



IW-Gutachten

Synthetische Kraftstoffe: Potenziale für Europa

Klimaschutz- und Wertschöpfungseffekte eines Hochlaufs der Herstellung klimafreundlicher 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, 23.03.2021

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	2
1 Ausgangslage	4
2 Strombasierte synthetische Energieträger	7
2.1 Eigenschaften synthetischer Kraftstoffe	7
2.2 Potenziale synthetischer Kraftstoffe	9
3 Die Effekte synthetischer Kraftstoffe für den europäischen Fahrzeugbau	14
4 Das Marktpotenzial für Anlagen zur Erzeugung von PtX	21
5 Neue zukunftsorientierte Arbeitsplätze im europäischen Maschinen- und Anlagenbau mit PtX-Technologien	28
6 Aufbau nachhaltiger Wertschöpfungsstrukturen in Regionen außerhalb von Europa	37
Literatur	44

Zusammenfassung

Aus grünem Strom hergestellte synthetische Kraftstoffe können einen wesentlichen Beitrag leisten, um weltweit die Treibhausgasemissionen zu reduzieren. Produziert aus erneuerbar erzeugtem Strom lassen sich flüssige Energieträger klimaneutral in Verbrennungsmotoren einsetzen. Im Flug- und Schiffsverkehr stellen diese Kraftstoffe aus heutiger Sicht die einzige klimaneutrale Option dar. Im Schienen- und Straßenverkehr sind synthetische Kraft- und Brennstoffe eine Alternative zur Direktelektrifizierung, insbesondere dann, wenn der direkte Zugang zum Stromnetz erschwert ist. In vielen Weltregionen wird 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 teurerer Elektrofahrzeuge erklären. Zu beachten ist auch die hohe wirtschaftliche Bedeutung des Fahrzeugbaus in vielen Ländern Mittel- und Osteuropas.

Ein wesentlicher Vorteil synthetischer Kraftstoffe besteht darin, dass sie über bestehende Liefer- und Transportinfrastrukturen den aktuell vorhandenen Fahrzeugbestand versorgen und damit einen umgehend wirksamen Beitrag zur Reduktion der Treibhausgasemissionen des Verkehrssektors leisten können, der nicht vom Nutzerverhalten abhängt. 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.

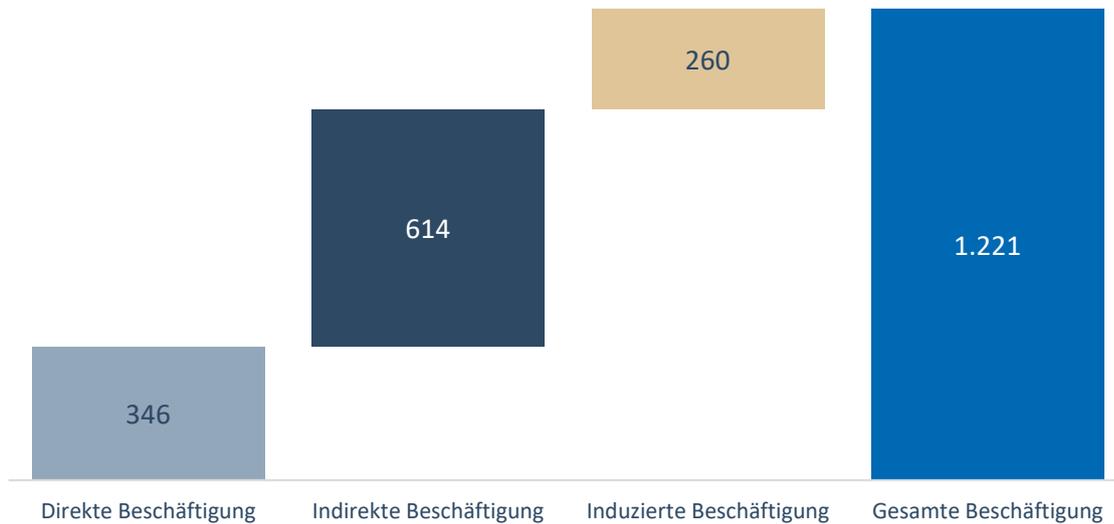
Das Ziel der Klimaneutralität ist ohne den Einsatz größerer Mengen von synthetischen Kraftstoffen aus heutiger Sicht nicht erreichbar.

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 an, die zumeist außerhalb Europas liegen. Angesichts des enormen Bedarfs an erneuerbarer Energie für die Defossilisierung nicht nur der aktuellen Stromversorgung, sondern auch der Sektoren Industrie, Gebäude und Verkehr, wo bislang überwiegend andere Energieträger eingesetzt werden, werden die Mitgliedstaaten der Europäischen Union über den eigenen Ausbau der 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 Wirtschaftsstandorte vor Ort profitieren.

Abbildung 1-1: Zusätzliche europäische Arbeitsplätze 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), Institut der deutschen Wirtschaft

Durch einen Hochlauf der Produktion von strombasierten Energieträgern können rund 80 Milliarden Euro Wertschöpfung und 1,2 Millionen neue Arbeitsplätze im europäischen Maschinen- und Anlagenbau entstehen sowie über 330.000 neue hochproduktive Jobs in den potenziellen Produktionsländern von synthetischen Fuels.

Für die EU bietet sich zudem die Chance, sich als führender Anbieter nachhaltiger Technologien zu positionieren. Damit dies gelingt, dürfen die entsprechenden Investitionen nicht allzu lange warten. Denn obwohl der Weltmarkt für Elektrolyseure zur Erzeugung von Wasserstoff sich in den letzten 20 Jahren verdoppelt hat, fand das Wachstum größtenteils außerhalb Europas statt.

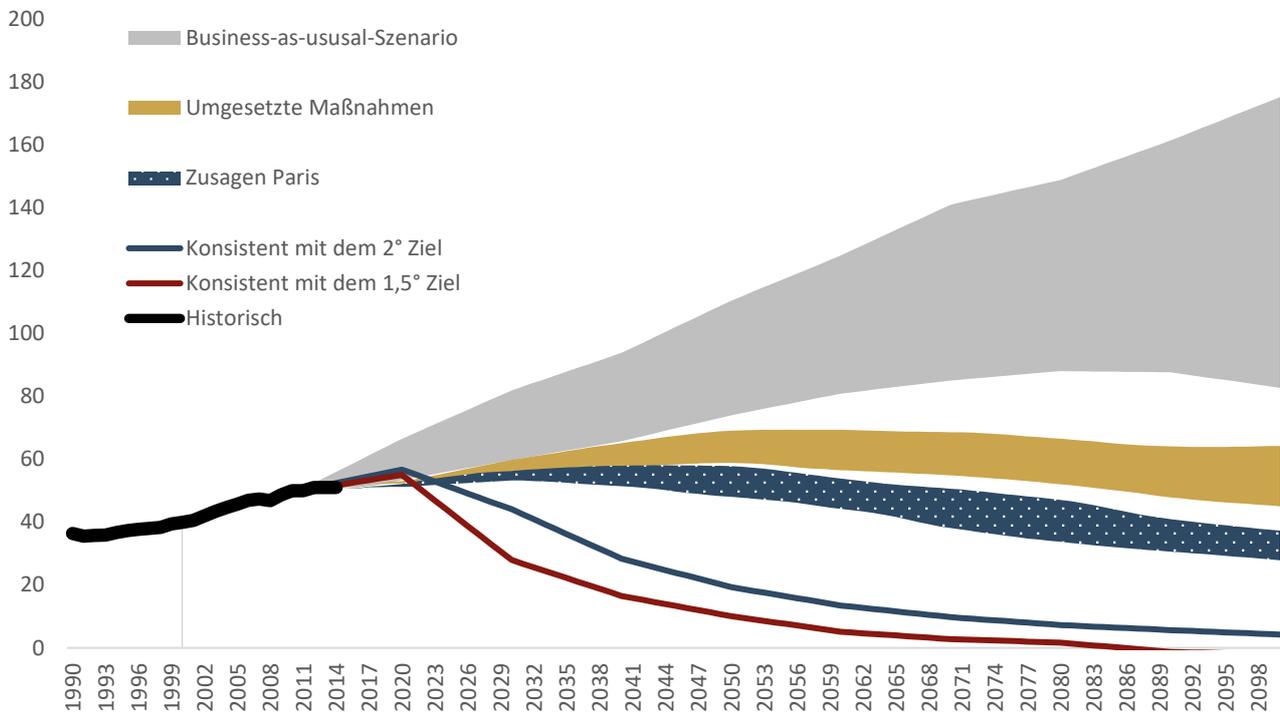
1 Ausgangslage

- Internationale Vereinbarungen auf UN- und EU-Ebene geben Reduktionsziele für Treibhausgasemissionen vor, die durch entsprechende europäische Rechtsakte für die Bundesregierung rechtsverbindlich sind.
- Der „Green Deal“ der EU-Kommission gibt für alle Sektoren verschärfte Reduktionsziele vor. Der Verkehrssektor ist noch weit von seinen Zielen entfernt.
- 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. Die bislang umgesetzten Maßnahmen führen gerade einmal zu einer Verlangsamung des Anstiegs der CO₂-Emissionen (Abbildung 1-1). Demnach ist eine massive Verschärfung der Maßnahmen 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.

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

Angaben in Gigatonnen CO_{2eq}

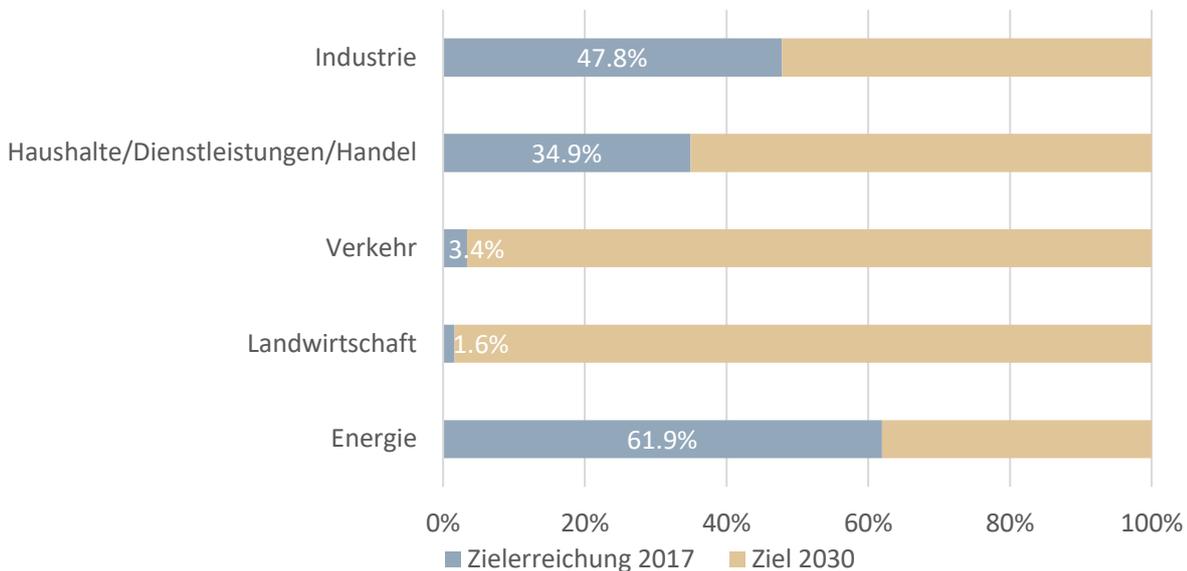


Quelle: Climate Action Tracker, 2019

Mit ihrem Green Deal bekräftigt die europäische Kommission ihre Ambitionen in der Klimaschutzpolitik. Das Ziel für 2030 soll laut Kommissionsvorschlag deutlich nach oben gesetzt werden, von 40 Prozent Reduktion der Treibhausgasemissionen gegenüber 1990 auf dann 55 Prozent. Die Klimapolitik der EU basiert darauf, das übergeordnete Reduktionsziel in sektorale Ziele herunterzubrechen. Dementsprechend müssten auch diese sektorspezifischen Ziele verschärft werden. 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 CO₂-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 die bestehende Regulatorik eine strikte Aufteilung der Emissionen entlang von Sektorgrenzen vornimmt, was zu einigen Abgrenzungsproblemen führt. 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 Elektrofahrzeuges für den Verkehrssektor nicht ins Gewicht. In Anbetracht der zunehmenden energetischen Koppelung der Sektoren ist dieses Vorgehen fragwürdig, repräsentiert aber den bestehenden rechtlichen Rahmen, weshalb im Folgenden auf dieser Grundlage argumentiert wird.

Abbildung 1-2: EU 28: Zielerreichungsgrade nach Sektoren

Angaben in Prozent der Emissionsminderung gegenüber dem Basisjahr 2005



Quelle: EEA, 2019 (v22)

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 sie 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, Verkehr und Wärmeversorgung 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 die Emissionen der derzeitigen Fahrzeugflotte verringern.
- Eine fünfprozentige Beimischung strombasierter synthetischer Kraftstoffe würde im europäischen Durchschnitt in etwa soviel Emissionen reduzieren wie ein kompletter Jahrgang neuzugelassener Elektrofahrzeuge, die 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 dieser Prozess immer mit energetischen Verlusten verbunden ist, steigert sich der Bedarf an Strom aus erneuerbaren Quellen im Zuge der kompletten Defossilisierung Europas drastisch im Vergleich zu einem niedrigeren Reduktionsziel (BCG/Prognos, 2018). Diesen Bedarf werden EE-Stromerzeugungskapazitäten in Europa nicht decken können. Es wird vielmehr notwendig sein, auf EE-Strom basierende Energieträger aus anderen Weltregionen mit hohem Solar- und Wind-, aber auch Flächenpotenzial zu importieren, nicht zuletzt aus wirtschaftlichen Gründen und Gründen der Akzeptanz.

2.1 Eigenschaften synthetischer Kraftstoffe

Flüssige Energieträger auf fossiler Basis prägen die heutige Energieversorgung von Industrie, Haushalten und Verkehr. 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 zugrundliegenden 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

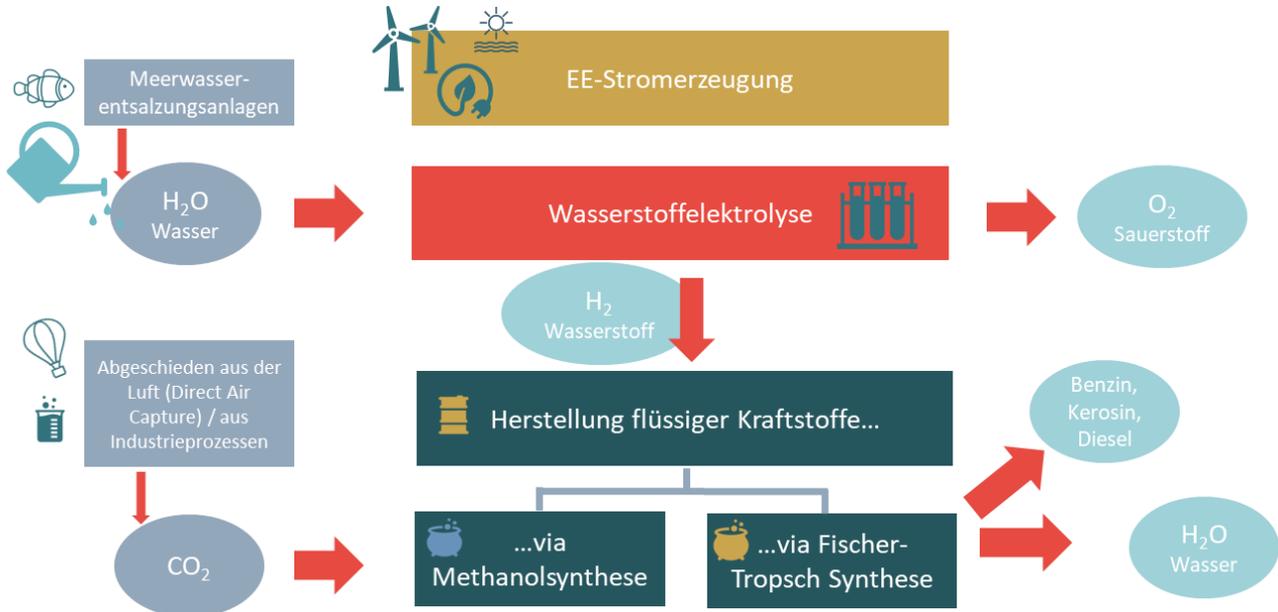
Verhältnis die Investitionsbedarfe liegen, hängt davon ab, wie nah der jeweilige Energiespeicher den heutigen in Bezug auf seine stofflichen Eigenschaften kommt. Bei strombasierten Flüssigkraftstoffen kann die bestehende Transport- und Verteilungsinfrastruktur weiter genutzt werden, während diese für die Nutzung von Wasserstoff oder Strom mehr oder weniger stark modifiziert 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 EE-Ertragspotenzial.

Grundsätzlich ist es möglich, jeden Kohlenwasserstoff herzustellen, indem über Elektrolyse Wasserstoff hergestellt wird, der dann unter Zugabe von Kohlendioxid zu beliebigen Ketten rekombiniert wird. Dieser Prozess (Abbildung 2-1) erfordert aber eine relativ hohe Zufuhr von Prozessenergie typischerweise in Form von Wärme. Die wichtigsten strombasierten Energieträger, die so erzeugt werden können, 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). Diese sind chemisch betrachtet vergleichbar mit reinem Kerosin, Benzin oder Diesel und können dementsprechend auch überall dort verwendet werden, wo bislang flüssige Kraftstoffe auf fossiler Basis verwendet werden. Aufgrund ihrer chemischen Reinheit sind strombasierte Kraftstoffe den heute gebräuchlichen als Brenn- oder Kraftstoff in Bezug auf ihre 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.

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

Schematische Darstellung



Quelle: Bothe et. al. (2018)

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_2 . Hierfür gibt es verschiedene Möglichkeiten. Als CO_2 -Quellen stehen verschiedene Möglichkeiten zur Verfügung: biogene Quellen, das Direct-Air-Capture-Verfahren (hierbei wird das CO_2 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

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.

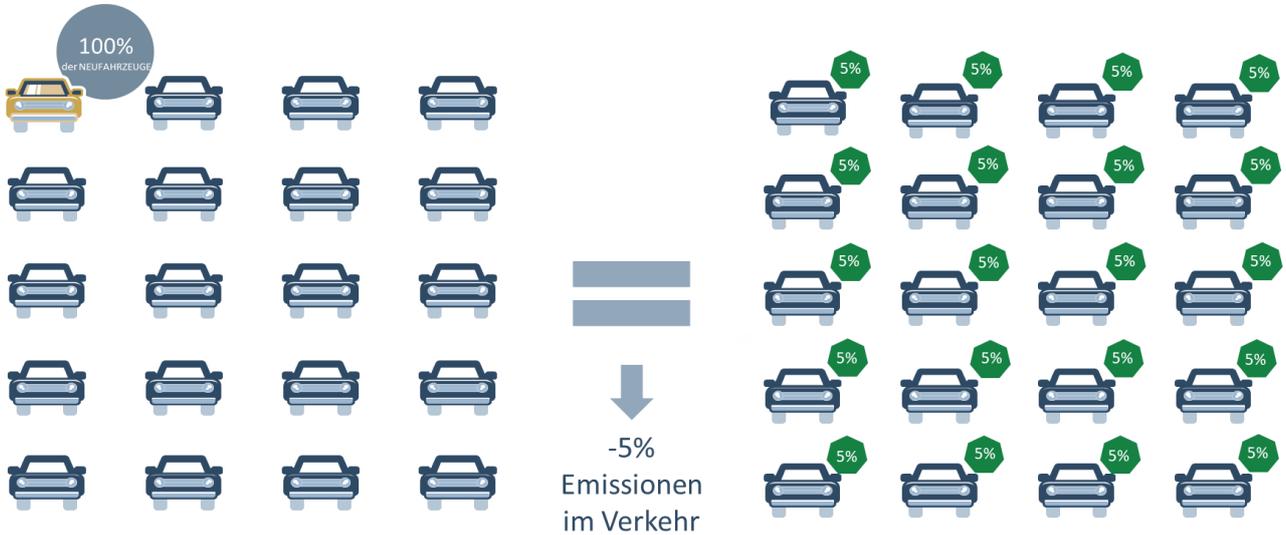
In der Industrie sind Erdöl und Erdgas neben ihrer Rolle bei der Erzeugung von Prozessenergie auch als Rohstofflieferanten von Bedeutung. Aus ihnen werden Wasserstoff und Kohlenwasserstoffe gewonnen, die beispielsweise die Grundlage für unterschiedlichste technische Kunststoffanwendungen sind. Beispielhaft seien an dieser Stelle Anwendungen in der Medizintechnik und Substitute für z.B. 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 CO₂-Emissionen des heutigen Fahrzeugbestands bilanziell bis zur vollständigen THG-Neutralität 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.

In Anbetracht der Tatsache, dass neue Pkw eine Lebenszeit von 15 bis 20 Jahren vor sich haben, hat es große Bedeutung die aktuelle Flotte mit emissionsärmeren Kraftstoffen versorgen zu können. Durch die Option in fast jedem bestehenden Fahrzeug genutzt zu werden, haben strombasierte Kraftstoffe einen großen Hebel um beispielsweise die Emissionen des Verkehrs zu senken. Dieser Hebel lässt sich recht gut illustrieren, wenn man ihn mit dem von Elektroautos, die ja aufgrund der bestehenden Regulatorik als emissionsfrei gelten, in Relation stellt. In der europäischen Union kommen die Neuzulassungen von Pkw üblicherweise auf ein Volumen, welches etwas mehr als fünf Prozent des Bestandes entspricht. Ein normaler Zulassungsjahrgang würde vereinfacht gedacht also im Rahmen der gelten Berechnungsvorschriften die Emissionen der Pkw-Flotte um fünf Prozent senken. Eine dauerhafte Beimischung von fünf Prozent strombasiertem Kraftstoff hätte in etwa den gleichen Effekt auf die Emissionen der Pkw (Abbildung 2-2) und könnte auch die Emissionen der Nutzfahrzeuge mit senken. Anzumerken ist an dieser Stelle auch, 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 Fahrzeuges erzielen, mit dem täglich gependelt wird.

Abbildung 2-2: Große Wirkhebel THG-neutraler flüssiger Kraftstoffe

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

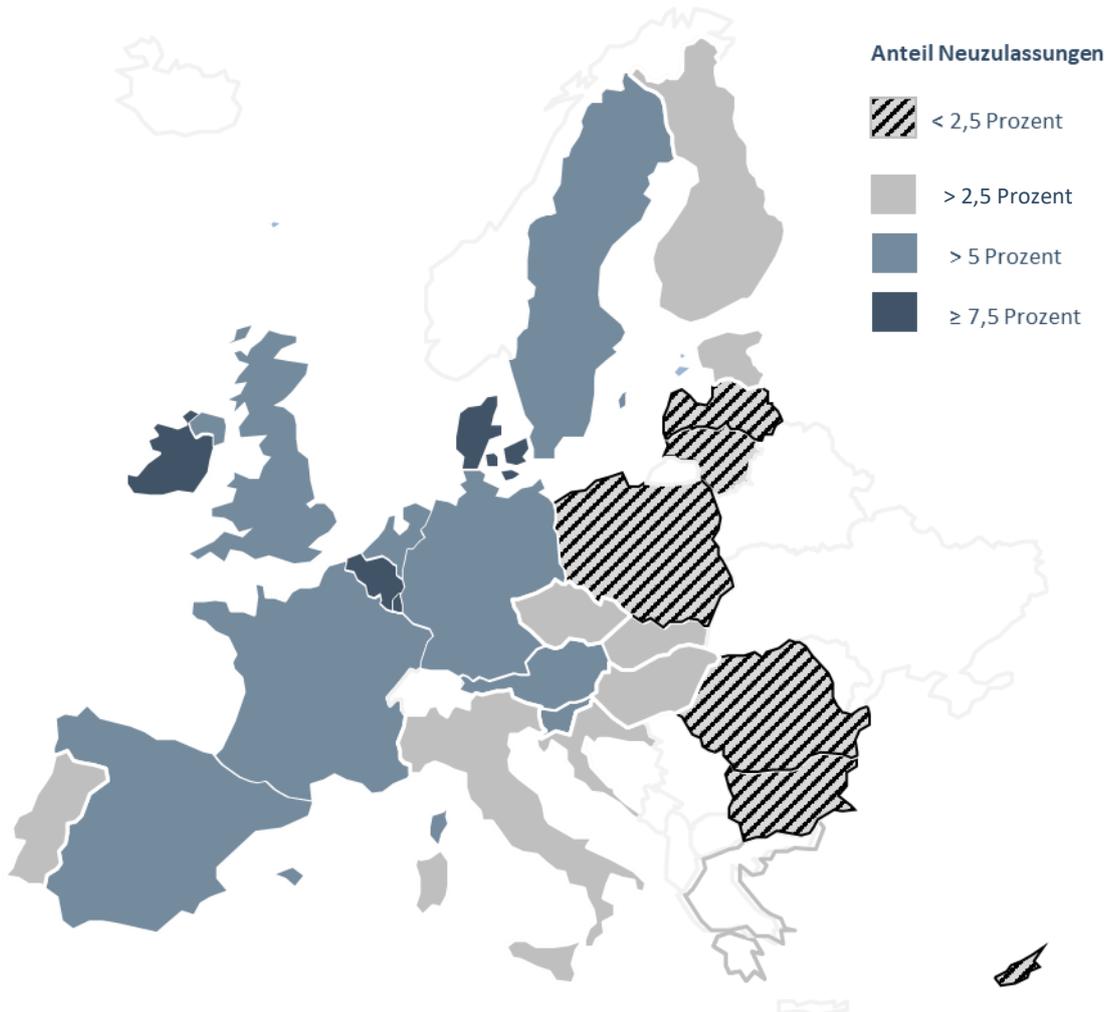


Quelle: Eigene Darstellung

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-Bestandes 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 fünf 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 zu sehen ist, 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 bereits 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 37ff.). Da zudem eine sichere Wasserversorgung nötig ist, scheinen etwa die küstennahen Regionen Nordafrikas als Standort für Elektrolyseanlagen besonders geeignet, um dort dann auch 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 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 Dieselkraftstoff 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 diese 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 CO₂-Ausstoß senken, wo weiterhin Fahrzeuge mit Verbrennungsmotoren fahren.
- In vielen mittel- und osteuropäischen Ländern spielen batterieelektrische Fahrzeuge bislang kaum eine Rolle 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 Strecken 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 sie genutzt werden können, um die Emissionen des heutigen Fahrzeugbestandes 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 noch für lange Zeit eingesetzt werden, auch wenn große Absatzmärkte für Fahrzeuge wie in Westeuropa und China aktuell den technischen Transformationsprozess in Richtung Elektromobilität treiben. Zudem kann das Angebot an synthetischen Kraftstoffen helfen, diesen Transformationsprozess so zu gestalten, dass allzu harte Brüche vermieden werden und 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.

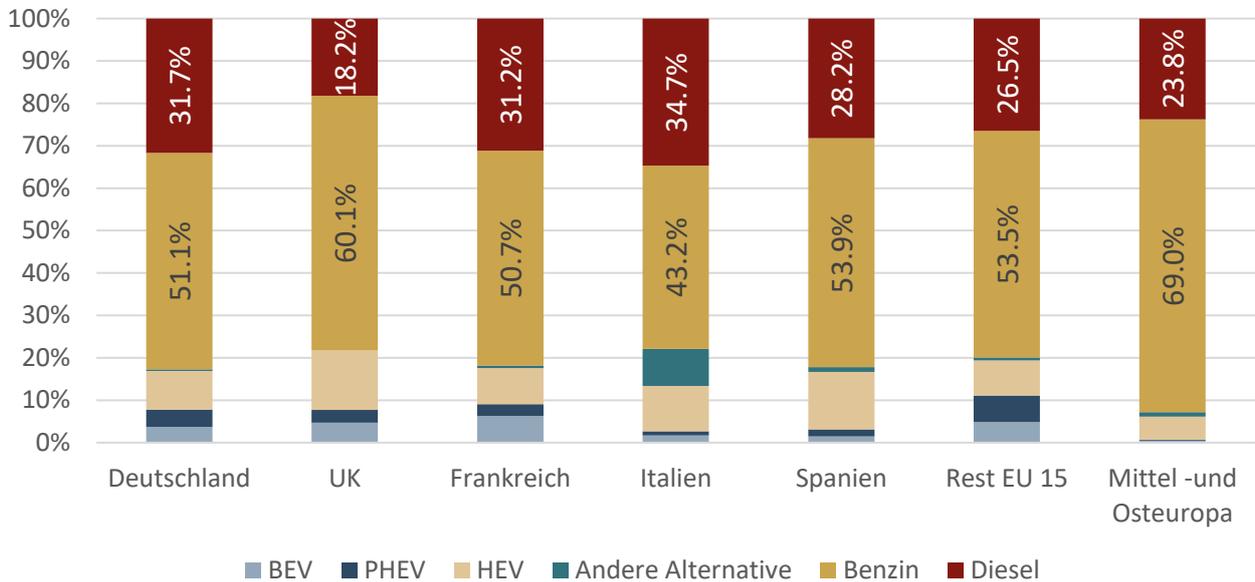
Der Fahrzeugbau ist dabei nicht mit der Autoindustrie gleichzusetzen. Diese Branche umfasst neben der Autoindustrie auch die Produktion sämtlicher anderer Fortbewegungsmittel, also auch Flugzeuge, Schiffe oder Eisenbahnen. Auch der Bau von Verbrennungsmotoren für Fahrzeuge gehört typischerweise in diese 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 Industrien und Produktionsstandorten bewirken. Die meisten Unterbranchen des Fahrzeugbaus haben heute ein globales Produktportfolio. Automobile, Schiffe oder Flugzeuge sind Produkte, die 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 Motorentechnik ist dabei in der Lage mit schwankenden Qualitäten zu arbeiten, so dass 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 Standard ist, 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.

Es ist davon auszugehen, dass sich insbesondere der Weltmarkt für Automobile in Richtung einer solchen Diversifizierung der Antriebe entwickeln wird. Treiber dieser Entwicklung sind die großen Märkte in China, Europa und Teilen der USA. Hier entsteht mit Hilfe von staatlichen Regulierungen und umfassenden Förderprogrammen die Nachfrage nach batterieelektrischen Fahrzeugen, deren zunehmende Produktion die gesamte Branche aktuell verändert. Insbesondere in Japan und Südkorea wird zudem der Einstieg in den Energieträger Wasserstoff stark gefördert. In anderen Märkten wie Südamerika, ASEAN oder Afrika sind diese Trends hingegen kaum zu beobachten, auch wenn die Datenlage über Zulassungen von Elektrofahrzeugen in diesen Märkten nur bruchstückhaft ist. Aus Brasilien wurden für das Jahr 2019 etwa 200 Zulassungen gemeldet, Indien gab für die ersten drei Quartale des Jahres 2020 knapp 2.500 Neuzulassungen bekannt. Die eher geringe Akzeptanz von Elektroautos in diesen Märkten hat mehrere Gründe. So fehlt es den Autokäufern in diesen Regionen in der Regel an der Kaufkraft, um die in der Anschaffung teureren Elektroautos erwerben zu können. Hinzu kommt, dass das Stromnetz in vielen Ländern weniger zuverlässig ist. Versorgungssicherheit, technische Verlässlichkeit, universelle Anwendbarkeit, große Reichweiten, spielen hier eine ausschlaggebende Rolle. Alles Anforderungen bei denen der Verbrennungsmotor seine Vorteile ausspielen kann. Das gilt insbesondere in Ländern mit geringer Siedlungsdichte und langen Fahrstrecken. Diese Regionen werden auf längere Sicht weiter auf Verbrennungsmotoren setzen. Aber auch in den entwickelten Regionen fallen Mobilitätsmuster und damit auch die Akzeptanz für Elektroautos recht weit auseinander. Im Mittleren Westen der USA sind die Ansprüche an ein Fahrzeug bezogen auf Fahrstrecken und Zuladung anders als in den Städten der Westküste. Dementsprechend ist die Akzeptanz von Elektroautos unterschiedlich ausgeprägt. Gleiches gilt im westlichen China. Aber auch in Europa kann man erhebliche Unterschiede bezüglich der Akzeptanz von Elektrofahrzeugen ausmachen, wie es die aktuellen Zulassungszahlen verdeutlichen (Abbildung 3-1).

Abbildung 3-1: Weiterhin kaum Elektroautos in Mittel- und Osteuropa

Marktanteile verschiedener Antriebskonzepte an den Neuzulassungen im ersten Halbjahr 2020 – Angaben in Prozent



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 Pkw im Jahr 2019 einen Marktanteil von 56 Prozent erreicht. Das ist aber ein Sonderfall, der durch die hohe staatliche Förderung in Norwegen ermöglicht wurde. Der dort gewährte Steuernachlass bei der Zulassung eines Elektroautos erreicht typischerweise einen fünfstelligen Eurobetrag. Anzumerken ist auch, dass ein Elektroauto in Norwegen tatsächlich fast emissionsfrei ist. Bedingt durch den hohen Anteil von Wasserkraft im Strommix verursacht ein norwegisches Elektroauto nur etwa 2 gCO₂/km. 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. Noch einmal anders sieht dies in Mittel- und Osteuropa aus. Im ersten Halbjahr 2020 wurden in allen Staaten, die der EU seit 2004 beigetreten sind, lediglich 6.776 BEV zugelassen, was einem Marktanteil von etwa einem halben Prozent entspricht. Deutschland hatte allein fast zehn Mal so viele Neuzulassungen. Plug-In-Hybride (PHEV) spielen in den Beitrittsländern eine noch geringere Rolle und kommen nur auf einem Marktanteil von 0,2 Prozent. 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 im größeren 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 klimaneutralen Elektromobilität ist deshalb die Förderung von synthetischen Kraftstoffen ein klimapolitisch sinnvolles Instrument. Dazu zählen die politische Anerkennung von synthetischen Kraftstoffen als klimapolitische Lösungsoption, aber auch die Inzentivierung 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 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 fahren 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 die in den üblichen Statistiken ausgewiesenes 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: Hohe Bedeutung für europäische Zulieferbranchen

In Prozent der Wertschöpfung der Branche EU-28; 2017



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

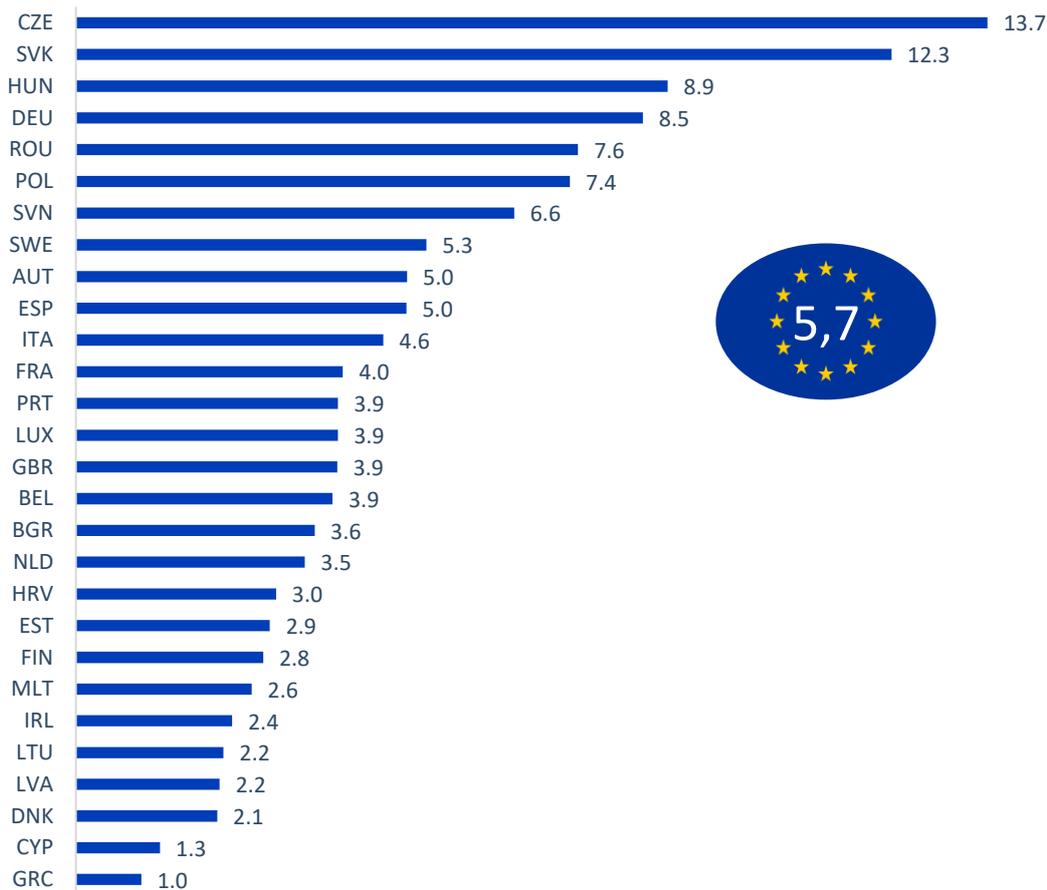
Das höchste Gewicht hat die Nachfrage aus dem Fahrzeugbau für die Metallherzeugung und -bearbeitung. Fast zwanzig Prozent der Wertschöpfung von Stahlwerken und Aluminiumhütten in Europa hängt an der Nachfrage aus dem Fahrzeugbau. Aber auch in der Schlüsselbranche des Maschinen- und Anlagenbaus sind es europaweit noch 9 Prozent. Zählt man die Arbeitsplätze mit, die in diesen Branchen und den Vorleistungslieferungen an den Fahrzeugbau hängen, 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 Jobs innerhalb der Länder der Europäischen Union. Das entspricht rund 41 Prozent aller Industriebeschäftigten in der EU bzw. rund 28 Prozent aller Beschäftigten in den Ländern Mittel- und Osteuropas.

Eine Umstellung der Automobilproduktion auf batterieelektrische Autos (BEV) hätte nach Angaben aktueller Studien potenziell negative Auswirkungen auf die Beschäftigungszahlen im Automobilsektor. Nach Berechnungen des Fraunhofer IAO (2018) waren im Jahr 2017 rund 200.000 Beschäftigte mit der Produktion von Antriebssträngen für die in Deutschland produzierten Automobile tätig. Bei einer Umstellung auf batterieelektrischen Autos könnten die für den Antriebsstrang benötigten Stellen um rund ein Drittel reduziert werden. Dieser Effekt könnte noch größer ausfallen, wenn die Produktion von wichtigen Komponenten für die BEV wie der Batterie nicht mehr in Europa stattfindet.

Innerhalb der EU-28 sind etwa 5,7 Prozent aller Beschäftigungsverhältnisse in irgendeiner Form auf die globale Endnachfrage nach Fahrzeugen zurückzuführen. Die Bedeutung der Branche für die nationalen Volkswirtschaften ist dabei höchst unterschiedlich (Abbildung 3-3).

Abbildung 3-3: Relative Beschäftigungseffekte

Relative nationale Bedeutung in Prozent der nationalen Erwerbstätigen 2017



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

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 Vorhanges vergleichsweise viele Fabriken von Autobauern und Zulieferern entstanden sind. Unter den nord- und westeuropäischen Ländern 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 hat viel damit zu tun, dass die Hersteller aus diesen beiden traditionellen Automobilländern viele Kapazitäten in Mittel- und Osteuropa aufgebaut haben, da sie vor allem ein sehr preissensitives Marktsegment bedienen. 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. Für diese Betriebe hat die Entwicklung flüssiger Energieträger für den Betrieb ihrer Produkte eine besonders hohe Bedeutung.

Diese Situation hat auch nicht zu vernachlässigende politökonomische Implikationen innerhalb der Europäischen Union. Viele mittel- und osteuropäischen Länder sehen beim Transformationsprozess hin zur batterieelektrischen Mobilität nur geringe Perspektiven. Andererseits werden hohe Risiken erwartet, da der Transformationsprozess ihre wichtigste Industriebranche unter Druck setzt und voraussichtlich zu spürbaren Arbeitsplatzverlusten führen wird. Demgegenüber fällt es Ländern wie Dänemark oder den Niederlanden leichter, als Treiber auf europäischer Ebene aufzutreten, da sie kaum von Arbeitsplatzverlusten betroffen wären. Abgesehen von den möglichen Arbeitsplatzverlusten passt batterieelektrische Mobilität auch gut zu den Mobilitätsanforderungen in den Niederlanden oder Dänemark. Beides sind wohlhabende Länder mit flächendeckenden und verlässlichen Versorgungsinfrastrukturen. Zudem sorgt die Raumstruktur der Länder dafür, dass große Teile des Verkehrs auf eher kurzen Strecken mit hohen Anteilen an Stadtverkehr entfallen. Batterieelektrische Mobilität findet dort somit vergleichsweise optimale Einsatzbedingungen, ganz anders als etwa in Ost-Polen. Diese unterschiedlichen Interessenlagen wird die Kommission im Rahmen des anstehenden Burden Sharing-Verfahrens im Zuge der allgemeinen Verschärfung der Klimaziele ausbalancieren müssen.

4 Das Marktpotenzial für Anlagen zur Erzeugung von PtX

- Der Weltmarkt für Elektrolyseure, dem wichtigsten Anlagenteil bei der Erzeugung von Wasserstoff und strombasierten Kraft- und Brennstoffen, hat sich in den letzten 20 Jahren etwa verdoppelt. Das Wachstum fand allerdings außer halb Europas statt.
- Die Hälfte der Maschinen und Anlagen, die neben dem Elektrolyseur für die Herstellung von synthetischen Energieträgern benötigt werden, kommen heute aus Europa.
- Bei einem Hochlauf der Investitionen in Anlagen zur PtX-Produktion könnten Anlagen im Wert von 215 Milliarden Euro jedes 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 nach Power-to-X- (PtX-) Energieträgern zu rechnen. Dieser PtX-Energieträgerbedarf führt zu einer entsprechenden Nachfrage nach Anlagen zur Produktion sowohl für flüssige synthetische Kraft- und Brennstoffe (Power-to-Liquids, PtL) als auch für solche zur Erzeugung von gasförmigen (Power-to-Gas, PtG) Kraft- und Brennstoffen. 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 Größenordnungen abschätzen, die sich an Energiebedarfsberechnungen der OECD und der IEA orientieren. 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 beliefe 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 Stromerzeugungsanlagen in Erneuerbare Energien.

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

Berechnungen auf Basis weltweiter Energienachfrageprognosen (OECD/IEA)

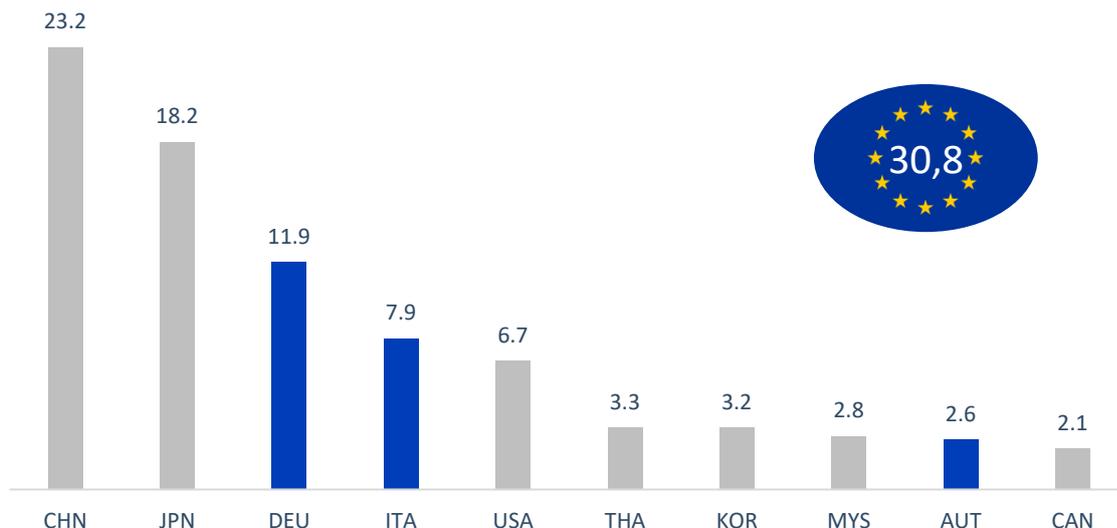


Quelle: Bothe et. al. (2018)

Fast drei Viertel des Investitionsvolumens fallen auf Elektrolyseure als zentraler 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 Handelsdrehseiben (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 Stromentsprechende klimaneutrale PtX-Mengen herstellen und für den japanischen Nachfragemarkt zur Verfügung stellen. Diese Konstellation kann beispielgebend für eine europäische PtX-Import-Strategie sein: die Produktion findet an den effizientesten Standorten für klimafreundliche Stromerzeugung statt; das Know-how und die Technologie dafür werden dorthin geliefert.

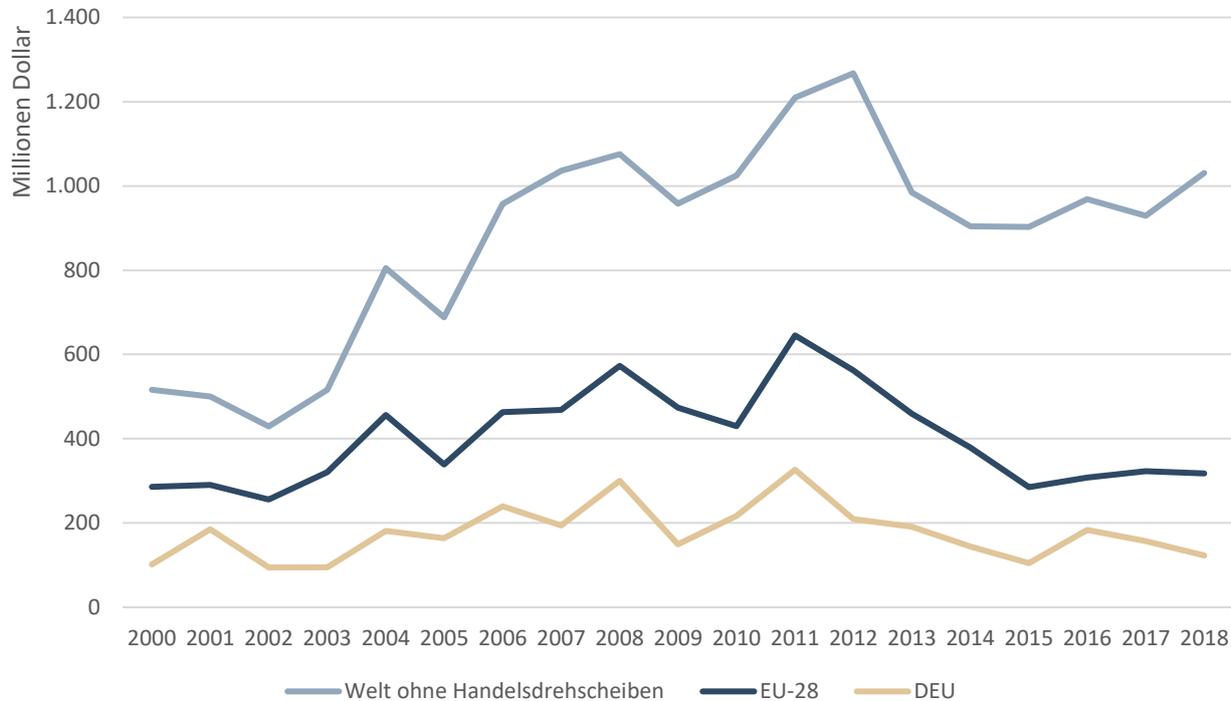
Der Weltmarkt für Elektrolyseure hat sich in den letzten 20 Jahre verdoppelt.

Die Elektrolyseur-Exporte aus Europa liegen auf dem Niveau von vor 20 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 – im Rahmen der Afrika-Strategie entsprechende EE-Potenzialstandorte in Nordafrika mit Elektrolyseuren versorgen können. Für eine solche internationale Zusammenarbeit im Bereich des Klimaschutzes könnte z.B. auch die europäische Afrikastrategie ein Katalysator sein.

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

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



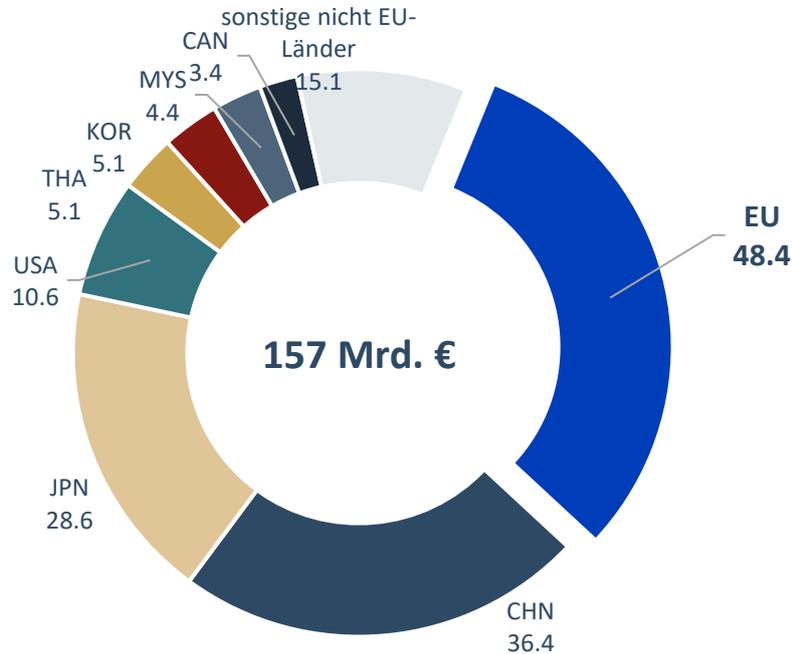
Quellen: UN (2020), eigene Berechnungen

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, gilt 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) würden bei gleichbleibenden Weltmarktanteilen knapp 50 Milliarden Euro in Europa für die Produktion von Elektrolyseuren investiert (Abbildung 4-4).

Abbildung 4-4: Produktionspotenzial Elektrolyseure bei PtX-Hochlauf

Erwartete jährliche Produktion von Elektrolyseuren ab 2020 in Milliarden Euro

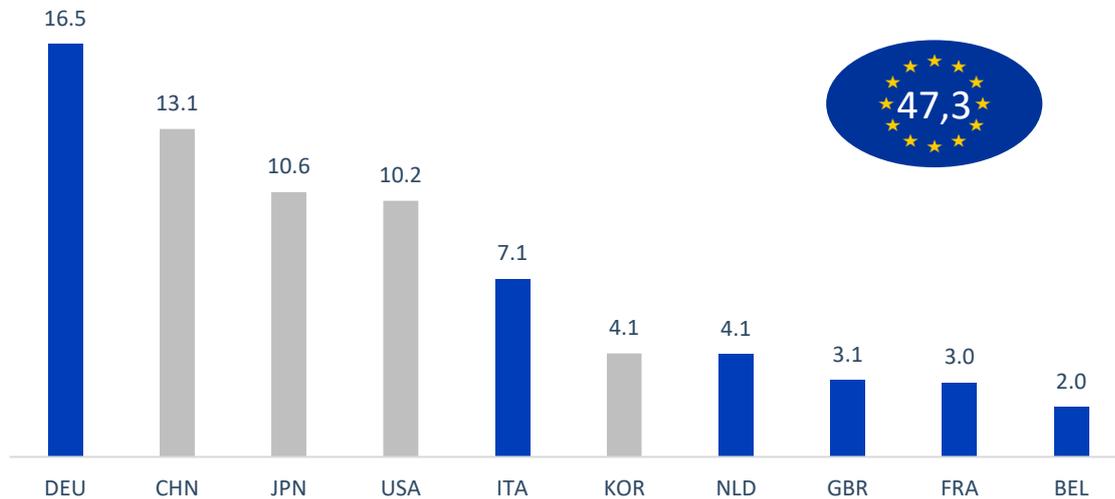


Quellen: UN (2020), eigene Berechnungen

Welche Region sich die Anteile am zukünftig stark wachsenden Elektrolyseur-Produktionsvolumensichern kann, hängt demnach auch stark von den politischen Rahmenbedingungen und Förderkulissen für die Produktion von Wasserstoff ab. Die EU-Kommission plant 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 in 2018 produzierten Maschinen und Anlagen kommen aus Europa

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



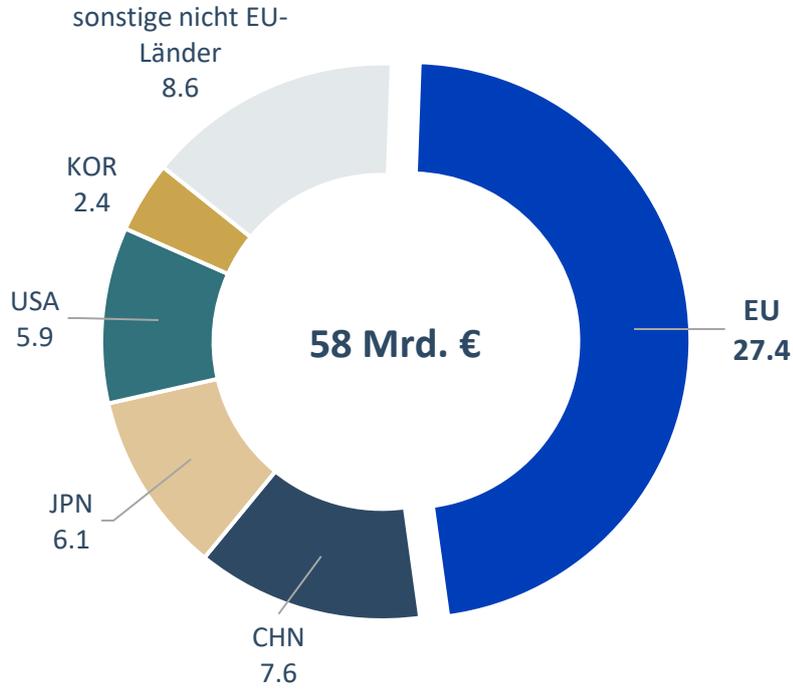
Quellen: UN (2020), eigene Berechnungen

Im Maschinen- und Anlagenbau, der die weiteren Komponenten der für die Produktion synthetischer Kraft- und Brennstoffe notwendigen Umwandlung herstellt, findet fast die Hälfte der weltweiten Produktion in Europa statt. Hierzu zählen die weiteren Umwandlungsanlagen, sowie die Vorrichtungen für die CO₂ Abscheidung mittels Direct Air Capture. Da nur die Umwandlung des Stroms in Flüssige und gasförmige Energieträger betrachtet wird, sind Investitionen in Erzeugungsanlagen für erneuerbare Energien in den Zahlen nicht berücksichtigt. Den höchsten Weltmarktanteil eines einzelnen Landes hat Deutschland mit 16,5 Prozent vor China (13,1 Prozent). Auch hier sind japanische Unternehmen stark aktiv (10,6 Prozent). Die wichtigsten europäischen Hersteller sitzen neben Deutschland in Italien, den Niederlanden, Großbritannien, Frankreich und Belgien (Abbildung 4-5).

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.

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

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).¹

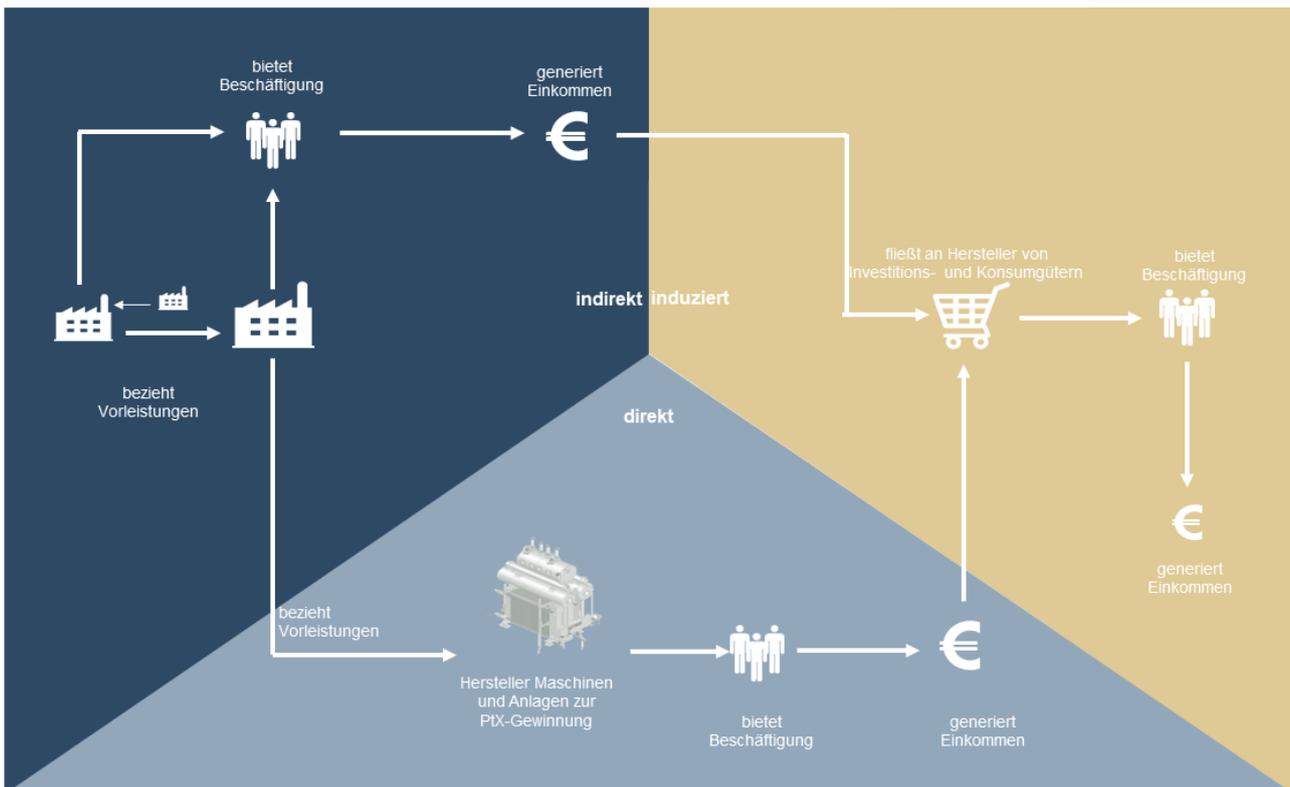
¹ Indirekte und induzierte Multiplikatoreffekte werden auf Basis einer Analyse der Input-Output-Rechnung auf Basis von amtlichen Daten der OECD ermittelt. Das Arbeiten mit Input-Output-Tabellen sowie deren Analyse gehört heutzutage zu den am häufigsten angewandten Methoden der empirischen Wirtschaftsforschung. 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

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.

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

Maßnahmen abzuschätzen. Darüber hinaus können Input-Output-Tabellen für Vorausschätzungen der wirtschaftlichen Entwicklung verwendet werden.

215 Milliarden Euro, von dem 75,8 Milliarden Euro auf Investitionsgüter des Maschinen- und Anlagenbaus aus Europa entfällt, 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 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).

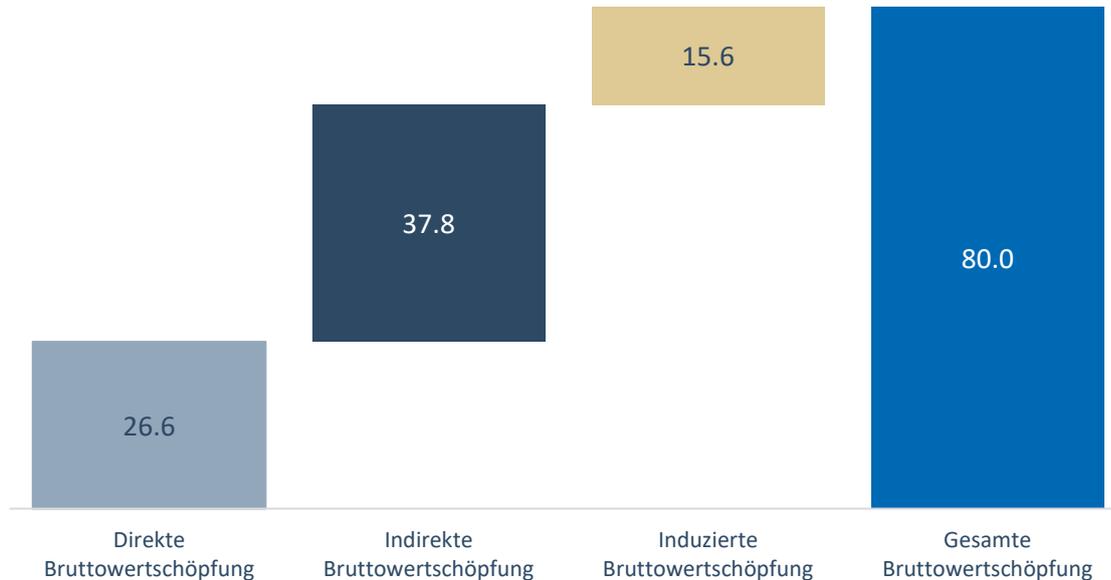
80 Milliarden Euro

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

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 in etwa der heutigen Wertschöpfung des Sport- und Unterhaltungssektors in Europa. 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.

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

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

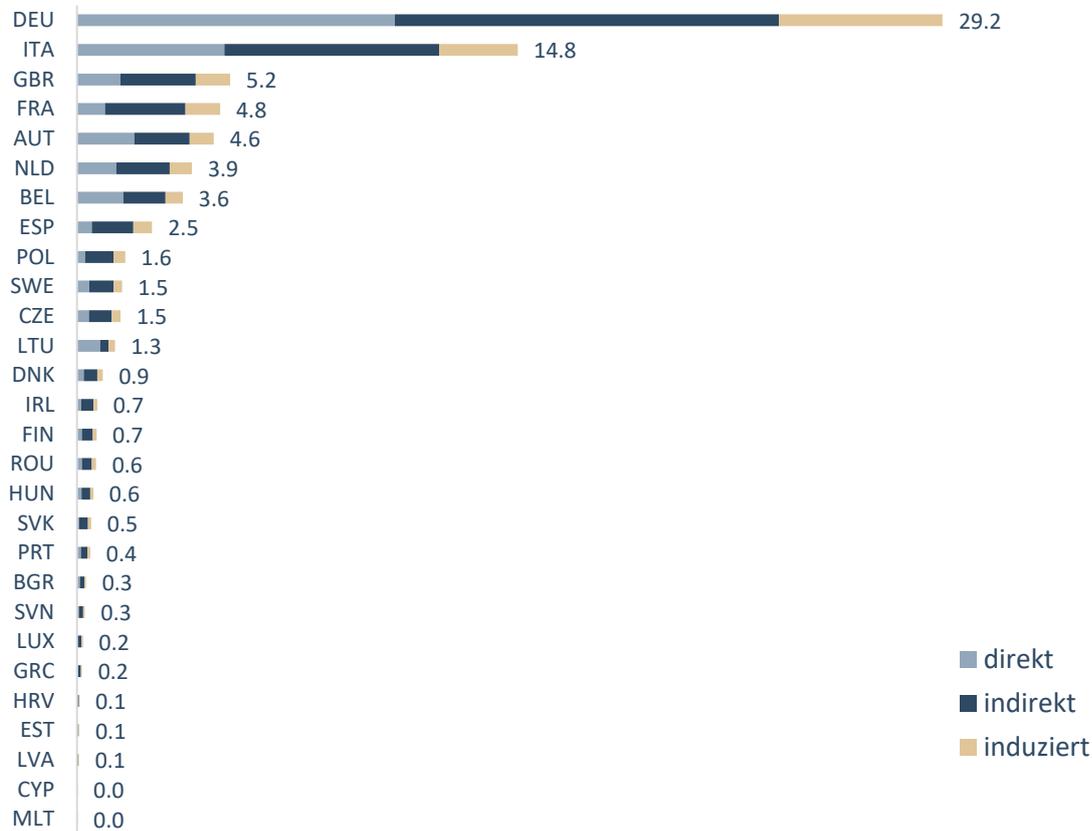


Quellen: Eurostat (2020), OECD (2020), UN (2020), OECD (2018), eigene Berechnungen

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 entfallen 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 Nachbarnstaaten der Region (Fritsch und 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 5-3: Wertschöpfungseffekte in den einzelnen Ländern

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

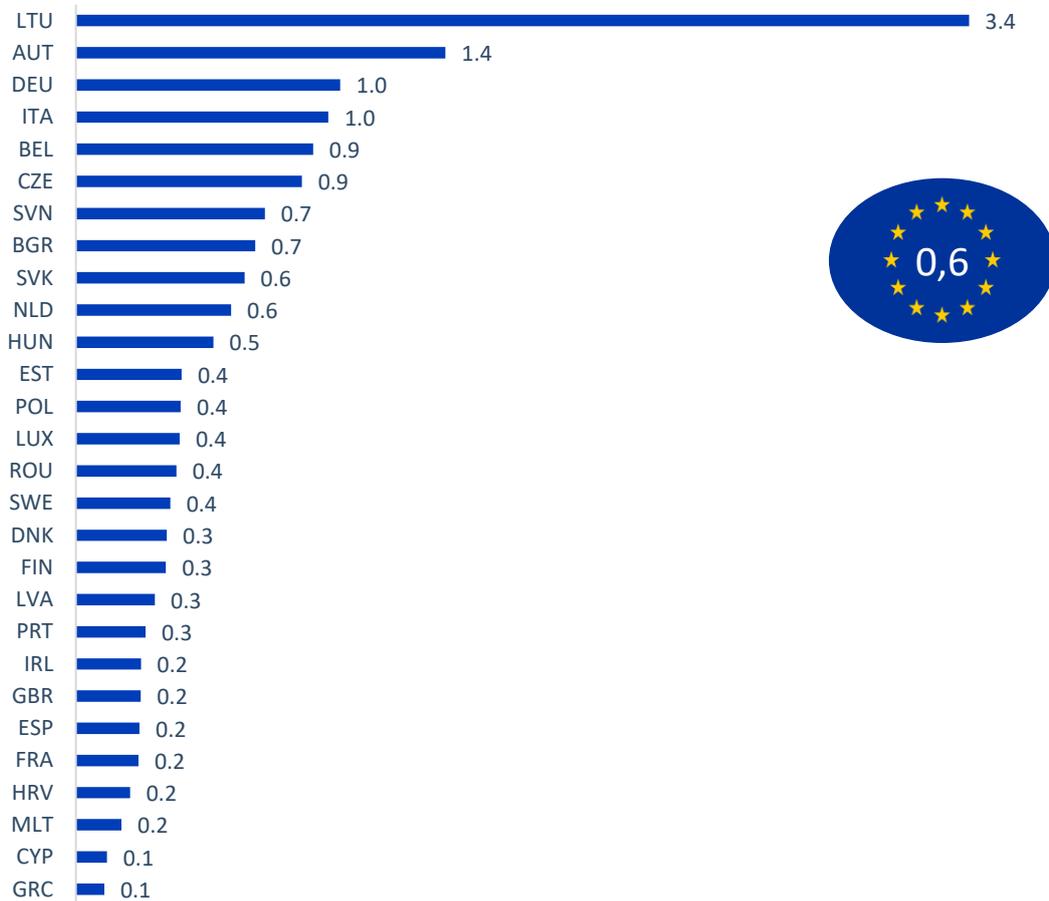


Quellen: Eurostat (2020), OECD (2020), UN (2020), OECD (2018), eigene Berechnungen

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, indem er die beträchtlichen Unterschiede in der Größe und Wirtschaftskraft der Länder auf einen gemeinsamen Nenner bringt. 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 5-4: 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

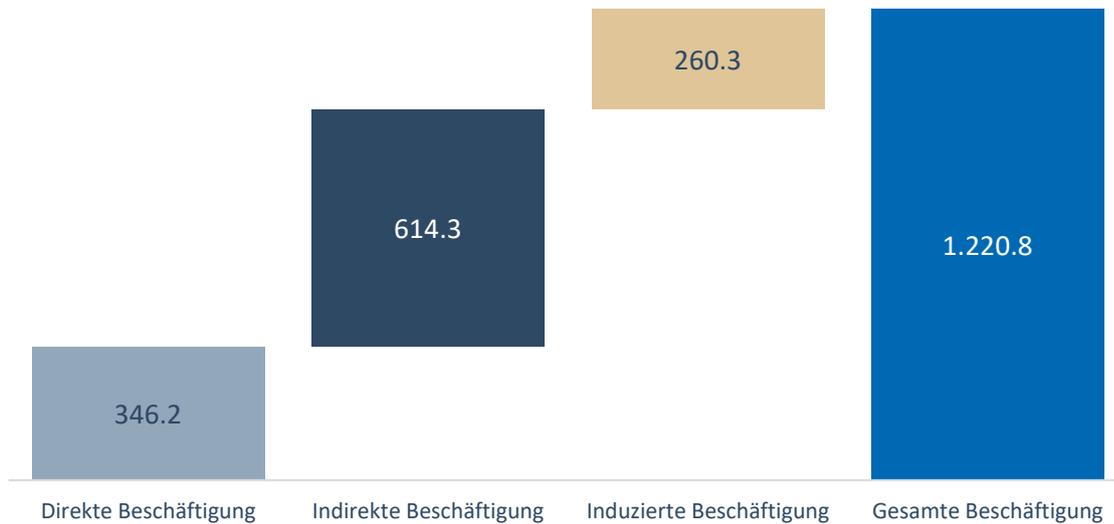
Der Export von PtX-Anlagen in den zuvor benannten Größenordnungen würde für erhebliche Beschäftigungseffekte sorgen. Direkt in der Produktion von Elektrolyseuren und sonstigen PtX-Anlagen würden knapp 350.000 Personen zusätzlich beschäftigt. Zur Erstellung der Vorleistungen und deren Zulieferernetzwerk 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 den Beschäftigungseffekten der chemischen Industrie in Europa.

1,2 Millionen neue Arbeitsplätze

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

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

Beschäftigungseffekte in tausend Personen (Referenzszenario PtX-Weltmarkt)

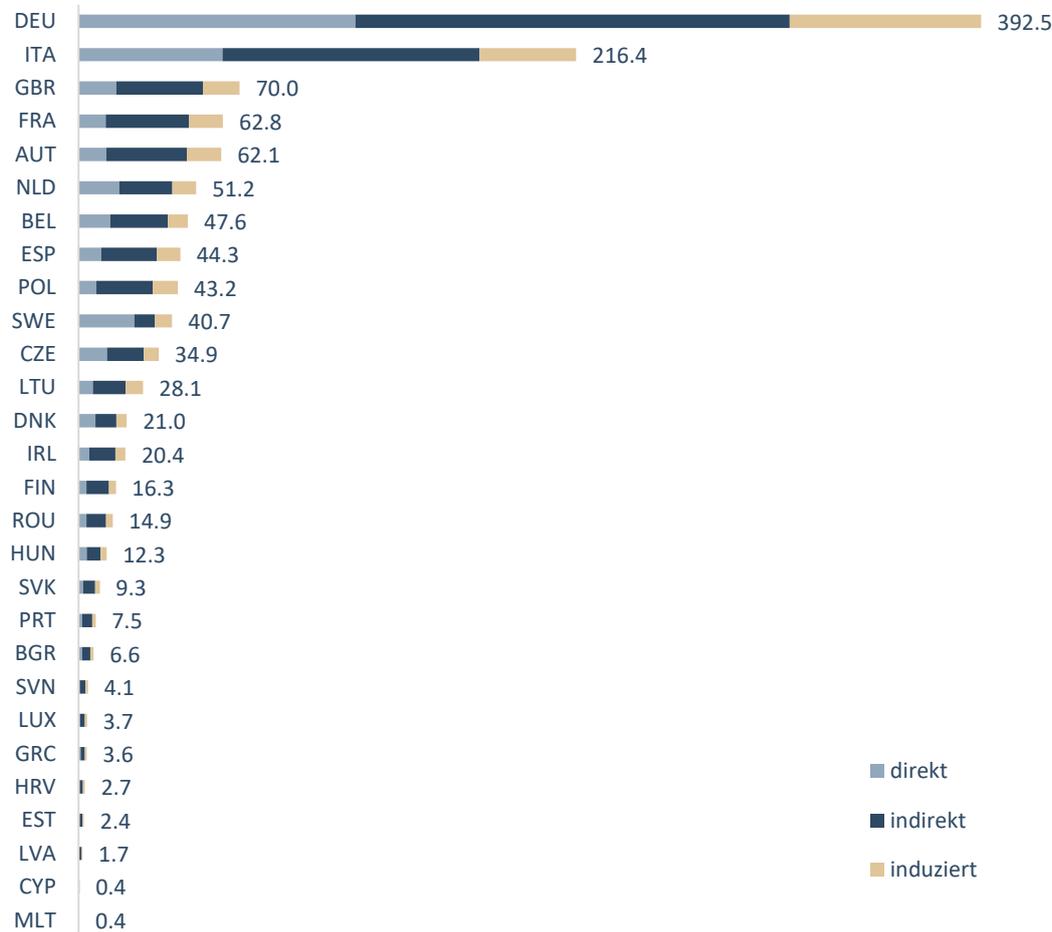


Quellen: Eurostat (2020), OECD (2020), UN (2020), OECD (2018), eigene Berechnungen

Mit knapp 400.000 Beschäftigten ist der 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 Job 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 5-6: Beschäftigungseffekte in den einzelnen Ländern

Beschäftigungseffekte in tausend Personen (Referenzszenario PtX-Weltmarkt)

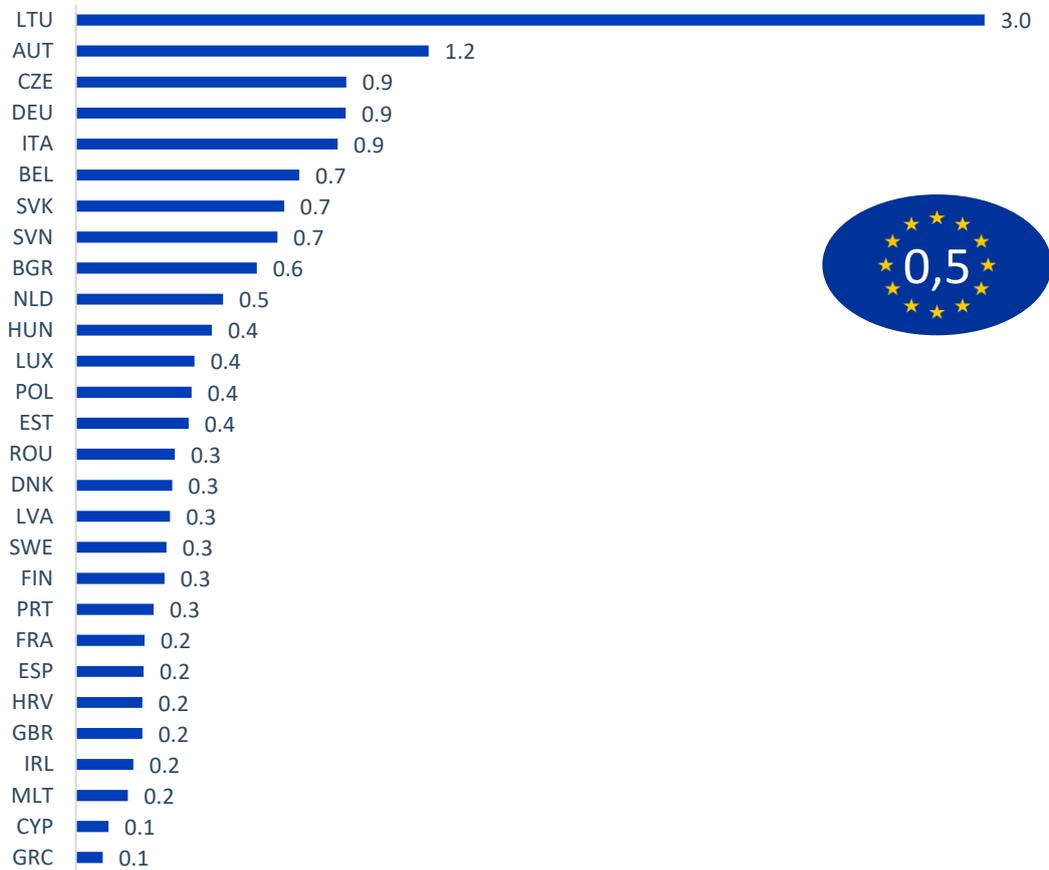


Quellen: Eurostat (2020), OECD (2020), UN (2020), DCD (2018), eigene Berechnungen

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 der dafür notwendigen Komponenten und Bauteile 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. – rund 1,2 Millionen zusätzliche Arbeitsplätze machen ungefähr 8 Prozent der gesamten Arbeitslosen-zahl in der EU aus.

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

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.

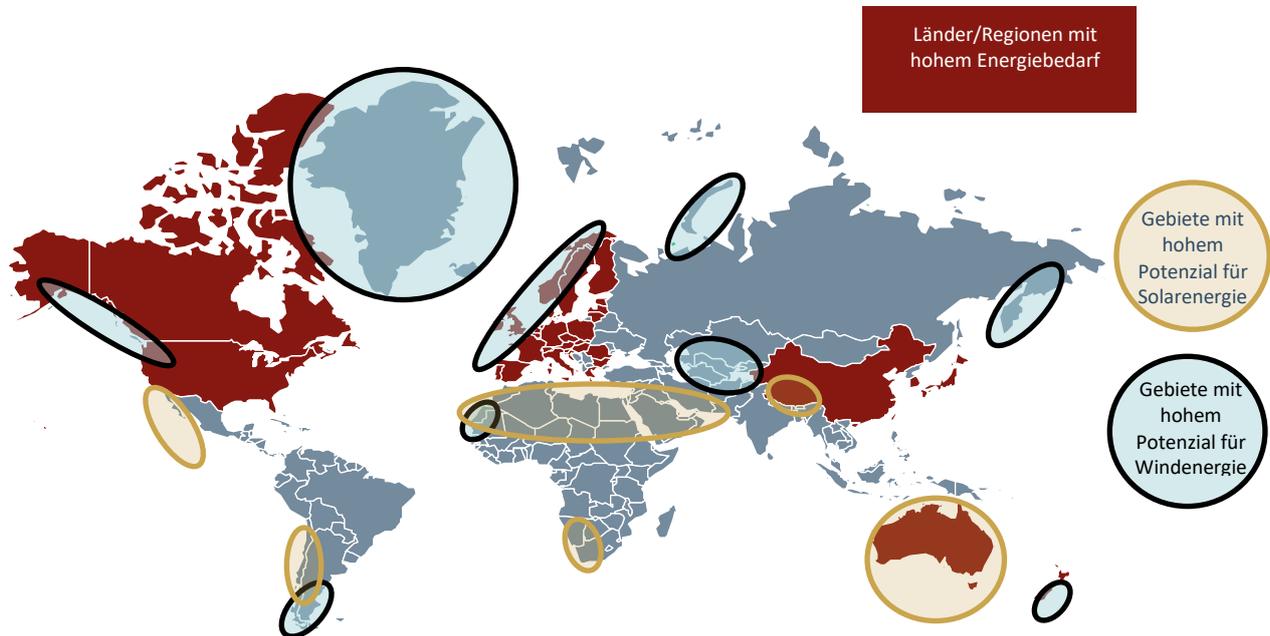
6 Aufbau nachhaltiger Wertschöpfungsstrukturen in Regionen außerhalb von Europa

- 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.
- 330.00 hochproduktive Jobs können durch die Produktion an den potenziellen Standorten der PtX-Produktion entstehen, deren Produktivität rund 10-mal so hoch wie im Durchschnitt der Gesellschaft liegt.
- 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.

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 in der MENA-Region / Afrika, 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 relevant. 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 z.B. 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: World Bank Group, <https://www.globalwindatlas.info/>; World Bank Group, <http://globalsolaratlas.info/>

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-Synthese. 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 befriedigen, also rund 400 TWh verarbeiten. Dabei werden flüssige und gasförmige Energieträger mit einem Produktionswert von rund 64 Milliarden Euro erstellt².

² Die Annahme zu den Kosten von 160 Euro pro MWh basierend auf der Studie von Agora Verkehrswende, Agora Energiewende und Frontier Economics (2018): Die zukünftigen Kosten strombasierter synthetischer Brennstoffe.

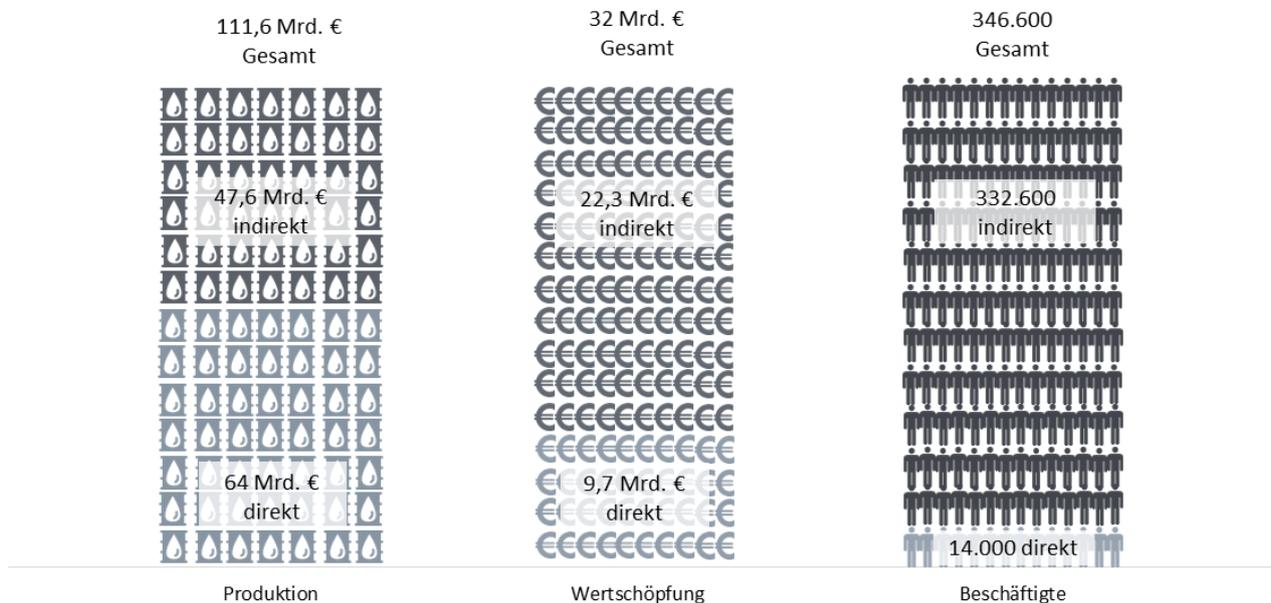
Naturgemäß sind Schätzungen zu den wirtschaftlichen Effekten für neue Industrien mit einer erheblichen Unsicherheit behaftet. Wir gehen davon aus, dass durch die PtX-Synthese ähnliche Effekte wie im Bereich der Rohölverarbeitung generiert werden können. Werden ähnliche nationale Vorleistungsverflechtungen,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

Abbildung 6-2 zeigt die große wirtschaftliche Hebelwirkung des Betriebs von PtX-Umwandlungsanlagen beispielhaft für ein Land. Insgesamt können so rund 32 Milliarden Euro Wertschöpfung und fast 350.000 Beschäftigungsverhältnisse vor Ort neu geschaffen werden. 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 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 ein enormes wirtschaftliches Potenzial für die Schwellen- und Entwicklungsländer dar. Dies entspricht etwa dem aggregierten Bruttoinlandsprodukt der 32 Länder mit dem niedrigsten BIP weltweit.

Abbildung 6-2: Chancen für Entwicklungsländer als PtX-Produzenten

Nationale Effekte pro Land bei PtX-Kapazitäten in Höhe von 400 TWh – 2 Prozent der weltweiten Nachfrage



Quelle: OECD (2018, 2020), Eigene Berechnung

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

Die neu entstehenden Jobs besitzen dabei mit durchschnittlich rund 92.500 Euro pro Person eine besonders hohe Produktivität. Selbst wenn man die kapitalintensive direkte PtX-Produktion außen vorlässt, 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 rund zehnmal so hohen Produktivität pro Kopf wie im Durchschnitt der Gesellschaft geschaffen.

332.600 hochproduktive Jobs

Die Produktivität der neu geschaffenen Arbeitsstellen liegt rund 10 mal so hoch wie im Durchschnitt der Gesellschaft.

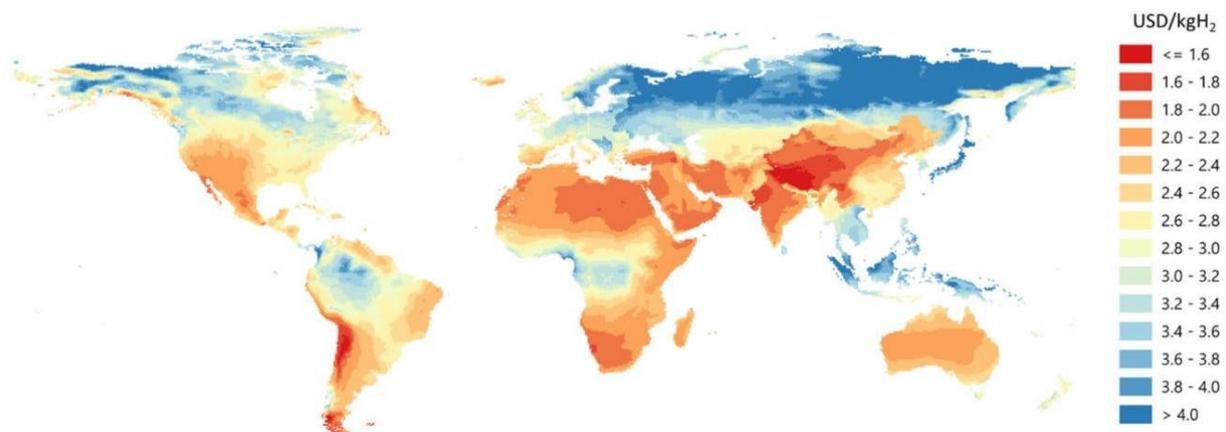
Zu den positiven Effekten des Betriebs der PtX-Anlagen kommen zudem noch Einmaleffekte für den Aufbau und die Installation der Anlagen und der Kraftwerke zur Erzeugung der erneuerbaren Energiequellen hinzu. Für die einzelnen Länder besteht somit sowohl in der kurzen Frist als

auch langfristig ein hoher wirtschaftlicher Anreiz, die eigenen Standortvorteile für die Erzeugung von flüssigen und gasförmige PtX-Energieträger zu nutzen.

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 in Nordafrika und dem Nahen Osten ergeben sich hier 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 CO₂-neutral ist.

Abbildung 6-3: Langfristige regionale Produktionskosten für grünen Wasserstoff

Regionale Produktionskosten nach Realisierung von Skaleneffekten



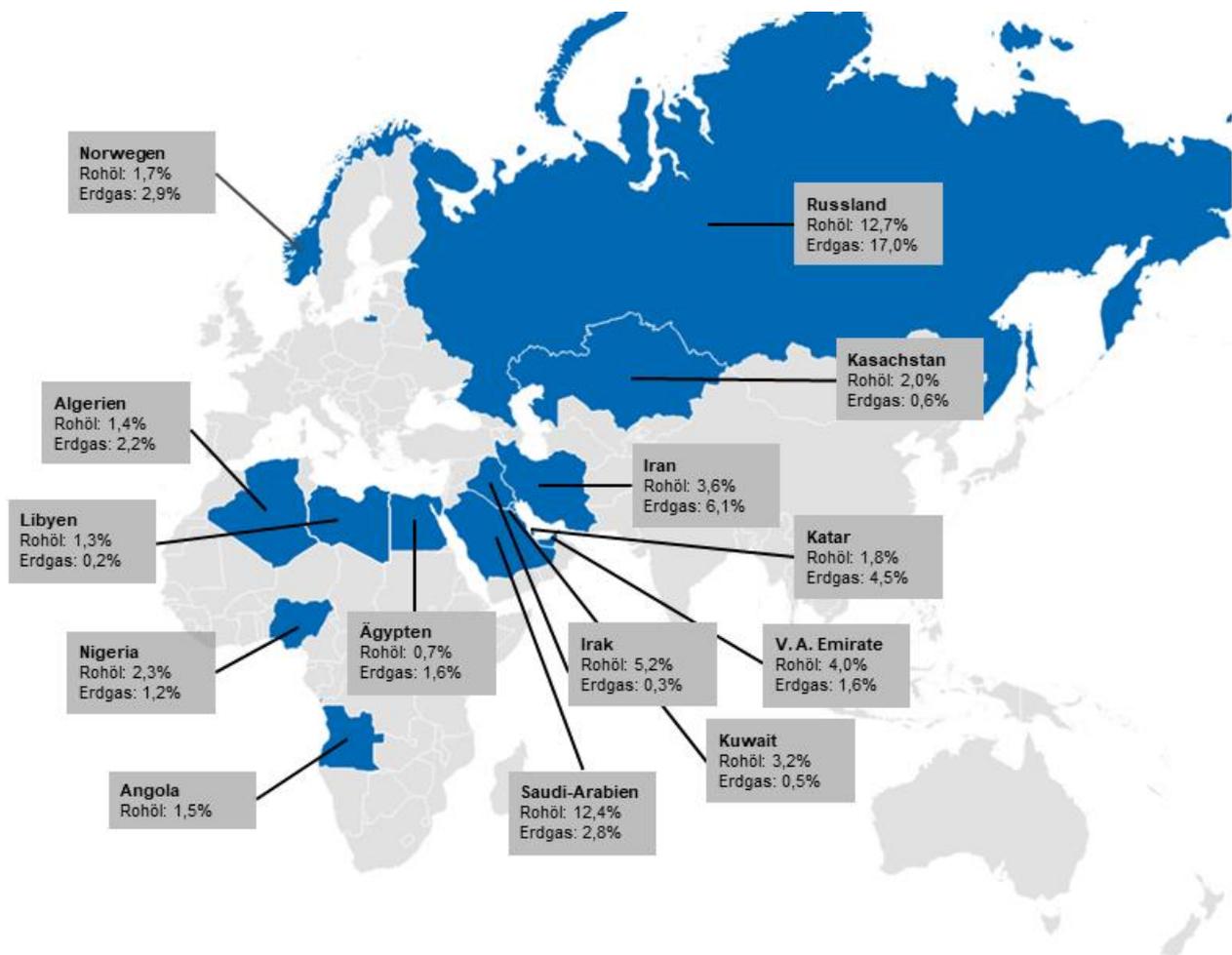
Quelle: IEA (2019)

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. 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 Bruttoinlandsproduktes aller Staaten der MENA-Region zusammen.

Die regionalen Wertschöpfungs- und Beschäftigungseffekte können dabei je nach Land neue Wertschöpfungsketten erschließen, oder bestehende Wertschöpfungsketten der Förderung fossiler 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 Potenziale, durch die nachhaltige Transformation ihrer Energiewirtschaft gute Lebensverhältnisse in ihren Ländern langfristig zu sichern.

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. Nur wenn die heutigen Produzenten fossiler Energieträger überzeugt werden können, diese nicht in dem bisherigen Ausmaß zu fördern, kann eine Reduktion des weltweiten Ausstoßes von Treibhausgasen gelingen. Da es sich bei den Klimazielen auch um ein CO₂-Budget handelt, ist die umgehende Intensivierung der internationalen Zusammenarbeit

zwischen potenziellen Anbieterländern von PtX-Energieträgern und den Nachfrageländern nach klimaneutraler Energie wünschenswert. Eine positive wirtschaftliche Entwicklung in den PtX-Produktionsländern dürfte sich zudem durch die damit verbundenen dezentralen Wohlfahrts-effekte in der Bevölkerung positiv auf die politische Stabilität in den Zielregionen auswirken.

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 darstellen. 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. Durch die wirtschaftliche Entwicklung und die damit verbundene Elektrifizierung der Haushalte und der Gesellschaft wird sich der Strombedarf in diesen Regionen deutlich steigern. Durch eine frühzeitige Entwicklung der erneuerbaren Energien in diesen Ländern könnten diese als klimafreundliche Alternative zu klassischen Kraftwerken etabliert werden. So könnte ein Anstieg der CO₂-Emissionen durch das wirtschaftliche Wachstum in diesen Ländern verhindert 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, 2020, Alternative fuel vehicle registrations, <https://www.acea.be/statistics/tag/category/electric-and-alternative-vehicle-registrations> [30.9.2020]
- 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]
- 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, 252, R4-R18. doi:10.1017/nie.2020.16
- 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
- IW Consult GmbH / Fraunhofer IAO, 2017, Zukunftsstudie für die Automobilindustrie Saarland. Gutachten im Auftrag des Saarland.innovation&standort e.V., Köln, Stuttgart
- IW Consult GmbH / Fraunhofer IAO, 2018, Automotive Cluster Bayern. Gutachten im Auftrag der Vereinigung der Bayerischen Wirtschaft (vbw), Köln, Stuttgart
- IW Consult GmbH / IW Köln, 2015, VDA Premiumsegment. Studie für den Verband der Automobilindustrie e. V. (VDA), Köln

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

Puls, Thomas, 2019, CO2-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]

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

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1-1: Die bisherige Weltklimapolitik steuert in Richtung Zielverfehlung	5
Abbildung 1-2: EU 28: Zielerreichungsgrade nach Sektoren	6
Abbildung 2-1: Herstellung flüssiger Energieträger aus erneuerbar erzeugtem Strom	9
Abbildung 2-2: Große Wirkhebel THG-neutraler flüssiger Kraftstoffe	11
Abbildung 2-3: Langsamer Flottenaustausch im Osten Europas im Jahr 2018	12
Abbildung 3-1: Weiterhin kaum Elektroautos in Mittel- und Osteuropa	16
Abbildung 3-2: Hohe Bedeutung für europäische Zulieferbranchen	18
Abbildung 3-3: Relative Beschäftigungseffekte	19
Abbildung 4-1: Referenzszenario für Bedarf an PtX-Kapazitäten und Investitionen	22
Abbildung 4-2: China und Japan haben Deutschland als Weltmarktführer bei Elektrolyseuren überholt	22
Abbildung 4-3: Der Weltmarkt für Elektrolyseure wächst außerhalb Europas	24
Abbildung 4-4: Produktionspotenzial Elektrolyseure bei PtX-Hochlauf	25
Abbildung 4-5: Fast die Hälfte der weltweit in 2018 produzierten Maschinen und Anlagen kommen aus Europa	26
Abbildung 4-6: Produktionspotenzial sonstiger Anlagen zur Herstellung von PtX	27
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	31
Abbildung 5-3: Wertschöpfungseffekte in den einzelnen Ländern	32
Abbildung 5-4: Relative Wertschöpfungseffekte in den Ländern	33
Abbildung 5-5: Beschäftigungseffekte durch den Export von Maschinen- und Anlagen zur PtX-Produktion	34
Abbildung 5-6: Beschäftigungseffekte in den einzelnen Ländern	35
Abbildung 5-7: Relativer Anteil der Beschäftigungseffekte in den Ländern	36
Abbildung 6-1: PTX: Die guten Produktionspotenziale liegen außerhalb der EU	38
Abbildung 6-2: Chancen für Entwicklungsländer als PtX-Produzenten	40
Abbildung 6-3: Langfristige regionale Produktionskosten für grünen Wasserstoff	41
Abbildung 6-4: Ausgewählte Produzenten von Erdöl und Erdgas in Afrika und Asien	42