



# IW-Gutachten

## **Synthetische Kraftstoffe: Potenziale für Europa**

**Klimaschutz- und Wertschöpfungseffekte eines Hochlaufs der Herstellung strombasierter flüssiger Energieträger**

Manuel Fritsch, Thomas Puls, Thilo Schaefer

Auftraggeber:

IWO Institut für Wärme und Mobilität e. V.

MEW Mittelständische Energiewirtschaft Deutschland e.V

UNITI Bundesverband mittelständischer Mineralölunternehmen e. V.

Köln, März 2021

## Inhaltsverzeichnis

<b>Zusammenfassung</b>	<b>2</b>
<b>1 Ausgangslage</b>	<b>4</b>
<b>2 Strombasierte synthetische Energieträger</b>	<b>7</b>
2.1 Eigenschaften synthetischer Kraftstoffe	8
2.2 Potenziale synthetischer Kraftstoffe für den Klimaschutz	9
<b>3 Die Effekte synthetischer Kraftstoffe für den europäischen Fahrzeugbau</b>	<b>14</b>
<b>4 Das Marktpotenzial für Anlagen zur Erzeugung von PtX</b>	<b>21</b>
<b>5 Neue zukunftsorientierte Arbeitsplätze im europäischen Maschinen- und Anlagenbau mit PtX-Technologien</b>	<b>27</b>
<b>6 Aufbau nachhaltiger Wertschöpfungsstrukturen in Regionen außerhalb von Europa</b>	<b>36</b>
<b>Literatur</b>	<b>43</b>

## Zusammenfassung

Aus grünem Strom hergestellte synthetische Kraftstoffe können einen wesentlichen Beitrag leisten, weltweit die Treibhausgasemissionen zu reduzieren. Produziert aus erneuerbar erzeugtem Strom lassen sich die flüssigen Energieträger klimaneutral in Verbrennungsmotoren einsetzen.

- Im **Flug- und Schiffsverkehr** stellen strombasierte flüssige Kraftstoffe aus heutiger Sicht die einzige Option für eine klimaneutrale Energieversorgung dar.
- Im **Straßen- und Schienenverkehr** sind synthetische Kraft- und Brennstoffe aufgrund ihrer hohen Energiedichte eine Ergänzung zur Direktelektrifizierung und ihre Verwendung kann dort den CO<sub>2</sub>-Ausstoß senken, wo weiterhin Fahrzeuge mit Verbrennungsmotoren fahren.

Der Einsatz strombasierter synthetischer Kraftstoffe bietet sich in erster Linie dort an, wo Langstreckenmobilität dominiert. In vielen Weltregionen wird deshalb auf mittlere Sicht weiterhin der Verbrennungsmotor zum Einsatz kommen. Dies lässt sich durch die Mobilitätsanforderungen beispielsweise in ländlichen Regionen, durch unzureichend ausgebaute Stromnetze, aber auch durch mangelnde Kaufkraft für den Erwerb neuer und in der Regel vergleichsweise teurer Elektrofahrzeuge erklären. Zu beachten ist auch die hohe wirtschaftliche Bedeutung des Fahrzeugbaus in vielen Ländern Mittel- und Osteuropas.

Durch den Einsatz synthetischer Kraftstoffe können über bestehende Liefer- und Transportinfrastrukturen **im aktuell vorhandenen Fahrzeugbestand umgehend und wirksam Treibhausgasemissionen** im Verkehrssektor reduziert werden. Gerade in diesem Sektor liegen die Ziele der europäischen Klimapolitik, die durch den jüngst beschlossenen Green Deal der Europäischen Kommission noch verschärft werden sollen, noch in weiter Ferne.

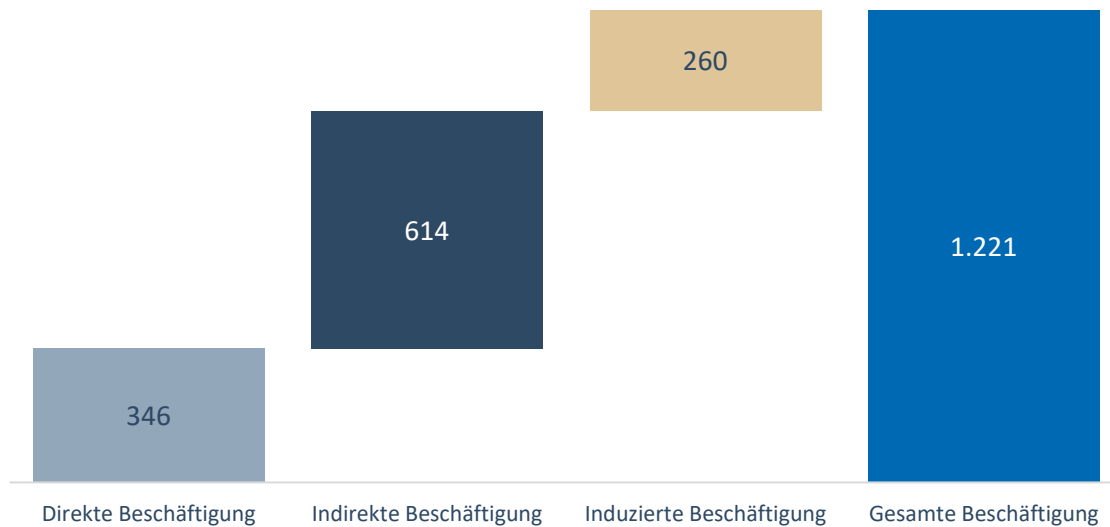
**Das Ziel der vollständigen Klimaneutralität ist aus heutiger Sicht nur mit dem Einsatz größerer Mengen synthetischer Kraftstoffe erreichbar.**

Für die Produktion synthetischer Kraftstoffe sind umfangreiche Investitionen in Anlagen zur Erzeugung von erneuerbarem Strom und dessen Umwandlung in flüssige Energieträger notwendig. Als wirtschaftlich besonders wettbewerbsfähige Produktionsstandorte bieten sich **sonnen- und windreiche Standorte** mit großer Flächenverfügbarkeit an, die zumeist **außerhalb Europas** liegen. Angesichts des enormen Bedarfs an erneuerbarer Energie für die Defossilisierung nicht nur der aktuellen Stromnachfrage, sondern auch der Sektoren Industrie, Gebäude und Verkehr, wo bislang überwiegend andere Energieträger eingesetzt werden, werden die Mitgliedstaaten der Europäischen Union über den Ausbau der eigenen Kapazitäten zur Erzeugung erneuerbaren Stroms hinaus auch auf Importe angewiesen sein.

Denkbare Produktionsstandorte liegen beispielsweise in Nordafrika und im Nahen Osten, Australien oder Patagonien. Durch die Investitionen in Elektrolyseure und Umwandlungsanlagen zur Erzeugung von synthetischen Energieträgern aus erneuerbarem Strom können sowohl **europäische Anlagenhersteller** als auch die **Wirtschaftsregionen an den Standorten zur Produktion synthetischer Energieträger** profitieren.

### Abbildung 1: Zusätzliche Arbeitsplätze in Europa durch den Export von Maschinen und Anlagen zur Produktion strombasierter synthetischer Energieträger (Power-to-X, PtX)

Beschäftigungseffekte in tausend Personen (Referenzszenario PtX-Weltmarkt)



Quellen: Eurostat (2020); OECD (2020); UN (2020); OECD (2018); Institut der deutschen Wirtschaft

Der Hochlauf der Produktion von strombasierten Energieträgern hat ein enormes Potenzial sowohl für die europäische Wirtschaft als auch für die Produktionsstandorte:

- **80 Milliarden Euro** zusätzliche jährliche Wertschöpfung entstehen für die europäische Wirtschaft durch die Produktion und den Export von PtX-Anlagen in die außereuropäischen Potenzialregionen.
- **1,2 Millionen neue Arbeitsplätze** können durch die Produktion und den Export von PtX-Anlagen in Europa geschaffen werden. Diese entstehen durch die eigene Produktion des Maschinen- und Anlagenbaus, durch deren Nachfrage nach Vorleistungsgütern sowie aufgrund der zusätzlichen Nachfrage nach Konsumgütern durch das gesteigerte Einkommen der dort Beschäftigten (Abbildung 1).
- Mehr als **340.000 neue hochproduktive Arbeitsplätze** können an einem PtX-Produktionsstandort entstehen, der ein Fünftel des weltweiten PtX-Nachfragepotenzials bedient.

Die EU erhält nun die Chance, sich als führender Anbieter nachhaltiger PtX-Technologien zu positionieren. Doch obwohl sich der Weltmarkt für Elektrolyseure zur Erzeugung von Wasserstoff in den letzten 20 Jahren schon verdoppelt hat, fand das Wachstum bislang größtenteils außerhalb Europas statt. Damit sich das ändert, müssen die entsprechenden Investitionen so bald wie möglich getätigt werden.

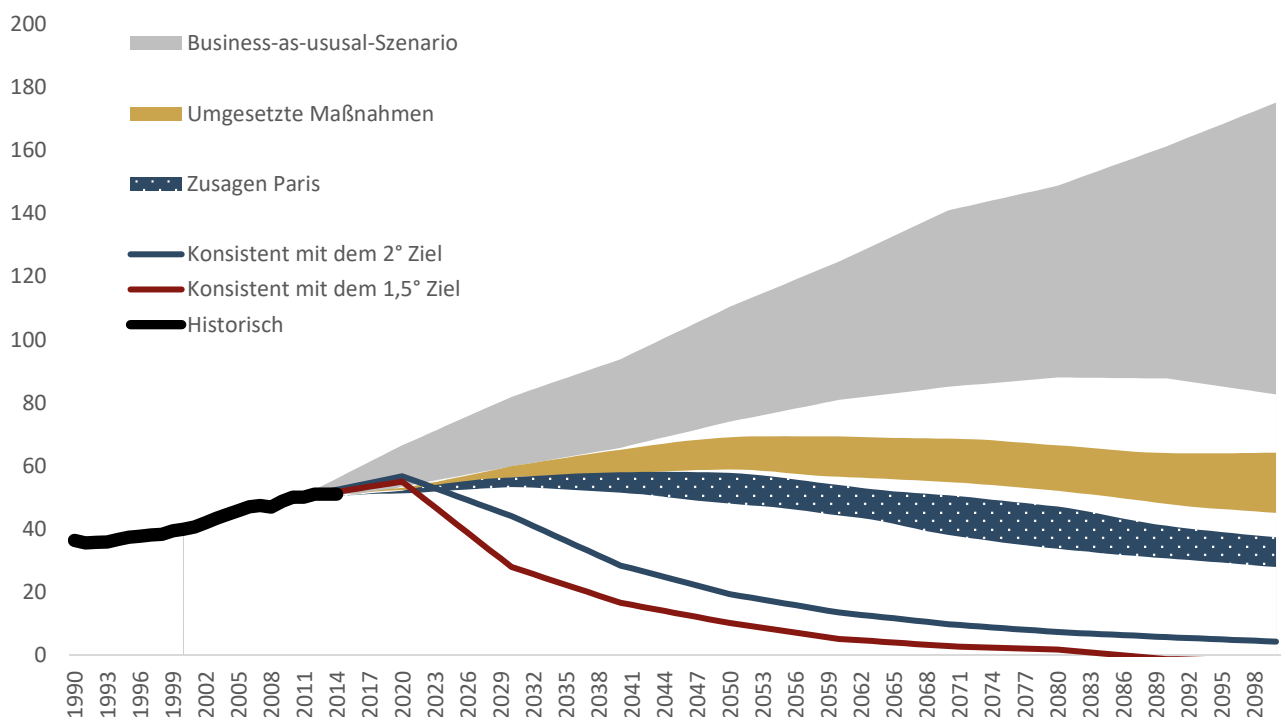
# 1 Ausgangslage

- Internationale Vereinbarungen auf UN- und EU-Ebene geben Reduktionsziele für Treibhausgasemissionen vor, die durch entsprechende europäische Rechtsakte für die Bundesregierung rechtsverbindlich sind.
- Der Europäische Rat hat eine Verschärfung des Reduktionsziels auf 55 Prozent bis 2030 im Vergleich zu 1990 beschlossen. Dadurch sind erhebliche zusätzliche Herausforderungen für die nationalen Sektorziele zu erwarten.
- Um das Ziel der Klimaneutralität zu erreichen, muss die gesamte Primärenergieversorgung von Industrie, Verkehr und Wärmeversorgung auf erneuerbar erzeugte Energie umgestellt werden. Das kann nur mithilfe von Strom und strombasierten Energieträgern aus erneuerbaren Quellen sowie Biomasse und daraus erzeugten Kraft- und Brennstoffen gelingen.

Auf der Weltklimakonferenz von Paris haben die meisten Länder der Welt die Reduktion ihrer Treibhausgasemissionen zugesagt. Allerdings reichen diese Zusagen nicht aus, um das Ziel eines maximalen Temperaturanstiegs von zwei Grad Celsius geschweige denn 1,5 Grad Celsius gegenüber dem Wert der Durchschnittstemperatur im vorindustriellen Zeitalter zu erreichen.

## Abbildung 1-1: Die bisherige Weltklimapolitik steuert in Richtung Zielverfehlung

Angaben in Gigatonnen CO<sub>2</sub>eq



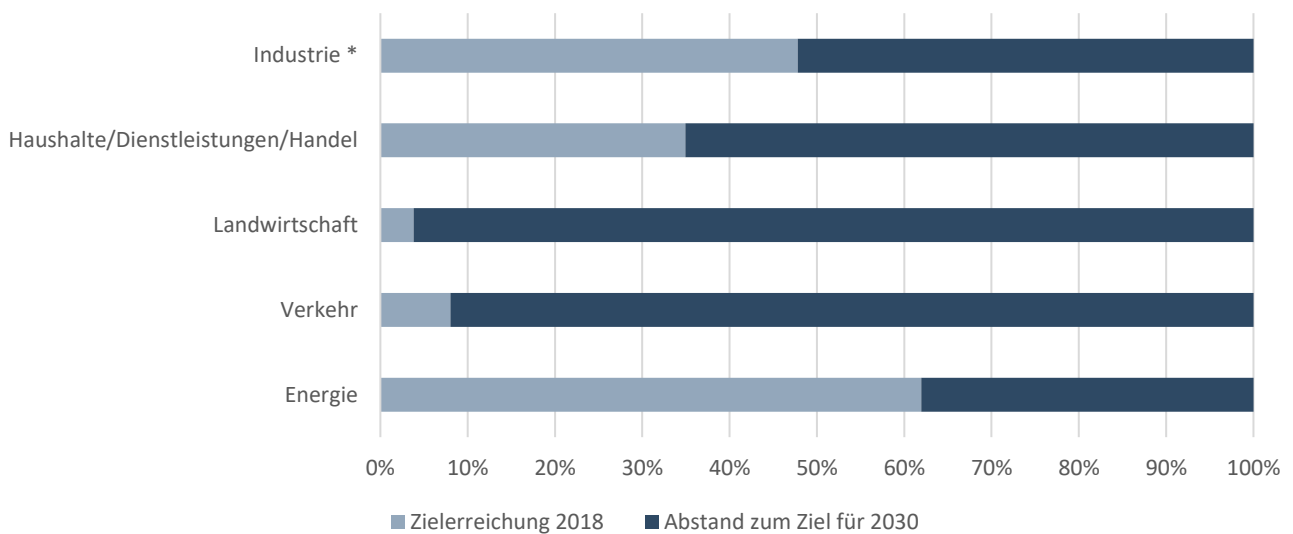
Quelle: Climate Action Tracker, 2019

Die bislang umgesetzten Maßnahmen führen gerade einmal zu einer Verlangsamung des Anstiegs der CO<sub>2</sub>-Emissionen (Abbildung 1-1). Demnach ist eine massive Verschärfung der Maß-

nahmen zur Verringerung der Emissionen erforderlich, um die klimapolitischen Ziele zu erreichen. Der europäische Green Deal, den die EU-Kommission vorantreibt, soll die Weichen in den kommenden Jahren so stellen, dass Europa bis zum Jahr 2050 klimaneutral wird. Mit ihrem Green Deal bekräftigt die europäische Kommission ihre Ambitionen in der Klimaschutzpolitik. Das Ziel für 2030 wird von 40 Prozent Reduktion der Treibhausgasemissionen gegenüber 1990 auf 55 Prozent hochgesetzt. Dementsprechend müssten auch diese sektorspezifischen Ziele verschärft werden.

### Abbildung 1-2: EU-28<sup>1</sup> – Zielerreichungsgrade nach Sektoren

Angaben in Prozent der Emissionsminderung gegenüber dem Basisjahr 2005



\* An dieser Stelle wird für den gesamten Industriesektor ein Ziel von -43 Prozent unterstellt  
Quelle: EEA, 2020 (v23)

Schon im Hinblick auf die bisher geltenden Ziele für 2030 bleiben aber mehrere Sektoren weit hinter den Anforderungen zurück. Während Industrie und Energiewirtschaft durch die Begrenzung der Emissionen im Europäischen Emissionshandelssystem (EU-ETS) einen deutlichen Rückgang des sektoralen CO<sub>2</sub>-Ausstoßes vorweisen können, sind die Emissionen im Verkehr und in der Landwirtschaft in den letzten Jahren kaum gesunken (Abbildung 1-2).

Anzumerken ist an dieser Stelle, dass bestehende nationale Regularien eine strikte Aufteilung der Emissionen entlang von Sektorgrenzen vornehmen. So gelten etwa alle Emissionen, die nicht unmittelbar beim Betrieb eines Fahrzeuges anfallen, nicht als Emissionen des Verkehrssektors. Das hat beispielsweise zur Folge, dass ein Elektroauto im Verkehrssektor als Null-Emissionsfahrzeug gilt, während die aus seinem Betrieb entstehenden Emissionen im Stromsektor verbucht werden. Ebenso fallen erhöhte Emissionen bei der Produktion eines Elektrofahrzeugs

<sup>1</sup> Für den vorliegenden Bericht wurden die jeweils aktuell verfügbaren Daten verarbeitet, die sich in der Regel noch auf die EU-28 beziehen.

für den Verkehrssektor nicht ins Gewicht. In Anbetracht der zunehmenden energetischen Kopplung der Sektoren ist dieses Vorgehen fragwürdig, repräsentiert aber den bestehenden rechtlichen Rahmen, weshalb im Folgenden auf dieser Grundlage argumentiert wird.

Wird der Ansatz der sektoralen Zielzuweisung beibehalten – wovon derzeit auszugehen ist – dann folgt aus der weiteren Verschärfung der Sektorziele, dass gerade Industrie, Wärme- und Verkehrssektor in Europa vor einer großen Herausforderung stehen. Der Landwirtschaftssektor, dessen Emissionen zumeist nicht aus der Nutzung fossiler Energien stammen, ist ein Sonderfall, der im Folgenden ausgeklammert wird. Ungeachtet der oftmals sehr hohen Vermeidungskosten in den kritischen Sektoren werden letztere künftig einen deutlich erhöhten Reduktionsbeitrag erbringen müssen. Hierzu wird es notwendig sein, fossile Brennstoffe wie Erdgas oder Erdöl in den sektoralen Wertschöpfungsketten bis 2050 schrittweise zu ersetzen. Das bedeutet, dass die gesamte Primärenergieversorgung von Industrie, Gewerbe, Handel, Haushalten, Verkehr, Landwirtschaft und Energie auf erneuerbare Primärenergie umgestellt werden muss. Diese Vorgabe können nur Strom und strombasierte Energieträger aus erneuerbaren Quellen sowie Biomasse und daraus erzeugte Kraft- und Brennstoffe erfüllen.

## 2 Strombasierte synthetische Energieträger

- Strombasierte synthetische Kraftstoffe haben eine hohe Energiedichte, durch die sie flexibel und universell einsetzbar sind. Über bestehende Liefer- und Transportinfrastrukturen kann der aktuell vorhandene Fahrzeugbestand versorgt werden.
- Synthetische Kraftstoffe können heutigen konventionellen Kraftstoffen beigemischt werden und so klimabilanziell die Emissionen der derzeitigen Fahrzeugflotte verringern.
- Eine dauerhafte fünfprozentige Beimischung strombasierter synthetischer Kraftstoffe würde im europäischen Durchschnitt in etwa so viele Emissionen reduzieren wie ein kompletter Neuzulassungsjahrgang von Pkw mit batterieelektrischem Antrieb, die dann während ihrer gesamten Nutzungsdauer ausschließlich mit erneuerbar erzeugtem Strom fahren.

Strom aus erneuerbaren Quellen wird die Grundlage aller Bestrebungen hin zum Ziel der Klimaneutralität in der Europäischen Union sein. Doch um dieses Ziel erreichen zu können, wird eine einfache Einspeisung in das Stromnetz nicht ausreichen. Erforderlich ist vielmehr eine energetische Kopplung der bisher streng getrennt betrachteten volkswirtschaftlichen Sektoren. Damit das möglich wird, muss die Form der Energiespeicherung und Energiebereitstellung an die Anforderungsprofile aller Sektoren angepasst werden. Da die traditionelle Versorgung über das Stromnetz nur einen Teil des Bedarfs von Industrie und Verkehr decken kann, wird der Strom auch speicherbar gemacht werden müssen, damit er die heutige Rolle der fossilen Energieträger in Industrie, Verkehrs- und Wärmesektor komplett übernehmen kann. Für die erfolgreiche Speicherung des Stroms bietet sich seine Umwandlung in stabile Moleküle an.

Der Oberbegriff für diese Stoffe ist PtX (Power-to-X). Dahinter verbergen sich synthetische Energieträger, in flüssigem oder gasförmigem Aggregatzustand. Insbesondere flüssige PtX können aufgrund ihrer hohen Energiedichte universell in unterschiedlichsten Anwendungsbereichen, vor allem in der Mobilität, eingesetzt werden. Da die Herstellung von PtX im Vergleich zur direkten ortsnahen Stromerzeugung und -verwendung immer mit zusätzlichem energetischem Aufwand verbunden ist, würde sich zunächst der Bedarf an erneuerbarem Strom entsprechend erhöhen. Dies wird insbesondere bei einer kompletten Defossilisierung Europas im Vergleich zu einem bislang niedrigeren Reduktionsziel (BCG/Prognos, 2018) zum Tragen kommen, da dieses ohne den Einsatz synthetischer Energieträger nicht umsetzbar ist. Im Szenario der vollständigen Defossilisierung ist der Import von erneuerbarer Energie unverzichtbar. Hierzu bieten sich PtX -Energieträger geradezu an, da sie an den weltweiten Standorten mit besonders hohem Solar-, Wind- und Flächenpotenzial im Vergleich zu Europa relativ kostengünstig hergestellt und zudem über die längeren Distanzen von dort zu den Nachfrageregionen relativ einfach und kostengünstig transportiert werden können. Nicht nur wirtschaftliche Gründe, auch Gründe der Akzeptanz in der Bevölkerung sprechen für einen solchen Ansatz.

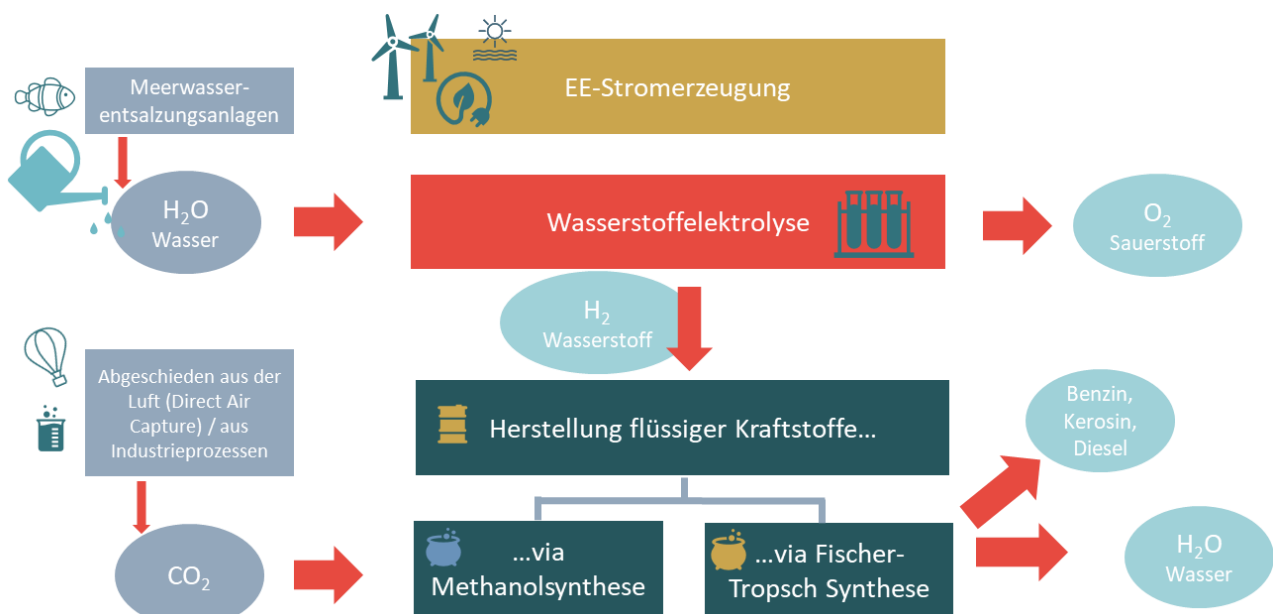


## 2.1 Eigenschaften synthetischer Kraftstoffe

Flüssige Energieträger auf fossiler Basis prägen die heutige Energieversorgung für viele Anwendungsbereiche. Dafür sprechen gleich mehrere technische Gründe: Sie haben eine hohe volumen- und massenbezogene Energiedichte, sind einfach und effizient zu speichern und lassen sich zudem gut transportieren. Sie durch strombasierte Energiespeicher zu ersetzen, erfordert in den meisten Fällen einen drastischen Umbau der zugrunde liegenden Infrastruktur. Abhängig von der Art des Energiespeichers muss einerseits in die Herstellung der Energieträger und andererseits in die Transport- und Verteilungsinfrastruktur investiert werden. In welchem Verhältnis die Investitionsbedarfe liegen, hängt davon ab, wie nah der jeweilige Energiespeicher den heutigen in Bezug auf seine stofflichen Eigenschaften kommt. Bei strombasierten Flüssigkraftstoffen kann die bestehende Transport- und Verteilungsinfrastruktur weiter genutzt werden, während diese für die Nutzung von Wasserstoff oder Strom deutlich ausgebaut werden muss. Bei den Betriebskosten der verschiedenen Pfade klimaneutraler Energieträger spielen die Kosten für die EE-Strombereitstellung eine wesentliche Rolle. Hier ergeben sich Vorteile für Standorte in außereuropäischen Regionen mit hohem Erneuerbare-Energien-Ertragspotenzial.

### Abbildung 2-1: Herstellung flüssiger Energieträger aus erneuerbar erzeugtem Strom

Schematische Darstellung



Quelle: Bothe et. al. (2018)

Grundsätzlich ist es möglich, jeden Kohlenwasserstoff herzustellen, indem man über Elektrolyse Wasserstoff herstellt, der dann unter Zugabe von Kohlendioxid zu beliebigen Ketten synthetisiert wird. Dieser Prozess (Abbildung 2-1) erfordert aber eine relativ hohe Zufuhr von Prozessenergie typischerweise in Form von Wärme. Die wichtigsten strombasierten Energieträger sind Wasserstoff, der heute insbesondere in der chemischen Industrie als Synthesegas verwendet wird, sowie flüssige (Power-to-Liquid – PtL) oder gasförmige Energieträger (Power-to-Gas – PtG). PtL und PtG sind chemisch betrachtet vergleichbar mit reinem Kerosin, Benzin, Diesel sowie Erdgas und können dementsprechend auch überall dort verwendet werden, wo bislang diese Kraft- und Brennstoffe auf fossiler Basis verwendet werden. Aufgrund ihrer chemischen

Reinheit sind strombasierte Kraftstoffe den heute gebräuchlichen Brenn- oder Kraftstoffen in Bezug auf deren Anwendungseigenschaften sogar überlegen.

Im Straßenverkehr beispielsweise kann die aus erneuerbaren Quellen erzeugte Energie also auf zwei verschiedenen Wegen in das Fahrzeug gelangen: Direkt über das Stromnetz in ein batterieelektrisches Fahrzeug oder indirekt mittels Umwandlung in synthetische flüssige oder gasförmige PtX-Kraftstoffe. Während bei der Direktelektrifizierung Ladeinfrastrukturen aufgebaut und neue Fahrzeuge erworben werden müssen, können beim Einsatz flüssiger Kraftstoffe, wie beispielsweise synthetischem Diesel, bestehende Tankstellen und Fahrzeuge weitergenutzt werden. Strombasierte Kraftstoffe in Gasform nehmen eine Zwischenposition ein. Bei Nutzung von Wasserstoff kann volumen- und gewichtsbezogen in Hochdrucktanks erheblich mehr Energie gespeichert werden als bei der Speicherung in Batterien. Dies erfordert aber wiederum erhebliche technische und energetische Aufwendungen für Aufbau und Erhalt des erforderlichen Drucks. Durch die Umwandlung des erneuerbar erzeugten Stroms in Wasserstoff und im nächsten Schritt in flüssige Energieträger ist der Energiebedarf höher als bei der unmittelbaren Nutzung von Strom. Dafür müssen bei der Nutzung von synthetischen Flüssigkraftstoffen Versorgungsinfrastruktur und Fahrzeugbestand nicht neu aufgebaut werden. Die Nutzen-Kosten-Relationen sind für die unterschiedlichen Energieträger und eingesetzten Technologien entlang der Wertschöpfungsketten unterschiedlich ausgeprägt.

Zur Herstellung möglichst passgenauer und sofort einsetzbarer synthetischer Kraftstoffe sind zusätzlich zur Produktion des Stroms aus erneuerbaren Energien Investitionen in Umwandlungsanlagen erforderlich. Das sind beispielsweise Elektrolyseure zur Herstellung von Wasserstoff, Syntheseanlagen zur Herstellung von synthetischen Flüssigkraftstoffen oder Methan, sowie Anlagen zur Gewinnung von CO<sub>2</sub>. Als CO<sub>2</sub>-Quellen stehen verschiedene Möglichkeiten zur Verfügung: biogene Quellen, das Direct-Air-Capture-Verfahren (hierbei wird das CO<sub>2</sub> der Atmosphäre entnommen) oder – zumindest für eine Übergangszeit – die Verwendung von Emissionen aus Industrieanlagen, die bis auf Weiteres schwer zu dekarbonisieren sind.

## 2.2 Potenziale synthetischer Kraftstoffe für den Klimaschutz

Im Zuge der angestrebten Klimaneutralität in den Mitgliedsstaaten der EU entsteht ein enormer Bedarf an regenerativem Strom. Künftig muss nicht nur die gesamte heutige Stromnachfrage über erneuerbare Quellen gedeckt werden. Vielmehr muss dann auch der Bedarf an Prozessenergie (in der Regel Wärme) und der Energiebedarf für Mobilität, Privathaushalte etc. über Strom aus regenerativen Quellen gedeckt werden. Dabei wird es notwendig werden, den Strom in verschiedenen Speicherformen einzubringen. Eine dieser Speicherformen sind synthetische PtL-Kraftstoffe. Sie werden eine gewichtige Rolle spielen, denn Batterien können nur einen Teil der Speicheranforderungen abdecken. Gerade im Verkehrssektor ist der Einsatz von aus Strom hergestellten, flüssigen Energieträgern unverzichtbar. Luft- und Seefahrt sind auf diese Stoffe angewiesen und auch im Straßengüterverkehr stoßen andere Energieträger oft an ihre Grenzen, da erhebliche Energiemengen nötig sind, um größere Gütermengen zu bewegen. Das Eigengewicht des Energiespeichers kann diesen Energiebedarf zusätzlich steigern. Zudem ist auch der zur Energiespeicherung verfügbare Bauraum in mobilen Anwendungen begrenzt, was ebenfalls bei der Wahl des Verfahrens der Energiespeicherung berücksichtigt werden muss.

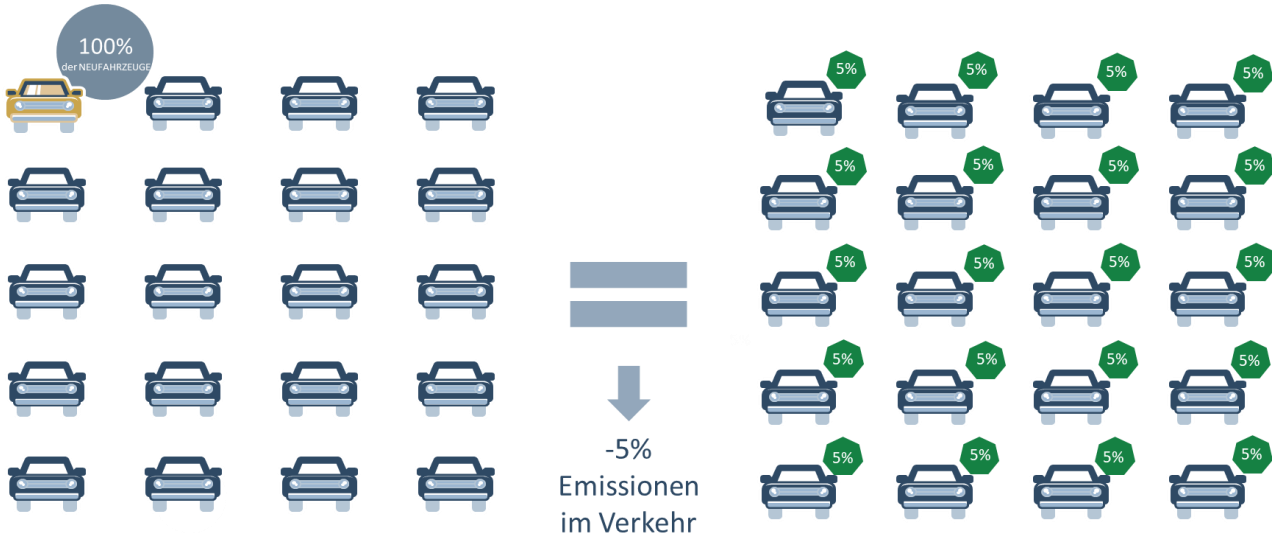
In der Industrie sind Erdöl und Erdgas neben ihrer Rolle bei der Erzeugung von Prozessenergie auch als Rohstofflieferanten von Bedeutung. Aus ihnen werden Wasserstoff und Kohlenwasserstoffe gewonnen, die beispielsweise die Grundlage für unterschiedlichste technische Kunststoffanwendungen sind. Beispielsweise seien an dieser Stelle Anwendungen in der Medizintechnik und Substitute für bestimmte metallische Werkstoffe (zwecks Gewichtsreduzierung oder Materialbeständigkeit) genannt. Fossile Kohlenwasserstoffe kommen aber auch bei der Herstellung von Baustoffen und in zahlreichen chemischen Prozessen zum Einsatz. Beispielsweise wird der heute industriell eingesetzte Wasserstoff fast immer aus Erdgas gewonnen, wodurch ebenfalls Treibhausgasemissionen entstehen. Auch für diese stofflichen Anwendungsbereiche ist ein Umstieg auf nicht-fossile Ausgangsstoffe erforderlich.

Synthetische Kohlenwasserstoffe bieten dabei aufgrund ihrer stofflichen Eigenschaften einige Vorteile, die gegen die energetischen Umwandlungsverluste in ihrer Nutzungskette abgewogen werden müssen. Zu beachten ist an dieser Stelle etwa, dass strombasierte Kraftstoffe in jedem bestehenden Fahrzeug genutzt werden können. Sie stellen zusammen mit den aus Biomasse hergestellten Kraftstoffen die einzige technische Methode dar, mit deren Hilfe sich die CO<sub>2</sub>-Emissionen des heutigen Fahrzeugbestands bilanziell bis zur vollständigen Treibhausgasneutralität reduzieren lassen. Die Verwendung von Biokraftstoffen kann große Emissionsreduktionen erbringen, wie das Beispiel Schwedens deutlich zeigt (Puls, 2019). Ihre Bereitstellung unterliegt aber auch deutlichen Mengenrestriktionen, weshalb sie langfristig eher eine Ergänzung zu strombasierten Kraftstoffen darstellen.

Neu zugelassene Pkw bleiben im Durchschnitt sehr lange in der globalen Fahrzeugflotte. Wie lange genau ist insofern schwierig zu bestimmen, als ältere Pkw oft in Länder verbracht werden, die keine detaillierten Statistiken über ihre Flotten führen. Bereits in der EU sind die Unterschiede groß. So beträgt das durchschnittliche Alter eines in Luxemburg zugelassenen Pkw nicht einmal sieben Jahre, in Litauen sind es fast 17 Jahre (ACEA, 2020b). Das Fahrzeugalter bei Verschrottung wird in Europa nicht statistisch erfasst. In Anbetracht dieser Altersstrukturen, die sich in absehbarer Zeit nicht gravierend verschieben werden, ist es von großer Bedeutung, die aktuelle Flotte mit emissionsärmeren Kraftstoffen versorgen zu können. Durch die Option, sie in fast jedem bestehenden Fahrzeug nutzen zu können, hat man mit den strombasierten Kraftstoffen einen starken Hebel, um beispielsweise die Emissionen des Verkehrs zu senken. Dessen Wirksamkeit lässt sich recht gut demonstrieren, wenn man sie mit der von Elektroautos, die ja aufgrund der bestehenden Regulatorik als emissionsfrei gelten, in Relation stellt.

## Abbildung 2-2: Große Wirkhebel treibhausgasneutraler flüssiger Kraftstoffe

Der Effekt von 100 Prozent emissionsfreien Neuwagen in einem Jahr entspricht der Beimischung von 5 Prozent emissionsfreier Kraftstoffe



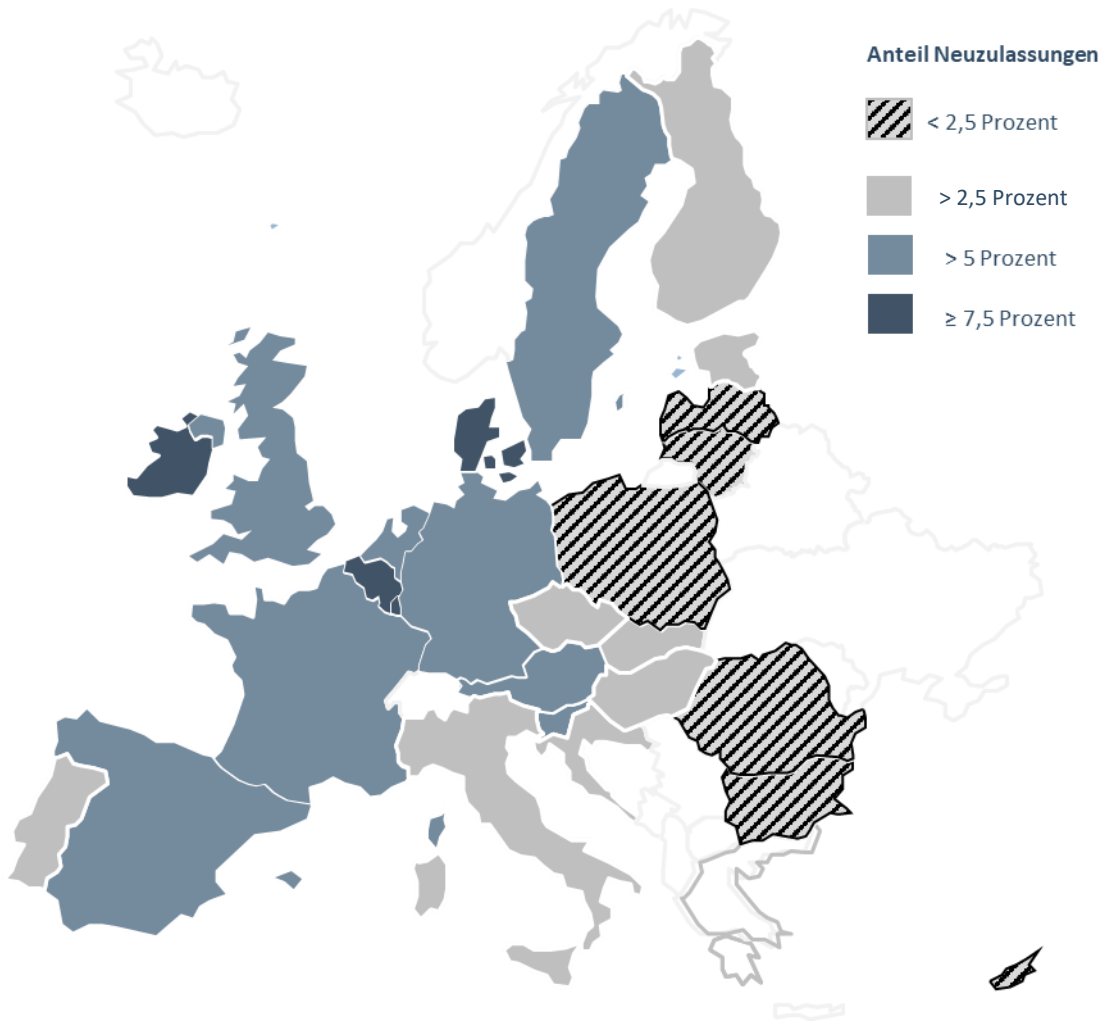
Quelle: Eigene Darstellung

In der Europäischen Union kommen die Neuzulassungen von Pkw üblicherweise auf ein Volumen, welches etwas mehr als 5 Prozent des Bestands entspricht. Ein normaler Zulassungsjahrgang würde vereinfacht gedacht also im Rahmen der gelten Berechnungsvorschriften die Emissionen der Pkw-Flotte um 5 Prozent senken. Eine dauerhafte Beimischung von 5 Prozent strombasierten Kraftstoffs hätte in etwa den gleichen Effekt auf die Emissionen der Pkw (Abbildung 2-2) und könnte zugleich auch die Emissionen der Nutzfahrzeuge senken. Anzumerken ist an dieser Stelle noch, dass der Einspareffekt durch beigemischte synthetische Kraftstoffe mit Sicherheit eintritt, während bei neu zugelassenen Elektroautos Unsicherheit darüber besteht, wie sie tatsächlich genutzt werden. Ein kaum gefahrener Zweitwagen wird nicht den Einspareffekt eines Fahrzeugs erzielen, mit dem täglich gependelt wird.

Dieser Vergleich gibt den europäischen Durchschnitt wieder. Betrachtet man die einzelnen Mitgliedsländer, so ergibt sich aufgrund des sehr unterschiedlichen Verhältnisses von Neuzulassungen zum Fahrzeugbestand ein sehr uneinheitliches Bild. In Luxemburg erreichten die Neuzulassungen im Jahr 2018 ein Volumen, welches 12,7 Prozent des Pkw-Bestands entsprach. In Bulgarien waren es hingegen nur 1,2 Prozent. Generell zeigt sich bei dieser Relation ein deutliches Ost-West-Gefälle (Abbildung 2-3). Gerade in den wirtschaftlich schwächeren Beitrittsländern wird eine Defossilisierung durch das Inverkehrbringen von Elektroautos sehr viel länger dauern als in den wohlhabenderen Ländern Westeuropas. Dementsprechend würde das Beimischungsäquivalent in diesen Staaten ebenfalls sichtbar unter 5 Prozent liegen.

## Abbildung 2-3: Langsamer Flottenaustausch im Osten Europas im Jahr 2018

Anteil neuzugelassener Pkw am Pkw-Bestand in Prozent



Keine Angaben für Griechenland und Malta

Quelle: Eurostat, 2020; ACEA, 2019

Ein wesentlicher Vorteil, der unabhängig davon besteht, ob ein Kohlenwasserstoff fossil oder synthetisch ist, ist die gute Speicherfähigkeit flüssiger Energieträger. Sie vereinen eine hohe volumen- und gewichtsspezifische Energiedichte. Aus den stofflichen Eigenschaften resultiert ein weiterer Vorteil synthetischer Kraft- und Brennstoffe. Sie können mithilfe bestehender Infrastrukturen auch über große Strecken kostengünstig transportiert und anschließend verteilt werden. Die hierfür notwendige Infrastruktur in Form von Pipelines, Tankern und Tanklagern bis hin zum ausgebauten Tankstellennetz ist schon vorhanden und verbindet bereits potenzielle Produktionsgebiete von synthetischen Kraftstoffen mit potenziellen Nachfrageregionen.

Die hohe Energiedichte synthetischer Energieträger erleichtert also den Transport, sodass eine Erzeugung an besonders effektiven Standorten mit intensiver Sonneneinstrahlung oder starkem und dauerhaftem Wind einfacher wird. Die Kosten der Herstellung von synthetischen Kraft- und Brennstoffen können durch den Import im Vergleich zu einer Produktion in Europa deutlich gesenkt werden. Hintergrund ist, dass die Produktion von strombasierten Kraftstoffen in besonders sonnen- und windreichen Regionen relativ günstiger wird (Seite 36 ff.). Da zudem eine sichere Wasserversorgung nötig ist, scheinen etwa die küstennahen Regionen Nordafrikas als

Standort für Elektrolyseanlagen besonders geeignet, um hier flüssige Energieträger für die europäische Nachfrage zu produzieren. Erneuerbarer Strom ist dort nicht nur weitaus günstiger zu produzieren als an vielen europäischen Standorten, sondern bei der Elektrolyse und Synthese der chemischen Kraftstoffe ist bei einem Markthochlauf der entsprechenden Anlagen auch eine erhebliche Kostendegression zu erwarten, sodass auf diese Weise produzierte flüssige Kraftstoffe perspektivisch im Preis sinken werden. Wenn die politischen Rahmenbedingungen offen für die verschiedenen Optionen klimaneutraler Technologien gestaltet werden, erscheint bis 2050 ein Endverbraucherpreis zwischen 1,38 Euro und 2,17 Euro für einen Liter synthetischen Dieselkraftstoffs möglich (Prognos et.al., 2018, S. 43 f.).

Im Rahmen ihres Green Deals haben die Europäische Kommission, aber auch einzelne Mitgliedstaaten wie beispielsweise Deutschland Wasserstoffstrategien verabschiedet, um die Voraussetzungen für den Aufbau einer Wasserstoffwirtschaft zu schaffen, die perspektivisch auf der Herstellung aus erneuerbaren Energien basiert. Bei geeigneter Ausgestaltung sind letztere eine wichtige Grundlage für synthetisch hergestellte flüssige Energieträger. Deren Marktpotenziale sind nicht auf Europa beschränkt, sondern entstehen global. Neben den umwelttechnischen und organisatorischen Vorteilen der Nutzung von flüssigen Energieträgern bieten sich für die europäische Wirtschaft hohe Wertschöpfungs- und Beschäftigungspotenziale bei einer erfolgreichen Integration von flüssigen Energieträgern in den Wirtschaftskreislauf. Dies gilt sowohl für den Aufbau zusätzlicher Beschäftigung im europäischen Maschinen- und Anlagenbau als auch für Wirtschaftswachstum, Beschäftigung und Wohlfahrt in den potenziellen PtX-Exportländern.

### 3 Die Effekte synthetischer Kraftstoffe für den europäischen Fahrzeugbau

- Im Schiffs- und Flugverkehr stellen strombasierte synthetische Kraftstoffe die einzige Option zur Reduktion von Treibhausgasemissionen dar. Im Straßen- und Schienenverkehr können sie dort den CO<sub>2</sub>-Ausstoß senken, wo weiterhin Fahrzeuge mit Verbrennungsmotoren fahren.
- In den Staaten, die ab 2004 der EU beigetreten sind, haben batterieelektrische Fahrzeuge bislang kaum eine Bedeutung, obwohl der Fahrzeugbau in einer Reihe von Ländern eine große Rolle bei Wertschöpfung und Arbeitsplätzen spielt. Mit synthetischen Kraftstoffen fahren auch Fahrzeuge mit klassischen Antrieben emissionsärmer.
- In vielen Anforderungskonstellationen, in denen erneuerbar erzeugter Strom nicht unmittelbar in ausreichender Menge verfügbar ist, sei es in ländlichen Regionen oder auf langen Fahrstrecken ohne entsprechende Infrastruktur, können strombasierte Kraftstoffe einen Beitrag zum Erreichen der Klimaziele leisten.

Ein zentraler Vorteil strombasierter Kraftstoffe liegt darin, dass sie mit der vorherrschenden Antriebstechnik im Mobilitätssektor kompatibel sind. Im Falle der Langstreckenverkehre mit Schiff oder Flugzeug stellen sie zudem die einzige Option zur Defossilisierung dar. Das bedeutet einerseits, dass diese Kraftstoffe genutzt werden können, um die Emissionen des heutigen Fahrzeugbestands ab dem Zeitpunkt ihrer Markteinführung zu reduzieren. Andererseits folgt aus dieser Eigenschaft auch, dass die Schaffung eines signifikanten Angebots an synthetischen Kraftstoffen in Wechselwirkung mit dem bereits angelaufenen Transformationsprozess im Fahrzeugbau und damit auch mit dem globalen Mobilitätsangebot steht. In diesem Kontext sind zwei Aspekte beachtenswert. So kann nicht davon ausgegangen werden, dass die Umstellung auf klimaneutrale Mobilität in allen Teilen der Welt gleich verläuft. Zu groß sind die Unterschiede in Mobilitätsanforderungen und verfügbaren Versorgungsinfrastrukturen. Um alle Teile der Welt mit Mobilitätsangeboten versorgen zu können, wird daher die konventionelle Technik auf absehbare Zeit eingesetzt werden, auch wenn derzeit in einigen Pkw-Absatzmärkten, wie in Westeuropa, auf Elektromobilität politisch stark fokussiert wird. Zudem kann das Angebot an synthetischen Kraftstoffen helfen, diesen Transformationsprozess so zu gestalten, dass allzu harte Brüche vermieden werden, und kann damit einen Beitrag zur wirtschaftlichen Stabilität leisten. Dies gilt vor dem Hintergrund, dass der Fahrzeugbau eine der größten Industriebranchen weltweit ist und in nicht wenigen Regionen das wirtschaftliche Rückgrat bildet.

Der Fahrzeugbau umfasst neben der Autoindustrie auch die Produktion sämtlicher anderer Fortbewegungsmittel, also auch von Flugzeugen, Schiffen oder Eisenbahnen. Auch der Bau von Verbrennungsmotoren für Fahrzeuge gehört typischerweise in diese Kategorie, während beispielsweise die Produktion von Batterien eher im Bereich der Elektroindustrie verbucht wird. Die Umstellung auf batterieelektrische Antriebe würde somit eine spürbare Wertschöpfungsverschiebung zwischen Industriezweigen und Produktionsstandorten bewirken. Dies ist insbesondere für Automobile, Schiffe oder Flugzeuge sehr gut möglich, da es sich dabei um Produktgruppen handelt, die weitestgehend für den Weltmarkt entwickelt und global vertrieben werden. Das liegt nicht zuletzt an der einheitlichen Energieversorgung, denn ein Auto, Flugzeug oder Schiff

wird weltweit mit stofflich vergleichbarem Benzin, Kerosin oder Diesel betrieben. Die Motortechnik ist dabei in der Lage, mit schwankenden Qualitäten zu arbeiten, sodass die Motoren global einsetzbar sind. Im Schienenverkehr ist das dagegen nicht der Fall, zumal es eine Vielzahl nationaler Normen gibt. Dementsprechend gibt es auch keinen vergleichbaren Weltmarkt für Schienenfahrzeuge, weshalb Lokomotiven und Waggons überwiegend in Kleinserien nach exakten Kundenspezifikationen hergestellt werden. Das hat unter anderem zur Folge, dass es nur selten möglich ist, Größenvorteile in der Produktion zu realisieren. Einer der wichtigsten Faktoren, welche die nationalen Bahnnetze diversifizieren, ist die Energieversorgung. So gibt es eine Vielzahl von Bahnstromsystemen, die den Grenzübertritt auch in der Europäischen Union enorm erschweren. Hinzu kommen Schienennetze, die mit Dieselloks betrieben werden, was gerade außerhalb der Industrieländer oftmals den Standard darstellt, da die Stromversorgung zu unzuverlässig für den Bahnbetrieb ist. In den letzten Jahren wurden zudem erste Züge mit Brennstoffzellen eingesetzt, die also auf Wasserstoff als Energieträger zurückgreifen. Beim Einsatz von flüssigen synthetischen Kraftstoffen wäre ein klimaneutraler Betrieb von den derzeit dieselbetriebenen Schienenfahrzeugen möglich, ohne dass ein Antriebswechsel erforderlich ist.

Es ist davon auszugehen, dass sich insbesondere der Weltmarkt für Automobile in Richtung einer Diversifizierung der Antriebe entwickeln wird. Mit Hilfe von staatlichen Regulierungen und finanziellen Anreizen soll derzeit insbesondere die Nachfrage nach batterieelektrischen Fahrzeugen angeschoben werden. Dies führt dazu, dass an einigen Standorten bereits die Produktionskapazitäten hin zu elektrischen Antriebssträngen umgeschichtet werden. Zeitgleich werden Kapazitäten in der Fertigung von Verbrennungsmotoren abgebaut oder verlagert. In der EU wird heute vor allem auf das batterieelektrische Fahrzeug gesetzt. Alternativ zu den batterieelektrischen Antrieben setzen einige Regionen, wie beispielsweise Japan und Südkorea, tendenziell auch auf Antriebstechnologien basierend auf dem Energieträger Wasserstoff (insbesondere mit der Brennstoffzellentechnologie). In anderen Märkten wie Südamerika, ASEAN oder Afrika sind hingegen Umstellungen bei Antriebstechnologien kaum zu beobachten, auch wenn die Datenlage über Zulassungen von Elektrofahrzeugen in diesen Märkten nur bruchstückhaft ist. Die vorhandenen Daten sind aber recht eindeutig.

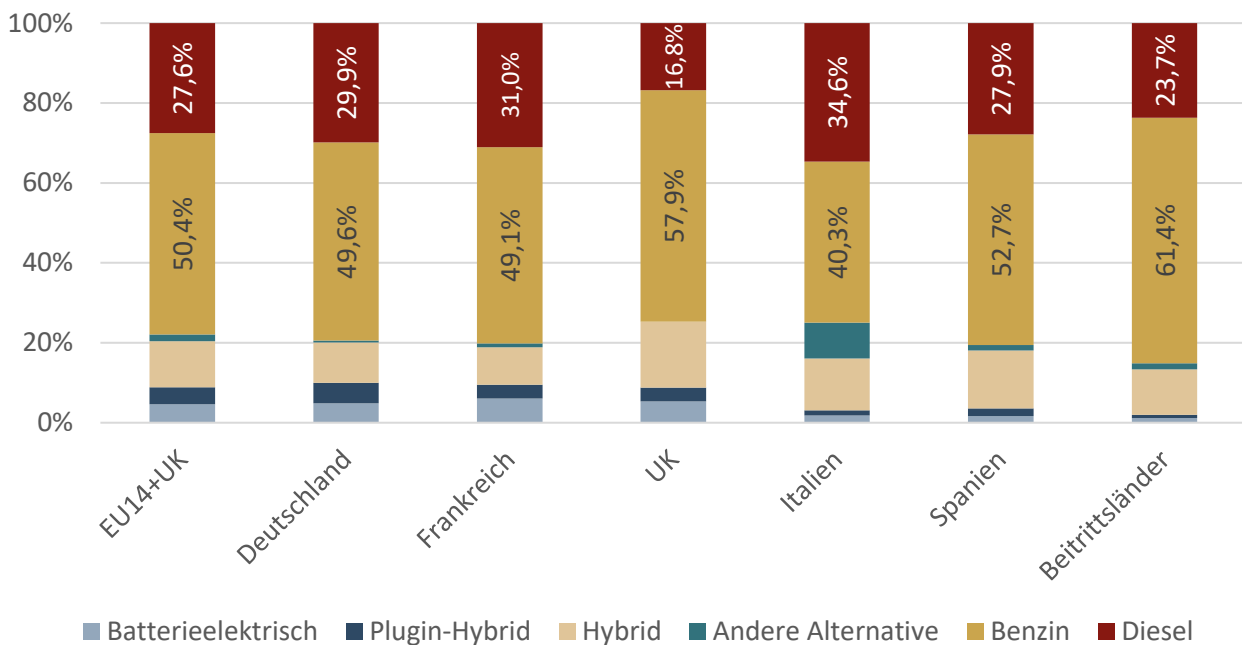
So befanden sich Ende 2018 unter den etwa 38 Millionen in Brasilien zugelassenen Pkw nur etwa 1.000 Elektroautos, wobei es sich zumeist um PHEV handelte (Globenewswire, 2020). In Indien wurden im letzten Fiskaljahr 3.400 elektrische Pkw zugelassen, in der Vorperiode waren es 3.600 (SMEV, 2020). In Indien werden im Kalenderjahr etwa 3 Millionen Pkw zugelassen (VDA, 2020). Die eher geringe Akzeptanz von Elektroautos in diesen Märkten müsste auf mehrere Gründe zurückführbar sein: In diesen Regionen ist erstens die allgemeine Kaufkraft in der Bevölkerung bei weitem nicht so ausgeprägt wie beispielsweise in westeuropäischen Ländern. Dadurch ist die Anschaffung von teureren Elektroautos für den Großteil der Autokäufer nicht erschwinglich. Zweitens dürfte in vielen Ländern das Stromnetz heute bereits weniger zuverlässig sein. Das wäre aber gerade die zwingende Voraussetzung für den Aufbau einer neuen stromversorgenden Infrastruktur, die wiederum enorme Investitionen in diesen Ländern erfordert. Drittens kommt es neben der geringeren Kaufkraft und Sicherheit der Stromversorgung auch auf technische Verlässlichkeit und universelle Anwendbarkeit der Fahrzeuge an, da gerade auch in Regionen mit geringerer Siedlungsdichte oder längeren und zum Teil auch anspruchsvolleren Transportstrecken Zuverlässigkeit eine wichtige Rolle spielt.



Bezüglich all dieser Kriterien weist der Verbrennungsmotor große Vorteile auf, da er mit dem Kraftstofftank einen größeren Energiespeicher mobil mit sich führt. Damit können verlässlich größere Reichweiten des Fahrzeugs, eine größere Unabhängigkeit von Infrastrukturen und mehr Streckenflexibilität sichergestellt werden. Deshalb wird in diesen Regionen absehbar weiterhin die Technologie der Verbrennungsmotoren eingesetzt werden. Aber auch in den entwickelten Regionen fallen Mobilitätsmuster und damit auch die Akzeptanz für Elektroautos recht weit auseinander. Zum Beispiel dürfte in den ländlichen Regionen in den USA das allgemeine Nutzerprofil von Straßenfahrzeugen ein gänzlich anderes sein als in den Ballungszentren. Eine Differenzierung dieser Art gilt aber sehr wahrscheinlich nicht nur für die USA, sondern weltweit. Selbst innerhalb von Europa kann man erhebliche Unterschiede bezüglich der Anteile von Elektrofahrzeugen ausmachen, wie es die aktuellen Zulassungszahlen verdeutlichen (Abbildung 3-1).

### Abbildung 3-1: Weiterhin kaum Elektroautos in Süd- und Osteuropa

Marktanteile verschiedener Antriebskonzepte an den Neuzulassungen in den ersten drei Quartalen 2020



Quelle: ACEA, 2020; eigene Berechnungen

Betrachtet man die nationalen Fahrzeugmärkte in der Europäischen Union, so zeigen sich deutliche Unterschiede. Nennenswerte Marktanteile von Elektroautos finden sich in West- und Nordeuropa, also in wohlhabenden Regionen mit guter Infrastruktur, hoher Förderung von Elektroautos und hohen Anteilen von urbanem Verkehr. In Norwegen haben elektrische BEV und PHEV in den ersten 3 Quartalen des Jahres 2020 sogar einen Anteil an den Neuzulassungen von über 70 Prozent erreicht. Das ist aber ein Sonderfall, der durch die hohe staatliche Förderung und das hohe Wohlstandsniveau in Norwegen ermöglicht wurde. Der dort gewährte Steuernachlass beziehungsweise Verzicht auf Zulassungs- und Mehrwertsteuer bei der Zulassung eines Elektroautos erreicht typischerweise einen fünfstelligen Eurobetrag. Gemessen am BIP pro Kopf gehört Norwegen mit gut 75.000 Dollar im Jahr 2019 zu den fünf wohlhabendsten Ländern der Welt. Anzumerken ist auch, dass ein Elektroauto in Norwegen im Betrieb tatsächlich fast emissionsfrei ist. Bedingt durch den hohen Anteil von Wasserkraft im Strommix verursacht ein norwegisches Elektroauto bei einem angenommenen Verbrauch von 20 kWh/100km nur etwa

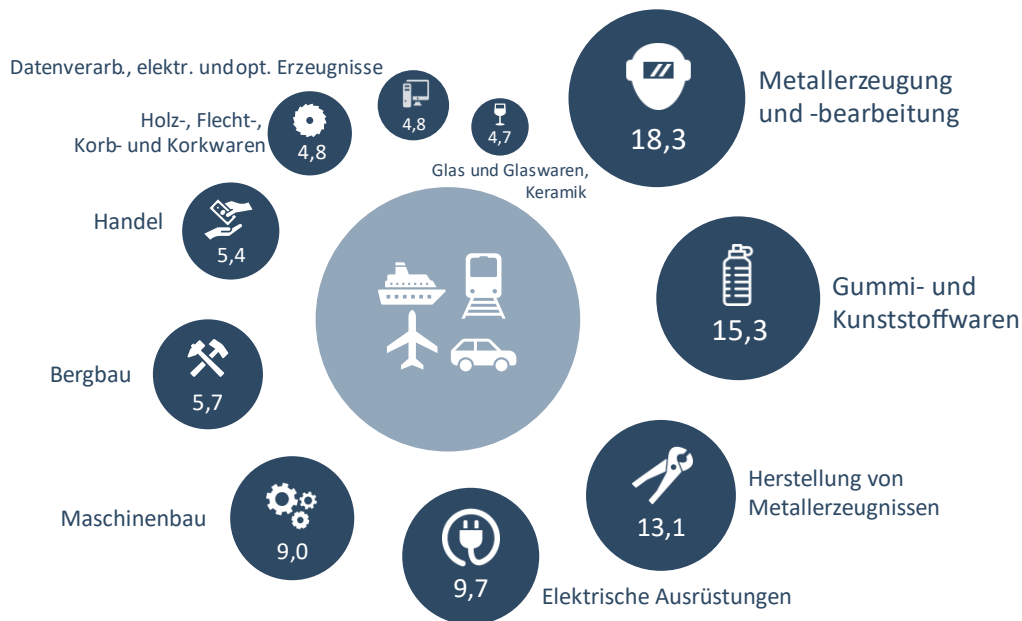
2 g CO<sub>2</sub>/km, was allerdings lediglich den reinen Fahrbetrieb und damit nur einen Teil der beim Elektroantrieb insgesamt anfallenden Treibhausgasemissionen berücksichtigt. In den großen europäischen Fahrzeugmärkten ist das Bild hingegen ein anderes. So erreichte Frankreich bei batterieelektrischen Autos (BEV) einen Marktanteil von etwas über 6 Prozent. In Italien waren es nur 1,8 Prozent, was auch daran liegt, dass in Italien Erdgasfahrzeuge als emissionsarme Konkurrenz etabliert sind und auf einen Marktanteil von 9 Prozent kommen (ACEA, 2020b). Noch einmal anders sieht dies in den ab 2004 der EU beigetretenen Ländern aus. In den ersten drei Quartalen des Jahres 2020 wurden in allen Staaten dieser Gruppe zusammen lediglich 9.537 BEV zugelassen. Deutschland hatte allein fast zehnmals so viele Neuzulassungen. Plug-In-Hybride (PHEV) spielen in den Beitrittsländern eine noch geringere Rolle. Diese Zahlen deuten an, dass es auch innerhalb Europas zu einer Differenzierung von Antriebstechnologien im Straßenverkehr kommen wird. Dieser Trend spricht dafür, Produktionskapazitäten von synthetischen Kraftstoffen aufzubauen, denn sonst wird größeren Teilen der Welt schlicht die Möglichkeit fehlen, ihren Verkehr in den kommenden 30 Jahren in größerem Stil zu defossilisieren.

Anzumerken ist aber auch, dass die bereits angelaufene Transformation der globalen Fahrzeugindustrie erhebliche wirtschaftliche Auswirkungen auf zahlreiche Regionen der Welt haben wird. Immerhin ist der Fahrzeugbau weltweit eine der wichtigsten Industriebranchen und gerade auch in Europa hängen sehr viele Arbeitsplätze an dieser Branche. Somit sollte es das Anliegen der Wirtschafts- und Klimapolitik gleichermaßen sein, alle Optionen zur Reduktion der Treibhausgasemissionen zu nutzen. Neben Maßnahmen zum Ausbau der Elektromobilität ist deshalb die Förderung von synthetischen Kraftstoffen ein klimapolitisch gebotenes Instrument. Dazu zählen die politische Anerkennung von synthetischen Kraftstoffen als klimapolitische Lösungsoption, aber auch die Incentivierung zum Einsatz dieser Stoffe, etwa durch die Anrechnung auf die firmenspezifischen Emissionszielwerte von Autoherstellern. Gleiches gilt auch für Wasserstoff und fortschrittliche Biokraftstoffe. Eine Beimischung von Biokraftstoffen zu konventionellen Kraftstoffen reduziert bereits die bilanziellen Emissionen. Der Einsatz rein synthetischer Kraftstoffe erlaubt sogar den klimaneutralen Betrieb von Verbrennungsmotoren, die bis auf Weiteres nicht nur in vielen Weltregionen auf den Straßen zum Einsatz kommen werden, sondern zur Vermeidung von Emissionen im Flug- und Schiffsverkehr ohnehin alternativlos sind.

In Anbetracht des hohen wirtschaftlichen Gewichts des Fahrzeugbaus in Europa ist die Vermeidung von strukturellen Brüchen eine wichtige Nebenbedingung beim technischen Wandel der Branche. Die Bedeutung der Branche geht dabei weit über das in den üblichen Statistiken ausgewiesene Wertschöpfungs- und Beschäftigungspotenzial hinaus, da diese nicht die Rolle des Fahrzeugbaus als Nachfrager in anderen Branchen abbilden. Diese Untererfassung kann behoben werden, wenn man eine statistische Grundlage betrachtet, welche die Vorleistungsverflechtungen zwischen den Wirtschaftszweigen berücksichtigt. Eine solche Grundlage bieten Input-Output-Tabellen, die die produktions- und gütermäßigen Verflechtungen der Volkswirtschaft nachzeichnen. Sie stellen die Volkswirtschaft als tief gegliederte Matrix von Nachfragebeziehungen und Endverwendungen der Produkte dar. Eine solche Datenbasis wird auf internationaler Ebene von der OECD (OECD, 2018) bereitgestellt. Hieraus kann die wirtschaftliche Bedeutung (gemessen in Wertschöpfung und Beschäftigung) des Fahrzeugbaus für alle Länder der EU-28 berechnet werden. Deren Auswertung zeigt die hohe Bedeutung des Fahrzeugbaus für zahlreiche andere Industriebranchen in Europa auf (Abbildung 3-2).

## Abbildung 3-2: Bedeutung des Fahrzeugbaus für europäische Zulieferbranchen

In Prozent der Wertschöpfung der Branche EU-28; 2017



Quelle: Eurostat (2020); OECD (2020); eigene Berechnungen

Das höchste Gewicht hat die Nachfrage aus dem Fahrzeugbau für die Metallerzeugung und -bearbeitung. Fast 20 Prozent der Wertschöpfung von Stahlwerken und Aluminiumhütten in Europa hängen an der Nachfrage aus dem Fahrzeugbau. Aber auch in der Schlüsselbranche des Maschinen- und Anlagenbaus sind es europaweit noch 9 Prozent. Zählt man die Arbeitsplätze mit, die in diesen Branchen mit den Vorleistungslieferungen an den Fahrzeugbau verknüpft sind, so kommen zu den etwa 3,4 Millionen direkt im Fahrzeugbau beschäftigten EU-Bürgern noch einmal weitere 7,2 Millionen Beschäftigte hinzu, deren Arbeitsplatz an der Nachfrage des Fahrzeugbaus hängt. Damit steht ein erheblicher Teil der Industriearbeitsplätze in enger Beziehung zum Fahrzeugbau. Durch die Lohn- und Gehaltssumme der Beschäftigten wird zudem eine Kaufkraft generiert, die weitere rund 2,7 Millionen Beschäftigte etwa in der Produktion von Konsumgütern oder den persönlichen Dienstleistungen sichern. Insgesamt garantiert der Fahrzeugbau in Europa auf diese Weise rund 13,3 Millionen Arbeitsplätze innerhalb der Länder der Europäischen Union. Das entspricht rund 41 Prozent aller Industriebeschäftigten in der EU.

### 13,3 Millionen Arbeitsplätze

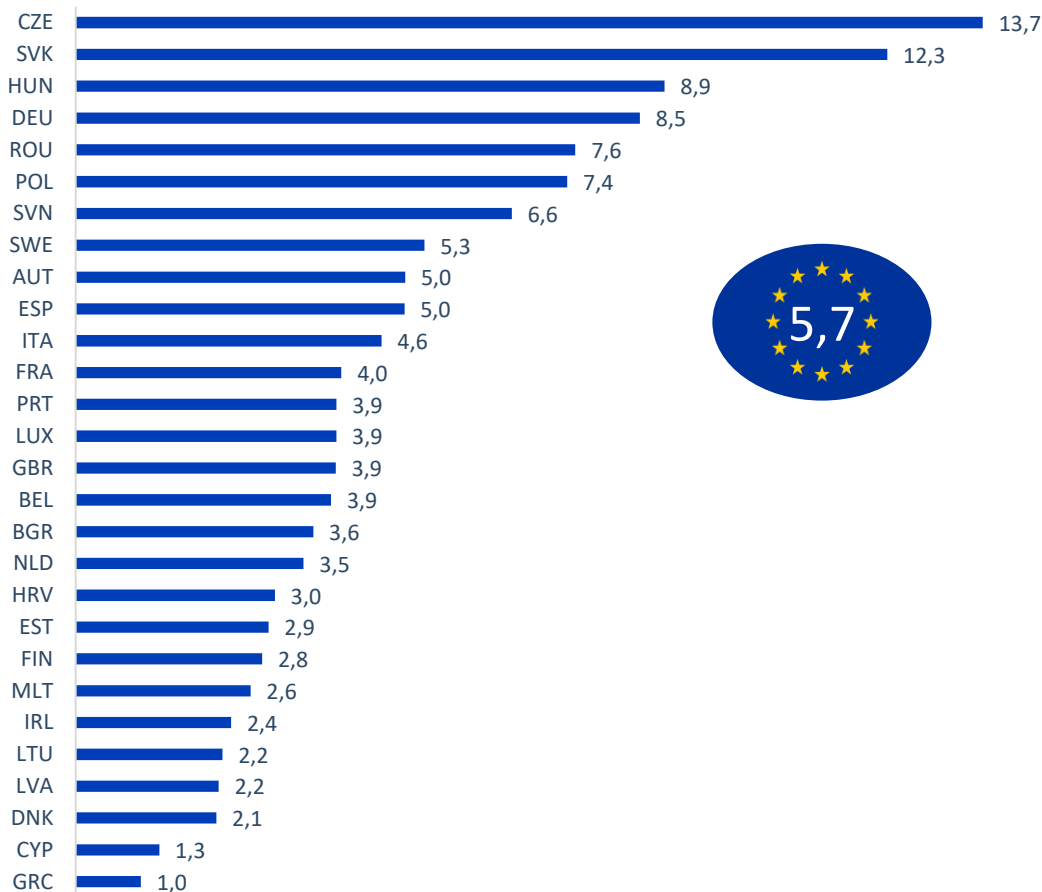
garantiert der Fahrzeugbau in europäischen Industrie- und Dienstleistungsbranchen. Dies entspricht etwa 41 Prozent aller Industriebeschäftigten in der EU.

Eine Umstellung der Automobilproduktion auf batterieelektrische Autos (BEV) hätte nach Angaben aktueller Studien potenziell negative Auswirkungen auf die Beschäftigungszahlen im Automobilssektor. Nach Berechnungen des Fraunhofer IAO (2018) waren im Jahr 2017 rund 200.000 Beschäftigte mit der Produktion von Antriebssträngen allein für die in Deutschland produzierten Automobile tätig. Bei einer Umstellung auf batterieelektrische Autos könnten die für den Antriebsstrang benötigten Stellen um rund ein Drittel reduziert werden. Dieser Effekt könnte noch

größer ausfallen, wenn die Produktion wichtiger Komponenten für die BEV, wie der Batterie, nicht in Europa stattfindet.

### Abbildung 3-3: Bedeutung des Fahrzeugbaus für die Beschäftigung in Europa

Anteil der in der Wertschöpfungskette Fahrzeugbau Beschäftigten in Prozent an den Erwerbstätigen insgesamt, 2017



Quelle: Eurostat (2020); OECD (2018); eigene Berechnungen

Innerhalb der EU-28 waren etwa 5,7 Prozent aller Beschäftigungsverhältnisse mit der globalen Nachfrage nach Fahrzeugen verbunden. Die Bedeutung der Branche für die nationalen Volkswirtschaften ist dabei höchst unterschiedlich (Abbildung 3-3).

In Griechenland beispielsweise hat nur jeder hundertste Arbeitsplatz einen Bezug zum Fahrzeugbau. In der Tschechischen Republik ist es dagegen fast jeder siebte Arbeitsplatz. Das relativ größte Gewicht hat der Fahrzeugbau in Staaten Mittel- und Osteuropas, in denen nach dem Fall des Eisernen Vorhangs vergleichsweise viele Fabriken von Autobauern und Zulieferern entstanden sind. Unter den Ländern der EU 15 sticht Deutschland mit seinem hohen Anteil von Beschäftigten in Abhängigkeit vom Fahrzeugbau hervor. Unterdurchschnittlich ist der Anteil an den Beschäftigten in Frankreich und Italien. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die Hersteller aus diesen beiden traditionellen Automobilländern Kapazitäten in den Beitrittsländern der EU-Osterweiterung aufgebaut haben, da ihre Produktpalette auf kleinere Fahrzeuge konzentriert ist und

die Kunden in diesen Segmenten vergleichsweise sensibel auf Preissteigerungen reagieren. Beide Länder zählen, was den Bau von sonstigen Fahrzeugen wie Schiffen, Flugzeugen und Zügen angeht, jedoch zu den größten Produzenten. Zusammen mit Deutschland, Spanien und Großbritannien stehen die Länder für über 80 Prozent der direkten Produktion des sonstigen Fahrzeugbaus in Europa.

## 4 Das Marktpotenzial für Anlagen zur Erzeugung von PtX

- Der Weltmarkt für Elektrolyseure, dem wichtigsten Anlagenteil bei der Erzeugung von Wasserstoff und synthetischen flüssigen oder gasförmigen Folgeprodukten, hat sich in den letzten 20 Jahren etwa verdoppelt. Das Wachstum fand allerdings außerhalb Europas statt.
- Aus Europa kommt heute die Hälfte aller weltweit produzierten Maschinen und Anlagen, zu denen auch die Syntheseanlagen zur Herstellung von PtX-Energieträgern gehören.
- Bei einem Hochlauf der Investitionen in Anlagen zur PtX-Produktion könnten Anlagen im Wert von 215 Milliarden Euro jedes Jahr produziert werden. Dies bietet große Chancen für den europäischen Maschinen- und Anlagenbau als aktuell größtem Exporteur solcher Anlagen.

Ausgehend von den derzeit vorgesehenen Emissionsreduktionszielen und den Eigenschaften der unterschiedlichen Energiespeicher ist mit einem erheblichen weltweiten Bedarf an Power-to-X- (PtX-) Energieträgern zu rechnen. Dieser PtX-Energieträgerbedarf führt zu einer entsprechenden Nachfrage nach Anlagen zur Produktion sowohl für Wasserstoff als auch darauf basierende flüssige synthetische (Power-to-Liquids, PtL) oder gasförmige (Power-to-Gas, PtG) Folgeprodukte. Ausgehend davon, dass PtX-Technologien nicht nur im Verkehr, sondern auch in weiteren Anwendungsbereichen wie der Wärmeerzeugung und in der Industrie zum Einsatz kommen können, lassen sich in Szenarien, die sich an Energiebedarfsberechnungen der OECD und der IEA orientieren, die Größenordnungen für PtX-Anwendungen abschätzen.

### Abbildung 4-1: Referenzszenario für Bedarf an PtX-Kapazitäten und Investitionen

Berechnungen auf Basis weltweiter Energienachfrageprognosen (OECD/IEA)



Quelle: Bothe et. al. (2018)

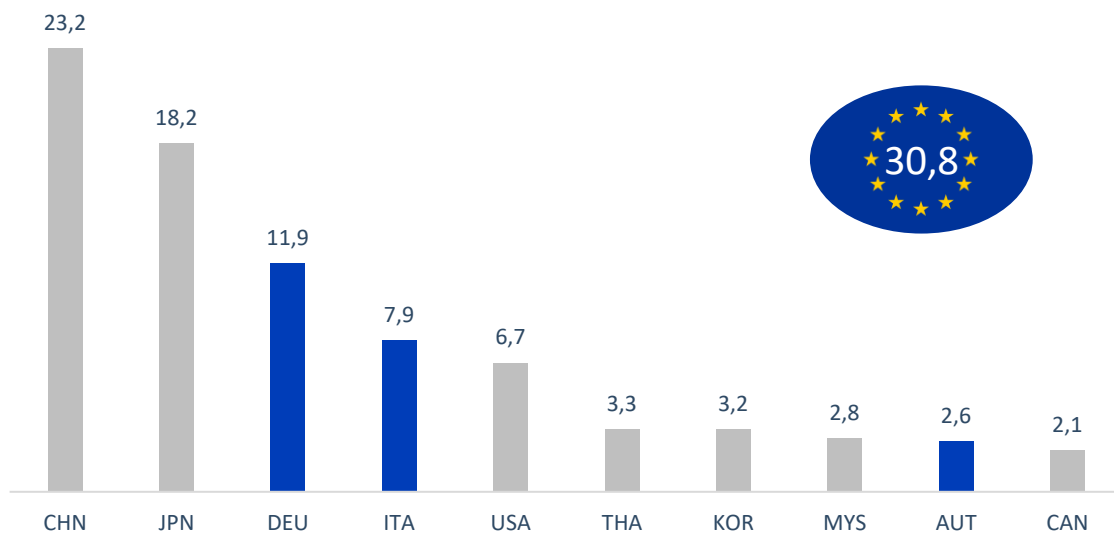
In einem mittleren Referenzszenario, in dem bis 2050 der PtX-Markt in etwa der Hälfte des heutigen Rohölmarktes entspricht, steigt die PtX-Nachfrage auf etwa 20.000 TWh pro Jahr. Um diese Nachfrage zu decken, müssten weltweit etwa 8.000 GW an Anlagen zur Produktion von PtX, also zur Umwandlung von Strom, installiert werden. Der jährliche Investitionsbedarf beläuft

sich dabei auf etwa 215 Milliarden Euro (Abbildung 4-1). Das sind knapp 30 Prozent der heutigen Investitionen in den gesamten Öl- und Gassektor. Darin noch nicht enthalten sind die Investitionen in den Ausbau der Anlagen für die erneuerbare Stromerzeugung. Damit kämen weitere Wertschöpfungs- und Beschäftigungseffekte hinzu.

Fast drei Viertel des Investitionsvolumens fallen auf Elektrolyseure als zentrale Komponente der PtX-Technologie. Etwa 30 Prozent der weltweit hergestellten Elektrolyseure werden in Europa produziert. Im Jahr 2016 hatten deutsche Hersteller den größten Anteil von 19 Prozent; zwei Jahre später haben sich chinesische Produzenten an die Spitze der Weltmarktanteile gesetzt (Abbildung 4-2). In Italien, Österreich, Belgien und Großbritannien befinden sich heute weitere nennenswerte Anteile der europäischen Produktion von Elektrolyseuren.

### Abbildung 4-2: China und Japan haben Deutschland als Weltmarktführer bei Elektrolyseuren überholt

Weltmarktanteile 2018 in Prozent, ohne Exporte von Handelsdrehscheiben (Hongkong, Macao, Singapur)



Quellen: UN (2020); eigene Berechnungen

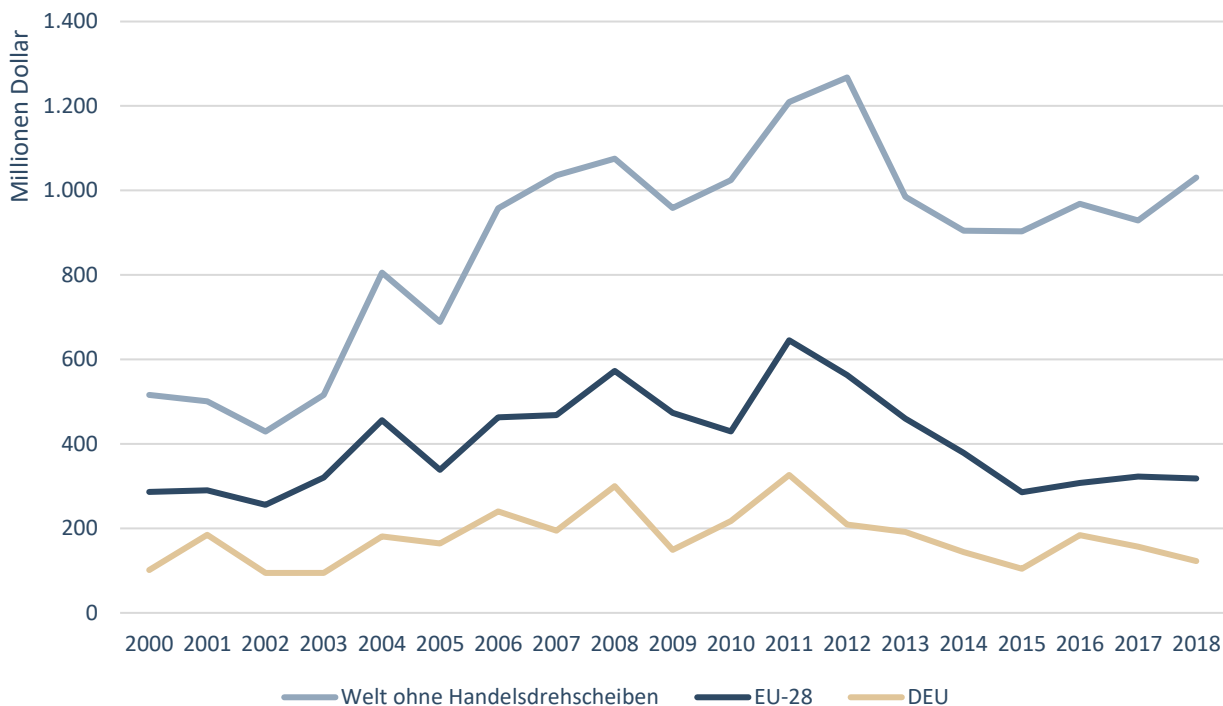
Neben China avanciert auch Japan zu einem wichtigen Produzenten von Elektrolyseuren, was angesichts der ambitionierten japanischen Wasserstoffstrategie nicht überrascht. Die japanischen Elektrolyseure kommen vorrangig für die Wasserstoffherstellung in Australien – wenn auch derzeit noch unter Nutzung von Kohlestrom – zum Einsatz. Zukünftig werden diese installierten Elektrolysekapazitäten auf Basis von erneuerbar erzeugtem Strom entsprechende klimaneutrale PtX-Mengen herstellen und für den japanischen Nachfragemarkt zur Verfügung stellen. Diese Konstellation kann beispielgebend für eine europäische PtX-Import-Strategie sein: die PtX-Produktion findet an Standorten mit hohen Potenzialen für erneuerbare Stromerzeugung statt; die Technologie dafür wird von Industrieländern als potenzielle PtX-Nachfrager geliefert; die Industrieländer wiederum importieren die an den Potenzialstandorten produzierten synthetischen Energieträger.

**Der Weltmarkt für Elektrolyseure hat sich in den letzten zwanzig Jahren verdoppelt.**  
 Die Elektrolyseur-Exporte aus Europa liegen auf dem Niveau von vor zwanzig Jahren.

Die Längsschnittbetrachtung (Abbildung 4-3) verdeutlicht, dass das bisherige Wachstum des Weltmarkts für Elektrolyseure vorwiegend außerhalb Europas stattgefunden hat. Inzwischen liegen die Exporte aus Europa, die eine gute Annäherung an das Weltmarktgeschehen im internationalen Vergleich darstellen, nach zwischenzeitlichem Wachstum wieder auf dem Niveau zu Anfang der 2000er Dekade. Insgesamt hat sich der Weltmarkt seitdem in etwa verdoppelt. Die nächsten Jahre werden zeigen, inwieweit verschiedene nationale Wasserstoffstrategien die Zahlen bereits in die Höhe treiben werden. Dann entscheidet sich, welche Regionen welche PtX-Exportdestinationen erschließen können und ob EU-Produzenten – in ähnlicher Weise wie japanische Produzenten in Australien – entsprechende Standorte mit großem Erneuerbare-Energien-Potenzial, beispielsweise in Nordafrika, mit Elektrolyseuren versorgen können. Für eine solche internationale Zusammenarbeit im Bereich des Klimaschutzes könnte zum Beispiel auch die europäische Afrikastrategie<sup>2</sup> ein Katalysator sein.

### Abbildung 4-3: Der Weltmarkt für Elektrolyseure wächst außerhalb Europas

Weltweite Exporte von Elektrolyseuren im Zeitablauf, ohne Handelsdrehscheiben (Hongkong, Macao, Singapur)



Quellen: UN (2020); eigene Berechnungen

<sup>2</sup> "Towards a Comprehensive Strategy with Africa", Link: [https://ec.europa.eu/international-partnerships/system/files/communication-eu-africa-strategy-join-2020-4-final\\_en.pdf](https://ec.europa.eu/international-partnerships/system/files/communication-eu-africa-strategy-join-2020-4-final_en.pdf)

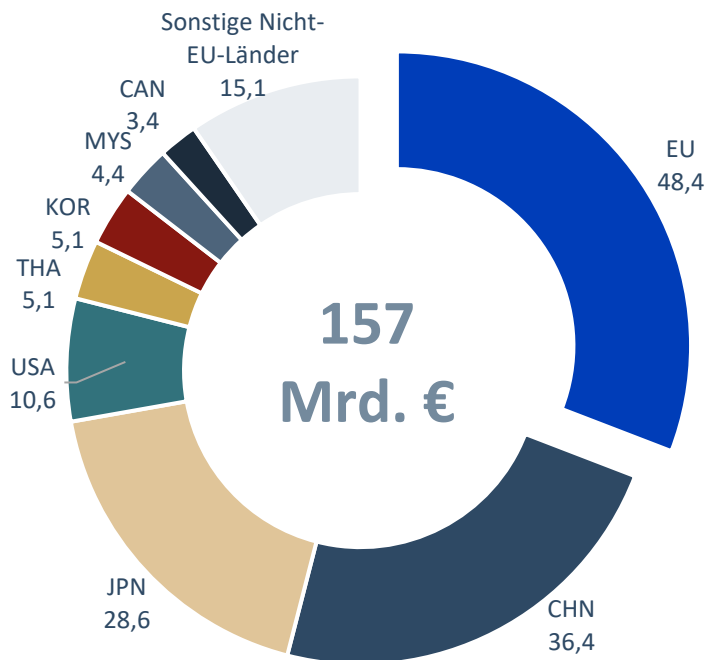


Da der Markt für PtX-Anlagen noch verhältnismäßig klein ist, können sich in kurzer Zeit größere Veränderungen ergeben. Das deutet auch darauf hin, dass es sich um einen sehr dynamischen Markt mit starkem internationalem Wettbewerb handelt. Ausgehend davon, dass die Nachfrage in Anbetracht der oben skizzierten Entwicklung um ein Mehrfaches steigen wird, geht es für die Hersteller von Elektrolyseuren jetzt darum, Marktanteile zu sichern und sich in Regionen mit hohem Produktionspotenzial zu etablieren.

Angesichts des zu erwartenden Hochlaufs der Nachfrage nach PtX-Anlagen ist mit einem kräftigen Anstieg der Produktion von Elektrolyseuren zu rechnen. Bei einem jährlichen weltweiten Investitionsvolumen von 215 Milliarden Euro (durchschnittlich von 2020 bis 2050) wäre – bei gleichbleibenden Weltmarktanteilen – in Europa ein jährliches Produktionsvolumen für Elektrolyseure von knapp 50 Milliarden Euro vorstellbar (Abbildung 4-4).

#### Abbildung 4-4: Produktionspotenzial Elektrolyseure bei PtX-Hochlauf

Erwartete jährliche Produktion von Elektrolyseuren ab 2020 in Milliarden Euro

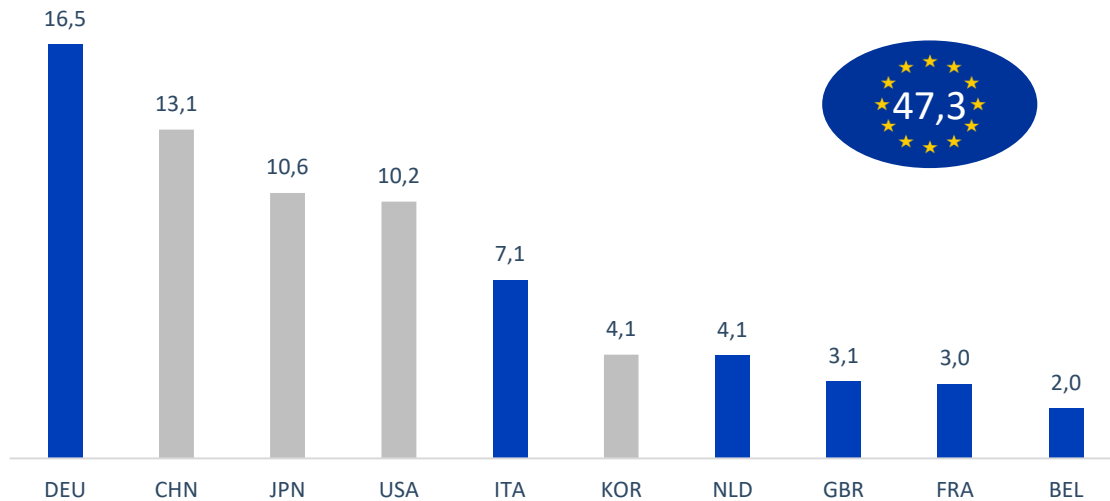


Quellen: UN (2020); eigene Berechnungen

Welche Region sich die Anteile am zukünftig stark wachsenden Elektrolyseur-Produktionsvolumen sichern kann, hängt demnach auch stark von den politischen Rahmenbedingungen und Förderkulissen für die Produktion von Wasserstoff ab. Die EU-Kommission plant in ihrer Wasserstoffstrategie im Rahmen ihres Green Deals, bis 2030 eine Elektrolyseleistung von mindestens 40 Gigawatt zu installieren. Schon dies wird die Nachfrage nach Elektrolyseuren in Europa spürbar ankurbeln.

### Abbildung 4-5: Fast die Hälfte der weltweit im Jahr 2018 produzierten Maschinen und Anlagen kommt aus Europa

Weltmarktanteile Investitionsgüter des Anlagenbaus 2018 in Prozent, Weltmarktanteile ohne Exporte von Handelsdrehscheiben (Hongkong, Macao, Singapur)

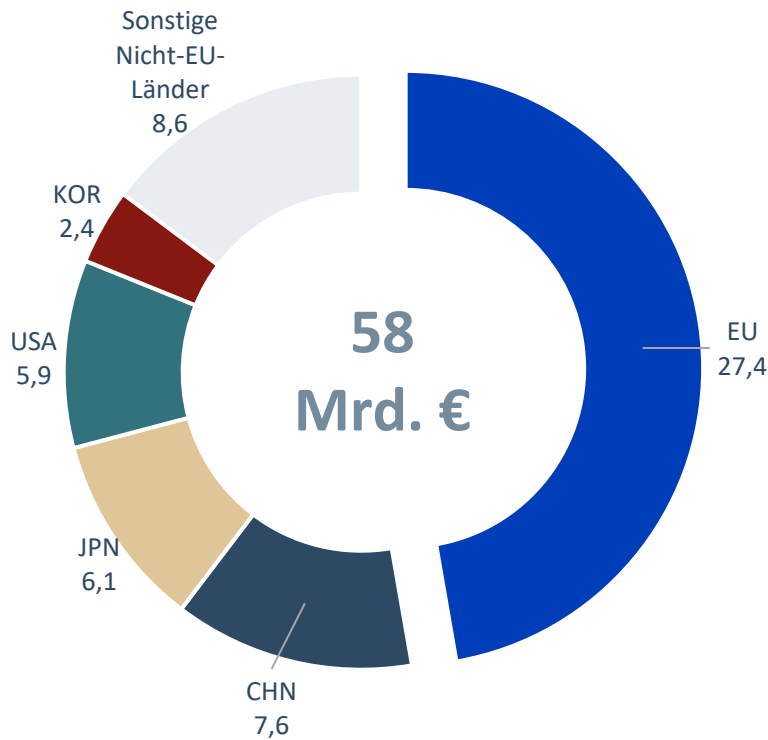


Quellen: UN (2020); eigene Berechnungen

Im Maschinen- und Anlagenbau, dem die weiteren Komponenten der für die Produktion synthetischer Kraft- und Brennstoffe notwendigen Umwandlungstechniken zugerechnet werden, findet fast die Hälfte der weltweiten Produktion in Europa statt. Hierzu zählen auch die Vorrichtungen für die CO<sub>2</sub>-Abscheidung mittels Direct Air Capture. Da nur die Umwandlung des erneuerbaren Stroms in flüssige und gasförmige Energieträger betrachtet wird, kämen Investitionen in die Erzeugungsanlagen für Strom aus erneuerbaren Energien noch hinzu, was sich zusätzlich positiv auf Wertschöpfung und Beschäftigung auswirkt. Den höchsten Weltmarktanteil eines einzelnen Landes hat Deutschland mit 16,5 Prozent vor China (13,1 Prozent). Auch in diesem Bereich sind japanische Unternehmen stark aktiv (10,6 Prozent). Die wichtigsten europäischen Hersteller befinden sich abgesehen von Deutschland in Italien, den Niederlanden, Großbritannien, Frankreich und Belgien (Abbildung 4-5).

## Abbildung 4-6: Produktionspotenzial sonstiger Anlagen zur Herstellung von PtX

Erwartete jährliche Produktion von sonstigen PtX-Anlagen ab 2020 in Milliarden Euro



Quellen: OECD (2020); eigene Berechnungen

Bei einem Hochlauf der PtX-Technologien würde das durchschnittliche jährliche Produktionsvolumen für diese Bauteile im europäischen Anlagenbau bei 27,4 Milliarden Euro liegen (Abbildung 4-6). Dies gilt unter der Annahme, dass die Weltmarktanteile im Vergleich zu heute unverändert bleiben und sich die für die PtX-Umwandlung notwendigen Anlagenteile in etwa so wie der gesamte Anlagenbau auf die unterschiedlichen weltweiten Produktionsstandorte verteilen. Für einzelne Komponenten könnte sich demnach bei stark steigender Nachfrage auch eine gänzlich andere Verteilung der Weltmarktanteile ergeben. Entsprechend ergeben sich für europäische Hersteller Chancen, frühzeitig Marktanteile zu sichern.

## 5 Neue zukunftsorientierte Arbeitsplätze im europäischen Maschinen- und Anlagenbau mit PtX-Technologien

- 80 Milliarden Euro zusätzliche jährliche Wertschöpfung können für die europäische Wirtschaft durch die Produktion und den Export von PtX-Anlagen in die außereuropäischen Potenzialregionen für erneuerbare Energien entstehen.
- 1,2 Millionen Arbeitsplätze Beschäftigungspotenzial in Europa hat die Produktion und der Export von PtX-Anlagen.
- Für die EU bietet sich die Chance, sich als führender Anbieter nachhaltiger Technologien zu positionieren.

Ausgehend von Schätzungen zum globalen PtX-Nachfrage- und Marktpotenzial lässt sich mithilfe einer Input-Output-Analyse der Impact eines Hochlaufs der PtX-Herstellung auf die europäische Wirtschaft ableiten. Abbilden lassen sich die Wertschöpfungs- und Beschäftigungseffekte, die sich direkt beim europäischen Maschinen- und Anlagenbau ergeben, indirekt bei Zulieferern sowie induziert durch den dadurch ausgelösten zusätzlichen Einkommens- und Konsumeffekt. Mit dieser Analyse können die Potenziale für den Wirtschaftsstandort Europa quantifiziert und nach den EU-28-Ländern differenziert dargestellt werden.

Für die Erzeugung und Umwandlung der erneuerbaren Energie in flüssige und gasförmige PtX-Energieträger werden weltweit hohe Investitionen in Kraftwerke für Solarstrom und Windenergie sowie in die Anlagen zur PtX-Erzeugung benötigt. Die Studie des IW Köln und Frontier Economics (Bothe et al., 2018) ermittelt allein durch die steigende Nachfrage nach PtX-Umwandlungsanlagen für Deutschland ein Potenzial von rund 470.000 Arbeitsplätzen und 36,4 Milliarden Euro Wertschöpfung, wenn der deutsche Maschinen- und Anlagenbau seine aktuellen Marktanteile bei der Herstellung dieser Investitionsgüter halten kann.

Auch für andere europäische Volkswirtschaften ergeben sich signifikante Wertschöpfungs- und Beschäftigungseffekte. Diese entstehen durch die eigene Produktion des Maschinen- und Anlagenbaus (direkte Effekte), durch die erzeugte Nachfrage des Maschinenbaus aus In- und Ausland nach Vorleistungsgütern (indirekten Effekte) sowie aufgrund der zusätzlichen Nachfrage nach Konsumgütern durch das gesteigerte Einkommen der Beschäftigten dieser Betriebe (induzierte Effekte).<sup>3</sup>

Die Ergebnisse werden auf Basis der aktuellen Daten zu den Marktanteilen bei der Herstellung der Elektrolyseure und den sonstigen Investitionsgütern des Anlagenbaus sowie aktualisierter Daten zu den internationalen Wertschöpfungsketten und Beschäftigtenzahlen für alle Länder der EU-28 berechnet und ausgewiesen.

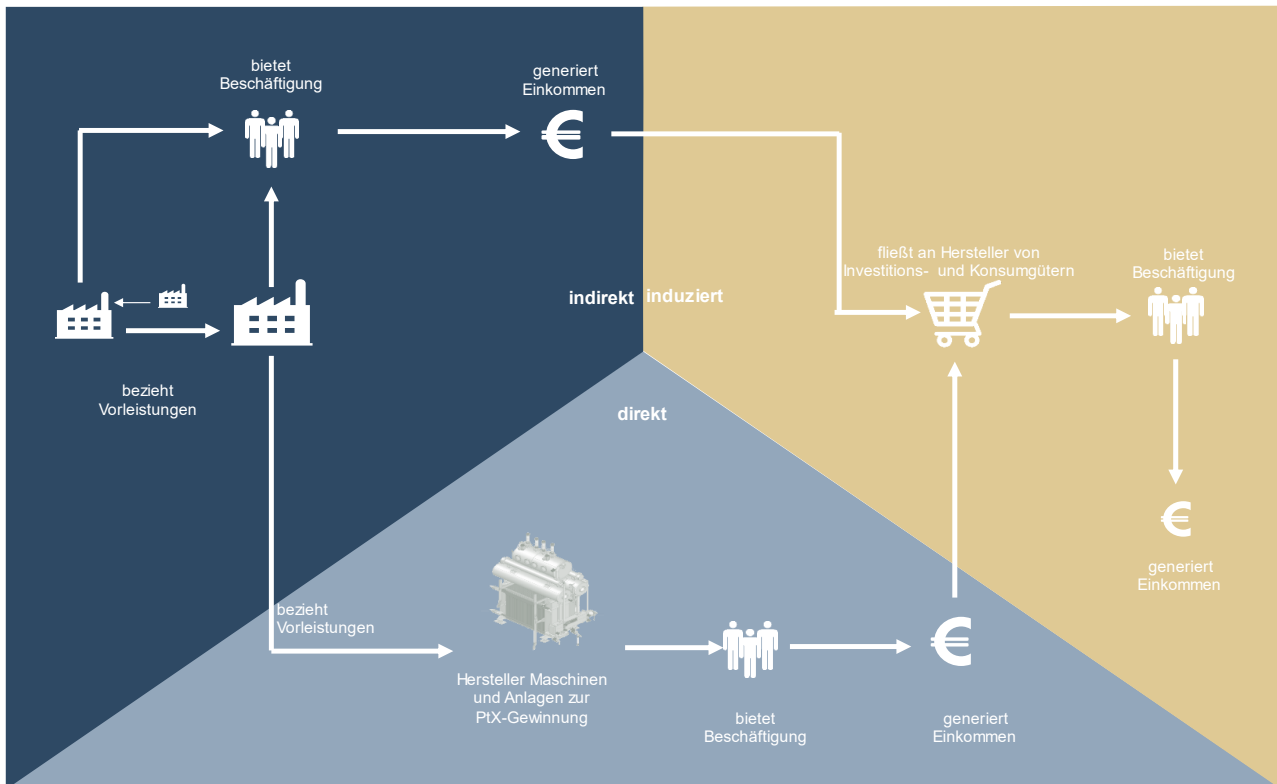
Es wird deutlich, dass alle europäischen Länder von einer steigenden Nachfrage nach PtX-Anlagen signifikant profitieren würden. Für europäische Produzenten ergeben sich große Chancen als Technologielieferanten, auch wenn diese Technologien an außereuropäischen Standorten mit ihren hohen EE-Potenzialen eingesetzt werden. Auf diese Weise kann ein Hochlauf der entsprechenden Technologien auch zur Sicherung des Industrie-, Innovations- und Wirtschaftsstandorts Europa beitragen.

---

<sup>3</sup> Indirekte und induzierte Multiplikatoreffekte werden mithilfe einer Analyse der Input-Output-Rechnung auf Basis von amtlichen Daten der OECD 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.

## Abbildung 5-1: Direkte, indirekte und induzierte Effekte der Hersteller von Anlagen zur PtX-Gewinnung in Europa

Schematische Darstellung



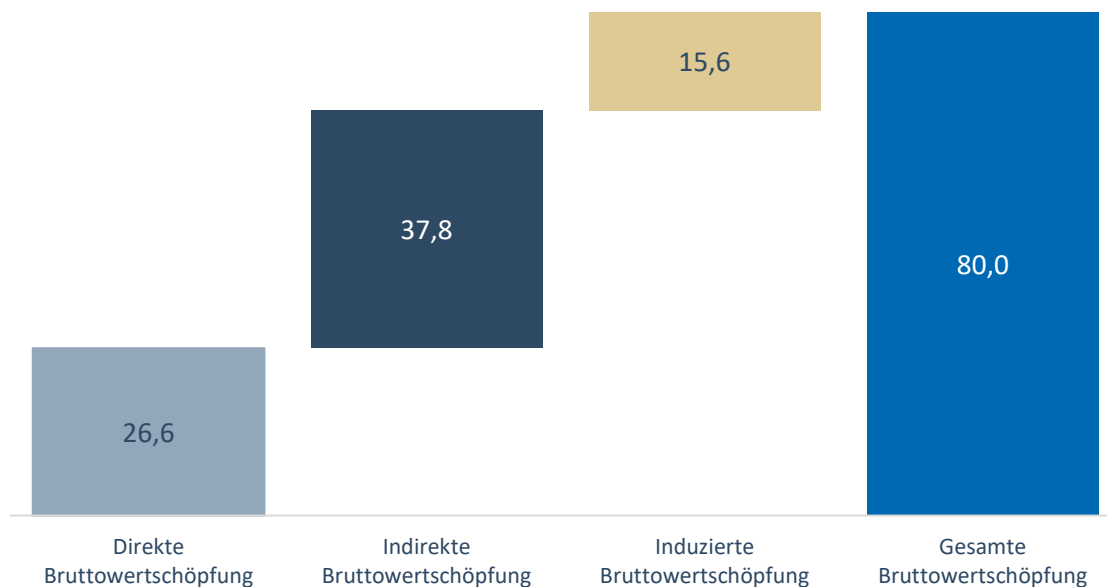
Quelle: eigene Darstellung IW Consult

Die volkswirtschaftlichen Wirkungen der Nachfrage nach PtX-Technologie in Europa lassen sich anhand der heutigen Vorleistungsverflechtungen abschätzen. Vereinfachend gehen die folgenden Berechnungen davon aus, dass die aktuellen Marktverhältnisse und Multiplikatoreffekte auch zukünftig Bestand haben werden. Bei einem jährlichen Investitionsvolumen von insgesamt 215 Milliarden Euro, von dem 75,8 Milliarden Euro auf Investitionsgüter des Maschinen- und Anlagenbaus aus Europa entfallen, sind erhebliche Wertschöpfungs- und Beschäftigungseffekte zu erwarten. Die Analyse der Wertschöpfungseffekte gibt die im jeweiligen Inland erzeugte Wertschöpfung wieder. Wertschöpfung besteht dabei zentral aus gezahlten Löhnen und Gehältern der Mitarbeiter, Abschreibungen auf materielle und immaterielle Investitionsgüter sowie aus dem Gewinn der Unternehmen. Im Falle der Hersteller von PtX-Anlagen fällt die direkte Wertschöpfung bei den Herstellern dieser Anlagen im Maschinenbau an.

Die Wertschöpfungseffekte der Zulieferer werden im indirekten Effekt wiedergegeben. Darunter fallen auch die Vorleistungen der europäischen Unternehmen, die als Zulieferer für ausländische Produzenten von PtX-Anlagen arbeiten. Durch die in der Wertschöpfung enthaltenen Lohn- und Gehaltszahlungen wird zudem die Nachfrage nach Konsumgütern der Beschäftigten dieser Unternehmen ermöglicht. Die inländische Konsumnachfrage wird in Europa dabei zu großen Teilen von inländischen oder europäischen Unternehmen gedeckt. Die so entstehenden weiteren Wertschöpfungseffekte werden im induzierten Effekt erfasst (Abbildung 5-1).

## Abbildung 5-2: Wertschöpfungseffekte durch den Export von Maschinen- und Anlagen zur PtX-Produktion

Wertschöpfungseffekte der Investitionsgüterproduktion in Milliarden Euro (Referenzszenario PtX-Weltmarkt)



Quellen: Eurostat (2020), OECD (2020), UN (2020), OECD (2018); eigene Berechnungen

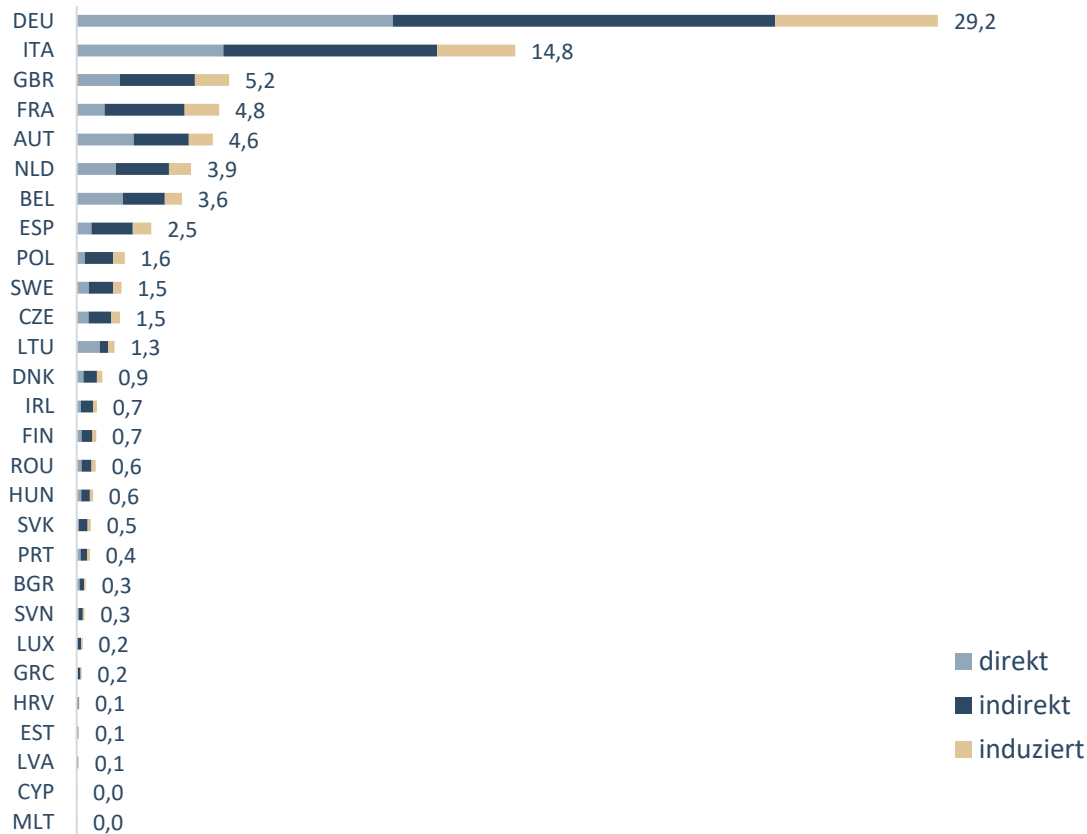
Insgesamt werden im angenommenen Szenario 26,6 Milliarden Euro Wertschöpfung direkt von den europäischen PtX-Anlagenbauern generiert. Entlang der vorgelagerten Wertschöpfungskette kommen weitere 37,8 Milliarden Euro Wertschöpfung hinzu. Rechnet man die induzierten Effekte hinzu, ergibt sich ein Gesamteffekt von 80 Milliarden Euro zusätzlicher Wertschöpfung zum bestehenden Bruttoinlandsprodukt der EU (Abbildung 5-2). Das entspricht mehr als dem Etat für Forschung und Technologie (Wettbewerbsfähigkeit für Wachstum und Beschäftigung) und dem Etat für Strukturpolitik (wirtschaftlicher, sozialer und territorialer Zusammenhalt) zusammen genommen im EU-Haushalt 2020. Für jeden Euro Wertschöpfung aus der direkten Nachfrage nach PtX-Anlagen kommen zwei weitere Euro an indirekter und induzierter Wertschöpfung hinzu. Diese hohen Multiplikatoreffekte sind auch darauf zurückzuführen, dass viele europäische Unternehmen Vorleistungen für außereuropäische Hersteller von PtX-Anlagenteilen erstellen.

### 80 Milliarden Euro

zusätzliche jährliche Wertschöpfung für die europäische Wirtschaft entstehen durch die Produktion und den Export von PtX-Anlagen in die außereuropäischen Potenzialregionen.

### Abbildung 5-3: Wertschöpfungseffekte in den einzelnen Ländern

Wertschöpfungseffekte der Investitionsgüterproduktion in Milliarden Euro (Referenzszenario PtX-Weltmarkt)



Quellen: Eurostat (2020); OECD (2020); UN (2020); OECD (2018); eigene Berechnungen

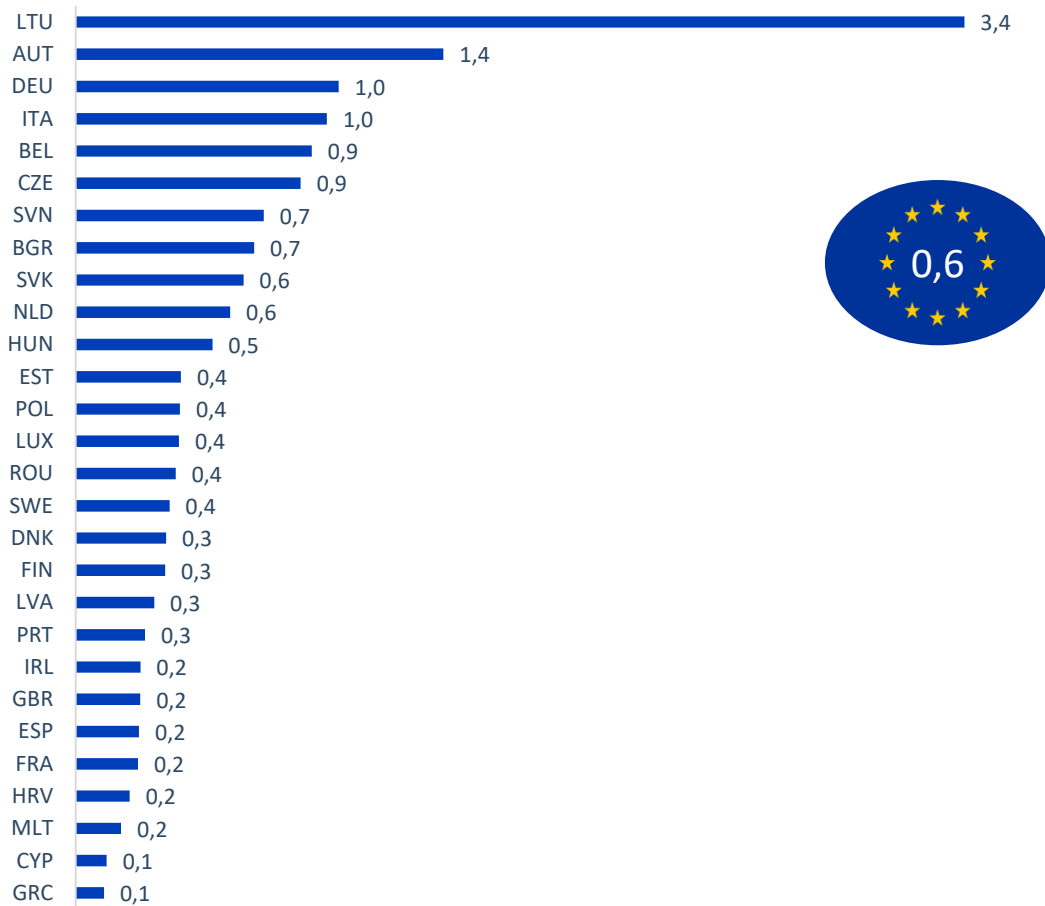
Diese Wertschöpfungseffekte lassen sich auf den wirtschaftlichen Beitrag jedes einzelnen europäischen Landes verteilen. Zudem lässt sich der Gesamteffekt jeweils in seine Komponenten direkter, indirekter und induzierter Wertschöpfung zerlegen. Abbildung 5-3 gibt die jährlichen Wertschöpfungseffekte für die einzelnen Volkswirtschaften der EU-28 in absoluten Zahlen wieder. Mit rund 29,2 Milliarden Euro entfällt dabei rund ein Drittel der Wertschöpfungseffekte auf Deutschland. Auch Italien verzeichnet mit rund 14,8 Milliarden Euro einen zweistelligen jährlichen Wachstumsimpuls. Damit ist allein der Beitrag in Italien so hoch wie die Wertschöpfung der italienischen Automobilindustrie heute. In beiden Ländern sind sowohl die direkten Effekte bei den Herstellern von PtX-Anlagen als auch die indirekten Effekte bei Zulieferbetrieben stark ausgeprägt. Andere Länder wie Frankreich und Spanien haben – gemessen an ihrer gesamtwirtschaftlichen Bedeutung in Europa – zwar relativ kleine direkte Effekte durch den Export von PtX-Anlagen zu verzeichnen. Durch die starke Vernetzung der europäischen Volkswirtschaften profitieren Sie dennoch in signifikantem Ausmaß von den Herstellern von PtX-Anlagen in den europäischen Nachbarnstaaten. Mit rund 12,7 Prozent aller Vorleistungen stammen rund 57 Prozent der Vorleistungsimporte in Europa aus anderen Ländern der EU. In anderen Regionen wie Nordamerika oder Asien kommen nur rund 10 Prozent der Vorleistungsimporte aus den Nachbarstaaten der Region (Fritsch/Matthes, 2020). Insgesamt profitieren somit nicht nur die Länder Europas, die eine starke Exportwirtschaft im Bereich der PtX-Anlagen besitzen, sondern auch die Länder mit Zulieferbetrieben (indirekter Effekt) sowie die Hersteller von Konsumgütern und



Dienstleistungen für private Haushalte (induzierter Effekt). Insgesamt entsprechen die Wertschöpfungseffekte in Europa dem gesamten heutigen Bruttoinlandsprodukt der baltischen Staaten Estland, Lettland und Litauen.

### Abbildung 5-4: Relative Wertschöpfungseffekte in den Ländern

Relative nationale Bedeutung in Prozent des BIP (Referenzszenario PtX-Weltmarkt)

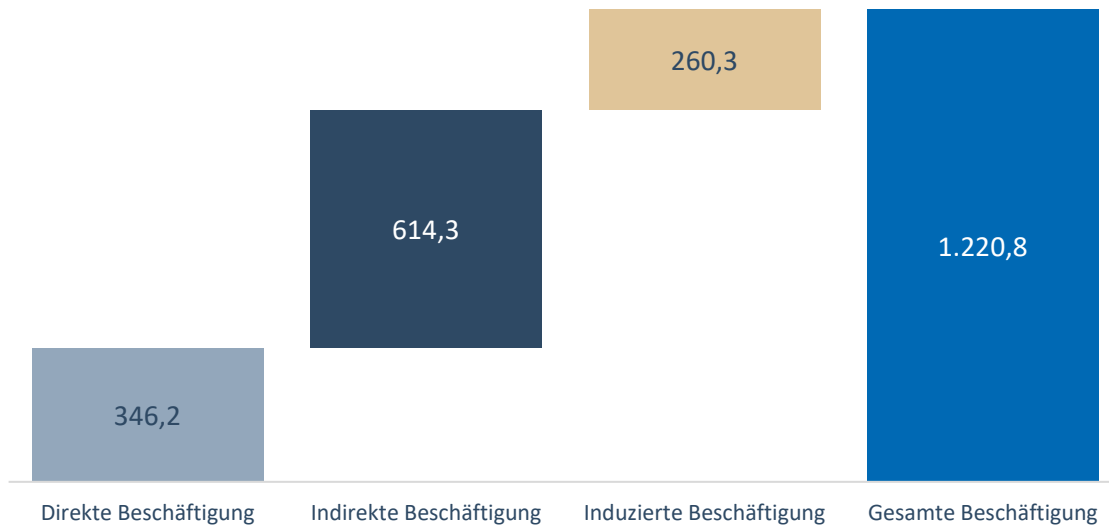


Quellen: Eurostat (2020); OECD (2020); UN (2020); OECD (2018); eigene Berechnungen

Viele kleinere europäische Staaten weisen in absoluten Zahlen nur Wertschöpfungseffekte im dreistelligen Millionenbereich auf. Der Blick auf den relativen Beitrag im Vergleich zum jeweiligen Bruttoinlandsprodukt des Landes gibt Aufschluss darüber, welche relative nationale Bedeutung ein PtX-Hochlauf haben würde, denn die beträchtlichen Unterschiede in der Größe und Wirtschaftskraft der Länder werden so auf einen gemeinsamen Nenner gebracht. Hier steht Litauen an der Spitze, gefolgt von Österreich. Deutschland und Italien liegen in dieser Betrachtung dahinter etwa gleich auf, während in Frankreich die PtX-Wertschöpfungseffekte gerade einmal 0,2 Prozent ausmachen (Abbildung 5-4). Insgesamt sorgen die PtX-Investitionen in Europa für einen BIP-Effekt von 0,6 Prozentpunkten. Zum Vergleich: Im Jahr 2019 wuchs das reale Bruttoinlandsprodukt in der EU um rund 1,3 Prozent. Bei einer erfolgreichen Exportwirtschaft von PtX-Anlagen könnte das reale BIP somit rund 50 Prozent schneller wachsen.

### Abbildung 5-5: Beschäftigungseffekte durch den Export von Maschinen- und Anlagen zur PtX-Produktion

Beschäftigungseffekte in tausend Personen (Referenzszenario PtX-Weltmarkt)



Quellen: Eurostat (2020); OECD (2020); UN (2020); OECD (2018); eigene Berechnungen

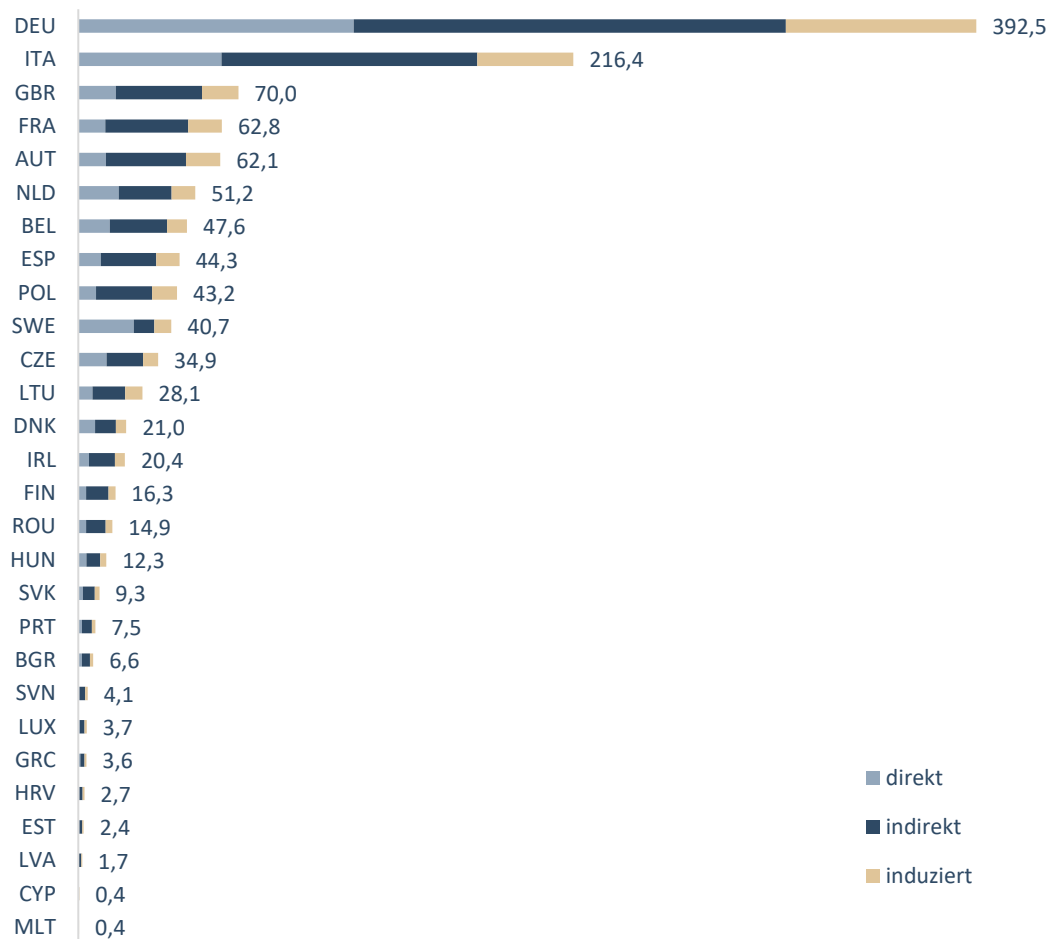
Der Export von PtX-Anlagen in den zuvor benannten Größenordnungen würde für erhebliche Beschäftigungseffekte sorgen. Direkt in der Produktion von Elektrolyseuren und sonstigen PtX-Anlagen würden knapp 350.000 Personen zusätzlich beschäftigt. Zur Erstellung der Vorleistungen und deren Zulieferernetzwerk kämen weitere gut 600.000 Beschäftigte hinzu. Der Gesamteffekt inklusive der durch die zusätzliche Konsumnachfrage ausgelösten Beschäftigungseffekte addiert sich zu 1,2 Millionen zusätzlichen Erwerbstätigen in Europa (Abbildung 5-5). Dies entspricht der Beschäftigtenzahl in der gesamten chemischen Industrie in Europa.

#### 1,2 Millionen neue Arbeitsplätze

Durch die Produktion und den Export von PtX-Anlagen entstehen große Beschäftigungspotenziale in Europa.

## Abbildung 5-6: Beschäftigungseffekte in den einzelnen Ländern

Beschäftigungseffekte in tausend Personen (Referenzszenario PtX-Weltmarkt)

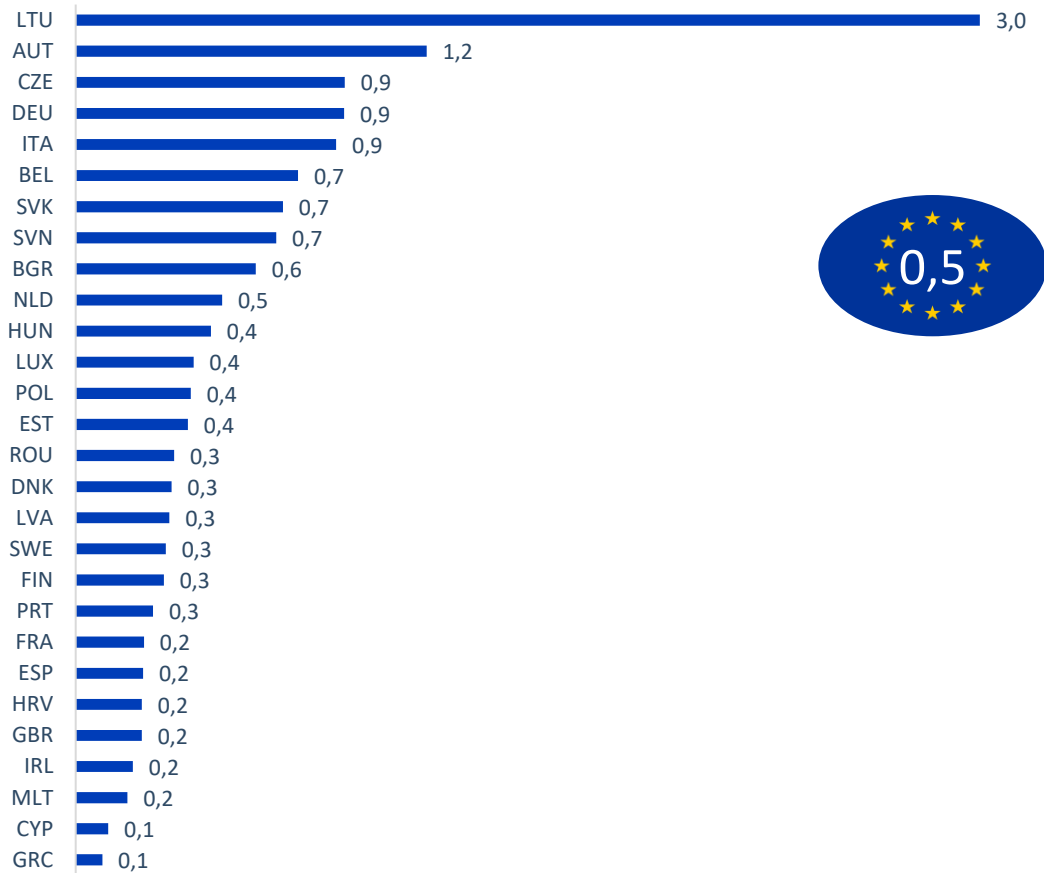


Quellen: Eurostat (2020); OECD (2020); UN (2020); DCD (2018); eigene Berechnungen

Mit knapp 400.000 Beschäftigten ist der absolute Effekt in Deutschland insgesamt am größten, wiederum gefolgt von Italien mit etwas mehr als 200.000 beschäftigten Personen. An dritter Stelle liegt Großbritannien vor Frankreich und Österreich (Abbildung 5-6). Durch die engen Vorleistungsverflechtungen der Hersteller von PtX-Anlagen mit anderen europäischen Branchen sind die indirekten Beschäftigungseffekte in allen Ländern mit Ausnahme von Schweden höher als die direkten Beschäftigungseffekte des Maschinen- und Anlagenbaus. Insgesamt kommen auf jeden zusätzlichen Arbeitsplatz bei den Herstellern von PtX-Anlagen rund 1,77 Beschäftigte in den Zulieferindustrien. Berücksichtigt man zusätzlich die Beschäftigungseffekte des induzierten Effekts sorgt jeder Arbeitsplatz, der direkt in der Anlagenproduktion für die PtX-Erzeugung entsteht, für etwa 2,5 weitere Arbeitsplätze im Vorleistungsnetzwerk und durch zusätzlichen Konsum.

### Abbildung 5-7: Relativer Anteil der Beschäftigungseffekte in den Ländern

Relative nationale Bedeutung in Prozent aller Beschäftigten (Referenzszenario PtX-Weltmarkt)



Quellen: Eurostat (2020); OECD (2020); UN (2020); OECD (2028); eigene Berechnungen

Auch bei den Beschäftigten ergibt sich bei den relativen Anteilen an der Beschäftigung im jeweiligen Land ein ähnliches Bild wie bei der relativen Betrachtung der Wertschöpfungseffekte. Der Beschäftigungsanteil in Europa insgesamt liegt bei rund 0,5 Prozent. Die Produktion von PtX-Anlagen und den dafür notwendigen Komponenten und Bauteilen ist also etwas weniger beschäftigungsintensiv als die Wirtschaft insgesamt (Abbildung 5-7). Dennoch bieten sich für Europa durch die Produktion von PtX-Anlagen enorme Chancen zum Aufbau von Beschäftigung. Die Zahl von rund 1,2 Millionen zusätzlichen Arbeitsplätzen macht ungefähr 8 Prozent der gesamten Arbeitslosenzahl in der EU aus.

Insgesamt ergibt sich bei einer jährlichen Investitionsnachfrage nach PtX-Anlagen im Volumen von 215 Milliarden Euro ein Potenzial von 80 Milliarden Euro Wertschöpfung und 1,2 Millionen Arbeitsplätzen in Europa. Für die EU bietet sich dabei die Chance, sich als führender Anbieter nachhaltiger Technologien zu positionieren.

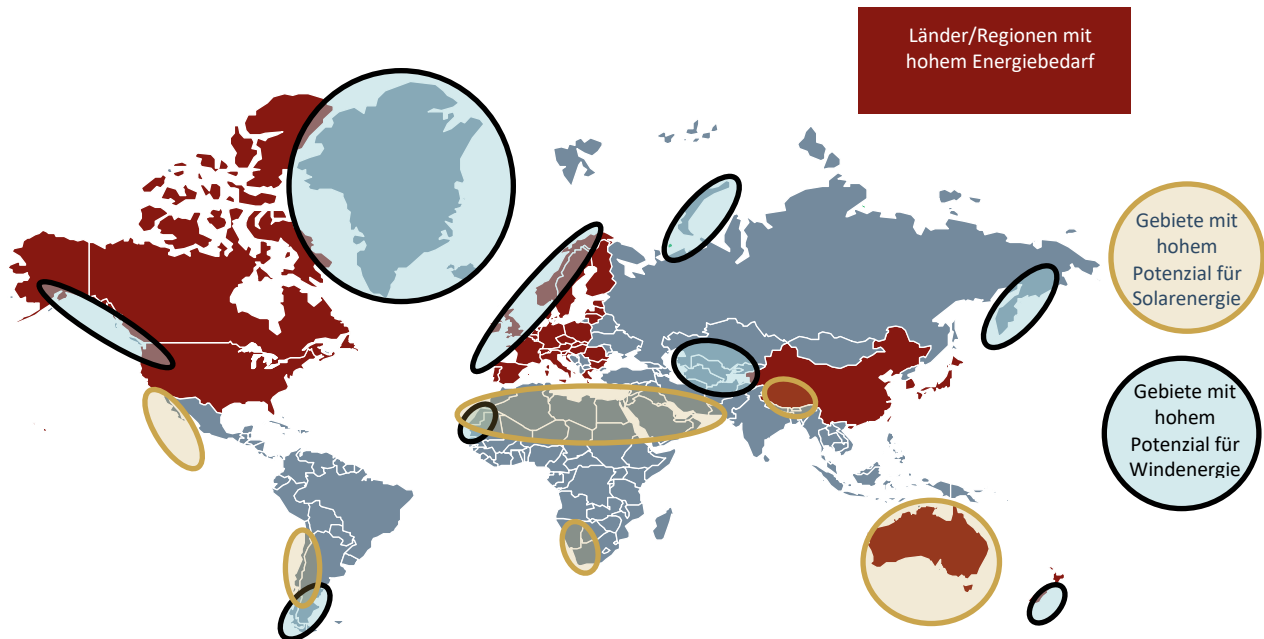
## 6 Aufbau nachhaltiger Wertschöpfungsstrukturen in Regionen außerhalb von Europa

- Günstige Produktionspotenziale für die PtX-Produktion bestehen angesichts der hohen Verfügbarkeit von Wind, Sonne und Fläche an Standorten außerhalb Europas, beispielsweise in Nordafrika und im Nahen Osten, oder in Australien und Patagonien.
- 346.000 hochproduktive Arbeitsplätze können an PtX-Produktionsstandorten entstehen, die ein Fünftel des weltweiten PtX-Nachfragepotenzials bedienen. Die Arbeitsplatzproduktivität ist dabei rund zehnmal so hoch wie beispielsweise der heutige Durchschnitt in der gesamten MENA-Region (Mittlerer Osten und Nordafrika).
- Die wirtschaftliche Stärkung der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien in den potenziellen PtX-Produktionsländern könnte zudem wichtige Impulse für die Entwicklung ressourcenschonender und klimaneutraler Energieversorgungssysteme in diesen Ländern setzen.

Insbesondere in Schwellen- und Entwicklungsländern gibt es große Potenziale zum Export von Strom aus erneuerbaren Energien und damit zur Produktion von strombasierten Energieträgern. Weltweit bieten sich PtX-Produktionsstandorte zum Beispiel im Mittleren Osten und Nordafrika (auch MENA-Region genannt), Patagonien und Australien an. Aus europäischer Sicht sind hier durch die guten Standortbedingungen für die Erzeugung von erneuerbaren Energien und die geografische Nähe insbesondere die Länder Afrikas und Vorderasiens als Exporteure interessant. Für diese Länder bieten sich durch die Nutzung ihrer Standortvorteile signifikante Wertschöpfungs- und Beschäftigungspotenziale. Auf Basis der Abschätzung zur weltweiten PtX-Nachfrage können so aktuelle Daten zu den wirtschaftlichen Hebeleffekten für diese Länder berechnet werden.

Viele Standorte zum Beispiel in Nordafrika sind wesentlich sonnenintensiver als europäische Standorte und bieten damit ein hohes Potenzial für günstige Stromproduktion aus Sonnenenergie. Darüber hinaus gibt es viele Küstenregionen mit hohem Windkraft-Potenzial (Abbildung 6-1). Unter den potenziellen Solar-Standorten sind auch Länder vertreten, die heute wesentliche Produzenten fossiler Energieträger sind. Mit dem Einstieg in die Produktion von strombasierten PtX-Energieträgern wären Kompensationen für zukünftige Absatzrückgänge bei Öl und Gas in diesen Ländern möglich, was für die Akzeptanz der gesetzten Klimaziele auf globaler Ebene einen wichtigen Faktor darstellt.

Abbildung 6-1: PtX: Günstige Produktionspotenziale liegen außerhalb der EU



Quelle: Eigener Entwurf nach Weltbank, 2020b; Weltbank, 2020c

Neben den günstigen Standortbedingungen, die diese Länder aufweisen, spricht für eine Entwicklung der PtX-Wirtschaft in diesen Regionen die Chance auf eine stark positive wirtschaftliche Entwicklung durch die PtX-Exporte. Meist handelt es sich bei den betreffenden Regionen um Schwellen- oder Entwicklungsländer, die von der Zunahme an ausländischen Direktinvestitionen in PtX-Anlagen vor Ort in signifikantem Ausmaß profitieren könnten. Durch den Aufbau der PtX-Wirtschaft vor Ort könnte sich das Wirtschaftswachstum in diesen Regionen stark beschleunigen und so zu einer Verbesserung der Lebensverhältnisse in diesen Ländern beitragen. Zudem bietet sich für Länder, die heute noch zu den großen Öl-exportierenden Staaten zählen, eine Möglichkeit, ihre Volkswirtschaft nachhaltiger und ökologischer zu gestalten, ohne die nationale Wertschöpfung zu beeinträchtigen, ein nicht zu vernachlässigender Faktor für die internationale Akzeptanz der Klimazielvereinbarungen.

Die Standorte mit hohem Potenzial für Solar- und Windenergie können damit an einer weltweiten Nachfrage nach flüssigen und gasförmigen PtX-Energieträgern partizipieren, indem sie als Produzent und Exporteur auf dem Weltmarkt für PtX-Energieträger auftreten. Wir gehen dabei genauso wie bei den oben ausgewiesenen Effekten von einer weltweiten Nachfrage nach flüssigen und gasförmigen Energieträgern in Höhe von 20.000 TWh jährlich aus. Die in der Folge ausgewiesenen Effekte geben exemplarisch die wirtschaftlichen Effekte des Betriebs von PtX-Anlagen wieder, die ein Fünfzigstel der weltweiten PtX-Nachfrage<sup>4</sup> befriedigen, also rund 400

<sup>4</sup> 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 illustrativen Zwecken und kann iterativ angepasst werden.

TWh verarbeiten. Dabei werden flüssige und gasförmige Energieträger mit einem Produktionswert von rund 64 Milliarden Euro erstellt<sup>5</sup>.

Naturgemäß sind Schätzungen zu den wirtschaftlichen Effekten von neuen Industrien mit einer erheblichen Unsicherheit behaftet. Wir gehen davon aus, dass durch die PtX-Synthese ähnliche Effekte wie im Bereich der Rohölverarbeitung generiert werden können. Werden ähnliche nationale Vorleistungsverflechtungen, Beschäftigungs- und Wertschöpfungsintensitäten angenommen, lässt sich die Größenordnung der wirtschaftlichen Effekte der PtX-Herstellung abschätzen.

## Abbildung 6-2: Volkswirtschaftliche Effekte für ein potenzielles PtX-Produktionsland

Produktion und Wertschöpfung in einem Jahr, nationale Effekte pro Land bei PtX-Kapazitäten in Höhe von 400 TWh (2 Prozent des weltweiten PtX-Nachfragepotenzials)



Quelle: OECD (2018, 2020); eigene Berechnung

Abbildung 6-2 zeigt die große wirtschaftliche Hebelwirkung des Betriebs von PtX-Umwandlungsanlagen beispielhaft für ein Land mit einem potenziellen PtX-Produktionsvolumen von ca. 400 TWh. Insgesamt können fast 350.000 langfristige Beschäftigungsverhältnisse vor Ort neu entstehen, mit denen jedes Jahr rund 32 Milliarden Euro Wertschöpfung generiert werden. Zudem wird der nationale Produktionswert um rund 112 Milliarden Euro pro Jahr erhöht. Die nationale Wertschöpfung setzt sich dabei aus der direkten Wertschöpfung der PtX-Anlagenbetreiber in Höhe von 9,7 Milliarden Euro und einer indirekten Wertschöpfung der Zulieferbetriebe der vorgelagerten Wertschöpfungskette in Höhe von rund 22,3 Milliarden Euro zusammen. Die Schätzung der nationalen indirekten Wertschöpfungseffekte stellt dabei eine konservative Näherung dar, da sie auf Basis aktuell geläufiger Wertschöpfungsketten und Wertschöpfungstiefen erhoben wurde. Es ist etwa davon auszugehen, dass die nationale Wertschöpfungsintensität bei der

<sup>5</sup> Für die weiteren Berechnungen werden zunächst PtX-Kosten von 160 Euro pro MWh angenommen, basierend auf der Studie von Agora Verkehrswende, Agora Energiewende und Frontier Economics (2018). Im weiteren Markthochlauf sind maßgebliche Kostenreduzierungen erwartbar.

Erzeugung von Strom aus Solar- und Windenergie deutlich höher liegt, als dies in der Energieerzeugung heute der Fall ist. Da keine fossilen Rohstoffe als Vorleistungen zur Stromerzeugung importiert werden müssen, ist zu erwarten, dass die nationale Wertschöpfung im Energiesektor höher ausfällt.

Selbst auf Basis der für die Berechnung verwendeten konservativen Annahmen stellen die insgesamt rund 32 Milliarden Euro Wertschöpfung pro Jahr ein enormes wirtschaftliches Potenzial für die Schwellen- und Entwicklungsländer dar. Dies entspricht etwa dem aggregierten Bruttoinlandsprodukt der 32 Länder mit dem niedrigsten BIP weltweit.

Neben den rund 14.000 Arbeitsplätzen, die direkt in der PtX-Produktion entstehen würden, kommen weitere 332.600 Arbeitsplätze bei Zulieferern und Dienstleistern im Inland hinzu. Das bedeutet, dass für jedes Beschäftigungsverhältnis in der direkten PtX-Erzeugung rund 24 weitere Stellen bei Zulieferbetrieben erwachsen.

Die neu entstehenden Arbeitsplätze besitzen dabei mit durchschnittlich rund 92.500 Euro pro Person und Jahr eine besonders hohe Produktivität. Selbst wenn man die kapitalintensive direkte PtX-Produktion außen vor lässt, beträgt die erwartete durchschnittliche Produktivität der Beschäftigten in den Betrieben der vorgelagerten Wertschöpfungskette noch rund 67.000 Euro. Es handelt sich hierbei also vor allem um gut bezahlte, produktive Beschäftigungsverhältnisse, die neu geschaffen werden. Zum Vergleich: Das durchschnittliche BIP pro Kopf im Mittleren Osten und Nordafrika betrug 2018 rund 6.800 Euro. Damit würden hier Arbeitsstellen mit einer im Vergleich zum aktuellen Durchschnitt in der MENA-Region rund zehnmal so hohen Produktivität pro Kopf geschaffen.

### **346.600 hochproduktive Arbeitsplätze in einem durchschnittlichen PtX-Produktionsland**

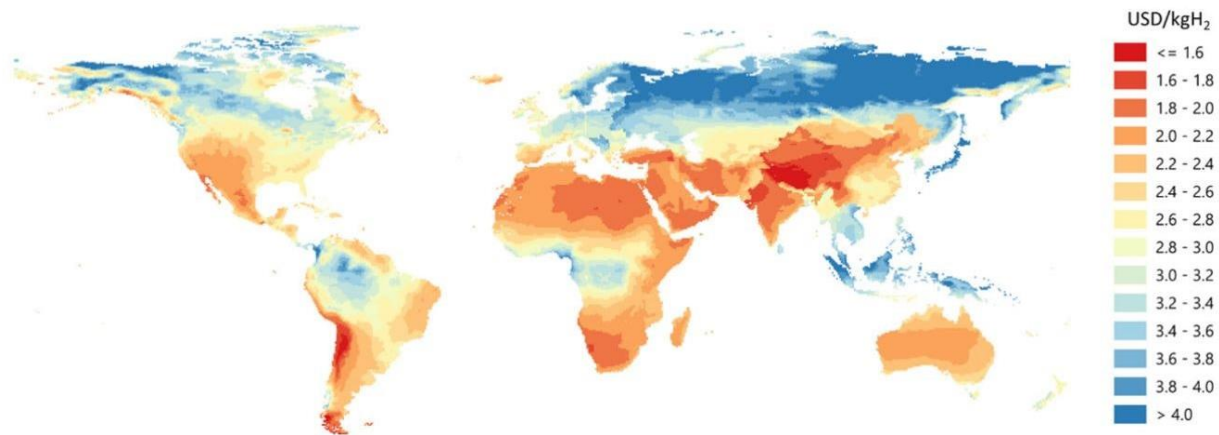
Die Produktivität der mit der PtX-Erzeugung verbundenen neu geschaffenen Arbeitsstellen liegt rund zehnmal so hoch wie der Durchschnitt in der MENA-Region.

Zu den positiven Effekten des Betriebs der PtX-Anlagen kommen zudem noch Einmaleffekte für den Aufbau und die Installation der Anlagen und der Kraftwerke zur Erzeugung der erneuerbaren Energiequellen hinzu. Für die einzelnen Länder besteht somit sowohl in der kurzen Frist als auch langfristig ein hoher wirtschaftlicher Anreiz, die eigenen Standortvorteile für die Erzeugung von flüssigen und gasförmigen PtX-Energieträgern zu nutzen.



## Abbildung 6-3: Langfristige regionale Produktionskosten für grünen Wasserstoff

Regionale Produktionskosten nach Realisierung von Skaleneffekten



Quelle: IEA (2019)

Abbildung 6-3 stellt die erwarteten regionalen Produktionskosten von Wasserstoff aus erneuerbaren Energien dar. Bei den Berechnungen der Kosten geht die Internationale Energieagentur (IEA) davon aus, dass durch größere Produktionsanlagen (sogenannte Multi-Stack-Systeme) die Kosten der alkalischen Strom- und PEM-Elektrolyseure um 20 bis 40 Prozent reduziert werden können. Durch eine Erhöhung der Volllaststunden der Elektrolyseure würden sich zudem die Investitionskosten der PtX-Anlagen auf einen längeren Nutzungszeitraum verteilen. Durch diese Anpassungen würden die Kosten für die Herstellung von grünem Wasserstoff vor allem von den Stromkosten für die Herstellung erneuerbarer Energien bestimmt. Durch die hohe Verfügbarkeit von Wind- und Solarenergie, sowie entsprechenden Flächen ergeben sich beispielsweise in Nordafrika große Potenziale für die Produktion von grünem Wasserstoff. Mit unter 2 Dollar je Kilogramm Wasserstoff wären die Preise des grünen Wasserstoffs damit nach Angaben der IEA auch teilweise günstiger als die Synthese von Wasserstoff aus Erdgas, die nicht CO<sub>2</sub>-neutral ist.

Betrachtet man die erwartete Produktion von PtL- und PtG-Energieträgern im Referenzszenario weltweit, so ergibt sich eine weltweite Wertschöpfung in Höhe von rund 3.200 Milliarden Euro pro Jahr<sup>6</sup>. Darin enthalten ist auch die Wertschöpfung der gesamten vorgelagerten Wertschöpfungskette, also insbesondere der EE-Erzeugung. Von den rund 3.200 Milliarden Euro entfallen rund 485 Milliarden Euro auf die Betriebe zur Herstellung von flüssigen und gasförmigen Energieträgern. Insgesamt entstehen mindestens 1.600 Milliarden Euro an Wertschöpfung und rund 17,3 Millionen Beschäftigungsverhältnisse im Inland der PtX-Produktionsländer. Das entspricht rund 43 Prozent des heutigen Bruttoinlandsprodukts aller Staaten der MENA-Region zusammen.

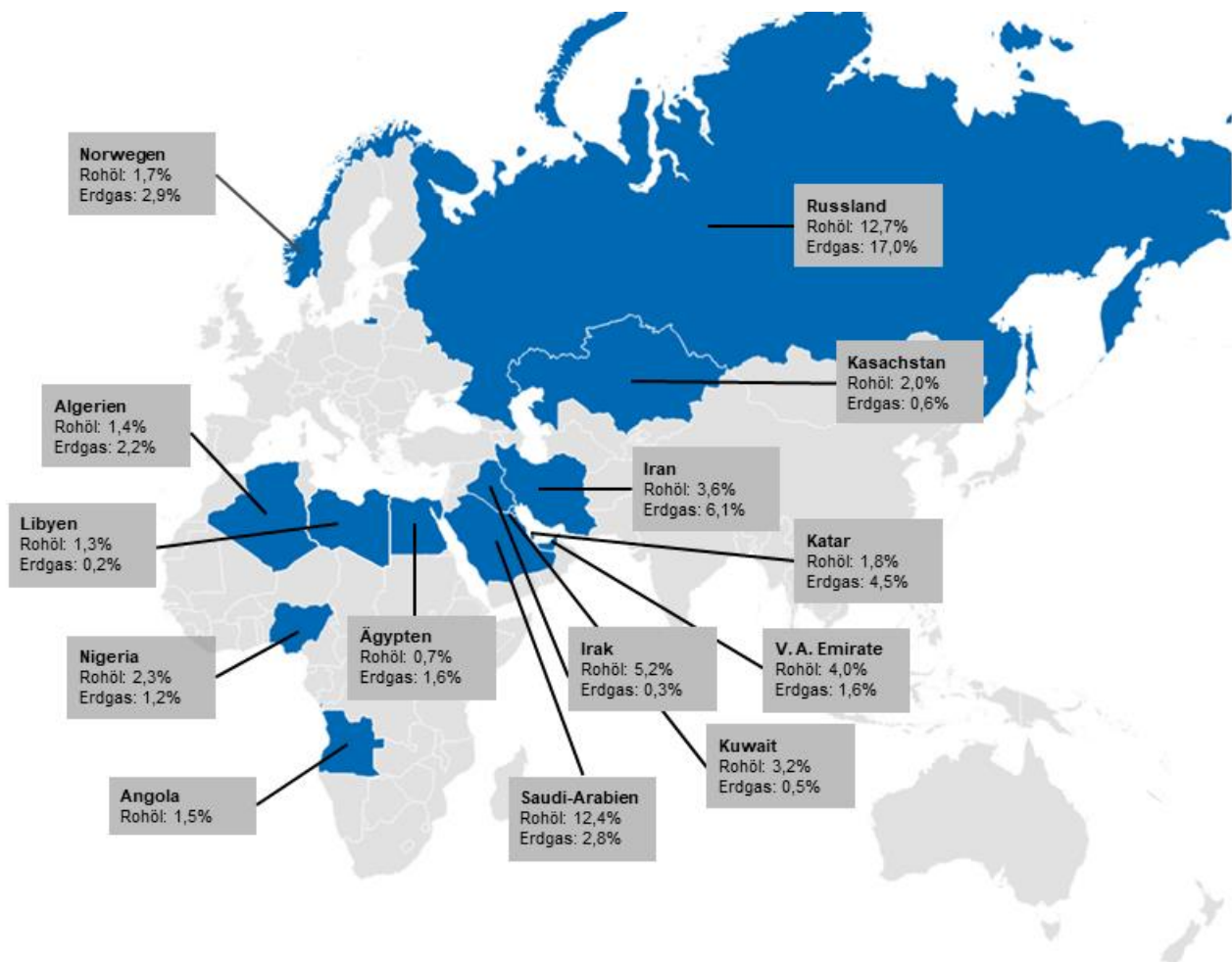
Die zusätzliche regionale Wertschöpfung und Beschäftigung kann dabei je nach Land neue Wertschöpfungsketten erschließen, oder bestehende Wertschöpfungsketten der Förderung fossiler

<sup>6</sup> Aus volkswirtschaftlicher Sicht ist der Produktionswert eines Guts äquivalent zu der Wertschöpfung, die in allen Produktionsschritten des Guts eingebracht wird. Auf Basis unserer Berechnungen gehen wir von einem Gesamtwert der PtX-Güter von 3.200 Milliarden Euro pro Jahr aus. Rund 485 Milliarden Euro wertschöpfende Tätigkeiten davon entfallen auf die PtX-Umwandlung. Weitere rund 1.115 Milliarden Euro Wertschöpfung stammen aus Vorleistungen aus dem Inland der PtX-Umwandlung. Weitere bis zu 1.600 Milliarden Euro Wertschöpfung entstehen dabei im Ausland. Dies sind international übliche Anteile, die durch die starke internationale Vernetzung der Wertschöpfungsketten bedingt werden.

Energieträger (teilweise) substituieren. So können bestehende Logistik- und Transportsysteme für Öl und Gas auch für den Transport von grünen flüssigen Energieträgern und Gasen genutzt werden. Abbildung 6-4 gibt die Länder mit einem signifikanten Weltmarktanteil bei der Förderung fossiler Energieträger in Europa, Asien und Afrika wieder, die zum Teil auch sehr gute Standortbedingungen für die Produktion von flüssigen Energieträgern aus Wind und Solarenergie besitzen. Für diese Länder bieten sich somit Potenziale, durch die Transformation ihrer Energiewirtschaft in Richtung Klimaneutralität auch zukünftig Energieträger auf dem Weltmarkt anbieten und damit entsprechende Lebensverhältnisse in ihren Ländern langfristig sichern zu können.

### Abbildung 6-4: Ausgewählte Produzenten von Erdöl und Erdgas in Afrika und Asien

In Prozent der weltweiten Fördermenge 2019



Quelle: BP (2020); eigene Berechnungen

Gleichzeitig ist eine schnelle und nachhaltige Integration der bisherigen Förderländer in die Wertschöpfungskette der regenerativen Energieträger für eine positive Wirkung auf das weltweite Klima unabdingbar. Für die Reduktion des weltweiten Ausstoßes von Treibhausgasen ist es auch wichtig, dass die heutigen Produzenten fossiler Energieträger klimaneutrale Wertschöpfungs-Alternativen erhalten. Insgesamt ist die umgehende Intensivierung der internationalen

Zusammenarbeit zwischen potenziellen Anbieterländern von PtX-Energieträgern und den Nachfragerländern nach klimaneutraler Energie nicht nur sinnvoll, sondern auch erforderlich. Grundsätzlich können mit einem internationalen Kooperationsansatz – wie zuvor dargestellt – nennenswerte positive volkswirtschaftliche Effekte sowohl in den PtX-Nachfragerregionen als auch in den PtX-produzierenden Ländern ausgelöst werden.

Die wirtschaftliche Stärkung der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien in den potenziellen PtX-Produktionsländern könnte zudem wichtige Impulse für die Entwicklung des Strommixes in diesen Ländern setzen. Durch die PtX-Produktion aus erneuerbaren Energiequellen besteht für die Energiebranche der Länder die Chance, ihre Produkte auf dem Weltmarkt zu exportieren und so zusätzliche Absatzmärkte zu erschließen. Dies könnte sich als wichtige Investitionsentscheidung für Wind- und Solarkraftwerke im Wettbewerb zu konventionellen Kohlekraftwerken herausstellen. Nach Berechnungen der Weltbank (2020) wird sich die Bevölkerung in Afrika und dem mittleren Osten bis zum Jahr 2050 von heute rund 1,6 Milliarden Menschen auf mehr als 2,8 Milliarden Menschen erhöhen. Die mit der zu erwartenden Bevölkerungsentwicklung einhergehende wirtschaftliche Entwicklung wird zwangsläufig zu einem deutlich steigenden Bedarf an Energie und Strom in dieser Region führen. Ein frühzeitiges Erschließen der vorhandenen Erneuerbare-Energien-Potenziale in diesen Ländern könnte diese alternativ zum wahrscheinlich ansonsten erfolgenden Ausbau konventioneller Kraftwerke etablieren. Auf diese Weise kann das zu erwartende wirtschaftliche Wachstum in diesen Ländern rechtzeitig von einem Anstieg der CO<sub>2</sub>-Emissionen entkoppelt werden.

## Literatur

- ACEA – European Automobile Manufacturers Association, 2019, Passenger car registrations: +0.1% in 2018; -8.4% in December, <https://www.acea.be/press-releases/article/passenger-car-registrations-0.1-in-2018-8.4-in-december> [30.9.2020]
- ACEA, 2020a, Alternative fuel vehicle registrations, <https://www.acea.be/statistics/tag/category/electric-and-alternative-vehicle-registrations> [10.12.2020]
- ACEA, 2020b, Average age of the vehicle Fleet, <https://www.acea.be/statistics/tag/category/average-vehicle-age> [10.12.2020]
- Agora Verkehrswende, Agora Energiewende und Frontier Economics, 2018, Die zukünftigen Kosten strombasierter synthetischer Brennstoffe, Berlin
- BCG – Boston Consulting Group / Prognos, 2018, Klimapfade für Deutschland, <https://bdi.eu/publikation/news/klimapfade-fuer-deutschland/> [21.10.2020]
- Bothe, David / Fritsch, Manuel / Lövenich, Andrea / Perner, Jens / Schaefer, Thilo, 2018, Synthetische Energieträger – Perspektiven für die deutsche Wirtschaft und den internationalen Handel, Studie im Auftrag von MEW (Mittelständische Energiewirtschaft Deutschland), IWO (Institut für Wärme und Oeltechnik) sowie UNITI (Bundesverband mittelständischer Mineralölunternehmen), Köln
- BP, 2020, Statistical Review of World Energy 2020, 69th edition, <https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html> [30.9.2020]
- Climate Action Tracker, 2019, <https://climateactiontracker.org/data-portal/> [21.10.2020]
- EEA – European Environment Agency, 2020 National emissions reported to the UNFCCC and to the EU Greenhouse Gas Monitoring Mechanism (V23), <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/national-emissions-reported-to-the-unfccc-and-to-the-eu-greenhouse-gas-monitoring-mechanism-16> [10.12.2020]
- Eurostat, 2020, Personenkraftwagen nach Art des Antriebs ROAD\_EQS\_CARPDA, <https://ec.europa.eu/eurostat/de/data/database> [30.9.2020]
- Fraunhofer IAO, 2018. ELAB 2.0 Wirkungen der Fahrzeugelektrifizierung auf die Beschäftigung am Standort Deutschland
- Fritsch, Manuel / Matthes, Jürgen, 2020, On the relevance of global value chains and the intra-european division of labour. National Institute Economic Review, Vol. 252, R4-R18. doi:10.1017/nie.2020.16
- Globenewswire, 2020, Outlook on Brazil's Electric Vehicle (EV) Market, <https://www.globenewswire.com/news-release/2020/01/24/1974767/0/en/Outlook-on->

Brazil-s-Electric-Vehicle-EV-Market-2025-The-Market-is-Primarily-Driven-by-Attractive-Plug-in-Hybrid-Vehicle-Offers-and-Decreasing-EV-Prices.html [10.12.20]

IEA - International Energy Agency, 2019, The Future of Hydrogen, <https://www.iea.org/reports/the-future-of-hydrogen> [30.9.2020]

IW Consult GmbH, 2019, Cross border services in the internal market: an important contribution to economic and social cohesion, Studie im Auftrag des European Economic and Social Committee (EESC), Brüssel, Köln

Prognos / Fraunhofer UMSICHT / DBFZ, 2018, Status und Perspektiven flüssiger Energieträger in der Energiewende, Basel

Puls, Thomas, 2019, CO<sub>2</sub>-Reduktion im Verkehr – Was kann Deutschland von Schweden lernen?, <https://www.iwkoeln.de/studien/iw-policy-papers/beitrag/thomas-puls-thilo-schaefer-was-kann-deutschland-von-schweden-lernen.html> [19.10.2020]

SMEV – Society of Manufacturers of Electric Vehicles, 2020, E2W Sales – FY 18-19, <https://www.smev.in/productImage/for%20smev%20web%20sales%2018-19.pdf> [10.12.20]

UN, 2020, UN Comtrade Database, <https://comtrade.un.org> [23.11.2020]

VDA – Verband der Automobilindustrie, 2020, Europäischer Pkw-Markt 2019 leicht im Plus, <https://www.vda.de/de/presse/Pressemeldungen/200116-Europ-Pkw-markt-2019-leicht-im-plus.html> [10.12.20]

Weltbank, 2020, Population estimates and projections database [30.9.2020]

Weltbank, 2020a, Global Solar Atlas, <https://globalsolaratlas.info/map> [23.11.2020]

Weltbank, 2020b, Global Wind Atlas, <https://globalwindatlas.info/> [23.11.2020]

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Zusätzliche Arbeitsplätze in Europa durch den Export von Maschinen und Anlagen zur Produktion strombasierter synthetischer Energieträger (Power-to-X, PtX) .....	3
Abbildung 1-1: Die bisherige Weltklimapolitik steuert in Richtung Zielverfehlung .....	4
Abbildung 1-2: EU-28 – Zielerreichungsgrade nach Sektoren.....	5
Abbildung 2-1: Herstellung flüssiger Energieträger aus erneuerbar erzeugtem Strom .....	8
Abbildung 2-2: Große Wirkhebel treibhausgasneutraler flüssiger Kraftstoffe .....	11
Abbildung 2-3: Langsamer Flottenaustausch im Osten Europas im Jahr 2018.....	12
Abbildung 3-1: Weiterhin kaum Elektroautos in Süd- und Osteuropa .....	16
Abbildung 3-2: Hohe Bedeutung des Fahrzeugbaus für europäische Zulieferbranchen .....	18
Abbildung 3-3: Bedeutung des Fahrzeugbaus für die Beschäftigung in Europa .....	19
Abbildung 4-1: Referenzszenario für Bedarf an PtX-Kapazitäten und Investitionen .....	21
Abbildung 4-2: China und Japan haben Deutschland als Weltmarktführer bei Elektrolyseuren überholt .....	22
Abbildung 4-3: Der Weltmarkt für Elektrolyseure wächst außerhalb Europas.....	23
Abbildung 4-4: Produktionspotenzial Elektrolyseure bei PtX-Hochlauf.....	24
Abbildung 4-5: Fast die Hälfte der weltweit im Jahr 2018 produzierten Maschinen und Anlagen kommen aus Europa .....	25
Abbildung 4-6: Produktionspotenzial sonstiger Anlagen zur Herstellung von PtX .....	26
Abbildung 5-1: Direkte, indirekte und induzierte Effekte der Hersteller von Anlagen zur PtX-Gewinnung in Europa.....	29
Abbildung 5-2: Wertschöpfungseffekte durch den Export von Maschinen- und Anlagen zur PtX-Produktion.....	30
Abbildung 5-3: Wertschöpfungseffekte in den einzelnen Ländern .....	31
Abbildung 5-4: Relative Wertschöpfungseffekte in den Ländern .....	32
Abbildung 5-5: Beschäftigungseffekte durch den Export von Maschinen- und Anlagen zur PtX-Produktion.....	33
Abbildung 5-6: Beschäftigungseffekte in den einzelnen Ländern.....	34
Abbildung 5-7: Relativer Anteil der Beschäftigungseffekte in den Ländern .....	35
Abbildung 6-1: PTX: Günstige Produktionspotenziale liegen außerhalb der EU.....	37
Abbildung 6-2: Volkswirtschaftliche Effekte für ein potenzielles PtX-Produktionsland .....	38
Abbildung 6-3: Langfristige regionale Produktionskosten für grünen Wasserstoff.....	40
Abbildung 6-4: Ausgewählte Produzenten von Erdöl und Erdgas in Afrika und Asien .....	41