

# Wasserstoff - Farbenlehre

Rechtswissenschaftliche und rechtspolitische Kurzstudie

## ERSTELLT VON

Pauline Horng, Michael Kalis

Unter Mitarbeit von: Sabrina Heinecke, Jannis Glahe

Grafiken und Design: Odile Stabon

## IM AUFTRAG DES

Cluster Energietechnik Berlin Brandenburg der Wirtschaftsförderung Brandenburg

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Wasserstoff-Farbenlehre</b>	<b>4</b>
2.1	Die Herstellungsverfahren	5
2.2	Abscheidung, Speicherung und Nutzung von Kohlenstoff	7
2.3	Farben des Wasserstoffs	8
2.4	Kosten und CO <sub>2</sub> -Abdruck der Wasserstoff-Farben	12
<b>3</b>	<b>Schritte auf dem Weg zu einer grünen Wasserstoffwirtschaft</b>	<b>13</b>
3.1	Herkunftsnachweise für grünen Wasserstoff	13
3.2	Politische Strategien und Investitionspläne	16
3.3	Ausbau der Erneuerbaren Energien und Akzeptanz	17
<b>4</b>	<b>Empfehlungen</b>	<b>18</b>
4.1	Regulatorische Empfehlungen	18
4.2	Sozioökonomische Empfehlungen	20
<b>5</b>	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>22</b>

# 1 Einleitung

Wasserstoff gilt mittlerweile als wesentlicher Bestandteil der Energiewende – gar als Schlüsselement. Die Bedeutung von Wasserstoff für das Erreichen der nationalen, europäischen und internationalen Klimaschutzziele wird nicht zuletzt durch die Europäische und Nationale Wasserstoffstrategie deutlich.<sup>1</sup> Wasserstoff ist ein Energieträger mit hohem Potenzial, der mit erneuerbaren Energiequellen hergestellt werden kann. Er ist unverzichtbar für die Verbindung der Energiesektoren, aber auch für die Bereitstellung von Flexibilität sowie als Rohstoff in der Industrie.<sup>2</sup> In dieser sich schnell entwickelnden neuen Industrie für saubere Energie kommt Berlin und der Hauptstadtregion eine besondere Rolle zu. International als Hauptstadt der Energiewende angesehen, zieht Berlin eine Vielzahl von relevanten Entscheidungsträger:innen, Think Tanks und politischen Akteur:innen an, deren Zusammenspiel ein großes Potenzial für interessante Geschäftsmöglichkeiten schafft. Darüber hinaus liegt Berlin in unmittelbarer Nähe zu Brandenburg, wo einerseits eine signifikante erneuerbare Energieerzeugung zur Verfügung steht, die notwendig ist, um den Elektrolyseprozess zur Herstellung von grünem Wasserstoff zu betreiben. Andererseits gibt es in Brandenburg bereits eine Vielzahl von Projekten und Forschungsinitiativen im Bereich des grünen Wasserstoffs. Brandenburg verfügt somit bereits über räumliches Potenzial und Infrastruktur, um diese wachsende Industrie weiterhin zu beherbergen.

Ogleich Wasserstoff damit in der politischen Agenda hervorgehoben wird, fehlt bislang ein abschließender Rechtsrahmen für die Produktion, den Transport und den Einsatz von Wasserstoff sowie ein leicht verständlicher Überblick über das Thema, einschließlich der Prozesse, Farben, Umweltauswirkungen und Herausforderungen.<sup>3</sup> Das Verständnis dieser relevanten Themen sowie die Einführung eines Rechtsrahmens sind von herausragender Bedeutung, damit Wasserstoff tatsächlich die ihm zugestandene Rolle erfüllen kann.<sup>4</sup> Der Mangel eines kohärenten Rechtsrahmens und die Auswirkungen auf die Rolle des Wasserstoffs wird bei den sogenannten Wasserstoff-Farben besonders deutlich.

In der tagesaktuellen Politik, in der Wissenschaft und auch im Markt hat sich zwischenzeitlich eine – auch von Expert:innen – kaum mehr zu durchschauende Farbenlehre entwickelt, anhand welcher den verschiedenen Ausgangsstoffen und Herstellungsverfahren von Wasserstoff eine Art Zertifizierung

---

<sup>1</sup> (Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) 2020)  
(Europäische Kommission 2020)

<sup>2</sup> (Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) 2020, 12)

<sup>3</sup> (Kalis and Antoni, Wasserstoff in der Energiewende – Herausforderungen an Recht und Governance 2020),  
(Kalis and Langenhorst, Nachhaltigkeits- und Treibhausgaseinsparungskriterien für Wasserstoff 2020)

<sup>4</sup> (Kalis and Langenhorst, Nachhaltigkeits- und Treibhausgaseinsparungskriterien für Wasserstoff 2020)

erteilt werden soll.<sup>5</sup> Dieses nicht regulierte Labelling dient – neben der Abgrenzung der Herstellungsverfahren – nicht zuletzt wohl auch dazu, weniger klimaschützende Verfahren mit einer positiven Konnotation zu versehen. Im Kern wirft die Wasserstoff-Farbenlehre folgende zentralen Fragen auf, die im Rahmen dieser Kurzstudie erläutert werden sollen: Welche Verfahren zur Herstellung von Wasserstoff bestehen derzeit am Markt und in der Forschung? Welche Umweltwirkungen haben diese Verfahren jeweils? Wie könnten die jeweiligen Verfahren bzw. Farben in einem Rechtsrahmen der Zukunft verbindlich zertifiziert werden? Und wie könnte der sodann zertifizierte Wasserstoff tatsächlich bei Verbraucher:innen bzw. in den jeweiligen Sektoren ankommen? Wie können Bürger:innen und relevante Stakeholder eingebunden und Akzeptanz gefördert werden?

## 2 Wasserstoff-Farbenlehre

Heute wird Wasserstoff hauptsächlich in industriellen Prozessen zur Raffinierung von Petroleum und zur Herstellung wichtiger Chemikalien wie z.B. Ammoniak verwendet. Er hat jedoch ein großes Potenzial für eine wesentlich breitere Verwendung in Sektoren wie Energie, Energiespeicherung, Wärme und Verkehr.



Der Großteil des derzeit produzierten Wasserstoffs stammt jedoch aus fossilen Brennstoffen. Um sicherzustellen, dass die breitere Nutzung von Wasserstoff den Klimawandel nicht verschlimmert, ist eine klare Definition der verschiedenen "Farben" oder Typen von Wasserstoff und die Diskussion ihres Beitrags zum Klimawandel entscheidend. Dieses Kapitel beginnt mit einem Überblick über die verschiedenen Arten von Wasserstoffherstellungsverfahren und einer kurzen Einführung in die Kohlenstoffabscheidung, -speicherung und -nutzung (CCS/CCU). Das Verständnis dieser Prozesse und Technologien ist entscheidend, um die verschiedenen Farben des Wasserstoffs nachvollziehen zu können.

<sup>5</sup> (Schäfer-Stradowsky and Kalis 2019)

Darauf aufbauend wird der Wasserstoff-Regenbogen als eine vereinfachte Übersicht über die Wasserstoff-Farben vorgestellt und anschließend ein kurzer Blick auf die Kosten sowie den Kohlenstoff-Fußabdruck der verschiedenen Wasserstoff-Farben geworfen.

## 2.1 Die Herstellungsverfahren

Soll ein abschließender Rechtsrahmen für Wasserstoff entstehen, müssen alle auch nur potenziellen Herstellungspfade zumindest mitgedacht werden. Im Folgenden werden daher die derzeit üblichen Prozesse der Wasserstoffherstellung kurz skizziert.<sup>6</sup>

Die **Vergasung** beschreibt einen Prozess, bei welchem der Ausgangsstoff regelmäßig durch Erhitzung in brennbare Gase überführt wird. In der Kohlevergasung wird Kohle als Ausgangsstoff eingesetzt. Unter Einsatz von Wärme und Wasser entsteht Wasserstoff. Neben- bzw. Abfallprodukte der Kohlevergasung sind Kohlendioxid bzw. Kohlenmonoxid. Ausgangsstoff kann auch Biomasse sein. Dieser Prozess wird in der Industrie bereits genutzt und kann daher mit dem Technology Readiness Level (TRL) von 8-9 bewertet werden.<sup>7</sup> Bei der TRL-Einordnung wurde sich maßgeblich an der Fraunhofer Studie "Eine Wasserstoff-Roadmap für Deutschland"<sup>8</sup> (2019) orientiert.

In der **Dampfreformierung** (TRL9) entsteht unter Einsatz von Wärme und Wasserdampf aus einem kohlenstoffhaltigen Brennstoff Wasserstoff. Wie in der Kohlevergasung fallen hier Kohlendioxid bzw. Kohlenmonoxid als Neben- und Abfallprodukte an. Ausgangsstoff für die Dampfreformierung ist zumeist Erdgas. Der fossile Ausgangsstoff kann grundsätzlich durch Biomasse ersetzt werden. Die Dampfreformierung mit anschließendem Carbon Capture and Storage bzw. Utilization (CCS bzw. CCU) stellt grundsätzlich keine Änderung des Herstellungsprozesses dar. Vielmehr beschreibt sie den gezielten Umgang mit den Neben- bzw. Abfallprodukten. Das anfallende Kohlendioxid bzw. Kohlenmonoxid wird hier planmäßig unter Einsatz von CCS gespeichert bzw. unter Einsatz von CCU verwertet.

Im Rahmen der **Pyrolyse** wird ebenfalls unter Einsatz starker Hitze ein methanhaltiger Ausgangsstoff (bspw. Methanpyrolyse mit Erdgas) in Wasserstoff und festen Kohlenstoff gespalten. Damit entsteht anders als etwa in der Kohlevergasung ein fester Stoff, der weiterverarbeitet oder gelagert werden kann. Die **Pyrolyse** befindet sich derzeit noch im Forschungsstadium und wird daher mit einem TRL-Wert zwischen 4-5 bemessen.<sup>9</sup>

---

<sup>6</sup> (Shell Deutschland Oil GmbH 2017)

<sup>7</sup> (Roeb, et al. 2020, 20)

<sup>8</sup> (Hebling, et al. 2019)

<sup>9</sup> (Hebling, et al. 2019, 16)

In der **Wasserelektrolyse** wird unter Einsatz von elektrischer Energie Wasser in seine Bestandteile Wasserstoff und Sauerstoff aufgespalten. Relevante Neben- bzw. Abfallprodukte treten in der Reaktion nicht auf. Diese Reaktion findet in einem Elektrolyseur statt. Die Elektrolyse kann zunächst mit dem (nationalen) Strommix betrieben werden. Dies wirkt sich auf die Treibhausgasbilanz aus, da im Strommix selbst fossile Energieträger zur Stromerzeugung eingesetzt werden. Darüber hinaus kann die Elektrolyse auch mit Strom betrieben werden, der hinsichtlich der Stromkennzeichnung, aufgrund von Herkunftsnachweisen (HKN) bilanziell „grün“ ist. Da sich der physikalische Strombezug hierdurch nicht ändert, bestehen keine Unterschiede zur Elektrolyse mit dem Strommix. Abschließend kann die Elektrolyse nachweislich mit Strom aus ausschließlich erneuerbaren Energien betrieben werden. Um eine solche Ausschließlichkeit zu gewährleisten ist grundsätzlich der Strombezug aus einer ausschließlich mit Strom aus erneuerbaren Energien gespeisten Leitung notwendig.

Für dieses Herstellungsverfahren können drei bekannte Arten von Elektrolyseuren unterschieden werden: Protonen-Austausch-Membran- (engl. PEM-) Elektrolyseure, alkalische Elektrolyseure und Festoxidelektrolyseure. Die Vorteile der PEM-Elektrolyseure sind, dass diese unter Einsatz erneuerbarer Energiequellen wie Sonne und Wind betrieben werden können, wobei auch die Spitzenwerte der erzeugten Energie genutzt werden können. Aufgrund der Eigenschaft der Membran ist die PEM-Elektrolyse in der Lage, Gase in hoher Reinheit zu erzeugen, was für die Nutzung und Speicherung entscheidend ist. Auf der TRL-Skala sind sie zwischen den Stufen 6-8 einzuordnen.<sup>10</sup> Die am weitesten entwickelten alkalischen Elektrolyseure können in Puncto Effizienz und Gasreinheit genauso wettbewerbsfähig oder sogar besser als PEM-Elektrolyseure sein und bei hohen Stromdichten betrieben werden (was die Einbeziehung von Spitzenwerten bei der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien ermöglicht). Sie werden schon in der Industrie eingesetzt und können deshalb mit einem TRL von 9 bewertet werden.<sup>11</sup> Die Festoxidelektrolyseure unterscheiden sich geringfügig von der PEM- und der alkalischen Elektrolyse. Hierfür ist jedoch eine höhere Temperatur nötig. Dies bedeutet, dass diese mit solarer oder nuklearer Abwärme gekoppelt werden sollten, um den Stromverbrauch zu reduzieren. Somit fällt das TRL auch entsprechend niedriger aus und lässt sich mit einem Wert zwischen 4-6 bemessen.<sup>12</sup>

Die **Chlor-Alkali-Elektrolyse** ist ein industrielles Verfahren (TRL 9) zur Erzeugung der Grundchemikalien Chlor, Natron- bzw. Kalilauge sowie Wasserstoff als Nebenprodukt. Dabei wird das zu verarbeitende Salz in Wasser gelöst und durch Einsatz von Strom an den Elektroden gespalten.

---

<sup>10</sup> (Hebling, et al. 2019, 13)

<sup>11</sup> (Hebling, et al. 2019, 12)

<sup>12</sup> (Hebling, et al. 2019, 13)

Darüber hinaus gibt es weitere Methoden, die sich in der Forschung und Entwicklung befinden. Dazu gehören **die thermochemischen (TWS)** sowie **photobiologischen** und **photoelektrochemischen (PEC) Wasserspaltungsverfahren** (TRL 2-4)<sup>13</sup> zur Wasserstoffproduktion. TWS nutzt Hochtemperaturwärme (z.B. Sonnen- und nukleare Abwärme) um aus Wasser Wasserstoff zu erzeugen.<sup>14</sup> Bei der Produktion werden keine CO<sub>2</sub>-Emissionen generiert. Die photobiologische Methode nutzt Mikroben und Sonnenlicht zur Herstellung von Wasserstoff.<sup>15</sup> Der PEC-Wasserspaltungsprozess erzeugt Wasserstoff unter Verwendung von speziellen Halbleitern und unter Einbeziehung des Sonnenlichts.<sup>16</sup>

## 2.2 Abscheidung, Speicherung und Nutzung von Kohlenstoff

Kohlenstoffabscheidung und -speicherung (CCS) ist ein Verfahren zur Abscheidung von "Abfallkohlenstoff", bevor dieser in die Atmosphäre gelangt. Nach der Abscheidung wird der Kohlenstoff transportiert und hauptsächlich an unterirdischen Orten wie geologischen Formationen, erschöpften Öl- und Gasfeldern oder im Meer gelagert.

Die Abscheidungsrate ist abhängig von der eingesetzten Technologie: die fortschrittlichsten Techniken erreichen eine Abscheidungsrate von bis zu 95%.<sup>17</sup> Dies bedeutet jedoch, dass nicht das gesamte CO<sub>2</sub> abgetrennt wird und gespeichert werden kann. Außerdem besteht nach der Speicherung des Kohlenstoffs die Gefahr eines Austretens. Die Speicherung und eventuell auftretenden Lecks könnten zu katastrophalen Umweltauswirkungen führen, die zum jetzigen Zeitpunkt noch nicht absehbar sind. Aufgrund dieser Unsicherheiten stellt auch die gesellschaftliche Akzeptanz eine Herausforderung dar.

"CCU" steht für Carbon Capture and Use (Kohlenstoffabscheidung und -nutzung). Bei diesem Verfahren wird das abgeschiedene CO<sub>2</sub> wiederverwertet und für die Produktion anderer Produkte genutzt, anstatt es zu speichern. So kann das CO<sub>2</sub> etwa direkt zur Herstellung von Trockeneis verwendet werden, aber auch in industriellen Prozessen zur Herstellung von Chemikalien, Brennstoffen oder Mineralien eingesetzt werden.<sup>18</sup> CCS und CCU zusammen können auch als "CCUS" bezeichnet werden.

---

<sup>13</sup> (Roeb, et al. 2020, 19)

<sup>14</sup> (Office of Energy Efficiency & Renewable Energy kein Datum)

<sup>15</sup> (Office of Energy Efficiency & Renewable Energy kein Datum)

<sup>16</sup> (Office of Energy Efficiency & Renewable Energy kein Datum)

<sup>17</sup> (IEA 2020)

<sup>18</sup> (Agency for Natural Resources and Energy 2019)

## 2.3 Farben des Wasserstoffs

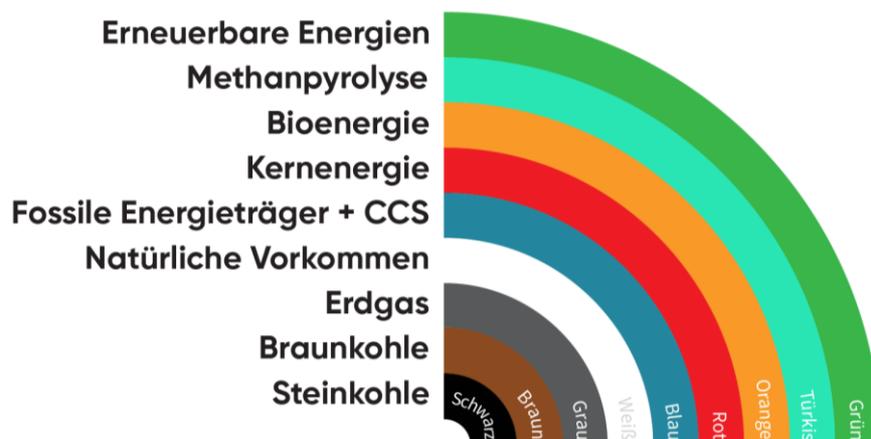


Abbildung 1: Der Wasserstoff-Regenbogen

Da Wasserstoff heute fast ausschließlich aus fossilen Brennstoffen hergestellt wird, sind neue Kombinationen von Energiequellen und Technologien erforderlich, um die Umweltauswirkungen der Wasserstoff-Wertschöpfungskette zu verbessern. Die verschiedenen Farben des Wasserstoffs, die sich aus den Ausgangsstoffen und Herstellungs- sowie Speicherverfahren ableiten, sind im Wasserstoff-Regenbogen vereinfacht visualisiert und werden im Folgenden beschrieben,

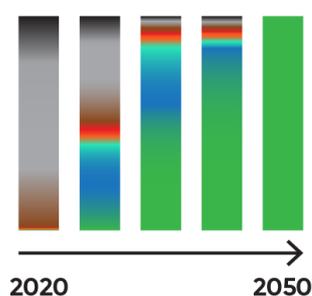
**Schwarzer Wasserstoff** ist Wasserstoff, der unter Einsatz von Steinkohle erzeugt wird, in der Regel durch die Vergasungsmethode. Ähnlich wie schwarzer Wasserstoff wird **brauner Wasserstoff** aus Braunkohle hergestellt und daher als braun bezeichnet. Wasserstoff, der aus Erdgas, gewöhnlich durch den Dampfreformierungsprozess, hergestellt wird, ist gemeinhin als **grauer Wasserstoff** bekannt. Aufgrund der bestehenden und vermeintlich kostengünstigen Art dieses industrialisierten Verfahrens zur Herstellung von Wasserstoff wird die Idee, es mit CCS-Technologien zu kombinieren, immer populärer.<sup>19</sup> In der deutschen Wasserstoffstrategie wird diese Kombination als **blauer Wasserstoff** bezeichnet. Für den Übergang zu einem 100% grünen Wasserstoffszenario wird blauer Wasserstoff eine wichtige Rolle spielen, da es derzeit nicht möglich ist, den



<sup>19</sup> (Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) 2020)

gesamten Bedarf durch regenerativ erzeugten Wasserstoff zu ersetzen. Blauer Wasserstoff kann jedoch nur als kohlenstoffarm und nicht, wie in der deutschen Wasserstoffstrategie erwähnt, als kohlenstoffneutral bewertet werden, da bei den CCS-Technologien noch immer Treibhausgase in die Atmosphäre freigesetzt werden. Zudem sind die Umweltfolgen seiner Speicherung unbekannt und es bedarf einer weiteren Erforschung der Speicherung. Daher kann blauer Wasserstoff nicht als eine langfristig nachhaltige Lösung angesehen werden. Weitere Investitionen in die fossile Brennstoffindustrie werden den Lock-in-Effekt ebenfalls verstärken. Es ist wichtig, das Risiko einer sich entwickelnden Abhängigkeit von blauem Wasserstoff im Auge zu behalten, da dies die Energiewende verlangsamen kann.

**Türkiser Wasserstoff** ist ein weiterer Wasserstofftyp, den die deutsche Bundesregierung in ihrer Wasserstoffstrategie ausdrücklich erwähnt.<sup>20</sup> Diese Wasserstoff-Farbe wird durch den Methanpyrolyseprozess erzeugt. Bei diesem Prozess wird Methan in Wasserstoff und festen Kohlenstoff gespalten, der z.B. in alten Bergwerksstollen gespeichert werden kann. Da sich dieser Mechanismus und die Ergebnisse von blauem und grünem Wasserstoff unterscheiden, wird er als türkisfarbener Wasserstoff definiert.



**Abbildung 2: Auf dem Weg zu einer grünen Wasserstoffwirtschaft: Entwicklung der Wasserstoff-Farben**

**Grüner Wasserstoff** ist die einzige nachhaltige Wasserstoffoption, da sie "aus erneuerbaren Quellen gewonnen werden muss"<sup>21</sup> wie von der deutschen Regierung vorgeschlagen. Durch die Nutzung erneuerbarer Ressourcen wie Sonne und Wind zur Wasserstoffproduktion kann der direkte Kohlenstoffausstoß der Produktion auf Null Emissionen reduziert werden. Die vielversprechendste Methode ist die Nutzung erneuerbarer Elektrizität als Energiequelle zur Herstellung von Wasserstoff über Elektrolyseure. Sowohl die Kosten für Elektrolyseure als auch für erneuerbare Energien sind in den letzten Jahren deutlich gesunken und werden auch in Zukunft weiter sinken. Es ist jedoch noch eine weitere Kostensenkung erforderlich, um mit anderen Wasserstoffquellen konkurrieren zu können.

Zudem stellen die Schwankungen bei der Erzeugung erneuerbarer Energien nach wie vor eine Herausforderung dar. Die Nutzung der Sonnenenergie zur

<sup>20</sup> (Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) 2020, 29)

<sup>21</sup> (Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) 2020)

Herstellung von Wasserstoff durch thermochemische Wasserspaltung (TWS) ist eine weitere Möglichkeit in der Zukunft, jedoch muss diese Methode zuerst weiterentwickelt werden.

**Orangefarbener Wasserstoff** ist hier definiert als aus Bioenergie hergestellter Wasserstoff. Bioenergie ist kohlenstoffneutrale Energie, die aus organischen Stoffen gewonnen wird und in verschiedenen Formen wie Biomasse, Biokraftstoff, Biogas und Biomethan vorliegen kann. Anders als erneuerbare Energien, wie Sonnen- und Windenergie, deren Quellen unbegrenzt sind, beruht Bioenergie auf organischen Materialien. Diese werden üblicherweise aus Abfällen und Reststoffen aus der Land- und Forstwirtschaft, aus Haushalten und der Industrie gewonnen. Nach der Nutzung wird der Kohlenstoff, der einst von den organischen Stoffen gespeichert wurde, wieder in die Umwelt abgegeben. Somit hat diese Farbe immer noch einen geringeren Kohlenstoff-Fußabdruck als Wasserstoff, der aus fossilen Brennstoffen hergestellt wird, da das freigesetzte Treibhausgas vorher gebunden wurde. Außerdem liegt bei Bioenergie im Gegensatz zu Sonne oder Wind eine berechenbare Produktion vor. Allerdings sind die für die Massenproduktion relevanten Kritikpunkte wie Landknappheit und -degradation, Entwaldung, Rückgang der biologischen Vielfalt, "Nahrungsmittel vs. Treibstoff" und die Auswirkungen auf die Wasserressourcen schwer zu ignorieren. Die Effizienz der Produktionskette ist nach wie vor fragwürdig. Aus diesen Gründen erhält der aus Bioenergie hergestellte Wasserstoff nicht die Farbe Grün.

Nach Angaben der BASF wird der mit Kernenergie erzeugte Wasserstoff als **roter Wasserstoff** bezeichnet.<sup>22</sup> Die Kernenergie kann auf zwei Arten genutzt werden: zum einen durch die Nutzung von Elektrizität durch Elektrolyse, zum anderen durch die Nutzung ihres Hochtemperatur-Abwassers über das TWS-Verfahren. In ihrem Energieerzeugungsprozess verursacht die Kernenergie keine CO<sub>2</sub>-Emissionen. Sie kann auch eine stabile Energieversorgung gewährleisten. Das Uran selbst muss jedoch abgebaut werden und ist keine erneuerbare Quelle. Der Kohlenstoff-Fußabdruck der Stilllegung von Kernkraftwerken und die atomaren Abfälle sind schwer abzuschätzen, da es derzeit keine Lösungen für die langfristige Lagerung gibt. Im Gegensatz zu erneuerbaren Energien sind die Kosten für die Infrastruktur nicht gesunken und könnten sogar aufgrund extremerer Witterungsbedingungen in Zukunft steigen, da beispielsweise umfangreichere Sicherheitsmaßnahmen integriert werden müssen. Daher wird roter Wasserstoff nicht als nachhaltig angesehen. Zudem wird die Herstellung von Wasserstoff mit Kernenergie den Lock-in-Effekt in kosteneffizienten Energieinfrastrukturen weiter zementieren.

---

<sup>22</sup> (Erdgas Südwest GmbH 2020)

**Weißer Wasserstoff** bezieht sich auf Wasserstoff, der in natürlicher Umgebung vorkommt. Afrika ist bekannt für solche Vorkommen. Laut einer vom Fraunhofer IEE veröffentlichten Studie<sup>23</sup>, wird dieser Typ von Wasserstoff, welcher gewöhnlich in Gesteinsformationen abgelagert wird, zurzeit verschiedenen Arten von Bohrexperimenten unterzogen. Weißer Wasserstoff kann durch Fracking gewonnen werden, ähnlich wie beim Fracking zur Ausbeutung fossiler Brennstoffe, und ist höchst umstritten. Die Umweltauswirkungen, die Explorationsmethoden sowie das Produktionspotential sind noch unbekannt.

Die breite Farbpalette zeigt, dass Wasserstoff nicht gleich umweltfreundlicher Wasserstoff ist. Grüner Wasserstoff ist auf lange Sicht der einzige nachhaltige Wasserstoff. Im Gegensatz zu anderen Energiequellen sinken die Kosten für erneuerbare Energien und Elektrolyseure weiter. Die Förderung von schwarzem, braunem und grauem Wasserstoff sollte so schnell wie möglich auslaufen oder in Kombination mit CCS-Technologien zur Herstellung von blauem Wasserstoff verwendet werden. Blauer Wasserstoff spielt eine wichtige Rolle beim Übergang zur grünen Wasserstoffwirtschaft. Allerdings ist auch blauer Wasserstoff nicht nachhaltig aufgrund der fossilen Ausgangsstoffe und der unbekannteren Umweltauswirkungen der Speicherung sowie von möglichen Lecks. Zudem setzt blauer Wasserstoff immer noch Treibhausgase an die Umwelt frei, da CCS-Technologien nicht alle Kohlenstoffemissionen einfangen. Orangefarbener Wasserstoff produziert zwar keine Treibhausgase, jedoch wird beim Prozess der zuvor von den Pflanzen gebundene Kohlenstoff wieder freigesetzt. Große Bedenken ergeben sich hier auch aufgrund verschiedener Probleme, die eine großflächige Produktion mit sich bringen würde. Roter Wasserstoff wird durch Kernenergie erzeugt. Die Kernenergie erzeugt bei der Stromerzeugung zwar keine CO<sub>2</sub>-Emissionen, der Kohlenstoff-Fußabdruck der Baumaßnahmen sowie die Frage nach der langfristigen Lagerung des Atommülls und dessen Auswirkungen sind allerdings mit großen Unsicherheiten und Akzeptanzproblemen verbunden. Außerdem werden die Kosten für den Bau neuer Anlagen durch die Zunahme von Extremwetterereignissen steigen. Ein natürliches Vorkommen liegt beim weißen Wasserstoff vor. Jedoch muss auch dieser durch Bohrtechnologien wie Fracking abgebaut werden und es besteht noch großer Forschungsbedarf zu diesem Wasserstoff-Typ. Insgesamt sollte grüner Wasserstoff als der einzige nachhaltige Wasserstoff eingestuft werden. Entscheidungsträger:innen sollten sich der Umwelt- und Klimawirkung, der Abhängigkeit und des Lock-in-Effekts anderer Wasserstoff-Farben, die in der Übergangsphase zum Einsatz kommen, bewusst sein.

---

<sup>23</sup> (Gerhardt, et al. 2020)

## 2.4 Kosten und CO<sub>2</sub>-Abdruck der Wasserstoff-Farben

Wasserstoff-Typ	Farbe	€/kg H <sub>2</sub>
Fossile Brennstoffe	Schwarz Braun Grau	1.5
Fossile Brennstoffe +CSS	Blau	2
Erneuerbare Energien	Grün	2.5-5.5

Das Ausmaß an fossilem Brennstoff, der heute für die Wasserstoffproduktion verwendet wird, kann nicht ignoriert werden. Weltweit verbraucht die Wasserstoffproduktion 6% des Erdgases und 2% der Kohle, was einem Äquivalent von 830 MtCO<sub>2</sub> entspricht.<sup>24</sup> Allein in der EU werden bei diesem Prozess etwa 70 bis 100 Millionen Tonnen CO<sub>2</sub> pro Jahr freigesetzt. In Deutschland werden etwa 55 TWh Wasserstoff verbraucht, 93% des eingesetzten Wasserstoffs ist Grau, der Rest wird durch das Chloralkali-Verfahren (Elektrolyse) erzeugt.<sup>25</sup> Darüber hinaus entstehen bei der Herstellung einer Tonne Wasserstoff:<sup>26</sup>

- 25,56 t CO<sub>2</sub> durch das Verfahren der Kohlevergasung,
- 21,38 t CO<sub>2</sub> durch Elektrolyseure mit Strom aus dem Netz (angestrebter Strommix 2030),
- 10,79 t CO<sub>2</sub> durch die Methan-Dampfreformierung,
- 5,54 t CO<sub>2</sub> durch Methan-Pyrolyse ohne C-Gutschrift,
- 5,46 t CO<sub>2</sub> durch Biovergasung und
- 0 t CO<sub>2</sub> durch Elektrolyseure unter Verwendung erneuerbarer Elektrizität (Wind, Solar).

Die zwei größten Herausforderungen für grünen Wasserstoff sind der Mangel an ausreichenden erneuerbaren Energien und die Notwendigkeit noch günstigere Strompreise für erneuerbare Energien zu erzielen, um die Wirtschaftlichkeit zu erhöhen. Schätzungen zufolge betragen die Kosten für ein Kilogramm Wasserstoff etwa 1,5€ für Wasserstoff auf fossiler Basis, 2€ für blauen Wasserstoff und 2,5-5,5 € für grünen Wasserstoff.<sup>27</sup> Obwohl die Kosten für Wasserstoff auf fossiler Basis in hohem Maße von den Preisen für fossile Brennstoffe (hauptsächlich Erdgas) abhängen, sind die Kosten für die Herstellung von Wasserstoff aus erneuerbaren Quellen immer noch zwei- bis viermal höher. Im

<sup>24</sup> (IEA 2020)

<sup>25</sup> (Europäische Kommission 2020), (Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) 2020)

<sup>26</sup> (Machhammer, Bode and Hormuth 2015)

<sup>27</sup> (Europäische Kommission 2020)

Vergleich zu Wasserstoff aus fossilen Brennstoffen ist grüner Wasserstoff somit noch nicht wettbewerbsfähig.<sup>28</sup>

Ein Instrument, das zur Angleichung der Wettbewerbsbedingungen beitragen kann, ist die CO<sub>2</sub>-Bepreisung. Fossil hergestellter Wasserstoff setzt etwa 9,3 kg CO<sub>2</sub> für jedes Kilogramm erzeugten Wasserstoffs frei. Aus Erdgas hergestellter Wasserstoff emittiert etwa 8,85 kg CO<sub>2</sub> / kg H<sub>2</sub>. Bei einem Kohlenstoffpreis von etwa 55 bis 90 € pro Tonne CO<sub>2</sub> könnte blauer Wasserstoff mit fossilem Wasserstoff konkurrieren.<sup>29</sup> Dennoch sollte der Schwerpunkt darauf liegen, die Wettbewerbsfähigkeit von grünem Wasserstoff zu verbessern, da dieser die einzige nachhaltige Option ist. Ein Grund für das Preisgefälle zwischen grünem Wasserstoff und Wasserstoff auf der Basis fossiler Brennstoffe könnte darin liegen, dass die Bundesregierung jedes Jahr mehr als 16 Milliarden Euro für die Subventionierung fossiler Brennstoffe bereitstellt.<sup>30</sup> Obwohl auch erneuerbare Energien Subventionen erhalten, zeigen Projekte wie der Offshore-Windpark in den Niederlanden, dass erneuerbare Energien auch bereits ohne staatliche Subventionen wettbewerbsfähig sein können.<sup>31</sup> Die Bundesregierung könnte die Investitionen in fossile Brennstoffe zugunsten von erneuerbaren Energien und grünen Projekten entziehen. Dies wäre ein wichtiger Schritt, um die Wettbewerbsfähigkeit von grünem Wasserstoff zu beschleunigen.

## 3 Schritte auf dem Weg zu einer grünen Wasserstoffwirtschaft

### 3.1 Herkunftsnachweise für grünen Wasserstoff

Grüner Wasserstoff gilt nicht nur angesichts der Farbkonnotation als das Zielverfahren. Elektrolytisch unter Einsatz von Strom ausschließlich aus erneuerbaren Energiequellen erzeugter Wasserstoff hat – abgesehen von den Emissionen der Produktionsanlagen – keine CO<sub>2</sub>-Emissionen.<sup>32</sup> Die Umwelt- und Klimaschutzwirkung dieses Produktes sind diesbezüglich optimal. Die Bereitstellung von grünem Wasserstoff ist dabei keineswegs banal. Wenig problematisch ist der Betrieb einer Elektrolyse, die über eine Direktleitung ausschließlich Strom aus erneuerbaren Energien bezieht. Ist der Elektrolyseur nicht an das Netz angeschlossen, bezieht also ausschließlich EE-Strom, kann auch von der Produktion von grünem Wasserstoff ausgegangen werden.<sup>33</sup> Regelmäßig werden Elektrolyseure angesichts des

---

<sup>28</sup> (Europäische Kommission 2020)

<sup>29</sup> (Europäische Kommission 2020)

<sup>30</sup> (Zerzawy, et al. 2020)

<sup>31</sup> (WindEurope 2018)

<sup>32</sup> (Shell Deutschland Oil GmbH 2017)

<sup>33</sup> (Kalis and Langenhorst, Nachhaltigkeits- und Treibhausgaseinsparungskriterien für Wasserstoff 2020, 72)

hohen Strombedarfs und der volatilen Stromerzeugung von EE-Anlagen aber an das Netz der allgemeinen Versorgung angeschlossen sein. Mithin ist es Aufgabe der Regulierung Vorschriften zu treffen, unter welchen Voraussetzungen auch beim Netzstrombezug vom Bezug von EE-Strom und somit von der Produktion von grünem Wasserstoff ausgegangen werden kann. Ein einheitlicher, sektorenübergreifender Rechtsrahmen fehlt hier. Ein geeignetes Nachweissystem zum Bezug von EE-Strom liegt nicht vor.<sup>34</sup>

Der Nachweis mittels (Strom-) Herkunftsnachweisen<sup>35</sup> drängt sich zunächst auf, werden diese doch gegenwärtig bereits eingesetzt, um Ökostromprodukte auf dem Markt anzubieten.<sup>36</sup> Zudem sieht die Erneuerbare-Energie-Richtlinie II (RL 2018/2001/EU, kurz RED II) der Europäischen Union vor, dass zukünftig auch für erneuerbare Gase, inklusive Wasserstoff, Herkunftsnachweise erteilt werden sollen, vgl. Art. 19 Abs. 7 lit. b) RED II. Damit eröffnet sich auch die Vermarktung von Ökogas durch Einsatz von Herkunftsnachweisen grundsätzlich als Geschäftsmodell.<sup>37</sup> Tatsächlich genügen Herkunftsnachweise jedoch nicht, um die Weitergabe der grünen Eigenschaft zu sichern und<sup>38</sup> Herkunftsnachweise sind bereits vom Grunde auf nicht zur Weitergabe der grünen Eigenschaft ausgestaltet, wie die nachfolgenden Ausführungen zeigen.

Herkunftsnachweise (HKN) sind in erster Linie Kennzeichnungsinstrumente, die Energieversorgern dazu dienen ihren Verpflichtungen zur Stromkennzeichnung nach Art. 3 Abs. 6 RL 2003/54/EG nachzukommen. Der Herkunftsnachweis gibt Auskunft über den Anteil von Energie aus erneuerbaren Energien am Energiemix und somit über den Anteil bezogen auf ein ganzes Jahr. Er dient ausdrücklich ausschließlich als Nachweis gegenüber einem Endkunden dafür, dass ein bestimmter Anteil oder eine bestimmte Menge an Energie aus erneuerbaren Quellen erzeugt wurde, Art. 2 lit. j) RL 2009/28/EG (RED I), Art. 2 Nr. 12 RL 2018/2001/EU (RED II), § 3 Nr. 29 EEG 2017 sowie § 79 EEG 2017 i.V.m. § 42 Abs. 5 EnWG.<sup>39</sup>

Beim Einsatz von HKN ist die bloß einmalige Berücksichtigung derselben Einheit von Energie aus erneuerbaren Quellen sicherzustellen, vgl. Art. 15 Abs. 2 UAbs. 2 RED I bzw. 19 Abs. 2 UAbs. 2 RED II.

---

<sup>34</sup> (Antoni and Kalis, Grün vs. Grau – Begriff, Nachweis und Weitergabe der „grünen“ Eigenschaft erneuerbaren Stroms 2020)

<sup>35</sup> Art. 19 Abs. 1 RL 2018/2001/EU sieht auch Herkunftsnachweise für andere Energieträger, u.a. für erneuerbare Gase vor.

<sup>36</sup> (Umwelt Bundesamt 2014, 15)

<sup>37</sup> (Buchmüller, Wilms and Kalis 2019)

<sup>38</sup> (Antoni and Kalis, Grün vs. Grau – Begriff, Nachweis und Weitergabe der „grünen“ Eigenschaft erneuerbaren Stroms 2020)

<sup>39</sup> Die Finanzierungsfunktion der Herkunftsnachweise, deren Wert marktlich bestimmt wird, ist hier nicht von Relevanz und wird daher nicht weiter betrachtet. Siehe zur Finanzierungsfunktion Art. 15 Abs. 2 UAbs. 3 RED I bzw. Art. 19 Abs. 2 UAbs. 3 RED II.

Eine aus erneuerbaren Energiequellen erzeugte Energieeinheit darf demnach einem Verbraucher gegenüber nur einmal ausgewiesen werden, vgl. ErwG. 52 RED I. In der derzeitigen Rechtslage in Deutschland wäre eine solch einmalige Anrechnung nicht gewährleistet, wenn Herkunftsnachweise zusätzlich zur Stromkennzeichnung auch die grüne Eigenschaft weitergeben. In Deutschland erhält der Anlagenbetreiber mit EEG-Zahlungsanspruch die EEG-Vergütung vom Übertragungsnetzbetreiber, vgl. § 19 Abs. 1 EEG 2017. Im Gegenzug überlässt der Anlagenbetreiber dem Netzbetreiber das Recht diesen Strom als „Strom aus erneuerbaren Energien oder aus Grubengas, finanziert aus der EEG-Umlage“ zu kennzeichnen, vgl. § 20 Abs. 1 Nr. 2 i.V.m. § 78 Abs. 1 S. 1 EEG 2017. Dies ist sodann dem Letztverbraucher im Rahmen der Stromkennzeichnung auszuweisen, vgl. § 78 Abs. 1 S. 2 EEG 2017. Hier wird der Anteil an Strom aus Erneuerbaren Energien am Gesamtenergieträgermix aus dem letzten Jahr angegeben, vgl. § 42 Abs. 1 EnWG. Letztlich ist der Anteil an Strom aus erneuerbaren Energien oder aus Grubengas, finanziert aus der EEG-Umlage somit für alle Letztverbraucher gleich. Werden nunmehr Herkunftsnachweise aus derselben Anlage genutzt um den verbleibenden Anteil an Strom im Energieträgermix im Rahmen von Ökostromprodukten als Strom aus erneuerbaren Energien zu kennzeichnen, so wird schlussendlich dieselbe Energieeinheit mehrfach berücksichtigt. Im derzeitigen System ist eine Zuteilung von Herkunftsnachweisen an EEG-geförderte Anlagen somit nicht möglich.

Zusammengefasst sind Herkunftsnachweise somit Kennzeichnungs- und Finanzierungsinstrumente, die vornehmlich dazu genutzt werden können im Rahmen der Stromkennzeichnung und der Energieversorgung dem Letztverbraucher ein „grünes“ Produkt – Ökostrom, Ökogas oder hier grünen Wasserstoff – anzubieten. Zu Zwecken der Vermarktung können Herkunftsnachweise durchaus herangezogen werden.<sup>40</sup>

Für „grünen“ Wasserstoff gilt daher Folgendes: Bezieht der Betreiber eines Elektrolyseurs Strom aus dem Netz der allgemeinen Versorgung und greift auf ein Ökostromprodukt eines einschlägigen Energieversorgers zu, so ist davon auszugehen, dass der so erzeugte Wasserstoff durchaus als „grüner“ Wasserstoff vermarktet werden kann. Keineswegs kann dieser Wasserstoff unter Einsatz von Herkunftsnachweisen jedoch herangezogen werden um etwaige Verpflichtungen, wie bspw. die Treibhausgasminderungsquote nach § 37a Abs. 4 BImSchG, zu erfüllen. Auch die Verpflichtungen nach Unionsrecht, wie die Erneuerbare-Energie Quote im Verkehrssektor nach Art. 25 Abs. 1 UAbs. 1 RED II, können unter Einsatz von Herkunftsnachweisen ausdrücklich nicht erfüllt werden, vgl. Art. 19 Abs. 2 UAbs. 6 RED II. Eine solche Anrechenbarkeit des Produktes ist aber gerade das Ziel der

---

<sup>40</sup> (Buchmüller, Wilms and Kalis 2019)

Akteure.<sup>41</sup> Mit den derzeitigen Herkunftsnachweisen bietet der Rechtsrahmen hierfür jedoch kein geeignetes Instrument.

Dies soll an folgendem Beispiel nochmals veranschaulicht werden. Dabei wird vom Einsatz des Wasserstoffs im Verkehrssektor ausgegangen:

Bezieht der Betreiber eines Elektrolyseurs Strom aus dem Netz, also den nationalen Strommix, so produziert er nicht-erneuerbaren Wasserstoff. Nach der Wasserstoff-Farbenlehre würde hier grauer Wasserstoff produziert. Greift derselbe Betreiber nunmehr auf ein Ökostromprodukt und damit auf den Einsatz von (Strom-)Herkunftsnachweisen zurück, bezieht er nach seiner Stromrechnung Strom aus erneuerbaren Energien. Im derzeitigen Rechtsrahmen ergeben sich für den Elektrolyseursbetreiber jedoch keine regulatorischen Vorteile für den Einsatz dieses Wasserstoffs im Verkehrssektor. So kann er seinen Wasserstoff nicht als erneuerbaren strombasierten Kraftstoff auf die bestehende Treibhausgasminderungsquote nach § 37a Abs. 4 BImSchG anrechnen. Hierfür müsste er vielmehr den Nachweis des ausschließlichen Einsatzes von Strom aus erneuerbaren Energien nach § 3 Abs. 2 37. BImSchV erbringen. Diese sieht jedoch keinen Einsatz von Herkunftsnachweisen vor. Herkunftsnachweise sind für den Elektrolyseursbetreiber, der seinen Wasserstoff im Verkehrssektor einsetzen möchte damit regulatorisch unterschiedslos. Davon unbeschadet kann der Betreiber sein Produkt als „grün“ im Wettbewerb vermarkten. Privilegierende Rechtsfolgen sind daran jedoch nicht geknüpft.

### 3.2 Politische Strategien und Investitionspläne

Neben Anpassungen des Rechtsrahmens sollten die nächsten Schritte hin zu einer grünen Wasserstoffwirtschaft auch einen detaillierteren Fahrplan sowie einen konkreteren Investitionsplan umfassen. In der Mitteilung<sup>42</sup> der Europäischen Kommission von Juli 2020 werden strategische Ziele in drei Phasen im Zeitraum von 2020 bis 2050 genannt. Es werden unter anderem Ziele für die Installation von erneuerbaren Wasserstoff-Elektrolyseuren sowie Ziele zur Produktion von Wasserstoff aus erneuerbaren Quellen vorgestellt.<sup>43</sup> Dabei werden auch allgemein erforderliche Maßnahmen genannt, wie die Hochskalierung der Produktion von Elektrolyseuren sowie die Erhöhung der Anzahl von Wasserstofftankstellen.

In Deutschland wurde und wird eine Reihe von Investitionen mit verschiedenen Regierungsprogrammen getätigt. Für die Zukunft sind unter anderem 1,4 Milliarden Euro zwischen 2016 und 2026 aus

---

<sup>41</sup> (GET H2 kein Datum)

<sup>42</sup> (Europäische Kommission 2020)

<sup>43</sup> (Europäische Kommission 2020)

dem Nationalen Innovationsprogramm Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie sowie 1,1 Milliarden Euro zwischen 2020 und 2023 aus dem Energie- und Klimafonds für Forschung und Reallabore abrufbar. Zusätzlich wurden 7 Milliarden Euro für die Beschleunigung der Markteinführung und weitere 2 Milliarden Euro für internationale Partnerschaften aus dem Koalitionsausschuss zur Verfügung gestellt.<sup>44</sup> Die genauen Einzelheiten der Verwendung der Mittel sind jedoch von den zuständigen Ministerien noch nicht festgelegt worden.

Für eine erfolgreiche Umsetzung wird darüber hinaus ein Plan benötigt, der anhand von spezifischen Zahlen aufzeigt, wie diese Ziele konkret erreicht werden können.

### 3.3 Ausbau der Erneuerbaren Energien und Akzeptanz

Abgesehen von Wasserstoffstrategien ist der weitere Ausbau der erneuerbaren Energieversorgung ein wichtiger nächster Schritt. Die Energiewende erfordert bereits heute die kontinuierliche Erhöhung des Anteils an erneuerbaren Energien am Energiemix. Durch die Entscheidung der EU grünen Wasserstoff zu entwickeln, und der Schätzung, dass im Jahr 2050 24%<sup>45</sup> des Weltenergiebedarfs durch sauberen Wasserstoff gedeckt werden könnte, wird die Nachfrage nach zusätzlicher Installation von erneuerbaren Energietechnologien exponentiell ansteigen. Wenn der geschätzte Bedarf von 600 bis 1.000 TWh Wasserstoff, zusätzlich zur vollständigen Vergrünung des Stromnetzes, durch eine ausschließlich heimische Produktion in Deutschland<sup>46</sup> gedeckt werden sollte, wäre insgesamt ein zusätzlicher Ausbau von 1140 TWh bis 1710 TWh an erneuerbarem Strom erforderlich.<sup>47</sup> Daher ist ein aktualisierter und angepasster Plan mit konkreten Zielen und Maßnahmen erforderlich, um den Ausbau der erneuerbaren Energien zu beschleunigen.

Deutschland tritt bereits in die dritte oder vierte Dekade der Energiewende ein. Dennoch steht Deutschland vor der Herausforderung, eine breitere öffentliche Akzeptanz für die Energiewende aufzubauen. Um dieses Problem zu lösen, könnten die Bürger:innen stärker an der Energiewende beteiligt werden, etwa durch Energiegenossenschaften, Crowdfunding oder Prosumer-Modelle. Die Einbeziehung der Bürger:innen erhöht nicht nur die Akzeptanz und vergrößert Handlungsspielräume, sondern schafft auch Vorteile für einzelne Bürger:innen und für das Gesamtsystem. Bürger:innen können finanziell und sozial profitieren, während die Öffentlichkeit von saubererer Luft, weniger extremen Wetterereignissen und anderen verminderten Klimawandelphänomenen profitieren kann. Die

---

<sup>44</sup> (Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) 2020)

<sup>45</sup> (Europäische Kommission 2020)

<sup>46</sup> (Gerhardt, et al. 2020, 4)

<sup>47</sup> Basierend auf dem in Deutschland erzeugten Strom im Jahr 2019 (Fraunhofer ISE 2020)

finanzielle Beteiligung von Bürger:innen kann zudem zusätzliches privates Kapital für Wasserstoffprojekte erschließen.

Das Thema Wasserstoff ist heute vielleicht noch nicht im Bewusstsein der Verbraucher:innen verankert. Mit Blick auf Akzeptanzfragen steht Wasserstoff aber wahrscheinlich vor ähnlichen Herausforderungen, wie aktuell die erneuerbaren Energien, etwa mit Blick auf Fragen der Sicherheit und Kosten.<sup>48</sup> Daher ist es wichtig, dass die bisher aus der Energiewende gezogenen Lerneffekte bei der Festlegung einschlägiger politischer Maßnahmen berücksichtigt werden. Dies betrifft insbesondere auch den regulatorischen Rahmen, der einen leichten Zugang und die Einbeziehung der Bürger:innen in Form von Beteiligung ermöglicht.

Die Aussicht auf die Schaffung neuer Arbeitsplätze kann sich positiv auf die Akzeptanz von Wasserstoffprojekten auswirken. Zwar ist der Entwicklungspfad für Wasserstoff in Deutschland sowie der Produktionsstandort mit Unsicherheiten behaftet, der Ausbau der erneuerbaren Energien und die Erhöhung der heimischen Wasserstoffproduktion hat jedoch ein enormes Potenzial, die Markterholung nach der Covid-19-Pandemie zu unterstützen und nachhaltige Arbeitsplätze zu schaffen. Zu den Beschäftigungseffekten gibt eine Vielzahl unterschiedlicher Prognosen von verschiedenen Instituten. Die Europäische Kommission schätzt, dass sich eine Million zusätzliche Arbeitsplätze in der gesamten EU als direkte und indirekte Folgen ihrer Wasserstoffstrategie ergeben werden.<sup>49</sup> Laut dem EU-Kommissar für Energie, Kadri Simon, werden 10.000 Arbeitsplätze für jede investierte Milliarde Euro geschaffen.<sup>50</sup> Das Wuppertal Institut kommt in einer Studie zu dem Schluss, dass in Deutschland zwischen 20.000 - 800.000 Arbeitsplätze sowie zwischen 2 und 30 Milliarden Euro an zusätzlicher Wertschöpfung entstehen könnten. Die Zahlen hängen davon ab, wie viel Wasserstoff (in den Annahmen des Wuppertal Instituts zwischen 0-90 %) am Ende in Deutschland im Jahr 2050 produziert wird.<sup>51</sup>

## 4 Empfehlungen

### 4.1 Regulatorische Empfehlungen

Die Wasserstoff-Farbenlehre ist Sinnbild für den nicht abschließenden und inkohärenten Rechtsrahmen. Sie ist Bestandteil einer Reihe von regulatorischen Hemmnissen, die es für einen Markthochlauf und die Verwirklichung des Potentials von Wasserstoff als erneuerbarem Energieträger zu

---

<sup>48</sup> (Cherryman, et al. 2008)

<sup>49</sup> (Europäische Kommission 2020, 2)

<sup>50</sup> (Simon 2020)

<sup>51</sup> (Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie gGmbH; DIW Econ GmbH 2020, 15)

überwinden gilt. Die gesamte Verwertungskette von EE-Stromerzeugung, Stromtransport, Wasserstoffherzeugung, Wasserstofftransport und Wasserstoffverwertung braucht einen kohärenten Rechtsrahmen, der sicherstellt, dass über die gesamte Kette ein nachhaltiger, erneuerbarer Energieträger bereitgestellt wird, der gleichzeitig Anreize für dessen Produktion und Einsatz schafft. Dieser Rechtsrahmen kann hier nicht vollständig abgebildet werden. Im Wesentlichen sind jedoch die nachfolgenden Aspekte zu berücksichtigen:

- Herstellen der Wettbewerbsfähigkeit von erneuerbarem Wasserstoff ggü. fossilen Energieträgern. Hierfür gilt es insbesondere die Gestehungskosten von Wasserstoff durch Privilegierungen im Rahmen der Strompreisbestandteile zu senken. Maßgeblich ist hier die EEG-Umlage. Eine Reduzierung der EEG-Umlage für Elektrolyseure kann durch Erweiterung und Anpassung der Besonderen Ausgleichsregelungen (§§ 63 ff EEG 2017) oder Einführung eines eigenen Befreiungstatbestand erreicht werden. Darüber hinaus kann die Wettbewerbsfähigkeit durch eine CO<sub>2</sub>-Bepreisung hergestellt werden.
- Die Weitergabe der grünen Eigenschaft des EE-Stroms an den Wasserstoff muss regulatorisch ermöglicht werden. Hierfür ist ein Nachweissystem einzuführen, das sowohl sicherstellt, dass die Sektorenkopplung und Wasserstoffherstellung nicht zu einer bloßen Stromverschiebung führen, als auch dass die im Endverbrauchssektor eingesetzte erneuerbare Energiemenge nur einmal und in nur einem Sektor angerechnet wird. Möglich ist dies durch regulatorische Anpassung der Herkunftsnachweise,<sup>52</sup> Einführung einer Regelung zur Weitergabe der grünen Eigenschaft über sortenreine Bilanzkreise<sup>53</sup> oder in Anlehnung an das Unionsrecht durch Einführung eines Vermutungstatbestands<sup>54</sup>, der den EE-Strombezug auch bei Netzstrombezug hinreichend wahrscheinlich macht.

---

<sup>52</sup> (Buchmüller, Wilms and Kalis 2019), (Antoni and Kalis, Grün vs. Grau – Begriff, Nachweis und Weitergabe der „grünen“ Eigenschaft erneuerbaren Stroms 2020)

<sup>53</sup> (Antoni and Kalis, Grün vs. Grau – Begriff, Nachweis und Weitergabe der „grünen“ Eigenschaft erneuerbaren Stroms 2020) (Antoni, Martin and Schäfer-Stradowsky, Direkte Vermarktung von Windstrom und anderem erneuerbaren Strom im B2B-Bereich 2018)

<sup>54</sup> (Antoni and Kalis, Grün vs. Grau – Begriff, Nachweis und Weitergabe der „grünen“ Eigenschaft erneuerbaren Stroms 2020)

- Die Wasserstoff-Farbenlehre sollte (befristet) für den Zeitraum des Markthochlaufs in der Regulierung Niederschlag erfahren. Hierfür müssten verbindliche Standards geschaffen werden, die eine eindeutige Zuordnung des Produkts ermöglichen und die klimarelevanten Wirkungen des Wasserstoffs für den Verbraucher nachvollziehbar machen. Möglich wäre dies im Rahmen einer Treibhausgasminderungsquote in den jeweiligen Sektoren. In dieser könnten die verschiedenen Farben und damit Herstellungsverfahren Berücksichtigung finden. Durch die Zuteilung unterschiedlicher (Standard-)Emissionsfaktoren für die Herstellungsverfahren und die Anrechnung von CCU und CCS wäre der Beitrag zur Dekarbonisierung nachvollziehbar.<sup>55</sup>

## 4.2 Sozioökonomische Empfehlungen

Um das volle Dekarbonisierungspotenzial und die sozioökonomischen Vorteile der Transformation zu einer grünen Wasserstoffwirtschaft auszuschöpfen, müssen die folgenden Schritte aus sozioökonomischer und politischer Perspektive betrachtet werden:

- Grüner Wasserstoff, der durch Energie aus erneuerbaren Quellen wie Sonnen- oder Windenergie erzeugt wird, ist der einzige nachhaltige Wasserstoff. Er wird mit unbegrenzten Energieressourcen betrieben und erzeugt keine Kohlenstoffemissionen. Auch die Gefahr einer Verlagerung von Treibhausgasen ist nicht gegeben. Darüber hinaus sinken im Gegensatz zu anderen Energiequellen die Produktionskosten, einschließlich erneuerbarer Energie und Elektrolyseure, weiter. Langfristig gesehen ist dies die nachhaltigste Option.
- Es ist wichtig, dass die Regeln und die Preisermittlung auf den Energiemärkten an die heutige Realität angepasst werden: Das heißt, dass CO<sub>2</sub>-Emissionen und Umweltverschmutzung nicht mehr kostenlos oder zu einem zu niedrigen Preis angeboten werden dürfen. Heute beziffert das Emissionshandelsystem der EU die Kosten pro Tonne CO<sub>2</sub> auf 29 €, was zeigt, dass ein steiler Anstieg erforderlich ist. Ein höherer CO<sub>2</sub>-Preis in der Größenordnung von 55 bis 90 €/t CO<sub>2</sub> ist lediglich ein Ausgangspunkt für die Wettbewerbsfähigkeit von blauem Wasserstoff. Damit auch grüner Wasserstoff unter den gleichen Bedingungen wettbewerbsfähig ist, sollten außerdem die Subventionen der Bundesregierung in Höhe von mehr als 16 Milliarden Euro pro Jahr für die fossile Brennstoffindustrie abgebaut und zugunsten erneuerbarer Energien und grüner Projekte umverteilt werden.

---

<sup>55</sup> (Schäfer-Stradowsky and Kalis 2019)

- Die EU und insbesondere Deutschland nehmen eine führende Position in der Elektrolyseur-Technologie zur Herstellung von grünem Wasserstoff ein<sup>56</sup>, wobei China in Bezug auf Kosten und Größenordnung in hartem Wettbewerb steht. Die Aufrechterhaltung dieser industriellen Führungsposition erfordert, dass die Ziele der deutschen und der EU-Strategie durch spezifische politische und finanzielle Anreize in Forschung und Entwicklung sowie konkrete Projektentwicklungen unterstützt werden.
- Grüner Wasserstoff erfordert allein in Deutschland eine schnelle und umfassende Einführung weiterer erneuerbarer Energiequellen von 1140 TWh bis zu 1710 TWh. Angesichts der Akzeptanzprobleme, die beim Ausbau erneuerbarer Energien auftreten, ist es entscheidend, dass innovative sowie partizipative Formate entwickelt werden, um die Menschen in den Planungs- und Umsetzungsprozess mit einzubinden. Auch grüne Wasserstoffprojekte sollten die Bürger:innen einbeziehen: Die lokale Beteiligung an der Planung und dem Aufbau von Wasserstoffinfrastrukturen sollte daher ein zentrales Element des ordnungspolitischen Rahmens sein, um Akzeptanzprobleme in der Öffentlichkeit zu vermeiden und die Transformation zu einer grünen Wasserstoffwirtschaft zu beschleunigen.
- Neue Geschäftsmodelle entlang der Wasserstoff-Wertschöpfungskette sind eine wertvolle Quelle für neue industrielle Führungspotenziale für Regionen, die in grünen Wasserstoff investieren. Das damit verbundene zukünftige Beschäftigungspotenzial von, laut der Europäischen Kommission, bis zu 10.000 Arbeitsplätzen für jede investierte Milliarde Euro, sollte jetzt, insbesondere vor dem Hintergrund des mit COVID-19 verbundenen wirtschaftlichen Abschwungs und der Notwendigkeit eines grünen Aufschwungs, erschlossen werden.

Die Entwicklung von grünem Wasserstoff kann als sozioökonomischer Katalysator für lokale oder regionale Energiesysteme, die auf sektorübergreifender Zusammenarbeit und Exzellenzaufbau beruhen, genutzt werden. Wasserstoffinfrastrukturen können dezentral installiert sowie mit lokaler erneuerbarer Energie versorgt werden und dabei Stakeholder aus verschiedenen Fachbereichen einbeziehen. Somit hat grüner Wasserstoff das Potenzial, als zentrale, regionale Schnittstelle für Forschung, neue Unternehmen und regionale Identität zu dienen.<sup>57</sup>

---

<sup>56</sup> (Amelang 2020)

<sup>57</sup> (The Northern Netherlands Hydrogen Investment Plan 2020 2020)

## 5 Literaturverzeichnis

- Agency for Natural Resources and Energy. 2019. *CO2 may become useful in the future?! "Carbon Recycling" to utilize CO2 as a resource.* 20 9. Accessed 11 29, 2020. [https://www.enecho.meti.go.jp/en/category/special/article/carbon\\_recycling.html](https://www.enecho.meti.go.jp/en/category/special/article/carbon_recycling.html).
- Amelang, Sören. 2020. *Who will be the Hydrogen superpower? The EU or China.* 31 8. Accessed 12 7, 2020. <https://energypost.eu/who-will-be-the-hydrogen-superpower-the-eu-or-china/>.
- Antoni, Johannes, and Michael Kalis. 2020. "Grün vs. Grau – Begriff, Nachweis und Weitergabe der „grünen“ Eigenschaft erneuerbaren Stroms." *ZNER* 382-389.
- Antoni, Johannes, Bénédicte Martin, and Simon Schäfer-Stradowsky. 2018. "Direkte Vermarktung von Windstrom und anderem erneuerbaren Strom im B2B-Bereich." *win-energie.de*. 2. Accessed 11 16, 2020. [https://www.wind-energie.de/fileadmin/redaktion/dokumente/publikationen-oeffentlich/themen/03-sektorenkopplung/20180417\\_ikem\\_studie\\_marktentwicklungsmodell\\_und\\_kurzgutachten\\_vereinbarkeit.pdf](https://www.wind-energie.de/fileadmin/redaktion/dokumente/publikationen-oeffentlich/themen/03-sektorenkopplung/20180417_ikem_studie_marktentwicklungsmodell_und_kurzgutachten_vereinbarkeit.pdf).
- Buchmüller, Christian, Susan Wilms, and Michael Kalis. 2019. "Der Rechtsrahmen für die Vermarktung von grünem Wasserstoff." *ZNER* 194-204.
- Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi). 2020. "Die Nationale Wasserstoffstrategie." *www.bmwi.de*. 6. [https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/die-nationale-wasserstoffstrategie.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=16](https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/die-nationale-wasserstoffstrategie.pdf?__blob=publicationFile&v=16).
- Cherryman, S.J., S. King, F.R. Hawkes, R. Dinsdale, and D.L. Hawkes. 2008. "An exploratory study of public opinions on the use of hydrogen energy in Wales." *Public Understanding of Science* 397-410.
- Erdgas Südwest GmbH. 2020. *Debatte: Wasserstoff – Zukunftsenergie oder Sackgasse?* 28 2. <https://www.erdgas-suedwest.de/natuerlichzukunft/veranstaltung-wasserstoff-zukunftsenergie-sackgasse/>.
- Europäische Kommission. 2020. "A hydrogen strategy for a climate-neutral Europe." *Europäische Kommission*. 8 7. [https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/hydrogen\\_strategy.pdf](https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/hydrogen_strategy.pdf).
- Federal Ministry for Economic Affairs and Energy. 2020. "The National Hydrogen Strategy." *bmbf.de*. 6. Accessed 11 2020. [https://www.bmbf.de/files/bmwi\\_Nationale%20Wasserstoffstrategie\\_Eng\\_s01.pdf](https://www.bmbf.de/files/bmwi_Nationale%20Wasserstoffstrategie_Eng_s01.pdf).
- Fraunhofer ISE. 2020. *Net public electricity generation in Germany in 2019.* 30 7. Accessed 11 29, 2020. [https://energy-charts.info/charts/energy\\_pie/chart.htm?l=en&c=DE&year=2019](https://energy-charts.info/charts/energy_pie/chart.htm?l=en&c=DE&year=2019).
- Gerhardt, Norman, Jochen Bard, Richard Schmitz, Michael Beil, Maximilian Pfennig, and Tanja Kneiske. 2020. "Hydrogen in the Future Energy System: Focus on Heat in Buildings." *Fraunhofer Institute for Energy Economics and Energy System Technology (IEE)*. 5. [https://www.iee.fraunhofer.de/content/dam/iee/energiesystemtechnik/en/documents/Studies-Reports/FraunhoferIEE\\_Study\\_H2\\_Heat\\_in\\_Buildings\\_final\\_EN\\_20200619.pdf](https://www.iee.fraunhofer.de/content/dam/iee/energiesystemtechnik/en/documents/Studies-Reports/FraunhoferIEE_Study_H2_Heat_in_Buildings_final_EN_20200619.pdf).
- GET H2. kein Datum. *Political support needed for green hydrogen.* Accessed 11 11, 2020. <https://www.get-h2.de/forderungen/>.
- Hebling, C., M. Ragwitz, T. Fleiter, U. Groos, D. Härle, A. Held, M. Jahn, et al. 2019. "Eine Wasserstoff-Roadmap für Deutschland." *Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems ISE*. 10. [https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/documents/publications/studies/2019-10\\_Fraunhofer\\_Wasserstoff-Roadmap\\_fuer\\_Deutschland.pdf](https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/documents/publications/studies/2019-10_Fraunhofer_Wasserstoff-Roadmap_fuer_Deutschland.pdf).
- IEA. 2020. *CCUS in Power.* <https://www.iea.org/reports/ccus-in-power>.

- . 2020. *Hydrogen*. 28 8. Accessed 11 29, 2020. <https://www.iea.org/fuels-and-technologies/hydrogen>.
- Kalis, Michael, and Johannes Antoni. 2020. "Wasserstoff in der Energiewende – Herausforderungen an Recht und Governance." *REthinking Law* 30-33.
- Kalis, Michael, and Tim Langenhorst. 2020. "Nachhaltigkeits- und Treibhausgaseinsparungskriterien für Wasserstoff." *ZNER* 72-78.
- Machhammer, Otto, Andreas Bode, and Wolfgang Hormuth. 2015. "Ökonomisch/ökologische Betrachtung zur Herstellung von Wasserstoff in Großanlagen." *Chemie Ingenieur Technik* 409-418.
- Office of Energy Efficiency & Renewable Energy. kein Datum. *Hydrogen Production: Photobiological*. Zugriff am 30. 11 2020. <https://www.energy.gov/eere/fuelcells/hydrogen-production-photobiological>.
- . kein Datum. *Hydrogen Production: Photoelectrochemical Water Splitting*. Zugriff am 30. 11 2020. <https://www.energy.gov/eere/fuelcells/hydrogen-production-photoelectrochemical-water-splitting>.
- . kein Datum. *Hydrogen Production: Thermochemical Water Splitting*. Zugriff am 30. 11 2020. <https://www.energy.gov/eere/fuelcells/hydrogen-production-thermochemical-water-splitting>.
- Roeb, Martin, Stefan Brendelberger, Andreas Rosenstiel, Christos Agrafiotis, Nathalie Monnerie, Vishnu Budama, and Nadine Jacobs. 2020. "Wasserstoff als ein Fundament der Energiewende." *Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt*. 9. [https://www.dlr.de/content/de/downloads/publikationen/publikationen/broschueren/2020/wasserstoff-studie-teil-1.pdf?\\_blob=publicationFile&v=3](https://www.dlr.de/content/de/downloads/publikationen/publikationen/broschueren/2020/wasserstoff-studie-teil-1.pdf?_blob=publicationFile&v=3).
- Schäfer-Stradowsky, Simon, and Michael Kalis. 2019. "Die bunte Welt des Wasserstoffs." *EW – Magazin für die Energiewirtschaft* 10-13.
- Shell Deutschland Oil GmbH. 2017. "Shell-Wasserstoffstudie, Energie der Zukunft?" *Shell.de*. Accessed 11 11, 2020. [https://www.shell.de/medien/shell-publikationen/shell-hydrogen-study/\\_jcr\\_content/par/toptasks\\_e705.stream/1497968981764/1086fe80e1b5960848a92310091498ed5c3d8424/shell-wasserstoff-studie-2017.pdf](https://www.shell.de/medien/shell-publikationen/shell-hydrogen-study/_jcr_content/par/toptasks_e705.stream/1497968981764/1086fe80e1b5960848a92310091498ed5c3d8424/shell-wasserstoff-studie-2017.pdf).
- Simon, Kadri. 2020. *Welcome presentation at the 'Innovation for Carbon Neutral Baltic Sea Region' event of the European Union's Strategy for the Baltic Sea Region Annual Forum* (14 10).
2020. "The Northern Netherlands Hydrogen Investment Plan 2020." *New Energy Coalition*. 30 10. Accessed 12 7, 2020. [newenergycoalition.org/custom/uploads/2020/10/investment-plan-hydrogen-northern-netherlands-2020-min.pdf](http://newenergycoalition.org/custom/uploads/2020/10/investment-plan-hydrogen-northern-netherlands-2020-min.pdf).
- Umwelt Bundesamt. 2014. "Marktanalyse Ökostrom." 4. Accessed 11 11, 2020. [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/376/publikationen/texte\\_04\\_2014\\_marktanalyse\\_oeekostrom\\_0.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/376/publikationen/texte_04_2014_marktanalyse_oeekostrom_0.pdf).
- WindEurope . 2018. "World's first offshore wind farm without subsidies to be built in the Netherlands." *WindEurope*. 20 3. <https://windeurope.org/newsroom/press-releases/worlds-first-offshore-wind-farm-without-subsidies-to-be-built-in-the-netherlands/#:~:text=20%20March%202018-,World%27s%20first%20offshore%20wind%20farm%20without%20subsidies%20to%20be%20built,be%20built%20wit>.
- Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie gGmbH; DIW Econ GmbH. 2020. "Bewertung der Vor- und Nachteile von Wasserstoffimporten im Vergleich zur heimischen." *Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie gGmbH*. 3 11. <https://wupperinst.org/fa/redaktion/downloads/projects/LEE-H2-Studie.pdf>.

Zerzawy, Florian, Henning Herbst, Fabian Liss, and Rouven Stubbe. 2020. "UMLLENKEN! Subventionen abbauen, Strukturwandel gestalten, Klima schützen." *Forum Ökologisch-Soziale Marktwirtschaft e.V. (FÖS)*. 10. [https://foes.de/publikationen/2020/2020-07\\_FOES\\_Umlenken\\_FES.pdf](https://foes.de/publikationen/2020/2020-07_FOES_Umlenken_FES.pdf).

**Ansprechpartner\*innen beim IKEM:**

**Anika Nicolaas Ponder**

**Michael Kalis**



**IKEM** – Institut für Klimaschutz,  
Energie und Mobilität e.V.

**Berlin • Greifswald • Stuttgart**

**[www.ikem.de](http://www.ikem.de)**

Magazinstraße 15 – 16  
10179 **Berlin**

**T** +49 (0)30 408 1870 10  
**F** +49 (0)30 408 1870 29

[info@ikem.de](mailto:info@ikem.de)

Domstraße 20a  
17489 **Greifswald**

**T** +49 (0)38 34 420 2100  
**F** +49 (0)38 34 420 2002

[Isrodi@uni-greifswald.de](mailto:Isrodi@uni-greifswald.de)