichen Stromnachfrage können gegenwärtig durch deutsche Stromspeicher bedient werden.



Quelle: Gasspeichervolumen gemäß Gas Infrastructure Europe, Speicherkapazitäten für flüssige Energieträger gemäß ETR Gutachten und Speicherkapazität von Stromspeichern entsprechend Deutscher Bundestag.⁸

Hinweis: Proportionale Darstellung des Stromspeichervolumens als Punkt an der Pfeilspitze.

Die Zuverlässigkeit von chemischen Energieträgern und die Relevanz der Speicherbarkeit zeigen sich auch dadurch, dass sie als primäre Energiequelle im Katastrophenschutz und bei der Notstromversorgung, insbesondere bei kritischen Infrastrukturen, vorgesehen werden. So basiert zum Beispiel ein hoher Anteil der Notstromaggregate in Deutschland auf flüssigen Brennstoffen.⁹

Systemkosten sind relevant – nicht der Fokus auf Umwandlungsverluste

Durch diese Eigenschaften spart der Einsatz von synthetischen Kraft- und Brennstoffen – ergänzend zur Elektrifizierung – in erheblichem Maße Kosten im Energiesystem. Hierbei stehen sich

⁸ Deutscher Bundestag (2017): Entwicklung der Stromspeicherkapazitäten in Deutschland von 2010 bis 2016; ETR Gutachten -Bräuninger (2018): Die Rolle von Mineralöl als Energiespeicher in der Energiewende-Debatte.

⁹ Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe: Treibstoffversorgung bei Stromausfall – Empfehlungen für Zivil- und Katastrophenschutzbehörden (Band 18).

v.a. Kostenersparnisse und bestimmte zusätzliche Kosten gegenüber:

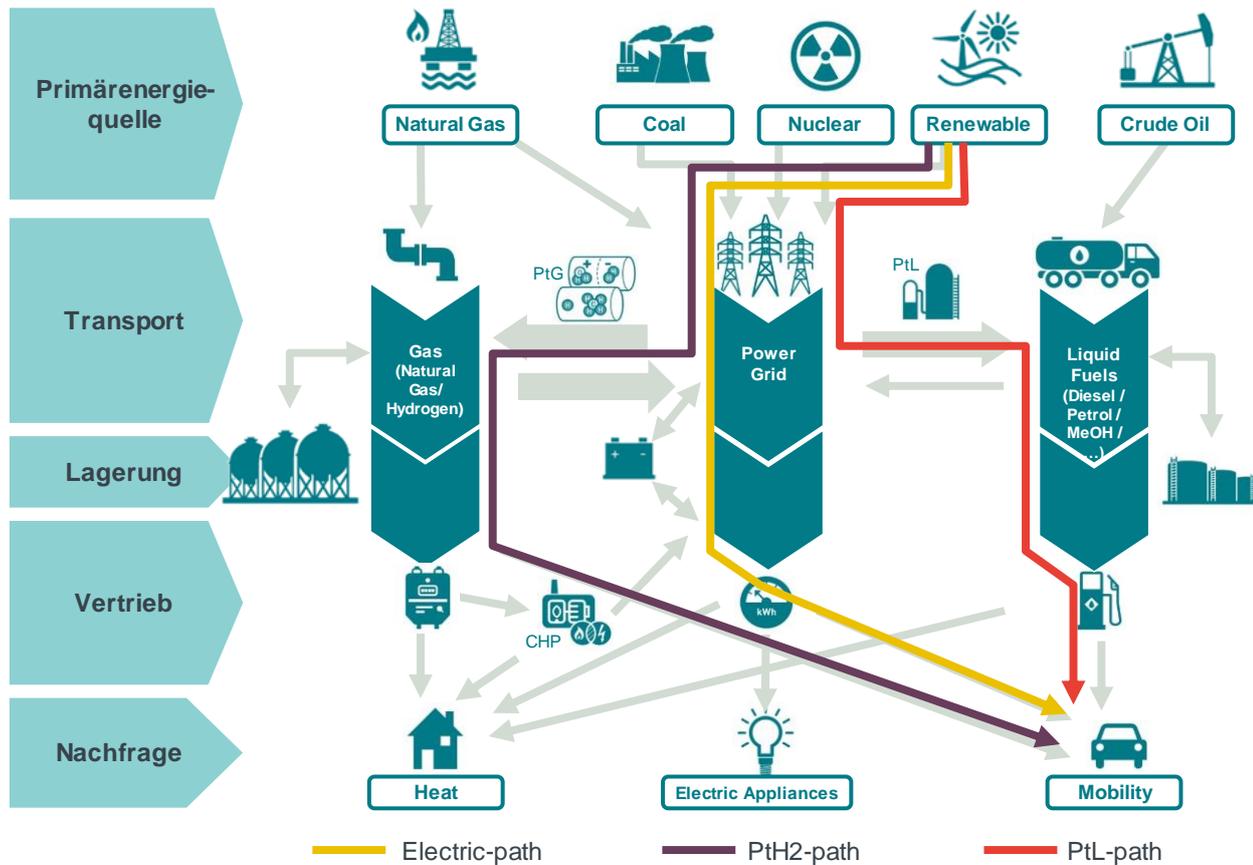
- Kostenersparnisse, z.B.
 - durch die Nutzung bestehender Infrastrukturen wie Gaspipelines, Tankstellen, Speicher etc.; sowie
 - durch die Nutzung von vorhandenen und weniger teuren Anwendungstechnologien, wie z.B. kostengünstiger Brennwertgeräte vs. teurere Wärmepumpen im Raumwärmebereich.
- Zusätzliche Investitionskosten für Anlagen, z.B.
 - Elektrolyseure zur Herstellung von Wasserstoff, Syntheseanlagen zur Herstellung von synthetischen Flüssigkraftstoffen oder Methan sowie Anlagen zur Gewinnung von CO₂ (z.B. Direct Air Capture, d.h. Gewinnung von CO₂ aus der Luft); und
 - Anlagen für Erneuerbare Energien, die aufgrund der Umwandlungsverluste bei der Herstellung der synthetischen Kraft- und Brennstoffe zusätzlich errichtet werden müssen.

Bei der Beurteilung der Wirtschaftlichkeit von synthetischen Kraft- und Brennstoffen sind also nicht nur – die in der öffentlichen Debatte oft im Vordergrund stehenden – Umwandlungsverluste entscheidend, sondern eben auch die jeweiligen Wirkungen auf Investitionen und Ausbaubedarfe in Erzeugung, Umwandlung, Speicher und Netze. Abbildung 4 enthält stilisiert einen Überblick über das deutsche Energiesystem, in dem mit Stromnetz, Gasnetz und der Infrastruktur für flüssige Kraftstoffe im Wesentlichen drei unterschiedliche Energieträgergruppen für die Verbindung von Primärenergiequelle und Endenergienutzung zur Verfügung stehen.

Am Beispiel des Verkehrssektors werden exemplarisch drei Pfade illustriert, wie zukünftig erneuerbar gewonnene Energie im Verkehrssektor zur Anwendung gelangen kann:

- Direkt über Elektrifizierung und entsprechender Bereitstellung über das Stromnetz;
- Indirekt mittels Umwandlung in synthetische Flüssigkraftstoffe (z.B. synthetischer Diesel); oder
- Indirekt mittels Umwandlung in synthetische Gase (Wasserstoff oder Methan).

Abbildung 4. Energielieferketten am Beispiel des Verkehrssektors in Deutschland



Quelle: Frontier Economics

Hinweis: Illustrative Darstellung der Energielieferkette anhand des Mobilitätssektors auf verschiedene Sektoren anwendbar.

In einer solchen systemischen Betrachtung zeigt sich, dass die Umwandlungsverluste von synthetischen Kraft- und Brennstoffen durch die Vorteile, die chemische Energieträger für die Energieversorgung bieten, in vielen Fällen mehr als aufgewogen werden. So haben sich verschiedene Studien¹⁰ jüngst mit der Frage beschäftigt, welches Energiesystem geeignet ist, langfristig eine Energiewende hin zu ausschließlich Erneuerbaren Energiequellen mit welchem Kostenaufwand zu erreichen.

Zwar unterscheiden sich die Ergebnisse im Detail je nach Annahmen und unterstellten Rahmenbedingungen, aber als Grundaussage zeigt sich jedoch einheitlich, dass ein Energiesystem unter Nutzung von chemischen Energieträgern deutliche Kostenvorteile gegenüber einer überwiegend direkten Elektrifizierung mit sich bringt.

¹⁰ U.a. Frontier Economics et al (2017): Der Wert der Gasinfrastruktur für die Energiewende in Deutschland; Dena (2018): dena-Leitstudie Integrierte Energiewende.

Bis zu
**600 Mrd.
Euro**

an Investitionen können
u.a. durch den Einsatz von
PtX langfristig in
Deutschland eingespart
werden.



Elektrifizierung löst in
vielen Fällen „das falsche
Problem“!

In einer Studie für die deutschen Ferngasnetzbetreiber (FNB Gas Studie) haben wir, Frontier Economics, gezeigt, dass in Deutschland durch einen Energieträgermix unter der Nutzung von PtX (gasförmig und flüssig) bis zum Jahr 2050 rund 250 Mrd. Euro Investitionen im Vergleich zu einer weitreichenden Elektrifizierung vermieden werden können.¹¹ In einer jüngst veröffentlichten Studie der dena werden sogar Einsparungen von bis zu 600 Mrd. Euro u.a. durch PtX vorhergesagt, falls dabei zugleich die Möglichkeit von Importen genutzt würde.¹²

Sich wandelnde Kostenstruktur macht Energie günstig – und Leistung teuer!

Die durch synthetische Kraft- und Brennstoffe gegenüber einer weitreichenden Elektrifizierung zu erzielenden Kostenvorteile hängen dabei außerdem direkt damit zusammen, dass sich in einem Energiesystem mit zunehmend Erneuerbaren Energien die Kostenstruktur deutlich wandelt:

Während gerade die Nutzung fossiler Energieträger unmittelbar mit einem „Verbrauch“ von Rohstoffen und damit mit direkten Kosten verbunden ist, gilt dieser Zusammenhang bei verstärktem Einsatz von Erneuerbarer Energiequellen nicht mehr: Die Bereitstellung ist vor allem mit fixen Kapazitätskosten verbunden, d.h. der Aufbau von Wind- und Solarkraftwerken erfordert hohe Investitionen, die Erzeugung an sich jedoch ist dann mit nur noch wenigen direkten Kosten verbunden. Ähnliche Zusammenhänge gelten gleichermaßen für die Netze, sodass für das Gesamtsystem mit höheren Anteilen dargebotsabhängiger Erneuerbarer Energien (wie insbesondere Wind und Solar) tendenziell gilt:

- **Energie wird günstiger** – der reine Verbrauch (in kWh) wird kostengünstiger, solange das System nicht an die Kapazitätsgrenze gelangt.
- **Kapazität und Spitzenleistung wird teurer** – die Vorhaltung von Leistung (in KW) jedoch wird deutlich teurer.

Jedoch ist es gerade so, dass der Vorteil von Lösungen, die auf einer Elektrifizierung von Endanwendungen basieren, wie Wärmepumpen oder Elektromobilität, gerade bei einer besonders effizienten Energienutzung liegen. Vereinfacht lässt sich daher sagen, dass eine Elektrifizierung in dieser Hinsicht „das falsche Problem löst“: Sie spart besonders in dem Bereich, in dem zukünftig die Kosten sinken (nämlich die Bereitstellung der einzelnen kWh-Energie), ist aber besonders anspruchsvoll bei der Leistungsvorhaltung (z.B. für schnelle Ladevorgänge oder Wärmebereitstellung bei Extremwitterungen mit großflächigen Verbrauchs-

¹¹ Frontier Economics et al (2017): Der Wert der Gasinfrastruktur für die Energiewende in Deutschland.

¹² Dena (2018): dena-Leitstudie Integrierte Energiewende.

spitzen) und gerade Kapazitäten und Spitzenleistung sind in einem elektrischen System deutlich teurer vorzuhalten als durch chemische Energieträger.

Dies zeigt sich anschaulich beim Austausch von Fahrzeugen mit Verbrennungsmotoren durch Elektromobilität (siehe „Realitätscheck“).

REALITÄTSCHECK DES „NUR STROM“ SZENARIOS: FALLBEISPIEL ELEKTROMOBILITÄT

Anwendungen wie die Elektromobilität adressieren im Grundsatz das „falsche Problem“: Das günstiger werdende Element Energie wird optimiert, allerdings bedeutet dies, dass aufwändige (und zunehmend teure, s.o.) Ladekapazitäten und Spitzenleistungen erforderlich werden.

Voraussetzung für eine umfassende Nutzung von Elektromobilität ist der flächendeckende „Roll out“ von Ladeinfrastruktur. Dabei ist gar nicht so sehr die Ladeinfrastruktur an sich ein erheblicher Kostentreiber, sondern die systemweite Vorhaltung der entsprechenden Kapazitäten – sowohl im Hinblick auf die Netze, als auch auf die Verfügbarkeit von Erzeugungsleistung.

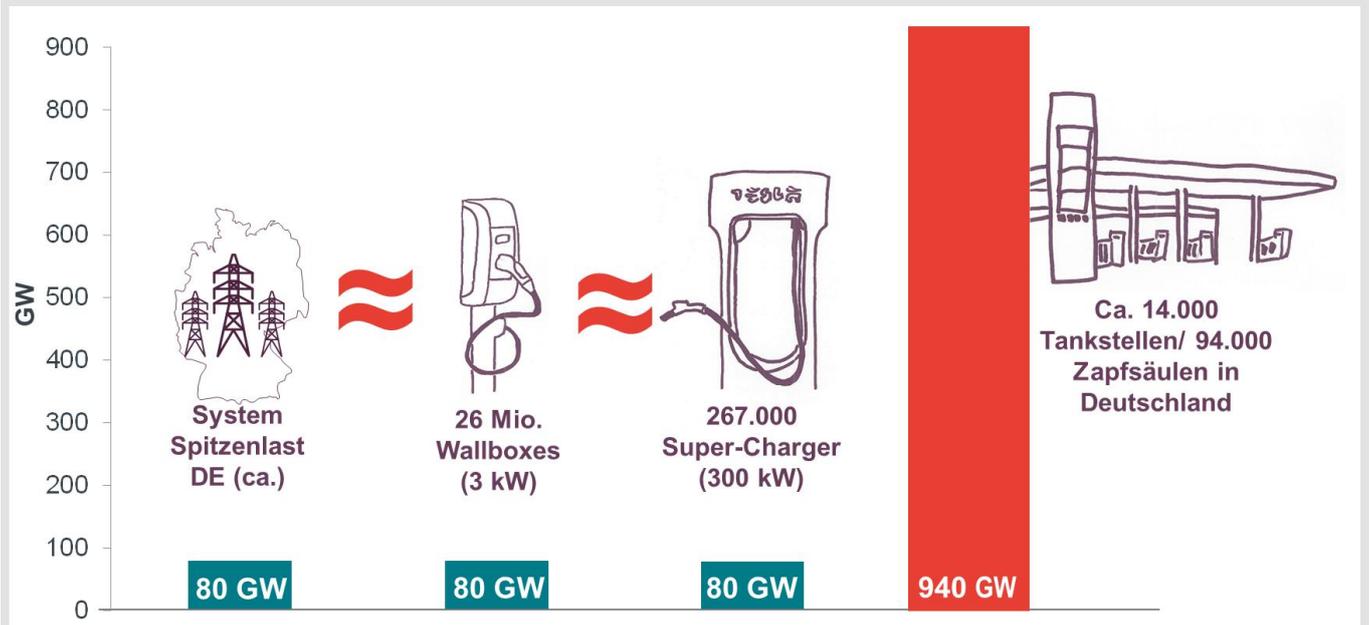
Dabei ist zu berücksichtigen, dass Lade- und Tankinfrastruktur auch Optionscharakter bieten muss: Es ist das Kerncharakteristikum von Mobilität, dass die genauen Verkehrsströme räumlich und oder zeitlich nur bedingt vorhersehbar sind. Dies gilt umso mehr für Deutschland mit seiner zentraleuropäischen Lage und des daraus resultierenden Transitverkehr-Aufkommens. Entsprechend ist es notwendig, Tank- und Ladeinfrastruktur nicht auf eine optimale Auslastung zu dimensionieren, sondern auf regionale Spitzensituationen – wodurch es zwangsläufig dazu kommt, dass große Teile der Infrastruktur nur zeitweise genutzt werden, und es somit zu einer im Durchschnitt deutlichen Unterauslastung kommt.

Auf welchem (hohem) Niveau sich die aktuelle Versorgungsinfrastruktur für Fahrzeuge befindet und wie stark die Strom-Ladeinfrastruktur äquivalent ausgebaut werden müsste, zeigt eine einfache überschlägige Rechnung, die Abbildung 5 illustrativ veranschaulicht:

- In Deutschland sind an Tankstellen rund 94.000 Zapfsäulen verfügbar. Berücksichtigt man die durchschnittliche Dauer eines Tankvorgangs, die dabei erzielten Durchflussmengen und die Energiedichte, so beträgt die durchschnittliche „Leistung“, mit der Energie im Rahmen eines Tankvorgangs in das Fahrzeug übertragen wird, rund 10 MW, also 10.000 kW. D.h. mit der derzeitigen Tankstelleninfrastruktur ist in Deutschland das Äquivalent zu einer (gesicherten) Gesamtleistung von **940 GW** installiert.
- Zum Vergleich: Die elektrische Ladeleistung einer üblichen „Wallbox“ beträgt nur rund 2-3 kW und selbst „Super-Charger“ erreichen nur rund 300 kW. Die aktuelle Spitzenlast im Stromnetz (für sämtliche Stromverbraucher in Deutschland) beträgt zurzeit nur rund **80 GW**.

Diese Größenordnungen machen deutlich, dass selbst unter Berücksichtigung des höheren Wirkungsgrades der Elektromobilität eine flächendeckende Nutzung der Elektromobilität zu einer Vervielfachung der vorzuhaltenden Leistung im Stromsystem führt, würde man auch nur ansatzweise einen Versorgungsgrad anstreben, wie er aktuell bei Tankstellen etabliert ist.

Abbildung 5. Leistungspotential des heutigen Tankstellennetzes im Vergleich zur Strombereitstellung im Mobilitätssektor



Quelle: Frontier Economics

Hinweis: 940 GW thermisch; geschätzte installierte Gesamtleistung der derzeitigen Tankstelleninfrastruktur. GW elektrisch; aktuelle Spitzenlast im Stromnetz (für sämtliche Stromverbraucher in Deutschland). sind relativ robust über die Zeit zu betrachten, mit marginalen Veränderungen in den letzten Jahren.

80 Größenordnungen

Nutzung vorhandener Infrastrukturen überwindet Akzeptanzgrenzen der Energiewende

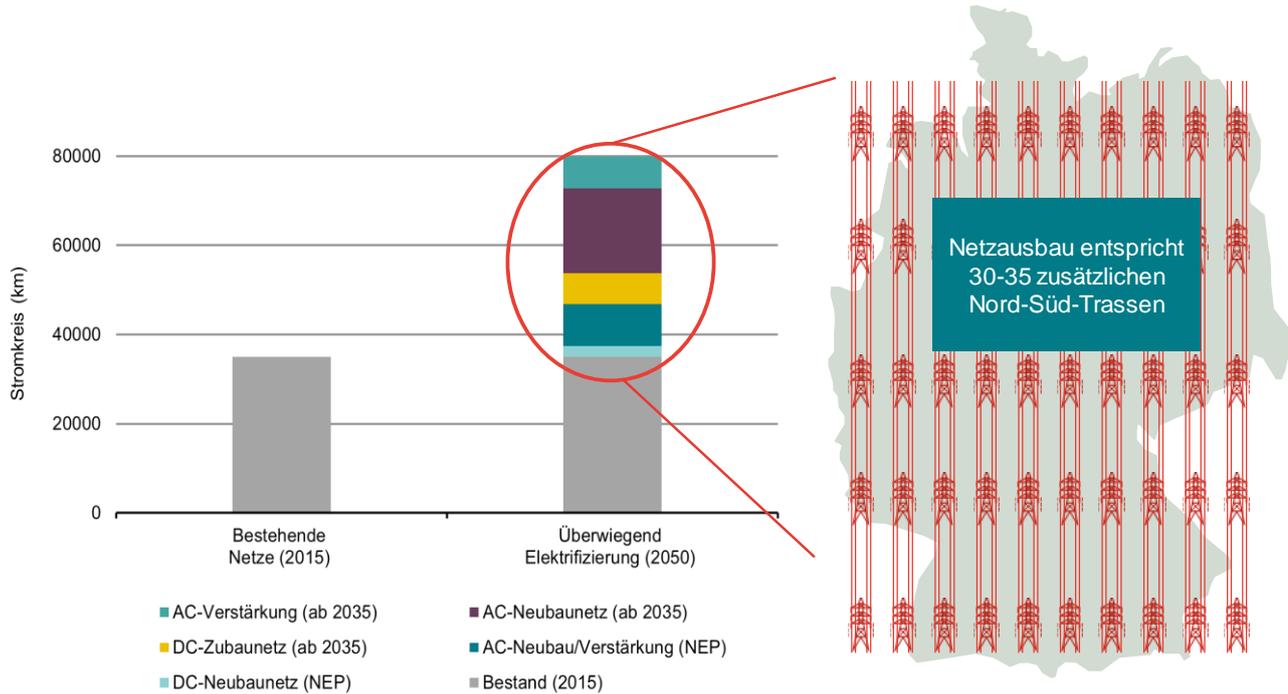
Neben den ökonomischen und technischen Aspekten bleibt häufig übersehen, dass das Projekt Energiewende nur gelingen kann, wenn es eine breite gesellschaftliche Unterstützung für dieses Vorhaben gibt. Auch unter diesem Gesichtspunkt gilt es somit, verschiedene Technologien zu bewerten. Dabei zeigt sich, dass synthetische Energieträger insgesamt weitere Vorteile gegenüber einer umfassenden Elektrifizierung bieten, vor allem durch die Möglichkeit, vorhandene Infrastruktur für Gas und Flüssigbrennstoffe weiter zu nutzen und – den oft umstrittenen – Ausbau im Strombereich abzufedern.

So erfordert eine umfassende Elektrifizierung einen erheblichen Netzausbau: Berechnungen der RWTH Aachen zeigen,¹³ dass für eine umfassende Elektrifizierung mehr als eine Verdopplung der Stromkreislänge im Hochspannungsnetz erforderlich wäre, was bezogen auf die Länge bspw. rund 30-35 deutschlandweiten Nord-Süd-Verbindungen entspräche. Zum Vergleich: Allein für den bereits aktuell notwendigen Ausbau einzelner Nord-Süd-Verbindungen werden 15 Jahre Umsetzungszeit veranschlagt.

Mehr als eine **Verdopplung** der Stromkreislänge im Hochspannungsnetz wäre bei einer umfassenden Elektrifizierung erforderlich!

¹³ Frontier Economics et al (2017): Der Wert der Gasinfrastruktur für die Energiewende in Deutschland.

Abbildung 6. Auswirkungen des benötigten HV-Netzausbaus in Deutschland



Quelle: Frontier Economics et al (2017): Der Wert der Gasinfrastruktur für die Energiewende in Deutschland

Hinweis: Szenario Auswahl „Überwiegend Elektrifizierung“

Daher sind sich mittlerweile sowohl Politik als auch Netzbetreiber einig, dass ein um ein Vielfaches hinausgehender Ausbau – wie er für eine umfassende direkte Elektrifizierung erforderlich wäre – eine sehr große Herausforderung darstellt. Ähnliche Herausforderungen beim Ausbaubedarf stellen sich zudem für die Verteilnetze, sollte es zu einer umfassenden Installation von Ladeinfrastruktur für die E-Mobilität oder auch dem flächendeckenden Einbau von Wärmepumpen kommen.

3. IMPORT VON SYNTHETISCHEN KRAFT- UND BRENNSTOFFEN IST NOTWENDIG, UM DIE ENERGIEWENDEZIELE IN DEUTSCHLAND UND EUROPA ZU ERREICHEN

Im vorhergehenden Abschnitt haben wir dargelegt, dass der zukünftige Einsatz von synthetischen Kraft- und Brennstoffen im Rahmen der Energiewende unabdingbar und sinnvoll ist.

In diesem Abschnitt legen wir dar, dass absehbar eine rein nationale Bereitstellung der in Zukunft erforderlichen Energiemengen aus erneuerbaren Quellen weder effizient noch realistisch ist. Insofern wird zukünftig dem internationalen Handel und Bezug von gasförmigen und flüssigen synthetischen Kraft- und Brennstoffen aus Erneuerbaren Energien eine wichtige energiestrategische Bedeutung zukommen.



Die Energienachfrage in Deutschland wird auch bis zum Jahr 2050 – trotz aller Effizienzanstrengungen – noch min. 75% des aktuellen Bedarfs ausmachen!

Autarke Energieversorgung Deutschlands auch nach der Energiewende unrealistisch

Deutschland deckt derzeit ca. 2/3 seines Primärenergiebedarfs durch Importe.¹⁴ Da die Nachfrage in Deutschland auch bei äußersten Anstrengungen zur Energieeffizienz im Jahr 2050 noch mindestens 75 % des heutigen Bedarfs ausmachen dürfte¹⁵, stellt sich die Frage, wie diese Energiemengen bereitgestellt werden sollen. Aufgrund der langfristigen Klimaschutzziele Deutschlands und dem Verzicht Deutschlands auf Kernenergie und (nach heutigem Stand) auch der Nutzung fossiler Energieträger in Verbindung mit CO₂-Abscheidung ist klar, dass der Bedarf langfristig ganz überwiegend aus Erneuerbaren Energien gedeckt werden muss.

Können diese Mengen unter realistischen Rahmenbedingungen zukünftig autark in Deutschland bereitgestellt werden?

Dies erscheint eher unrealistisch: So wird Strom (entweder in direkter Nutzung als Elektrizität, oder indirekt über synthetische Kraft- und Brennstoffe) eine herausragende Rolle für die Energiewende spielen. Hierbei gehen Schätzungen davon aus, dass der

¹⁴ AG Energiebilanzen.

¹⁵ Frontier Economics et al (2017): Der Wert der Gasinfrastruktur für die Energiewende in Deutschland.

jährliche deutsche Strombedarf langfristig auf über 3.000 TWh ansteigen könnte, von derzeit ca. 540 TWh.¹⁶

Legt man z.B. einen Anstieg des Strombedarfs auf lediglich rund 1.000 TWh zugrunde, müssten bis zum Jahr 2050 z.B. bis zu 600 GW an EE-Kapazitäten – jeweils ca. ein Drittel als Wind-Offshore Kapazität, Wind-Onshore Kapazität und Photovoltaik – in Deutschland errichtet werden¹⁷, soll die Energieversorgung aus heimischen erneuerbaren Quellen bereitgestellt werden (siehe Abbildung 7). Im Vergleich: Derzeit sind Anlagen von ca. 57 GW (On- und Offshore Windkraft) und 44 GW (Solar) installiert – es handelt sich also um eine Vervielfachung der heutigen Kapazitäten.

Alle 2,5 km

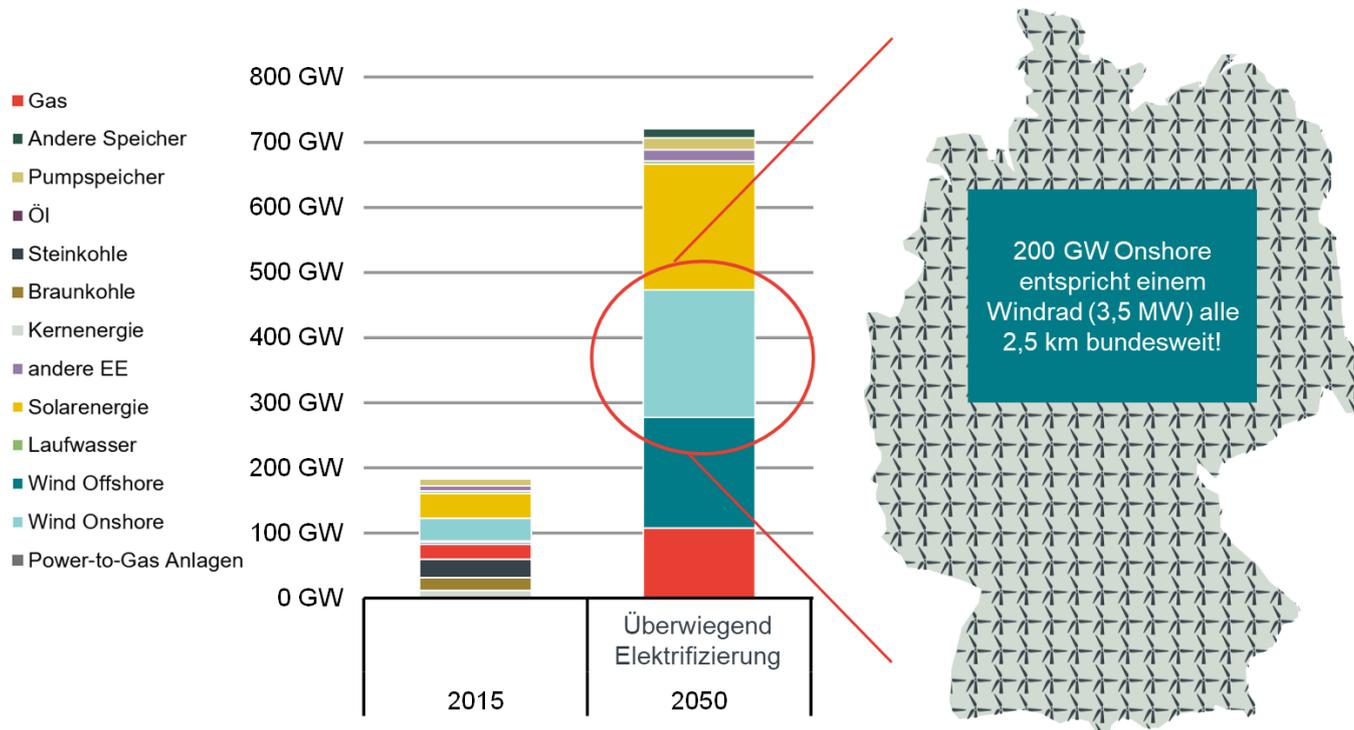
müsste ein Windrad bei einem bundesweit gleichmäßigen Ausbau der windbasierten Strom-Erzeugungskapazität an Land von ca. 200 GW installiert werden.

Diese erforderlichen Ausbauten an erneuerbaren Anlagen und die erforderliche begleitende Infrastruktur (Netze, ohne PtX zudem auch Speicher) dürften innerhalb Deutschlands auf zunehmende Widerstände stoßen: Dies lässt sich anhand des Beispiels der Standortverfügbarkeit für Anlagen aus Erneuerbaren Energien illustrieren: Auch wenn es technisch in Deutschland ausreichend Standorte für Erneuerbare Energien gibt, ist zweifelhaft, ob diese hinsichtlich Akzeptanz in ausreichendem Maße erschlossen werden können. Dies manifestiert sich z.B. in der Diskussion um die Akzeptanz von Windenergieanlagen an Land. Zum Vergleich: Allein 200 GW installierte windbasierte Strom-Erzeugungskapazität an Land entspräche einer bundesweiten Installation von Windrädern flächendeckend alle 2,5 km!

¹⁶ Agentur für Erneuerbare Energien (AEE) (2016): Metaanalyse – Flexibilität durch Kopplung von Strom, Wärme & Verkehr. Die Großzahl der hier dargestellten Studien prognostizieren eine Bandbreite des deutschen Bruttostromverbrauchs bis zum Jahr 2050 von ca. 600 TWh/a bis 1.200 TWh/a.

¹⁷ Frontier Economics et al (2017): Der Wert der Gasinfrastruktur für die Energiewende in Deutschland.

Abbildung 7. Auswirkungen der benötigten Stromerzeugungskapazitäten in Deutschland



Quelle: Frontier Economics et al (2017): Der Wert der Gasinfrastruktur für die Energiewende in Deutschland

Hinweis: Szenario Auswahl „Überwiegend Elektrifizierung“

Insofern ist davon auszugehen, dass der Import von – zukünftig Erneuerbarer – Energie eine Notwendigkeit ist, soll das Projekt Energiewende z.B. nicht an rückläufiger Akzeptanz in der Bevölkerung scheitern.

Importe Erneuerbarer Energien in größerem Umfang erfordern chemische Energieträger



Chemische Energieträger sind beim Import Erneuerbarer Energie ggü. Strom aufgrund der vorhandenen Infrastruktur klar im Vorteil.

Gelingt es nicht – und davon ist auszugehen – die erforderlichen Mengen an Erneuerbaren Energien innerhalb Deutschlands bereit zu stellen, ist zukünftig der Import dieser Energiemengen in größeren Mengen erforderlich. Hierbei ist der Import von Biomasse, Biogas und anderer direkter biogener Brennstoffe möglich, im Volumen allerdings begrenzt. Zudem ist der Transport von Elektrizität aus Erneuerbaren Energien, insbesondere über weite Distanzen, nur bedingt möglich und limitiert: Dies liegt v.a. an den relativ hohen Kosten des Stromtransports pro Energieeinheit insbesondere bei hohen zu überbrückenden Transportentfernungen und den Transportverlusten.

Für den Import von großen Mengen Energie über weite Distanzen sind deshalb – ähnlich wie bei den Speichern – chemische Energie-

träger gegenüber Elektrizität im Vorteil. Die Kosten des Transports spielen bei chemischen Energieträgern eine untergeordnete Rolle – Distanzen haben hier deutlich weniger Einfluss.¹⁸

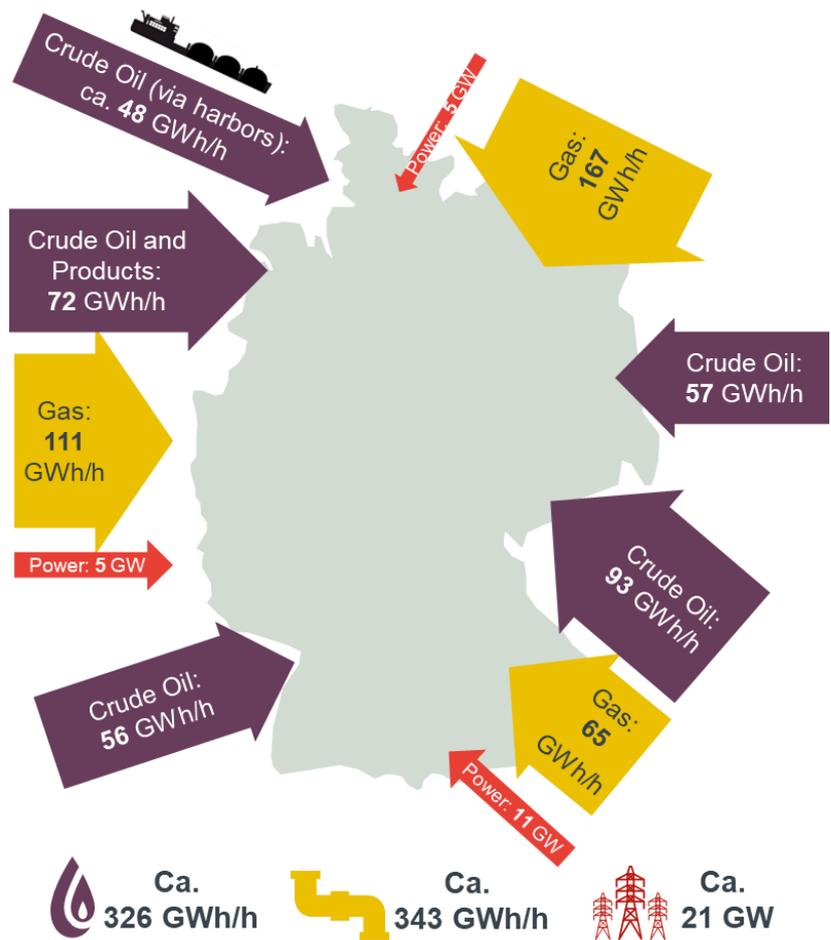
Zudem kann die vorhandene Transportinfrastruktur für den Import genutzt werden

Weiterhin kann beim Import synthetischer Kraft- und Brennstoffe auf die bereits massiv ausgebaute Importinfrastruktur zurückgegriffen werden: In Bezug auf den Energietransport ist die Gas- und Öl-Infrastruktur in Deutschland sehr stark aufgestellt und übersteigt z.B. die Infrastruktur für den Stromimport bzw. -transport um ein Vielfaches. So betragen die installierten Kapazitäten der Fernleitungen für den Import von Öl und Gas kombiniert fast 696 GWh/h und von Strom nur 21 GW (Abbildung 8) – lediglich 3 % der Kapazitäten von Öl und Gas.

Zudem können die importierten synthetischen Kraft- und Brennstoffe aus Erneuerbaren Energien innerhalb Deutschlands unmittelbar in die existierende Infrastruktur (Transport, Verteilung und Tanklager) eingespeist werden. Dies hilft, die in Abschnitt 2 skizzierten Restriktionen bezüglich des Stromnetzausbaus zu entschärfen und die Akzeptanz der Energiewende zu erhöhen.

¹⁸ Transportkosten sind insgesamt vernachlässigbar gering, und innerhalb der Transportkosten für PtG ist die Liquifizierung und Regasifizierung Hauptkostentreiber, nicht aber die Transportdistanz (Agora Verkehrswende, Agora Energiewende und Frontier Economics (2018): Die zukünftigen Kosten strombasierter synthetischer Brennstoffe.)

Abbildung 8. Vergleich gegenwärtiger Transportkapazitäten chemischer Energieträger vs. Strom



Quelle: Frontier Economics

Hinweis: Angaben von Transportkapazitäten bei Gasen/Flüssigkeiten erfolgt als GWh/h äquivalent zu Volumengrößen (z.B. m³/h), ist jedoch mit der üblichen Leistungsgröße GW bei Elektrizität vergleichbar.

Internationaler Handel von chemischen Energieträgern aus Erneuerbaren trägt zur Diversifizierung bei

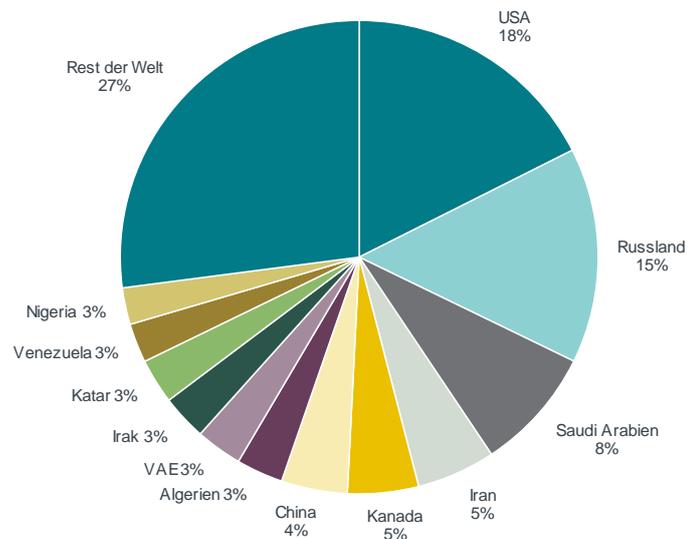
Deutschland zählt zu den Industrienationen mit den höchsten Importanteilen bei Rohstoffen, u.a. da Mineralölprodukte und Erdgas von Deutschland fast ausschließlich importiert werden. Dabei erfolgen die Importe aktuell aus einer begrenzten Zahl von Herkunftsländern, was zu einem konzentrierten Angebot führt. So wurden mehr als 40 % des globalen Marktes der Gas- und Rohölproduktion im Jahr 2014 von nur drei Herkunftsländern dominiert – den USA, Saudi-Arabien und Russland (Abbildung 9).

Der Großteil des gesamten Weltmarktes mit fast drei Viertel der Gas- und Rohölproduktion wird von nur 12 Ländern getragen und nur 27 % vom gesamten Rest der Welt, verteilt über viele Länder mit vergleichsweise vernachlässigbaren Angebotskapazitäten.

Mehr als **40%**

des angebotsseitigen Weltmarktes der Gas- und Rohölproduktion wird von drei Ländern dominiert – PtX Produkte können hier neue diversifizierte Anbieterstrukturen schaffen.

Abbildung 9. Weltmarktanteile an der Gas- und Rohölproduktion



Quelle: <https://www.eia.gov/beta/international>

Dagegen können synthetische Kraft- und Brennstoffe grundsätzlich aus vielen Ländern dieser Welt importiert werden, wenn diese günstige Standortbedingungen für Erneuerbare Energien haben und über entsprechende Flächen verfügen. Es können somit zusätzlich neue Player ins Spiel kommen, die zu einer weiteren Risikostreuung beitragen könnten.

Hohe Stromerträge von EE-Erzeugungsanlagen

setzen hohe
Volllaststunden voraus und
sind ein entscheidender
Kostenfaktor bei der PtX
Herstellung.



Diversifizierung des Weltmarktes durch PtX möglich!

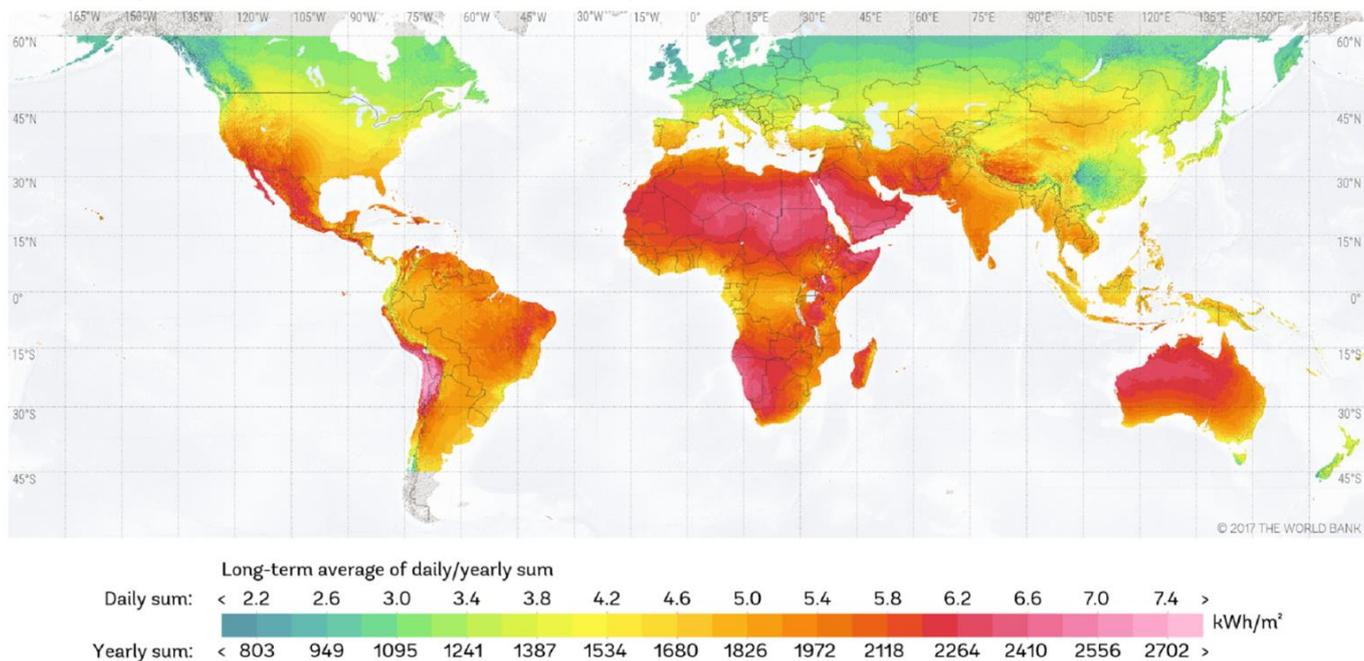
Es gibt weltweit viele
zukünftige potentielle PtX
Anbieter – dies würde auch
Deutschlands
Versorgungssicherheit
stützen.

Wesentliche Faktoren für Potentiale und Kosten für Erneuerbare Energien (Windkraft und Photovoltaik) in den verschiedenen Ländern sind Windhöufigkeiten und Solareinstrahlungen: Je höher die Benutzungsstunden der EE-Anlagen, desto geringer sind die spezifischen Herstellungskosten des Stroms. Zudem bestimmt die zeitliche Verfügbarkeit von Strom aus Erneuerbaren Energien die Auslastung der Umwandlungsanlagen – dies ist aufgrund der hohen Kapitalintensität der Anlagen ein grundlegender Kostenfaktor bei der PtX Herstellung.

Anhand der Weltkarten in Abbildung 10 und Abbildung 11 lassen sich eine Vielzahl von Ländern oder sogar ganze Regionen identifizieren, die starke PtX Potentiale vorweisen und mögliche Exportländer sein könnten. So ist fast der gesamte afrikanische Kontinent ein möglicher PtX Exporteur – basierend primär auf Photovoltaik – ebenso wie sämtliche Länder im Nahen Osten. Auch viele Länder in Mittel- und Südamerika, sowie in Asien, zeigen starke Photovoltaik-Potentiale, in manchen Regionen auch in Kombination mit Windenergie. Kanada, Kasachstan, Russland, Norwegen und Island sind weitere Beispiele möglicher PtX Exporteure, insbesondere basierend auf Windenergie. Diesbezüglich kommen weltweit auch grundsätzlich viele Küstenregionen infrage.

Es besteht also eine Vielzahl an Optionen, die Energieimporte von Erneuerbaren Energien mittels PtX im Vergleich zum heutigen Handel mit fossilen Kraft- und Brennstoffen zu diversifizieren. Dies würde zu einem breiter aufgestellten Welthandel für Energie führen, was gleichzeitig die Versorgungssicherheit für Abnehmer wie Deutschland und Europa erhöht.

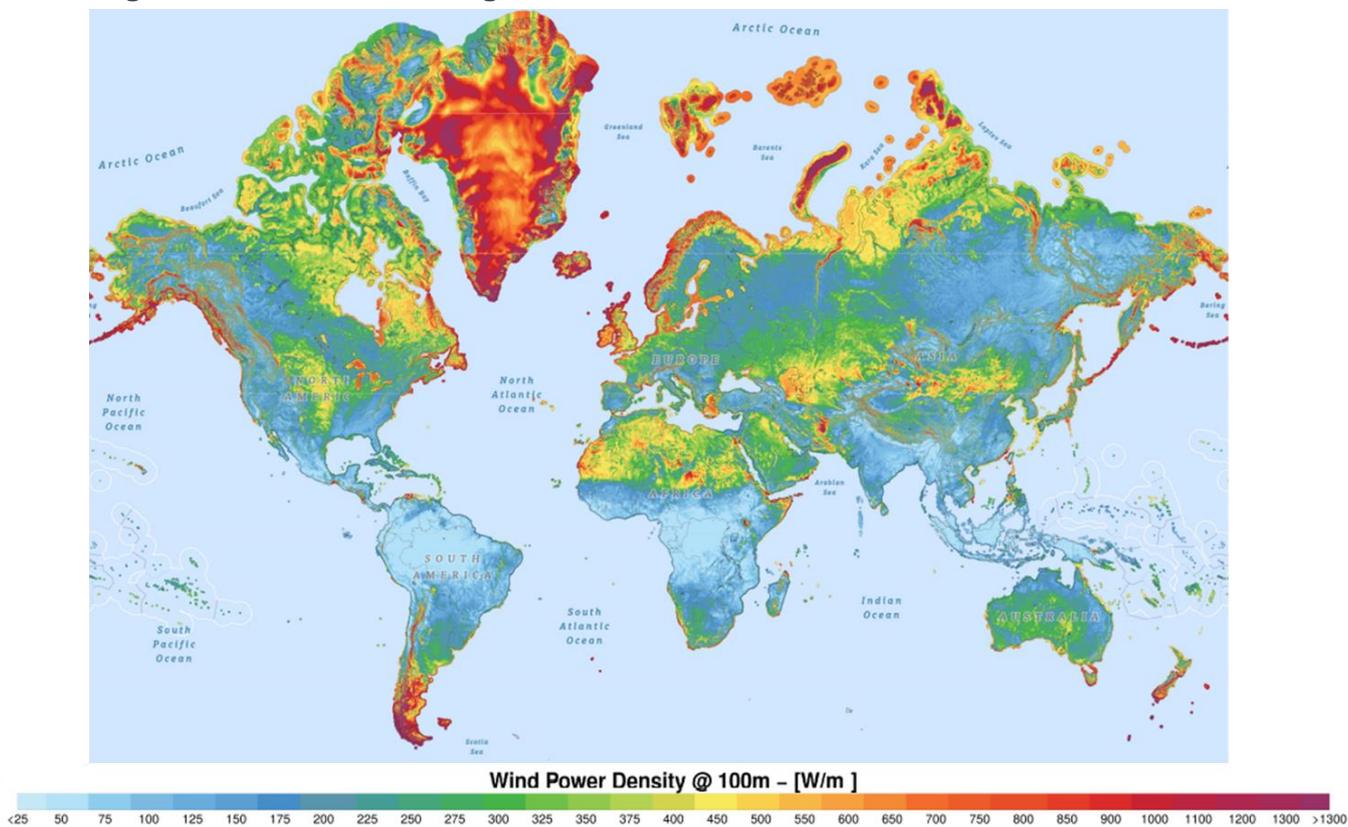
Abbildung 10. Weltkarte Sonneneinstrahlung



Quelle: World Bank Group, <http://globalsolaratlas.info/>

Hinweis: Global Horizontal Irradiation (GHI) – [kWh/m²]; Jährliche Skala von grün (803 kWh/m²) bis pink (≥ 2.700 W/m²).

Abbildung 11. Weltkarte Windenergie



Quelle: World Bank Group, <https://www.globalwindatlas.info/>

Hinweis: Wind Power Density Potential @100m – [W/m]; Skala von hellblau (25 W/m) bis dunkelrot (≥ 1.300 W/m).

Viele dieser möglichen PtX Produktionsländer verfügen darüber hinaus auch über die notwendigen Flächen, wie folgendes Beispiel illustriert:

BEISPIEL: SEHR GROßE PTX POTENTIALE IM AUSLAND VORHANDEN

Viele der möglichen PtX Exportländer haben neben enormen Erneuerbaren Energien Potentialen oft auch ein sehr großes Flächenpotential für die Installation der notwendigen Anlagen. So zum Beispiel das nordafrikanische Land Algerien: Mit einer Fläche von nahezu 2,4 Mio. km² ist Algerien fast siebenmal größer als Deutschland und ist mit nur 17 Einwohnern pro km² so wenig dicht besiedelt, dass es ein vergleichbar hohes Maß an bebaubarer Fläche bietet (zum Vergleich: in Deutschland leben rund 237 Einwohner pro km²)¹⁹. Algerien gehört zudem zu den Top 20 Öl- bzw. Erdgasproduzenten weltweit und kann somit an bestehende Infrastrukturen für die Produktion und Verteilung von synthetischen Kraft- und Brennstoffen sowie für den Transport nach Europa anknüpfen (siehe Abschnitt 5).²⁰

Auch Länder in anderen Regionen zeigen vergleichbar starke Flächenpotentiale, wie z.B. Saudi-Arabien, Kasachstan oder – mit etwas geringerer Fläche – Namibia und Angola in Afrika. Zwar sind Namibia und Angola kleiner im Vergleich zu den sehr großen Ländern wie Saudi-Arabien oder Kasachstan, jedoch ist Namibia immer noch doppelt so groß wie Deutschland und Angola sogar viermal so groß. Absolute Spitzenreiter sind Länder wie Brasilien oder Australien, die ca. 23-mal so groß sind wie Deutschland und ebenfalls wenig dicht besiedelt sind.

Neben der Bevölkerungsdichte gibt es außerdem noch andere Faktoren, die berücksichtigt werden müssen und ggf. die Gänze der nutzbaren Fläche eingrenzen könnten, wie die Vermeidung von Nutzungskonkurrenzen (z.B. Erhalt von Regenwaldgebieten in Brasilien).

¹⁹ Weltbank, 2017.

²⁰ Weltbank, 2014. Harvard Pipeline World Map.

Eine bezahlbare Energiewende sollte Kostensenkungspotentiale durch Importe nutzen

Die Energiewende wird mittel- bis langfristig auf eine möglichst kostengünstige Bereitstellung Erneuerbarer Energien angewiesen sein. In vielen Regionen der Welt lassen sich Erneuerbare Energien in Form von Sonne, Wind, Wasser und Biomasse allerdings deutlich kostengünstiger gewinnen als in Mitteleuropa. Umgewandelt als synthetische Kraft- und Brennstoffe lassen sich diese flüssig und gasförmig zu anteilig geringen Transportkosten²¹ – und unter Rückgriff auf die vorhandene Pipeline-, Umschlag-, Zwischenlager- und Tanker-Infrastruktur – in Europa nutzen.

 Erneuerbare
Energien im Ausland
deutlich
kostengünstiger!

In vielen Regionen der Welt lassen sich Erneuerbare Energien deutlich kosteneffizienter gewinnen als in Mitteleuropa – und können zukünftig mithilfe von PtX importiert werden.

Wir haben in einer Studie der Agora Energiewende und Agora Verkehrswende²² exemplarisch gezeigt, dass sich an Standorten im Ausland wie Nordafrika, dem Nahen Osten oder auch Island langfristig synthetische Kraft- und Brennstoffe deutlich effizienter bereitstellen lassen, als bei einer heimischen Herstellung (Abbildung 12). So zeigen die Analysen, dass synthetische Kraftstoffe (PtL) via Photovoltaik in Nordafrika 30 % günstiger bereitgestellt werden können, als auf Basis von Offshore Winderzeugung in der Nord- und Ostsee.

PtL kann

30% günstiger

Diese durch den Import ermöglichten Kosteneinsparungen kämen der deutschen Industrie und den deutschen

via PV in Nordafrika bereitgestellt werden als via offshore Windkraft in der Nord- und Ostsee – selbst bis zum Jahr 2050.

Verbrauchern zugute und würden nicht zuletzt auch die Akzeptanz für die deutschen Klimaschutzbemühungen stärken: Zum einen, indem die Belastung insgesamt begrenzt würde, und zum anderen im Übergangsprozess, wo sich bei gegebenen Kosten aufgrund der günstigeren PtX Produktion im Ausland deutlich mehr klimaneutrale Kraftstoffe bereitstellen ließen.

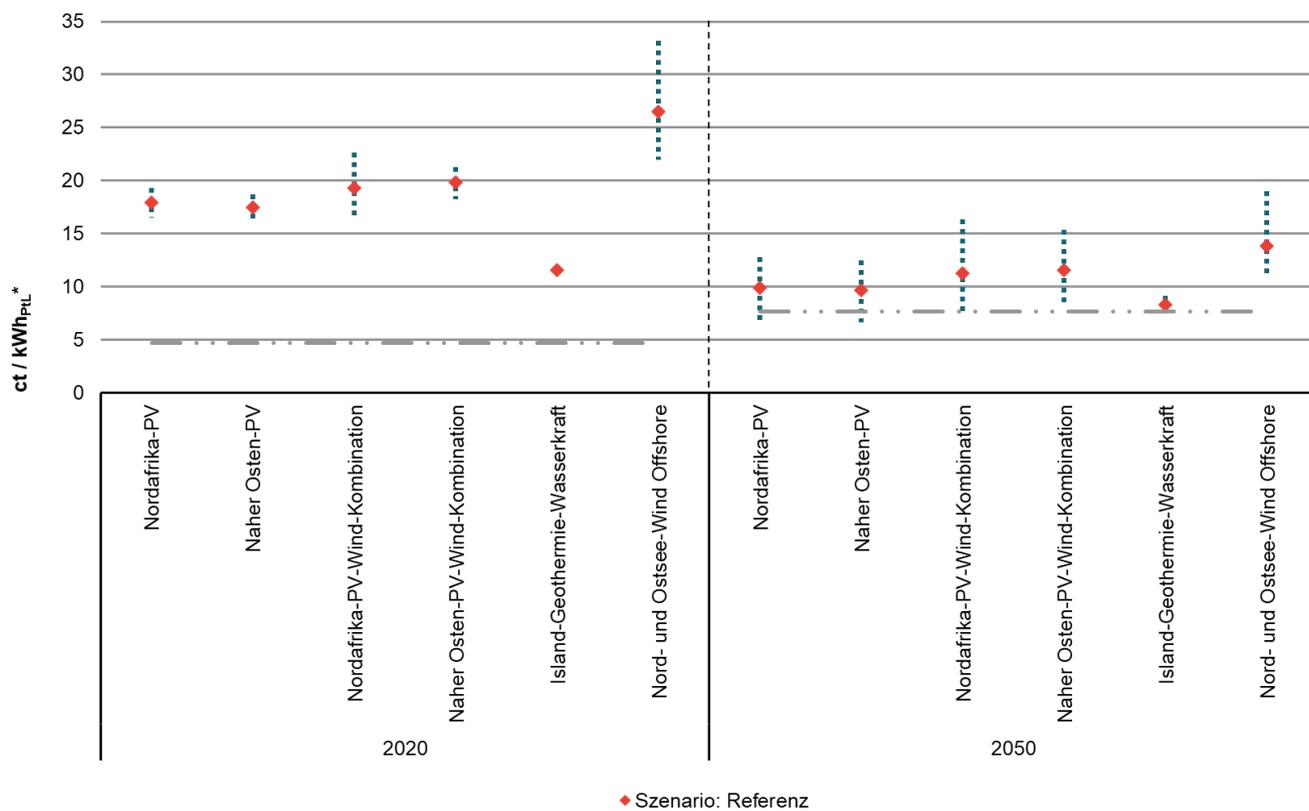
Eine illustrative Rechnung verdeutlicht die Größenordnung der möglichen Einsparpotentiale: Werden exemplarisch die o.g. Einsparpotentiale für einen Import von rund 8 ct/kWh zu Grunde gelegt, ergäbe dies bezogen auf die aktuelle Gesamtimportmenge

²¹ Unsere Analysen für die Agora Energie- und Verkehrswende (2018) zeigen, dass Transportkosten rund 0,5% der Gesamtkosten der PtL Produktion ausmachen. Mit der Annahme, dass Gase über Tanker transportiert (und somit liquifiziert und regasifiziert werden müssen) ist der Transportkostenanteil der PtG Produktion mit 7% der Gesamtkosten etwas höher – jedoch auch hier anteilig immer noch gering und man kann in vielen Ländern auch vorhandene Pipeline-Infrastruktur nutzen, die mit geringeren Kosten verbunden ist.

²² Agora Verkehrswende, Agora Energiewende und Frontier Economics (2018): Die zukünftigen Kosten strombasierter synthetischer Brennstoffe.

Deutschlands an Energieträgern von rund 2.600 TWh²³ jährliche Einsparpotentiale in der Größenordnung von über 200 Mrd. Euro.

Abbildung 12. Kostenvergleich der PtX Produktion im Ausland vs. Deutschland am Beispiel synthetischer Flüssigkraftstoffe



— . Referenzpreis konventioneller Kraftstoff ohne Vertrieb, Abgaben/Umlagen (Superbenzin, 2020: 4,66ct/kWh, 2050: 7,63ct/kWh)

* Kosten des erzeugten synthetischen Flüssigkraftstoffes (Endenergie, ohne Abgaben/Umlagen)

Quelle: Agora Verkehrswende, Agora Energiewende und Frontier Economics (2018): Die zukünftigen Kosten strombasierter synthetischer Brennstoffe.

Hinweis: Die Kostenergebnisse der Studie sind am Beispiel PtL (synthetischer Flüssigkraftstoff) dargestellt, jedoch sind diese vergleichbar mit den Ergebnissen für PtG (Methan).

²³ AG Energiebilanzen.

4. GLOBALE NUTZUNG VON SYNTHETISCHEN KRAFT- UND BRENNSTOFFEN BIETET DEUTSCHLAND ALS TECHNOLOGIELIEFERANT GROSSE CHANCEN



Industriepolitisch und volkswirtschaftlich kann ein weltweiter Ausbau eines PtX Marktes auch Deutschland deutliche Vorteile bringen.

50% des gegenwärtigen Ölmarktes

könnte leicht die Größenordnung des zukünftigen Weltmarktes für synthetische Kraft- und Brennstoffe bis 2050 sein.

In den vorhergehenden Abschnitten haben wir einleitend skizziert, dass die Nutzung synthetischer Kraft- und Brennstoffe aus Erneuerbaren Energien im Rahmen der Energiewende sinnvoll, wenn nicht sogar unabdingbar ist. Zudem weist der Import und internationale Handel von synthetischen Kraft- und Brennstoffen große Vorteile im Vergleich zu einer überwiegend einheimischen Energiebereitstellung auf, u.a. bezüglich Standortverfügbarkeit, Diversität und Versorgungssicherheit.

Im Folgenden zeigen wir, dass Deutschland industriepolitisch und volkswirtschaftlich an einem weltweiten Ausbau eines Marktes für synthetische Kraft- und Brennstoffe auf Basis von Power-to-X Technologien teilhaben kann. Hierzu schätzen wir zunächst illustrativ die mögliche Größe eines zukünftigen Weltmarktes für synthetische Kraft- und Brennstoffe ab, um dann die volkswirtschaftlichen Effekte der erforderlichen Investitionen in die notwendigen Anlagen und Infrastrukturen zu ermitteln. Es zeigt sich, dass Deutschland hierbei im Bereich des Anlagenbaus wachstums- und beschäftigungsseitig erheblichen Nutzen generieren kann.

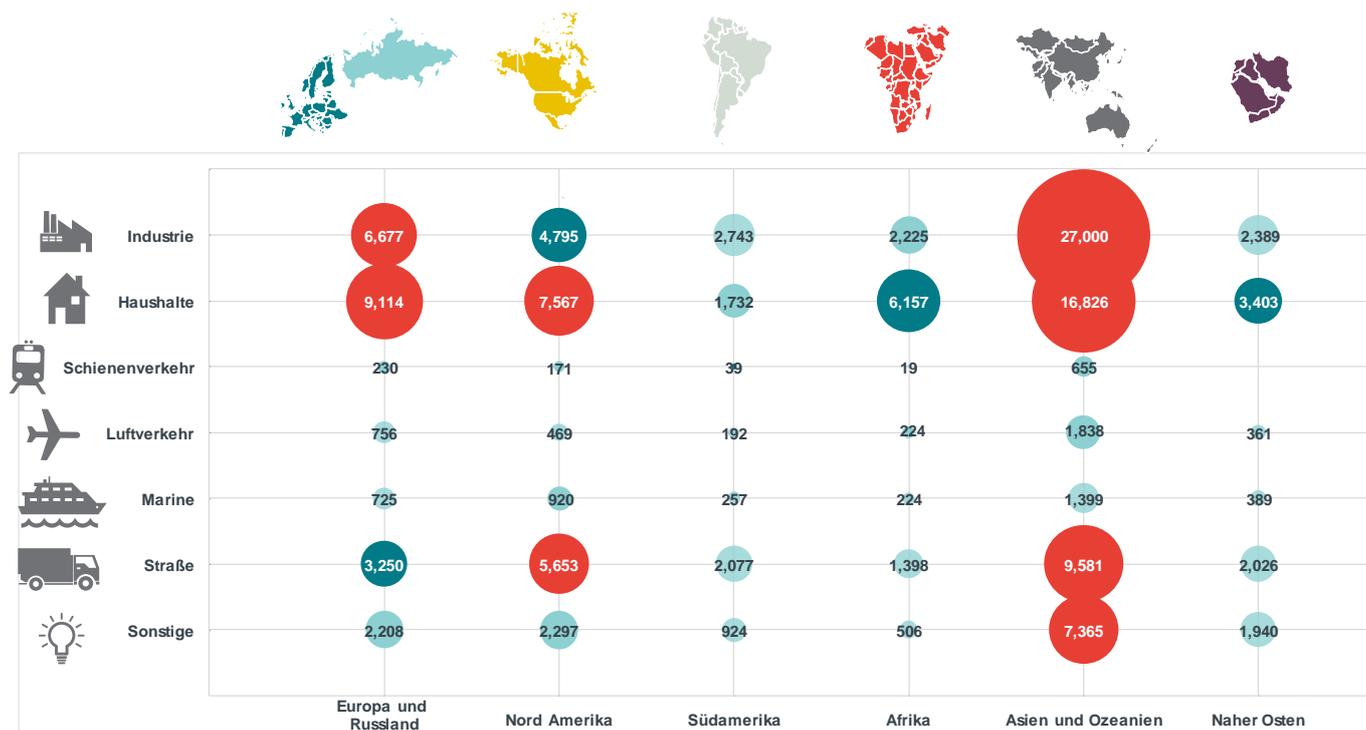
Weltweite Nachfrage nach synthetischen Kraft- und Brennstoffen könnte bis 2050 leicht Größenordnungen von 20.000 TWh pro Jahr erreichen

Bereits überschlägige Rechnungen zeigen, dass die weltweite Nachfrage nach synthetischen Kraft- und Brennstoffen bis 2050 – auch unter zurückhaltenden Annahmen – leicht Größenordnungen von jährlich 20.000 TWh und mehr annehmen könnte.²⁴ Dies entspräche in etwa der Hälfte der heutigen weltweiten Nachfrage nach Rohöl oder dem Achtfachen der heutigen Endenergienachfrage in Deutschland.

²⁴ Diese überschlägigen Abschätzungen sind als erste Annäherung und Orientierung an mögliche Größenordnungen eines weltweiten PtX Marktes zu verstehen, es könnten zukünftig iterativ Korrekturen erfolgen. Etwaige Einflussfaktoren und Sensitivitäten sind in Gänze noch nicht überschaubar.

Diese Größenordnung lässt sich z.B. anhand einer überschlägigen Rechnung ableiten: Als Grundlage dienen energiewirtschaftliche Prognosen zur weltweiten langfristigen Energienachfrage, die für sämtliche Sektoren und verschiedene Regionen von der OECD und der IEA im World Energy Outlook 2016 bis zum Jahr 2040 vorliegen (Abbildung 13).

Abbildung 13. Weltweite zukünftige Energienachfrage



Quelle: Berechnungen von Frontier Economics auf Basis von OECD/IEA „World Energy Outlook 2016“ (New Policies Scenario); U.S. Energy Information Administration (2015): Passenger travel accounts for most of world transportation energy use.

Hinweis: Endenergieverbrauch in TWh im Jahr 2040.

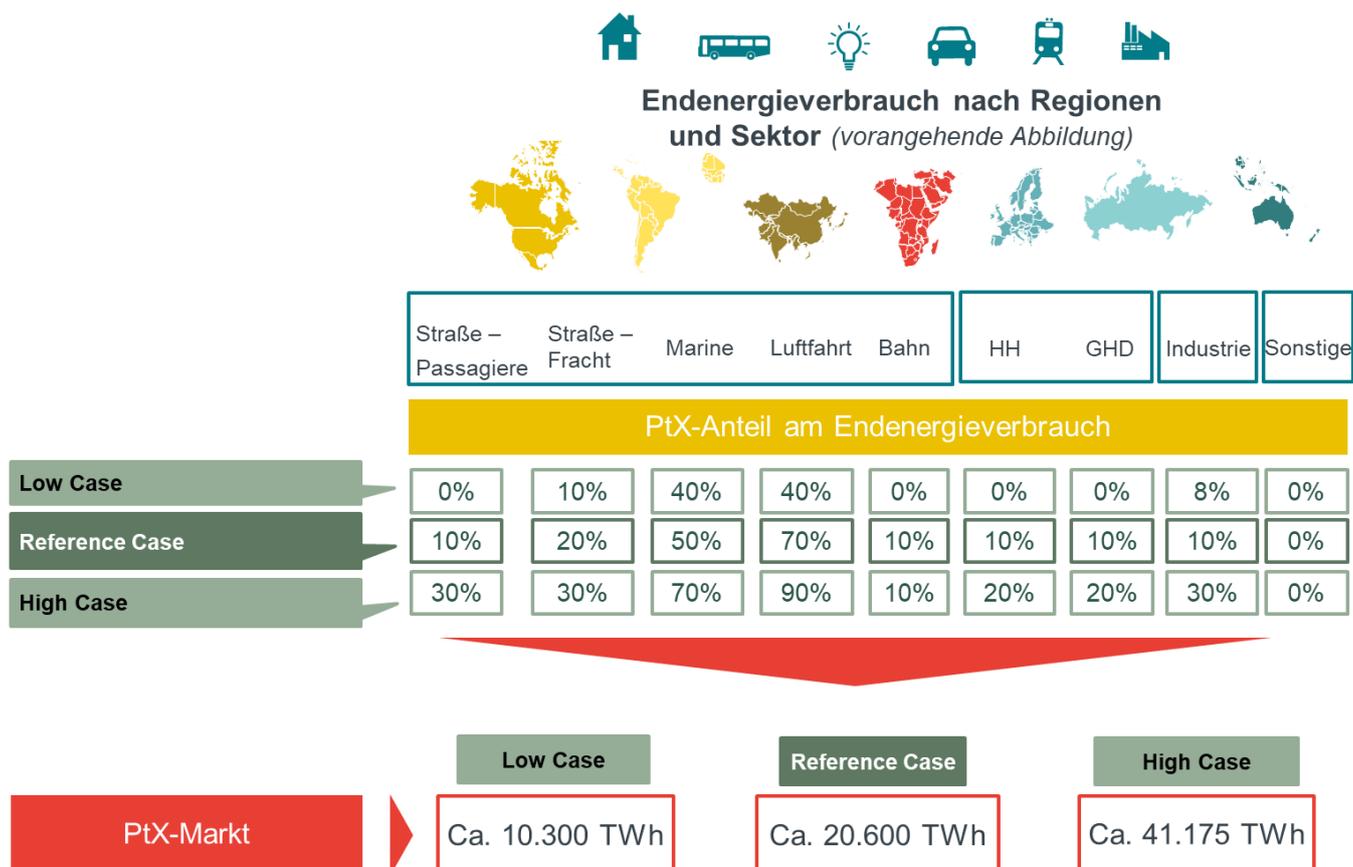
Vereinfachend legen wir diese (nach Sektoren und Regionen differenzierte) Energienachfrage unserer Berechnung der möglichen Größenordnungen für einen PtX Markt für das Jahr 2050 zugrunde.

Für die verschiedenen energieverbrauchenden Sektoren bestimmen wir hierfür indikativ mögliche Anteile der zukünftigen PtX Energieträger an der Deckung der erwarteten Energienachfrage in der langen Sicht, also z.B. für das Jahr 2050 (Abbildung 14). Die Anteile reichen hierbei im Referenzfall von relativ moderaten 10 % und 20 % in den Sektoren, in denen die Elektrifizierung mit erneuerbar erzeugtem Strom als Alternative zu PtX in größeren Teilen vergleichsweise einfach einsetzbar ist (wie z.B. Industrie, individueller Straßenverkehr, Haushalte etc.), bis zu maximal 70 % im Luftfahrtbereich, in dem außer synthetischem Kraftstoff aus Erneuerbaren (und Biokraftstoffen, deren Potentiale allerdings begrenzt sind) langfristig kaum alternative klimaneutrale Energieträger einsetzbar sind (die Verwendung von Elektrizität

dürfte wegen der geringen Energiedichte bei der Speicherung auf kürzere Strecken und auf kleine Flugzeuge beschränkt bleiben).

Da die PtX Anteile zur Deckung der Energienachfrage langfristig (also etwa in 2050) heute nicht bekannt und damit spekulativ sind, berechnen wir neben dem Referenzfall mögliche Spannweiten für den PtX Einsatz in Rahmen eines Low Case und eines High Case (Abbildung 14).

Abbildung 14. Bandbreite möglicher Größenordnungen der zukünftigen Weltmarktnachfrage nach Power-to-X



Quelle: Berechnungen von Frontier Economics basierend auf den Endenergieprognosen in Abbildung 13.

Hinweis: PtX Anteile am Endenergieverbrauch für 2040 plausibel geschätzt und in mehreren Expertenrunden diskutiert und abgestimmt.

Ca.
**20.000
TWh**

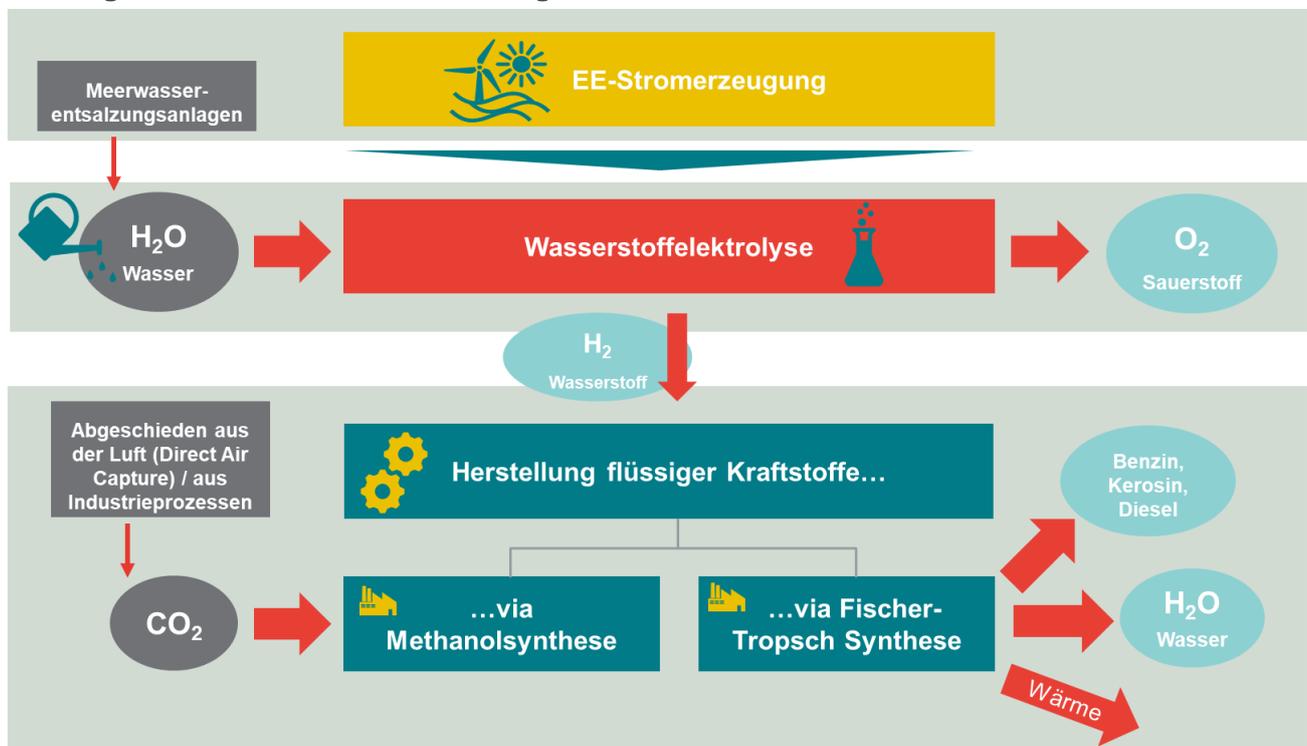
könnten 2050 weltweit an synthetischen Kraft- und Brennstoffen nachgefragt werden.

Es wird deutlich, dass sich schon bei relativ moderaten Annahmen zu zukünftigen PtX Anteilen leicht langfristig Größenordnungen von zwischen 10.000 TWh bis über 40.000 TWh für einen zukünftigen Markt für synthetische Kraft- und Brennstoffe ergeben. Im mittleren Referenzfall wird ein Marktvolumen von ca. 20.000 TWh erreicht – hierbei könnten bis zu 4.500 Mio. Tonnen CO₂ vermieden werden.²⁵ Dieses Szenario wird den folgenden Analysen zugrunde gelegt.

Es wird sich ein großer Bedarf an Investitionen in Anlagenkapazitäten für die PtX Produktion ergeben

Für die Herstellung derartiger PtX Mengen bedarf es entsprechender Umwandlungsanlagen und Infrastrukturen. Vor allem sind dies Elektrolyseure und Syntheseanlagen für die Methanisierung bzw. für die Herstellung flüssiger Brennstoffe aus Wasserstoff (z.B. über Methanol- oder Fischer-Tropsch-Prozesse), aber auch Anlagen, die das CO₂ bereitstellen (z.B. durch Abscheidung aus der Luft oder aus Industrieanlagen) (Abbildung 15). Diese Anlagen werden im Folgenden zusammengefasst als „PtX Technologien“ beschrieben (ausschließlich der Anlagen der EE-Stromerzeugung).

Abbildung 15. Schematische Darstellung des PtL Produktionsverfahrens



Quelle: Frontier Economics

Hinweis: Schematische Darstellung für die PtL Produktion repräsentativ für andere Verfahren in der PtX Produktion.

²⁵ Die Ergebnisse der CO₂ Vermeidung nehmen an, dass PtX zu jeweils der Hälfte fossile Kraft- und Brennstoffe – hier Diesel und Erdgas – ersetzt. Die Umrechnung der 20.000 TWh erfolgt über direkte Emissionsfaktoren vom Umweltbundesamt.

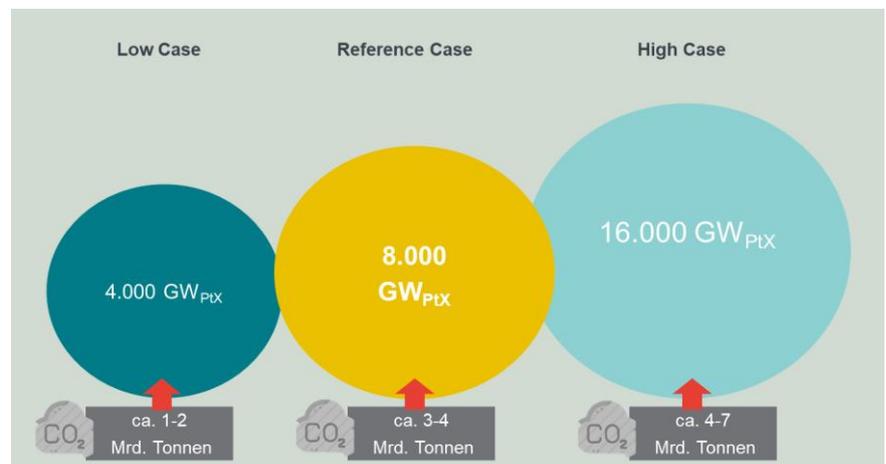
Aus der weltweiten PtX-Nachfrage lässt sich zunächst überschlägig der Kapazitätsbedarf der Elektrolyse- und PtX Umwandlungsanlagen ableiten²⁶: Für die Herstellung von rund 20.000 TWh an PtX würden bis zum Jahr 2050 ca. 8.000 GW an Umwandlungsanlagen nötig sein (Abbildung 16). Hiervon entfielen der Großteil von ca. 6.000 GW auf Elektrolyseure zur Herstellung von Wasserstoff²⁷, ca. 2.000 GW auf Anlagen für nachgelagerte Prozesse wie Methanisierung, Methanolherstellung oder Fischer-Tropsch Synthese²⁸.

Für die Umwandlung zu Methan oder synthetischen Flüssigkraftstoffen würden in unserer Rechnung ca. 3-4 Mrd. Tonnen CO₂ benötigt (bei der Produktion von H₂ ist kein CO₂ notwendig). Wir nehmen hierbei vereinfachend an, dass das CO₂ über Direct Air Capture (DAC) aus der Luft gewonnen wird (siehe Abbildung 16).²⁹

Abbildung 16. Notwendige PtX Anlagenkapazitäten und Tonnen CO₂ bis 2050

8.000 GW

PtX Anlagenkapazität könnten weltweit erforderlich sein, um eine Nachfrage von rund 20.000 TWh zu decken.



Quelle: Frontier Economics

Hinweis: Die Berechnungen der Kapazitäten bauen auf den Annahmen zu Volllaststunden für PV-Wind-Kombinationen in Nordafrika auf.

²⁶ Bei dieser vereinfachenden Berechnung gehen wir davon aus, dass die hergestellten PtX Mengen jeweils zur Hälfte als flüssige Kraftstoffe und als synthetische Gase auf den Markt kommen. Die pauschale 50/50 Aufteilung ergibt sich daraus, dass davon auszugehen ist, dass sich letztlich ein Technologiemix beider Optionen unter Berücksichtigung der jeweiligen Umstellungs- bzw. Umwandlungskosten einstellen wird. Letztlich unterscheiden sich zumindest die Kosten zwischen synthetischen Flüssigkraftstoffen und synthetischem Methan nur geringfügig (Agora und Frontier Economics (2018)), sodass die Annahme zur Aufteilung kostenseitig einen relativ geringen Einfluss hat. Des Weiteren gehen wir davon aus, dass 50% des Grünen Gases unmittelbar als Wasserstoff transportiert und genutzt wird (PtH₂; insbesondere in Industrie und Verkehr), während die anderen 50% zusätzlich methanisiert wird (PtCH₄; insbesondere im Wärmebereich). Diese Annahme entspricht dem Ansatz in der Frontier Studie für den FNB Gas (Frontier Economics et al (2017): Der Wert der Gasinfrastruktur für die Energiewende in Deutschland).

²⁷ Exemplarisch wird dabei eine Benutzungsstundenzahl von ca. 4.200 h/a angenommen.

²⁸ Hier wird ein weitgehend durchgehender Betrieb angenommen.

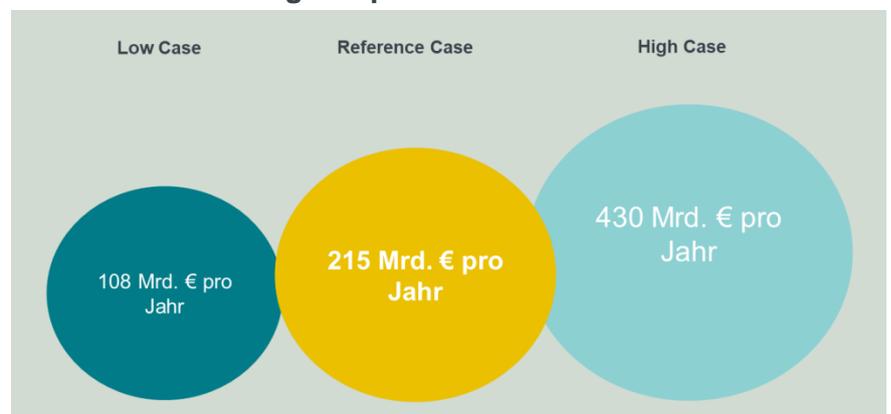
²⁹ In unseren langfristig ausgerichteten Berechnungen gehen wir davon aus, dass das CO₂ aus der Luft gewonnen wird. Solange allerdings signifikante Mengen an CO₂ z.B. von Industrieanlagen emittiert werden, kann das CO₂ deutlich kostengünstiger aus diesen Prozessen bereitgestellt werden.

Rund **215**
Mrd. Euro

könnten jährlich für Investitionen in PtX Anlagen benötigt werden – fast 30% der heutigen Investitionen in den gesamten Öl- und Gassektor.

Der Kapazitätsbedarf kann in einem weiteren Schritt über vereinfachende Annahmen zu Investitionskosten für die PtX Anlagen in entsprechende Investitionsbedarfe zurückgerechnet werden³⁰. Bis zum Jahr 2050 könnte nach dieser Berechnung weltweit ein jährliches Investitionsvolumen von durchschnittlich ca. 215 Mrd. Euro pro Jahr entstehen (Abbildung 17). Zum Vergleich: Weltweite Investitionen in den Öl- und Gassektor umfassen derzeit ca. 746 Mrd. Euro pro Jahr.³¹ Selbst unter relativ konservativen Annahmen würde das benötigte Investitionsvolumen allein in PtX Anlagen also fast 30% der heutigen Investitionen im Öl- und Gassektor ausmachen.

Abbildung 17. Jährliche Investitionen in PtX Anlagenkapazitäten bis 2050



Quelle: Frontier Economics

Darüber hinaus müssten weitere Investitionen in den Ausbau Erneuerbarer Energien getätigt werden, da der Strom für Power-to-X aus Erneuerbarer Energie stammen sollte, um die notwendige CO₂-Neutralität zu erfüllen. Das hierfür benötigte Investitionsvolumen könnte für das betrachtete Szenario weitere 450-500 Mrd. Euro pro Jahr umfassen.³² Diese Investitionen lassen wir in der folgenden Betrachtung außen vor.³³

³⁰ Annahmen als Mittelwert für das Jahr 2030: Elektrolyseure: 625 Euro/GW_{el}, weitere Umwandlung 675 Euro/GW.

³¹ International Energy Agency, 2016. Die Investitionen im Öl- und Gassektor werden von der IEA als \$873 USD angegeben und wurden mit dem aktuellen EUR/USD Wechselkurs vom 18.07.2018 umgerechnet. Siehe <https://www.iea.org/publications/wei2017/>

³² Die Annahmen für Erneuerbare Energien sind beispielhaft für PV-Wind-Kombinationen in Nordafrika dargestellt. Die Größenordnung der Investitionsvolumen für Erneuerbaren Energien sind im Vergleich zu den restlichen PtX Kosten sehr hoch, nehmen aber einen vergleichbaren Anteil an den Gesamtkosten (inkl. EE-Investitionskosten) wie in anderen Studien ein (Prognos et al (2018): Status und Perspektiven flüssiger Energieträger in der Energiewende).

³³ Die Investitionskosten der Erneuerbaren Energien werden nicht weiter betrachtet, da diese in erheblichem Maße auch im Alternativszenario der Vollelektrifizierung erforderlich wären und diese Investitionen daher nicht unbedingt als additiv für PtX zu betrachten sind.

73%

des Investitionsvolumens in PtX Technologien entfallen auf den Elektrolyseur als zentrales Element.

Deutschland ist führend bei den Schlüsseltechnologien

Auf Basis des vorhergehend indikativ abgeleiteten durchschnittlichen Investitionsvolumens in PtX Technologien von 215 Mrd. Euro pro Jahr schätzen wir im Folgenden mögliche positive Effekte für die deutsche Wirtschaft bezüglich Wertschöpfung und Beschäftigung ab. Hierfür bestimmen wir zunächst die Weltmarktanteile Deutschlands bei den jeweiligen Anlagentypen und berechnen anschließend die volkswirtschaftlichen Effekte aus dieser Nachfrage auf Wertschöpfung und Beschäftigung. Wir unterstellen bei den Berechnungen vereinfachend, dass sich die heutigen Weltmarktanteile Deutschlands, volkswirtschaftlichen Multiplikatoren und Beschäftigungsintensitäten in Zukunft nicht ändern.³⁴

Um den Anteil Deutschlands am Weltmarkt der zur Herstellung von PtX benötigten Anlagen abschätzen zu können, betrachten wir verschiedene internationale Handelsstatistiken. Das zentrale Element der Investitionen in die PtX Technologie stellt dabei der Elektrolyseur dar. Mit 157 von 215 Mrd. Euro entfallen rund drei Viertel des Investitionsvolumens im mittleren Szenario auf diesen Anlagentyp (Abbildung 18).

Abbildung 18. Geschätzte weltweite Investitionen pro Jahr in PtX Technologien bis 2050

	Geschätzte Investitionen in Mrd. Euro pro Jahr			Anteil
	Low Case	Reference Case	High Case	
Elektrolyseure	78	157	313	73%
Umwandlungsanlagen	22	42	86	20%
CO ₂ -Abscheidung	8	16	31	7%
Total	108	215	430	100%

Quelle: Frontier Economics

Hinweis: Annahme der CO₂-Abscheidung aus der Luft (Direct Air Capture); Weitere Kosten der Meerwasserentsalzungsanlagen sind vernachlässigbar gering (Prognos et al. (2018), Agora Verkehrs- und Energiewende und Frontier Economics (2018))³⁵ und in dieser überschlägigen Rechnung nicht mit aufgenommen.

In den internationalen Handelsstatistiken lassen sich Elektrolyseure als eigene Güterkategorie eindeutig identifizieren. Auf Basis der Exporte der einzelnen Länder lassen sich so die Weltmarktanteile bei der Produktion der Elektrolyseure bestimmen.

Abbildung 19 zeigt die Weltmarktanteile der 10 Länder mit dem größten Exportvolumen der betroffenen Güterklasse im Jahr 2016. Auf Deutschland entfallen demnach 19 % der Exporte weltweit. Damit ist Deutschland der derzeit größte Exporteur von Anlagen zur Elektrolyse weltweit.³⁶

³⁴ Es handelt sich also um eine indikative Berechnung und keine Prognose.

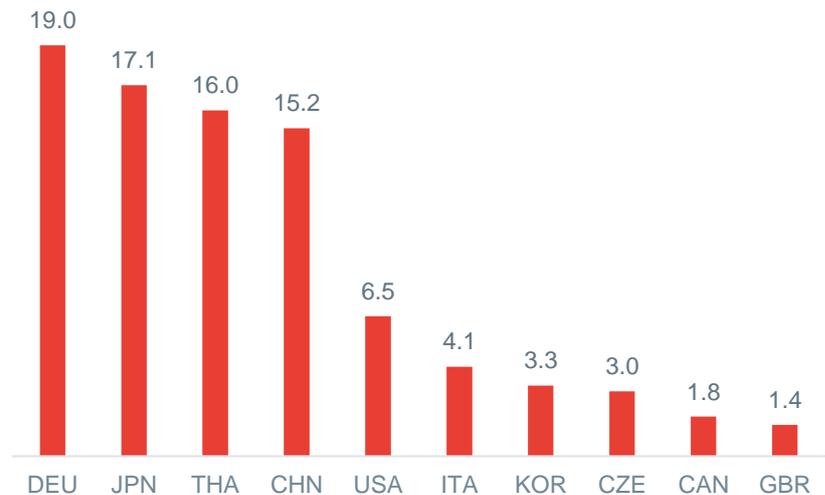
³⁵ Agora Verkehrswende, Agora Energiewende und Frontier Economics (2018): Die zukünftigen Kosten strombasierter synthetischer Brennstoffe. Prognos et al (2018): Status und Perspektiven flüssiger Energieträger in der Energiewende.

³⁶ Die Weltmarktanteile Deutschlands bei Elektrolyseuren und den Investitionsgütern schwanken zwar zwischen den einzelnen Jahren, im Jahr 2000 waren jedoch bereits ähnliche Weltmarktanteile Deutschlands wie im Jahr 2016 zu beobachten.

Abbildung 19. Weltmarktanteile Elektrolyseure 2016

19%

der weltweiten Exporte von Elektrolyseuren entfallen auf Deutschland.



Quelle: UN (2018), eigene Berechnungen

Hinweis: Weltmarktanteile Deutschlands bei den Elektrolyseuren stabil – leichte Schwankungen zwischen einzelnen Jahren, im Jahr 2000 jedoch bereits vergleichbare Weltmarktanteile Deutschlands (19,7 %).

Neben dem Elektrolyseur als zentrale Komponenten der PtX Technologie, werden noch weitere Anlagen für die Gewinnung von synthetischem Methan oder flüssigen Kraftstoffen in den PtX Anlagen benötigt. Hierzu zählen etwa Methanisierungsanlagen, PtL Umwandlungsanlagen und Direct Air Capture Anlagen (siehe Abbildung 15).

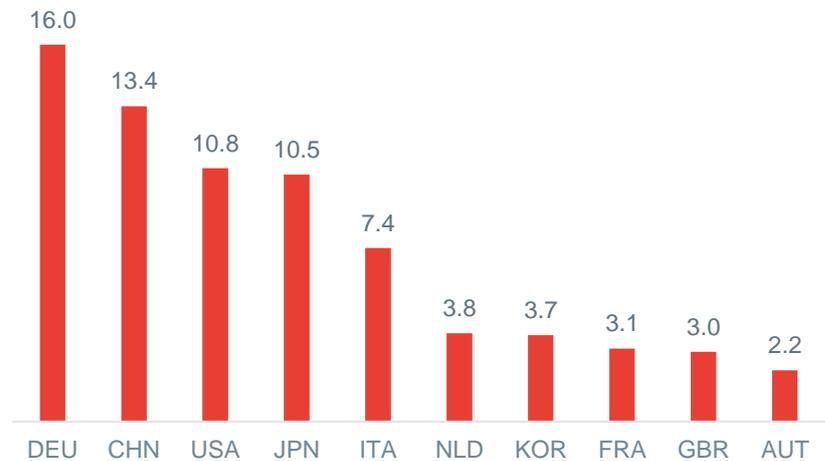
Für diese Anlagentypen liegt in der amtlichen Handelsstatistik keine eindeutige Warenklassifikation vor, die die wesentlichen Komponenten dieser Anlagen darstellen würde. Für die restlichen rund 58 Mrd. Euro muss entsprechend ein anderer Verteilungsschlüssel definiert werden.

Eine plausible Verteilung der Produktion dieser Anlagen stellen die Exportkennzahlen von Investitionsgütern des Anlagenbaus dar (Abbildung 20). Auch hier entfällt mit 16 % der größte Anteil eines einzelnen Landes auf Deutschland.

Abbildung 20. Weltmarktanteile Investitionsgüter des Anlagenbaus 2016

Weitere
16%

der weltweiten Exporte im Anlagenbau werden von Deutschland getragen.



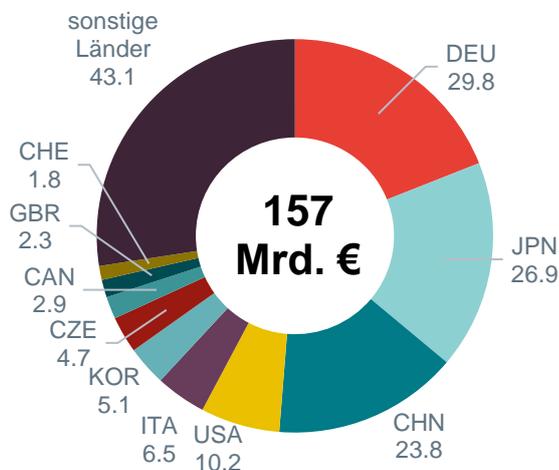
Quelle: OECD (2018), eigene Berechnungen

Hinweis: Weltmarktanteile ohne Exporte von Handelsdrehscheiben. Weltmarktanteile Deutschlands bei den Investitionsgütern stabil – leichte Schwankungen zwischen einzelnen Jahren, im Jahr 2000 jedoch bereits vergleichbare Weltmarktanteile Deutschlands (17,4 %).

Internationaler Ausbau von PtX Kapazitäten würde Deutschland große Exportpotentiale bieten

Geht man beispielhaft davon aus, dass die Nachfrage nach Elektrolyseuren durch die Hersteller in den einzelnen Ländern in einem ähnlichen Verhältnis bedient wird, wie dies die aktuellen Weltmarktanteile implizieren (Deutschlands Weltmarktanteile also konstant bleiben), würde dies eine jährliche Produktion von Elektrolyseuren in Deutschland im Wert von 29,8 Mrd. Euro bedeuten (Abbildung 21). Das ermittelte jährliche Investitionsvolumen ist dabei als Durchschnittswert zu verstehen, welches über den Zeitraum bis 2050 zu erwarten ist und abstrahiert davon, dass das tatsächliche Investitionsvolumen zwischen einzelnen Jahren vermutlich erheblich schwanken wird.

Abbildung 21. Erwartete jährliche Produktion von Elektrolyseuren für die PtX-Herstellung

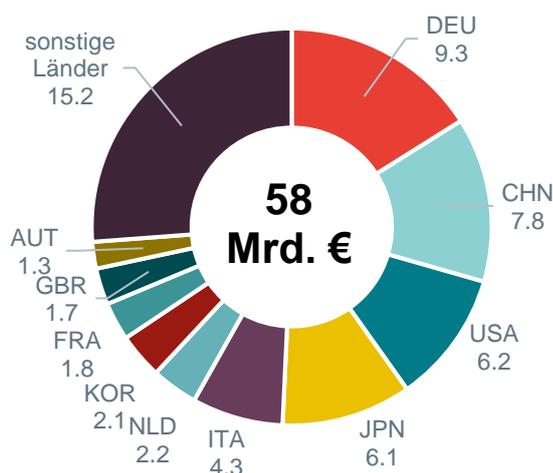


Quelle: UN (2018), eigene Berechnungen

Hinweis: Weltmarktanteile ohne Exporte von Handelsdreh Scheiben; Länder der Top10 Exporteure, die in der Impactberechnung als Einzelland betrachtet werden können; PtX Weltmarkt: Reference Case

Hinzu käme die Nachfrage nach weiteren Anlagen und Anlagenteile abseits der Elektrolyseure im Wert von insgesamt 9,3 Mrd. Euro jährlich (Abbildung 22).

Abbildung 22. Erwartete Produktion von sonstigen PtX-Anlagen 2020



Quelle: OECD (2018), eigene Berechnungen

Hinweis: Weltmarktanteile ohne Exporte von Handelsdreh Scheiben; Länder der Top10 Exporteure, die in der Impactberechnung als Einzelland betrachtet werden können; PtX Weltmarkt: Reference Case

PtX Anlagen im Wert von

39,1 Mrd. Euro

würde die deutsche
Wirtschaft
produzieren – etwa der
Produktionswert der
gesamten Industrie in
Schleswig-Holstein.

Addiert man diese beiden direkten Nachfrageeffekte, entsteht ein direkter zusätzlicher Beitrag der deutschen Hersteller von PtX Anlagen (inklusive der Elektrolyseure) in Höhe von 39,1 Mrd. Euro. Dies entspricht etwa dem Produktionswert der gesamten Industrie in Schleswig-Holstein. Der direkte Produktionseffekt entspricht dabei dem Weltmarktanteil Deutschlands bei der Herstellung von Anlagen zur PtX Produktion, multipliziert mit der erwarteten jährlichen Nachfrage nach Anlagegütern in dem jeweiligen Szenario.

Im Folgenden betrachten wir die Wertschöpfungs- und Beschäftigungseffekte, die dadurch ausgelöst werden. Dazu beziehen wir die Vorleistungen für die Produktion der Anlagen sowie den Konsum der dort zusätzlichen Beschäftigten ein. Um Doppelzählungen zu vermeiden, fokussieren wir im Folgenden auf die Wertschöpfung, bei der die Vorleistungen jeweils vom Produktionswert abgezogen werden.

Deutschland bieten sich als Technologielieferant bei Wertschöpfung und Beschäftigung Chancen

Die im vorhergehenden Abschnitt skizzierte Nachfrage nach Anlagengütern für die PtX Herstellung wird in Deutschland Wertschöpfungs- und damit Beschäftigungseffekte auslösen: Die deutsche Wirtschaft kann somit in einem signifikanten Umfang die steigende Nachfrage nach den Anlagen zur Herstellung von PtX für sich nutzen.

Wir ermitteln im Folgenden die volkswirtschaftlichen Wirkungen der Nachfrage nach PtX Technologie in Deutschland über volkswirtschaftliche Multiplikatoreffekte und Beschäftigungsintensitäten. Hierbei gehen wir wiederum vereinfachend davon aus, dass die heutigen Marktverhältnisse und Multiplikatoren zukünftig Bestand haben werden.

36,4 Mrd. Euro

zusätzliche jährliche
Wertschöpfung für die
deutsche Wirtschaft durch
die Produktion und den
Export von PtX Anlagen.

Geht man etwa von einem jährlichen Investitionsvolumen auf Basis des Referenzfalles in Höhe von 215 Mrd. Euro aus, ergäben sich nach dieser Berechnung für die deutsche Wirtschaft zusätzliche Wertschöpfungseffekte in Höhe von insgesamt rund

1.1%-Punkte

Erhöhung des deutschen
BIP durch die
Wertschöpfungseffekte.

36,4 Mrd. Euro jährlich. Dies entspräche einer Erhöhung des erwarteten Bruttoinlandsproduktes von rund 1,1 Prozentpunkten.

Auch auf den deutschen Arbeitsmarkt hätte dies positive Effekte. Bis zu 470.800 Beschäftigungsverhältnisse in der deutschen Wirtschaft könnten insgesamt auf diese Weise hinzukommen, legt man vereinfachend die heutigen Beschäftigungsintensitäten zugrunde.³⁷ Das entspräche etwa der Hälfte der aktuellen Beschäftigten der Automobilbranche in Deutschland. Dementsprechend ergäben sich potentiell hohe Impulse für Wirtschaftswachstum und Beschäftigung in Deutschland.

Angesichts des großen Investitionsvolumens würde die zusätzliche Nachfrage demnach beträchtliche Wachstums- und Beschäftigungseffekte auslösen. Eine ähnliche Größenordnung hat beispielsweise die starke Importnachfrage aus China, die für das deutsche verarbeitende Gewerbe vergleichbare Effekte auslöst. Wäre die chinesische Wirtschaft über einen Zeitraum von fünf Jahren mit nur halber Geschwindigkeit gewachsen, wäre die



Bis zu

470.800

neue Arbeitsplätze

könnten dadurch
insgesamt in Deutschland
entstehen.

³⁷ In der Realität dürfte die Beschäftigungsintensität zur Herstellung z.B. von Elektrolyseuren aufgrund von Skaleneffekten sinken – hierüber wird an dieser Stelle keine Annahme getroffen.

Produktion bzw. der Produktionswert der deutschen Wirtschaft um 1,3 Prozentpunkte niedriger ausgefallen.³⁸

Ein Überblick über die Multiplikatoreffekte – differenziert nach Elektrolyseur und anderen Anlagen (Syntheseanlagen für die Umwandlung von Wasserstoff in synthetisches Methan und flüssige Energieträger) – zeigt den großen Hebel, den die zusätzliche Nachfrage zur PtX Produktion auslösen würde (Abbildung 23). Die Zahlen verdeutlichen zudem, wie vorleistungsstark der Anlagenbau ist, denn der größere Teil der zusätzlichen Wertschöpfung entsteht nicht bei den unmittelbaren Produzenten, sondern bei ihren Vorleistern und Zulieferern.

Abbildung 23. Überblick über die Ergebnisse der Multiplikatoreffekte

		Elektrolyseur	Anlagenbau	Insgesamt
Wertschöpfung	direkt	11,7	3,7	15,4
	indirekt	11,8	4,5	16,3
	induziert	3,5	1,2	4,7
	Summe	27,1	9,3	36,4
Beschäftigung	direkt	133,4	41,6	175,0
	indirekt	163,6	60,9	224,6
	induziert	53,0	18,2	71,2
	Summe	350,0	120,8	470,8
In Mrd. EUR				
Durchschnitt in 1.000				

Quelle: Destatis (2018), OECD (2018), UN (2018), WIOD (2016), eigene Berechnungen.

Hinweis: PtX Weltmarkt: Reference Case.

ABLEITUNG VON MULTIPLIKATOREFFEKTEN MIT INPUT-OUTPUT TABELLEN

Die Multiplikatoreffekte werden durch die Analyse von Input-Output-Tabellen ermittelt. Das Arbeiten mit Input-Output-Tabellen sowie deren Analyse gehört heutzutage zu den am häufigsten angewandten Methoden der empirischen Wirtschaftsforschung. Die Tabellen der Input-Output-Rechnung sind ein umfassendes Informationssystem, das insbesondere die gütermäßigen Verflechtungen der Volkswirtschaft bei der Produktion von Waren und Dienstleistungen detailliert darstellt. Diese Informationen können für analytische und prognostische Zwecke in vielfältiger Weise genutzt werden.

Auch internationale Organisationen und die Europäische Union verwenden Ergebnisse von Input-Output-Analysen, um die Wirkung bestimmter Maßnahmen beurteilen zu können. Input-Output-Analysen dienen oft dazu, Folgen politischer Maßnahmen abzuschätzen. Darüber hinaus können Input-Output-Tabellen für Vorausschätzungen der wirtschaftlichen Entwicklung verwendet werden.³⁹

Im Folgenden betrachten wir die einzelnen Bestandteile der aufgeführten Effekte und erläutern im Zuge dessen die Funktionsweise der Analyse. Zunächst betrachten wir die direkten Effekte, die durch die erhöhte Nachfrage bei den unmittelbaren Produzenten ausgelöst werden.

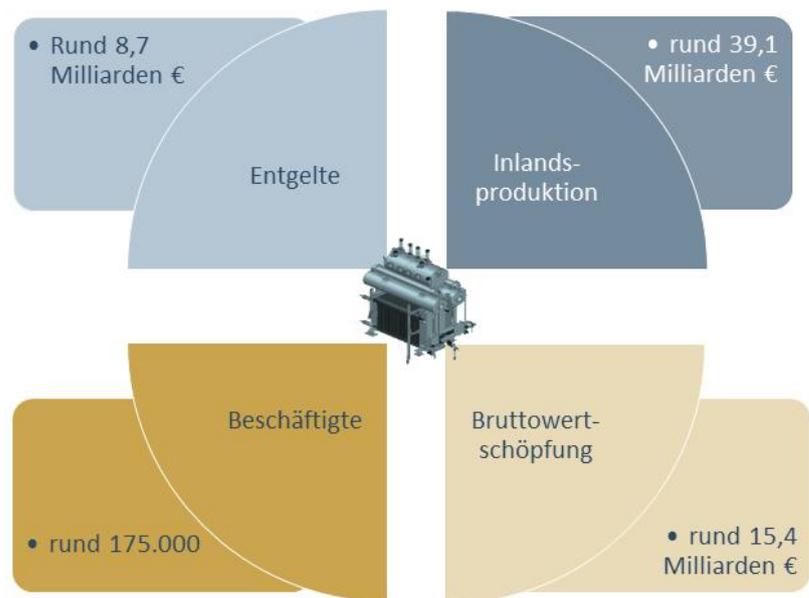
³⁸ Lang et al., 2015.

³⁹ Kuhn, Destatis, 2010, mit weiteren Quellen.

Direkte Effekte mit einer Wertschöpfung von 15,4 Mrd. Euro

Bei der Produktion von Anlagenteilen zur PtX Gewinnung in Deutschland würde direkt eine zusätzliche Wertschöpfung von 15,4 Mrd. Euro entstehen. Bis zu 175.000 Stellen im Anlagenbau könnten so durch die neuen Absatzmärkte geschaffen werden. Das entspricht rund 15 % der aktuellen Beschäftigten der Branche (Abbildung 24).

Abbildung 24. Direkter Effekt: Export von Anlagen zur PtX Produktion



Quelle: Destatis (2018), OECD (2018), UN (2018), eigene Berechnungen
Hinweis: PtX Weltmarkt: Reference Case

Indirekte Effekte erreichen einen Multiplikator von 1,36 in Bezug auf die Wertschöpfung

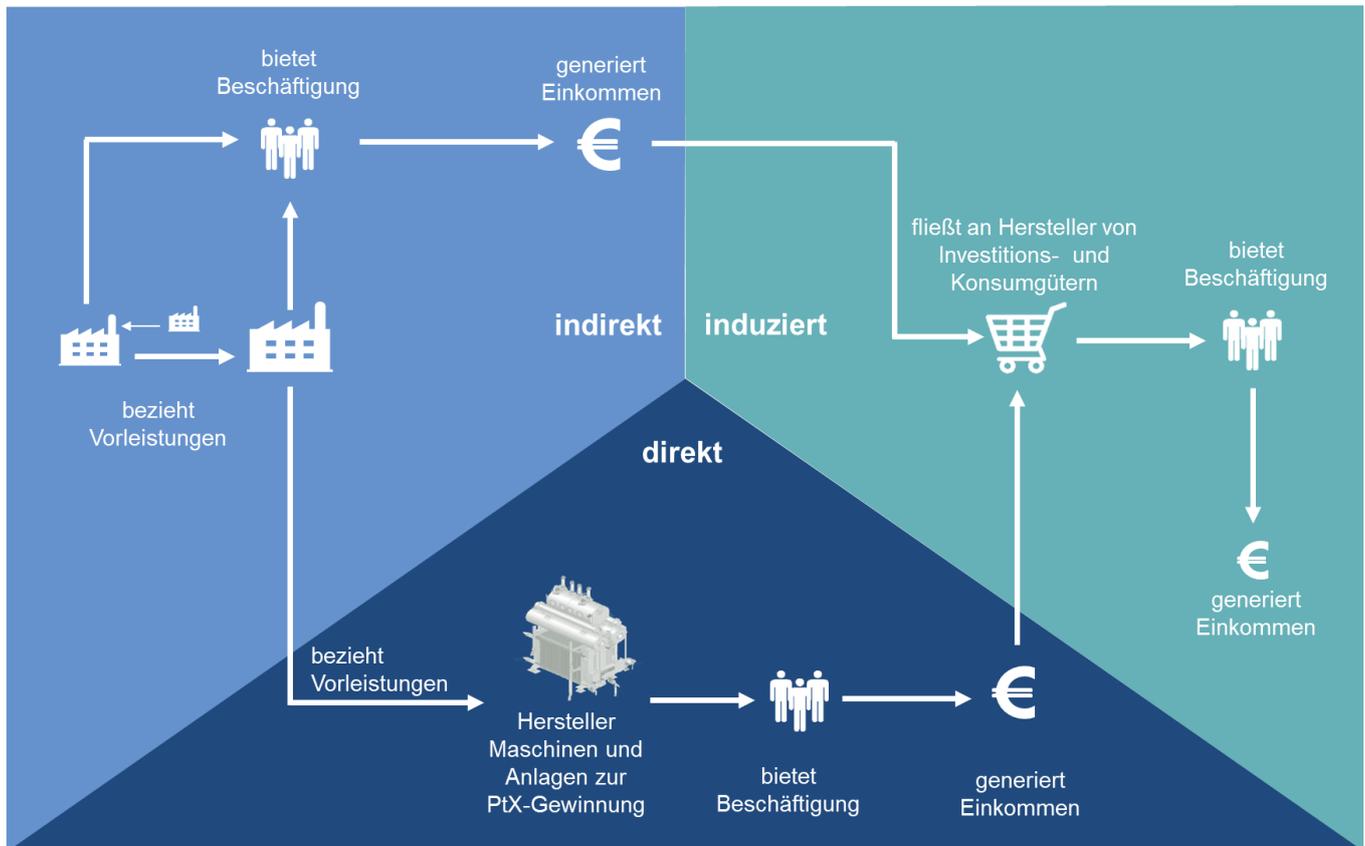
Die positiven Effekte der Nachfragestimulation nach Anlagen zur PtX Produktion für die deutsche Wirtschaft würden aber weit über die genannten direkten Nachfrageeffekte hinausgehen (Abbildung 25). Denn der Anlagenbau würde Vorleistungen einkaufen und damit die Wertschöpfung bei seinen Lieferanten erhöhen. Die Lieferanten würden deshalb zusätzliche Beschäftigte einstellen.

Durch die erhöhte Nachfrage nach Teilen und Dienstleistungen der PtX Anlagenbauer aus dem In- und Ausland erhöhte sich zusätzlich die Nachfrage nach den Produkten der deutschen Vorleistungsproduzenten der Anlagenbauer. Um diesen Nachfrageimpuls bedienen zu können, würden auch in den Zulieferbranchen entlang der vorgelagerten Wertschöpfungskette in Deutschland weitere Stellen geschaffen (indirekter Effekt). Der indirekte Effekt umfasst alle Wertschöpfungsprozesse, die für die Leistungserstellung der PtX Anlagenbauer auf der Vorleistungsebene erforderlich sind.



Die Wertschöpfungs- und Beschäftigungseffekte gehen weit über die direkten Nachfrageeffekte im Anlagenbau hinaus.

Abbildung 25. Veranschaulichung der direkten, indirekten und induzierten Effekte



Quelle: IW

Berechnet wird dabei die Wertschöpfung, die bei den Lieferanten des Anlagenbaus entstünde. Die Nachfrage des PtX Anlagenbaus nach diesen Vorleistungsprodukten würde zu einer erhöhten Wertschöpfung und Beschäftigung in den Zulieferunternehmen führen, die ohne diese Nachfrage nicht entstehen würden.

Damit sind die Kreislaufeffekte allerdings noch nicht vollständig erfasst, denn diese Zulieferbetriebe beziehen wiederum ihrerseits Vorleistungen von anderen Unternehmen, die wiederum Mitarbeiter beschäftigen, Vorleistungskäufe und Investitionen tätigen (sogenannte Vorleistungsverflechtung). Es ergeben sich folglich indirekte Effekte erster, zweiter bis hin zur n-ten Ordnung, wobei die Größenordnung der Effekte von Stufe zu Stufe immer kleiner wird.

Die zusätzlichen Beschäftigten sorgen ihrerseits für eine Erhöhung des Konsums und damit zusätzlicher Nachfrage nach Konsumgütern. Diese Beschäftigungsverhältnisse würden genauso wie die neu geschaffenen Stellen bei den PtX Anlagenbauern zusätzliches Einkommen generieren, welches den privaten Konsum in Deutschland steigen ließe. Die steigende Konsumnachfrage kommt wiederum den Produzenten von Konsumgütern in Deutschland zugute. Auch hier werden in einem abschließenden induzierten Effekt zusätzliche Wertschöpfung, Beschäftigung und Einkommen in Deutschland generiert. Die induzierten Effekte enthalten alle Aktivitäten, die durch die Verausgabung der

Lohneinkommen der Beschäftigten der deutschen PtX Anlagenbauer und der Vorleistungsbetriebe ausgelöst werden.

Während sich die direkten und indirekten Effekte unmittelbar aus den Verflechtungen in der Wertschöpfungskette ableiten lassen, sind die induzierten Effekte bei der Konsumnachfrage mit höherer Unsicherheit behaftet.

Betrachtet man die gesamtwirtschaftlichen Effekte im Einzelnen zeigt sich, dass für jeden Euro Wertschöpfung aus der direkten Nachfrage nach PtX Anlagen aus Deutschland rund 1,36 weitere Euro an indirekter und induzierter Wertschöpfung hinzukommen würden. Diese ungewöhnlich hohen Multiplikatorwirkungen ergeben sich daraus, dass die indirekten Bruttowertschöpfungseffekte nicht nur durch die Nachfrage der deutschen PtX Anlagenbauer nach Vorleistungen bedingt wird, sondern auch die PtX Anlagenbauer aus dem Ausland in signifikantem Maße Vorleistungen von deutschen Unternehmen beziehen. So basieren rund 30 % der indirekten Effekte und damit rund 32 Cent je Euro direkter Wertschöpfung auf der Nachfrage ausländischer Anlagenbauunternehmen, welche PtX Anlagen herstellen.

1,36 Euro

könnten für jeden Euro Wertschöpfung aus der direkten Nachfrage nach PtX Anlagen in Deutschland hinzukommen.

Die Gesamteffekte lassen sich entsprechend aufsplitten

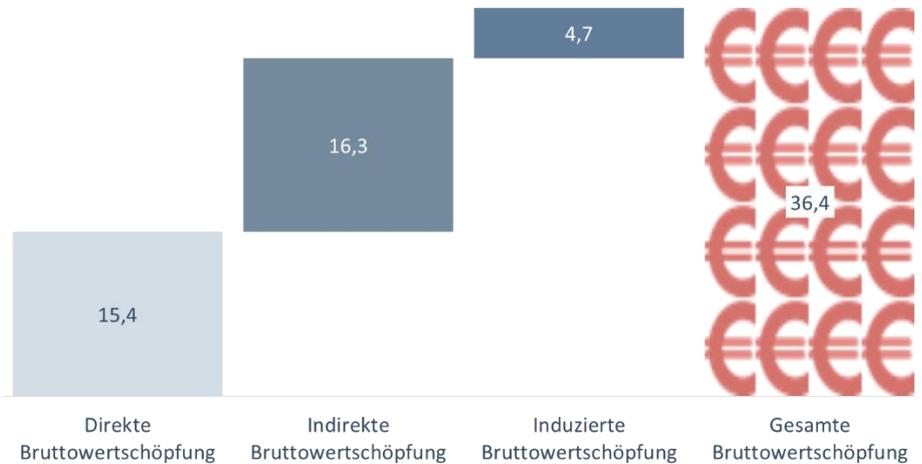
Insgesamt werden im gewählten Szenario 15,4 Mrd. Euro Wertschöpfung direkt von den deutschen PtX Anlagenbauern generiert und 16,3 Mrd. Euro indirekt in Deutschland entlang der vorgelagerten Wertschöpfungskette erzeugt (Abbildung 26).

Die induzierten Effekte belaufen sich zusätzlich auf insgesamt 4,7 Mrd. Euro in Deutschland. Damit addieren sich die Gesamteffekte der Nachfrage nach PtX Anlagen auf insgesamt 36,4 Mrd. Euro pro Jahr.

Abbildung 26. Wertschöpfungseffekte durch den Export von Anlagen zur PtX Produktion
Angaben in Mrd. Euro

36,4 Mrd. Euro

insgesamte zusätzliche jährliche Wertschöpfung für die deutsche Wirtschaft bei weltweiten PtX Investitionen von 215 Mrd. Euro pro Jahr.



Quelle: Destatis (2018), OECD (2018), UN (2018), WIOD (2016), eigene Berechnungen

Hinweis: PtX Weltmarkt: Reference Case

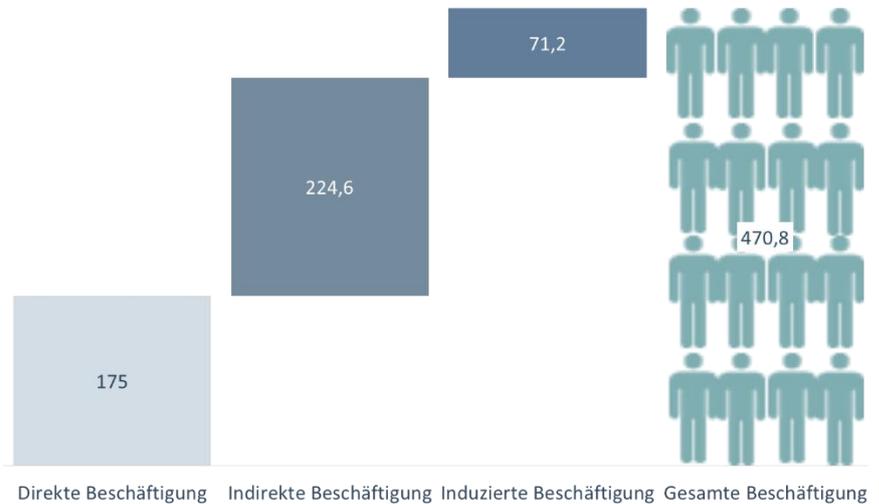
Wie beschrieben, hätte ein solches Szenario auch auf den deutschen Arbeitsmarkt stark positive Auswirkungen. Insgesamt bis zu 470.800 Jobs würde der im Szenario beschriebene Nachfrageimpuls nach PtX Anlagen in Deutschland generieren, legt man vereinfachend die heutige Beschäftigungsintensität zugrunde (Abbildung 27). Hiervon entfielen rund 175.000 Beschäftigungsverhältnisse auf die Unternehmen des Anlagenbaus. In den vorgelagerten Branchen der Wertschöpfungskette bei deutschen Zulieferern der im In- und Ausland ansässigen PtX Anlagenbauer entstünden bis zu 224.600 weitere Jobs. Zudem könnten durch den erhöhten Wohlstand in Deutschland bis zu 71.200 weitere Stellen etwa in den Dienstleistungsbranchen und anderen Wirtschaftszweigen geschaffen werden, die Güter und Dienstleistungen für den privaten Konsum in Deutschland produzieren. Insgesamt würden so zusätzlich zu jeder Stelle in den Betrieben der deutschen PtX Anlagenbauer 1,69 weitere Stellen in Deutschland geschaffen.

Abbildung 27. Beschäftigungseffekte durch den Export von Anlagen zur PtX Produktion
Angaben in tausend Beschäftigte

 Bis zu
470.800

neue Arbeitsplätze

könnten dadurch entstehen.



Quelle: Destatis (2018), OECD (2018), UN (2018), WIOD (2016), eigene Berechnungen
Hinweis: PtX Weltmarkt: Reference Case

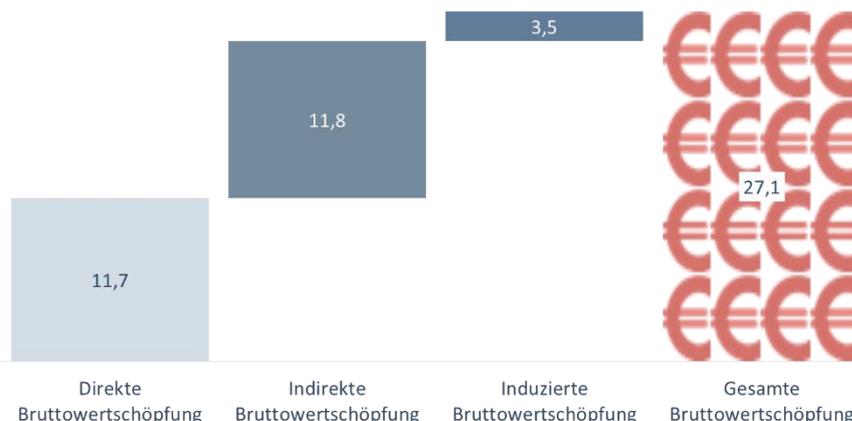
Die Nachfrage nach Elektrolyseuren hat hierbei den größten Hebel

Die Produktion der Elektrolyseure liefert alleine schon einen wesentlichen Wertschöpfungseffekt: 11,7 Mrd. Euro würden durch die deutschen Hersteller generiert. Noch etwas größer ist mit 11,8 Mrd. Euro der indirekte Wertschöpfungseffekt bei den Zulieferern. Zusammengenommen mit den Konsumausgaben der Beschäftigten ergibt sich insgesamt ein Wertschöpfungseffekt von 27,1 Mrd. Euro aufgrund der zusätzlichen Produktion von Elektrolyseuren (Abbildung 28).

Abbildung 28. Wertschöpfungseffekte durch den Export von Elektrolyseuren zur PtX Produktion
Angaben in Mrd. Euro

27,1 Mrd. Euro

zusätzliche jährliche Wertschöpfung durch die deutsche Produktion von Elektrolyseuren.



Quelle: Destatis (2018), OECD (2018), UN (2018), WIOD (2016), eigene Berechnungen
Hinweis: PtX Weltmarkt: Reference Case. Abweichungen resultieren aus Rundungsdifferenzen.

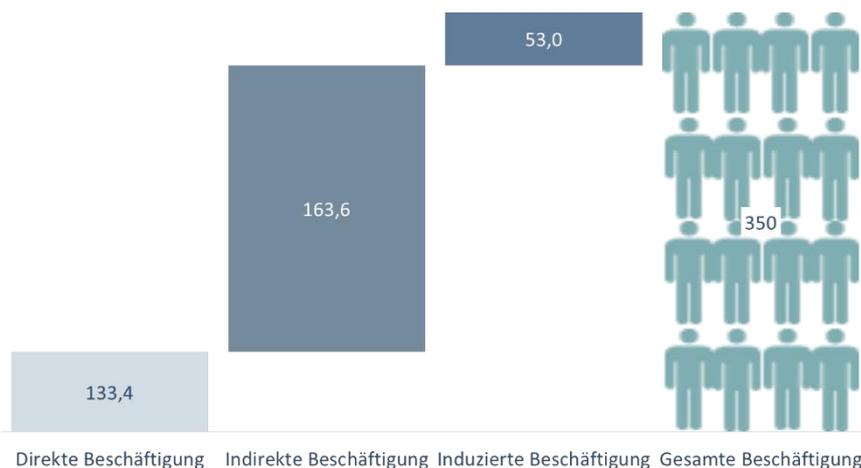
Die Produktion der Elektrolyseure für die PtX Technologie würde – bei Annahme heutiger Beschäftigungsintensitäten – bis zu 350.000 Beschäftigungsverhältnisse schaffen. Gut 133.000 Stellen entstünden direkt bei der Produktion der Elektrolyseure und weitere knapp 164.000 bei den Vorleistungen (Abbildung 29).

Abbildung 29. Beschäftigungseffekte durch den Export von Elektrolyseuren zur PtX Produktion
Angaben in Tausend Beschäftigten

Bis zu **350.000**

neue Arbeitsplätze

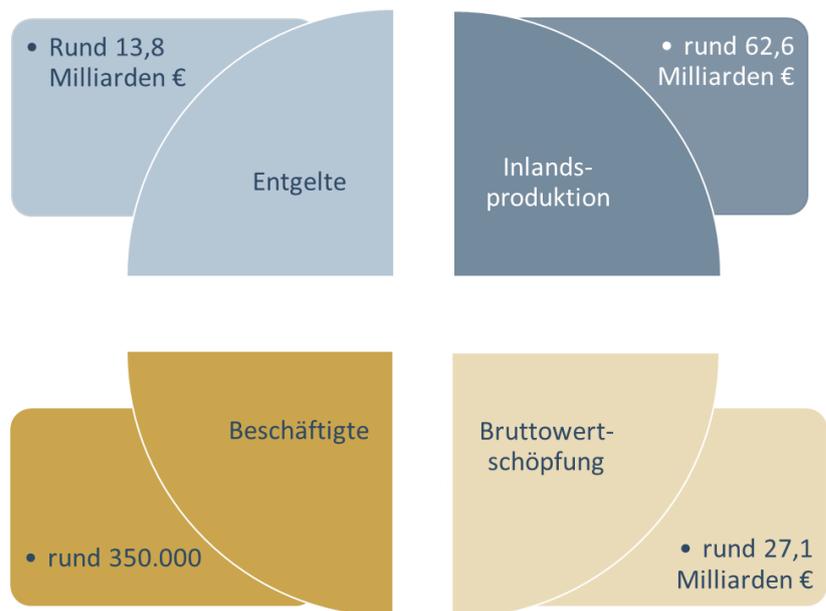
könnten zusätzlich allein durch den Export von Elektrolyseuren hinzukommen.



Quelle: Destatis (2018), OECD (2018), UN (2018), WIOD (2016), eigene Berechnungen
Hinweis: PtX Weltmarkt: Reference Case

Insgesamt würden durch die deutsche Herstellung von Elektrolyseuren rund 62,6 Mrd. Euro an Produktionswert generiert und 13,8 Mrd. Euro an Entgelten gezahlt (Abbildung 30).

Abbildung 30. Multiplikatoreffekte durch den Export von Elektrolyseuren zur PtX Produktion



Quelle: Destatis (2018), OECD (2018), UN (2018), WIOD (2016), eigene Berechnungen
Hinweis: PtX Weltmarkt: Reference Case

Der Anlagenbau würde über den Elektrolyseur hinaus wachsen

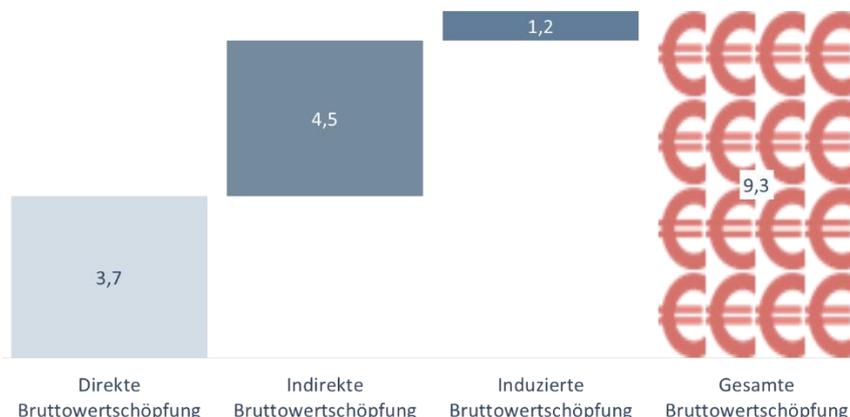
Abgesehen vom Elektrolyseur werden für die Gewinnung von flüssigen Kraftstoffen noch weitere Anlagen benötigt. Das sind beispielsweise Methanisierungsanlagen, aber auch PtL Umwandlungsanlagen und Anlagen zur Direct Air Capture (Erfassung von CO₂ aus der Luft).

Die Wertschöpfungseffekte direkt im deutschen Anlagenbau betragen etwa 3,7 Mrd. Euro, hinzu kommt zusätzliche Wertschöpfung bei den Herstellern von Vorleistungsprodukten in Höhe von 4,5 Mrd. Euro. Rechnet man die Konsumausgaben der Beschäftigten hinzu, ergibt sich ein Wertschöpfungseffekt von insgesamt 9,3 Mrd. jenseits der Elektrolyseur-Produktion (Abbildung 31).

Abbildung 31. Wertschöpfungseffekte durch den Export sonstiger Anlagen zur PtX Produktion
Angaben in Mrd. Euro

9,3 Mrd. Euro

zusätzliche jährliche Wertschöpfung für die deutschen Anlagenbauer abgesehen von der Herstellung der Elektrolyseure.



Quelle: Destatis (2018), OECD (2018), UN (2018), WIOD (2016), eigene Berechnungen
Hinweis: PtX Weltmarkt: Reference Case. Abweichungen resultieren aus Rundungsdifferenzen.

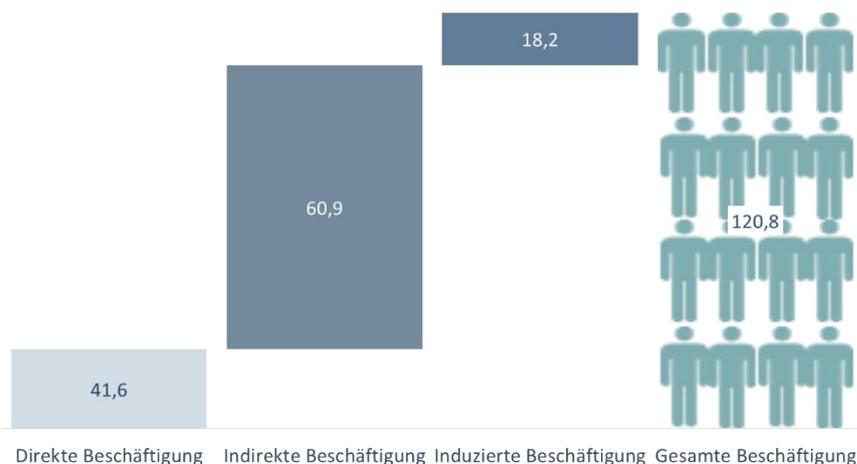
Der Anlagenbau ist sehr vorleistungsintensiv. Zu den 41.600 Stellen, die direkt im Anlagenbau entstünden, kämen deshalb noch einmal bis zu 60.900 zusätzliche Beschäftigte bei den Vorleistungsproduzenten und bis zu 18.200 weiteren durch zusätzliche Konsumnachfrage. Damit entstünden durch die Anlagen, die zusätzlich zum Elektrolyseur zur PtX Produktion benötigt werden, bis zu 120.000 weitere Beschäftigungsverhältnisse (Abbildung 32).

Abbildung 32. Beschäftigungseffekte durch den Export sonstiger Anlagen zur PtX Produktion
Angaben in Tausend Beschäftigten

Bis zu **120.800**

neue Arbeitsplätze

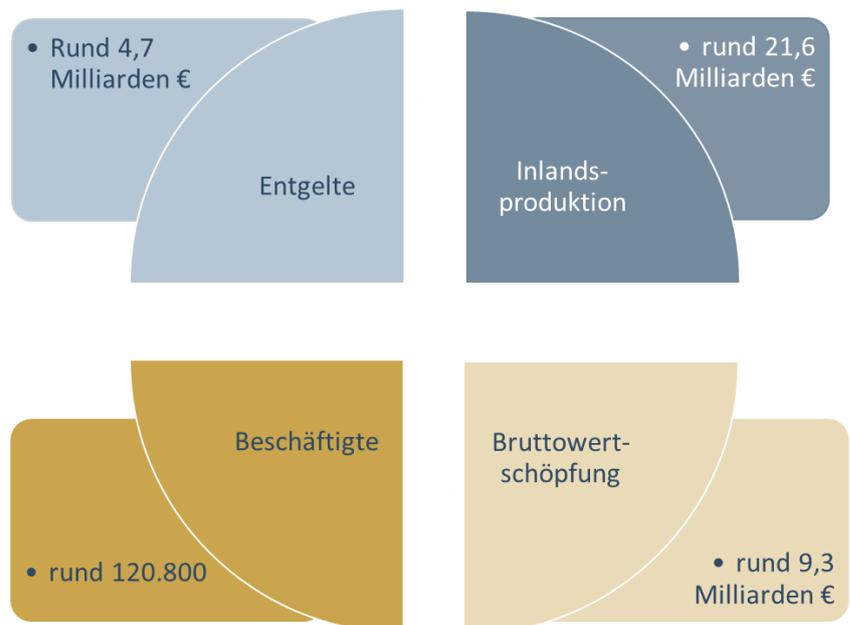
zusätzlich jenseits der Produktion von Elektrolyseuren.



Quelle: Destatis (2018), OECD (2018), UN (2018), WIOD (2016), eigene Berechnungen
Hinweis: PtX Weltmarkt: Reference Case. Abweichungen resultieren aus Rundungsdifferenzen.

Insgesamt erzielen die sonstigen Anlagen jenseits der Elektrolyseure einen Bruttoproduktionswert von 21,6 Mrd. Euro. Bei den Herstellern der Anlagen, ihren Lieferanten und den Konsumgüterproduzenten würden durch die zusätzlichen Anlagen Entgelte in Höhe von 4,7 Mrd. Euro gezahlt, gut 120.000 Stellen geschaffen und zusätzliche Wertschöpfung von insgesamt 9,3 Mrd. Euro generiert (Abbildung 33).

Abbildung 33. Multiplikatoreffekte durch den Export sonstiger Anlagen zur PtX Produktion
Angaben in Mrd. Euro



Quelle: Destatis (2018), OECD (2018), UN (2018), WIOD (2016), eigene Berechnungen

Hinweis: PtX Weltmarkt: Reference Case

5. SYNTHETISCHE KRAFT- UND BRENNSTOFFE KÖNNEN ENTWICKLUNGSPOTENTIALE FÜR ERZEUGERLÄNDER SCHAFFEN UND DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT FÖRDERN

Im vorhergehenden Abschnitt haben wir die Effekte eines wachsenden Weltmarktes für PtX Technologie bezüglich Wirtschaftswachstum und Beschäftigung in Deutschland herausgearbeitet.

Außerdem bieten die PtX Investitionen den potentiellen PtX Exportländern gleichermaßen Chancen, denn synthetische Kraft- und Brennstoffe ermöglichen diesen Ländern über Auslandsinvestitionen und Exporte zusätzliche Wachstums-, Beschäftigungs- und damit ebenso Wohlstandsperspektiven vor Ort.

Zusätzlich kann durch die Etablierung von neuen Exportoptionen eine stärkere internationale Einbindung der potentiellen Produktionsländer erfolgen und nicht zuletzt hierüber auch die Kooperationsbereitschaft im Hinblick auf internationale Klimaschutzbemühungen gestärkt werden – wovon dann wiederum gleichermaßen Deutschland profitieren würde.

Potentielle Exporteure von synthetischen Kraft- und Brennstoffen stellen heterogene Gruppen dar

Abschnitt 3 hat u.a. aufgezeigt, dass es eine Vielzahl an Ländern gibt, die zukünftig Teil des angebotsseitigen Weltmarktes für PtX werden können.

Über diese erste Einschätzung hinaus lassen sich diese Länder anhand z.B. der Wirtschaftskraft, (energie-) politischer Rahmenbedingungen und besonderer Motivation zum Einstieg in die Produktion und den Export von synthetischen Kraft- und Brennstoffen – untergliedern. Dabei zeigt sich die große Heterogenität in der Gruppe der potentiellen Exportländer, die sich in drei wesentliche Gruppen klassifizieren lässt:

- (i) Schwellen- und Entwicklungsländer: Die größten EE-Potentiale und somit die niedrigsten Kosten der PtX Produktion finden sich insbesondere in vielen aktuell

- entwicklungsbedürftigeren Regionen sowie Schwellen- und Entwicklungsländern, wie großen Teilen von Afrika, Südamerika und Zentralasien.
- (ii) Heutige Exporteure fossiler Energien: Zudem gibt es Länder mit sehr starken PtX Exportpotentialen, die gegenwärtig Exporteure fossiler Energien sind. Hierunter fallen z.B. Saudi-Arabien, Nordamerika, Australien, Russland und Norwegen.
 - (iii) Ländern, in denen die durch den PtX Export gestärkte internationale Zusammenarbeit zur (energie-) politischen Stabilität beitragen kann. Hierunter fällt eine Vielzahl an Ländern weltweit, insbesondere jene, die politisch, wirtschaftlich und institutionell als bisher eher nicht oder weniger stabil bewertet werden (z.B. Somalia oder Angola).⁴⁰

Bemerkenswert ist, dass absehbar die Etablierung einer Exportinfrastruktur für PtX in allen diesen Gruppen positive Impulse zu setzen vermag, jedoch teilweise in sehr unterschiedlicher Hinsicht – wie wir in den nachfolgenden Abschnitten exemplarisch zeigen.

Export von synthetischen Kraft- und Brennstoffen kann in Schwellen- und Entwicklungsländern wichtige Impulse entfalten

Insbesondere in den wirtschaftlich und sozial schwächeren Regionen der Welt können Investitionen in die PtX Produktion deutliche Wachstums- und Beschäftigungseffekte entfalten und damit zur wirtschaftlichen Stärkung dieser Länder beitragen.

Starke PtX Exportpotentiale finden sich insbesondere in den Schwellen- und Entwicklungsländern

Es zeigt sich eine hohe Überschneidung zwischen günstigen Standorten für PtX Erzeugung und Regionen mit geringem Entwicklungsstand (Abbildung 34):

- Große Teile des Kontinents Afrika, aber auch des asiatischen Kontinents, zählen zu den wirtschaftlich stark bedürftigen Ländern dieser Welt (dunkel- bis hellblau markierte Regionen).
- Einige Länder Asiens mit mittleren Einkommensstufen sind als Schwellenländer zu identifizieren (hellrot markierte Regionen), wie zum Beispiel China und Kasachstan, ebenso wie Teile der MENA Region und Süd-West-Afrikas. Auch die meisten Länder

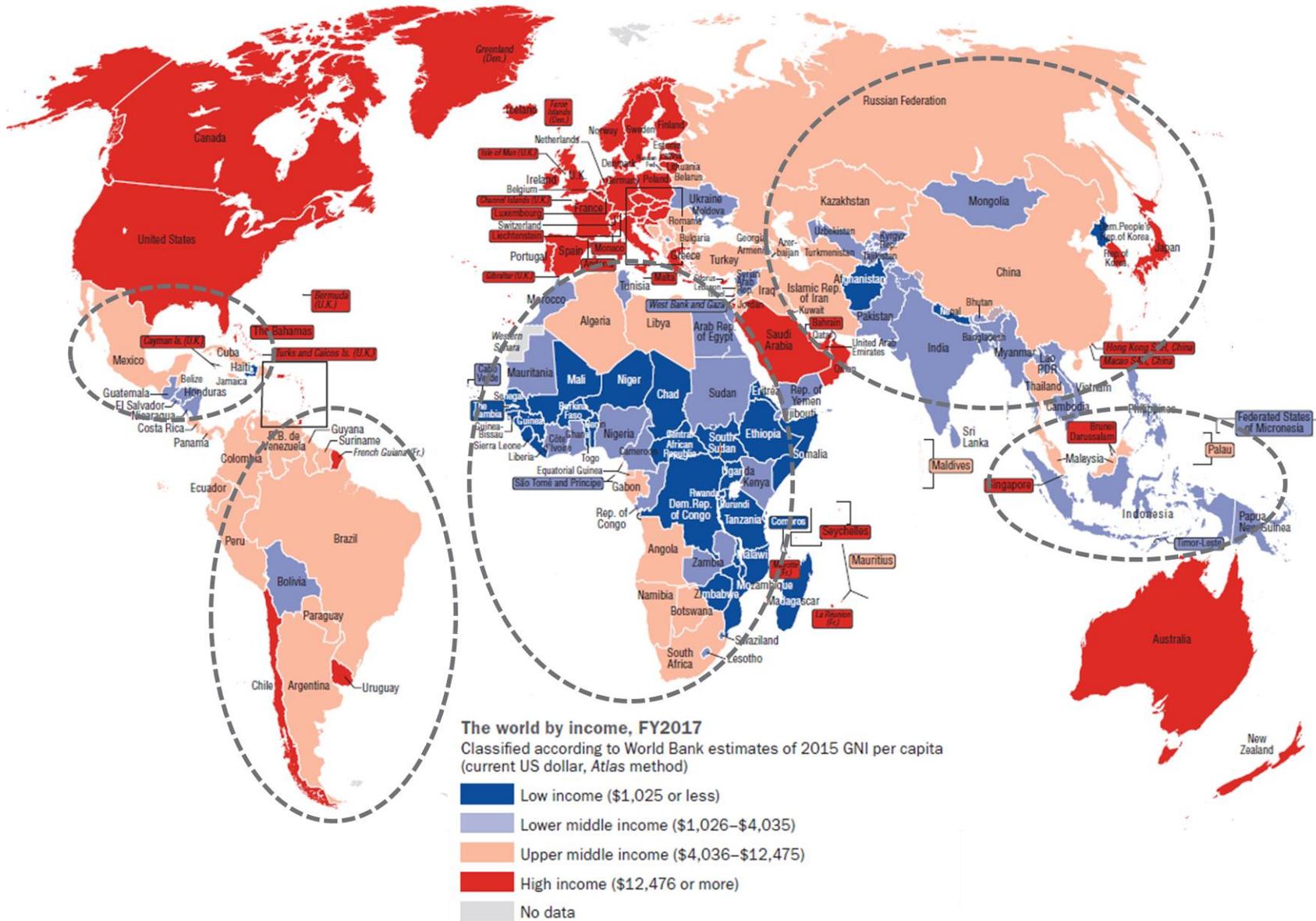
⁴⁰ Ease of Doing Business Index und Korruptionsindex, sowie weitere Entwicklungsindikatoren (gemäß Weltbank, Transparency International).

Mittel- und Südamerikas gehören zu dieser Kategorie der Schwellenländer, mit einigen wenigen Ausnahmen (z.B. Chile und Uruguay, die bereits jetzt zu den entwickelten Ländern mit hohem Einkommen gehören und Bolivien, das zu den ärmeren Ländern der Welt zählt).

Bei kombinierter Betrachtung von regionalen wirtschaftlichem Entwicklungsstand und den EE-Potentialen (Abbildung 35 und Abbildung 36) wird deutlich, dass die Mehrzahl der Länder, die weltweit zu den in Abschnitt 3 identifizierten Regionen mit starken EE-Potentialen gehören, tendenziell Teil der weniger entwickelten oder sich entwickelnden Regionen der Welt sind. Zu Ländern, die aufgrund der Ressourcenverfügbarkeit hohe EE-Potentiale aufweisen gehören zum Beispiel auch derzeit besonders instabile Länder wie Somalia, Mauretanien, Madagaskar, Sudan, oder Nicaragua.⁴¹

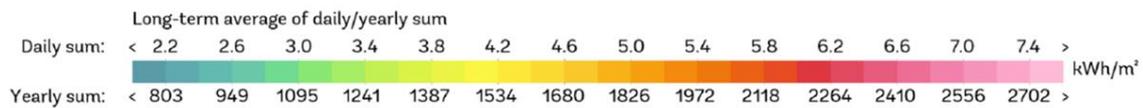
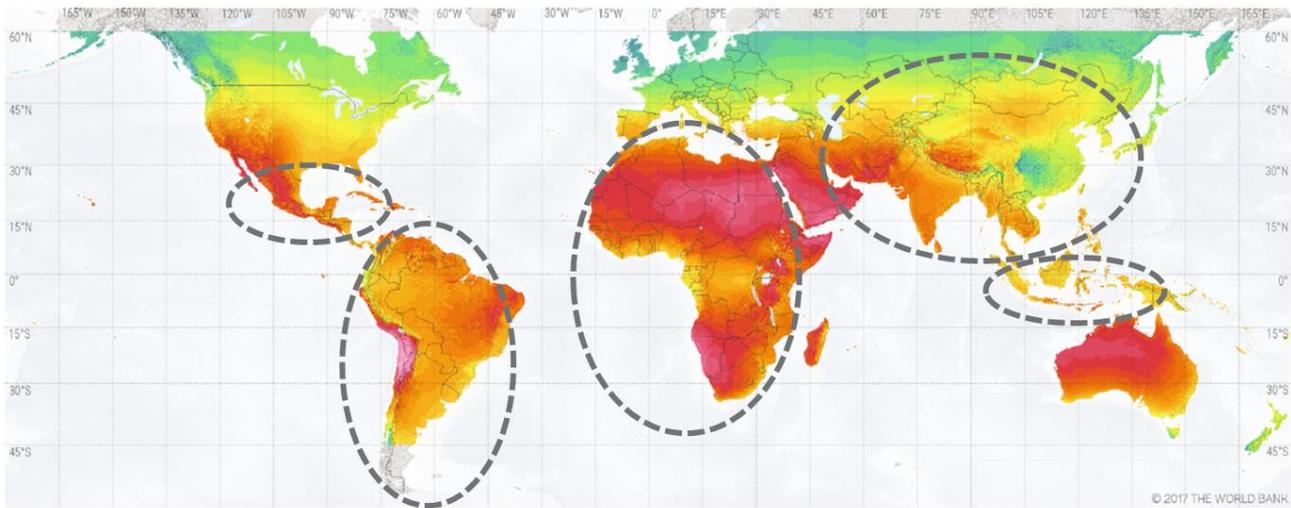
⁴¹ World Bank, Heavily indebted poor countries (HIPC).

Abbildung 34. Überschneidung potentieller PtX Exportregionen mit niedrigerem Entwicklungsstand nach Einkommen



Quelle: World Bank, <https://data.worldbank.org/products/wdi-maps>

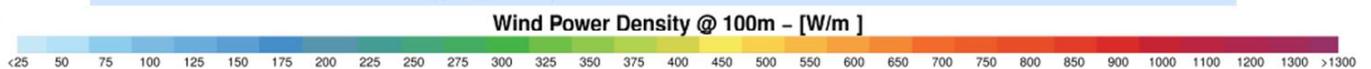
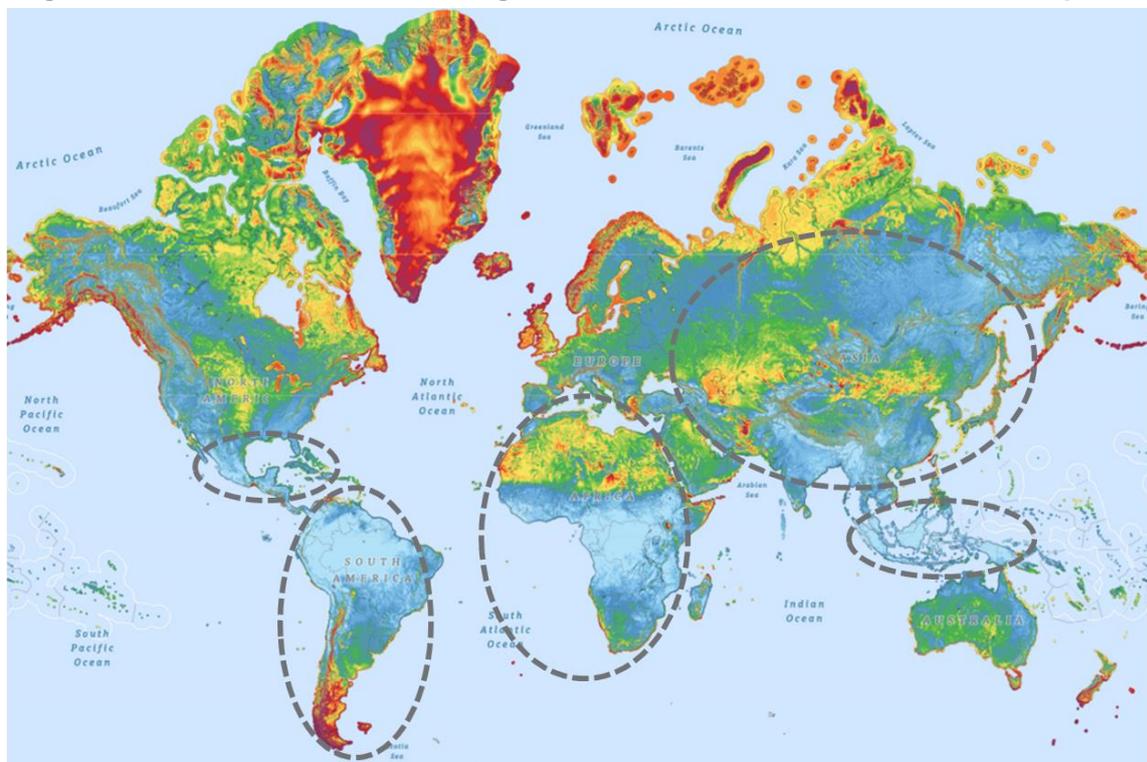
Abbildung 35. Schwellen- und Entwicklungsländer auf der Weltkarte der PV-Potentiale



Quelle: World Bank Group, Global Wind Atlas.

Hinweis: Global Horizontal Irradiation (GHI) – [kWh/m²]; Jährliche Skala von grün (803 kWh/m²) bis pink (≥ 2.700 kWh/m²).

Abbildung 36. Schwellen- und Entwicklungsländer auf der Weltkarte der Windkraftpotentiale



Quelle: World Bank Group, Global Wind Atlas.

Hinweis: Wind Power Density Potential @100m – [W/m]; Skala von hellblau (25 W/m) bis dunkelrot (≥ 1.300 W/m).

Export synthetischer Kraft- und Brennstoffe würde in diesen Ländern positive Wirtschafts- und Beschäftigungseffekte auslösen

Bei einem jährlichen Investitionsvolumen von ca. 215 Mrd. Euro in Anlagen zur Herstellung von PtX könnten diese Länder also auch dann signifikant von ausländischen Investitionen profitieren, wenn nur ein geringer Teil des Investitionsvolumens auf diese entfallen würde. Ausländische Investitionen im Milliardenbereich könnten hier erhebliche direkte positive Effekte auf das Wirtschaftswachstum und Beschäftigung in diesen Ländern haben.

Neben Wirtschaftswachstum durch Investitionen und den Ausbau der Exportindustrie der synthetischen Kraft- und Brennstoffe würden auch indirekte Effekte positive Entwicklungsimpulse entfalten, wie die Schaffung neuer Arbeitsplätze, die in diesen Ländern oft den wichtigsten Stimulus für Stabilität darstellen.

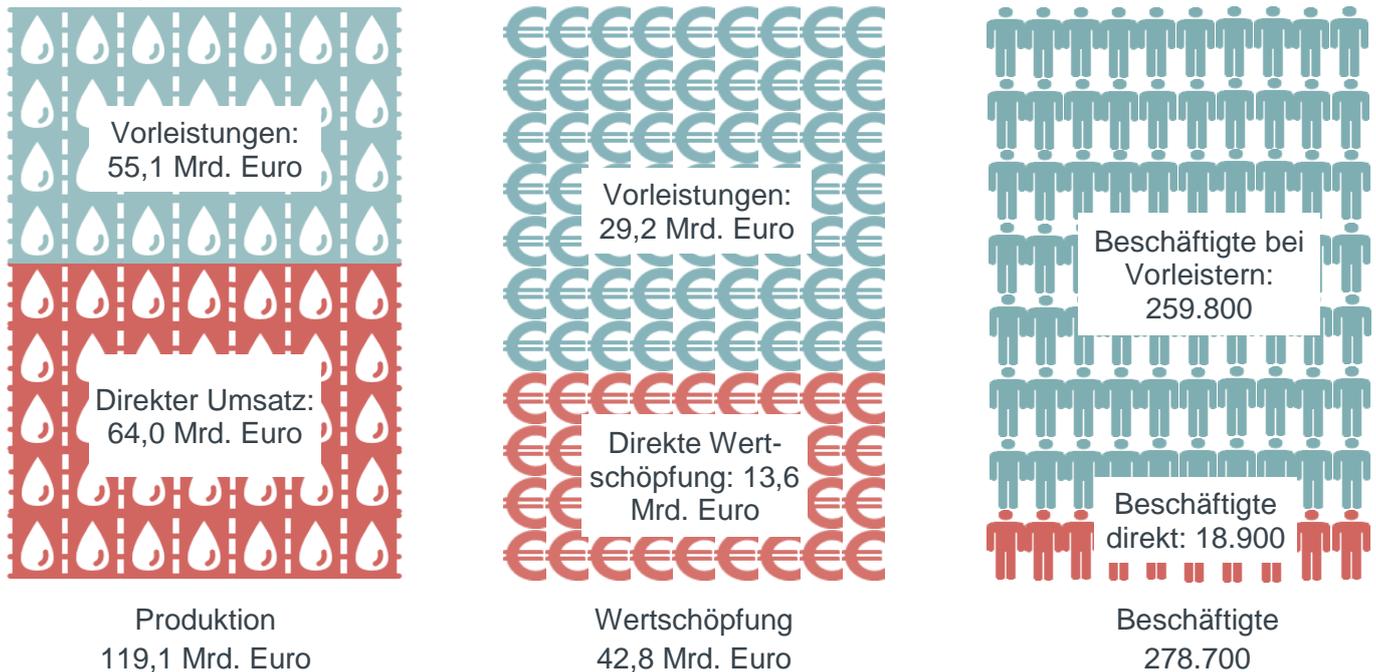
Auch für wirtschaftlich stärkere Entwicklungs- und Schwellenländer, wie Südafrika, Algerien, Marokko oder Brasilien, stellen diese Investitionen nichtsdestotrotz erhebliche Summen dar und können starke wirtschaftliche Stimuli entfalten. Allerdings ist hier jeweils in Betracht zu ziehen, ob diese Länder einen hohen ungedeckten Eigenbedarf an Energie aufweisen könnten, sodass – zumindest kurzfristig – Investitionen im Energiesektor zunächst der Versorgungssicherheit im eigenen Land dienen könnten. Diese besondere Motivation kann dazu führen, dass sich gerade in diesen Ländern relativ schnell PtX Erzeugungskapazitäten bilden. Je nach weiterem Ausbau wären PtX Exporte als zusätzliche Perspektive dann sehr gut möglich.

Multiplikatoreffekte potenzieren die Wirkung von Investitionen vor Ort

Wie auch schon bei den gesamtwirtschaftlichen Wirkungen von Anlageninvestitionen auf Deutschland entfaltet der Betrieb der Anlagen vor Ort weitere wirtschaftliche Effekte, die rein über die direkten Investitionen hinausgehen.

Naturgemäß sind derartige Schätzungen für neue Industrien mit einer erheblichen Unsicherheit behaftet. Werden aber exemplarisch ähnliche Effekte wie im Bereich der Rohölverarbeitung unterstellt, lassen sich entsprechende Größenordnungen abschätzen.

Abbildung 37. Illustrativ: Wertschöpfungs- und Arbeitsplatzeffekte vor Ort pro Land



Quelle: Eigene Berechnung IW

In Abbildung 37 sind auf dieser Basis exemplarisch für eine angenommene nationale Produktionsmenge von 400 TWh⁴² einmal mögliche Wertschöpfungs- und Arbeitsplatzeffekte analysiert. Demnach

- ergäbe sich ein direktes Umsatzvolumen von rund 64 Mrd. Euro pro Land⁴³, was unter Berücksichtigung von typischen Wertschöpfungsquoten in verwandten Branchen rund 14 Mrd. Euro Wertschöpfung entspräche;
- diese stimulieren jedoch vor Ort weitere Effekte, z.B. durch den Bezug von Vorleistungen, sodass sich der Gesamteffekt erweitert auf rund 120 Mrd. Euro Produktionswert bzw. 43 Mrd. Euro Wertschöpfung – jeweils pro Jahr. Damit kämen zu jedem Euro Wertschöpfung in der PtX Produktion weitere 2 Euro Wertschöpfung von nationalen Vorleistern hinzu.
- Hieraus ergäben sich auch entsprechende Arbeitsplatzeffekte vor Ort: Geht man von ähnlichen Beschäftigtenverhältnissen zum Produktionswert wie in den Raffinerien aus, könnten so bis zu 19.000 Arbeitsplätze direkt und bis zu 260.000 Arbeitsplätze indirekt in den Ländern entstehen.

⁴² Die zugrundeliegende Annahme ist, dass die zukünftige weltweite PtX Nachfrage von rund 20.000 TWh von knapp 50 Ländern zu gleichen Teilen gedeckt wird – 400 TWh nationale Produktionsmenge. Diese Annahme dient nur beispielhaft zu illustrativen Zwecken und kann iterativ angepasst werden.

⁴³ Annahme zu den Kosten von 160 Euro pro MWh basierend auf Agora Verkehrswende, Agora Energiewende und Frontier Economics (2018): Die zukünftigen Kosten strombasierter synthetischer Brennstoffe.

Wertschöpfungsvolumen der PtX Produktion bietet erhebliche Entwicklungspotentiale für große Teile der Welt

2.000 Mrd. Euro

Wertschöpfungspotential

aus der PtX Produktion für
den PtX Weltmarkt von
rund 20.000 TWh pro Jahr
entspricht in etwa der
Summe des BIPs der 120
ärmsten Länder der Welt.

Werden die vorangehenden Abschätzungen auf den Gesamtmarkt extrapoliert, verdeutlicht dies das entwicklungspolitische Potential, dass in der Etablierung eines internationalen Exportmarktes steckt. Ausgehend vom oben hergeleiteten exemplarischen Zusammenhang von gut 40 Mrd. Wertschöpfung bei einer nationalen Produktionsmenge von 400 TWh (Abbildung 37) ergibt sich im Hinblick auf das in Abschnitt 4 abgeschätzte realistische Gesamtmarktvolumen von 20.000 TWh PtX pro Jahr eine hierdurch ausgelöste Gesamtwertschöpfung von rund 2.000 Mrd. Euro pro Jahr. Dies entspricht in etwa der Summe des BIP der 120 ärmsten Länder der Welt.

Auch wenn diese Kalkulationen nur Näherungen sind, wird deutlich, dass internationale Investitionen in PtX Technologien neben den in Abschnitt 4 dargestellten positiven Auswirkungen auf Deutschland für eine Vielzahl von Entwicklungsländern erhebliche Chancen bieten können, die regionale Wertschöpfung auf Dauer durch PtX Erzeugung zu vervielfältigen. Die hiermit verbundenen entwicklungspolitischen Chancen sind entsprechend groß.

Länder, die derzeit große Mengen fossiler Energieträger exportieren, können mit PtX Alternativen für das „post-fossile Zeitalter“ entwickeln

Falls die internationalen Klimaschutzziele, wie sie z.B. in Paris vereinbart wurden, langfristig eingehalten werden, würde dies unweigerlich eine weitreichende Umstellung von fossilen Energieträgern auf „Grüne Energien“ erfordern – im Zuge des Einläutens des „post-fossilen Zeitalters“. Die Nachfrage nach fossilen Kraftstoffen wird daher, insbesondere in den entwickelten Ländern mit ambitionierten CO₂-Zielen, markant über die Zeit abnehmen und Rohstoff-Preise könnten aufgrund der sinkenden Nachfrage bei gleichzeitigem Überangebot langfristig fallen. Diese Faktoren würden steigenden Druck auf die weltweiten Rohstoff-Märkte ausüben, und der Export fossiler Energien könnte sich letztlich als unwirtschaftlich darstellen.

Bereits gegenwärtig sind in vielen die klassischen erdöl-exportierenden Länder entsprechende wirtschaftliche Diversifizierungsmaßnahmen sichtbar. Daher könnten synthetische Kraft- und Brennstoffe Ländern, die derzeit große Mengen fossiler Energieträger exportieren, eine alternative langfristige Wachstumsperspektive bieten. Dies kann den Strukturwandel in diesen

Ländern vorantreiben und Spannungsfelder für die Exportländer auflösen. Nicht zuletzt kann in diesen Ländern damit ein positiver Beitrag zum weltweiten Klimaschutz erfolgen.

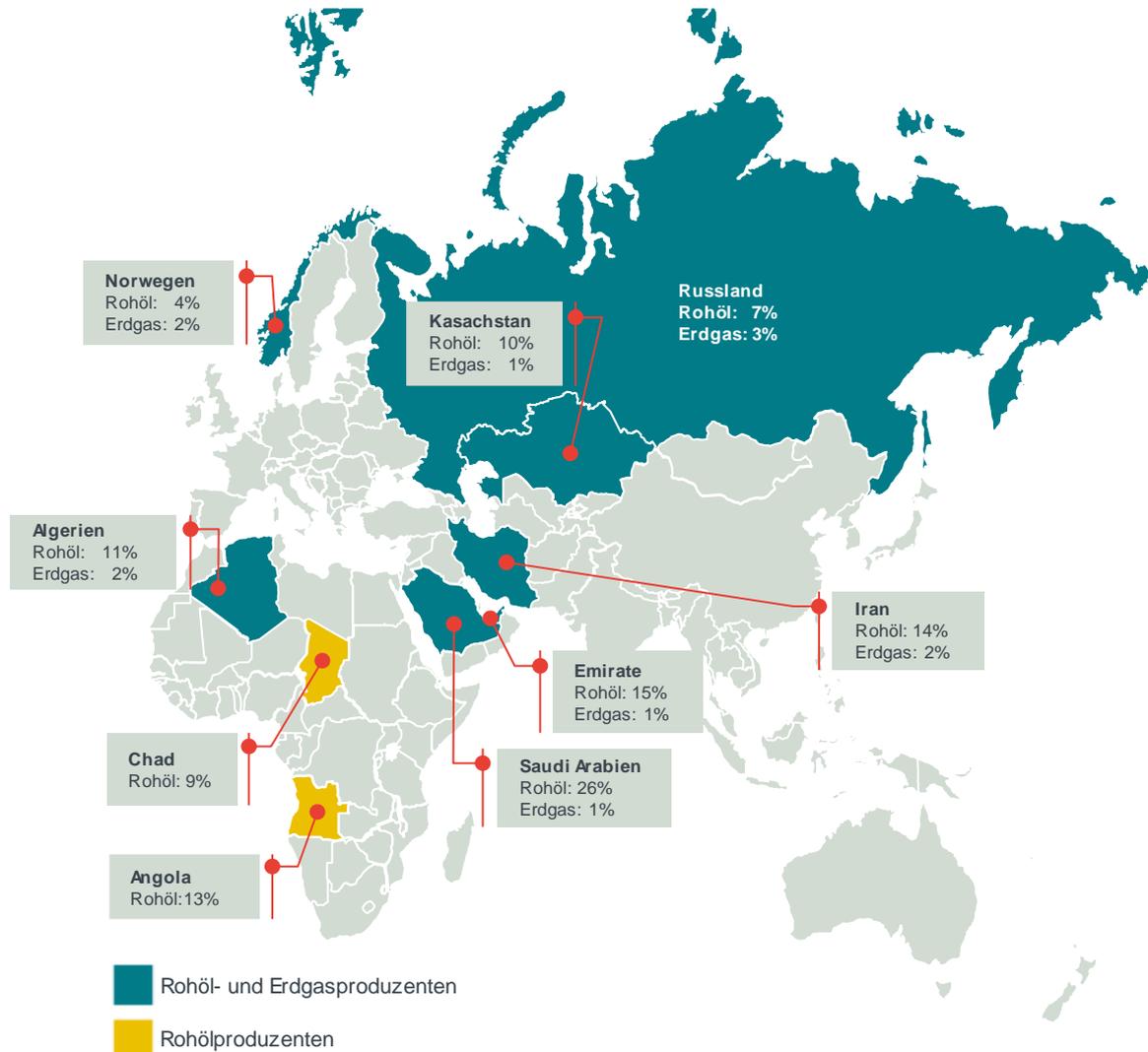
Insofern kann der Export CO₂-neutraler chemischer Energieträger unter Nutzung Erneuerbarer Energien hier einen weiteren Baustein zur Risikoabsicherung gegen ein „Ende des fossilen Zeitalters“ liefern, unter Erhalt einer entsprechenden Exportindustrie. D.h. hierüber könnten nicht nur alternative Wertschöpfungspotentiale für die Länder generiert, sondern eben auch gleichzeitig die gegenwärtig vorhandene enge Einbindung in internationale Handelsströme und einen umfassenden Welthandel erhalten werden – mit entsprechenden politischen Stabilisierungswirkungen. PtX eröffnet somit diesen Ländern eine wirtschaftliche Perspektive für einen gleitenden Übergang in ein „post-fossiles“ Zeitalter ohne massive Strukturbrüche.

Eine Reihe der identifizierten potentiellen PtX Produktionsländer gehören zu dieser Klassifizierung der Exporteure großer Mengen fossiler Energieträger – dies gilt zuvorderst für die erdölexportierenden Länder, aber auch für Erdgas- und Kohleexporteure. Saudi-Arabien zum Beispiel generiert über die Rohöl- und Erdgasproduktion zusammen einen Beitrag in Höhe von mehr als 27 % des nationalen BIP (Abbildung 38). Auch Qatar generiert insgesamt mehr als 21 % des BIP über die Rohöl- und Erdgasproduktion.



PtX eröffnet heutigen Öl- und Gas- exportierenden Ländern eine wirtschaftliche Perspektive für einen gleitenden Übergang in ein „post-fossiles“ Zeitalter.

Abbildung 38. Darstellung einiger Länder der aktuellen Top 20 der Öl- bzw. Erdgasproduzenten weltweit



Quelle: Weltbank, Anteil der Erdgas- und Rohölproduktion am nationalen BIP, 2016.

Hinweis: Gewählter Ausschnitt einiger Länder, die gemäß des „harten“ Kriteriums der Ressourcenverfügbarkeit potentielle PtX Exporteure werden könnten.

Internationale Zusammenarbeit wird gestärkt – dies trägt zur politischen Stabilität bei

Schließlich trägt die Stärkung internationaler politischer Verflechtungen zur politischen Stabilität bei. Dies gilt für den Handel mit synthetischen Kraft- und Brennstoffen genauso wie für alle anderen (zivilen) Handelsgüter.

Durch die Spezialisierung auf Wirtschaftsbereiche mit besonderen landesspezifischen Vorteilen und den internationalen „Tausch“ von Waren und Dienstleistungen profitieren Verbraucher in allen beteiligten Ländern – Handel ist grundsätzlich eine „Win-Win-“

Situation“. In diesem Geflecht würde sich auch ein möglicher internationaler Handel von synthetischen Kraft- und Brennstoffen einfügen.

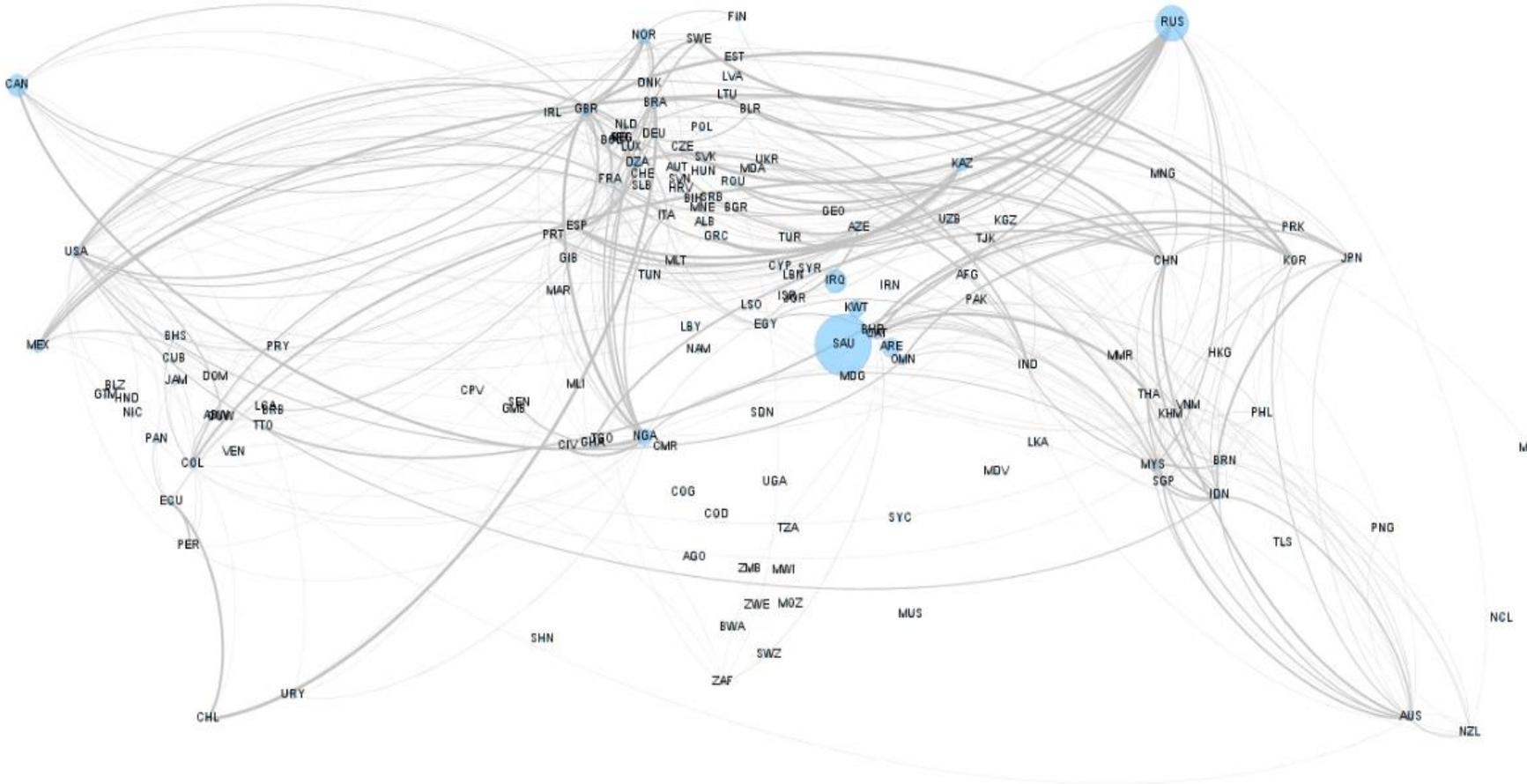
Abbildung 39 illustriert anhand der Handelsströme für Rohöl, wie gerade im Bereich der Kraft- und Brennstoffe ein Geflecht internationaler Handelsbeziehungen existiert, wie bei kaum einer anderen Produktgruppe. Hier liegt die große Chance darin, dass durch PtX auch Länder als Anbieter an diesen Strukturen partizipieren können, denen bislang entsprechende Exportprodukte fehlen.

In Summe zeigt sich, dass die Technologien für synthetische Kraft- und Brennstoffe einen erheblichen entwicklungspolitischen Hebel bieten: Selbst unter konservativen Annahmen wird sich ein Weltmarkt für PtX in einer Größenordnung etablieren, der in potenziellen PtX Erzeugerländern Umsätze und Investitionen auslösen kann, durch die neuartige und sehr wirkungsvolle volkswirtschaftliche Wachstumsimpulse in diesen Ländern ermöglicht werden. Gelänge es, diese Wertschöpfungspotentiale mit entwicklungspolitischen Zielen zu verknüpfen, böten sich erhebliche Potentiale für eine weitergehende internationale Zusammenarbeit. Dabei ist es hilfreich, dass gerade in bislang wirtschaftlich benachteiligten Regionen entsprechende Ressourcen und Standorte verfügbar sind, die eine günstige PtX Produktion ermöglichen.

Auch für Länder, die bislang stark vom Export fossiler Energieträger profitieren, kann der parallele Aufbau von PtX Strukturen sinnvoll sein, um sich gegen mögliche Nachfragerückgänge aufgrund internationaler Klimaschutzbemühungen abzusichern, und dabei gleichzeitig die eigene Einbindung in den internationalen Handelsbeziehungen zu erhalten.

Damit bietet diese Technologie als Ausgangspunkt für eine internationale Entwicklungspartnerschaft nicht nur unmittelbare wirtschaftliche Vorteile für Deutschland, sondern kann ein wichtiges stabilisierendes Element für die globale Wirtschaft liefern.

Abbildung 39. Ausschnitt der Handelsströme und Verflechtungen für Rohöl



Quelle: IW gemäß UN Comtrade

Hinweis: Dargestellt sind alle bilateralen Exporte ab einem Volumen von 10 Mio. Euro im Jahr 2015. Die Größe der Knotenpunkte ist äquivalent zu dem Exportvolumen von Rohöl. Keine vollständige Darstellung aller Länder.

6. FAZIT: SYNTHETISCHE KRAFT- UND BRENNSTOFFE SOLLTEN BESTANDTEIL DER INTERNATIONALEN ENERGIE- UND KLIMASCHUTZAGENDA SEIN

Die Analyse zeigt, dass PtX – nicht nur national, sondern auch auf globaler Ebene – in mehrfacher Hinsicht erhebliche Vorteile mit sich bringt:

- **Für die Transformation der Energiewirtschaft:** Synthetische Kraft- und Brennstoffe werden integraler Bestandteil einer Energiewende in Richtung Treibhausgas-Neutralität sein, schon allein deshalb, da in verschiedenen Sektoren chemische Energieträger unverzichtbar sind und Energie in großen Mengen nur chemisch speicherbar ist.
- **Für Technologielieferanten:** Deutschland kann bei der Herstellung und dem Export von Anlagengütern eine Vorreiterrolle einnehmen. Dies wirkt sich positiv auf Wirtschaft und Beschäftigte in Deutschland aus.
- **Für Exportländer:** Exportländer von PtX können von den Investitionen in den heimischen Energiesektor vor Ort profitieren. Dies gilt insbesondere auch für wirtschaftlich weniger starke Länder sowie Staaten, deren Wirtschaftsleistung heute (noch) in großem Umfang auf den Export fossiler Energieträger angewiesen sind.



Es geht darum, die Rahmenbedingungen für die Entstehung eines globalen PtX Marktes zu setzen!

Um dies zu erreichen, sollten frühzeitig politische Weichenstellungen gestellt werden. Hierbei geht es nicht darum, ein bestimmtes, heute definiertes Mengenziel für synthetische Kraft- und Brennstoffe, z.B. für das Jahr 2050 anzupeilen, sondern die Rahmenbedingungen für die Entstehung eines globalen PtX Marktes zu setzen. Wichtige Elemente sind hierbei:

- **Technologieentwicklung** – Technisch und wissenschaftlich ist Deutschland heute weltweit ein Vorreiter bei der PtX Technologieentwicklung. Nur mit einer umfassenden PtX Industrie sind die für eine breite Marktabtastung erforderlichen Kostenreduktionen erreichbar. Der Weg zu der erheblich größenseitigen Skalierung führt über großformatige Pilotprojekte und Demonstrationsanlagen.
- **Globaler Ansatz** – Sollen die wirtschaftlichen Vorteile des Aufbaus einer weltweiten PtX Industrie, gerade auch für

Deutschland, realisiert werden, muss hierbei der Import und internationale Handel von synthetischen Kraft- und Brennstoffen Bestandteil der deutschen bzw. europäischen Energie- und Klimaschutzstrategie sein. Energieimporte sind bereits heute üblich und akzeptiert – dies sollte auch in einer weitgehend dekarbonisierten Energiewelt Bestand haben. Technologieentwicklung und Skalierung sind also im globalen Maßstab voranzutreiben.

- **PtX als inhärenter Bestandteil der internationalen Energie- und Klimaschutzagenda** – Vor diesem Hintergrund sind internationale Energiekooperationen bilateraler wie auch multilateraler Natur zu fördern. Synthetische Kraft- und Brennstoffe sollten hierbei integraler Bestandteil von internationalen Energieabkommen, Energiepartnerschaften, Kooperationsprojekten, Klimaschutzverhandlungen etc. sein.

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

THG	Treibhausgasemissionen
CO ₂	Kohlenstoffdioxid
H ₂	Wasserstoff
CH ₄	Methan
PtX	Power-to-X
PtL	Power-to-Liquids (Flüssigkraftstoff)
PtG	Power-to-Gas
PtCH ₄	Power-to-Methan
PtH ₂	Power-to-Hydrogen (Wasserstoff)
EE	Erneuerbare Energie
PV	Photovoltaik
DAC	Direct Air Capture
kW	Kilowatt
TWh	Terrawattstunden
TWh _{el}	Terrawattstunden (elektrisch)
GW	Gigawatt
GWh	Gigawattstunden
HV	High-voltage (Hochspannung)
AC	Alternating current (Wechselstrom)
DC	Direct current (Gleichstrom)
NEP	Netzentwicklungsplan
PJ	Petajoule
ETR	Economic Trends Research
DE	Deutschland
RWTH Aachen	Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen

