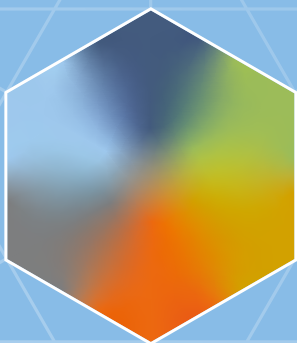


# *Wasserstoff als Energiequelle der Zukunft*

*Grundlagen, Konzepte und  
mögliche Anwendungsbereiche*

*„Ohne den Einsatz von Wasserstoff können wir die Klimaneutralität nicht erreichen.“*  
Prof. Dr. Veronika Grimm, Mitglied des Sachverständigenrats zur Begutachtung der gesamtwirtschaftlichen Entwicklung





*Erkennen  
ist mehr  
als Sehen*



# *Wasserstoff als Energiequelle der Zukunft*

*Grundlagen, Konzepte und  
mögliche Anwendungsbereiche*

*Prof. Dr. Birgit Scheppat*

*David Coleman*

*Matthias Werner*



*„Vor zwei Jahren wurde kaum über Wasserstoff gesprochen. Heute ist das Thema in aller Munde. Zwar wird grüner Wasserstoff nicht allein Klimaneutralität erreichen, aber ohne grünen Wasserstoff wird nichts gelingen.“*

Wolfgang Langhoff, CEO von BP Europa SE  
Langhoff (2021, Wasserstoffgipfel)

*„Klimaneutralität ist ohne Wasserstoff nicht machbar. Wir brauchen ihn vor allem als Speichermedium im Stromsektor und als Rohstoff in der Industrie.“*

Rainer Baake, Direktor der Stiftung Klimaneutralität  
Baake (2021, Klimaneutralität)

*„Wasserstoff ist der ideale Energiespeicher, der zeitgemäße Ersatz für alle fossilen Energieträger wie Erdöl, Benzin, Diesel oder Kerosin.“*

Dr. Matthias May, Universität Ulm, Institut für Theoretische Chemie  
May (2021, Sonnenkönig)

*„Wasserstoff kann (...) durch die Verwendung als Grundstoff weitere Produktionsprozesse in der Industrie dekarbonisieren, für die nach derzeitigem Stand der Technik keine anderen Dekarbonisierungstechnologien zur Verfügung stehen.“*

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie  
BMW (2020, NWS)

*„Wasserstoff ist ein zentrales Element für eine erfolgreiche Transformation der Industrie. Dies birgt neue Chancen für den Industriestandort Deutschland und Europa. Jetzt gilt es, die Maßnahmen der deutschen und europäischen Wasserstoffstrategie mit Tempo umzusetzen und Industriepolitik und Klimaschutz eng zu verzahnen. Der internationale Wettbewerb schläft nicht.“*

Prof. Dr. Siegfried Russwurm, Präsident des BDI e.V.  
Russwurm (2021, Wasserstoffgipfel)

*„Für die Chemieindustrie steht die stoffliche Nutzung von CO<sub>2</sub>-freiem Wasserstoff im Fokus. Die Herstellung via Wasserelektrolyse ist sehr stromintensiv. Wir müssen daher auch andere Verfahren im Blick behalten, damit wir mit der knappen verfügbaren Ressource Strom aus erneuerbaren Quellen möglichst viel CO<sub>2</sub> reduzieren können.“*

Dr. Martin Brudermüller, CEO von BASF SE  
Brudermüller (2021, Wasserstoffgipfel)

Bad Homburg/Wiesbaden, Januar 2022

## Vorwort

Liebe Leserinnen und Leser,

die Weltklimakonferenz COP26 in Glasgow Ende November 2021 hat die enorme Dringlichkeit globaler Dekarbonisierungsstrategien erneut sehr klar zum Ausdruck gebracht. Als globaler Konsens gilt nun, dass *„das aktuelle Jahrzehnt (...) entscheidend (sein wird) für unseren gemeinsamen Weg zur Klimaneutralität und zu einem Wirtschaftssystem (...), das die Grenzen unseres Planeten respektiert.“*<sup>1</sup>

Trotz vielfältiger Bestrebungen ist jedoch noch kein klares Bild erkennbar, wie das zentrale Dilemma globaler Dekarbonisierung aufgelöst werden kann – einerseits hohe Versorgungssicherheit mit bezahlbarer Energie, andererseits massive Reduktion klimaschädlicher Treibhausgas-Emissionen.

Hier rückt das Thema Wasserstoff in den Fokus: Wasserstoff hinterlässt beim Verbrennen praktisch keine Abgase und steht (theoretisch) in nahezu unbegrenzter Menge zur Verfügung. Das macht Wasserstoff zur umweltfreundlichen Alternative zu Kohle, Öl und Erdgas und zum wichtigsten Aspiranten für eine zukunftsfähige Energieversorgung. Wasserstoff eignet sich als Energieträger sowohl für zahlreiche industrielle Anwendungen als auch für die Nutzung in privaten Haushalten. Daneben dient Wasserstoff als effizienter Energiespeicher – etwa für Strom aus Solarzellen oder Windrädern – sowie als Antriebsquelle innovativer Mobilitätslösungen.

In Verbindung mit der Brennstoffzelle wird Wasserstoff künftig ein zentraler Bestandteil eines nachhaltigen, integrierten Energiesystems sein. Für den Aufbau einer zukunftssicheren Wasserstoffwirtschaft sind jedoch noch ernsthafte technische Probleme zu lösen. Insbesondere die kostengünstige Erzeugung von Wasserstoff, die klimaneutrale Bereitstellung der dafür benötigten Elektrizität sowie die effiziente Verteilung des Energieträgers stehen dabei im Fokus.

Die vorliegende Studie, die gemeinsam mit dem Labor für Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie des Fachbereiches Ingenieurwissenschaften an der Hochschule RheinMain erarbeitet wurde, geht diesen Fragen nach und prüft die Anforderungen und Rahmenbedingungen für eine mögliche Wasserstoffwirtschaft der Zukunft. Noch ist die Wasserstofftechnik teuer, aber Klimakrise und Energiewende treiben das Thema an – in Politik, Wirtschaft und zunehmend auch bei Investoren.

Übrigens: Die Idee von Wasserstoff als Energieträger der Zukunft ist keineswegs neu. Schon der französische Schriftsteller und Visionär Jules Verne bezeichnete Wasser als „Kohle der Zukunft“ und schrieb im späten 19. Jahrhundert: *„Die Energie von morgen ist Wasser, das durch elektrischen Strom zerlegt worden ist. Die so zerlegten Elemente des Wassers, Wasserstoff und Sauerstoff, werden auf unabsehbare Zeit hinaus die Energieversorgung der Erde sichern.“*<sup>2</sup>

Wir werden es sehen und wünschen vorerst eine energiegeladene Lektüre!



Dr. Heinz-Werner Rapp  
Gründer & Leiter Steering Board  
FERI Cognitive Finance Institute



Prof. Dr. Birgit Scheppat  
Leiterin Wasserstofftechnologie/  
Energiespeicher  
Hochschule RheinMain



David Coleman  
M. Eng.  
Hochschule RheinMain



Matthias Werner  
B. Sc.  
Hochschule RheinMain

<sup>1</sup> tagesschau (2021, UN-Klimakonferenz).

<sup>2</sup> Verne (1999, Insel).

# Inhalt

Abbildungsverzeichnis .....	1
Tabellenverzeichnis .....	1
Abkürzungsverzeichnis .....	2
.	.
<b>1 Executive Summary .....</b>	<b>3</b>
<b>2 Hintergrund und Rahmenbedingungen .....</b>	<b>6</b>
2.1 Wie Deutschland die Klimaschutzziele erreichen will .....	9
<b>3 Wasserstoffstrategien in Europa und Deutschland .....</b>	<b>15</b>
3.1 European Green Deal .....	15
3.2 Fit for 55 .....	16
3.3 Hydrogen Roadmap Europe .....	17
3.4 Nationale Wasserstoffstrategie .....	20
<b>4 Technologien zur Gewinnung von Wasserstoff .....</b>	<b>23</b>
4.1 Die Herstellungsverfahren von Wasserstoff .....	23
4.2 Abscheidung, Speicherung und Nutzung von Kohlenstoff .....	26
4.3 Die verschiedenen Farben von Wasserstoff .....	27
<b>5 Aufbereitung und Distribution von Wasserstoff .....</b>	<b>30</b>
5.1 Die Aufbereitung von Wasserstoff .....	30
5.2 Die Distribution von Wasserstoff .....	32
<b>6 Anwendungsmöglichkeiten von Wasserstoff .....</b>	<b>35</b>
6.1 Stoffliche Nutzung .....	35
6.2 Energetische Nutzung .....	39
6.2.1 Wasserstoff als Grundlage für klimaneutrale Mobilität .....	42
<b>7 Konzepte für eine integrierte Wasserstoffwirtschaft .....</b>	<b>45</b>
<b>8 Fazit und Ausblick .....</b>	<b>49</b>
8.1 Geopolitische Implikationen .....	50
8.2 Perspektiven für Investoren .....	51
Literaturverzeichnis .....	52
Informationen über die Autoren und den Kooperationspartner .....	56

## Abbildungsverzeichnis

Abb. 1:	Jahremissionsmengen in ausgewählten Sektoren .....	9
Abb. 2:	Energieverbrauch nach Sektoren .....	10
Abb. 3:	In Deutschland produzierte Strommenge 2019 .....	11
Abb. 4:	In Deutschland produzierte Strommenge 2020 .....	11
Abb. 5:	Einordnung verschiedener Energiespeicher nach Entladedauer und Speicherkapazitäten .....	13
Abb. 6:	Der europäische Grüne Deal .....	16
Abb. 7:	Der Wasserstoff-Regenbogen .....	27
Abb. 8:	Erzeugung, Aufbereitung, Distribution und Anwendungsmöglichkeiten von Wasserstoff .....	34
Abb. 9:	Europäischer Verbrauch von Wasserstoff .....	37
Abb. 10:	Schematische Übersicht des Antriebsstranges eines Brennstoffzellenfahrzeugs .....	43
Abb. 11:	Schematische Darstellung eines Wasserstoffmotor-Antriebsstranges .....	44
Abb. 12:	Europäischer Infrastrukturplan (European Hydrogen Backbone) .....	47
Abb. 13:	Positionen der Hydrogen Valleys in Europa .....	48

## Tabellenverzeichnis

Tab. 1:	Maßnahmen der Nationalen Wasserstoffstrategie im Überblick .....	21
Tab. 2:	Wasserstoff-Druckspeicher-Typen .....	31
Tab. 3:	Stoffliche Anwendungen von Wasserstoff .....	35

# 1 Executive Summary

- Um das 1,5-Grad-Ziel von Paris zu erreichen, dürfen in der zweiten Hälfte dieses Jahrhunderts nicht mehr Treibhausgase ausgestoßen werden, als der Atmosphäre durch natürliche Senken entzogen werden. Diese „Treibhausgasneutralität“ kann jedoch nur dann erreicht werden, wenn sich die Weltwirtschaft konsequent nahezu vollständig „dekarbonisiert“.
- In diesem Kontext spielt Wasserstoff eine entscheidende Rolle, da es sich um einen vielfältig einsetzbaren Energieträger handelt, der in Kombination mit Brennstoffzellen u.a. den Verkehr dekarbonisieren und als Basis für synthetische Kraftstoffe genutzt werden kann.
- Wasserstoff kann aber auch die volatile Erzeugung erneuerbarer Energien und deren Verbrauch räumlich und zeitlich bedarfsgerecht voneinander trennen.
- Als Energievektor in andere Sektoren dekarbonisiert Wasserstoff als Grundstoff treibhausgasintensive Produktionsprozesse in der Industrie, für die es bislang keine anderen Dekarbonisierungstechnologien gibt.
- In Europa und Deutschland weisen u.a. Wasserstoffstrategien wie der European Green Deal und die Nationale Wasserstoffstrategie (NWS) den Weg in die Zukunft. So sollen bis 2030 laut NWS in Deutschland erzeugungsseitig 5 GW Elektrolyseleistung installiert und 14 TWh Wasserstoff auf Basis von 20 TWh erneuerbarer Energien produziert werden, ohne eine Konkurrenz zur direkten Grünstromnutzung darzustellen. Für den Zeitraum bis 2035 sind weitere 5 GW Elektrolyseleistung vorgesehen. Mittel- bis langfristig geht die NWS von Importen von Wasserstoff aus.
- Um importierten bzw. inländisch produzierten Wasserstoff zu verteilen, können die Gasnetzinfrastruktur sowie die angeschlossenen Gasspeicher genutzt werden. Darüber hinaus ist es jedoch notwendig, dezidierte Wasserstoffnetze auszubauen und den regulatorischen Rahmen für diese Transformation zu schaffen.
- In puncto Erzeugung von Wasserstoff sind zwei Methoden zu unterscheiden: a.) die regenerative und b.) die konventionelle Wasserstoffherzeugung, wobei Kohlenwasserstoffe (z.B. Methan), Biomasse, Kohle oder auch Strom (Elektrolyse) Verwendung finden. Der größte Teil des weltweit verbrauchten Wasserstoffs wird über die Dampfreformierung von Erdgas (Steam Methane Reforming, SMR) erzeugt.
- Je nach Energieträger, Ausgangsstoff, Prozess oder nachgeschalteter Verfahren wird die Wasserstoffherzeugung in die Farben Grün, Blau, Türkis, Gelb, Orange, Rot und Grau eingeteilt.
- Die Anwendungsmöglichkeiten von Wasserstoff sind vielfältig. Grundsätzlich wird bei der Nutzung zwischen der stofflichen und der energetischen Nutzung unterschieden. Während die stoffliche Nutzung alle Nutzungsformen umfasst, die Wasserstoff als Ausgangs- oder Hilfsstoff verwenden, zielt die energetische Verwendung von Wasserstoff auf die Wandlung der chemisch gebundenen Energie in thermische oder elektrische Energie ab. Die Mineralöl- und Düngemittelindustrie sind die bedeutendsten Verbrauchszweige. Zusammen verbrauchen sie ca. 80 % des in Europa genutzten Wasserstoffs.
- Prinzipiell ist die energetische Verwendung von Wasserstoff überall dort vorstellbar, wo Erdgas, Mineralölprodukte und Kohle als Energieträger Gebrauch finden. Wasserstoff kann in thermisch arbeitenden Wärmekraftmaschinen oder in Wasserstoff-Brennstoffzellen in die End- bzw. Nutzenergien Strom, Wärme und mechanische Energie konvertiert werden. In Verbrennungsmotoren kann Wasserstoff als Gas oder in Form von synthetischen Kraftstoffen verbrannt werden. Verbreiteter ist jedoch das Wasserstoff-Antriebskonzept auf Basis von Brennstoffzellen. Brennstoffzellenfahrzeuge sind als Elektrofahrzeuge anzusehen, da sie von einem Elektromotor angetrieben werden, der Wasserstoff in einem Speicher mitführt und reinen Wasserdampf als Abgas freisetzt.



- Auf internationaler Ebene gibt es bereits zahlreiche Aktivitäten in Form von Wasserstoff-Roadmaps, die darauf abzielen, eine integrierte Wasserstoffwirtschaft zu entwickeln und Industrien zu dekarbonisieren.
- Bereits seit vielen Jahren sind Wasserstoffpipelines im Gebrauch und werden zum energetischen Rückgrat der EU. Der *Hydrogen Backbone* mit einer geplanten Gesamtlänge von 39.700 km im Jahr 2040 soll alle wichtigen Industriezentren in Europa mit den erforderlichen Wasserstoffgasleitungen verbinden.
- 26 EU-Mitgliedstaaten haben sich zu einer *Wasserstoffinitiative* zusammengeschlossen. 14 Mitgliedstaaten haben bereits Wasserstoff in einem nationalen Strategieplan für den Aufbau der Infrastruktur für alternative Kraftstoffe vorgesehen.
- Die *IPCEI-Projekte* (Important Projects of Common European Interest) der EU, die bis Mitte 2022 definiert sein sollen, werden einen wesentlichen Impuls geben, um mit Hilfe von Wasserstoffgroßprojekten die verschiedenen Herausforderungen der zukünftigen Wasserstoffwirtschaft zu lösen.
- Schätzungen der EU gehen von kumulierten Investitionen in erneuerbaren Wasserstoff in Europa von 180 bis 470 Mrd. EUR bis 2050 aus.
- Für Investoren bietet der Wasserstoff-Komplex außergewöhnliche Chancen zur aktiven Partizipation an einer energetischen „Jahrhundert-Transformation“.
- Neben spezialisierten Herstellern von Elektrolyseuren und Brennstoffzellen zählen versierte Anlagenbauer, Unternehmen im Bereich Solarenergie und Windkraft, Betreiber von Gasnetzen oder Tankerflotten, technische Systemintegratoren sowie Anbieter neuartiger Mobilitätskonzepte zu möglichen Profiteuren einer aufkommenden Wasserstoffwirtschaft.
- Auswahl und zeitliche Abfolge entsprechender Anlagethemen sollten jedoch eng an der Entwicklung politischer Rahmenbedingungen ausgerichtet werden. Auch das Risiko temporärer „Hype Cycles“, also einer euphorischen Überschätzung zukünftiger Wachstumsaussichten an den Kapitalmärkten, ist stets mitzuberücksichtigen.

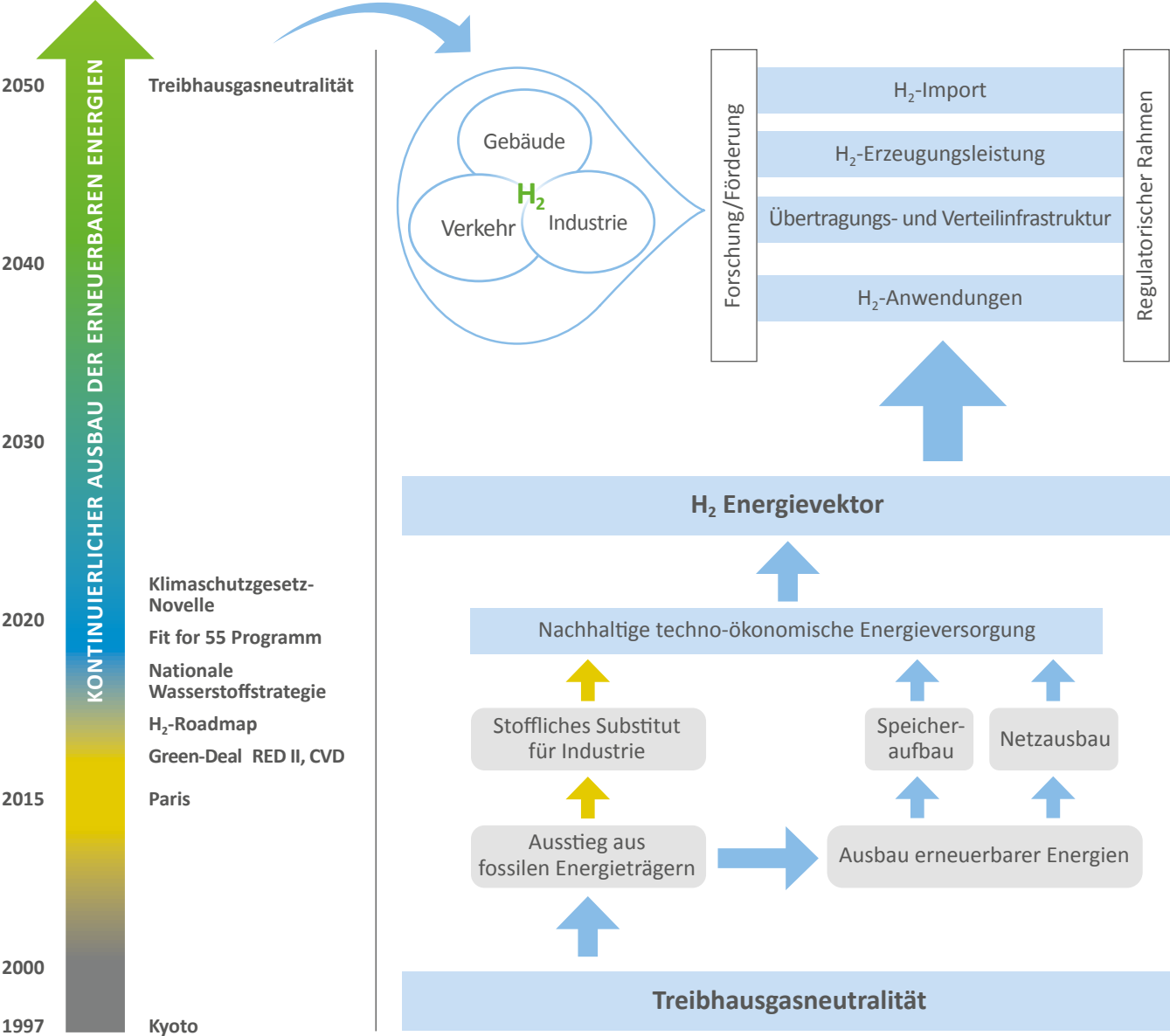


*Wasserstoff ist ein Energiespeicher, der angebotsorientiert und flexibel erneuerbare Energien speichern und einen Beitrag zum Ausgleich von Angebot und Nachfrage leisten kann. Das macht Wasserstoff zu einem wichtigen Baustein der Energiewende.*

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie  
BMWi (2020, NWS)



**COGNITIVE CONCLUSION**  
Wasserstoff als Energiequelle der Zukunft  
Grundlagen, Konzepte und mögliche Anwendungsbereiche



Quelle: Hochschule RheinMain, 2021

## 2 Hintergrund und Rahmenbedingungen

Zu den zentralen Herausforderungen dieses Jahrhunderts zählen der Klimawandel, eine steigende Weltbevölkerung, zunehmende Umweltbelastung durch anthropogene, also von uns Menschen verursachte Schadstoffe, die Endlichkeit sowie die ungleiche Verteilung bzw. Verfügbarkeit fossiler Rohstoffe.

Spätestens die *Fridays-for-Future*-Bewegung rückte den Begriff der Klimakrise und die Notwendigkeit einer nachhaltigen Kreislaufwirtschaft zunehmend in den Fokus der Gesellschaft. Ausgemachtes Ziel ist schnellstmögliche Treibhausgasneutralität.

„Nachhaltigkeit“ bedeutet gemäß der *Weltkommission für Umwelt und Entwicklung*, „den Bedürfnissen der heutigen Generation zu entsprechen, ohne die Möglichkeiten künftiger Generationen zu gefährden, ihre eigenen Bedürfnisse zu befriedigen“.<sup>3</sup>

Die globale, sektorenübergreifende Energieversorgung basiert mit ca. 14.000 Megatonnen (Mt) Öläquivalenten zu 86 %<sup>4</sup> auf **fossilen Energieträgern**, welche es in Zukunft vollständig zu substituieren gilt. Hierfür stehen folgende Möglichkeiten zur Verfügung:

- die sektorenübergreifende Steigerung des Anteils erneuerbarer Energien (EE),
- die Steigerung der Effizienz über die gesamte Energiewandlungskette hin zu einer Kreislaufwirtschaft sowie
- die Substitution begrenzter fossiler Energieträger in der Energieerzeugung durch erneuerbare Energieträger.

Wasserstoff wird in diesem Transformationsprozess eine zentrale Rolle einnehmen.

Der klimapolitische Rahmen wird durch die *Conference of the Parties (COP)* gegeben: 1992 kamen die Staaten der UN zusammen, um in Rio de Janeiro die Klimarahmenkonvention „United Nations Framework Convention on Climate Change“ (UNFCCC) zu unterzeichnen. Ihr Ziel war es, „die Stabilisierung der Treibhausgaskonzentrationen in der Atmosphäre auf einem Niveau zu erreichen, auf dem eine gefährliche anthropogene Störung des Klimasystems verhindert wird. Ein solches Niveau sollte innerhalb eines Zeitraums erreicht werden, der ausreicht, damit sich die Ökosysteme auf natürliche Weise den Klimaänderungen anpassen können, die Nahrungsmittelerzeugung nicht bedroht wird und die wirtschaftliche Entwicklung auf nachhaltige Weise fortgeführt werden kann“.<sup>5</sup>

**Treibhausgase** sind gasförmige Bestandteile der Atmosphäre, die sowohl einen natürlichen als auch menschlichen, also anthropogenen, Ursprung haben. Hierzu zählen Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>), Methan (CH<sub>4</sub>), das als Lachgas bekannte Distickstoffoxid (N<sub>2</sub>O), Schwefelhexafluorid (SF<sub>6</sub>), Stickstofftrifluorid (NF<sub>3</sub>) sowie wasserstoffhaltige Fluorkohlenwasserstoffe (HFKW) und perfluorierte Kohlenwasserstoffe (PFKW) gemäß Anhang V Teil 2 der Europäischen Governance-Verordnung in der jeweils geltenden Fassung.<sup>6</sup>

Als oberstes Gremium des UNFCCC hat sich die COP etabliert. Sie soll in jährlichen Konferenzen, den sogenannten UN-Klimakonferenzen, zusammenkommen, um verbindliche Verpflichtungen zu beschließen. In der dritten Vertragsstaatenkonferenz der Klimarahmenkonvention von 1997 wurde das wohl wichtigste und v.a. verbindliche *Protokoll von Kyoto* formuliert. Die Besonderheit liegt in den erstmals bezifferten Mengen- und Zeitangaben zur Treibhausgasreduktion, um dem anthropogenen Klimawandel entgegenzuwirken. Es wurde von 191 Ländern weltweit, darunter allen europäischen, ratifiziert.

<sup>3</sup> BReg (2021, Nachhaltigkeitsstrategie).

<sup>4</sup> IEA (2020, Global Review).

<sup>5</sup> United Nations (1992, UNFCCC).

<sup>6</sup> BMJV (2021, KSG).

Im Dezember 2015 haben knapp 190 Vertragsparteien, einschließlich aller EU Mitgliedsstaaten, das *Pariser Abkommen* der Konferenz der Vertragsparteien (COP21) als Folgeabkommen des Kyoto-Protokolls unterzeichnet und ratifiziert. Hierin haben sich die Länder auf gemeinsame Ziele geeinigt, die sie mit dem Abkommen erreichen wollen. Die Erderwärmung soll im Vergleich zum vorindustriellen Niveau auf deutlich unter 2 Grad Celsius, idealerweise auf 1,5 Grad begrenzt werden. Diese Obergrenzen sind somit erstmals in einem völkerrechtlichen Vertrag verankert.

Um das 1,5-Grad-Ziel zu erreichen, dürfen in der zweiten Hälfte dieses Jahrhunderts nicht mehr Treibhausgase ausgestoßen werden als der Atmosphäre durch natürliche Senken, also etwa Wälder, entzogen werden. Diese „Treibhausgasneutralität“ kann nur dann erreicht werden, wenn die Weltwirtschaft rasch und konsequent deutlich weniger Kohlenstoff umsetzt, sich also nahezu **vollständig „dekarbonisiert“**.<sup>7</sup>

Ein weiteres Ziel des Vertrags: Die Staaten sollen sich besser an den Klimawandel anpassen und globale Finanzflüsse so gestalten, dass das Klima geschützt wird und die Widerstandsfähigkeit gegen die Folgen des Klimawandels steigt.<sup>8</sup>

Schätzungen der *Internationalen Agentur für Erneuerbare Energien* (IRENA) zufolge müssen zur Erreichung der Ziele des Übereinkommens von Paris etwa 8 % des weltweiten Energieverbrauchs durch Wasserstoff gedeckt werden.<sup>9</sup>

Der Weg dorthin ist noch steinig und der aktuelle Zustand des Klimas alles andere als beruhigend. Im August 2021 fasste die Arbeitsgruppe 1 über naturwissenschaftliche Grundlagen des Weltklimarats der Vereinten Nationen IPCC die Situation mit folgenden Worten drastisch zusammen:

- „Es ist eindeutig, dass der Einfluss des Menschen die Atmosphäre, den Ozean und die Landflächen erwärmt hat. Es haben weitverbreitete und schnelle Veränderungen in der Atmosphäre, dem Ozean, der Kryosphäre und der Biosphäre stattgefunden.“
- Das Ausmaß der jüngsten Veränderungen im gesamten Klimasystem und der gegenwärtige Zustand vieler Aspekte des Klimasystems sind seit vielen Jahrhunderten bis Jahrtausenden beispiellos. Der vom Menschen verursachte Klimawandel wirkt sich bereits auf viele Wetter- und Klimaextreme in allen Regionen der Welt aus. Seit dem Fünften Sachstandsbericht (AR5) gibt es stärkere Belege für beobachtete Veränderungen von Extremen wie Hitzewellen, Starkniederschlägen, Dürren und tropischen Wirbelstürmen sowie insbesondere für deren Zuordnung zum Einfluss des Menschen.



*Der vom Menschen verursachte Klimawandel wirkt sich bereits auf viele Wetter- und Klimaextreme in allen Regionen der Welt aus.*

Deutsche Koordinierungsstelle IPCC  
(2021, Sachstandsbericht)



- Viele Veränderungen im Klimasystem werden in unmittelbarem Zusammenhang mit der zunehmenden globalen Erwärmung größer. Dazu gehören die Zunahme der Häufigkeit und Intensität von Hitzeextremen, marinen Hitzewellen und Starkniederschlägen, landwirtschaftlichen und ökologischen Dürren in einigen Regionen, der Anteil heftiger tropischer Wirbelstürme sowie Rückgänge des arktischen Meereises, von Schneebedeckung und Permafrost.

<sup>7</sup> Vgl. FERI / WWF (2017, Dekarbonisierung).

<sup>8</sup> United Nations (2015, Paris Agreement).

<sup>9</sup> IRENA (2020, Globaler Ausblick).

- Fortschreitende globale Erwärmung wird laut Projektionen den globalen Wasserkreislauf weiter intensivieren, einschließlich seiner Variabilität, sowie der globalen Monsunniederschläge und der Heftigkeit von Niederschlags- und Trockenheitsereignissen.
- Die globale Oberflächentemperatur wird bei allen betrachteten Emissionsszenarien bis mindestens Mitte des Jahrhunderts weiter ansteigen. Eine globale Erwärmung von 1,5°C und 2°C wird im Laufe des 21. Jahrhunderts überschritten werden, es sei denn, **es erfolgen in den kommenden Jahrzehnten drastische Reduktionen der CO<sub>2</sub>- und anderer Treibhausgasemissionen.**<sup>10</sup>

Unter dem Begriff der **Energiewende** sind allgemein Maßnahmen subsummiert, die den Anteil der erneuerbaren Energien an der Energieversorgung in allen Sektoren sowie die Effizienz in der Energienutzung erhöhen sollen.

Der wesentliche Anteil anthropogener Treibhausgasemissionen geht auf die Gewinnung sowie energetische und stoffliche Nutzung fossiler Energieträger zurück. Natürlich vorkommende Energieträger – fossile als auch erneuerbare Energien – sind erdgeschichtlich bedingt global ungleich verteilt. Der Export fossiler Energieträger stellt v.a. für Entwicklungsländer einen wesentlichen Wirtschaftsfaktor dar. Industrienationen sind hingegen vom Import abhängig, weisen allerdings einen höheren personenspezifischen Energiebedarf als Entwicklungsländer auf.

Das zentrale Problem des über die letzten Jahrhunderte entwickelten Energiesystems liegt in der Nutzung fast aus-

schließlich fossiler Energieträger. Die Verbrennung dieser über Jahrmillionen akkumulierter Biomasse in thermischen Kraftwerken birgt zwei zentrale Herausforderungen:

- Die Freisetzung des Treibhausgases CO<sub>2</sub> und weiterer Schadstoffe wie beispielsweise Stickoxide verursacht einen menschengemachten Treibhauseffekt. Verglichen mit der Millionen Jahre dauernden Entstehung natürlicher Kohlenwasserstoffe erfolgt die Freisetzung des Treibhausgases jedoch schlagartig.
- Die Nachfrage nach fossilen Energieträgern würde in absehbarer Zeit das Angebot übersteigen, was unter Aufrechterhaltung des Status quo zwangsläufig zu einer Erschöpfung der Ressource führen würde.

Neben den fossilen Primärenergieträgern (Kohle, Mineralöl und Erdgas) wird ein global zunehmender Teil des Strombedarfs durch Kernkraftwerke gedeckt. Trotz kontrovers geführter Diskussionen decken weltweit ca. 440 Reaktorblöcke etwa 10 % des Strombedarfs.<sup>11</sup>

Diese Rahmenbedingungen vor Augen, hat sich in Deutschland und Europa die sogenannte **Energiewende** etabliert.

“  
*Wasserstoff ist in der Energiewende das Bindeglied für eine CO<sub>2</sub>-neutrale Mobilität und Industrie. Wer das Klima schützen will und Energiewende sagt, der meint Wasserstoff.*

Dr. Andreas Opfermann,  
Executive Vice President Americas von Linde plc  
Opfermann (2021, Wasserstoffgipfel)

<sup>10</sup> Deutsche Koordinierungsstelle IPCC (2021, Sachstandsbericht); Hervorhebung im Original.

<sup>11</sup> statista (2021, Stromerzeugung).

## 8 Fazit und Ausblick

Angesichts der steigenden Umweltprobleme durch das sich ändernde Klima ist es unbestritten, dass umgehend gehandelt werden muss. Die als „entscheidend“ eingeschätzte Weltklimakonferenz COP 26 Ende 2021 in Glasgow hat die enorme Dringlichkeit globaler Dekarbonisierungsstrategien nochmals sehr klar zum Ausdruck gebracht. Einer der sinnvollsten und langfristig erfolgversprechendsten Ansätze liegt im intelligenten, schnellen und entschlossenen Aufbau einer **global integrierten Wasserstoffwirtschaft**.

Glücklicherweise ist das Thema Wasserstoff inzwischen in der Gesellschaft angekommen. Sowohl in der Politik, der Industrie als auch der Gesellschaft besteht Einigkeit darüber, dass mit Wasserstoff über alle Sektoren hinweg eine der wenigen Möglichkeiten besteht, auch unter dem Primat hoher Versorgungssicherheit die Klimaziele zu erreichen und den kritischen Temperaturanstieg von 1,5°C nicht zu überschreiten.

Vergleicht man die unterschiedlichen Roadmaps in Europa und in Deutschland fällt auf, dass es noch unterschiedliche Ansätze gibt, um die genannten Ziele zu erreichen. Für Deutschland bietet die *Nationale Wasserstoffstrategie* zusammen mit dem *Nationalen Wasserstoffrat* einen Aktionsplan zur Orientierung.

Noch sind der Weg in eine Wasserstoffwirtschaft und der Markthochlauf nicht komplett definiert, aber anhand des Aktionsplans sind die nächsten Schritte erkennbar und können von den beteiligten Akteuren im Markt angegangen werden. Das ist wichtig festzustellen, weil die Markteintrittshindernisse bis dato unbekannt sind, die volkswirtschaftliche Bewertung der verschiedenen Aktionen nicht erfolgen konnte und auch im europäischen Kontext viele Fragen zum Markthochlauf offen sind.

So müssen u.a. die Komponenten für den Aufbau der Wasserstoffherzeugung möglichst als Serienprodukte zur Verfügung stehen, um die notwendigen Kostenreduktionen der Inven-

**KURZVERSION –  
die komplette Studie ist erhältlich unter  
info@feri-institut.de**

tionskosten wahr werden zu lassen. Dies gilt insbesondere für die Elektrolyseure. Erfreulicherweise werden sowohl in Europa als auch in Asien diese Fertigungskapazitäten aufgebaut. Dabei darf nicht unerwähnt bleiben, dass auch die Betriebskosten der Anlagen noch deutlich reduziert werden müssen. Hier ist insbesondere der Preis für den „grünen“ Strom drastisch zu reduzieren, sind es doch genau diese Betriebskosten, die grünen Wasserstoff heute unattraktiv machen.

Eine Reihe anderer Probleme ist ebenfalls noch ungelöst. Dazu gehört u.a. der Aufbau der Infrastruktur zur Erzeugung von großen Mengen an grünem Wasserstoff. Dies wird sicherlich bis nach 2025 dauern. Entscheidend dafür ist in jedem Fall ein ausreichendes und hinreichend stabiles Angebot an klimaneutraler Elektrizität, das auch stark zunehmender Nachfrage (sowohl nach Strom als auch Wasserstoff) standhalten kann. Hier gilt es, zum einen Rahmenbedingungen zu schaffen, die den Aufbau von Solar- und Windanlagen sowie einen Betrieb zu vernünftigen ökonomischen Bedingungen langfristig erlauben und zum anderen Anreize zu setzen, diese in das Gesamtsystem eines erneuerten intelligenten Strom- und Gasnetzes einzubinden.<sup>122</sup>

Erfreulicherweise sieht man, dass Lieferanten der wesentlichsten Komponenten – der Elektrolyseure – ihre Fertigungskapazitäten stetig ausbauen, was zu niedrigeren Preisen pro Kilowatt installierter Elektrolyseleistung führen wird. Die Windparks auf dem Meer, die den größten Anteil an grünem Wasserstoff liefern werden, sind in der Projektierungsphase oder bereits im Aufbau.

Dabei sollte nicht verhehlt werden, dass Deutschland weiterhin einen erheblichen Teil dieser grünen Energie importieren wird. Das liegt zum einen an den fehlenden Möglichkeiten, die notwendigen Erzeugungsanlagen in Deutschland aus Platzgründen bzw. infolge ungünstiger klimatischer Bedingungen aufzubauen, zum anderen aber auch daran, dass die Kosten für diesen Aufbau in und außerhalb von Europa deutlich geringer ausfallen. 2 Mrd. EUR stellt Deutschland daher in der Stiftung *H<sub>2</sub>Global* zur Verfügung, um für einen außer-europäischen Raum solche Infrastrukturen aufzubauen.

<sup>122</sup> Länder wie Frankreich gehen hier jedoch erkennbar einen anderen Weg: In seinem neuen Zukunftsplan setzt das Land strategisch auf einen weiteren Ausbau der Kernenergie; vgl. Handelsblatt (2021, Mini-Kernkraftwerke).

Eine weitere zu schließende Lücke für eine zukünftige Wasserstoffwirtschaft ist die Verteilung des Wasserstoffs. Welche Distributionspfade sind ökologisch und ökonomisch am geeignetsten? Vieles spricht für den Aufbau eines europäischen Wasserstoffpipelinesystems; auch für regionale Verteilungen wäre ein solches System sinnvoller als Trailer, egal ob mit flüssigem oder gasförmigem Wasserstoff. Gleichzeitig ist darauf zu achten, dass der Hochlauf der Infrastruktur vom entsprechenden Hochlauf von Wasserstoffverbrauchern begleitet wird – sei es in der Industrie, im Verkehr oder in Gebäuden. Eine nicht genutzte Infrastruktur wäre ein finanzieller, wirtschaftlicher und ökologischer Rückschlag für die Technologie und für die Klimaanstrengungen.

Daher sollte darauf hingearbeitet werden, mindestens für eine Übergangszeit von zehn Jahren alle heute vorhandenen Wasserstoffquellen zu nutzen und auch Wasserstoff aus Erdgas oder Pyrolyse mit anschließender Verwertung des Kohlenstoffs zu erlauben. Insbesondere die politischen Funktionsträger wollen ausschließlich grünen Wasserstoff. Dies ist jedoch in der Übergangszeit ein Hindernis, um alle notwendigen Teile einer zukünftigen Wasserstoffwirtschaft aufzubauen.

So sind Verwertungsmöglichkeiten für die anfallenden Mengen von Sauerstoff und Wärme bei der Elektrolyse zu finden. Das würde eine deutliche Erhöhung des Gesamtwirkungsgrades der Elektrolyseanlagen ermöglichen.

Für viele technische Anwendungen wird Wasserstoff eine Lösung sein. Große Hoffnungen werden insbesondere in die Defossilisierung des Schwerlastverkehrs mittels Wasserstoff gesetzt. In diesem Technologiefeld kann Wasserstoff seine Vorteile bzgl. Reichweite, kurzer Betankungszeit und eine nicht eingeschränkte Nutzlast wie bei rein batterieelektrischen Fahrzeugen nutzen. Im Flugverkehr und dem maritimen Bereich sind möglicherweise für eine längere Übergangszeit synthetische Kraftstoffe die erste Wahl. Hier gehen die Meinungen der Experten innerhalb der verschiedenen Technologiefelder noch weit auseinander. Erste mit Wasserstoff betriebene Flugzeuge sollen 2025 zum Einsatz kommen, erste Schiffe 2027 oder danach. Hier sind erste Prototypen bereits in der Umsetzung. Einschlägige Ausschreibungen bei der Europäischen Kommission lassen hier zukünftig einige interessante Ergebnisse erwarten.

Gelingt es, in Deutschland und in Europa die Rahmenbedingungen für den Markthochlauf einer Wasserstoffwirtschaft aufzubauen, dann werden nicht nur die Klimaziele erreicht, sondern es werden auch die in heutigen Industrien (z.B. Automobilindustrie) wegfallenden Arbeitsplätze durch Arbeitsplätze in den genannten Feldern ersetzt. Ein technischer und sozialer Umbau der in die Jahre gekommenen deutschen Industrie ist dadurch möglich. Neue Fertigungsverfahren bei Stahl, Düngemittel usw. werden helfen, die Industrie in großem Maße zu dekarbonisieren und das ohne den Verlust von Produktivität oder Arbeitsplätzen. Es wird nicht billig und erfordert sichtlich noch erhebliche Anstrengungen, aber es ist die Chance für eine umweltgerechte Industrie, einen emissionsfreien Verkehr und eine treibhausgasfreie Gebäudenutzung.

## 8.1 Geopolitische Implikationen

Zentrale Determinante für den Aufbau einer effizienten Wasserstoffwirtschaft ist eine leistungsfähige und belastbare **Grundversorgung mit klimaneutraler Elektrizität**. Da Länder wie Deutschland weder räumlich noch klimatisch in der Lage sein werden, die erforderlichen Strommengen vollständig aus heimischen regenerativen Energiequellen zu decken, stellt sich sehr schnell die Frage nach Alternativen. Grundsätzlich verfügen viele Länder in Nordafrika oder dem Mittleren Osten über sehr günstige Voraussetzungen, um dort (auch in großindustriellem Maßstab) Elektrizität aus Wind- oder Solarenergie zu gewinnen. Integrierte Solar-/Wasserstoffanlagen könnten dort ebenfalls mit hohem Wirkungsgrad errichtet werden. Der Transport des dort erzeugten grünen Wasserstoffs in Länder mit hoher Nachfrage wäre dann entweder über Tankerflotten oder über vorhandene Pipeline-Netze denkbar. Soweit zumindest die Theorie.

Das Hauptproblem dieser Konstellation liegt aus europäischer Sicht darin, dass eine jahrzehntelange Abhängigkeit von eher instabilen Ländern und Weltregionen (zuletzt bei Öl) mit Blick auf grünen Wasserstoff erneut durch eine solche **geopolitische Abhängigkeit** ersetzt werden könnte. Aus Sicht der potentiellen Produzentenländer bietet grüner Wasserstoff jedoch eine hervorragende **Entwicklungsperspektive**, um die eigene Wirtschaft zu transformieren und auch in Zeiten sinkender Nachfrage nach Öl und Gas stabile Einnahmen generieren zu können. Ob und wie stark diese geopolitische Implikation die strategische Wasserstoff-Perspektive für Europa zukünftig einschränken oder sogar fördern wird, bleibt vorerst noch abzuwarten.



Schon heute zeichnet sich allerdings ab, dass andere Regionen der Welt (darunter die USA, Australien und Länder des Mittleren Ostens) grundsätzlich über bessere und/oder stabilere Möglichkeiten verfügen, eine „grüne“ Wasserstoffwirtschaft zu errichten. Ob diese **alternativen Potentiale** jedoch zielgerichtet und auch im Sinne des Klimaschutzes genutzt werden, ist eine völlig andere Frage.

- Folglich könnte, ähnlich wie beim „Kampf ums Öl“, zukünftig ein **globaler Verteilungswettkampf um „grüne Energie“** einsetzen – diesmal jedoch fokussiert auf die Frage nach dem direktesten und effizientesten Zugang zu grünem Wasserstoff.

## 8.2 Perspektiven für Investoren

Wasserstoff und sein Versprechen einer klimaneutralen, leicht verfügbaren und breit einsetzbaren „grünen Energie“ ist mit einiger Sicherheit eines der **spannendsten Themen**, das sich Investoren an den Kapitalmärkten in den kommenden Jahren präsentieren wird. Das Gesamtbild ist jedoch vorerst relativ komplex, nicht zuletzt infolge anspruchsvoller technischer Rahmenbedingungen, vielfältiger politischer Einflussfaktoren sowie zahlreicher derzeit noch ungeklärter Fragen. Dennoch steht fest:

- Aufgrund des durch den Klimawandel stark steigenden Drucks zur globalen Dekarbonisierung sowie des (nach Überwindung bestimmter Marktbarrieren) vorhersehbar starken Wachstums bietet der „Wasserstoff-Komplex“ für Investoren außergewöhnliche Chancen zur aktiven Partizipation an einer **energetischen „Jahrhundert-Transformation“**.

Der mit hohem Zeitdruck ablaufende Umbau großer Teile der Weltwirtschaft in eine weitgehend klimaneutrale Infrastruktur erfordert anhaltende Anstrengungen, hohe unternehmerische Risiken, große technologische Fortschritte und nicht zuletzt massive Investitionen auf vielen Ebenen. Diese ungewöhnlich dynamische Konstellation erzeugt perspektivisch – und nahezu zwangsläufig – eine **Vielzahl attraktiver Investmentthemen**:

- Neben spezialisierten Herstellern von Elektrolyseuren und Brennstoffzellen zählen versierte Anlagenbauer, Unternehmen im Bereich Solarenergie und Windkraft, Betreiber von Gasnetzen oder Tankerflotten, technische Systemintegratoren sowie Anbieter neuartiger Mobilitätskonzepte zu möglichen Profiteuren einer aufkommenden „Wasserstoffwirtschaft“.

Auswahl und zeitliche Abfolge entsprechender Anlagethemen sollten jedoch stets sehr eng an der Entwicklung politischer Rahmenbedingungen ausgerichtet werden. Auch das Risiko temporärer „Hype Cycles“, also euphorischer Überschätzung zukünftiger Wachstumsaussichten an den Kapitalmärkten, ist stets mitzuberücksichtigen. Gleichzeitig stellt sich für Investoren bei jeder großen technologischen Umwälzung nicht nur die Frage nach den potentiellen Gewinnern, sondern (ebenso dringend) nach den möglichen Verlierern (die möglichst nicht im Portfolio enthalten sein sollten).

Insgesamt bietet der „Wasserstoff-Komplex“ für strategische Investoren eine **Vielzahl von Ansatzpunkten**, sich gezielt auseinanderzusetzen und zukünftige Chancen und Risiken auf Basis fundierter Einschätzungen abzuwägen. Die vorliegende Studie soll dazu, neben dem Ziel einer wissenschaftsanalytischen Informationsvermittlung und -verdichtung, einen kleinen Beitrag leisten.



## Informationen über die Autoren und den Kooperationspartner

### Prof. Dr. Birgit Scheppat

Nach dem Studium der Physik an der *Universität Kaiserslautern* und begonnener Promotion, wechselte Frau Scheppat 1987 in die Industrie in den Bereich Dünnschichtphotovoltaik, baute 1989 ein Labor für die Vermessung von Solarzellen auf und beendete ihre Promotion zum Thema „Diamandähnliche Kohlenstoffschichten“. Es folgten diverse Aufgaben im Bereich der Photovoltaik. Dazu gehörte auch die Projektleitung der Solaranlage des ersten Solarwasserstoffprojektes in Neunburg vorm Wald, Bayern. Nach der Ausgründung eines Start-Ups im Bereich Verkehrüberwachungsdetektoren und mehrerer Finanzierungsrunden, wechselte Frau Scheppat zur Firma *W.L. Gore und Associates* in den Bereich New Product Development. Dort entwickelte sie verschiedene neue Produkte und erhielt im Jahr 2000 den *Avantex Award Innovation*. Im gleichen Jahr erhielt Frau Scheppat einen Ruf an die *Hochschule RheinMain* (ehemals Fachhochschule Wiesbaden) in den Bereich Erneuerbare Energie und baute die Teilgebiete Wasserstofferzeugung, -speicherung sowie -nutzung in Brennstoffzellensystemen aus. 2015 leitete sie die wissenschaftliche Begleitung des Projektes *Energiepark Mainz*, der weltweit ersten 6 MW Elektrolyse mittels Strom aus Windenergie. Seither ist sie mit verschiedensten Themen zu Wasserstoff beschäftigt, wobei der Schwerpunkt zunehmend auf dem Thema Speicherung und Distribution liegt. Frau Scheppat ist Gründungsmitglied der hessischen *Wasserstoff und Brennstoffzellen Initiative* (H2BZ) und seitdem im Vorstand. Sie ist ebenfalls Präsidiumsmitglied im *Deutschen Wasserstoff Verband* (DWV).

### David Coleman

David Coleman hat Umweltwissenschaften (B.Sc) sowie Umweltmanagement und Stadtplanung in Ballungsräumen (M.Eng) an der *Hochschule RheinMain* studiert und ist seit der Masterthesis über den Gesamtwirkungsgrad von Wind-Wasserstoffelektrolysen (2014) im *Labor für Wasserstofftechnologie* als wissenschaftlicher Mitarbeiter angestellt. In seinem Forschungsprojekt *rHyn-main* befasst er sich mit der Wasserstoff- und Brennstoffzellen-Technologiediffusion ausgehend vom öffentlichen Personennahverkehr im Rhein-Main Gebiet. Seit 2017 ist er zunächst als Projektingenieur emissionsfreier ÖPNV und später in der Leitung Innovative Projekte bei der *ESWE Verkehrsgesellschaft mbH* in Wiesbaden angestellt, wo er maßgeblich die Beschaffung von 120 Batteriebussen und Ladeinfrastruktur sowie 10 Brennstoffzellenbussen inkl. einer H<sub>2</sub>-Tankstelle projektiert hat.

### Matthias Werner

Matthias Werner ist wissenschaftlicher Mitarbeiter im Bereich Projektinitiierung, -entwicklung und Auftragsforschung im *Labor für Wasserstofftechnologie* der *Hochschule RheinMain*. Nach einem Studium der angewandten Physik an der *Hochschule RheinMain*, welches er 2013 mit dem Bachelor of Science mit dem Thema „Vermessung und Simulation von wasserstoffspeichernden Metallhydriden“ abgeschlossen hat. Seine Mitarbeit umfasste die Initiierung von verschiedenen Projekten wie *Clever Electric City*, welche das Ziel hat, mehrere hundert elektrische Ladesäulen in Rüsselsheim zu errichten, oder *cleanEngine*. Hier sollen Komponenten von Brennstoffzellensystemen untersucht werden. Herr Werner ist derzeit Mitglied einer Arbeitsgruppe des DVGW (*Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e.V.*), die sich mit dem Regelwerk um Wasserstoffbefüllanlagen beschäftigt.

### Labor für Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie

Seit mittlerweile 40 Jahren wird an der *Hochschule RheinMain* zum Thema Wasserstoff und Brennstoffzellen innerhalb des *Labors für Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie* geforscht. Dabei hat sich bereits frühzeitig die Überzeugung herauskristallisiert, dass Wasserstoff (H<sub>2</sub>) als integraler Bestandteil der Energie- und Mobilitätswende notwendig ist, um die national und international gesteckten Klimaziele zu erreichen sowie den Hochtechnologiestandort Deutschland in einer Post-Verbrennungskraftmaschinen-Ära zu sichern. Das H<sub>2</sub>-Labor zeichnet sich durch angewandte Grundlagenforschung sowie praxisnahe Forschung entlang der gesamten H<sub>2</sub>-Wertschöpfungskette von der Erzeugung über die Aufbereitung und Distribution bis hin zur Nutzung in stationären sowie hauptsächlich mobilen Brennstoffzellenanwendungen aus. Dabei erstreckt sich das Projektportfolio von Standortanalysen zur Wasserstoffsourcen- und -quellen-Ermittlung, über die Simulation von Vorgängen in Brennstoffzellenstacks bis hin zu praktischen Tests an Brennstoffzellensystemen und der Systemintegration in batterieelektrische Fahrzeuge. Es bildet somit die Schnittstelle zwischen angewandter Forschung und Entwicklung auf der einen und Lehre bzw. Wissenstransfer in die Breite auf der anderen Seite.

### Über die Hochschule RheinMain

Über 70 Studienangebote an zwei Studienorten im RheinMain-Gebiet – das ist die *Hochschule RheinMain*. Rund 13.500 Studierende studieren in den Fachbereichen Architektur und Bauingenieurwesen, Design Informatik Medien, Sozialwesen und Wiesbaden Business School in der Landeshauptstadt Wiesbaden sowie im Fachbereich Ingenieurwissenschaften in Rüsselsheim am Main. Die *Hochschule RheinMain* ist anerkannt für ihre berufsqualifizierende Lehre sowie für ihre anwendungsbezogene Forschung. Diese zeigt sich besonders in den drei profilbildenden Forschungsschwerpunkten zu den Themen „Engineering 4.0“, „Smarte Systeme für Mensch und Technik“ sowie „Professionalität sozialer Arbeit“. Seit 2017 besitzt die *Hochschule RheinMain* das Promotionsrecht für die Fachrichtungen Soziale Arbeit und Angewandte Informatik, seit 2020 das Promotionsrecht für die Fachrichtung Mobilität und Logistik. Gemeinsam mit der *Goethe-Universität Frankfurt am Main* werden zudem zwei Doktorandenkollegs betrieben. Die *Hochschule RheinMain* ist eine weltoffene, durch viele internationale Kontakte gekennzeichnete Hochschule mit Partnerhochschulen auf allen Kontinenten, darunter 80 europäische Partnerhochschulen.

[www.hs-rm.de](http://www.hs-rm.de)

# Bisherige Publikationen im FERI Cognitive Finance Institute:

## Studien:



1. Carbon Bubble und Dekarbonisierung (2017)
2. Overt Monetary Finance (OMF) (2017)
3. Die Rückkehr des Populismus (2017)
4. KI-Revolution in der Asset & Wealth Management Branche (2017)
5. Zukunftsrisiko „Euro Break Up“ (2018)
6. Die Transformation zu einer kohlenstoffarmen Wirtschaft, (2018)
7. Wird China zur Hightech-Supermacht? (2018)
8. Zukunftsrisiko „Euro Break Up“, 2. aktualisierte und erweiterte Auflage (2018)
9. Risikofaktor USA (2018)
10. Impact Investing: Konzept, Spannungsfelder und Zukunftsperspektiven (2019)
11. „Modern Monetary Theory“ und „OMF“ (2019)
12. Alternative Mobilität (2019)
13. Digitalisierung – Demographie – Disparität (2020)
14. „The Great Divide“ (2020)
15. Zukunftstrend „Alternative Food“ (2020)
16. Digitalisierung – Demographie – Disparität, 2. aktualisierte und erweiterte Auflage (2020)
17. „The Great Progression“ (2021)
18. „Blockchain und Tokenisierung“ (2021)
19. „The Monetary Supercycle“ (2021)
20. Wasserstoff als Energiequelle der Zukunft (2022)

## Cognitive Comments:



1. Network Based Financial Markets Analysis (2017)
2. Zwischen Populismus und Geopolitik (2017)
3. „Neue Weltordnung 2.0“ (2017)
4. Kryptowährung, Cybermoney, Blockchain (2018)
5. Dekarbonisierungsstrategien für Investoren (2018)
6. Innovation in blockchain-based business models and applications in the enterprise environment (2018)
7. Künstliche Intelligenz, Quanten-Computer und Internet of Things – Die kommende Disruption der Digitalisierung (2019)
8. Quantencomputer, Internet of Things und superschnelle Kommunikationsnetze (2019)
9. Was bedeutet die CoViD19-Krise für die Zukunft? (2020)
10. Trouble Spot Taiwan – ein gefährlich unterschätztes Problem (2021)
11. Urban Air Mobility – Flugdrohnen als Transportmittel der Zukunft (2021)

## Cognitive Briefings:



1. Ressourcenverbrauch der Digital-Ökonomie (April 2020)
2. Globale Bifurkation oder „New Cold War“? (Mai 2020)
3. Digitaler Euro: Das Wettrennen zwischen Europäischer Zentralbank und Libra\* Association (Dezember 2020)
4. Herausforderung „Deep Fake“ (Dezember 2021)



## Erkennen ist mehr als Sehen

*Erkenntnisgewinn beruht auf Vernetzung. Wir bringen hochkarätige Experten zusammen und analysieren systemrelevante Themenstellungen.*

*Das FERI Cognitive Finance Institute versteht sich als kreativer Think Tank und beantwortet wirtschaftliche und strategische Fragestellungen.*

**Vorausschauend. Innovativ. Strategisch.**

*Erfahren Sie mehr auf unserer Webseite [www.feri-institut.de](http://www.feri-institut.de)*



Erkenntnisse der Cognitive Finance  
ISSN 2567-4927

FERI AG | FERI Cognitive Finance Institute  
Das strategische Forschungszentrum der FERI Gruppe  
Haus am Park  
Rathausplatz 8 – 10  
61348 Bad Homburg v.d.H.  
T +49 (0)6172 916-3631  
technik@feri-institut.de  
www.feri-institut.de



Hochschule **RheinMain**

Hochschule RheinMain  
Labor für Wasserstoff- und  
Brennstoffzellentechnologie  
Am Brückweg 26  
65428 Rüsselsheim  
www.hs-rm.de