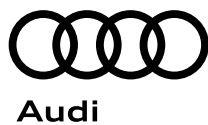




VOLKSWIRTSCHAFTLICHES KURZGUTACHTEN

# EIN MARKTEINFÜHRUNGSPROGRAMM FÜR POWER-TO-X-TECHNOLOGIEN AUS VOLKSWIRTSCHAFTLICHER PERSPEKTIVE

Im Auftrag von:



# Inhaltsverzeichnis

<b>Inhaltsverzeichnis .....</b>	<b>2</b>
<b>1 Einleitung .....</b>	<b>3</b>
<b>2 Volkswirtschaftliche Effekte .....</b>	<b>4</b>
2.1 Ziel des Markteinführungsprogramms für PtX-Technologien .....	4
2.2 Makroökonomische Effekte von PtX-Technologien .....	4
2.2.1 Aufzubauende Leistung .....	4
2.2.2 Spezifische Investitionskosten .....	5
2.2.3 Betriebskosten .....	6
2.2.4 Beschäftigungseffekte .....	6
2.2.5 Ergebnis Elektrolyse .....	6
2.2.6 Ergebnis Methanisierung bzw. Verflüssigung .....	7
2.3 Effekte aus dem Export .....	8
2.4 Weitere positive Effekte .....	9
<b>3 Fazit .....</b>	<b>10</b>
<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>11</b>

## 1 Einleitung

Wasserstoff aus erneuerbarem Strom und ggf. die nachfolgende Methanisierung bzw. Verflüssigung zur Erzeugung von regenerativen Brenn- bzw. Kraftstoffen wird in Deutschland wie auch weltweit im Zuge der Bemühungen um eine Eindämmung des Klimawandels eine stark wachsende Bedeutung erfahren. Die vorliegende Kurzstudie soll die volkswirtschaftlichen Auswirkungen dieses potenziellen Wachstums beleuchten und erste Anhaltspunkte insbesondere bzgl. der Wertschöpfungseffekte für den Anlagenbau geben.

Die globale Wasserstoffproduktion, die vor allem als Rohstoff in industriellen Prozessen dient, beträgt je nach Quelle gegenwärtig zwischen 1.700-2.200 TWh/Jahr bzw. ca. 570-730 Mrd. Nm<sup>3</sup>.<sup>1</sup> In Deutschland werden aktuell jährlich 19,3 Mrd. Nm<sup>3</sup>, d.h. rund 60 TWh Wasserstoff produziert.<sup>2</sup> Darüber hinaus fällt etwa die gleiche Menge als Nebenprodukt in Raffinerien an. Die Herstellung erfolgt weitgehend auf Basis von Erdgas durch Dampfreformierung, weniger als 5 % werden durch Elektrolyse erzeugt.<sup>3</sup> Für Deutschland bedeutet das eine Wasserstoffproduktion aus Elektrolyse von ca. 3 TWh/Jahr (1 Mrd. Nm<sup>3</sup>/Jahr).

Das macht deutlich, welches enorme Potenzial, nämlich eine Steigerung um den Faktor 20, alleine in Deutschland im Zuge der Dekarbonisierung aus der industriellen H<sub>2</sub>-Produktion für die Elektrolyse resultiert. Dieses Volumen wird nochmals vervielfacht, wenn weitere Sektoren wie der Mobilitätssektor und der Wärmesektor für Wasserstoff und PtX erschlossen sowie der mögliche Export betrachtet werden.

Aufgrund der geringen Relevanz der Elektrolyse und des praktisch stagnierenden Marktes gibt es nur wenige belastbare Daten zu heutigen Produktionsvolumina auf Anlagenseite und der daraus resultierenden Wertschöpfung wie Umsätzen, Beschäftigungszahlen und weiteren indirekten und induzierten Effekten. Das vorliegende Kurzgutachten soll hier erste Hinweise bzgl. möglicher Größenordnungen liefern, die in ausführlichen Studien ggf. vertieft werden müssen. Es betrachtet ausschließlich die volkswirtschaftlichen Effekte, die sich aus der Erhöhung der Anlagenproduktion auf dem PtX-Pfad ergeben. Aufgrund der Datenlage liegt der Schwerpunkt zudem auf der Elektrolyse. Die verschiedenen Technologien zur Methanisierung bzw. Verflüssigung stammen ursprünglich aus dem Bereich der Kohle- bzw. Biomassevergasung. Zudem wurde im Bereich der Methanisierung seit den 1980er Jahren praktisch nicht mehr geforscht. Im Zusammenhang mit PtG/PtX befinden sich die Verfahren der Methanisierung und Verflüssigung, anders als die weitgehend ausgereifte Technologie der Elektrolyse, überwiegend noch im Pilot-Stadium.<sup>4</sup> Dabei ist Deutschland in der Forschung z.Zt. aufgrund der Energiewenderelevanz zwar führend. Eine Ableitung volkswirtschaftlich relevanter Kenndaten ist aufgrund der mangelnden Datenlage aus heutiger Sicht gleichwohl schwierig.

---

<sup>1</sup> Vgl. Energieinstitut der Universität Linz et al. (2014), S. 18; IEA (2007), S. 4.

<sup>2</sup> Vgl. DLR et al. (2015), S. 252.

<sup>3</sup> Energieinstitut der Universität Linz et al. (2014), S. 18, 22 ff.

<sup>4</sup> Energieinstitut der Universität Linz et al. (2014), S. 146 f.

Nur kurz umrissen werden die energiewirtschaftlichen Effekte und die positiven systemischen Auswirkungen auf die kostenoptimale Umsetzung der Energiewende. Deren ausführliche Beschreibung und Quantifizierung findet in einem separaten Kurzgutachten statt.

Im Rahmen dieses Kurzgutachtens werden zudem keine neuen Marktmodelle aufgestellt, sondern auf bestehende Szenarien und Marktprognosen zurückgegriffen, die auf die zu betrachtende Thematik angepasst werden. Für eine detaillierte Marktanalyse bedarf es einer weitergehenden Untersuchung. Ziel dieses Kurzgutachtens ist es, zunächst die Wichtigkeit eines Markteinführungsprogrammes (MEP) aus volkswirtschaftlicher Sicht aufzuzeigen.

## 2 Volkswirtschaftliche Argumente zur Etablierung eines Markteinführungsprogramms

### 2.1 Ziel des Markteinführungsprogramms für PtX-Technologien

Um die Potenziale der PtX-Technologien zu heben, sind ein deutlicher Markthochlauf und eine damit verbundene Kostendegression essentiell. Befragungen von Experten zeigten, dass eine Kostendegression insbesondere der Elektrolyseanlagen von über 50 % gegenüber dem heutigen Niveau einen Markthochlauf auf mindestens 1 GW erforderlich macht.<sup>5</sup> Die Mehrzahl der betrachteten Studien geht davon aus, dass dem Aufbaupfad der Erneuerbaren Energien folgend Speicher und damit PtX bzw. erneuerbarer Wasserstoff ab ca. 2030 großtechnisch zur Verfügung stehen müssen. Um die dann notwendige Kapazität wirtschaftlich bereitstellen zu können, erscheint es unter Berücksichtigung der notwendigen Vorlaufzeiten sinnvoll, zeitnah ein Markteinführungsprogramm zu implementieren, das einen **Markthochlauf auf 1,5 GW bis 2025** anreizt.

### 2.2 Makroökonomische Effekte von PtX-Technologien

#### 2.2.1 Aufzubauende Leistung

Insgesamt konzentrieren sich die meisten Studien, auch im nationalen Kontext, auf die Wasserstoffherzeugung, da die größten Potenziale im Straßenverkehr in Verbindung mit der Brennstoffzelle gesehen werden. Darüber hinaus ist auch für den PtX-Pfad die Wasserstoff-Elektrolyse die Basis. So sind weitere Potenziale in allen Segmenten des Mobilitätsbereichs (Straße, Wasser, Schiene, Luft) durch die Nutzung synthetischer und flüssiger Kraftstoffe (PtG/PtL) zu heben. Zur Ermittlung der volkswirtschaftlichen Effekte des avisierten Markthochlaufs auf 1,5 GW wird daher zunächst der nationale Wasserstoffmarkt betrachtet. Auf den globalen Wasserstoffmarkt wird in Abschnitt 2.3 eingegangen.

Eine aktuelle, vom BMWi geförderte Studie von DLR et al. (2015) geht in 2030 für Deutschland von einem Wasserstoffbedarf von 71,7 TWh (23,9 Mrd. Nm<sup>3</sup>) aus, davon 16,8 TWh im Bereich der

---

<sup>5</sup> Vgl. nsb (2017), S. 10.

Mobilität und 54,9 TWh im Bereich der Industrie. Bis 2050 wächst dieser Bedarf auf rund 300 TWh (100,6 Mrd. Nm<sup>3</sup>).<sup>6</sup>

Auf Basis dieser Werte wird die benötigte Elektrolyseleistung ermittelt. Dabei wird unterstellt, dass in 2030 der für die Mobilität benötigte Wasserstoff zu 100 % und der für die industrielle Nutzung benötigte Wasserstoff zu 20 % elektrolytisch aus erneuerbarem Strom erzeugt werden. Für 2050 wird angenommen, dass der gesamte benötigte Wasserstoff aus erneuerbarem Strom gewonnen wird (Onshore-Wind).<sup>7</sup>

Damit ergibt sich, ausgehend von dem als Ziel des Markteinführungsprogramms definierten 1,5 GW in 2025, folgender Aufwuchspfad für die Elektrolyse (Abbildung 1).

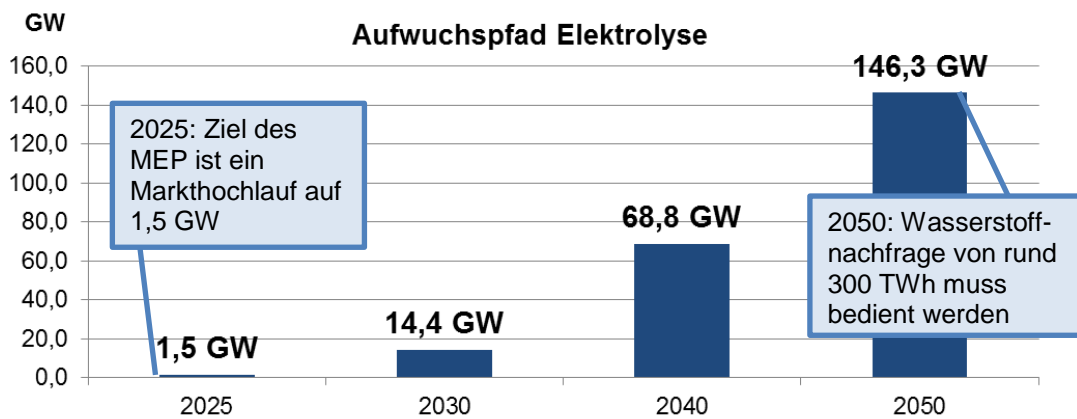


Abbildung 1: Aufwuchspfad der zu installierenden Elektrolysekapazitäten in Deutschland (kumuliert)

## 2.2.2 Spezifische Investitionskosten für Elektrolyseanlagen

Auf Grundlage dieses Aufwuchspfades wurde das Investitionspotenzial durch Aufbau dieser Kapazitäten berechnet. Bei der Kostenentwicklung von Elektrolyseanlagen wird von einer deutlichen Degression ausgegangen, die aus der technologischen Weiterentwicklung sowie den mit dem Markthochlauf verbundenen Skaleneffekten in der Produktion herrühren. In der Expertenbefragung wurde allein bis 2030 von Kostenrückgängen für das Elektrolyseverfahren von mehrheitlich bis zu 70 % ausgegangen.<sup>8</sup> Für die folgenden Berechnungen wurden Investitionskosten gemäß AEE (2016) von 600 Euro/kW in 2025 mit einer Degression auf 300 Euro/kW in 2050 verwendet.<sup>9</sup> In der Literatur finden sich z.T. auch geringere Kosten (alkalische Elektrolyse: 370 Euro/kW in 2030; Protonen-Austausch-Membran-(PEM)-Verfahren: 250 Euro/kW in 2030).<sup>10</sup>

<sup>6</sup> Vgl. DLR et al. (2015), S. 252.

<sup>7</sup> Vgl. 50Hertz (2016) für die Anzahl der Volllaststunden von 2.750/Jahr und Sterner, Stadler (2014), S. 329 für den Wirkungsgrad von Elektrolyseanlagen von 75 %. Der Wirkungsgrad deckt sich mit den Ergebnissen der Delphi-Expertenbefragung von nsb (2017), S. 5, in der heutige Wirkungsgrade der Elektrolyse von 65-82 % genannt werden.

<sup>8</sup> Vgl. nsb (2017), S. 10.

<sup>9</sup> Vgl. AEE (2016) für die Investitionskosten (ähnlich auch DECHEMA (2017), S. 46 f.).

<sup>10</sup> Vgl. E4tech, element energy (2014), S. 12 f.



### 2.2.3 Betriebskosten

Neben den zu tätigen Investitionen (CAPEX) müssen auch Betriebskosten (OPEX) zur Installation, Wartung, Reparatur und zum Betrieb der Elektrolyseanlagen berücksichtigt werden. Diese laufen annahmegemäß über eine Nutzungsdauer von 20 Jahren und führen so neben den einmaligen Beschäftigungseffekten der Produktion der Kapazitäten zu dauerhaften Beschäftigungseffekten des Betriebs der Anlagen. Im Rahmen des Kurzgutachtens wird mit jährlichen Betriebskosten von 3 % der Investitionskosten gerechnet.<sup>11</sup>

### 2.2.4 Beschäftigungseffekte

Eine Datenbasis zu den Beschäftigungszahlen im Bereich der Elektrolyseproduktion ist aufgrund der bislang geringen Relevanz faktisch nicht vorhanden. Für ein heute typisches Produktionsvolumen von 20 MW/Jahr wird eine Personalstärke von 75 Vollzeitbeschäftigten (VZB) angenommen. Unter der Annahme massiver initialer Lern- und Skaleneffekte wird daher für die überschlägige Ermittlung der direkten Beschäftigten bei einem Hochlauf der Elektrolyseproduktion auf 1 GW/Jahr von 750 direkten VZB ausgegangen. Für die weitere Skalierung wird eine aktuelle Studie bzgl. des Hochlaufs einer Batterieproduktion herangezogen. Gemäß NPE (2016) kann man zukünftig für eine Batteriefertigungsproduktion in Deutschland von 13 GWh/Jahr von bis zu 1.300 direkt und bis zu 3.100 indirekt Beschäftigten ausgehen.<sup>12</sup> Unter der Annahme, dass 13 GWh etwa 5 GW Leistung entsprechen<sup>13</sup>, ergibt sich für den weiteren Produktionsaufwuchs von 1 GW/Jahr auf 5 GW/Jahr durch Skaleneffekte und Standardisierungen ein weiterer Rückgang auf 260 VZB/GW/Jahr, der dann ab 2030 bis 2050 stabil bleibt. Es wird angenommen, dass die weitere Steigerung der Produktion keine weitere Degression der Beschäftigungseffekte zur Folge hat.

Für die indirekt Beschäftigten wird gemäß NPE (2016) ein Beschäftigungsmultiplikator von 2,4 angewendet. Hiermit wird die Vorleistungsstruktur zur Produktion der Elektrolyseanlagen, wie der vorgelagerte Maschinenbau und der Bezug von Anlagenkomponenten berücksichtigt. Bemisst man auch nachgelagerte Wertschöpfungsprozesse, wie beispielsweise die Modul- und Systemmontage, so würde sich der Basiswert für die Multiplikation nochmals deutlich erhöhen. Für einen Nettoeffekt wären zudem Substitutionseffekte durch wegfallende Arbeitsplätze beispielsweise im Bereich der Kraftstoffherstellung und der konventionellen Wasserstoffproduktion zu berechnen. Induzierte Beschäftigungseffekte, die durch die direkte und indirekte Beschäftigung und Wertschöpfung der Elektrolyseproduktion in anderen Wirtschaftszweigen entstehen, können an dieser Stelle nicht abgeschätzt werden.

### 2.2.5 Ergebnis Elektrolyse

Die Auswirkungen des skizzierten Aufwuchspfades der Elektrolysekapazitäten in Deutschland gemäß Abbildung 1 können der Tabelle 1 entnommen werden.

---

<sup>11</sup> Vgl. FFE (2014).

<sup>12</sup> Vgl. NPE (2016), S. 49.

<sup>13</sup> Vgl. Tesla (2017, [www.tesla.com/de\\_DE/powerwall](http://www.tesla.com/de_DE/powerwall), abgerufen am 27. Juli 2017) für die Werte der Powerwall, die bei einer Leistung von ca. 5 kW eine nutzbare Kapazität von ca. 13 kWh aufweist.

	2025	2030	2040	2050
Zu installierende Elektrolysekapazitäten (GW, kumuliert)	1,5	14,4	68,8	146,3
Elektrolyseproduktionskapazität (GW pro Jahr)	1,0	3,7	6,6	8,6
Investitionskosten Elektrolyse (Euro/kW)	600	450	350	300
Kumulierte Anlageninvestitionskosten (CAPEX) (Mio. Euro)	900	7.318	28.546	53.453
Jährliche OPEX Elektrolyseanlagen (Mio. Euro)	27	220	856	1.604
Direkte Vollzeitbeschäftigte	1.125	2.619	3.528	4.044
Indirekte Vollzeitbeschäftigte	2.700	6.286	8.467	9.706

Tabelle 1: Auswirkungen des Aufwuchspfades von Elektrolyseanlagen in Deutschland

### 2.2.6 Ergebnis Methanisierung bzw. Verflüssigung

Für die Abschätzung der zusätzlichen Effekte aus der Methanisierung bzw. Verflüssigung (PtL) wird vereinfachend auf den in 2.2.5 genannten Elektrolysekapazitäten aufgesetzt. Je nachdem, welche Nutzungsanwendungen unterstellt werden, erfolgt anteilig die Umwandlung des Wasserstoffs in synthetisches Gas (PtG) bzw. flüssige Kraftstoffe (PtL). Im Folgenden soll davon ausgegangen werden, dass 30 % des Wasserstoffs methanisiert bzw. verflüssigt werden. Die Kosten für die Methanisierungsanlagen werden mit 700 Euro/kW in 2025 und einer Degression auf 400 Euro/kW in 2050 gemäß AEE (2016) angesetzt. Für die Kosten der Verflüssigung des Wasserstoffs wird näherungsweise die gleiche Kostenentwicklung wie bei der Methanisierung angenommen.<sup>14</sup> Damit müssen bei 30 %iger Methanisierung bzw. Verflüssigung des gemäß 2.1 abgeschätzten Wasserstoffbedarfs in Deutschland bis 2050 Investitionskosten in den Aufbau von Methanisierungs- bzw. Verflüssigungsanlagen in Höhe von 16,4 Mrd. Euro aufgebracht werden (Tabelle 2). Zudem ergeben sich in 2050 jährliche OPEX von 0,5 Mrd. Euro (Annahme: 3% der Investitionssumme pro Jahr). Nicht betrachtet werden die weiteren positiven Effekte aus dem Anlagenbau für die CO<sub>2</sub>-Gewinnung, soweit dieses nicht aus industriellen Prozessen oder aus Biogasanlagen bereitgestellt werden kann.

Kumulierte Anlageninvestitionskosten (CAPEX) bis 2050 (Mio. Euro)	16.404
Jährliche OPEX Methanisierungs-/Verflüssigungsanlagen in 2050 (Mio. Euro)	492

Tabelle 2: Zusätzliche Auswirkungen durch Methanisierung/Verflüssigung des Wasserstoffs in Deutschland

<sup>14</sup> Berechnungen von Frontier Economics, Agora Energiewende, Agora Verkehrswende (2017) zeigen Kosten für die Methanisierung sowie Verflüssigung von Wasserstoff von jeweils etwa 240 Euro/kWh in 2050.

### 2.3 Zusätzliche Effekte aus einem Exportszenario

Der gegenwärtige Weltmarkt für Wasserstoff ist vergleichsweise klein. Die globale Wasserstoffproduktion, die vor allem als Rohstoff in industriellen Prozessen dient, beträgt laut IEA (2007) jährlich ca. 2.200 TWh (730 Mrd. Nm<sup>3</sup>). Davon werden wiederum nur 4 % und damit etwa 88 TWh (29 Mrd. Nm<sup>3</sup>) durch Elektrolyse bereitgestellt.<sup>15</sup> Der Markt für Elektrolyseure ist entsprechend mit weltweit verkauften Kapazitäten von rund 10-20 MW/Jahr derzeit sehr gering.<sup>16</sup> Nur ein vernachlässigbarer Teil des durch Elektrolyse hergestellten Wasserstoffs wird heute für Energieanwendungen im Verkehr oder der Speicherung Erneuerbarer Energien genutzt. Der Großteil wird stofflich im Industriesektor verwendet und mittels Dampfreformierung hergestellt.<sup>17</sup>

Das Wachstum des globalen Wasserstoffmarktes wird, wie auch in Deutschland, praktisch ausschließlich im Energiebereich stattfinden. Für eine erste Abschätzung dieses Zuwachses wird, in Ermangelung neuerer Studien, der „World Energy Technology Outlook – 2050. WETO H<sub>2</sub>“ der Europäischen Kommission (2006) herangezogen.<sup>18</sup> Anhand von drei Szenarien (Referenzszenario, „Carbon Constraint Case“, „H<sub>2</sub>-Case“) prognostizieren die Autoren die zusätzliche globale Wasserstoffproduktion bis 2050. Dabei berücksichtigen sie nur das Wachstum aus der energetischen Nutzung, das i.W. aus einem Einsatz im Verkehrsbereich herrührt. Den heutigen Sockel der stofflichen Nutzung lassen sie unberührt.

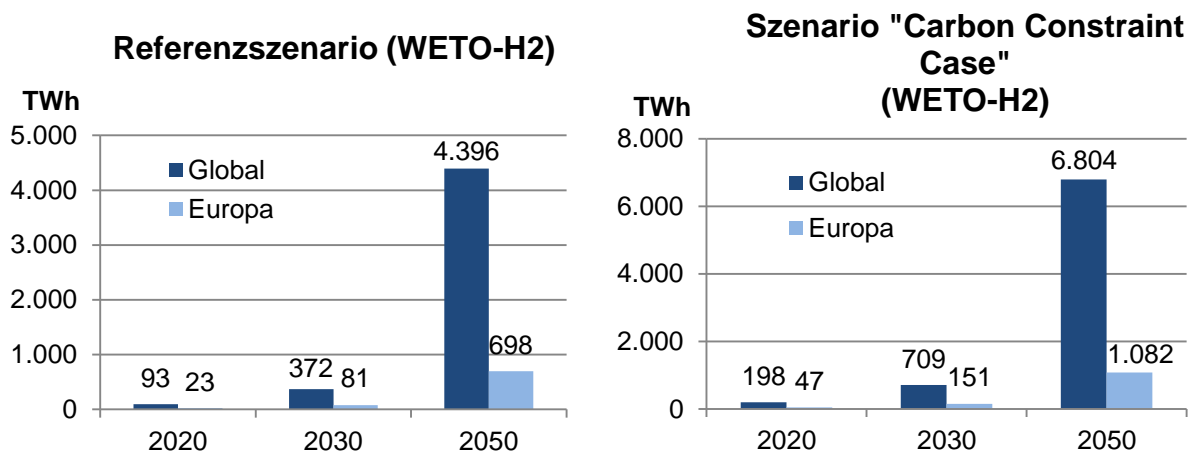


Abbildung 2: Prognostizierte energetisch bedingte zusätzliche Entwicklung der Wasserstoffproduktion (Quelle: EU-Kommission (2006))

Der sehr optimistische „H<sub>2</sub>-Case“ (zusätzliche Wasserstoffproduktion in 2050 von 12.176 TWh (4.059 Mrd. Nm<sup>3</sup>) wird für diese Analyse nicht weiter betrachtet. Im Referenzszenario mit einer moderaten Klimaschutzpolitik wird von einer zusätzlichen Nachfrage von 93 TWh (31 Mrd. Nm<sup>3</sup>) in 2020 und einem Anstieg auf 4.400 TWh (1.470 Mrd. Nm<sup>3</sup>) in 2050 ausgegangen. Im „Carbon Constraint Case“ mit strengeren klimapolitischen Instrumenten und einem mäßigen Anstieg der CO<sub>2</sub>-Emissionen wird hingegen eine zusätzlich energetisch bedingte globale Wasserstoffproduktion von 198 TWh (66 Mrd.

<sup>15</sup> Vgl. IEA (2007), S. 4.

<sup>16</sup> Vgl. e-mobil BW GmbH, Ludwig-Bölkow-Systemtechnik GmbH (2014), S. 28.

<sup>17</sup> Vgl. E4tech, element energy (2014), S. 4.

<sup>18</sup> Vgl. Europäische Kommission (2006), S. 120 ff.



Nm<sup>3</sup>) in 2020 und 6.800 TWh (2.270 Mrd. Nm<sup>3</sup>) in 2050 prognostiziert. In Abbildung 2 werden die globale Entwicklung der Wasserstoffproduktion sowie der europäische Anteil dargestellt.

Im Folgenden wird nur noch das „Carbon Constraint Szenario“ betrachtet und angenommen, dass dieser zusätzliche Wasserstoff mittels Elektrolyse erzeugt wird. Unter den zugrunde gelegten Annahmen (2.750 Vollbenutzungsstunden, 75 % Wirkungsgrad) wird weltweit im Jahr 2050 eine installierte Kapazität von etwa 3.300 GW benötigt. Bei einem angenommenen Exportanteil deutscher Unternehmen von 25 %<sup>19</sup> entspricht das einer zusätzlichen Produktion in Deutschland in der Größenordnung von 825 GW, also nochmal etwa die 5,5-fache Kapazität der Produktion für den deutschen Markt (s. Tabelle 1). Daraus resultieren bis 2050 zusätzliche kumulierte Investitionen in deutsche Anlagentechnik in Höhe von mindestens 293 Mrd. Euro (Tabelle 3).<sup>20</sup> In 2050 ergeben sich direkte und indirekte Beschäftigungseffekte aus der Produktion der Anlagen für den Export von etwa 48.300 Vollzeitbeschäftigten (14.200 direkte und 34.100 indirekte VZB). Bei einer Methanisierung von 30 % des produzierten Wasserstoffs (analog zum Szenario im Inland) kommen bis 2050 nochmal kumulierte Investitionskosten für die Methanisierungsanlagen von ca. 91 Mrd. Euro hinzu. Effekte beim Betrieb der Anlagen sind nicht berücksichtigt, da sie im Ausland anfallen. Ebenfalls nicht berücksichtigt wird die wahrscheinliche Umstellung der heutigen weltweiten Produktion durch Dampfreformierung auf Erdgasbasis von rund 2.100 TWh (700 Mrd. Nm<sup>3</sup>) auf das Elektrolyseverfahren. Effekte durch die Forschung und Entwicklung der Anlagen sowie der Patentierung der Anlagentechnik werden hier nicht betrachtet. Es sei hiermit aber auf die zusätzlichen Effekte hingewiesen.

<b>Kumulierte Investitionskosten (CAPEX) bis 2050 (Mio. Euro)</b>	292.622
<b>Direkte Vollzeitbeschäftigte in 2050</b>	14.225
<b>Indirekte Vollzeitbeschäftigte in 2050</b>	34.139

**Tabelle 3: Zusätzliche Auswirkungen aus der Exporttätigkeit von Elektrolyseanlagen**

## 2.4 Weitere positive Effekte

Die energiewirtschaftliche Vorteilhaftigkeit einer verstärkten Nutzung von PtX-Technologien wird in einem separaten Kurzgutachten vertieft betrachtet. Dennoch seien sie hier noch einmal kursorisch aufgeführt. Die Erhöhung der Flexibilität durch PtX-Technologien und die Möglichkeit der übersaisonalen Speicherung sichert die Energiewendefähigkeit der fluktuierenden Erneuerbaren Energien. Die volkswirtschaftlich sinnvolle Nutzung existierender Infrastrukturen (sowohl der bestehenden Gasnetz- und Gasspeicherinfrastruktur als auch im Falle von PtL der Tankstelleninfrastruktur) mindert die Investitionserfordernisse auf der Stromseite, insbesondere auf der Verteilnetzebene. Zudem trägt die Einbindung aller bestehenden Infrastrukturen zur Versorgungssicherheit und zur Systemstabilität bei und verringert gesellschaftliche Konflikte.

<sup>19</sup> Vgl. e-mobil BW GmbH et al. (2012), S. 84 f. für den Anteil Baden-Württembergs von etwa 5 % am weltweiten Umsatzpotenzials. Deutschlandweit wird hier ein Anteil von 25 % angenommen.

<sup>20</sup> Investitionen in Höhe von 99 Mrd. Euro ergeben sich unter der Voraussetzung, dass die Investitionskosten für die gesamte in Deutschland produzierte Kapazität 300 €/kW (Ziel 2050) betragen.

Strukturbrüche bei Stadtwerken und Gasversorgern und deren zum größten Teil kommunalen Eigentümern durch einen möglichen Gasausstieg werden vermieden. Zudem wird die Importabhängigkeit sowohl auf der Gas- als auch auf der Ölseite verringert.

### 3 Fazit

Der Weltmarkt für elektrolytisch hergestellten Wasserstoff und damit auch für Wasserstoffelektrolyse ist mit einer Produktion von ca. 88 TWh (29 Mrd. Nm<sup>3</sup>) und einer Produktion von ca. 20 MW/Jahr gegenwärtig marginal.

Prognosen sowohl des BMWi als auch der Europäischen Kommission gehen im Zuge der weltweiten Bemühungen um eine Dekarbonisierung bis 2050 von einem exponentiellen Anstieg der Nachfrage nach elektrolytisch erzeugtem Wasserstoff aus, sowohl in Deutschland als auch global. So soll die Nachfrage nach Elektrolyse-Wasserstoff in Deutschland bis 2050 von 3 TWh (1 Mrd. Nm<sup>3</sup>) auf 300 TWh (100 Mrd. Nm<sup>3</sup>) steigen. Global soll sie von 88 TWh (29 Mrd. Nm<sup>3</sup>) auf bis zu 6.800 TWh (2.270 Mrd. Nm<sup>3</sup>) steigen.

Im Zuge der Energiewende wurde in Deutschland in den vergangenen Jahren sehr intensiv an der Verbesserung der Wasserstoffelektrolyse und z.T. auch an der nachgelagerten Methanisierung geforscht. Deutschland und deutsche Unternehmen sind traditionell stark im Bereich des Anlagenbaus und gegenwärtig in dieser Technologie führend. Dieser Vorsprung muss in den kommenden Jahren gefestigt und ausgebaut werden, um an dem erwarteten Aufwuchs auch im Bereich des Anlagenbaus partizipieren zu können.

Der Aufbau einer leistungsfähigen Wasserstoffelektrolyse-Industrie ist hierfür die Basis und kann zu erheblichen Beschäftigungs- und Wertschöpfungseffekten führen. So betragen die reinen Investitionen alleine für die benötigten Elektrolyseure bis 2050 bis zu 350 Mrd. Euro, ohne die Effekte der Vorproduktion und der Montage etc. Beschäftigungsseitig können bis 2050 insgesamt deutlich über 60.000 neue Arbeitsplätze entstehen. Darüber hinaus lassen sich durch die Gasgewinnung und Kraftstofferzeugung zusätzliche Wertschöpfungspotenziale heben, wodurch sich ein neuer Mix für die verschiedenen Mobilitätssektoren (Straße, Wasser, Schiene, Luft) ergibt.

Voraussetzung hierfür ist die zügige Ausarbeitung und Implementierung eines Markteinführungsprogramms mit dem Ziel, durch den geförderten Hochlauf der Erzeugungskapazitäten auf zunächst 1,5 GW bis 2025 und auf eine Produktionskapazität von 1 GW/Jahr in 2025 Kostendegressionseffekte und Wettbewerbsfähigkeit zu erreichen und die weitere Technologieführerschaft zu sichern.

## Literaturverzeichnis

**50Hertz (2016):** 50Hertz Energiewende Outlook 2035

**AEE (Agentur für Erneuerbare Energien) (2016):** Metaanalyse: Investitionskosten von Energiewende-Technologien

**DECHEMA [Gesellschaft für Chemische Technik und Biotechnologie] (2017):** Low carbon energy and feedstock for the European chemical industry.

**DLR [Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt] et al. (2015):** Studie über die Planung einer Demonstrationsanlage zur Wasserstoff-Kraftstoffgewinnung durch Elektrolyse mit Zwischenspeicherung in Salzkavernen unter Druck.

**E4tech, element energy (2014):** Study on development of water electrolysis in the European Union, Final Report.

**e-mobil BW GmbH, Ludwig-Bölkow-Systemtechnik GmbH (2014):** Die Rolle von Wasserstoff in der Energiewende – Entwicklungsstand und Perspektiven.

**e-mobil BW GmbH et al. (2012):** Energieträger der Zukunft – Potenziale der Wasserstofftechnologie in Baden-Württemberg.

**Energieinstitut der Universität Linz (2014):** Power to Gas – eine Systemanalyse, Markt- und Technologiescouting und –analyse, Endbericht.

**Europäische Kommission (2006):** World Energy Technology Outlook – 2050, WETO-H<sub>2</sub>.

**FFE [Forschungsstelle für Energiewirtschaft] (2014):** Kurzgutachten zum Kostenvergleich Stromtransport.

**Frontier Economics, Agora Energiewende, Agora Verkehrswende (2017):** Die Kosten importierter synthetischer Brenn- und Kraftstoffe bis 2050.

**IEA [Internationale Energieagentur] (2007):** Hydrogen Production & Distribution, in: IEA Energy Technology Essentials.

**NPE [Nationale Plattform Elektromobilität] (2016):** Roadmap integrierte Zell- und Batterieproduktion Deutschland.

**nsb [nymoen|strategieberatung] (2017):** Delphi-Kurzstudie: Praxis und Potenzial von Power-to-Gas.

**Öko-Institut (2014):** Prüfung der klimapolitischen Konsistenz und der Kosten von Methanisierungsstrategien.

**Sternier, M. und Stadler, I. (2014):** Energiespeicher - Bedarf, Technologien, Integration. Heidelberg, Berlin, New York: Springer-Vieweg Verlag.

**Tesla (2017):** Technische Daten zur Powerwall, online unter: [https://www.tesla.com/de\\_DE/powerwall](https://www.tesla.com/de_DE/powerwall) [Zugriff: 27.07.2017].

## **IMPRESSUM**

### **Gutachten im Auftrag der PTX-Allianz:**

aireg - Aviation Initiative for Renewable Energy in Germany e.V.  
AUDI AG  
DVGW Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e.V.  
Deutscher Wasserstoff-Brennstoffzellen Verband e.V.  
ONTRAS Gastransport GmbH  
Uniper Energy Storage GmbH

### **Erstellt von:**

Dr. Håvard Nymoen, Geschäftsführer  
Tel: +49 (0) 30 364100 100  
E-Mail: nymoen@nymoen-strategieberatung.de

Kathrin Graf, LL.M., Handlungsbevollmächtigte, Senior-Beraterin  
Tel: +49 (0) 30 364100 202  
E-Mail: graf@nymoen-strategieberatung.de

Sophie Carlotta Sendler, Junior-Beraterin  
Tel: +49 (0) 30 364100 208  
E-Mail: sendler@nymoen-strategieberatung.de

**nymoen strategieberatung GmbH**  
Joachimsthaler Straße 20  
D-10719 Berlin

[www.nymoen-strategieberatung.de](http://www.nymoen-strategieberatung.de)

### **In Zusammenarbeit mit Johanssen + Kretschmer Strategische Kommunikation GmbH:**

**J+K Projektleitung:**  
Timo Bovi  
Dr. Thies Clausen  
Sybille Neuß

**Johanssen + Kretschmer Strategische Kommunikation GmbH**  
Berliner Freiheit 2  
D-10785 Berlin  
T +49 (0) 30 520 00 57-0  
F +49 (0) 30 520 00 57-77

[www.jk-kom.de](http://www.jk-kom.de)

September 2017

---