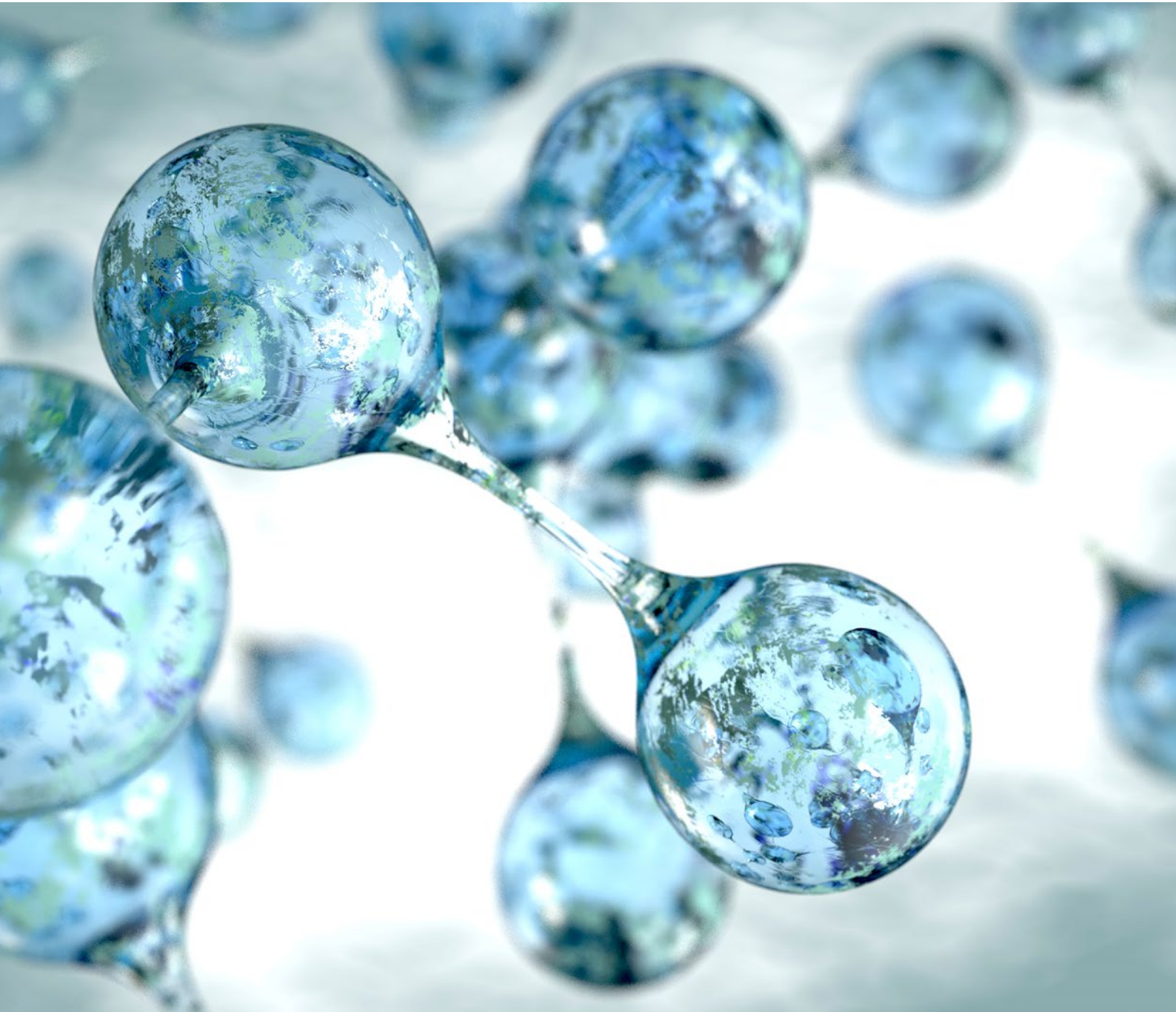


WASSERSTOFF UND ERNEUERBARE ENERGIEN –
DER SCHLÜSSEL ZUR EMISSIONSNEUTRALITÄT?



Kurzfassung

Wasserstoff avanciert zum Hoffnungsträger der im Kampf gegen den Klimawandel nach Emissionsneutralität strebenden Volkswirtschaften. Die technologischen Voraussetzungen, die Emissionen schwer zu elektrifizierender Sektoren zu vermeiden sowie die Speicherung fluktuierender erneuerbarer Stromproduktion zu ermöglichen, sind gegeben. Doch die Wirtschaftlichkeit entsprechender Anwendungen und dafür benötigter Investitionen steht noch im Zentrum der Debatte. Um auf globaler Ebene wirksamen Klimaschutz zu betreiben, ist es unabdingbar die Kosteneffizienz in den Mittelpunkt zu rücken, da das Streben nach Wohlstand den weltweiten Energiehunger dynamisch steigen lässt.

In diesem Paper werden daher zum einen die Synergien und die technologischen Vorteile von Wasserstoff herausgestellt. Zum anderen wird unter realen Bedingungen die Wirtschaftlichkeit grünen Wasserstoffs im Vergleich zu den fossilen Alternativen untersucht. Ziel ist es dabei die Hürden im bestehenden Umfeld zu identifizieren und gezielte Handlungsoptionen zu entwickeln, wie diese überwunden werden können.

Analog zur Entwicklung im Sektor der Erneuerbaren Energiegewinnung bedarf es zusätzlicher Anreize den Weg von der Technologiereife hin zur Marktreife und Wettbewerbsfähigkeit zu bestreiten.

Während der hohe Energiebedarf der Wasserstoffproduktion und der damit erforderliche Ausbau Erneuerbarer Energien im Mittelpunkt stehen, ergeben sich in Abhängigkeit des Strompreises schwer zu überwindende Zielkonflikte. So schaffen hohe Strompreise Anreize regenerative Erzeugungskapazitäten auszubauen, limitieren jedoch gleichzeitig die Wirtschaftlichkeit der zum Ausgleich der fluktuierenden Erzeugung ebenso benötigten Produktion grünen Wasserstoffs.

Es bestehen jedoch Möglichkeiten über technologischen Fortschritt und die Nutzung von Skaleneffekten eine Basis zu schaffen. Die im Folgenden dargestellten Szenarien zeigen die aktuelle Situation auf und betrachten ausgehend von sich ändernden Rahmenbedingungen die möglichen Entwicklungen.

Die Erreichung der Wettbewerbsfähigkeit grünen Wasserstoffs kann einen Wendepunkt markieren, die Energiewende zunehmend mit der Realität in Einklang zu bringen. Ausgehend von Aquila Capitals Expertise in Erneuerbaren Energien und den Energiemärkten erhalten sie einen umfassenden und insbesondere realitätsbasierten Einblick und Ausblick auf die Entwicklung einer europäischen Wasserstoffwirtschaft.

Autor:



Peter Schnellhammer
Investment Research Analyst
peter.schnellhammer@aquila-capital.com

Peter Schnellhammer ist Investment Research Analyst bei Aquila Capital. Er verfügt über mehr als 6 Jahre Erfahrung in den Bereichen Strategic Research und Alternative Investments. Bevor er 2019 zu Aquila Capital kam, konzentrierte er sich auf makroökonomisches Research von Immobilienmärkten. Peter Schnellhammer hat einen Master-Abschluss in Volkswirtschaftslehre von der Universität Rostock.

INHALT

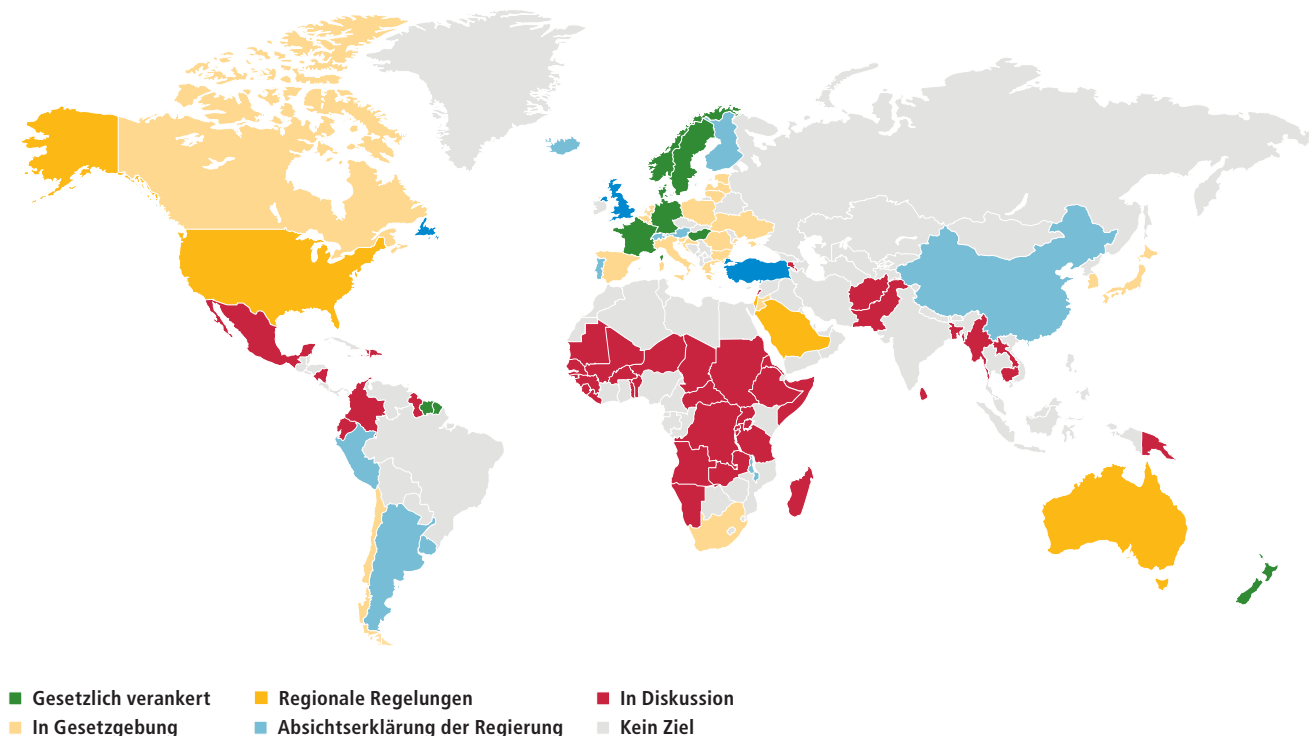
1. Wasserstoff – Der fehlende Baustein auf dem Weg zur Emissionsneutralität?	S. 3	4.1 Ausgangsszenario	S. 9
2. Erneuerbare Energien – Grundpfeiler der Energiewende	S. 6	4.2 Veränderung der Rahmenbedingungen	S. 10
3. Technologische Reife der Wasserstoffproduktion	S. 8	4.3 Ausblick	S. 14
4. Grüner Wasserstoff – Utopie oder die Zukunft eine Szenarioanalyse	S. 9	a) Ausgangsszenario in 2030	
		b) Wasserstoffproduktion Spanien 2030	
		5. Fazit	S. 16

1. Wasserstoff – Der fehlende Baustein auf dem Weg zur Emissionsneutralität?

Mit der fortschreitenden Erderwärmung rücken klimapolitische Aspekte in den Fokus globaler Debatten. Regulierungen sowie Zielsetzungen steigen seit dem Pariser Abkommen, doch die tatsächliche Realisierung scheint noch in weiter Ferne. Während zunehmend Länder die Emissionsneutralität zum Ziel erklären, sind auf diesem

Weg noch zahlreiche Hürden zu überwinden. Die technischen Voraussetzungen sind vorhanden, doch die Technologiereife entspricht nicht dem Stadium der Marktreife. Es gilt Innovationen und neue Konzepte zu entwickeln, um wirksame und auf globaler Ebene ökonomisch attraktive Modelle hervorzubringen.

Abbildung 1: Absichten zu Emissionsneutralität wachsen global¹

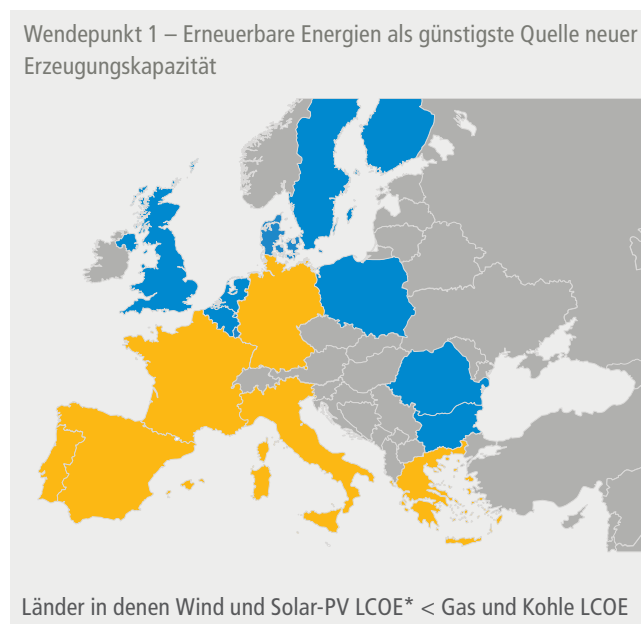


Der erste Schritt ist gemacht. Der globale Energiebedarf kann kosteneffizient durch Erneuerbare Energien abgedeckt werden. Im Vergleich zu konventionellen fossilen Thermalkraftwerken weisen Erneuerbare Technologien, insbesondere Wind und Solar-PV Anlagen, eine beeindruckende Wettbewerbsfähigkeit auf. Während die

Netzparität bereits deutlich überschritten ist, weisen eine zunehmende Anzahl an Ländern bereits ein Umfeld auf, in dem die Gesamtkosten neuer Wind- und/oder Solar-PV-Kapazitäten unter den laufenden Kosten bestehender Gas oder Kohlekraftwerke liegen.

¹ BNEF (2021)

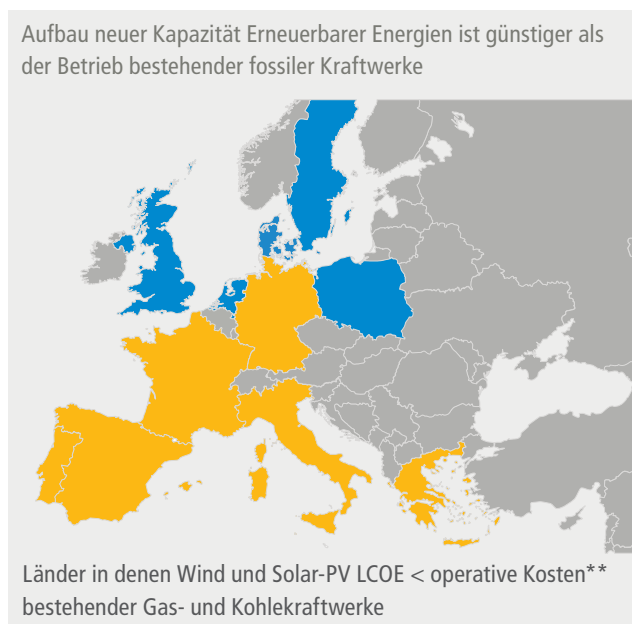
Abbildung 2: Wendepunkte aus Wettbewerbsgesichtspunkten²



*Stromgestehungskosten (levelized costs of electricity), entsprechen den Gesamtkosten (inkl. Bau) von Erzeugungskapazität, dividiert durch die Gesamtproduktion elektrischer Energie über den Lebenszyklus (in EUR/MWh).

Doch um auf dieser Entwicklung aufzubauen, bedarf es weiterer Maßnahmen. Die Komplexität der Energiesysteme ist dabei Chance und Herausforderung zugleich. Gibt es auch zahlreiche Stellschrauben deren effiziente Vernetzung Möglichkeiten bietet, muss die Komplexität beherrscht werden. Zudem müssen Lösungen die Energiesicherheit gewährleisten und darüber hinaus die Bezahlbarkeit sichern. Das globale Problem des Klimawandels kann nur bekämpft werden, wenn entsprechende Technologien zur Marktreife geführt werden und analog zur Entwicklung Erneuerbarer Technologien auch die Wirtschaftlichkeit in Regionen und Ländern mit geringeren Einkommen unter Beweis gestellt wird.

Trotz der Möglichkeiten zunehmende Sektoren über Erneuerbare Energien zu elektrifizieren (Sektorkopplung), weitere Fortschritte in der Energieeffizienz zu generieren und mit Hilfe digitaler Technologien die Flexibilität von Angebot und Nachfrage zu verbessern, sind weitere Schritte auf dem Weg zur Emissionsneutralität zu unternehmen. Zum einen müssen Lösungen zur Speicherung – jenseits kurzfristiger Batterieoptionen und begrenzter Pumpspeicherkapazitäten – gefunden werden. Zum anderen verbleiben Sektoren, die nicht mittels Elektrifizierung dekarbonisiert werden können.



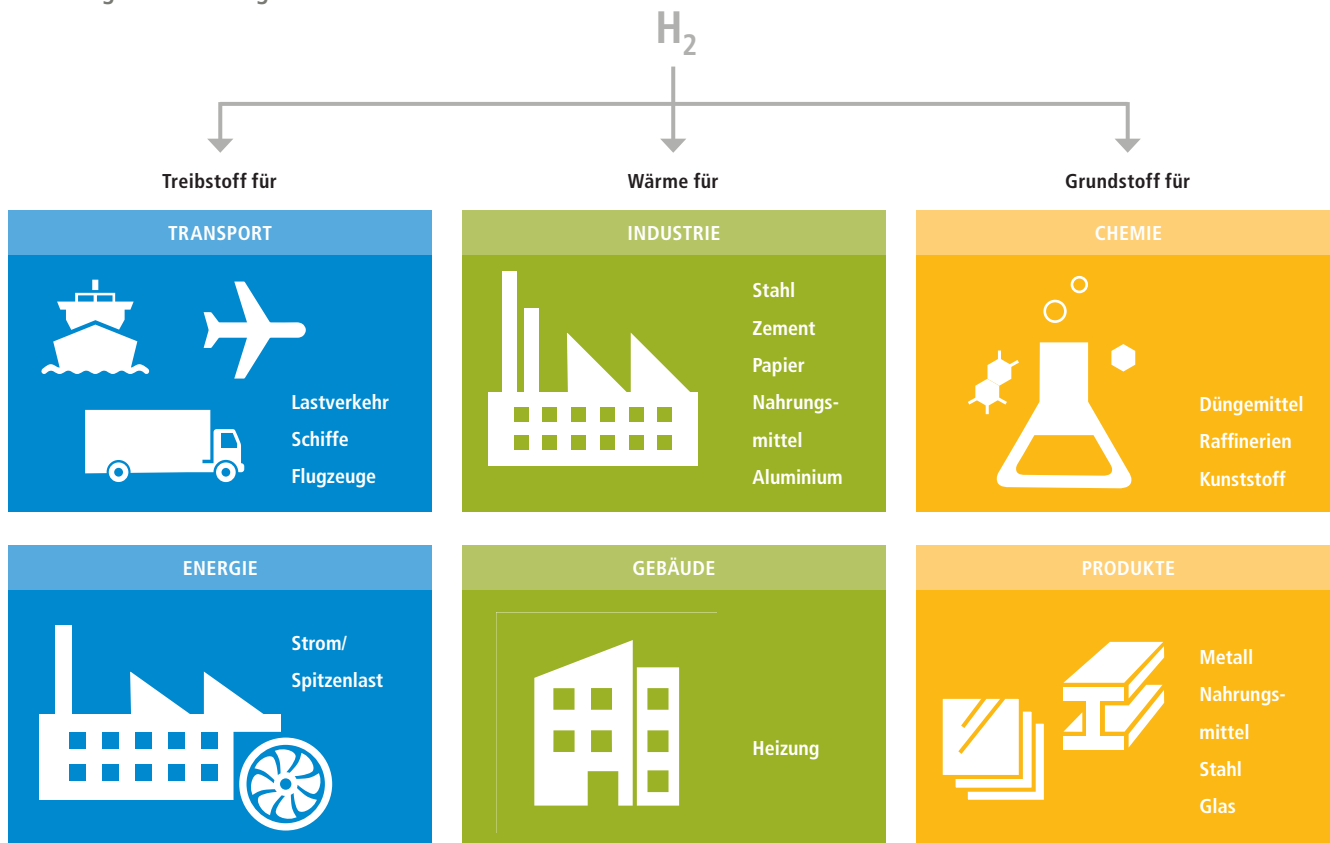
**Bezieht sich ausschließlich auf die Betriebskosten (z.B. Brennstoffe, EUAs) eines bereits bestehenden Kraftwerks – d.h. diese liegen signifikant unter den LCOEs dieses Kraftwerkstyps.

Allein die Betrachtung des weltweiten Energieverbrauchs bestätigt die Bedeutung eines grünen Kraftstoffs, um die Emissionen nachhaltig zu begrenzen und insbesondere die Energiewende zu beschleunigen. Eigenschaften, die diese Anforderungen erfüllen, weist der Energieträger Wasserstoff auf. Aus Erdgas produzierter Wasserstoff ist bereits ein bedeutender Rohstoff, dessen Nachfrage noch maßgeblich durch die chemische Industrie bestimmt wird. Es besteht jedoch technisch die Möglichkeit schwer zu dekarbonisierende Sektoren unter Anwendung wasserstoffbasierter Verfahren nachhaltig und emissionsneutral zu reorganisieren. Neben dem Ersatz bestehender Anwendungen stellt unter anderem die Stahlproduktion ein Beispiel dar, in dem nur eine indirekte Elektrifizierung mit Wasserstoff fossile Brennstoffe ersetzen kann.

² BNEF (2021)

WASSERSTOFF UND ERNEUERBARE ENERGIEN – DER SCHLÜSSEL ZUR EMISSIONSNEUTRALITÄT?

Abbildung 3: Anwendungsfelder Wasserstoff



Die technische Realisierbarkeit, aber auch ein globaler Absatzmarkt für Innovationen, setzen Anreize für Staaten positive Impulse für die konjunkturelle Entwicklung sowie für die Bekämpfung des Klimawandels zu erzielen.

Abbildung 4: Abdeckung des globalen Wirtschaftsvolumens mit Klimaregulatoriken³

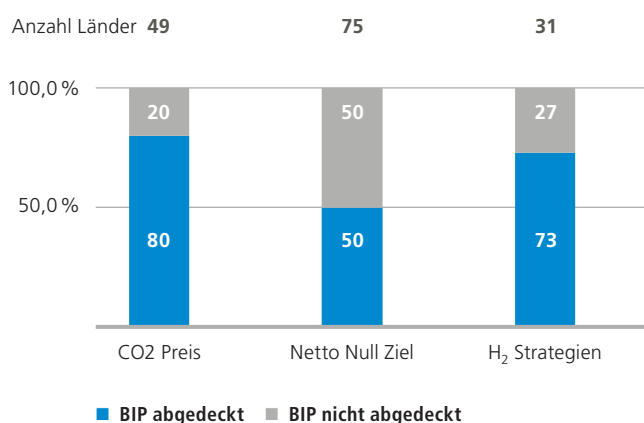


Abbildung 4 verdeutlicht die hohen Erwartungen an Wasserstoffstrategien. Staaten, die 73 % des weltweiten Wirtschaftsvolumens verantworten, haben entsprechende Strategien erarbeitet.

Doch die Nutzung emissionsfreier Wasserstoffanwendungen erfordert es die energieintensive Gewinnung mittels Erneuerbarer Energien abzudecken. Der so entstehende enorme Energiebedarf muss mit einem deutlich beschleunigten Ausbau Erneuerbarer Kapazitäten einhergehen, bietet jedoch im Gegenzug signifikant positive Wechselwirkungen mit dem Erzeugungssektor.

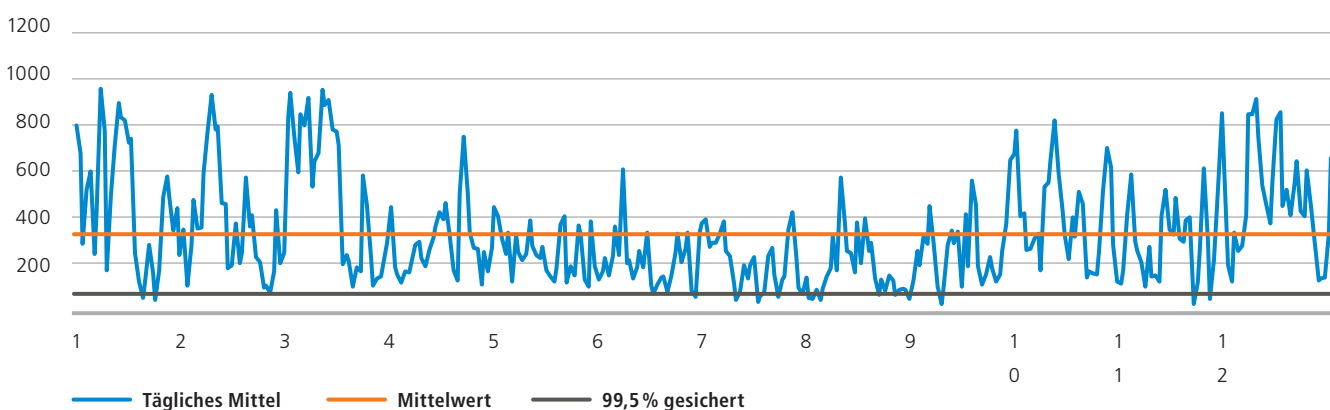
³ McKinsey (2021)

2. Erneuerbare Energien – Grundpfeiler der Energiewende

Windkraft und Solar-PV bilden die Grundvoraussetzung der Energiewende. Die ressourcenschonende und insbesondere emissionsneutrale Erzeugung von elektrischer Energie ist unverzichtbar für die moderne Welt. Der erfolgreiche Weg von der Technologiereife zur Marktreife – geprägt durch Innovationen und Skaleneffekte – bietet

heute im Umfeld stark steigender globaler Energienachfrage eine kosteneffiziente Option für nachhaltige Energiesysteme. Doch alles Gute hat seine Schattenseiten. Durch die Abhängigkeit von Wettereinflüssen, die sich nicht beeinflussen lassen, fluktuiert die Energieerzeugung.

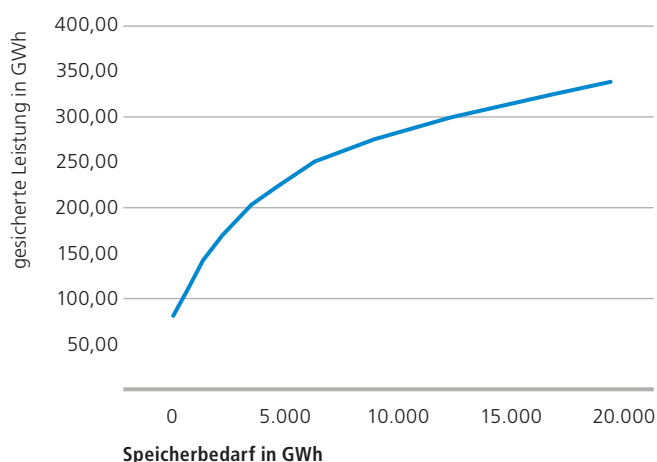
Abbildung 5: Windkrafterzeugung in Deutschland 2019 (in GWh)⁴



Fehlende Steuerbarkeit der Produktion stellt ein Problem für die Grundlastversorgung dar. Abbildung 5 verdeutlicht, dass nur ein Bruchteil der erzeugten Energie über das Jahr als gesichert betrachtet werden kann. Während ein Mix aus Technologien, effizientere

Nutzung, smart grids sowie die Integration des europäischen Energiemarktes diese Rahmenbedingungen verbessern, sind dennoch Speicherlösungen nötig, um das Angebot zu flexibilisieren.

Abbildung 6: Gesicherte Leistung als Funktion der Speicherkapazität (Winderzeugung Deutschland)⁵



Je höher die gesicherte Leistung sich dem Jahresmittel nähert, desto mehr Speicherkapazitäten werden benötigt. Somit ist nur über ausreichend vorhandene Speicherlösungen, die sich in Abhängigkeit der natürlichen Ressourcen sowie des Erzeugungsmix einer Region darstellen, die Grundlastversorgung vollständig über Erneuerbare Energien abdeckbar. Mit der Zunahme Erneuerbarer Erzeugungskapazitäten dominiert ab einem bestimmten Niveau ein ständiges Über- bzw. Unterangebot im Energiesystem. Diese Entwicklung stellt auch die Effizienz des Energiemarktes vor Herausforderungen und hält teilweise den Subventionsbedarf trotz der Kosteneffizienz auf hohem Niveau.

⁴ Aquila Capital Research basierend auf Daten von ENTSO-E (2021)

⁵ Aquila Capital Research basierend auf Daten von ENTSO-E (2021)

Abbildung 7: Wind- und Solarproduktion und korrespondierende Stundenpreise an der Strombörse in Deutschland (in MWh)⁶

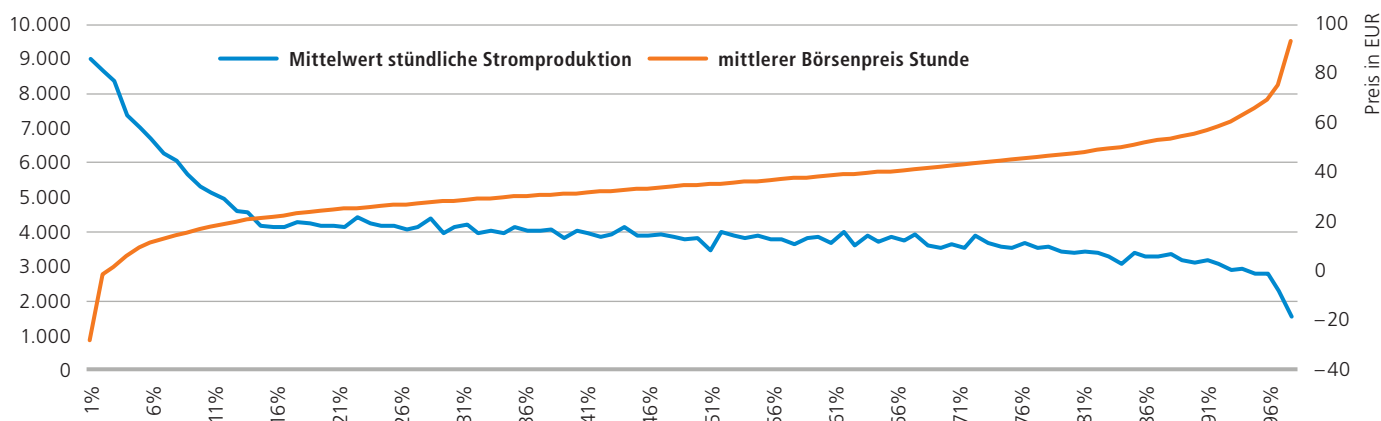
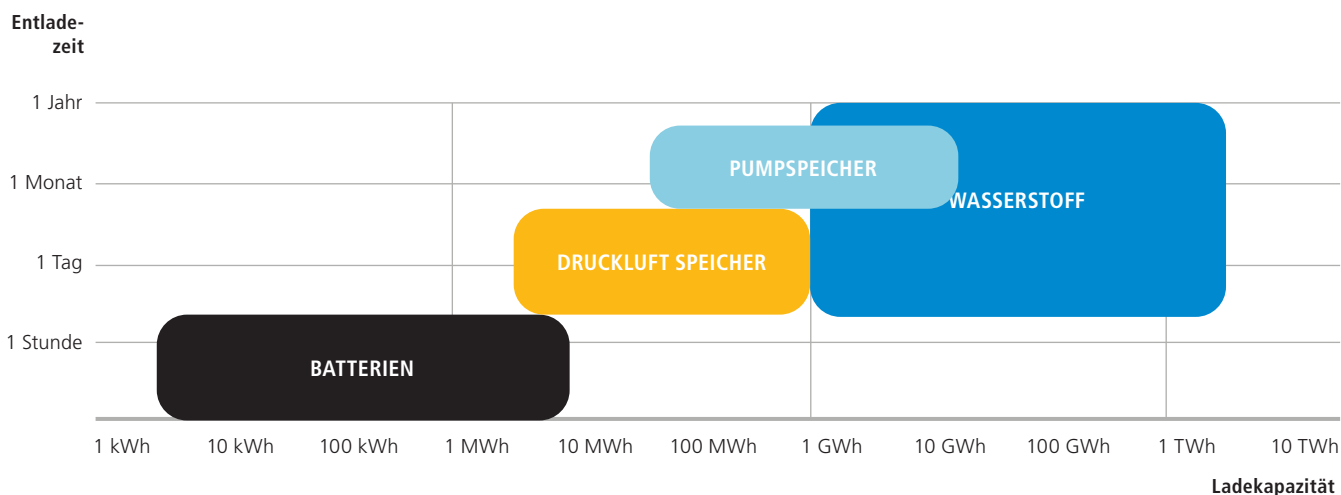


Abbildung 7 verdeutlicht den Zusammenhang zwischen Angebot und Nachfrage. Aufgrund des Wechsels zwischen Über- und Unterangebot nimmt die Volatilität der Strompreise mit dem Ausbau Erneuerbarer Energien zu. Dieser Zusammenhang verdeutlicht die zwingend erforderlichen Speicherlösungen, bietet aber auch Potenziale wie im Folgenden (ab Kapitel 4) gezeigt wird. So zeigen Preisprognosen von Bloomberg New Energy Finance für das Vereinigte Königreich, dass ausgehend vom massiven Ausbau der Offshore-

Kapazitäten die Strompreise sinken und erst mit dem Wachstum der Wasserstoffproduktion wieder Auftrieb erhalten und so den Ausbau unterstützen.

Auch hinsichtlich der Speicherlösungen wird es nicht eine alleinige Technologie sein, vielmehr wird in diesem Bereich ein Mix aus Technologien die effizienteste Alternative hervorbringen. Wasserstoff bietet in diesem Zusammenhang besondere Vorteile.

Abbildung 8: Speichertechnologien nach Kapazität und Entladezeitraum⁷



Während Batterien insbesondere kurzfristige Leistungen zur Stabilisierung der Netze liefern, werden zunehmend langfristige Optionen benötigt, die längere z. B. saisonale Schwankungen ausgleichen

können. Eine effiziente Möglichkeit stellen Pumpspeicherkraftwerke dar, deren Ausbaumöglichkeiten jedoch in Abhängigkeit der natürlichen Gegebenheiten streng limitiert sind. Der Energieträger

⁶ ENTSO-E (2021)

⁷ Wood Mackenzie (2021)

Wasserstoff hingegen stellt eine langfristige Option dar, die insbesondere hinsichtlich des Flächenbedarfes enorme Vorteile mit sich bringt.

Die Schattenseite stellt dabei der hohe Energiebedarf der Produktion in Elektrolyseverfahren dar. Konkret bedeutet dies, dass für die Produktion von einem kg Wasserstoff (33,3 kWh/kg) rund 51,3 kWh an elektrischer Energie benötigt werden. Das bedeutet im Umkehrschluss, dass die Überführung von elektrischer Energie in Wasserstoff zu einem Verlust von rund 35 % (33,3/51,3-1) der erzeugten Energie führt. Eine Reelektrifizierung grünen Wasserstoffs über Brennstoffzellen oder Gaskraftwerke würde die Effizienz weiter

maßgeblich verringern. In diesem Zusammenhang wird die Speicherung und Zurückgewinnung Erneuerbarer Energie mittels Wasserstoff aus Gründen der Wirtschaftlichkeit nicht die primäre Anwendung darstellen. Im Fokus sollte derzeit vielmehr der Ersatz bestehender Wasserstoffproduktion, die auf fossilen Verfahren beruht, stehen. Andernfalls ungenutzte, d. h. netzbedingt abgeregelte Energie, könnte über die Produktion grünen Wasserstoffs die Sektorkopplung ausweiten und über diese Emissionsminderungen erneuerbar erzeugter Energie zu höheren Marktanteilen verhelfen. Ein paralleler Aufbau von Erzeugungsstrukturen sowie von technologischem Fortschritt und Skaleneffekten begleiteter Ausbau der Wasserstoffwirtschaft könnte dagegen die Weichen stellen.

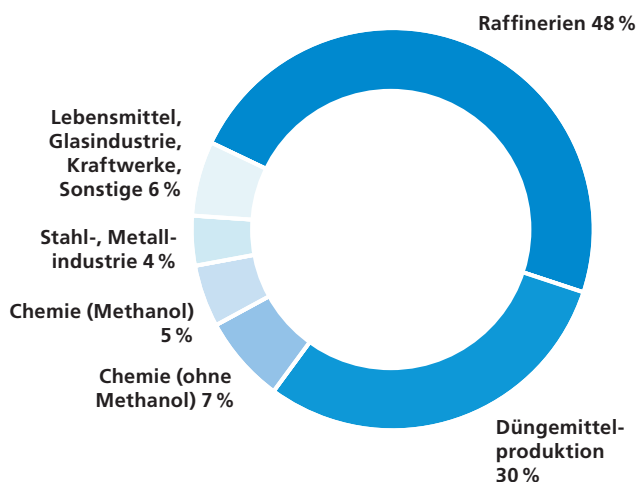
3. Technologische Reife der Wasserstoffproduktion

Wasserstoff ist bereits heute ein wichtiger Rohstoff, der breite Anwendung in der Industrie findet. Hierbei steht die stoffliche Anwendung im Vordergrund, nicht die energetische.

Wie aus der untenstehenden Abbildung ersichtlich, wird Wasserstoff heute hauptsächlich als Rohstoff und für Prozesse in Raffinerien (Hydro-Cracking und Entschwefelung) und der chemischen Industrie (Düngemittel- und Methanol-Produktion) verwendet. Insgesamt hatte Europa 2019 einen Wasserstoffbedarf von rund 340 TWh, was rund 8,6 Mio. Tonnen entspricht.⁸ Der Wasserstoffmarkt wird von

grauem Wasserstoff aus Dampfreformation auf Basis fossiler Brennstoffe dominiert. Wasserstoff aus Dampfreformierung ist als Rohstoff auf dem Markt verfügbar, wird in großen Anlagen kostengünstig produziert und korreliert mit dem Gaspreis. Als etablierter Standard für die industrielle Produktion deckt Wasserstoff aus Dampfreformierung rund 91 % des aktuellen EU-Bedarfs. Ein Anteil von nur 2 % entfällt auf blauen Wasserstoff unter Verwendung von CCS-Technologien.¹⁰ Rund 7 % des gesamten Wasserstoffs werden als Nebenprodukt hauptsächlich in Chlor-Alkali-Elektrolyseuren produziert.

Abbildung 9: EU Wasserstoffbedarf pro Sektor 2020⁹



BOX 1

Arten der Wasserstoffproduktion

- grauer H₂: Dampfreformierung auf Basis fossiler Quellen (Gas, Kohle, Öl)
- blauer H₂: Analog zu grauem erweitert um das Auffangen und Einlagern der CO₂ Emissionen
- grüner H₂: Wasserelektrolyse mit Erneuerbarer Energie

Die Wasserelektrolyse trägt nur einen marginalen Anteil zur gesamten europäischen Wasserstoffproduktion bei. Grüner Wasserstoff aus Wasser-Elektrolyse auf Basis erneuerbarer Elektrizität hat bislang einen verschwindend geringen Anteil von gerade einmal 0,1 % an der Gesamtproduktion.¹¹ Da bei der Dampfreformierung durch die Aufspaltung des Erdgases CH₄ je Tonne gewonnenen Wasserstoff rund 10 t CO₂ emittiert werden, muss im Zuge der klimapolitischen Anpassung die Etablierung von grünem Wasserstoff nachhaltig gestärkt werden.

⁸ Basierend auf HHV (Higher Heating Value) 141,8 MJ/kg oder 39,4 kWh/kg

⁹ Prognos - Kosten und Transformationspfade für strombasierte Energieträger (2020)

¹⁰ Carbon Capture and Storage

¹¹ Hydrogen Europe: Clean Hydrogen Monitor (2020), S. 12

Grüner Wasserstoff kann durch die Verwendung erneuerbar produzierten Stroms via Wasserelektrolyse gewonnen werden. Elektrolyse ist eine seit Jahrzehnten gängige Verfahrenstechnik zur Herstellung von Gasen. Bei der Wasserelektrolyse wird hierbei Wasser (H₂O) in seine beiden Komponenten Wasserstoff (H₂) und Sauerstoff (O) aufgespalten.

Derzeit dominieren zwei technologische Lösungen den Markt für die Wasserelektrolyse; die alkalische Elektrolyse und die sogenannte PEM-Elektrolyse („Proton-Exchange-Membrane“). Da die PEM-Elektrolyse deutlich flexibler ist und somit besser zu fluktuierenden Produktionszyklen Erneuerbarer Energien passt, wird sie im Folgenden ausschließlich als Basis für die weiteren Berechnungen betrachtet.

BOX 2

PEM-Elektrolyse

Die PEM-Elektrolyse („Proton-Exchange-Membrane“) verzichtet auf eine leitfähige Reaktionslösung. Die Reaktion erfolgt mittels einer proton-durchlässigen Membran, deren beide Oberflächen mit Metallen (meist Platin) beschichtet sind und als Anode und Katode fungieren.

Die Anlagen werden in der Regel unter Druck betrieben und sind im Vergleich zu atmosphärischen alkalischen Elektrolyseuren deutlich kompakter. Durch die protonendurchlässige Membran entfällt die Befüllung mit Lauge. Dennoch ist die Produktion und Beschichtung der Membran technisch anspruchsvoll und es gibt bislang wenig Erfahrungen bezüglich der Lebensdauer und Degradation (Effizienzverluste) im Feld. Ein Vorteil der PEM-Elektrolyse ist das schnelle Ansprechverhalten, das ein exaktes Nachfahren von Windprofilen möglich macht, aber auch für Primärregelleistungen einsetzbar ist.

Um die Wirtschaftlichkeit von grünem Wasserstoff unter diesen Bedingungen zu ermitteln, werden im Nachfolgenden basierend auf unserer Expertise im Bereich Erneuerbarer Energien konkrete Modelle berechnet. Eine Einschätzung der Wettbewerbsfähigkeit auch unter Einbezug von positiven Wechselwirkungen auf den Energiesektor ist dabei Ziel der Analyse.

4. Grüner Wasserstoff – Utopie oder die Zukunft?

4.1 Ausgangsszenario

Basierend auf den Strompreisen am deutschen Markt, von dem bereits in Kapitel 2 die Notwendigkeit von Speichertechnologien abgeleitet wurde, werden im Ausgangsszenario die Gesamtkosten einer Wasserstoffproduktion berechnet. Um Fehleinschätzungen durch die Sondereffekte der Pandemie zu vermeiden, stellen wir auf die Daten aus dem Jahr 2019 ab. Darüber hinaus soll insbesondere untersucht werden, welche positiven Effekte sich für die Integration Erneuerbarer Energien ergeben. Aus diesem Grund unterteilen wir die in der Realität entstandenen Strompreise in Stunden nach Abhängigkeit der jeweiligen Höhe des Preises.

Abbildung 10: Gewichtete Börsenpreise für Strom in Deutschland nach Stundenpreisen aufsteigend sortiert (in EUR/MWh)¹²

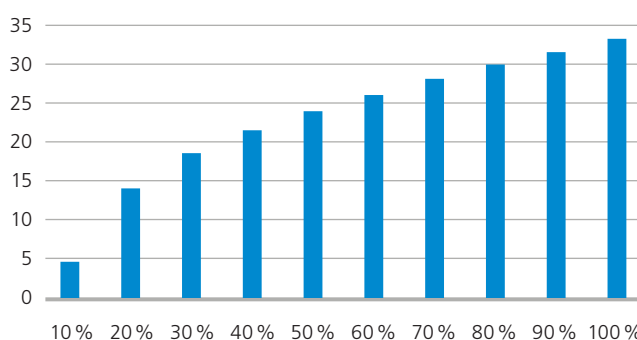
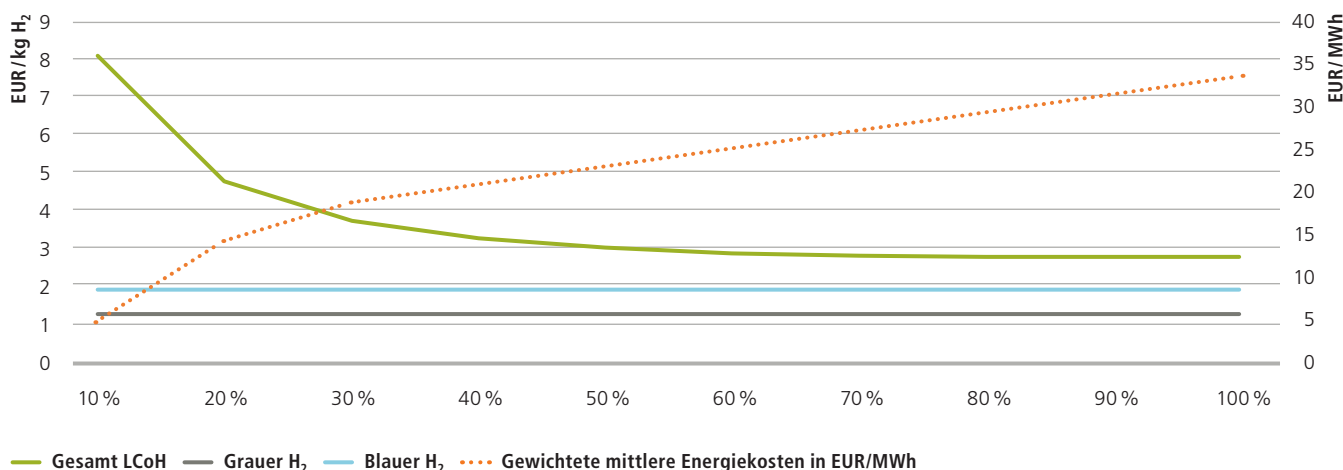


Abbildung 10 verdeutlicht die Volatilität der Marktpreise. Ausgehend von den Zusammenhängen am Strommarkt, der folglich auf ein Überangebot mit sehr niedrigen, teils sogar negativen Preisen reagiert, soll untersucht werden, dieses Überangebot in die Produktion von grünem Wasserstoff zu leiten. Abgebildet sind die gewichteten Durchschnittspreise der jeweiligen Dezile. Die jeweiligen Preise, z. B. Balken eins 10 % der günstigsten Stunden, ergeben sich durch die Korrelation mit dem Angebot. Somit würde die Verwendung der günstigsten Stunden zur Wasserstoffproduktion zu zwei positiven Effekten führen. Zum einen würde sich das Überangebot am Strommarkt reduzieren und in der Folge eine Stabilisierung der Preise hervorrufen. Zum anderen würde der hohe Energiebedarf der Elektrolyse von relativ geringen Preisen profitieren, während der Verkauf des so produzierten Wasserstoffs zu weiteren Erträgen führt.

Einbezogen in die Analyse werden sämtliche Kosten, die für den Bau und Betrieb eines Elektrolyseurs mit einer Leistung von 50 MW unter realen Bedingungen anfallen. Darüber hinaus ergibt sich der Gesamtpreis je kg Wasserstoff (LCoH – Levelized cost of hydrogen) aus der Annahme einer zu 100 % Eigenkapital finanzierten Anlage mit einer Eigenkapitalrendite von 6 % ohne Subventionen. Untersucht wird dabei jeweils die Wettbewerbsfähigkeit gegenüber grauem und blauem Wasserstoff, um einen Vergleich ohne Transport- und Lagerkosten, die unabhängig von der Produktionsart anfallen, zu ermöglichen.

¹² Aquila Capital Research basierend auf Daten von ENTSO-E (2021)

Abbildung 11: Gesamtkosten der Wasserstoffproduktion in Abhängigkeit des Strompreises¹³



In der Graphik wird ersichtlich, dass die Produktionskosten für grünen Wasserstoff mit zunehmender Auslastung der Anlage abnehmen. Trotz der Stromkosten, die bei höherer Auslastung der Anlage aufgrund der Sortierung ansteigen, dominiert dieser Effekt. Die Verteilung der aktuell einbezogenen CAPEX auf eine zunehmende Auslastung führt zur Dominanz der Fixkostendegression über die Strompreiseffekte. In der Folge ergibt sich der günstigste zu erzielende Preis für grünen Wasserstoff unter aktuellen Bedingungen bei einer 100 %-igen Auslastung des Elektrolyseurs mit 2,74 EUR/kg. Damit

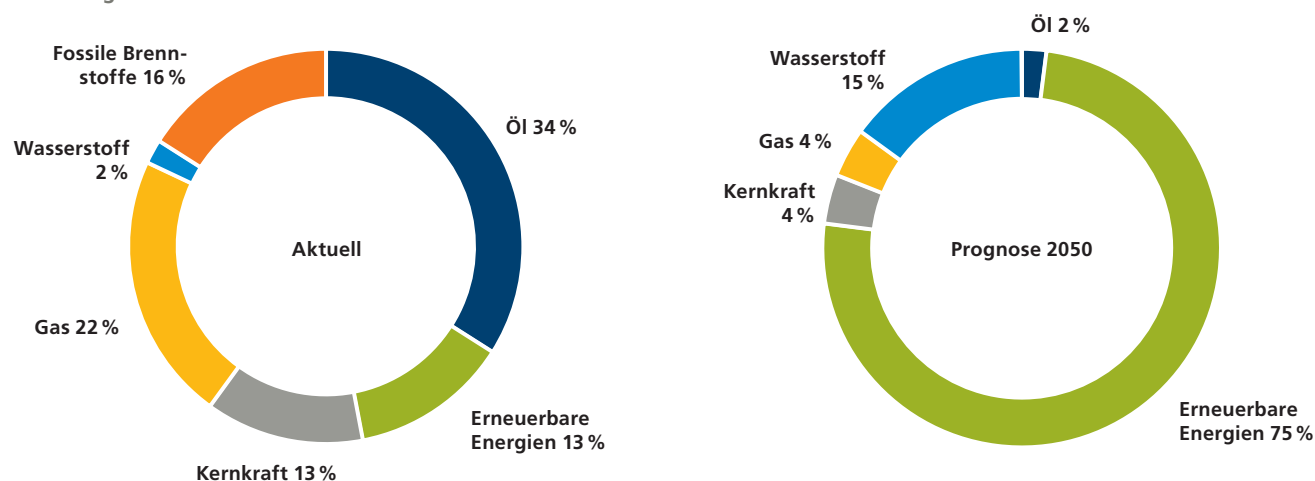
ist grüner Wasserstoff rund 50 % teurer als die Alternative des blauen Wasserstoffs, während der Preis im Vergleich zu grauem Wasserstoff mehr als das Doppelte beträgt. Zudem ist bei einer 100 %-igen Auslastung der Anlage kein positiver Effekt auf die Schwankungen am Strommarkt zu erwarten.

Sind also die Ambitionen der EU sowie weiterer Mitgliedsländer eine Wasserstoffwirtschaft zu errichten nur Wunschenken oder werden entsprechende Maßnahmen die Rahmenbedingungen ändern?

4.2 Veränderung der Rahmenbedingungen

Aktuell beträgt der Anteil des Wasserstoffs am Primärenergieverbrauch weniger als 2 %. Bis 2050 soll der Anteil jedoch auf dem Weg zur Emissionsneutralität bis zu 15 % betragen.

Abbildung 12: Wasserstoffambitionen EU¹⁴



¹³ Aquila Capital Research (2021)

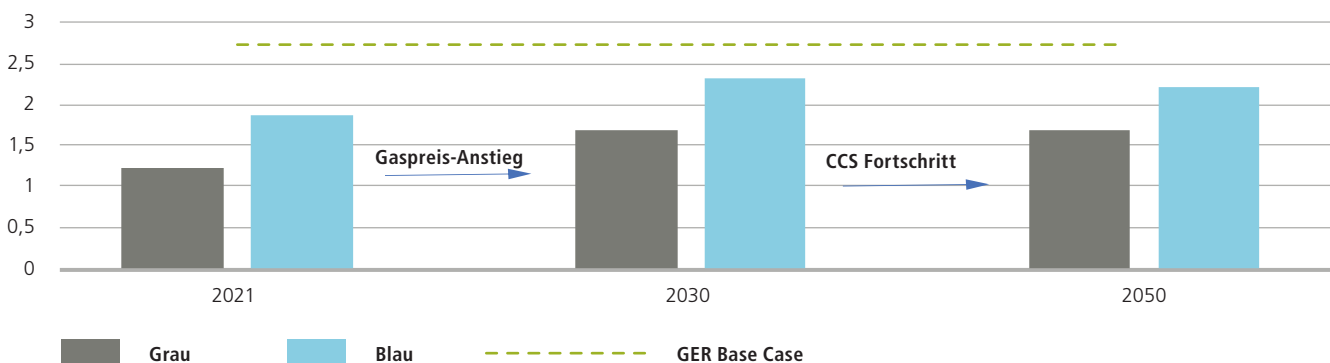
¹⁴ Goldman Sachs (2021)

Um dieses Ziel zu erreichen, müssen massive Investitionen erfolgen, die nur der Privatsektor erbringen kann. Doch in diesem Zusammenhang muss sich die Wettbewerbsfähigkeit grünen Wasserstoffs signifikant verbessern.

Mehrere Effekte werden die zukünftige Entwicklung maßgeblich bestimmen.

Effekt 1: Verteuerung der fossilen Alternativen

Abbildung 13: Entwicklung der Kosten für grauen und blauen Wasserstoff (basierend auf Gas)¹⁵



Mit einem erwartbaren Anstieg des Gaspreises wird in der nächsten Dekade mit einer Verteuerung der auf Dampfreformierung basierenden Wasserstoffproduktion gerechnet. Bis 2050 ist dagegen zu

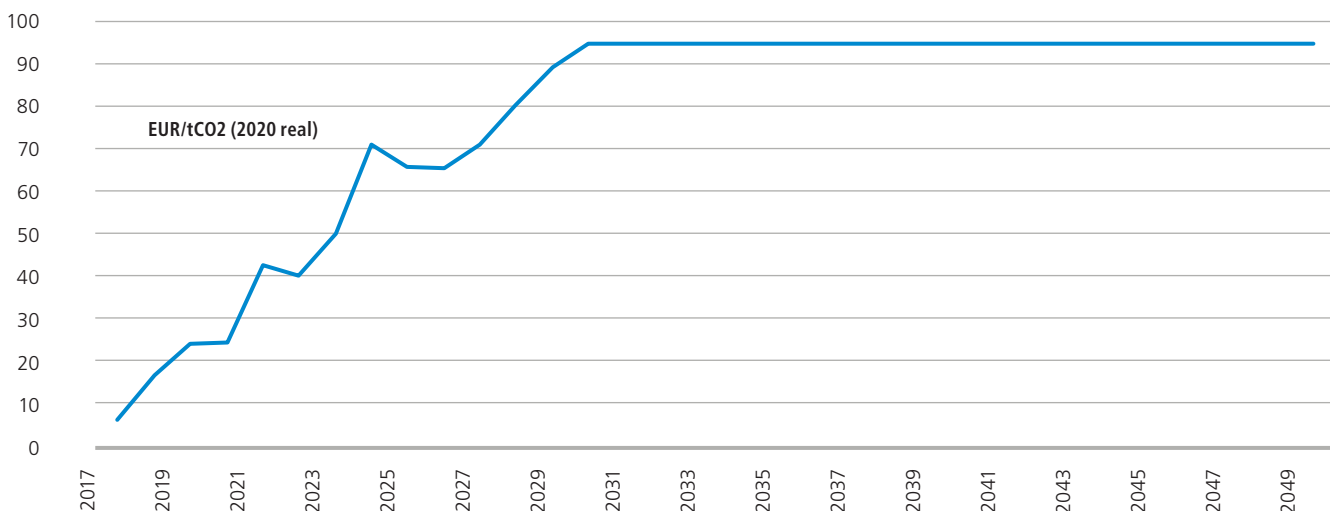
erwarten, dass durch Effizienzgewinne der CCS-Verfahren (CCS- carbon capture and storage) die Produktion von blauem Wasserstoff wieder etwas sinkt, jedoch oberhalb des heutigen Niveaus verbleibt.

Effekt 2: EU Emissionshandel

Im Zuge des Green Deals der EU wurden die Klimaziele signifikant erhöht. Zur Zielerreichung wurde das Paket „Fit for 55“ vorgestellt, das eine umfassende Reformierung des Emissionshandels beinhaltet.

Unter anderem soll das Angebot der Zertifikate bis 2030 linear auf das Emissionsziel (–55 %) sinken. Dadurch werden sich erhebliche Auswirkungen auf die Preise ergeben.

Abbildung 14: Prognose der Preisentwicklung der EU Emissionszertifikate¹⁶



¹⁵ BNEF (2021)

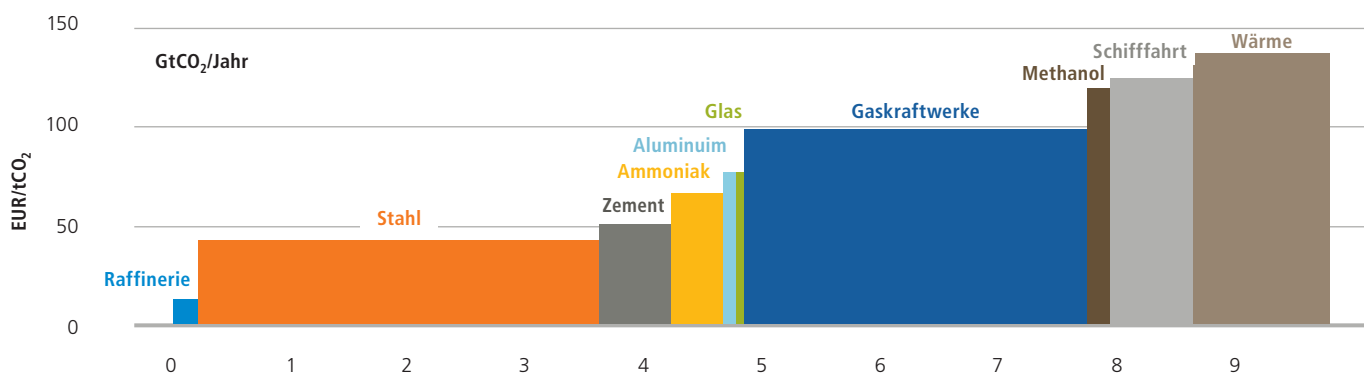
¹⁶ BNEF (2021)

WASSERSTOFF UND ERNEUERBARE ENERGIEN – DER SCHLÜSSEL ZUR EMISSIONSNEUTRALITÄT?

Die bereits erwiesene Funktionsfähigkeit dieses Instruments, die im Energiesektor den Weg für Erneuerbare Energien ebnete, wird nach den neuen Bestimmungen auf weitere Sektoren ausgeweitet. In

diesem Zuge ist mit wettbewerbsfähigen Veränderungen in der jeweiligen Abhängigkeit der Preisentwicklung zu rechnen.

Abbildung 15: Wirtschaftlichkeit grüner Wasserstoff gegenüber konventionellen Methoden und damit verbundenen Brennstoffen in Abhängigkeit des Kohlenstoffpreises¹⁷



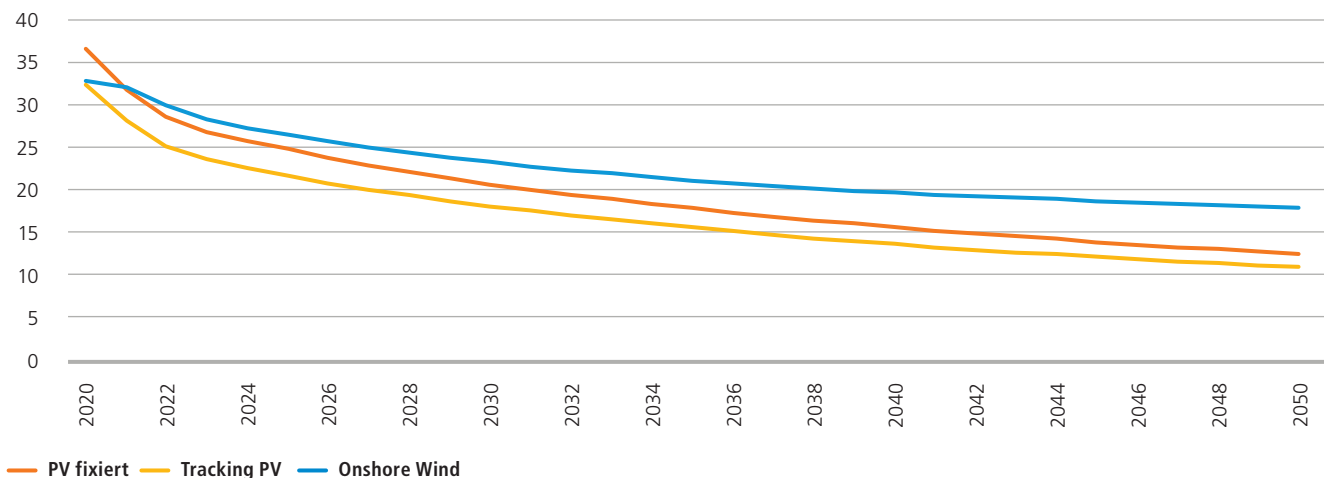
Insbesondere Ö Raffinerien, die Wasserstoff zur Entschwefelung der Kraftstoffe nutzen, aber auch der Ersatz von Kohle in der Stahlproduktion werden in Abhängigkeit des Emissionspreises zu den ersten

Anwendungen gehören, in denen die Nutzung von grünem Wasserstoff wirtschaftlich ist.

Effekt 3: Produktionskosten Erneuerbarer Energien sinken weiter

Nach erheblichen Preisreduktionen der letzten Jahre setzt sich die Effizienzsteigerung im Bereich Erneuerbarer Energien fort.

Abbildung 16: Gesamtkosten (LCoEs) Erneuerbarer Energien Spanien¹⁸



¹⁷ BNEF (2021)

¹⁸ BNEF (2021)

In Spanien, das aufgrund äußerst positiver klimatischer Bedingungen die geringsten LCoEs im europäischen Vergleich aufweist, wird im Solarbereich bis 2050 mit einem Preisrückgang von 66 % und im Windsektor mit 45 % gerechnet. Diese Entwicklung ist insbesondere auf Effizienzsteigerungen zurückzuführen, da die zugrundeliegende Eigenkapitalrendite in Spanien nur marginal sinkt.¹⁹ In diesem Zusammenhang muss jedoch ergänzt werden, dass die Strompreise nicht unbedingt den Stromgestehungskosten von Solar folgen. Insbesondere in Südeuropa notieren die Strompreise, wie auch die durchschnittlichen Preise langfristiger Abnahmeverträge, über den heutigen Stromgestehungskosten, weil fossile Kraftwerke im Markt preissetzend sind.

Effekt 4: Lernkurve und Skaleneffekte bei Elektrolyseuren²⁰

Effekt 4 ist – auch unter Bezug auf das Ausgangsszenario, das durch die hohen CAPEX Kosten dominiert wurde – der maßgebliche. Ist die EU auch aktuell global führend in Bezug auf die Elektrolysekapazitäten, sind diese anhaltend auf einem nur sehr niedrigen Niveau.

Mit der Zunahme der weltweiten Ambitionen wird sich der Ausbau jedoch signifikant beschleunigen. In diesem Zusammenhang werden Lerneffekte sowie Skaleneffekte massiv zum Tragen kommen und die Ausgangssituation drastisch verändern.

Abbildung 17: Lernkurve in Abhängigkeit des prognostizierten Ausbaus²¹

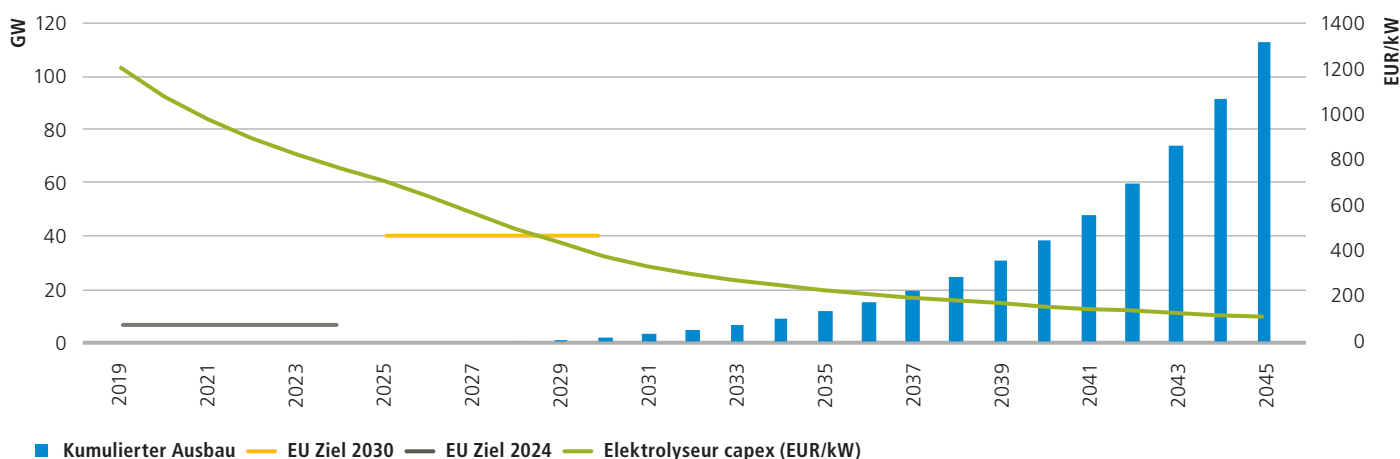


Abbildung 17 verdeutlicht das Potenzial, dass ein zunehmender Ausbau der Elektrolysekapazitäten beinhaltet. Entgegen der Prognose von Bloomberg New Energy Finance hinsichtlich des Ausbaus liegen die angekündigten Ambitionen der EU signifikant auf weit höherem Niveau. Sollten die Produktionskapazitäten in diesem Umfang ausgeweitet werden, kann sogar eine schnellere Kostendegression erwartet werden. Neben Lernkurven sowie zu erwartenden Skaleneffekten bieten technologische Innovationen anhaltend hohes Potenzial die Effizienz zu steigern und resultierend die Kosten zu senken. Ein Beispiel dieser Entwicklungspotenziale zeigt die diesjährige von Aquila Capital und einem unabhängigen Expertengremium ausgezeichnete Forschungsleistung im Bereich der Wasserelektrolyse.

BOX 3

Aquila Capital Transformation Award 2021

Der zweite Aquila Capital Transformation Award ging im Jahr 2021 an Dr. Ning Yan, Assistenzprofessor am Van 't Hoff Institute for Molecular Sciences der Universität Amsterdam. Eine hochkarätige Jury zeichnete den Hauptautor für die Forschungsarbeit „A membrane-free flow electrolyser operating at high current density using earth abundant catalysts for water splitting“ aus. Der jährlich vergebene Preis unterstützt Forschungsinitiativen zur Eindämmung des Klimawandels und ist mit 20.000 Euro dotiert.

Die Jury befand, dass Ning Yan und sein Team einen vielversprechenden und innovativen Weg aufzeigen, wie grüner Wasserstoff, der eine wichtige Rolle unseres zukünftigen Energiesystems einnehmen wird, kosteneffizienter und im industriellen Maßstab produziert werden kann.

¹⁹ BNEF (2021)

²⁰ BNEF (2021)

²¹ BNEF (2021); EU Kommission (2021)

Zentral für das neue innovative und energiesparende Verfahren der Wasserelektrolyse zur Herstellung von reinem Wasserstoff ist die Kombination der Vorteile verschiedener Elektrolyseator-Konzepte. Insbesondere die Verwendung einer membranfreien Lösung in einem neuartigen zyklischen Verfahren bietet Potenziale die Wirtschaftlichkeit maßgeblich zu verbessern.

Effekt 5: Die fluktuierende Produktion Erneuerbarer Energien wird im Zuge des Ausbaus zu mehr netzbedingten Abregelungen führen

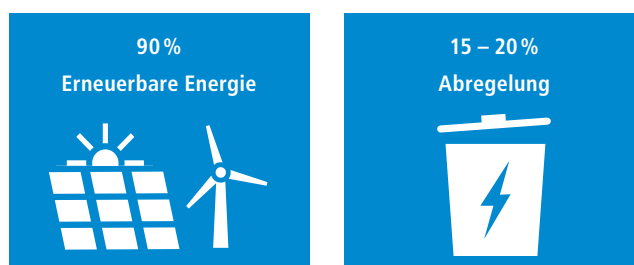
Um die Stromnetze stabil zu halten, ist ein Gleichgewicht zwischen Produktion und Verbrauch erforderlich. Da Erneuerbare Energien jedoch abhängig vom Wetter eine geringe Skalierbarkeit aufweisen, müssen sie in Stunden, in denen eine hohe Produktion nicht dem Verbrauch entspricht zur Stabilisierung der Netze abgeregelt, d. h. vom Netz genommen werden. In Deutschland wurden im Jahr 2019 insgesamt mehr als 6.400 GWh abgeregelt. Dies entspricht einem Anteil von 2,8 % des gesamten Erneuerbaren Stroms dieses Jahres. Zur Kompensation wurden rund 710 Mio. EUR an die Betreiber gezahlt, für Strom, der nie produziert wurde. Mit einem Anstieg des Anteils Erneuerbarer Energien werden diese Abregelungen erwartungsgemäß zunehmen.

4.3 Ausblick

a) Ausgangsszenario Deutschland 2030

Ausgehend vom Ausgangsszenario für Deutschland werden die beschriebenen Effekte, d. h. verringerte CAPEX (-69 %), Emissionspreise (+0,95 EUR/kg für grauen Wasserstoff) und die Verteuerung der Wasserstoffalternativen in die Berechnung einbezogen. Alle anderen Parameter, d. h. Strompreise 2019, 100 % Eigenkapital und Eigenkapitalrendite von 6 % – bleiben dagegen unverändert.

Abbildung 18: Prognose der abgeregelten Menge bei einem Anteil von 90 % Erneuerbarer Energien am Strommix²²



Nur Speicherlösungen und/oder die Sektorenkopplung können diese Effekte dämpfen. Würde dieser Strom zum „Nulltarif“ zur Produktion grünen Wasserstoffes verwendet, entsteht zum einen eine emissionsneutrale Alternative für andere Sektoren und darüber hinaus würden die Erlöse direkt die Kompensationszahlungen verringern. Aus dieser Abhängigkeit würden staatliche Unterstützungen der Wasserstoffproduktion eine Investition darstellen, die einen Weg zur Emissionsneutralität aufzeigt und gleichzeitig den Subventionsbedarf an anderer Stelle reduziert. Dieser Fall könnte einen Anfangspunkt markieren, von dem aus ein paralleler Ausbau Erneuerbarer Energien sowie der Wasserstoffwirtschaft ökonomisch sinnvoll und klimapolitisch wertvoll gestaltet werden kann.

²² Goldman Sachs (2021)

Abbildung 19: Ausgangsszenario in 2030²³

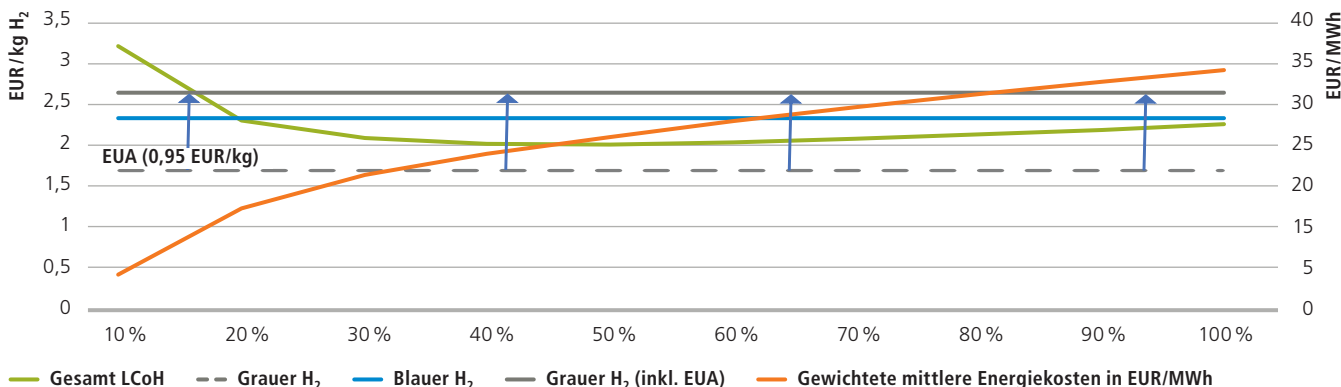


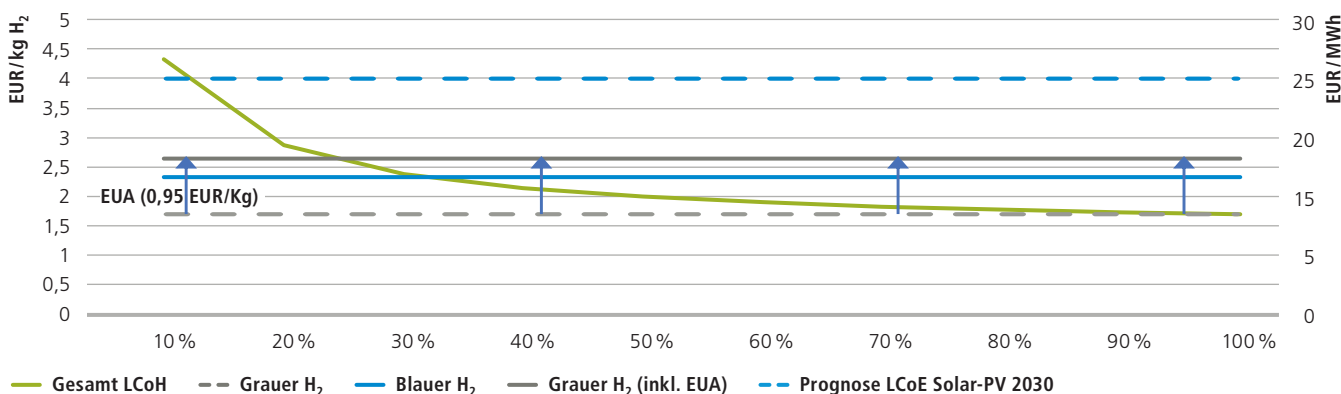
Abbildung 19 illustriert eindrucksvoll die Wirkungsweise der Effekte. Durch die verringerten CAPEX kommt den Preisen für Energie eine weitaus höhere Bedeutung zu. Die gewünschte Flexibilisierung des Angebots Erneuerbarer Energie kann somit auch bei geringerer Auslastung des Elektrolyseurs kosteneffizient gesteuert werden. Bereits bei einer Auslastung von 20 % – die in etwa durch erneuerbare Energien zu erreichen ist – wird die Vergleichsmarke von blauem Wasserstoff unterschritten. Unter Einbezug des Emissionshandels gilt dies ebenfalls im Wettbewerb mit grauem Wasserstoff. Bei einer kostenminimalen Auslastung bei 50 % entsprechen die LCoHs

nahezu 2 EUR/kg und liegen damit signifikant unter der Alternative des grauen Wasserstoffs.

b) Wasserstoffproduktion Spanien 2030

In diesem Fall werden – im Vergleich zu Szenario a (Ausgangsszenario Deutschland 2030) – die Stromkosten aus dem Jahr 2019 durch die prognostizierten LCoEs für Solar-PV Anlagen in Spanien ersetzt. Alle anderen Parameter bleiben auf dem gleichen Niveau wie im Szenario a für Deutschland 2030.

Abbildung 20: Szenario Spanien 2030²⁴



Im Unterschied zu Szenario a) wird deutlich, dass die Wettbewerbsfähigkeit erst ab einer Auslastung von rund 30 % erreicht wird. Dies folgt daraus, dass die Stromkosten als konstant betrachtet werden und die Ausnutzung günstiger Stunden wie im Fall Deutschlands nicht gegeben ist. Die günstigen Produktionskosten in Spanien geben, wenn auch nur theoretischer Natur, dennoch einen Aufschluss über das Potenzial in Südeuropa. Auch hier wird sich in Zukunft die Volatilität der Strompreise auszeichnen und die Wettbewerbsfähigkeit signifikant verbessern.

Unter Einbezug der beschriebenen Effekte sowie basierend auf den Prognosen von Bloomberg New Energy Finance wird in Spanien – unter konstanten Strompreisen – bereits 2026 die Wettbewerbsfähigkeit von grünem gegenüber grauem Wasserstoff erreicht. Zu beachten ist jedoch, dass eine derartige aus Wasserstoff-Sicht idealtypische Entwicklung nicht der Realität entspricht. Zum einen liegen die tatsächlichen Stromkosten insbesondere in Spanien bereits heute deutlich oberhalb der Stromgestehungskosten für Wind und Solar-PV. Zum anderen werden neben weiteren Effekten die dy-

²³ Aquila Capital Research (2021)

²⁴ Aquila Capital Research (2021); LCoE basierend auf BNEF (2021)

namisch wachsende Nachfrage nach Elektrizität und die Sicherung der Grundlast durch Gaskraftwerke den Strompreisen weiteren Auftrieb verleihen.

Es bleibt zu konstatieren, dass die wettbewerbsfähige Produktion grünen Wasserstoffs mittelfristig durch den hohen Energiebedarf sowie daraus resultierender Kosten limitiert ist. Politische Entscheidungsträger befinden sich damit im Spannungsfeld den Aufbau von Elektrolyseuren zu unterstützen, um von Skaleneffekten zu profitieren, und die Belastung durch Energiepreise zu begrenzen. Zielkonflikte ergeben sich dabei aus hohen Strompreisen, die Anreize bieten

den Ausbau erneuerbarer Kapazitäten zu beschleunigen und dem Aufbau einer Wasserstoffwirtschaft. Lösungen bieten sich durch Subventionen im Wasserstoffbereich, die an anderer Stelle den Bedarf senken und stabile Rahmenbedingungen für die Erzeuger regenerativen Stroms bieten. Nur der parallele Aufbau kann die Effizienz und Funktionsfähigkeit der Energieversorgungssysteme nachhaltig zum Erfolg führen.

5. Fazit

Ab dem Jahr 2030 erreicht grüner Wasserstoff voraussichtlich die Wettbewerbsfähigkeit gegenüber den fossilen Alternativen grünen und blauen Wasserstoffs. Auf dem Weg zur Klimaneutralität kann Wasserstoff das fehlende grüne Molekül sein, dass die Dekarbonisierung nicht elektrifizierbarer Sektoren ermöglicht und im gleichen

Zuge die Integration Erneuerbarer Energien erhöht und die Effizienz des Strommarktes signifikant verbessert. Doch der Energiebedarf erfordert eine enorme Beschleunigung des Ausbaus Erneuerbarer Energien, wobei der Strompreis auf beiden Seiten zur maßgeblichen Determinante wird.

Abbildung 21: Energiebedarf in GW²⁵

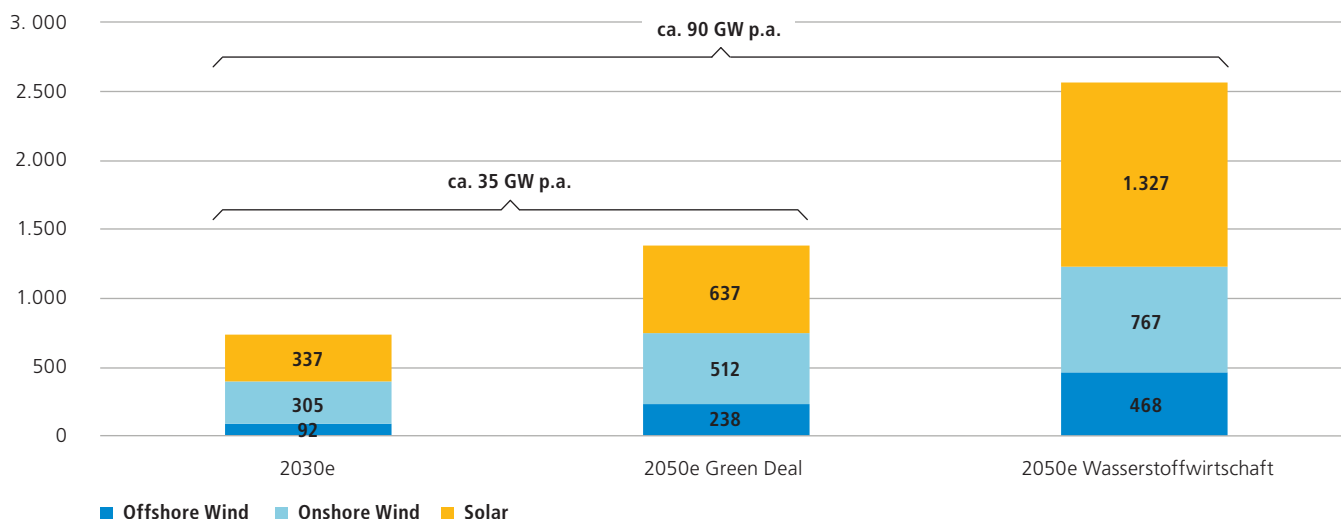
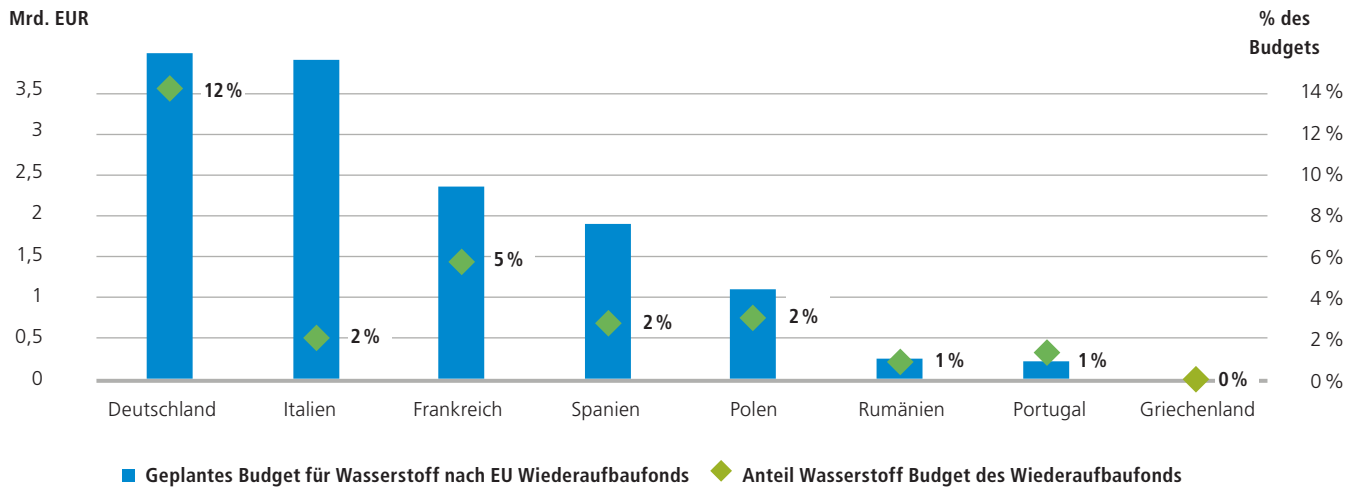


Abbildung 21 verdeutlicht den enormen Bedarf an Erzeugungskapazität, der maßgeblich vom Wasserstoffbedarf der Industrie geprägt wird, für die sich mit Wasserstoff technologische Alternativen bieten. So schätzt z. B. die deutsche Chemieindustrie, dass eine emissionsneutrale Reorganisation des Sektors zusätzlich die heutigen Erzeugungskapazitäten in Deutschland erfordert. Die IEA schätzt weiterhin, dass die Umstellung des schwedischen Stahlsektors auf Wasserstoff ca. 45 % des aktuellen Stromverbrauchs betragen würde.

Analog zu den Erneuerbaren Technologien, deren Wettbewerbsfähigkeit auch auf anfänglich elementaren Subventionen basierte, ergeben sich Möglichkeiten entsprechende Anreize zu setzen, die wiederum Synergien mit dem Umbau der Energiesysteme ergeben.

²⁵ Goldman Sachs (2021)

Abbildung 22: Anteile des EU Konjunkturpaketes ausgerichtet auf den Wasserstoffsektor²⁶



Innerhalb der EU wurden die Möglichkeiten gestärkt. Durch das Konjunkturpaket und festgelegte „grüne Quoten“ für dessen Verwendung bestehen in einer zunehmenden Anzahl an Mitgliedsländern finanzielle Spielräume, den Aufbau einer Wasserstoffwirtschaft zu unterstützen.

Wettbewerbsfähiger Wasserstoff könnte in diesem Zusammenhang einen Kipppunkt der Energiewende darstellen. Über die Reduzierung der CAPEX durch staatliche Subventionen aber auch durch den Zugang zu günstigem Fremdkapital kann wie in den Szenarien gezeigt die benötigte Auslastung reduziert werden. In dessen Folge wäre eine flexible Reaktion auf bestehende Angebotspreise möglich. So könnten Überangebote wirtschaftlich genutzt werden und in diesem Zuge das Gleichgewicht der Energiesysteme stabilisieren.

²⁶ BNEF (2021)

Für weitere Informationen kontaktieren Sie bitte:

Aquila Capital

Valentinskamp 70
20355 Hamburg
Deutschland

Tel.: +49 (0)40 87 50 50-100

E-Mail: info@aquila-capital.com

Web: www.aquila-capital.de

Folgen Sie uns auf  

Hamburg · Frankfurt · London · Luxemburg · Madrid · Lissabon · Oslo · Zürich · Invercargill · Singapur · Tokio

Dieses Dokument wurde ausschließlich zu vorläufigen Informationszwecken erstellt. Es stellt weder eine Anlagevermittlung noch eine Anlageberatung dar. Es handelt sich nicht um ein Angebot oder eine Aufforderung zur Abgabe eines Angebotes zum Kauf oder Verkauf von bestimmten Produkten, insbesondere dient jegliche Referenz zu den Beispielprodukten oder zu den indikativen Anlagebedingungen ausschließlich der besseren Verständlichkeit und Darstellung; die Inhalte des Dokuments stellen auch keine sonstige Handlungsempfehlung dar. Dieses Dokument und die darin enthaltenen Informationen können unvollständig sein und Änderungen unterliegen und sind daher als unverbindlich anzusehen. Die Aussagen entsprechen dem Stand zum Zeitpunkt der Erstellung des Dokuments und können sich im Hinblick auf die Zielsetzungen oder aus anderen Gründen ändern, insbesondere aufgrund der Marktentwicklung, Änderungen im rechtlichen, politischen und wirtschaftlichen Umfeld sowie der Folgen, die sich aus oder im Zusammenhang mit der aktuellen Corona-Pandemie ergeben können. Die in diesem Dokument enthaltenen Informationen und Meinungen stammen aus Quellen, die von uns als zuverlässig und richtig beurteilt wurden. Dennoch gewährleisten wir nicht die Aktualität, Richtigkeit und Vollständigkeit der Informationen und lehnen jede Haftung für Schäden ab, die durch die Nutzung der Informationen entstehen könnten. **Historische Daten sind keine Garantie für zukünftige Erträge. Aussagen über eine zukünftige wirtschaftliche Entwicklung beruhen auf Beobachtungen aus der Vergangenheit und theoretisch fundierten objektiven Verfahren, sind mithin Prognosen und als solche zu verstehen. Sie sind verschiedenen Einflussfaktoren, einschließlich der oben genannten, unterworfen. Es werden keine Zusicherungen oder Gewährleistungen dafür abgegeben, dass eine indikative Performance bzw. Rendite in Zukunft erreicht wird.**

Unter den Bezeichnungen Aquila und Aquila Capital werden Gesellschaften für Alternative Investments und Sachwertinvestitionen sowie Vertriebs-, Fondsmanagement- und Servicegesellschaften von Aquila Capital („Aquila Capital“ meint die Aquila Capital Holding GmbH und mit dieser verbundene Unternehmen i. S. d. §§15 ff. AktG) zusammengefasst.

Eine Veröffentlichung der Aquila Capital Investmentgesellschaft mbH. Stand: Januar 2022. Autor: Peter Schnellhammer