German American Chambers of Commerce
Deutsch-Amerikanische Handelskammern

MITTELSTAND GLOBAL
EXPORTINITIATIVE ENERGIE

USA

Grüner Wasserstoff – mit Fokus auf Power-to-X-Anwendungen in Kalifornien

Zielmarktanalyse 2022 mit Profilen der Marktakteure

www.german-energy-solutions.de

Gefördert durch:

Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz

aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

Impressum

Herausgeber
Delegiertenbüro der Deutschen Wirtschaft in San Francisco
101 Montgomery St, Suite 1900
San Francisco, CA 94104
Telefon: +1 (415) 248-1240
E-Mail: info@gaccwest.com
Internetadresse: www.gaccwest.com

Stand
Januar 2022

Bildnachweis
Delegiertenbüro der Deutschen Wirtschaft

Gestaltung und Produktion
Delegiertenbüro der Deutschen Wirtschaft

Kontaktperson
Preston Locher
Manager, Innovation Solutions
Delegiertenbüro der Deutschen Wirtschaft
E-Mail: plocher@gaccwest.com

Redaktion
Preston Locher
Cora Lingerski
Julia Keinprecht
Evgenia Segura

Urheberrecht
Das gesamte Werk ist urheberrechtlich geschützt. Bei der Erstellung war das Delegiertenbüro der Deutschen Wirtschaft stets bestrebt, die Urheberrechte anderer zu beachten und auf selbst erstellte sowie lizenzfreie Werke zurückzugreifen. Jede Vervielfältigung, Bearbeitung, Verbreitung und jede Art der Verwertung außerhalb der Grenzen des deutschen Urheberrechts bedarf der ausdrücklichen Zustimmung des Herausgebers.

Haftungsausschluss
Sämtliche Inhalte wurden mit größtmöglicher Sorgfalt und nach bestem Wissen erstellt. Geführte Interviews stellen die Meinung der Befragten dar und spiegeln nicht unbedingt die Meinung des Herausgebers wider. Das vorliegende Werk enthält Links zu externen Webseiten Dritter, auf deren Inhalte wir keinen Einfluss haben. Für die Inhalte der verlinkten Seiten ist stets der jeweilige Anbieter oder Betreiber der Seiten verantwortlich und das Delegiertenbüro der deutschen Wirtschaft übernimmt keine Haftung. Soweit auf unseren Seiten personenbezogene Daten (beispielsweise Name, Anschrift oder E-Mail-Adressen) erhoben werden, beruht dies auf freiwilliger Basis und/oder kann online recherchiert werden. Der Herausgeber übernimmt keine Gewähr für die Aktualität, Richtigkeit, Vollständigkeit oder Qualität der bereitgestellten Informationen. Für Schäden materieller oder immaterieller Art, die durch die Nutzung oder Nichtnutzung der dargebotenen Informationen unmittelbar oder mittelbar verursacht werden, haftet der Herausgeber nicht, sofern ihm nicht nachweislich vorsätzliches oder grob fahrlässiges Verschulden zur Last gelegt werden kann.

Inhaltsverzeichnis

I. Tabellenverzeichnis ... 4

II. Abbildungsverzeichnis ... 5

III. Abkürzungen ... 6

IV. Währungsumrechnung ... 8

V. Energieeinheiten ... 9

Zusammenfassung ... 10

1. Länder- und Staatenprofil: USA & Kalifornien ... 11

1.1 USA ... 11

1.2 Kalifornien und der lokale Energiemarkt ... 11

2. Marktchancen in Kalifornien ... 14

3. Zielgruppe in der deutschen Energiebranche ... 16

4. Potenzielle Partner und Wettbewerbsumfeld ... 18

4.1 Wettbewerbsumfeld ... 18

4.2 Potenzielle Partner ... 20

5. Technische Lösungsansätze ... 21

5.1 Wasserstoff ... 21

5.2 Sektorkopplung ... 23

5.3 Power-to-X ... 24

6. Relevante rechtliche und wirtschaftliche Rahmenbedingungen ... 26

6.1 Förderprogramme und steuerliche Anreize ... 26

6.2 Zugang zu Projekten ... 27

6.3 Geltender CO_2-Preis ... 28

6.4 Netzanschlussbedingungen und Genehmigungsverfahren ... 28

6.5 Renewable Portfolio Standards ... 29

6.6 Zertifizierungen ... 30

6.7 Marktbarrieren und -hemmnisse ... 30

6.8 Fachkräfte ... 31

6.9 Preisentwicklung ... 32

6.10 Vertriebsstruktur ... 33

7. Markteintrittsstrategien und Risiken ... 36

8. Schlussbetrachtung inkl. SWOT-Analyse ... 39

9. Profile der Marktakteure ... 40

9.1 Ministerien, Behörden und Verbände ... 40

9.2 Energieversorger ... 42

9.3 Interessante Unternehmen ... 48

10. Quellenverzeichnis **50**
11. Interviewverzeichnis **54**

I. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Relevante Akteure für den kalifornischen Markt 16
Tabelle 2: Finanzierungsinstitutionen und -möglichkeiten 26
Tabelle 3: Finanzierungsinstitutionen und -möglichkeiten in Kalifornien 27
Tabelle 4: SWOT-Analyse 39

II. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: US-Wirtschaftseckdaten 10
Abbildung 2: Duck Curve 13
Abbildung 3: Trends bei den Treibhausgasemissionen in Kalifornien 14
Abbildung 4: Transportformen- und Anwendungsbereiche von grünem Wasserstoff 16
Abbildung 5: Farben des Wasserstoffs 20
Abbildung 6: Elektrolyseprozesse – Alkalische Elektrolyse, PEM, Hochtemperatur-Elektrolyse 22
Abbildung 7: Schema der gekoppelten Sektoren 23
Abbildung 8: Power-to-X-Verfahren 24
Abbildung 9: Kostenreduktion für Wasserstoff aus PEM-Elektrolyseuren bis 2035 33

III. Abkürzungen

AB	Assembly Bill
ARFVTP	Alternative and Renewable Fuel and Vehicle Technology Program
ASTM	American Society of Testing Materials
bzw.	Beziehungsweise
BIP	Bruttoinlandsprodukt
CARB	California Air Resources Board
CCA	Customer Choice Aggregator
CEC	California Energy Commission
CH_4	Methan
CO_2	Kohlenstoffdioxid
CPUC	California Public Utilities Commission
d.h.	Das heißt
DOE	U.S. Department of Energy
EE	Erneuerbare Energien
EPA	U.S. Environmental Protection Agency
FDI	Foreign Direct Investments
FERC	Federal Energy Regulatory Commission
GW	Gigawatt
H_2	Wasserstoff
ISO	California Independent System Operator
kg	Kilogramm
KMU	Kleine und mittelständische Unternehmen
KOH	Kaliumhydroxid
kW	Kilowatt
kWh	Kilowatt pro Stunde
Mio.	Million
Mrd.	Milliarde
MTO	Methanol-zu-Olefinen-Reaktion
MW	Megawatt
MWh	Megawattstunden
N_2	Stickstoff
NGO	Non-governmental organization
NREL	National Renewable Energy Laboratory
o.ä.	oder ähnliche
OH	Hydroxid-Ionen
PEM	Polymer-Elektrolyt-Membran
PG&E	Pacific Gas & Electric Company
PtG	Power-to-Gas
PtX	Power-to-X

PV	Photovoltaik
R&D	Research and Development
RNG	Erneuerbares Erdgas
RPS	Renewable Portfolio standards
SB	Senat Bill
t	Tonnen
u.a.	unter anderem
USD	United States Dollar
z.B.	zum Beispiel

IV. Währungsumrechnung

Alle Angaben sind in US-Dollar (USD) bzw. in US-Cent (Cent) angegeben.

1 USD = 0,8866 Euro (Stand 04.01.2022)
1 Euro = 1,1279 USD (Stand 04.01.2022)

V. Energieeinheiten

Stromeinheiten sind in Kilowattstunden (kWh) bzw. Megawattstunden (MWh) angegeben.
Die elektrische Leistung von Anlagen ist in Watt, Kilowatt (kW), Megawatt (MW) und Gigawatt (GW) angegeben.
1.000 Watt = 1 kW, 1.000 kW = 1 MW, 1.000 MW = 1 GW

Gasmengen werden in Tausend Kubikfuß (1.000 ft^3) bzw. in Millionen British Thermal Unit (MMBtu) angegeben.
1.000 ft^3 Erdgas entsprechen hierbei etwa 1 MMBtu (je nach Energiegehalt des Erdgases).
1.000 ft^3 = 28 m^3 ≈ 1 MMBtu
1.000 m^3 = 35.310 ft^3 ≈ 35,8 MMBtu

Zusammenfassung

In den USA hat grüner Wasserstoff mittlerweile eine bedeutende Rolle eingenommen und wird von Seiten der Politik als eine Schlüssellösung für die Energiewende angesehen. Mit dem Amtsantritt Präsident Bidens im vergangenen Jahr gewann die Klimapolitik wieder mehr an Bedeutung. Eine erwähnenswerte Handlung der Biden-Harris-Regierung ist das im November 2021 zugelassene Infrastrukturpaket, welches unter anderem 60 Mrd. USD in saubere Energie, inklusive für die Entwicklung und Forschung von grünem Wasserstoff, investiert.

Im Hinblick auf Wasserstoff ist der Bundesstaat Kalifornien besonders interessant, da dieser landesweit führend im Bereich Energie- und Klimapolitik ist. Um das Ziel von einer CO_2-Neutralität bis 2045 zu erreichen, sieht Kalifornien grünen Wasserstoff als wichtigen Langzeitspeicher und einen entscheidenden Faktor zur Realisierung einer nachhaltigen Energiezukunft. Zurzeit besteht die grundlegende Herausforderung darin, grünen Wasserstoff kommerziell herzustellen, bei steigender Nachfrage zu skalieren und gleichzeitig die Kosten zu senken. Jedoch gibt es bereits Initiativen wie beispielsweise den *HyDeal LA* oder Städte wie Lancaster, die sich darauf fokussieren, grünen Wasserstoff bezahlbar und kommerziell nutzbar zu machen. Weitere erwähnenswerte Projekte, die zurzeit in Kalifornien stattfinden oder geplant sind, sind das Power-to-Gas-Projekt des Energieversorgers *SoCalGas* und mögliche Power-to-X-Demonstrationsprojekte des Industriekonzerns Siemens in Zusammenarbeit mit wichtigen kalifornischen Markakteuren aus der Wasserstoffbranche. Diese Power-to-X-Projekte sind neben der Verwendung von grünem Wasserstoff entscheidend für die Dekarbonisierung der USA und Kaliforniens, da sie es ermöglichen Sektoren zu koppeln und saubere Energie in ausgebaute Industrie-, Energie- und Mobilitätsinfrastruktur zu integrieren.

Der gesamte Marktbereich rund um grünen Wasserstoff verspricht aussichtsreiche Chancen für deutsche Unternehmen mit passenden Lösungsansätzen. Der Markt für grünen Wasserstoff und besonders für Power-to-X-Technologien ist in Kalifornien noch nicht mit Projekten übersättigt, wodurch momentan gute Chancen für deutsche Unternehmen bestehen, Partnerschaften mit Marktvorreitern zu knüpfen, um sich langfristig im amerikanischen Markt für erneuerbare Energien zu etablieren. Angesichts der großen Vielfalt an Projekten und Technologien entlang der Wasserstoff-/Power-to-X-Wertschöpfungskette ist der kalifornische Markt für eine große Bandbreite an Unternehmen interessant. Die bereits vorhandene Implementierung von grünem Wasserstoff und auch die vielseitig existierenden Power-to-X-Pilotprojekte in Deutschland geben den deutschen Unternehmen eine Vorreiterrolle und ein *Know-how,* mit dem sich auf dem amerikanischen Markt Marktpotenziale erschließen lassen.

1. Länder- und Staatenprofil: USA & Kalifornien

1.1 USA

Die USA sind die größte Volkswirtschaft der Welt und erwirtschafteten 2021 ein Drittel des weltweiten BIP.[1] Das US-Wirtschaftswachstum hat 2021 6,8% erreicht, es soll sich jedoch laut aktuellen Prognosen 2022 auf 4,2% abschwächen.[2] Mit Ausgaben von über 103 Mrd. Euro im Jahr 2020 bleiben die USA auch weiterhin Deutschlands größte Exportpartnerin. Deutsche Unternehmen spielen eine große Rolle bei der Beschäftigung in den USA. Im Jahr 2019 waren 85.300 Arbeitnehmer bei einer deutschen Tochtergesellschaft beschäftigt, womit Deutschland der viertgrößte ausländische Arbeitgeber in den Vereinigten Staaten ist.[3] Die deutschen Direktinvestitionen in den USA lagen 2019 bei 351,2 Mio. USD und stiegen im Folgejahr, trotz Pandemie, auf 411,3 Mio. USD an.[4] Jetzt, zwei Jahre nach Beginn der Pandemie, sind die Amerikaner optimistisch und erwarten eine jährliche Investitionsrendite von 13%.[5]

Abbildung 1: US-Wirtschaftseckdaten

Bevölkerung (2021):	334,9 Mio.
Hauptstadt:	Washington, D.C.
Korrespondenzsprachen:	Englisch, Spanisch
BIP (2021):	20,94 Bio. USD
Bevölkerungszuwachs (2021):	0,4%
Arbeitslosenquote (2021):	4,2%
Währungsreserven (2021):	140,3 Mrd. USD
Warenimport (2021 YTD):	2.315 Mrd. USD
davon aus Deutschland:	111.789 Mrd. USD
Warenexport (2021 YTD):	1.438 Mrd. USD
davon nach Deutschland:	54.317 Mrd. USD

Quelle: Eigene Darstellung nach Angaben von Central Intelligence Agency (2021): The World Factbook - USA, abgerufen am 06.12.2021, Bureau of Labor Statistics (2021): The Employment Situation, abgerufen am 06.12.2021, U.S. Department of the Treasury (2021): U.S. International Reserve Position, abgerufen am 06.12.2021, U.S. Census Bureau (2021): International Trade in Goods & Services, abgerufen am 06.12.2021

Die USA bleiben ein attraktiver Investitionsstandort für erneuerbare Technologien, da Präsident Joseph Biden bekräftigt hat, dass der Klimaschutz eines der prioritären Themen seiner Präsidentschaft sein wird. Mit dem Ziel, eine klimaneutrale Wirtschaft bis 2050 zu erreichen, unterstützt Präsident Biden neue Quellen von Wasserstoff, einschließlich Abfall, um die Industrie mit Energie zu versorgen und Kohlenstoffdioxidemissionen zu reduzieren.[6] Das *U.S. National Renewable Energy Laboratory* prognostiziert, dass die Nachfrage nach grünem Wasserstoff bis 2050 auf 22-41 Mio. t pro Jahr ansteigen könnte, da die USA nach weiteren Möglichkeiten zur Stabilisierung des Stromnetzes suchen. Dieses Niveau der Wasserstoffproduktion würde jedoch einen US-Primärenergieverbrauch von 4-17% erfordern.[7] Der Markt für die Wasserstofferzeugung in den USA bewegt sich derzeit zwischen einer Marktgröße von 10,3 und 10,4 Mrd. USD, wobei Kohlevergasung und Methandampfreformierung die größten Marktsegmente darstellen und der Markt bis 2030 weiterwachsen soll.[8]

1.2 Kalifornien und der lokale Energiemarkt

Kalifornien ist der bevölkerungsreichste Bundesstaat der USA und entscheidend für die industrielle und kommerzielle Stärke der Vereinigten Staaten. Ungefähr 39,53 Mio. Menschen leben in Kalifornien (Stand 2020), wobei der Westküstenstaat mit aktuell 0,05% Wachstum das langsamste Bevölkerungswachstum aller Zeiten verzeichnet.[9] Nichtsdestotrotz stellt die hohe Bevölkerungszahl beträchtliche Anforderungen an die Energieversorgung und die Infrastruktur. Insbesondere im Sommer ergreifen die Energieversorgungsunternehmen ernsthafte Maßnahmen, nachdem freiliegende Stromleitungen einige der größten Waldbrände des Bundesstaates ausgelöst haben. Diese wurden durch die jahrelange Trockenheit sogar noch verheerender und vertrieben Tausende von Menschen aus ihren Häusern und Städten. Kalifornien liegt als fünftgrößte Volkswirtschaft der Welt (Stand 2019) zwischen Deutschland und

[1] Vgl. The World Bank (2021): GDP Ranking, abgerufen am 06.12.2021
[2] Vgl. The World Bank (2021): Global Outlook, abgerufen am 06.12.2021
[3] Vgl. Representative of German Industry & Trade (kein Datum): German Business in the USA, abgerufen am 06.12.2021
[4] Vgl. Bureau of Economic Analysis (2021): Germany International Trade and Investment, abgerufen am 06.12.2021
[5] Vgl. Statista (2021): Covid-19 and Investment Behavior Worldwide, abgerufen am 06.12.2021
[6] Vgl. The White House (2021): Fact Sheet, abgerufen am 06.12.2021
[7] Vgl. National Renewable Energy Laboratory (2020): Study Shows Abundant Opportunities for Hydrogen in a Future Integrated Energy System, abgerufen am 06.12.2021
[8] Vgl. Million Insights (2021): Hydrogen Generation Market Analysis Report, abgerufen am 06.12.2021
[9] Vgl. Public Policy Institute of California (kein Datum): California's Population, abgerufen am 06.12.2021

Großbritannien mit einem BIP von 3.137 Mrd. USD.[10] Das Pro-Kopf-Einkommen in Kalifornien betrug im Jahr 2020 70.192 USD, während der US-Durchschnitt aller Bundesstaaten bei 59.510 USD liegt.[11]

Kalifornien als Innovationszentrum und Vorreiter für erneuerbare Energien

In Kalifornien werden Zukunftsthemen wie saubere und erneuerbare Energien für den weltweiten Einsatz entwickelt. Für deutsche Unternehmen, die im globalen Wettbewerb bestehen wollen, ist die Teilnahme im Markt empfehlenswert, um innovativ und wettbewerbsfähig zu bleiben. Die Grit-Mentalität, der Unternehmergeist, die *Early-Adopter*-Kultur und das kollaborative Umfeld sind die Erfolgsfaktoren in Kalifornien. Silicon Valley, San Francisco und Los Angeles dienen als Experimentierfeld für innovative Technologien, die dann auf den gesamten amerikanischen Markt ausgeweitet werden können. Wasserstoff spielt eine wichtige Rolle als Alternative zu Wind- und Sonnenenergie und ermöglicht eine Diversifizierung der Energieversorgung, um eine übermäßige Abhängigkeit von einzelnen fluktuierenden Energieträgern zu vermeiden.

Kaliforniens Energiepolitik, Markt und Netzwerk

Kalifornien ist einer der fortschrittlichsten Staaten in den USA, wenn es um die Implementierung von erneuerbaren Energien ins Stromnetz geht. Im Jahr 2019 verbrauchte Kalifornien 7.802 Mio. MMBtu, produzierte aber nur 2.449 Mio. MMBtu (Stand 2019), wodurch ein Energiedefizit entstand.[12] Infolgedessen importierte Kalifornien Energie aus sechs benachbarten Bundesstaaten sowie aus Mexiko, um den Energiebedarf zu decken.[13] Erneuerbare Energien sind die beste Option, um die Energielücke zu schließen und bis 2045 einen CO_2-neutralen Energiesektor zu erreichen, da die kalifornische Gesetzgebung (SB 100) verlangt, dass erneuerbare Energien und kohlenstofffreie Ressourcen 100% des Stromes des Bundesstaates liefern sollen.[14] Im Jahr 2020 stammten über 33,3% der in Kalifornien erzeugten Energie aus erneuerbaren Energien, wobei die größten Erzeuger wie folgt waren: 15,4% Solarenergie, 7,1% Wind und 5,9% Geothermie.[15]

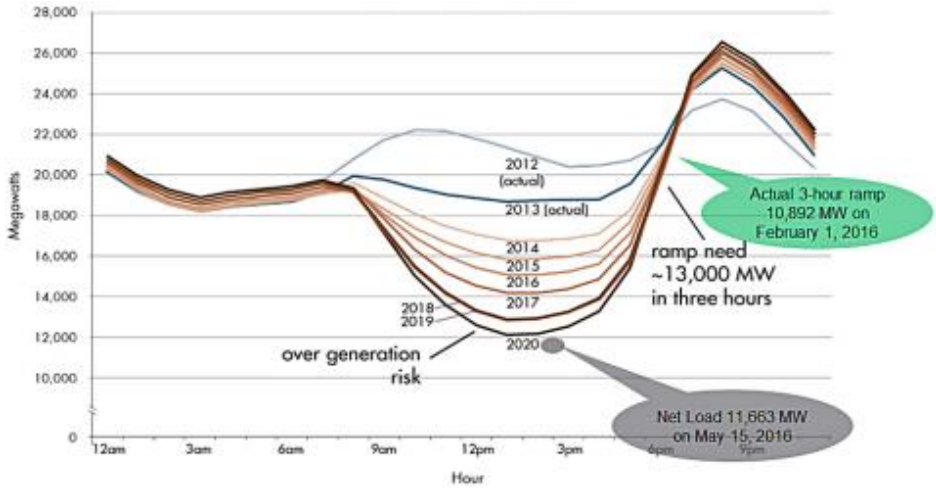
Die *California Energy Commission* (*CEC*) gibt die Energiepolitik vor und ist die Planungsbehörde für Energie- und Umweltinitiativen in Kalifornien.[16] Im Zuge dessen ist die *California Public Utilities Commission* (*CPUC*) die Energie- und Industrieregulierungsbehörde für Strom, Erdgas und Wasser sowie für Transport-, Transit- und Telekommunikationsanbieter.[17] Der *California Independent System Operator* (*ISO*) ist der Netzbetreiber von ca. 80% des Hochspannungs- und Fernleitungsnetzes in Kalifornien.[18] In den letzten Jahren fand teilweise eine Liberalisierung des kalifornischen Strommarktes statt und die kalifornischen Verbraucher konnten in einzelnen Versorgungsgebieten erstmals zwischen profitorientierten Energieversorgern und gemeindeeigenen Anbietern (*Customer Choice Aggregators*, *CCAs*) wählen. Beim *CCA*-Modell kaufen die Gemeinden den Strom selbst ein, die Übertragung verbleibt jedoch bei den privaten Stromversorgern.[19] Dieser Übergang ist ökologisch vorteilhaft, da *CCA*s erneuerbare Energiequellen bevorzugen.

Das Energiesystem des US-Bundesstaates Kalifornien steht außerdem durch Veränderungen von Angebot und Nachfrage vor großen Herausforderungen. So steigen die Stromnachfrage und Spitzenlast weiterhin, während die Stromerzeugung aus konventionellen Energieträgern zugunsten von erneuerbaren Energien zurückgeht. Die Schwierigkeit der Lastenverteilung über Tag und Nacht bei einem hohen Anteil an Sonnenenergie wird von der sogenannten kalifornischen Entenkurve (*Duck Curve)* beschrieben. Abbildung 2 zeigt, dass die Menge des produzierten Stroms in der Mittagszeit, aufgrund des hohen Anteils von Solarleistung, die Nachfrage stark übersteigt. Dies kann zu einer Überlastung der

[10] Vgl. Forbes (2019): California, abgerufen am 06.12.2021
[11] Vgl. Bureau of Economic Analysis (2021): California, abgerufen am 06.12.2021
[12] Vgl. U.S. Energy Information Administration (2021): California State Profile and Energy Estimates, abgerufen am 06.12.2021
[13] Vgl. U.S. Energy Information Administration (2021): California State Energy Profile, abgerufen am 06.12.2021
[14] Vgl. California Legislative Information (2018): SB-100 California Renewables Portfolio Standard Program, abgerufen am 06.12.2021
[15] Vgl. California Energy Commission (2020): 2020 Total System Electric Generation, abgerufen am 06.12.2021
[16] Vgl. California Energy Commission (2021): About the California Energy Commission, abgerufen am 06.12.2021
[17] Vgl. California Public Utilities Commission (2021): What is the California Public Utilities Commission?, abgerufen am 06.12.2021
[18] Vgl. California ISO (2021): Understanding the ISO, abgerufen am 06.12.2021
[19] Vgl. California Public Utilities Commission (2021): CCA Regulatory Information, abgerufen am 06.12.2021

Stromnetze führen. Abends jedoch, wenn die solare Einspeisung abnimmt, müssen in Rekordzeiten Erzeugungskapazitäten hochgefahren werden.[20] Daher werden andere erneuerbare Lösungen wie Wasserstoff erforscht, um den Lastausgleich zu stabilisieren und eine Alternative zur Elektrizität zu bieten, wenn die Stromleitungen abgeschaltet sind. Durch das Nichtvorhandensein der freiliegenden Stromleitungen erhofft sich die Regierung das Waldbrandrisiko zu verringern. Power-to-X-Technologien mit grünem Wasserstoff gelten als entscheidende Technologien, um der Entenkurve entgegenzuwirken und sie auszugleichen.

Abbildung 2: Duck Curve



Quelle: California ISO (2016): Flexible Resources Help Renewables, abgerufen am 06.12.2021

Wie Grüner Wasserstoff Kalifornien helfen kann

Der Ausbau des Angebots an erneuerbaren Energien in Kalifornien hat dazu geführt, dass weitere Forschungen zu Backup-Systemen durchgeführt wurden, die sicherstellen, dass die Stromnachfrage der Verbraucher immer gedeckt werden kann. Es wird davon ausgegangen, dass bei der Elektrifizierung vieler Lösungen ein Backup-System für Redundanz sorgen muss. Der Gouverneur von Kalifornien, Gavin Newsom, veröffentlichte im Juni 2020 den Bericht *Roadmap for the Deployment and Buildout of Renewable Hydrogen Production Plants in California*. Der Bericht beschreibt die geplante Wasserstoffnutzung für kommerzielle, industrielle und private Zwecke und besagt, dass Wasserstoffmischungen oder die Umwandlung in reinen Wasserstoff ein Teil der Dekarbonisierungsstrategie Kaliforniens sind.[21]

Da sich der Bundesstaat immer schneller auf das Ziel einer 100%-Versorgung mit sauberem Strom bis 2045 zubewegt, hat grüner Wasserstoff das Potenzial einen größeren Teil des Marktes für sich zu gewinnen und neue Anwendungsfälle zu entwickeln. Das folgende Kapitel listet die Marktchancen in Kalifornien für Power-to-X-Anwendungen mit grünem Wasserstoff auf und veranschaulicht die technischen Anwendungen, die in Kalifornien für den Masseneinsatz von grünem Wasserstoff erforderlich sind (siehe auch Kapitel 5).

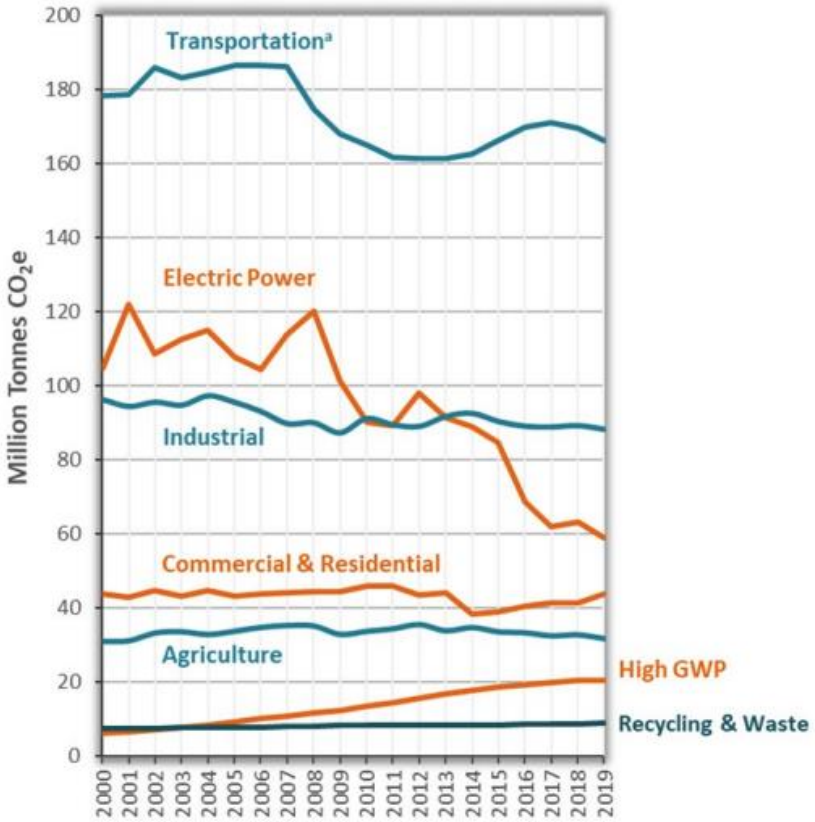
[20] Vgl. California ISO (2016): Flexible Resources Help Renewables, abgerufen am 06.12.2021
[21] Vgl. California Fuel Cell Partnership (2020): Roadmap for the Deployment and Buildout of Renewable Hydrogen Production Plants in California, abgerufen am 06.12.2021

2. Marktchancen in Kalifornien

In Kalifornien ist seit mehr als einem Jahrzehnt ein zunehmender Trend hinsichtlich erneuerbarer Energien zu beobachten, der sich insbesondere auf den amerikanischen Strommarkt auswirkt – welcher wie zuvor erwähnt für das Thema grüner Wasserstoff besonders relevant ist. Progressive staatliche Regulierungen, Innovationen und neue Geschäftskonzepte schaffen günstige Bedingungen für erneuerbare Energielösungen.

Kalifornien emittierte im Jahr 2019 über 410 Mio. t CO_2, wobei die drei größten Sektoren der Verkehr (39,7%), die Industrie (21,1%) und die Elektrizität (14,1%) waren. Es ist erwähnenswert, dass der absolute CO_2-Ausstoß in diesen Sektoren seit 2000 gesunken ist.[22] Um jedoch die kalifornischen Standards für Klimaneutralität bis 2045 zu erreichen, müssen weitere proaktive Maßnahmen durchgeführt werden. Die folgende Grafik zeigt die Entwicklung der Treibhausgasemissionen in Kalifornien in den letzten zwei Jahrzehnten.

Abbildung 3: Trends bei den Treibhausgasemissionen in Kalifornien



Quelle: California Air Resources Board (2021): California Greenhouse Gas Emissions for 2000 to 2019, abgerufen am 15.12.2021

Derzeit hat grüner Wasserstoff in vielen Wirtschaftssektoren das Potenzial, in Energie umgewandelt zu werden, um den steigenden Energiebedarf zu decken. In den drei größten Sektoren des Energieverbrauchs ist die Nachfrage rückläufig, während sie im Gewerbe- und Haushaltssektor in den letzten sieben Jahren gestiegen ist. Um diesen Anstieg einzudämmen, verabschiedete die kalifornische Legislative 2018 den Gesetzentwurf 3232, der ab dem 1. Januar 2021 neue Standards für Planung, Bau sowie Energie- und Wassereinsparung für neue Gewerbe- und Wohngebäude vorschreibt.[23] Mit der fortschrittlichen Haltung des Staates in Bezug auf die Einführung erneuerbarer Energien und mit der Verabschiedung des Gesetzes setzt Kalifornien auf neue Energieformen, einschließlich Wasserstoff, um die Treibhausgasemissionen zu reduzieren.

[22] Vgl. California Air Resources Board (2021): California's Greenhouse Gas Emissions, abgerufen am 15.12.2021
[23] Vgl. California Legislative Information (2018): Assembly Bill No. 3232, abgerufen am 15.12.2021

Plug Power Inc., ein Anbieter für Wasserstofflösungen, baut in Fresno County in Zentralkalifornien eine Anlage zur Herstellung von grünem Wasserstoff, in der täglich 30 Mio. t Flüssigwasserstoff produziert werden sollen. Die Produktionsanlage soll Energie für die gesamte Westküste der Vereinigten Staaten liefern. Andy Marsh, CEO von *Plug Power Inc.*, sagte: „Kalifornien ist weltweit führend bei der Einführung von grünem Wasserstoff und erneuerbaren Energien. *Plug Power* ist stolz darauf, Teil dieses Wandels zu sein und die anhaltende Führungsrolle Kaliforniens zu unterstützen."[24] Der Bau einer Anlage wird neue Arbeitsplätze schaffen und den Bedarf an weiteren technologischen Innovationen, einschließlich der Technologie und des Wissens deutscher Unternehmen, erhöhen.

Ein weiteres Anschauungsbeispiel befindet sich in der Stadt Lancaster in Kalifornien, denn die Stadt ist auf dem Weg, die erste Wasserstoffstadt in den Vereinigten Staaten zu werden, da Bürgermeister R. Rex Parris die Vision einer dekarbonisierten Stadt vorantreibt.[25,26] *SGH2*, ein Unternehmen, das sich auf die Vergasung von Abfällen spezialisiert hat, wird Miteigentümer der Anlage sein, die grünen Wasserstoff aus recycelten gemischten Papierabfällen herstellt und der Stadt 50 bis 75 USD pro t an Deponiekosten spart.[27] Die Stadt Lancaster ist bestrebt, Unternehmen aus der Wasserstoffbranche durch starke Kooperationen und mögliche Implementierungen verschiedener Technologien bei der Ansiedlung in der Stadt zu unterstützen.

Mit dem Bau dieser Wasserstoffproduktionsanlagen wird die Speicherung ein größeres Thema, da die gesamte erzeugte Energie nicht sofort verbraucht werden kann. Batterien sind eine kosteneffiziente Option und werden in der Regel als Kurzzeitspeicher für weniger als 24 Stunden verwendet. Durch die Speicherfunktion von Wasserstoff sind auch langfristige Speichermöglichkeiten von Energie möglich. *San Diego Gas & Electric* testet ein neues Projekt im *Palomar-Energy-Center* in Escondido, Kalifornien, nördlich von San Diego. Das Kraftwerk plant zwei Projekte zur Langzeitspeicherung von grünem Wasserstoff, womit die größte Wasserstoffspeicheranlage für erneuerbare Energien in den USA entstehen würde.[28] Deutsche Unternehmen haben hier die Möglichkeit mit eigenen Technologien zu unterstützen, da für das Projekt innovative Lösungen benötigt werden.

Auch Wasserstofftankstellen sind auf dem Vormarsch: Im Jahr 2021 wurden 52 neue Tankstellen in Betrieb genommen und für das Jahr 2023 wird mit 105 Tankstellen für schätzungsweise 105.000 Brennstoffzellen-Elektrofahrzeuge gerechnet. Da sich das Jahr 2030 nähert, in dem der Verkauf von Verbrennungsmotoren in Kalifornien eingestellt wird, wird es einen steilen Marktanstieg geben, um das schnell wachsende Netz an Wasserstofftankstellen zu unterstützen.[29,30] Kalifornien steigert nicht nur die Produktion, sondern auch ein wachsendes Netz von Anwendungen für die Nutzung von Wasserstoff, wobei Brennstoffzellenfahrzeuge eine Vorreiterrolle haben, was ein stabiles und anhaltendes Wachstum für diesen Markt erwarten lässt.

Kaliforniens Vorreiterrolle bei erneuerbaren Energien bedeutet, dass der Staat sich als einer der besten für die Erweiterung und Entwicklung zukünftiger Projekte erweist. Deutsche Unternehmen haben die Möglichkeit, ihr Wissen und ihre technologischen Lösungen einzubringen, da der Wasserstoffmarkt in Kalifornien an Dynamik gewinnt. Versorgungsunternehmen, Kommunen, Tankstellen und andere Unternehmen, die im Wasserstoff-Sektor aktiv sind, befinden sich auf der Suche nach Lösungen, die bereits im Einsatz sind und in bestehende Systeme integriert werden können, um eine schnelle Einführung zu ermöglichen. Darüber hinaus wird wichtiges Wissen über neue Systemanwendungen benötigt, um die Branche zu stärken und die Position des grünen Wasserstoffs als wichtige erneuerbare Energiequelle zu festigen. Mehr Informationen zu Projekten in Kalifornien befinden sich in Kapitel 4.

[24] Vgl. Plug Power (2021): Plug Power to Build Largest Green Hydrogen Production Facility on the West Coast, abgerufen am 30.12.2021
[25] Vgl. City of Lancaster (2020): Lancaster, CA Becomes the First Hydrogen City in the United States, abgerufen am 15.12.2021
[26] Vgl. SGH2 Energy (kein Datum): About Us, abgerufen am 15.12.2021
[27] Vgl. SGH2 Energy (kein Datum): World's Largest Green Hydrogen Project to Launch in California, abgerufen am 15.12.2021
[28] Vgl. S&P Global (2020): SDG&E plans first US Long-Duration Green Hydrogen Storage Facilities, abgerufen am 30.12.2021
[29] Vgl. California Energy Commission (2020): Joint Agency Staff Report on Assembly Bill 8, abgerufen am 30.12.2021
[30] Vgl. California Energy Commission (2021): Joint Agency Staff Report on Assembly Bill 8, abgerufen am 30.12.2021

3. Zielgruppe in der deutschen Energiebranche

Umwandlungstechnologien für die Erzeugung von grünem Wasserstoff aus erneuerbaren Energien werden allgemein als Power-to-X-Anwendungen bezeichnet und befinden sich insbesondere in Kalifornien in einer Wachstumsphase. Um notwendige Technologien für Produktion und Infrastruktur aufzubauen, fordert Kalifornien seine staatlichen Behörden zur Zusammenarbeit mit dem privaten Sektor auf. Vor diesem Hintergrund ermöglicht das einzigartige und innovative Ökosystem Kaliforniens deutschen Unternehmen gute Marktchancen.

In der folgenden Tabelle sind, die in Kalifornien benötigten, grünen Wasserstofflösungen aufgeführt. Kalifornien ist ein vielversprechender und schnell wachsender Markt für Unternehmen in diesem Bereich.

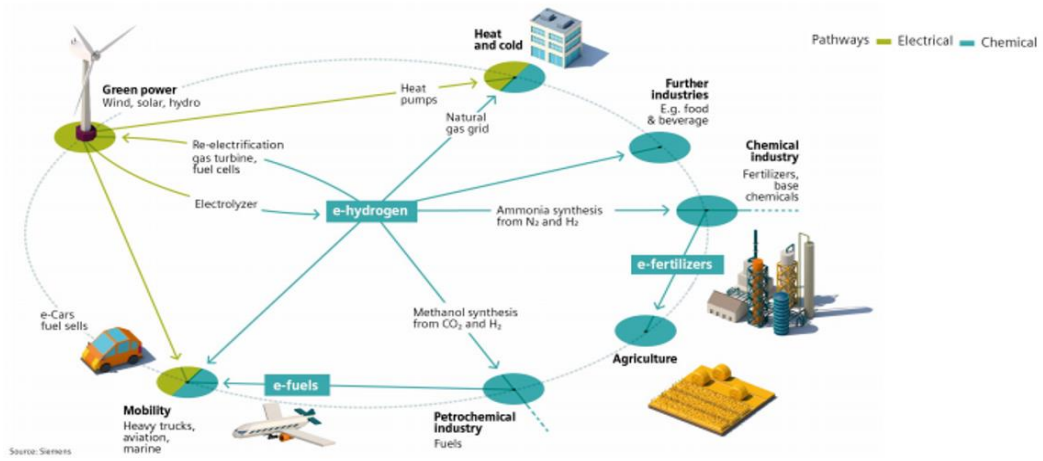
Tabelle 1: Relevante Akteure für den kalifornischen Markt

Anbieter von CO_2-Gewinnung/-Speicherung/ -Abscheidung
Anbieter von Wasserstoff- und Methanol-Brennstoffzellen
Architekten und Ingenieursdienstleiter für Ausführungsplanung
Unternehmen der dezentralen Energieerzeugung
Energieagenturen/-versorger
Forschungsinstitute
Komponentenhersteller (Wasserstoffspeicher, Tanksysteme etc.)
Netzbetreiber
Experten für Power-to-X-Anlagen
Experten für Energiespeicher
Technische Beratungsservices
Wasserstoffproduktion (Elektrolyse mit Abwärmenutzung)

Quelle: Eigene Darstellung

Die Innovationen, Komponenten und Technologien in diesem Bereich sind für den kalifornischen Markt sehr relevant. Grüner Wasserstoff und Power-to-X-Lösungen haben das Potenzial, eine Vielzahl von Sektoren wie Strom, Gas, Industrie und Verkehr zu dekarbonisieren. Deutsche Technologieanbieter können mit innovativen Produkten und Modellen die Energiewende in den USA vorantreiben.

Abbildung 4: Transportformen- und Anwendungsbereiche von grünem Wasserstoff



Quelle: Siemens (2020): e-hydrogen for deep decarbonization of all end user sectors, abgerufen am 26.10.2021

Die obige Abbildung 4 stellt dar, wie vielseitig grüner Wasserstoff in Kombination mit Power-to-X zur Reduzierung von CO_2-Emissionen in fast jedem Wirtschaftssektor verwendet werden kann. Angesichts des breiten Anwendungsspektrums der Wasserstofftechnologie und -lösungen sind deutsche Projektträger und Unternehmen in Kalifornien sehr gefragt. Mit der Reduzierung des Ölverbrauchs, der Treibhausgasemissionen und der Luftverschmutzung im Westen der USA verfolgt die kalifornische Regierung ganz ähnliche Ziele wie Deutschland, um die Kommerzialisierung der Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie voranzutreiben.

4. Potenzielle Partner und Wettbewerbsumfeld

Im Folgenden soll ein Überblick über bestehende und geplante Wasserstoffprojekte in Kalifornien gegeben werden. Während die Zahl der grünen Wasserstoffprojekte steigt, befinden sich andere Power-to-X-Konzepte noch in den Startlöchern, weshalb die Anzahl dieser zum jetzigen Zeitpunkt noch gering ist. Es ist jedoch großes Potenzial vorhanden. Durch Elektrolyse mit erneuerbarem Strom zu wettbewerbsfähigen Preisen sollen laut Prognosen die Kosten für die Herstellung von grünem Wasserstoff innerhalb von 10 Jahren niedriger sein als Wasserstoff aus fossilen Brennstoffen. Die fallenden Herstellungskosten sollen voraussichtlich nicht nur fossile Brennstoffe für die Wasserstoffproduktion verdrängen und die Dekarbonisierung beschleunigen, sondern auch Raum für Innovationen und Investitionen schaffen.[31]

4.1 Wettbewerbsumfeld

Um den Übergang zur sauberen Energie zu schaffen, setzen sich viele Länder und Gemeinden ambitionierte Ziele, ähnlich wie der Bundesstaat Kalifornien. Bis 2045 hat sich der Westküstenstaat Klimaneutralität als Ziel gesetzt und will 100% seines Stromes aus erneuerbaren Energien beziehen. Los Angeles und die Stadtwerke, das *Los Angeles Department of Water and Power (LADWP)* z.B., sehen grünen Wasserstoff als Schlüsselstrategie. Gegenwärtig sind US-Energieversorger Schlüsselakteure in der sich formierenden grünen Wasserstoffbranche. Um Kaliforniens Klimaziele zu erreichen, beteiligen sich das *LADWP*, aber auch der größte Gasversorger der USA *SoCalGas* oder die *Pacific Gas and Electric Company (PG&E)* zunächst an verschiedenen Projekten und Initiativen. Für die deutsche Wirtschaft bieten diese zahlreiche Kooperationspotenziale.

Eine wichtige Initiative ist der *HyDeal LA*, welcher 2019 von der *Green Hydrogen Coalition (GHC)* gegründet wurde. Der *HyDeal LA* soll Amerikas erster grüner Wasserstoff-Hub werden. Mit der Initiative, an der sich auch *174 Power Global Corporation* oder *8minute Solar Energy* beteiligen, wird beabsichtigt grünen Wasserstoff sektorübergreifend wettbewerbsfähig und im großen Maßstab, sowohl für den Energiesektor als auch das Transportwesen und die Industrie, verwendbar zu machen. *HyDeal LA* ist dem europäischen Modell *HyDeal Ambition* nachempfunden, welches zum Ziel hat 100% grünen Wasserstoff in Europa zu liefern. Die Ziele des *HyDeal LA* sind ähnlich und es soll eine hochwertige und wettbewerbsfähige Lieferkette für grünen Wasserstoff realisiert werden. Grüner Wasserstoff soll bis 2030 zum Preis von 1,50 USD/kg produziert werden und preislich mit fossilen Brennstoffen konkurrieren können.[32] Mit umfangreichen und kostengünstigen Solar- und Windenergieressourcen hat der Westen der Vereinigten Staaten hervorragende Voraussetzungen, um weltweit wettbewerbsfähigen und kostengünstigen grünen Wasserstoff herzustellen.[33]

Eine weitere Initiative der *GHC,* an der sich wichtige Marktakteure beteiligen, ist die *Western Green Hydrogen Initiative (WGHI),* welche die Produktion und Nutzung von grünem Wasserstoff im Westen der USA, einschließlich Kalifornien, vorantreibt. Im Kern der Initiative steht das *Intermountain Power Project (IPP)* und das *Advanced Clean Energy Storage Project*. Beim *IPP* handelt es sich um das Kohlekraftwerk der *Intermountain Power Agency* in Utah, welches das *LADWP* und somit Los Angeles mit Strom beliefert. Im Rahmen des Projektes soll das Kraftwerk bis 2025 auf Turbinen umgerüstet werden, die 840 MW Strom aus Erdgas mit 30% beigemischtem grünen Wasserstoff erzeugen. Der Anteil am beigemischten Wasserstoff soll in den kommenden Jahrzehnten auf 100% ansteigen. Erzeugt wird der Wasserstoff dabei durch Elektrolyse aus Sonnenenergie und Windkraft.[34] *Mitsubishi Power* erhielt den Auftrag zur Lieferung der Turbinen. Der deutsche Mitbewerber *Siemens Energy* ist ebenfalls am Projekt beteiligt und untersucht, wie die *Silyzer Elektrolyseure* von *Siemens* mit Kompressions-, Speicher- und Steuerungstechnologie für das Kraftwerk kombiniert werden können. Das US-Energieministerium finanziert das Projekt.[35] Gespeichert wird der erzeugte Wasserstoff zukünftig in einem nahegelegenen unterirdischen Salzstock mit einer Energiespeicherkapazität von 150.000 MWh. Die Investitionskosten im Rahmen des *Advanced Clean Energy Storage Projekts* belaufen sich auf etwa eine Mrd. USD.[34] Die Mitglieder der *WGHI* hoffen, dass nicht nur Treibhausgase und Luftverschmutzung reduziert werden können,

[31] Vgl. Green Hydrogen Coalition (2021): Green Hydrogen Guidebook, abgerufen am 30.11.2021
[32] Vgl. Green Hydrogen Coalition (2021): LADWP Joins HyDeal LA , abgerufen am 30.11.2021
[33] Vgl. SoCalGas (2021): SoCalGas Aims to Advance Transformative Hydrogen Technologies via U.S. Department of Energy Hydrogen "Eartshot" RFI, abgerufen am 05.12.2021
[34] Vgl. Greentecch Media (2020): How to Build a Geen Hydrogen Economy for the US West, abgerufen am 30.11.2021
[35] Vgl. Greentech Media (2021): How Siemens Energy Is Targeting the US Geen Hydrogen Opportunity, abgerufen am 30.11.2021

sondern dass zukünftig regelbarer Strom aus erneuerbaren Energien auch für das größere westliche US-Netz geliefert werden kann.[34] Des Weiteren hat der Industriekonzern Siemens einen Fokus auf Power-to-X gelegt. In Kalifornien liegt der Fokus auf der Versorgung des Verkehrssektors mit grünem Wasserstoff. Ein weiterer Schwerpunkt sind die *e-fuels*, besonders Ammoniak. Zudem könnte es zu einem Demonstrationsprojekt kommen, bei dem die Rolle von Wasserstoff in der Gas-Infrastruktur verdeutlicht werden soll.

In Kalifornien wird mittlerweile so viel erneuerbare Energie aus Sonne und Wind erzeugt, dass tagsüber häufig mehr Strom erzeugt wird, als verbraucht oder gespeichert werden kann. *SoCalGas* nutzt die überschüssige Energie mittels der Power-to-Gas (PtG)-Technologie: aus überschüssigem erneuerbarem Strom wird vorerst grüner Wasserstoff und dann erneuerbares Erdgas (Methan) erzeugt, welches im Erdgasnetz gespeichert und nach Bedarf verwendet werden kann. Die Umwandlung des Wasserstoffs in Methan fügt nach dem Elektrolyseprozess einen zusätzlichen Schritt hinzu, der als Methanisierung bezeichnet wird. Wenn die Methanisierung mit einem biologischen Prozess durchgeführt wird, spricht man von Biomethanisierung. Bei der Biomethanisierung wird der Wasserstoff mit Kohlendioxid kombiniert und in einen Bioreaktor eingespeist, in dem einzellige Mikroorganismen den Wasserstoff und das Kohlendioxid aufnehmen und Methan ausstoßen, um erneuerbares Erdgas (RNG) zu erzeugen. Das resultierende RNG kann dann in das Erdgasnetz eingespeist werden und in Haushaltsgeräten, Industrieprozessen, Motoren und Kraftwerken eingesetzt werden.[36]

Neben Los Angeles werden auch in Fresno County und in der Stadt Lancaster, welche die erste Wasserstoff-Metropole der USA werden will, wichtige Standorte für grünen Wasserstoff aufgebaut. In Fresno County entsteht aktuell die größte Produktionsanlage für grünen Wasserstoff an der gesamten Westküste. Diese soll täglich 30 t flüssigen grünen Wasserstoff aus Sonnenenergie produzieren und Kunden von San Diego bis Vancouver bedienen. Betreiber der Anlage und hochmodernen PEM-Elektrolyseure ist der US-Brennstoffzellenhersteller *Plug Power*. Das kalifornische Werk schließt sich damit einem wachsenden Netzwerk von Unternehmen in New York, Tennessee und Georgia an, welches bis 2025 mindestens 500 t grünen Wasserstoff produzieren will. Nach Fertigstellung will das Netzwerk emissionsfreien Kraftstoff anbieten, der preislich mit Diesel konkurrieren kann. Zudem umfasst das Projekt auch den Bau einer Abwasseraufbereitungsanlage, welche das Werk mit dem für den Betrieb notwendigen Wasser beliefern wird.[37]

Der Wettbewerber und US-Brennstoffhersteller *Bloom Energy* expandiert ebenfalls und entwickelt Elektrolyseure, um grünen Wasserstoff zur dezentralen Stromversorgung, aber auch zur Kraftstoffversorgung vor Ort bereitzustellen und einen kohlenstofffreien Transport zu ermöglichen. *Bloom Energy*, ansässig in San Jose, Kalifornien, kündigte im Juni 2019 seine ersten Brennstoffzellen an, die mit Wasserstoff betrieben werden können. Bereits ein Jahr später expandierte das Unternehmen seinen Anwendungsbereich auf die Herstellung von Elektrolyseuren und demonstrierte im November 2021 in Zusammenarbeit mit *Heliogen* in Lancaster eine kostengünstige Erzeugung von grünem Wasserstoff durch die Integration von *Blooms* proprietärem *Festoxid-Hochtemperatur-Elektrolyseur* und *Heliogens* Solartechnologie.[38]

Auch das Energieunternehmen *SGH2* plant ein Projekt in der kalifornischen Stadt Lancaster, bei dem die weltgrößte Produktionsanlage für grünen Wasserstoff gebaut werden soll. Das Ziel ist es, den grünen Wasserstoff aus Abfall zu erzeugen, der noch umweltfreundlicher ist als der auf dem Markt übliche grüne Wasserstoff. Dafür soll die *SGH2*-Technologie (*Solena Plasma Enhanced Gasification*) genutzt werden, welche neben dem kohlenstofffreien Wasserstoff auch biogene Abfallstoffe vergast und keine externe Energie verwendet. Auch preislich hat sich das Projekt hohe Ziele gesetzt. Der von *SGH2* produzierte Wasserstoff soll günstiger werden als grauer Wasserstoff, welcher zurzeit den grünen Wasserstoff preislich unterbietet, da fossile Brennstoffe für seine Herstellung genutzt werden.[39]

Hitachi Zosen Inova USA (HZIU) und das kanadische Technologieunternehmen *CHAR Technologies Ltd.* verfolgen ähnliche Ziele im Norden Kaliforniens in San Luis Obispo. Konkret wurde Mitte 2021 eine Vereinbarung getroffen über ein gemeinsames Testprojekt, bei dem auf der *HZIU*-Biogasanlage grüner Wasserstoff produziert werden soll. In San Luis Obispo werden jährlich rund 36.500 t biogene Abfälle mit dem *HZIU-eigenen Kompogas®-Trockenvergärungs-*

[36] Vgl. SoCalGas (2021): Power-to-gas technology, abgerufen am 05.01.2022
[37] Vgl. Plug Power (2021): Plug Power to Build Largest Green Hydrogen Production Facility on the West Coast, abgerufen am 30.11.2021
[38] Vgl. Bloom Energy (2021): Heliogen and Bloom Energy Lead the Way to Produce Low-Cost Green Hydrogen Following Successful Demonstration, abgerufen am 30.11.2021
[39] Vgl. SGH2 Energy (2020): World's Largest Green Hydrogen Project to Launch in California, abgerufen am 30.11.2021

Verfahren zu Biogas verarbeitet und dabei über 6 Mio. kWh Strom produziert. Zudem fallen jährlich 18.000 t feste Gärreste an, welche künftig in der neuentstehenden Installation zu 1.320 t grünem Wasserstoff aufbereitet werden und ins Netz eingespeist werden sollen.[40]

Der deutsche Konzern *Linde* ist ebenfalls dabei sein Werk in *Ontario*, Kalifornien, umzurüsten, allerdings um grünen Wasserstoff für den Mobilitätsmarkt Kaliforniens zu produzieren. Die Anlage sollte neben konventionellem Wasserstoff auch grünen Wasserstoff aus erneuerbarem Methan herstellen. Mit dieser Investition kann der Industriegasriese zunächst 2,6 t grünen Wasserstoff pro Tag produzieren, genug, um bis zu 1.600 Fahrzeuge pro Tag zu betanken und bis zu 50.000 t Kohlendioxid pro Jahr einzusparen. Da die Nachfrage nach grünem Wasserstoff wächst, plant *Linde*, seine Kapazitäten entsprechend zu erweitern.[41]

4.2 Potenzielle Partner

Aufgrund ambitionierter Klimaziele Kaliforniens sowie eines dynamischen Wachstumsmarkts bieten sich deutschen Technologie- und Energieunternehmern sowie Forschungsinstitutionen gute Kooperationspotenziale. Zu Stakeholdern der grünen Wasserstoffbranche, die an Kooperationen mit deutschen Unternehmen interessiert sein könnten, zählen u.a.:

- Energieversorger;
- Investoren und Projektentwickler;
- Industrieverbände;
- Universitäten;
- NGOs.

Insbesondere die *Green Hydrogen Coalition* (*GHC)* ist interessiert an Kooperationen und Synergien mit in- und ausländischen Technologieanbietern und Fachexperten. Zum jetzigen Zeitpunkt ist die *GHC* einer der wichtigsten Akteure und Anlaufstellen für den Markteinstieg im kalifornischen Wasserstoffmarkt. Die *GHC* ist eine im Jahr 2019 gegründete gemeinnützige Bildungsorganisation. Die Mission der *GHC* besteht darin, Richtlinien und Praktiken zu fördern, welche die Anwendung vom grünen Wasserstoff in allen Sektoren, die zu einer schnellen Dekarbonisierung beitragen, zu beschleunigen.[42] Auch der *California Hydrogen Business Council* (*CHBC*) ist eine wichtige Anlaufstelle. Der *CHBC* ist ein mitgliederbasierter Wirtschaftsverband und Fürsprecher für die Wasserstoff- und Brennstoffzellenindustrie. Das Ziel des *CHBC* ist die Förderung der Nutzung von Wasserstoff und Brennstoffzellen im Energie- und Transportsektor in Kalifornien und darüber hinaus.[43] Zusätzlich wurde 2020 mit der *United States Hydrogen Alliance* (*USHA*) eine mitgliederbasierte, gemeinnützige Vereinigung gegründet, die sich der Förderung von Wasserstoff und Brennstoffzellen im kommerziellen Sektor im Westen der USA verschrieben hat.[44]

Im Hinblick auf Forschung sind zudem die *University of California (UCI)* und das *National Fuel Cell Research Center (NFCRC)* in *Irvine* potenzielle Partner für deutsche Unternehmen. Gemeinsam mit *SoCalGas und San Diego Gas and Electric* arbeiten die beiden Forschungseinrichtungen seit Ende 2020 am *Hydrogen Blending Demonstration Program*, bei dem grüner Wasserstoff in das Gasnetz beigemischt werden soll.[45] Das *NFCRC* wurde bereits 1998 vom US-Energieministerium und der *California Energy Comission* gegründet, um die Entwicklung und Einführung der Brennstoffzellentechnologie zu beschleunigen, Marktbarrieren abzubauen und strategische Allianzen zu fördern.[46] Im Rahmen des *Clean Hydrogen Research and Development Program* stehen dem US-Energieministerium für die Entwicklung der grünen Wasserstoffwirtschaft Milliarden bereit.[47]

[40] Vgl. Hitachi Zosen (2021): Green Hydrogen for California, abgerufen am 05.11.2021
[41] Vgl. Linde (2021): Linde to Produce Green Hydrogen for Mobility Market in California, abgerufen am 07.12.2021
[42] Vgl. Green Hydrogen Coalition (2021): About GHC, abgerufen am 30.11.2021
[43] Vgl. California Hydrogen Business Council (2018): About Us, abgerufen am 08.12.2021
[44] Vgl. WSHA (2021): About WSHA, abgerufen am 30.11.2021
[45] Vgl. UCI (2020): UC Irvine Research Program Takes Step Toward Affordable Energy, abgerufen am 08.12.2021
[46] Vgl. UCI (2021): National Fuel Cell Research Center, abgerufen am 08.12.2021
[47] Vgl. National Law Review (2021): Infrastructure Investment and jobs Act: Accelerating the Development of Hydrogen, abgerufen am 08.12.2021

5. Technische Lösungsansätze

In der weltweiten Energiewende spielen Wasserstofftechnologien eine immer größer werdende Rolle. Das Streben nach einer umweltfreundlichen Energieversorgung wächst und kann nur mit Hilfe von innovativen Ansätzen und Technologien verwirklicht werden. In diesem Kapitel wird ein Einblick in die Herstellung von grünem Wasserstoff und Power-to-X-Technologie in Kalifornien gegeben.

5.1 Wasserstoff

Wasserstoff ist ein farbloses, geschmackloses Gas und eines der leichtesten und häufigsten vorkommenden Elemente auf dem Planeten. Weitestgehend ist das Element H_2 chemisch gebunden, in Form von beispielsweise Wasser, Säure, Kohlenwasserstoff oder organischen Verbindungen und selten in seiner elementaren Form aufzufinden. Das Gas kann zur Herstellung von Stoffen wie Methanol, Salzsäure oder als Reduktionsmittel bei der Gewinnung von Metallen genutzt werden. Es spielt jedoch auch eine immer wichtiger werdende Rolle in der umweltfreundlichen Energiegewinnung. Wasserstoff ist hierbei als Energieträger, somit als Sekundärenergie zu verstehen und nicht als Energiequelle.[48] Um diesen erneuerbaren Energieträger zu nutzen, muss dieser zunächst gewonnen werden, indem Wasserstoff vom chemisch gebundenen Element Sauerstoff gelöst wird. Hierbei gibt es verschiedene Verfahren, bei denen je nach Art der Herangehensweise der Wasserstoff in unterschiedliche Farben eingeteilt wird. Die zurzeit am häufigsten vorkommende Form ist grauer Wasserstoff. Dieser wird mit Hilfe von fossilen Energieträgern gewonnen und zählt daher nicht zu der umweltfreundlichen Wasserstoffgewinnung. Eine andere Variante ist blauer Wasserstoff. Dieses Verfahren ist dem der grauen Wasserstoffgewinnung sehr ähnlich, hat aber den Unterschied, dass das CO_2 nicht in die Atmosphäre ausgestoßen, sondern z.B. unterirdisch gespeichert oder in bestimmten Industriebereichen genutzt wird. Die umweltfreundlichste Farbe von Wasserstoff ist grün. Für die Herstellung wird ausschließlich grüne Energie, hauptsächlich Wind- oder Solarenergie, genutzt.[49,50] Viele Länder, darunter die USA und Deutschland, sehen grünen Wasserstoff als die Zukunft an, weshalb im Folgenden der Fokus auf diese Farbe gelegt wird.

Abbildung 5: Farben des Wasserstoffs

- **Grün**: Erneuerbare Energien
- **Blau**: Fossile Energieträger & Kohlenstoffabscheidung und -speicherung (CCS)
- **Türkis**: Methanpyrolyse
- **Orange**: Bioenergie
- **Rot**: Kernenergie
- **Weiß**: Natürliches Vorkommen
- **Grau**: Erdgasreformierung
- **Braun**: Braunkohle
- **Schwarz**: Steinkohle

Quelle: IKEM (2020): Wasserstoff -Farbenlehre, abgerufen am 18.11.2021

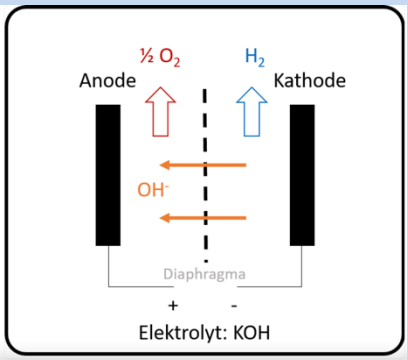
Herstellung von grünem Wasserstoff

Grüner Wasserstoff beginnt mit der Elektrolyse. Dies ist ein Prozess, bei dem elektrische Energie in chemische umgewandelt wird. Um den Prozess grün und somit umweltfreundlich zu machen, muss die elektrische Energie aus erneuerbaren Energien gewonnen werden. Dazu zählen u.a. Wasserkraft, Sonnen- und Windenergie. Laut dem *U.S. Office for Energy Efficiency & Renewable Energy* kann hierfür auch Nuklearenergie genutzt werden, Kalifornien hat jedoch im Oktober 2021 entschieden sein letztes Kernkraftwerk 2025 abzuschalten.[51, 52] Mit Hilfe des grünen Stroms kann Wasser in seine zwei Elemente Wasserstoff und Sauerstoff gespalten werden. Das Grundprinzip besteht darin, zwei Elektroden (Kathode und Anode) in ein Gemisch aus Wasser und Schwefelsäure zu tauchen. Wird nun der Strom hinzugefügt, wandern die positiv geladenen Ionen zu der negativ geladenen Kathode und die negativ geladenen Anionen zu der positiv geladenen Anode. Schlussendlich kann Wasserstoff im Kathodenraum und Sauerstoff im Anodenraum getrennt vorgefunden werden.[53] Der Elektrolyseprozess kann als eine Power-to-X-Variante bezeichnet werden, nämlich Power-to-Wasserstoff oder Gas. Erwähnenswert ist jedoch, dass für die Wasserstoffproduktion im großen Maße, in Kalifornien, genau wie in Deutschland, unterschiedliche Elektrolyseure verwendet werden können. Die drei geläufigsten sind:

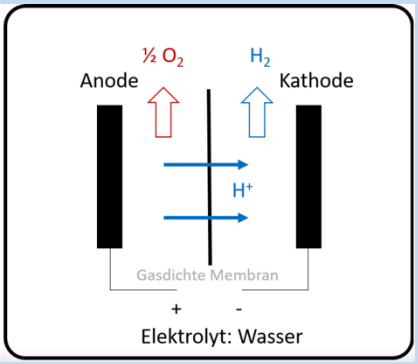
[48] Vgl. Lernhelfer (2021): Wasserstoff, abgerufen am 18.11.2021
[49] Vgl. Bundesministerium für Bildung und Forschung (2020): Eine kleine Wasserstoff-Farbenlehre, abgerufen am 18.11.2021
[50] Vgl. IKEM (2020): Wasserstoff -Farbenlehre, abgerufen am 18.11.2021
[51] Vgl. Energy.Gov (kein Datum): Hydrogen Production: Electrolysis, abgerufen am 19.11.2021
[52] Vgl. CNBC (2021): Why California is shutting down its last nuclear plant, abgerufen am 19.11.2021
[53] Vgl. Chemie.de (kein Datum): Elektrolyse, abgerufen am 19.11.2021

Abbildung 6: Elektrolyseprozesse – Alkalische Elektrolyse, PEM, Hochtemperatur-Elektrolyse

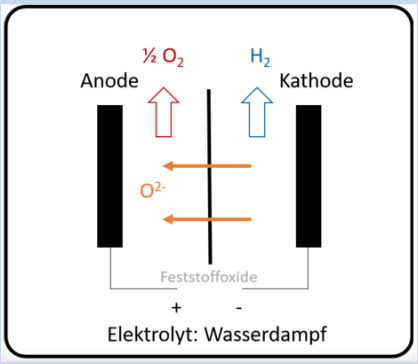
Die alkalische Elektrolyse: Das Verfahren der alkalischen Elektrolyse existiert bereits seit 80 Jahren und ist damit das älteste und technisch ausgereifteste. Diese Methode ähnelt dem zuvor erklärten Grundprinzip sehr und gehört zu den Niedrigtemperaturverfahren. Als Elektrolyt wird hier eine alkalische wässrige Lösung (Kaliumhydroxid) verwendet. Die beiden Elektroden werden, wie in der rechten Abbildung aufgezeigt, von einer sogenannten permeablen Membran getrennt. Das bedeutet, dass die Membran nur für bestimmte Stoffe durchlässig ist, in diesem Fall Hydroxidionen (OH^-). Die alkalischen Elektrolyseure sind kommerziell nutzbar und verfügen über eine Lebensdauer von 30 Jahren. Zudem werden keine teuren Edelmetalle benötigt, es können aber einige Wartungskosten aufkommen, da die Materialien korrosiv werden. Ein weiterer Nachteil ist, dass Netzwerkschwankungen nicht so gut ausgeglichen werden können wie bei der PEM.



Proton-Austausch-Membran: Dieses Niedrigtemperaturverfahren kann auch als Polymer-Elektrolyt-Membran, kurz PEM, bezeichnet werden. Bei dieser relativ neuen Technologie wird die Anode und Kathode durch eine gasdichte, protonleitende Polymermembran getrennt. Es wird bei der PEM kein KOH als Elektrolyt benötigt, sondern ausschließlich Wasser. Die zwei Elektroden enthalten jedoch Ionomere, welche eine saure Eigenschaft haben und den Ionentransport möglich machen. Das bedeutet, dass das saure Milieu dafür sorgt, dass die Wasserstoff-Ionen, nach ihrer Trennung vom Sauerstoff auf der Anodenseite, zu der Kathode wandern (siehe Abbildung rechts). Durch den Säuregrad des Wassers müssen die Elektroden aus Edelmetallen bestehen, wodurch diese Art der Elektrolyse teurer als die alkalische ist. Ein großer Vorteil ist allerdings, dass die PEM-Elektrolyse sehr gut mit Netzwerkschwankungen umgehen kann und dadurch zu einer beliebteren Variante wird.



Hochtemperatur-Elektrolyse: Die Hochtemperaturverfahren sind noch sehr neu auf dem Markt, werden aber intensiv erforscht und können zukünftig an Bedeutung gewinnen. Im Gegensatz zu den anderen Verfahren wird hier kein Wasser, sondern Wasserdampf gespalten. Dafür wird ein sogenanntes Festoxid (*SOEC: solid oxide electrolyser cell*) benötigt, welches Sauerstoffionen bei hoher Temperatur leitet. Die Temperaturen liegen laut verschiedenen Quellen zwischen 600 und 1.000˚C. Durch die hohen Temperaturen entsteht viel Abwärme, was besonders in Industrieprozessen großes Potenzial verspricht. Ebenfalls vorteilhaft ist, dass weniger Energie für die Spaltung von Wasserdampf verwendet werden muss. Die Temperaturen werden jedoch zur Herausforderung bei der Belastung der Materialien, was die Lebensdauer verkürzt und das Verfahren teuer macht.



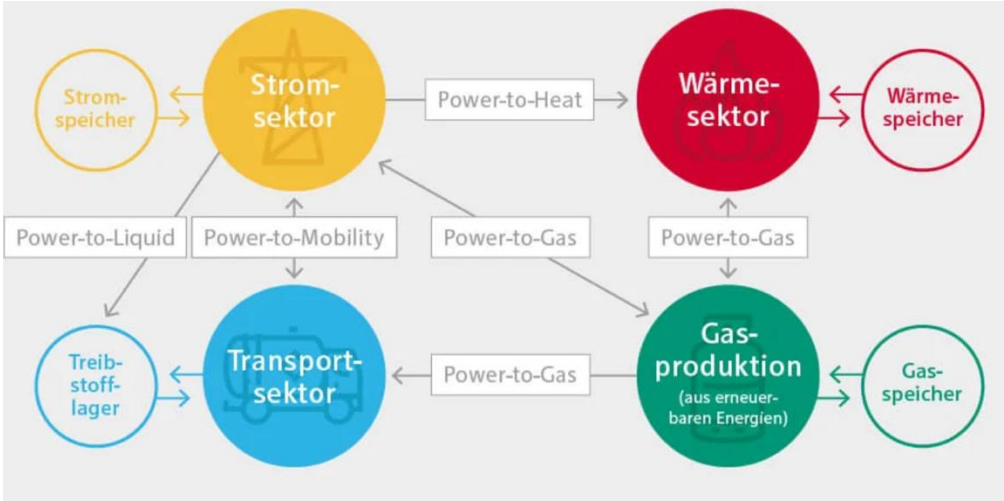
Quelle: FfE (2021): Elektrolyse – Die Schlüsseltechnologie für Power-to-X, abgerufen am 23.11.2021, Forschungszentrum Jülich GmbH (kein Datum): Alkalische Elektrolyse, abgerufen am 23.11.2021, Energy.Gov (kein Datum): Hydrogen Production: Electrolysis, abgerufen am 23.11.2021, Springer Professional (2021): Wie sich Elektrolyseure für die Massenproduktion eignen, abgerufen am 23.11.2021, Forschungszentrum Jülich GmbH (kein Datum): Polymerelektrolytmembran-Elektrolyse, abgerufen am 23.11.2021, Virtuelles Institut: Strom zu Gas und Wärme (2015): Technologiecharakterisierungen, abgerufen am 23.11.2021, Stefan Best, Daniel Becker und Detlef Schulz (kein Datum): Power-to-Gas- Funktionsweise, Technologien und Anwendungen, abgerufen 23.11.2021, EMCEL (2021): Welche Vorteile bietet die Hochtemperatur-Elektrolyse?, abgerufen am 23.11.2021

Die Verwendung der in Abbildung 6 beschriebenen Verfahren variiert in Kalifornien. Bei einem Wasserstoffprojekt von *SoCalGas* und dem Unternehmen *Bloom Energy* soll grüner Wasserstoff in das existierende Erdgasnetz eingespeist werden. *Bloom Energy* nutzt dafür einen Hochtemperatur-Elektrolyseur, da sie diesen als effizienter ansehen als die anderen zuvor genannten Optionen.[54] Das Unternehmen *Siemens Energy* vertraut hingegen mehr auf die Technologie des PEM-Elektrolyseurs, wenn es darum geht Power-to-X-Verfahren in Kalifornien voranzutreiben.[55] Das Gleiche gilt für das Unternehmen *Plug Power*, welches, wie im vorherigen Kapitel zu lesen, mit hochmodernen PEM-Elektrolyseuren die größte Produktionsanlage für grünen Wasserstoff an der gesamten Westküste errichten will. Jedoch unabhängig davon, welche Technologie einzelne Unternehmen verwenden, ist es das allgemeine Ziel die Kosten für die Wasserstoffproduktion in naher Zukunft zu senken, um grünen Wasserstoff wettbewerbsfähig zu machen und im gesamten *Golden State* sektorenübergreifend nutzen zu können.

5.2 Sektorkopplung

Der soeben beschriebene Wasserstoff bietet eine gute Grundlage, um auf nationaler Ebene Klimaneutralität und Nachhaltigkeit zu erreichen. Doch Wasserstoff allein ist nicht ausreichend, ein weiteres wichtiges Schlagwort beim Kampf gegen den Klimawandel ist die Sektorkopplung. Bei der Sektorkopplung geht es darum verschiedene Sektoren miteinander zu verbinden und erneuerbare Energie effizient zu verteilen. Dies bietet einen Vorteil, da erneuerbare Energien volatil sind und dadurch zu unterschiedlichen Zeiten ungleiche Mengen an Energie erzeugen, wodurch ungenutzter Strom verloren geht.[56] Durch die Vernetzung der Sektoren Strom, Wärme, Transport und Industrie wird mehr Flexibilität geschaffen und überschüssiger Strom kann da genutzt werden, wo dieser gebraucht wird oder kann gespeichert werden. Zudem wird bei der Sektorkopplung zwischen einer direkten und indirekten Verteilung unterschieden, die sogenannte unmittelbare und mittelbare Elektrifizierung. Bei der unmittelbaren Verteilung wird der Strom direkt genutzt, um beispielsweise Elektroautos oder Wärmepumpen zu betreiben. Bei der mittelbaren Verteilung wird der grüne Strom hingegen in Energieträger, beispielsweise Wasserstoff, umgewandelt und später genutzt.[57] Bei dieser indirekten Verteilung kommen die Power-to-X-Technologien ins Spiel, denn sie sind ein wichtiges Instrument der Sektorkopplung. Während das Thema Sektorkopplung in Deutschland ein allgegenwärtiger Begriff ist und von vielen Experten als Schlüsselelement gesehen wird, ist die Idee in den USA und auch in Kalifornien noch nicht weit verbreitet. Bei Experteninterviews stellte sich heraus, dass, mit Ausnahme von *Siemens Energy*, vornehmlich in separaten Sektoren gedacht wird und die möglichen Verknüpfungen und resultierenden Synergien seltener gesehen werden. Die folgende Abbildung veranschaulicht sehr gut, inwiefern die Sektoren mit Hilfe von Power-to-X vernetzt werden können und welche Vorteile sich hier für Kalifornien eröffnen können.

Abbildung 7: Schema der gekoppelten Sektoren



Quelle: en:former (2018): Strom, der neue Brennstoff, abgerufen am 29.11.2021

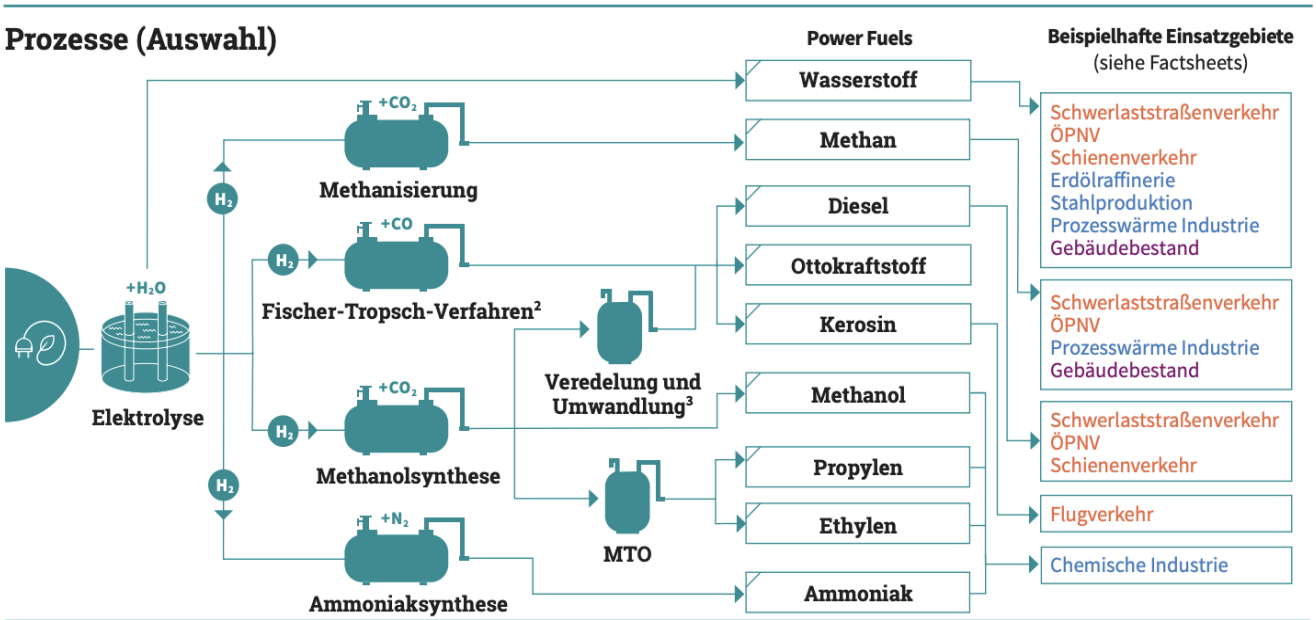
[54] Vgl. SoCalGas Newsroom (2021): SoCalGas and Bloom Energy Collaborate on New Hydrogen Project, abgerufen am 26.01.2022
[55] Vgl. Siemens energy (2021): Hydrogen Solutions, abgerufen am 26.01.2022
[56] Vgl. green energy lab (2021): Sektorkopplung – ein wesentlicher Beitrag zur Energiewende, abgerufen am 29.11.2021
[57] Vgl. en:former (2018): Strom, der neue Brennstoff, abgerufen am 29.11.2021

5.3 Power-to-X

Power-to-X (PtX oder P2X) ist ein Sammelbegriff für verschiedene Arten der Energieerzeugung. Es ist ein Mittel und eine Technologie, bei der mit Hilfe von erneuerbaren Energien kohlenstoffintensive Stoffe in klimaneutrale Stoffe umgewandelt werden. Das X kann dabei für eine Vielzahl von Stoffen oder Prozessen stehen, beispielsweise Power-to-Gas, Power-to-Liquid, Power-to-Fuel, Power-to-Chemicals, Power-to-Power oder Power-to-Heat/-Cold.[58]

Während Power-to-X-Prozesse noch sehr neu auf dem kalifornischen Markt sind, ist das Prinzip von Power-to-X an sich nicht neu: Ein bereits beschriebenes Beispiel dafür ist die Elektrolyse (siehe Abbildung 6). Zurzeit wird der aus der Elektrolyse entstandene Wasserstoff meistens direkt verwendet, beispielsweise um Fahrzeuge zu betreiben. Die CEC investierte bereits in 100 Wasserstofftankstellen in ganz Kalifornien und plant diese Technologie auch in Zukunft weiter zu fördern und auszubauen.[59] Häufig ist dieses PtG-Verfahren und der gewonnene Wasserstoff aber nur der erste Schritt bzw. die Grundlage für weitere PtX-Prozessketten. Der Wasserstoff kann mit Hilfe von Kohlenstoffdioxid, Kohlenstoffmonoxid oder Stickstoff in andere, umweltfreundlich produzierte Stoffe umgewandelt werden. Bei Kraftstoffen wird dann beispielsweise von *e-fuels* gesprochen, die in vielen Einsatzgebieten genutzt werden können. Zum besseren Verständnis veranschaulicht die folgende Abbildung den Prozess:

Abbildung 8: Power-to-X-Verfahren



Quelle: Deutsche Energie-Agentur (2019): Power to X: Technologien, abgerufen am 17.11.2021

Die Abbildung 8 zeigt den Verlauf für Power-to-Fuel-Verfahren. Mit der zuvor erklärten Elektrolyse wird Wasserstoff hergestellt und im nächsten Schritt mit anderen Stoffen, meistens CO_2, vereint. Woher das CO_2 kommt, wird ausführlich unter dem nächsten Punkt erläutert. Durch Power-to-X-Technologien würden die Emissionen in Bereichen wie Verkehr, Wärme und Industrie verringert werden und der Strombranche würde dabei geholfen werden, erzeugte Energie zu speichern und auf Nachfrage zu verteilen.[60,61,62] In Kalifornien ist besonders der letzte Punkt interessant, da je nach Jahres- und Tageszeit die Gewinnung erneuerbarer Energien schwankt, wodurch häufig erneuerbare Energiesysteme abgeriegelt werden müssen (mehr dazu unter 1.2). Einige kalifornische Interessenvertreter aus dem Bereich der erneuerbaren Energie sind der Meinung, dass besonders Power-to-Gas, speziell Methan, als langfriste Speicheralternative eine entscheidende Rolle spielen kann. Die Studie *Path to 100% Renewables in California* des Unternehmens Wärtsilä

[58] Vgl. H2international (2019): What exactly is power-to-X?, abgerufen am 29.11.2021
[59] Vgl. California Energy Commission (kein Datum): Hydrogen Vehicles & Refueling Infrastructure, abgerufen am 26.01.2022
[60] Vgl. Deutsche Energie-Agentur (2019): Power to X: Technologien, abgerufen am 29.11.2021
[61] Vgl. VDI (2021): Power-to-X-Technologien für die Sektorkopplung, abgerufen am 29.11.2021
[62] Vgl. EnergieSystemForschung (2021): Stromversorgung aller Branchen verknüpfen, abgerufen am 29.11.2021

zeigt, dass mit Hilfe von Power-to-Methan Kaliforniens Ziel von 100% grüner Stromversorgung fünf Jahre früher erreicht werden kann als mit dem aktuell eingeschlagenen Weg. Zudem könnten so 124 Mio. t weniger CO_2 ausgestoßen sowie Landfläche und Gelder in Höhe von 8 Mio. USD eingespart werden.[63]

Kohlenstoffdioxid-Gewinnung

Wie zuvor erklärt, werden für viele PtX-Prozesse CO_2 (oder andere Stoffe) verwendet. Die Gewinnung des benötigten Kohlenstoffdioxids kann aus verschiedenen Quellen erfolgen. Es kann direkt aus der Atmosphäre, aus Abgasströmen, bei der Aufbereitung von biogenen oder fossilen Brennstoffen, bei Industrieprozessen oder auch bei der Vergärung von Biomasse entnommen werden. In der Luft ist der Anteil an CO_2 sehr gering und zudem ist die Abscheidung von CO_2 aus der Atmosphäre sehr energieintensiv. Der Vorteil ist jedoch, dass Luft überall auf der Welt verfügbar ist, weshalb das CO_2 durch Ab- und Adsorptionsprozesse gewonnen werden kann. Häufiger und bereits großtechnisch eingesetzt ist die Gewinnung aus Abgasströmen. Hierbei werden Gase oder auch Dämpfe mit Hilfe eines flüssigen Absorptionsmittels gelöst. Bei Industrieprozessen, vorrangig bei Eisen, Stahl, Zement und Raffinerien, entstehen viele CO_2-Emissionen, welche durch Abscheidetechniken davon abgehalten werden können in die Atmosphäre zu gelangen. Bei der letzten Möglichkeit werden organische Abfälle oder Reststoffe in Biogasanlagen vergärt, wodurch Rohbiogas entsteht. Dieses Biogas soll ins Erdgasnetzwerk eingespeist werden. Dies geht aber nur, nachdem bestimmte Gaskomponenten, wie CO_2, entfernt wurden.[64] All diese Verfahren existieren zwar, werden jedoch durch den noch so neuen Power-to-X-Markt in Kalifornien noch sehr selten genutzt, um das CO_2 in umweltfreundliche Stoffe umzuwandeln. Das *California Air Resources Board (CARB)* verfolgt beispielsweise die sogenannte CCS (*Carbon capture and sequestration*)-Strategie. Diese beinhaltet die Injektion von CO_2 in geologische Formationen (z.B. erschöpfte Öl- und Gaslagerstätten und Salzformationen) sowie die Verwendung in Industriematerialien (z.B. Beton).[65] Um den Power-to-X-Prozess weiterzuführen, muss das CO_2 weiter umgewandelt werden. Die Verarbeitung des Wasserstoffes und des Kohlenstoffdioxids (o.Ä.) hängt im nächsten Schritt davon ab, welches Verfahren genutzt wird und vor allem welcher Stoff der Ausgangsstoff sein soll. In der zuvor gezeigten Abbildung 8 werden einige Beispiele aufgezeigt. Durch die Methanolsynthese oder das Fischer-Tropsch-Verfahren können mit Hilfe von Kohlenmonoxid und Wasserstoff synthetische Flüssigkraftstoffe wie E-Diesel, E-Benzin oder E-Kerosin hergestellt werden. Die Methanolsynthese kann allerdings auch, so wie die Ammoniaksynthese oder die MTO, chemische Synthesen erzeugen.[66] Der Vorteil ist, dass viele der durch Power-to-X entstehenden Stoffe in die heutige Infrastruktur übernommen werden können, ohne große Veränderungen vornehmen zu müssen. Dadurch, dass der kalifornische Markt in Bezug auf Power-to-X-Prozesse noch wenig etabliert ist, haben besonders deutsche Unternehmen durch ihr technisches Fachwissen gute Chancen auf diesem Markt Fuß zu fassen.

Ein Beispielverfahren: Power-to-Methan

Da das Power-to-X-Verfahren sehr vielseitig sein kann und viele Variablen für X eingesetzt werden können, wird im Folgenden kurz der Power-to-Gas (PtG)-Vorgang beschrieben. PtG sind alle Technologien, bei denen erneuerbare Energie in ein Gas umgewandelt werden, hier soll speziell auf das Produzieren des brennbaren Gases Methan eingegangen werden. Dieses Verfahren ist eines der ersten in Kalifornien und kommt von dem Energieversorger *SoCalGas*, welcher hier eine Lösung sieht, die Überproduktion der Solarenergie zu adressieren. Wie bereits beschrieben wird zunächst grüner Wasserstoff durch die Elektrolyse erzeugt und konzentriertes Kohlenstoffdioxid durch einen der zuvor beschrieben Vorgänge gewonnen, beispielsweise aus Abgasen von Kraftwerken mit Verbrennung fossiler Energieträger. Mit diesen beiden Stoffen kann dann eine katalytische Methanisierung erfolgen. Dabei reagieren H_2 und CO_2 bei sehr hohen Temperaturen um die 300˚C zu Methan und Wasser. Dieser Prozess ist exotherm, was bedeutet, dass Wärme freigesetzt wird und dem Prozess der Methanisierung einen Wirkungsgrad von ca. 80% gibt. Das dabei entstandene e-Methan (CH_4) kann dann z. B. als synthetisches Erdgas in das Erdgasnetz eingespeist werden.[67,68]

[63] Vgl. Power (2020): Power-to-Gas Offers an Optimal Path for a Carbon-Free California, abgerufen 26.01.2022
[64] Vgl. Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg (2019): CO2-Quellen für die PtX-Herstellung in Deutschland - Technologien, Umweltwirkung, Verfügbarkeit, abgerufen am 01.12.2021
[65] Vgl. California Air Resources Board (kein Datum): Carbon Capture & Sequestration, abgerufen 26.01.2022
[66] Vgl. Deutsche Energie-Agentur (2019): Power to X: Technologien, abgerufen am 01.12.2021
[67] Vgl. RP-Energie-Lexikon (kein Datum): Methanisierung, abgerufen am 08.12.2021
[68] Vgl. SoCalGas (kein Datum): Power-To-Gas Technology, abgerufen am 26.01.2022

6. Relevante rechtliche und wirtschaftliche Rahmenbedingungen

In diesem Kapitel werden zunächst aktuelle politische Rahmenbedingungen innerhalb der USA näher erläutert, die den grünen Wasserstoffmarkt beeinflussen. Im weiteren Verlauf werden anschließend konkrete Förderungsmaßnahmen in Kalifornien beschrieben. In den USA werden energiepolitische Ziele vornehmlich auf Ebene der 50 US-Bundesstaaten beschlossen.
Die rechtlichen Rahmenbedingungen im Bereich erneuerbare Energien variieren je nach Bundesstaat zum Teil erheblich.

6.1 Förderprogramme und steuerliche Anreize

Politische Unterstützung, sowohl in Form von Innovationsfinanzierung – zu der die Biden-Harris-Regierung ihr kontinuierliches Engagement signalisiert hat– als auch Bereitstellungsfinanzierung oder Anreize wie eine Steuergutschrift für die Produktion von sauberem Wasserstoff, werden für das kurzfristige Wachstum von entscheidender Bedeutung sein. Technologieneutrale Anreize, die sich vorwiegend auf die CO_2-Intensität als auf die Produktionsmethode konzentrieren, werden die Produktion von sauberem Wasserstoff am effektivsten beschleunigen. Zusätzlich werden saubere Produktionsmethoden dazu beitragen, wettbewerbsfähiger zu werden, Innovationen schneller voranzutreiben und die Herausforderung zu meistern, den Bedarf an Wasserstoff in den USA zu decken.[69]

Das *Loans Programs Office (LPO)* hat die Aufgabe, US-Energieinfrastrukturprojekten Zugang zu Fremdkapital zu verschaffen. Das innovative Energiekreditgarantieprogramm von *LPO* verfügt derzeit über Kreditkapazitäten von über 20 Mrd. USD für innovative Energieprojekte in den USA, welche die Treibhausgasemissionen reduzieren. Eine breite Palette von Projekten kann in den Bereichen Energieeffizienz, erneuerbare Energien, fortschrittliche fossile Brennstoffe und Kernenergie förderfähig sein. Die *LPO*-Finanzierung kann für Projekte geeignet sein, die sich in einem frühen Stadium der Kommerzialisierung befinden oder unkonventionelle Technologien beinhalten. Ziel ist es, innovative Projekte oder Technologien replizierbar und bankfähig für zukünftige, gewerbliche Finanzierungen zu machen. Das *LPO* vergibt Darlehen, die typischerweise als Projektfinanzierungen mit begrenztem Regress strukturiert sind und dient den Antragstellern während der gesamten Projektlaufzeit als wertvoller Partner. *LPO* kann eine flexible Finanzierung anbieten, die auf die spezifischen Bedürfnisse jedes Projekts zugeschnitten ist.[70] Insgesamt stehen 4,5 Mrd. USD für erneuerbare Energien, Chemikalien und Produkte in Wasserstoff zur Verfügung – die Finanzierung kann bis zu 12 Monate dauern.

Tabelle 2: Finanzierungsinstitutionen und -möglichkeiten

Finanzierungsinstitution	Finanzierungsmöglichkeit
Departement of Energy (DOE)	Das DOE kann Projekte einzeln oder insgesamt finanzieren, jede Finanzierung in Titel XVII, Abschnitt 1703 seines Darlehensgarantieprogramms, wenn die Technologie neu und einzigartig ist – d.h. es gibt nicht drei oder mehr Projekte, die genau dieselbe Technologie verwenden, die in den Vereinigten Staaten in den letzten fünf Jahren ab dem Datum der Antragstellung kommerziell tätig waren.
US-Landwirtschaftsministerium	Das Darlehensgarantieprogramm des US-Landwirtschafts-ministeriums USDA 9003 kann einzelne Projekte mit bis zu 250 Mio. USD an vorrangigen Schulden pro Antrag finanzieren. Dieses Programm ist wettbewerbsfähig und wird zweimal pro Geschäftsjahr angeboten. Es dauert 8-12 Monate, um eine Finanzierung

[69] Vgl. Atlantiv Council (2021): Hydrogen Policy Sprint, abgerufen am 09.11.2021
[70] Vgl. Loan Programs Office (2021): H2@Scale, abgerufen am 09.11.2021

	abzuschließen. USDA kann Projekte, die mindestens 12 Monate lang irgendwo auf der Welt kommerziell laufen, bis zu 25 Mio. USD an vorrangigen Schulden in jedem seiner Section 9007- und *Business & Industry Loan Guarantee-Programme* finanzieren. Das USDA 9007 beträgt etwa 400 Mio. USD pro Geschäftsjahr, das Kreditgarantieprogramm für Unternehmen und Industrie mehr als 1 Mrd. USD pro Geschäftsjahr, von denen beide zusammen innerhalb von sechs Monaten eine Finanzierung bereitstellen können.[71]

Tabelle 3: Finanzierungsinstitutionen und -möglichkeiten in Kalifornien

Finanzierungsinstitution in Kalifornien	Finanzierungsmöglichkeit in Kalifornien
California Energy Commission (CEC)	Die *California Energy Commission (CEC)* verfügt über 115,7 Mrd. USD an kalifornischen Fördermitteln für die Wasserstoffbetankung, um die frühen kommerziellen Märkte für Wasserstoffbetankung und Brennstoffzellen-Elektrofahrzeuge (FCEV) auszubauen und die geplante Einführung von FCEV in den Jahren 2021-2024 ermöglichen zu können.

Kalifornien ist dank seiner fortschrittlichen politischen Rahmenbedingungen ein weltweiter Vorreiter auf dem Wasserstoffmarkt. Die *Assembly Bill* sieht jährlich 20 Mio. USD für das *„Alternative and Renewable Fuel and Vehicle Technology Program"(ARFVTP)* für Wasserstofftankstellen vor, um das Ziel von 200 installierten Wasserstofftankstellen bis 2025 zu erreichen.[72] Laut Andrew Martinez von *California Air Resources Board* gibt es zurzeit mehr als 170 Pläne für Wasserstofftankstellen, die alle in Kalifornien entwickelt werden (ungefähr 23 Stationen davon werden vollständig privat finanziert). Der *Golden State* hat sich das Ziel gesetzt, eine große Anzahl an Wasserstoffproduktionsanlagen, die entweder in Kalifornien geplant sind oder Kalifornien bedienen sollen, wie *Air Liquide* (30 t pro Tag) in der Nähe von Las Vegas, *Plug Power* (30 t pro Tag) in der Nähe von Fresno und *SGH2* (11 t pro Tag) in Lancaster, zu fördern.[73]

6.2 Zugang zu Projekten

Das *DOE* hat im Jahr 2020 rund 64 Mio. USD in 18 Projekte investiert, die auf die Herstellung, Speicherung, Verteilung und Nutzung von kosteneffizientem Wasserstoff abzielen. Der Zweck besteht darin, Forschungs-, Entwicklungs- und Demonstrationsaktivitäten zu fördern und die Vorteile von Wasserstoff in der gesamten Wirtschaft voll auszuschöpfen. Mit dieser Investition soll der Einsatz von Wasserstoff nicht nur in Häfen und Rechenzentren, sondern auch in Industriezweigen wie der Stahlerzeugung gefördert werden. Darüber hinaus werden diese Bemühungen zum Aufbau eines umfassenden Schulungsprogramms beitragen, das den Grundstein für die Ausbildung von Fachkräften für Wasserstoff und Brennstoffzellen in den Vereinigten Staaten legt.[74]

Das *DOE* finanziert *R&D*-Bemühungen, welche die Grundlage für die kurz-, mittel- und langfristige Produktion, Lieferung, Speicherung und Nutzung von grünem Wasserstoff aus verschiedenen heimischen Energiequellen bilden. Um die gesamte Bandbreite der Vorteile von Wasserstoff zu nutzen, zielt das Programm darauf ab, Wasserstoff und verwandte Technologien für eine Vielzahl von Anwendungen mit unterschiedlichen Zeitrahmen für die kommerzielle Nutzung voranzubringen. Das Programm ermöglicht diese Projekte, indem es Kosten senkt, die Leistung und Haltbarkeit von Wasserstofferzeugungs-, -versorgungs-, -speicher- und -umwandlungssystemen verbessert und technologische,

[71] Vgl. Interview mit Mark Riedy, Counsel Kilpatrick Townsend & Stockton LLP, durchgeführt am 10.11.2021
[72] Vgl. California Air Resources Board (2018): Annual Evaluation of Fuel Cell Electric Vehicle Deployment & Hydrogen Fuel Station Network Development, abgerufen am 09.11.2021
[73] Vgl. Interview mit Andrew Martinez, California Air Resources Board, durchgeführt am 29.11.2021
[74] Vgl. Loan Programs Office (2021): H2@Scale, abgerufen am 27.11.2021

regulatorische und marktbezogene Hindernisse beseitigt. Es unterstützt auch die Integration von grünem Wasserstoff in traditionelle Energiesysteme und das Potenzial für den großtechnischen Einsatz und die Nutzung durch die Kombination verschiedener Quellen von Wasserstoffangebot und -nachfrage.[75]

Der Großteil von *R&D*-Vergaben für das *Office of Fossil Energy* werden vom *National Energy Technology Laboratory (NETL)* koordiniert. Finanzielle Hilfen unterstützen oder stimulieren *R&D* für einen öffentlichen Zweck. *DOE* ermutigt Organisationen und Einzelpersonen selbst erstellte, unaufgeforderte Vorschläge einzureichen, die für die Forschungs- und Entwicklungsaufgaben des *DOE* relevant sind.[76]

6.3 Geltender CO_2-Preis

Die Biden-Regierung hat die sozialen Kosten von Kohlenstoff für den Klimawandel auf ungefähr 51 USD pro t angehoben. Diese Bepreisung berücksichtigt eine Vielzahl von politischen Entscheidungen, einschließlich Vorschriften der *EPA (Environmental Protection Agency)* und den Staatsausgaben. Letztendlich verwendet die Biden-Regierung die Formel der Obama-Ära für einen zentralen gesellschaftlichen Kohlenstoffpreis von 51 USD pro t im Jahr 2020. Methan und Gas, die beide eine stärkere Klimawirkung als CO_2 haben, würden bis 2050 auf 85 USD pro t CO_2, 3.100 USD pro t Methan und 33.000 USD pro t Gas steigen, da die Schäden durch die Erderwärmung voraussichtlich fortschreiten werden. Diese Zahlen zu den sozialen Kosten ersetzen die CO_2-Werte von 1 bis 7 USD pro t und den Methanwert von 55 USD pro t der Trump-Administration, die durch das Ignorieren aller Klimaschäden, die außerhalb der kontinentalen Vereinigten Staaten auftraten, berechnet wurden.[77]

6.4 Netzanschlussbedingungen und Genehmigungsverfahren

Der Anschluss von erneuerbaren Energiesystemen ans Stromnetz wird von der *Federal Energy Regulatory Commission (FERC)* reguliert. Grundsätzlich haben alle dezentralen Stromerzeuger in den USA Anspruch darauf, Strom aus erneuerbaren Energien einzuspeisen.[78] Netzanschlussstandards geben vor, unter welchen Bedingungen erneuerbare Energiesysteme an das Stromnetz angeschlossen werden können. Sie definieren eine Reihe von Anforderungen und Verfahren für Versorgungsunternehmen und Stromkunden. Typischerweise beschreiben Verbindungsstandards einen mehrstufigen Prozess. In einigen Bundesstaten, unter anderem Kalifornien, können einfache Systeme für vereinfachte oder beschleunigte Genehmigungsverfahren für den Netzanschluss in Frage kommen. Bei komplexeren Systemen oder in Rechtsordnungen, in denen eine vereinfachte Netzanbindung nicht verfügbar ist, ist die Netzintegration in der Regel ein zweistufiger Prozess. Während Verbindungsstandards in der Regel auf staatlicher Regulierungsebene umgesetzt werden und vorschreiben, wie Versorgungsunternehmen erneuerbare Energiesysteme an das Stromnetz anschließen müssen, gibt es häufig ein paralleles Genehmigungsverfahren, das von einer lokalen Gerichtsbarkeit genehmigt werden muss.[79]

Die technischen Standards und Sicherheitsanforderungen der Stromanbieter variieren regional. Daher ist der Abschluss von individuellen *Power Purchase Agreements (PPAs)* zwischen Stromanbieter und Käufer wichtig. Ein *PPA* ist ein langfristiger Vertrag zwischen einem Erneuerbare-Energien-Projekt und einem Stromabnehmer, bei dem sich der Abnehmer verpflichtet, den erzeugten Strom während der Vertragslaufzeit zu einem Festpreis zu beziehen. Im Rahmen der *PPA*-Struktur stellt ein Dritter die Vorabinvestition für das Projekt bereit und erhält im Gegenzug eine vertraglich vereinbarte langfristige Abnahmegarantie vom Stromabnehmer sowie alle anderen verfügbaren Anreize. Der Energieeinkäufer des Unternehmens erhält einen festen Energiepreis, in der Regel mit einem Abschlag auf das, was er bereits bezahlt hat, ohne Kapital für den Bau des Projekts aufbringen zu müssen.[80] *PPAs* werden durch die *FERC* und jeweiligen Bundesstaaten reguliert.

Die Vereinigten Staaten verfügen zusätzlich zu den Ressourcen zur Wasserstoffproduktion über mehr als 1.600 Meilen Wasserstoffpipelines und drei Kavernen, die Tausende von t Wasserstoff speichern können. Außerdem gibt es bundesweit

[75] Vgl. U.S. Department of Energy (2021): Department of Energy Hydrogen Program Plan, abgerufen am 25.11.2021
[76] Vgl. U.S. Department of Energy (2021): Solicitations and Business Opportunities, abgerufen am 25.11.2021
[77] Vgl. Scientific American (2021): Cost of Carbon Pollution Pegged at $51 a Ton, abgerufen am 26.10.2021
[78] Vgl. Federal Energy Regulatory Commission: Shaping the Grid of the Future, abgerufen am 26.10.2021
[79] Vgl. National Renewable Energy (2020): Interconnection Standards, abgerufen am 26.10.2021
[80] Vgl. Urbangrid (2019): Types Of Power Purchase Agreements For Offsite Renewable Energy Projects, abgerufen am 26.10.2021

acht Verflüssigungsanlagen mit einer kumulierten Kapazität von mehr als 200 t/Tag.[81] Diese Pipelines befinden sich im Besitz von Wasserstoffproduzenten und sind dort angesiedelt, wo große Wasserstoffverbraucher wie Erdölraffinerien und Chemiefabriken sind, wie beispielsweise in der Golfküstenregion. Der Transport von gasförmigem Wasserstoff über bestehende Pipelines ist eine kostengünstige Möglichkeit, große Mengen an Wasserstoff zu liefern. Die hohen anfänglichen Kapitalkosten für den Bau neuer Pipelines stellen ein großes Hindernis für den Ausbau der Wasserstoff-Infrastruktur und für die Lieferung von Wasserstoff dar. Die heutige Forschung konzentriert sich daher auf die Überwindung technischer Hürden im Zusammenhang mit der Pipelineübertragung und dem Potenzial von Wasserstoff zur Versprödung von Stahl und Schweißnähten, die zur Herstellung der Pipelines verwendet werden. Der Bedarf an kostengünstigerer, zuverlässigerer und langlebigerer Wasserstoffkompressionstechnologie beinhaltet mögliche Lösungen, wie die Verwendung von Pipelines aus faserverstärktem Polymer für die Wasserstoffverteilung. Die Installationskosten für glasfaserverstärkte Kunststoff-Rohrleitungen (GFK) liegen um etwa 20% unter denen von Stahlrohrleitungen, da GFK-Rohrleitungen in Abschnitten hergestellt werden können, die viel länger sind als Stahl, wodurch die Schweißanforderungen minimiert werden. Eine Möglichkeit für den raschen Ausbau der Wasserstoffversorgungsinfrastruktur besteht darin, einen Teil der Erdgasversorgungsinfrastruktur an die Einspeisung von Wasserstoff anzupassen. Die Umrüstung von Erdgaspipelines auf eine Mischung aus Erdgas und Wasserstoff (bis zu etwa 20% Wasserstoff) erfordert möglicherweise nur geringfügige Änderungen an der Pipeline. Die Umrüstung bestehender Erdgaspipelines auf die Lieferung von reinem Wasserstoff kann größere Änderungen erfordern. Aktuelle Forschungen und Analysen untersuchen beide Ansätze.[82]

6.5 Renewable Portfolio Standards

Ein in den USA weit verbreitetes Instrument zur Schaffung von Richtlinien für den Ausbau der erneuerbaren Energien stellen die sogenannten *Renewable Portfolio Standards (RPS)* dar. Die *RPS* legen einen Mindestanteil der erneuerbaren Energien am angebotenen Strommix fest, der bis zu einem bestimmten Jahr erreicht werden muss. Dieser Anteil variiert zwischen den Bundesstaaten von 10 bis 100%. In Kalifornien sowie Washington State gilt ein *RPS* von 100% erneuerbare Energie bis 2045.[83]

In den USA kommt den politischen Rahmenbedingungen und der damit einhergehenden Klimapolitik sowie der Integration erneuerbarer Energien auf Ebene der einzelnen Bundesstaaten eine große Bedeutung zu. Der *RPS* ist ein flexibles, marktorientiertes Instrument zur Förderung des Ausbaus erneuerbarer Energien auf staatlicher Ebene. Es kann als Richtlinie betrachtet werden, die darauf abzielt, die Nutzung erneuerbarer Energiequellen für die Stromerzeugung zu erhöhen.[84] Der *RPS* legt einen Mindestanteil der erneuerbaren Energien am angebotenen Strommix der Energieversorgungsunternehmen fest. Dieser Mindestanteil wird von den einzelnen Bundesstaaten anhand von zeitlich gestaffelten Zielen festgelegt. Die einzelnen Staaten bestimmen darüber, ob und in welcher Form sie den *RPS* einführen. Die allermeisten US-Bundesstaaten haben zum jetzigen Zeitpunkt (Stand November 2020) *RPSs* oder die sogenannten *Renewable Portfolio Goals* eingeführt. Letztgenannte sind Zielsetzungen, die jedoch nicht bindend für die Energieversorger sind.[85]

Im Vergleich zu anderen US-Bundesstaaten weist Kalifornien folgende Ziele gemäß des *RPS* im Bereich der erneuerbaren Energien auf: 44% bis 2024; 52% bis 2027; 60% bis 2030. Außerdem ist bis 2045 vorgesehen, dass 100% der Elektrizität aus erneuerbaren Energien stammen müssen.[86] In Kalifornien werden die *RPS' Compliance*-Regeln für die Stromeinzelhändler von der *CPUC* implementiert und verwaltet. Die kalifornische Energiekommission ist für die Zertifizierung von Stromerzeugungsanlagen als förderungswürdige erneuerbare Energieressourcen und für die Verabschiedung von Vorschriften zur Durchsetzung der *RPS*-Beschaffungsanforderungen von öffentlichen Versorgungsunternehmen zuständig.[87]

[81] Vgl. U.S. Department of Energy (2021): Department of Energy Hydrogen Program Plan, abgerufen am 25.10.2021
[82] Vgl. U.S. Department of Energy (2021): Hydrogen Pipelines, abgerufen am 25.10.2021
[83] Vgl. National Conference of State Legislatures (2021): State Renewable Portfolio Standards and Goals, abgerufen am 09.12.2021
[84] Vgl. U.S. Energy Information Administration (2019): Renewable Energy explained, abgerufen am 25.10.2021
[85] Vgl. EPA (kein Datum): Energy and Environment Guide to Action, abgerufen am 25.10.2021
[86] Vgl. National Conference of State Legislatures (2020): State Renewable Portfolio Standards and Goals, abgerufen am 09.12.2021
[87] Vgl. CPUC (2020): Renewable Portfolio Standard Program (RPS), abgerufen am 25.10.2021

6.6 Zertifizierungen

Die *International Organization for Standardization (ISO)* und die *International Electrotechnical Commission (IEC)* erlassen viele Produkt- und Ausrüstungszertifizierungsnormen für Wasserstoff und Brennstoffzellenanwendungen, aber diese internationalen Organisationen bieten keine Akkreditierungs-Liste von Organisationen, welche die Zertifizierungsstandards umsetzen. Stattdessen richten sich einzelne *ISO*-Mitgliedsnationen häufig nationale Zertifizierungsstellen ein, um zu bestimmen, wie die *ISO*- und *IEC*-Zertifizierungsstandards implementiert werden und durch welche Organisationen die Zertifizierungen durchgeführt werden. Die sechs nationalen Zertifizierungsstellen der USA sind:

- *Entela*
- *FM-Zulassungen*
- *Intertek-Testdienste*
- *MET-Labors*
- *TÜV Rheinland Nordamerika*
- *Underwriters Laboratories*

Neben dem *U.S. Nationally Recognized Testing Laboratory* (*NRTL)* können viele andere Prüflabore standardisierte Prüfungen an Produkten durchführen und Berichte zur Dokumentation erstellen, um erfolgreiche Ergebnisse dieser Tests zu garantieren. Das *National Institute of Standards and Technology (NIST)* listet über 100 dieser Labore auf. Das *ASTM Directory of Testing Laboratories* listet über 1.000 Labore, die Tests mit mindestens einer *ASTM*-Testmethode durchführen. In einigen Anwendungen kann ein Hersteller selbst bescheinigen, dass seine Ausrüstung in Übereinstimmung mit einer veröffentlichten Norm oder Spezifikation hergestellt und getestet wurde.

6.7 Marktbarrieren und -hemmnisse

Grüner Wasserstoff ist eine praktikable Lösung für die globale Herausforderung des klimaneutralen Umbaus der Volkswirtschaften. Die Vorteile der Skalierung der Wasserstoffwirtschaft gehen über die direkten Kosten hinaus, grüner Wasserstoff kann die Energiesicherheitsziele der Regierungen und ihre relativen Ziele unterstützen. Wasserstoff schafft Chancen für neue Akteure in der Energieversorgung und für neue Arbeitsplätze, um die Weltwirtschaft anzukurbeln. Wasserstoff bleibt eine der wenigen praktikablen, skalierbaren Optionen, um die Dekarbonisierung der Industrie und anderer Segmente, die sich bemüht haben, ihre Umweltauswirkungen zu minimieren, zu fördern. Darüber hinaus kann es die Ziele beim Aufbau einer Kreislaufwirtschaft, angesichts der starken Recyclingfähigkeit der verbrauchten Materialien entlang der gesamten Wertschöpfungskette, unterstützen.[88]

Die grundlegende Herausforderung einer kommerziell tragfähigen Methode zur Herstellung von grünem Wasserstoff besteht jedoch darin, bei steigender Nachfrage zu skalieren und kompetitive Kostenvorteile zu nutzen. Die Produktion von grünem Wasserstoff ist heute weltweit gefragt, um zur Dekarbonisierung beizutragen sowie die gesetzten Klimaziele zu erreichen. Laut der *GHC* könnte sich der Wasserstoffbedarf in den nächsten zwei Jahrzehnten mindestens verdoppeln. Diesen Bedarf mit einem einzigen Produktionspfad zu decken, wird unglaublich schwierig sein. Der Versuch, diese Menge allein mit erneuerbarer Elektrolyse zu produzieren, würde einen deutlichen Ausbau der erneuerbaren Kapazitäten erfordern, weit über die optimistischsten Anwendungsszenarien für erneuerbare Energien hinaus. Daher sind mehrere Produktionskanäle erforderlich, um die Wasserstofftechnologie kurzfristig schnell und effizient einsetzen und langfristig ausbauen zu können.[89]

Zurzeit kommen die Investitionen hauptsächlich aus dem privaten Sektor in Höhe von 124 Mrd. USD pro Jahr. Die Parallelen zwischen Wasserstoff heute und PV und Windkraft liegen auf der Hand: grüner und blauer Wasserstoff sind relativ teure Kraftstoffe (zumindest im Vergleich zu grauem Wasserstoff), da zum Teil noch relativ unausgereifte Technologien eingesetzt werden. Dies war jedoch auch zu Beginn der Gewinnung und Nutzung von erneuerbaren Energien der Fall. Jene konnten nur durch systematische Förderung und Aufbau eines Marktes mit fossilen Brennstoffen

[88] Vgl. Hydrogen Council (2020): Path to hydrogen competitiveness A cost perspective, abgerufen am 08.11.2021
[89] Vgl. Before the public utilities commission of the state of California (2020): Motion for party status of the green hydrogen coalition, abgerufen am 08.11.2021

konkurrieren. Die Entwicklung des Erneuerbare-Energien-Marktes hat gezeigt, dass Regierungen durch Schaffung von Rahmenbedingen und strategischer Förderung in der Lage sind, Märkt aufzubauen und zu entwickeln.[90]

Hebel für Stakeholder, um einen Markt zu schaffen

Selbst mit den richtigen Förderungsprogrammen und politischer Unterstützung können Entscheidungen dazu dienen, das Marktwachstum zu fördern oder zu unterdrücken. Im Folgenden sind fünf Hebel für Stakeholder aufgelistet, die zu großen Veränderungen bei der Schaffung eines Marktes führen:

- Verringerung der Nachfrageunsicherheit
- Skalierung von Anwendungen mit der größten Kostenverbesserung pro investiertem USD
- Einsatz ergänzender Lösungen, um positive Zyklen zu entfachen
- Vertrieb und Netzwerke gestalten, um die Auslastung zu maximieren
- Produktion erhöhen
- Lieferkosten senken

Anleger suchen in der Regel ein gewisses Maß an Sicherheit und finanzieren neue Wasserstoffprojekte nur, wenn genug Nachfrage besteht. Industrie und Regulierungsbehörden haben eine Reihe von Optionen zur Verfügung, basierend auf Erfahrungen aus erneuerbaren Energien, um Markt-, Regulierungs- und Technologierisiken zu minimieren oder zu mindern. Diese fallen in eine von zwei Kategorien: privat-private und privat-öffentliche Vereinbarungen. Langfristige Abnahmeverträge sind seit langem ein bevorzugtes Investitionsinstrument für Akteure im Bereich erneuerbarer Energien. Abnahmevereinbarungen tragen zur Sicherung der Nachfrage nach erneuerbaren Energien bei und zugleich treiben sie die Energiewende und die Ziele zur CO_2-Vermeidung voran. Einspeisetarife im privat-öffentlichen Bereich bieten garantierte Zahlungen von Regierungen an private Betreiber (z.B. Industrie oder Wohngebäude) im Austausch für erneuerbare Energie, die ins Netz eingespeist wird. Sie beseitigen Risiken für Erzeuger, Energie aus erneuerbaren Quellen zu entwickeln, externe Kosten zu reduzieren und zudem die Sicherheit der Energieversorgung zu erhöhen. Ähnliche Anordnungen sind bei der Wasserstoffproduktion und -verteilung denkbar, mit vorab vereinbarten Abnahmeverträgen und/oder Einspeisetarifen.[91]

Für eine Branche, die sich in Kalifornien stark auf Solar- und Windenergie konzentriert hat, könnten unterstützende Maßnahmen des Bundes dazu beitragen, die Zeitpläne für die weitere Expansion in neue Technologien, einschließlich fortschrittlicher Batterien und anderer Formen der Speicherung, Offshore-Wind und grüne Wasserstofftechnologie, voranzutreiben. Da sich diese neuen Technologien, insbesondere die Produktion und Speicherung von grünem Wasserstoff, in Richtung Kommerzialisierung bewegen, sind Power-to-X-Projekte zur Speicherung, Umwandlung und Rückwandlung überschüssiger Sonnen- und Windenergie in kohlenstoffneutrale Kraftstoffe und Chemikalien sehr gefragt.[92]

6.8 Fachkräfte

Die US-Bundespolitik strebt den Aufbau einer breit aufgestellten Wasserstoffindustrie an, um damit die Technologieführerschaft der USA zum Thema Wasserstoff sicherzustellen. Bis 2030 wird ein jährliches Einkommen von 140 Mrd. USD bei 700.000 Beschäftigten geplant. Das Ziel ist es, bis 2050 den Anteil von Wasserstoff am Energiemix der USA auf 14% zu steigern. Im gleichen Jahr soll die Wasserstoffbranche 750 Mrd. USD pro Jahr an Einnahmen generieren und 3,4 Mrd. Menschen beschäftigen. Es werden sich traditionelle *Hightech*-Metropolen wie San Jose, Boston und Washington, D.C., zusammen mit Ballungsräumen mit schnell wachsender Fertigung, wie Grand Rapids, Michigan, Denver, Colorado und Portland, Oregon, um diese Arbeitsplätze bemühen.[93]

[90] Vgl. BakerMcKenzie (2020): Shaping tomorrow's global hydrogen market via de-risked investments, abgerufen am 09.11.2021
[91] Vgl. Road map to a us hydrogen economy (2021): Reducing emissions and driving growth across the nation, abgerufen am 11.11.2021
[92] Vgl. Deloitte (2020): 2021 renewable energy industry outlook, abgerufen am 12.11.2021
[93] Vgl. German Trade & Invest (2021): Die USA wollen die Nummer eins bei Wasserstoff werden, abgerufen am 11.11.2021

Das Wachstum in der Wasserstoff- und Brennstoffzellenindustrie wird zu vielen neuen Beschäftigungsmöglichkeiten führen, die in einer Vielzahl von Branchen, Fähigkeiten, Aufgaben und Einkommen entstehen. Bemerkenswert ist, dass viele dieser Jobs derzeit nicht existieren und auch keine Berufsbezeichnungen nach Bundes- und Arbeitshandbüchern und Beschäftigungsleitfäden der Landesregierung haben. Darüber hinaus erfordern viele dieser neuen Stellen andere Fähigkeiten und Ausbildungen als aktuelle Berufe. Um dieses Defizit so schnell wie möglich auszugleichen, muss der Schulungsbedarf ermittelt werden, um ein ausreichendes Angebot an geschulten und qualifizierten Mitarbeitern für das Wachstum der US-Wirtschaft und des Arbeitsmarktes zu garantieren. Die Mehrzahl an *High-Tech*-Branchen benötigt fast ausschließlich hochqualifizierte Arbeitskräfte, die einen Bachelor oder Doktortitel aufweisen. Der aufstrebende Wasserstoffmarkt erfordert jedoch eine Vielzahl von Berufen auf allen Qualifikationsniveaus. Es werden vor allem Jobs sein, für die ein *Associate*-Abschluss oder langjährige Berufserfahrung in der Wasserstoff-Branche benötigt wird. Im Gegensatz zu anderen Branchen sind die Ziele für die Schaffung von Arbeitsplätzen in der Wasserstoffindustrie machbar. Staaten und Städte werden in einem intensiven Wettbewerb stehen, um in diesen aufstrebenden Technologien und Industrien mit traditionellen universitätszentrierten Forschungsbereichen, darunter Palo Alto *(Stanford University),* Ann Arbor *(University of Michigan),* Trenton *(Princeton University),* Boston *(Massachusetts Institute of Technologie*), Champaign-Urbana *(University of Illinois),* Austin *(University of Texas), The Research Triangle in North Carolina* und anderen Universitäts-Industrie-Komplexe, zu konkurrieren.[94]

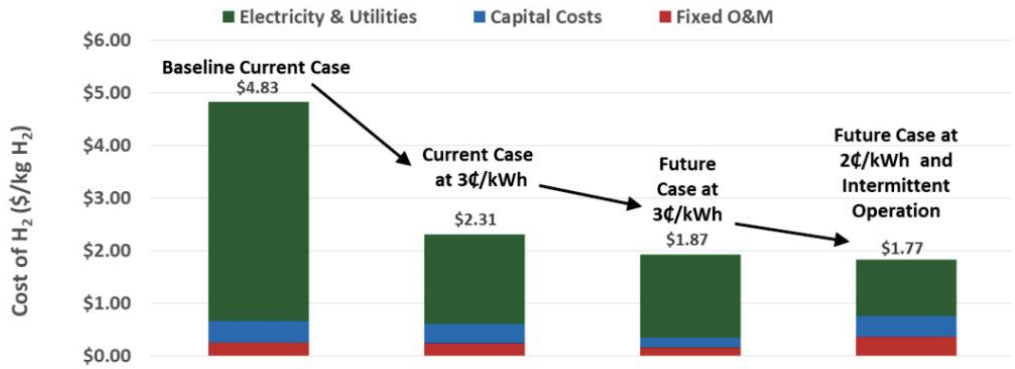
6.9 Preisentwicklung

Der Zugang zu günstigem Strom ist entscheidend für einen wettbewerbsfähigen grünen Wasserstoff-Preis für Endverbraucher. Die Herkunftsnachweis-Programme werden gleichzeitig zur wirtschaftlichen Effizienz und Umweltverträglichkeit beitragen. Darüber hinaus werden kontinuierliche Investitionen in Forschung, Entwicklung und Bereitstellung erforderlich sein, um die Kosten weiter zu reduzieren und um die Effizienz der Technologien zu steigern. Diese tragen wiederum dazu bei, grüne Wasserstoffkosten für den Endverbraucher zu senken. Pilot- und Demonstrationsprojekte mit Vision bis zur vollständigen Bereitstellung sind erforderlich, um erfolgreich zu sein und weitere Erfahrungen in realen Situationen mit technologischen, wirtschaftlichen und regulatorischen Projekten zu machen. Schließlich muss die Rolle von Wasserstoff aus erneuerbaren Energien als Teil der breiteren globalen Energiewende betrachtet werden.[95]

Im *DOE*-Basisszenario (2020) betragen die Kosten für Wasserstoff aus einem PEM-Elektrolyseur im Jahr 2035 4,5-5 USD/kg H_2, die Stromrechnung beträgt ~ 79 USD/MWh und es gibt keine Skaleneffekte für Elektrolysezellen. Darauf aufbauend beschreibt das *DOE* (2020) die möglichen Kosteneinsparungen bis 2035 wie folgt:

[94] Vgl. Renewable Energy and Environmental Sustainability (2019): The hydrogen economy and jobs of the future, abgerufen am 06.11.2021
[95] Vgl. National Renewable Energy Laboratory (2016): California Power-to-Gas and Power-to-Hydrogen Near-Term Business Case Evaluation, abgerufen am 10.11.2021

Abbildung 9: Kostenreduktion für Wasserstoff aus PEM-Elektrolyseuren bis 2035



Capacity Factor	97%	97%	97%	40%
Stack Electrical Efficiency	66.1%	66.1%	69.8%	69.8%
System Cap Cost	$460/kW	$460/kW	$233/kW	$233/kW
Effective Electricity Cost	7.4¢/kWh	3.0¢/kWh	3.0¢/kWh	2.0¢/kWh
Degradation Rate	1.5 mV/khrs	1.5 mV/khrs	1 mV/khrs	1 mV/khrs
Stack Lifetime	7 yrs	7 yrs	10 yrs	10 yrs

Quelle: Adelphi (2021): Wasserstoff in den USA: Potenziale, Diskurs, Politik und transatlantische Kooperation, abgerufen am 11.11.2021

Das aktuelle Szenario legt die Skaleneffekte der Technologie zu Grunde, die bereits 2019 verfügbar waren. Zukünftige Szenarien setzen weiteren technologischen Fortschritt voraus. Ein hoher Kapazitätsfaktor von 97% wird mit 30 USD/MWh erwartet und ein flexibler Kapazitätsfaktor von 40% mit 20 USD/MWh.[96]

Die Verwirklichung dieser ehrgeizigen Vision für die Rolle von Wasserstoff in der Energiezukunft ist alles andere als ein Selbstläufer und erfordert Investitionen, die über den aktuellen Umfang hinausgehen. In der Produktion erfordert der Einsatz von wettbewerbsfähigem erneuerbarem Wasserstoff aus Elektrolyse den Einsatz von aggregierten 70 GW Elektrolyseurkapazität, mit einer impliziten kumulierten Finanzierungslücke mit grauer Produktion von 20 Mrd. USD. Nach dem Jahr 2030, nach Erreichen der wirtschaftlichen Wettbewerbsfähigkeit, werden die Kosten für grünen Wasserstoff weiter abnehmen. Die Einführung von kohlenstoffarmem Wasserstoff aus der Erdgasreformierung mit *Carbon Capture and Storage (CCS)* wird auf 6 Mrd. USD geschätzt, um die zusätzlichen Produktionskosten gegenüber grauem Wasserstoff bis 2030 zu finanzieren.

Abschließend sei darauf hingewiesen, dass die Einspeisung von Wasserstoff in das Erdgasnetz eine mögliche Transformationsalternative ist. Grünen Wasserstoff mit einem Anteil von bis zu 20% in das Erdgasnetz einzuspeisen kann ohne große Änderungen an Rohren oder Haushaltsgeräten erreicht werden und somit sind nur relativ geringe Investitionskosten nötig. Darüber hinaus bleibt das Sicherheitsrisiko im Wesentlichen so wie bei Erdgas: Obwohl es keine vollständig kohlenstoffarme Lösung ist, kann die Beimischung potenziell erhebliche Mengen an CO_2-Emissionen sparen. Bei einer Beimischung von 5% könnten 32 bis 58 kg CO_2 jährlich pro Haushalt mit einem Verbrauch von 10 bis 18 MWh pro Jahr eingespart werden, bei geschätzten 3,3 Mio. Haushalten mit Erdgasheizung können jährlich rund 200.000 t CO_2 eingespart werden.[97]

6.10 Vertriebsstruktur

Ist die Entscheidung für den Markteintritt gefallen, haben deutsche Unternehmen viele Möglichkeiten, Vertriebsaktivitäten in den USA nachhaltig aufzubauen. Je nach Geschäftsausrichtung und erwartetem Engagement in

[96] Vgl. Adelphi (2021): Wasserstoff in den USA: Potenziale, Diskurs, Politik und transatlantische Kooperation, abgerufen am 11.11.2021
[97] Vgl. Hydrogen Council (2020): Path to hydrogen competitiveness A cost perspective, abgerufen am 11.11.2021

den USA sollte die Gestaltung der Vertriebskanäle differenziert werden. Wie in Deutschland gibt es in Amerika die Möglichkeit zwischen direkten und indirekten Distributionswegen zu wählen. Welcher Weg am besten ist, hängt jedoch von vielen Faktoren und vom Ziel des jeweiligen Unternehmens ab:

- Art des Produktes (Wie schnell muss es beim Kunden ankommen?)
- Art des Marktes (Geht das Produkt an ein anderes Unternehmen oder an eine Privatperson?)
- Art der Kunden (Wie bevorzugt der Kunde es einzukaufen?)
- Konkurrenzbetrachtung (Wie beliefert die Konkurrenz ihre Kunden?)
- Kosten -und Nutzenbetrachtung (Welche Methode bringt das Geschäft am besten voran?)[98]

Der Direktvertrieb ist der effektivste, aber auch teuerste Weg für deutsche Unternehmen. Nichtsdestotrotz ermöglicht er es langfristige Beziehungen zu amerikanischen Kunden aufzubauen und mehr Marktinformationen und wichtiges Kundenfeedback zu erhalten. Neben dem Preis spielt die Kundenbeziehung eine zentrale Rolle im Kaufentscheidungsprozess, da amerikanische Kunden in der Regel ein höheres Serviceniveau erwarten als in Deutschland. Nach den Erfahrungen des Delegiertenbüros der deutschen Wirtschaft in San Francisco sollten hochtechnisierte oder erklärungsbedürftige Produkte über den Direktvertrieb verkauft werden, da das eigene Vertriebsteam über die notwendige Informationsbasis auf der Liste der Investitionsgüter verfügt, um Produkte effektiv an Kunden zu verkaufen. Es stellt sich auch die Frage, ob amerikanische Verkäufer rekrutiert oder, wenn nicht, deutsche Mitarbeiter entsandt werden sollen. Es empfiehlt sich amerikanische Fachkräfte für den Verkauf zu nutzen, da diese vertrauter mit dem Markt und den Gegebenheiten sind.

Vertriebspartner

Die meisten Geschäftspartner verfügen bereits über langjährige Marktkenntnisse und Vertriebserfahrung in ihren Zielbranchen. Ein weiterer Vorteil ist die Vielfalt der Verkaufsgespräche, bei denen Vertreter oder Agenten oft Feedback zu unterschiedlichen Produkten bekommen und so zukünftige Trends erkennen und die Verkaufspräsentation entsprechend auf die Wünsche des Kunden zuschneiden können. Grundsätzlich gibt es in den USA mehrere Arten von Geschäftspartnern, darunter Handelsvertreter und Distributoren (autorisierte Händler). Die Wahl dieser wiederum hängt von der Marktgröße und dem Produkttyp ab. Serviceunternehmen oder Systemintegratoren mit weniger Geschäftserfahrung sind oft gute Partner. Aufgrund der Größe des Landes und der Unterschiede zwischen verschiedenen Regionen ist es selten möglich, die Vereinigten Staaten mit einem einzigen Partner abzudecken.

Handelsvertreter

Handelsvertreter erteilen Provisionsaufträge, sind jedoch nicht befugt, selbst Verträge abzuschließen. Daher erfolgt der Verkauf von Waren im Auftrag des deutschen Unternehmens. Fällt ein Handelsvertreter aus, kann sein Vertrag in der Regel kurzfristig gekündigt werden, um das Geschäftsrisiko zu minimieren. Die Nachteile hängen damit zusammen, dass das deutsche Unternehmen die volle Verantwortung für Transport, Wartung, Reparatur, Abholung und Produktqualität trägt. Vertriebsmitarbeiter bedienen bestimmte Standorte, von Großstädten bis hin zu mehreren Bundesstaaten. Einige Verkäufer berechnen eine monatliche Gebühr für einen Service, die als Zonenentwicklungsgebühr oder Servicegebühr bezeichnet wird. Da die USA jedoch meist provisionsbasiert sind, verkaufen Verkäufer selten erfolgreich Artikel mit langen Verkaufszyklen.

Distributoren

Im Gegensatz zu Handelsvertretern kaufen Distributoren die Produkte und Waren direkt ein und verkaufen sie dann unter ihrem eigenen Namen weiter. Dadurch übernimmt der Distributor auch die Risiken des Verkaufs und ist auch für den Service nach dem Verkauf des Produktes zuständig.[99] Distributoren können den Verkauf und insbesondere den Service für Produkte in verschiedenen Regionen ermöglichen. Ein Vorteil der Zusammenarbeit mit Distributoren ist es,

[98] Vgl. Small business (2020): How to Choose the Right Distribution Channel for your Business, abgerufen am 11.11.2021
[99] Vgl. Lexology – Key distinctions between distributors and agents (2013), abgerufen am 11.11.2021

dass die geschäftlichen Risiken (außer der Produkthaftung und dem gewerblichen Rechtsschutz) beim Distributor liegen. Dieser hat selbst ein Interesse, den Verkauf zu fördern und verfügt in der Regel über ein entsprechendes Vertriebsnetz. Ferner leistet er auch den *After-Sales-Service*. Von Nachteil ist, dass die Kunden dem deutschen Unternehmen oft nicht bekannt sind und die Gefahr besteht, dass auch Konkurrenzprodukte vertrieben werden. Kundenkontakte werden in der Regel nicht weitergereicht.

Direkter und indirekter Vertrieb schließen einander nicht aus

Es ist wichtig zu erwähnen, dass sich der direkte und indirekte Vertrieb in den USA nicht gegenseitig ausschließen. Sehr oft werden die USA in verschiedene Verkaufsregionen aufgeteilt, die teils direkt vom Unternehmen und teils von den jeweils lokalen Partnern indirekt betreut werden. Es gilt, Personalkapazitäten für die Betreuung eines solchen Netzwerks vorab mit einzukalkulieren. Eine Mischung aus Vertriebskanälen kann unter Umständen von Vorteil sein.

7. Markteintrittsstrategien und Risiken

Der amerikanische Markt bietet durch seine Größe und Vielfalt gute Absatzchancen für innovative Lösungen, daher kann die Expansion nach Kalifornien für deutsche Unternehmen ein lohnender Schritt sein. Aufgrund der Vielzahl an Anbietern ist der kalifornische Markt jedoch wettbewerbsintensiv und sollte sorgfältig analysiert werden. Eine umfassende Analyse umfasst eine Erhebung der wirtschaftlichen Faktoren, des Produkt- oder Dienstleistungsbedarfs des Ziellandes sowie eine detaillierte Betrachtung der Konkurrenz. Es ist notwendig den Eintritt in einen neuen Markt sorgfältig zu erwägen, weil Erfolg oder Misserfolg von einer Vielzahl an unternehmerischen Entscheidungen abhängt. Zum besseren Verständnis werden folgend einige Handlungsempfehlungen für den US-Markt erläutert. Die Beachtung und Umsetzung der folgenden Punkte kann den Markteintritt positiv beeinflussen und sich positiv auf das Vorhaben der Expansion auswirken.

- Realistische Ziele (z.B. zunächst kein nationales, sondern regionales Wachstum)
- Auswahl des richtigen Personals (Einstellung amerikanischer Mitarbeiter von großem Vorteil)
- Differenzierung durch Alleinstellungsmerkmale
- Anpassung an amerikanische Geschäftsgepflogenheiten
- Durchdachte Standortwahl (strategische Ansiedlung im Vergleich zu kurzfristigen Anreizprogrammen)
- Aufbau und Pflege von Kontakten und Kundenbeziehungen
- Bestehende kurz-, mittel- und langfristige Geschäftspläne
- Marktkenntnisse (regionale Marktgegebenheiten, Wettbewerb, Vertriebswege, Multiplikatoren etc.)
- Information zu rechtlichen Rahmenbedingungen (alle Staaten haben eigene Vorschriften und Gesetze)
- Ausreichende Finanzierung und langfristige Investitionsbereitschaft

Anpassung an den US-Markt

Viele Unternehmer sind sich bewusst, dass sich ausländische Märkte generell vom heimischen Markt unterscheiden und deshalb für ein erfolgreiches Unterfangen eine Anpassung stattfinden muss. Für besseres Marktverständnis ist in den USA im ersten Schritt häufig das sogenannte *Networking* entscheidend. *Networking* ist der Austausch zwischen Menschen, um Ideen und Informationen auszutauschen und berufliche oder soziale Kontakte zu entwickeln. Es wird häufig von Fachleuten genutzt, um ihren Bekanntenkreis zu erweitern, sich über Jobmöglichkeiten zu informieren oder um das Bewusstsein für Neuheiten und Entwicklungen in ihrem Arbeitsfeld zu schärfen. Geschäftsinhaber nutzen das Vernetzen zudem, um Beziehungen zu Personen und Unternehmen aufzubauen, mit denen zukünftige Geschäfte gemacht oder Partnerschaften eingegangen werden können.[100] *Networking* ist ein bedeutendes Thema in der amerikanischen Geschäftswelt, ein umfassendes Netzwerk an Kontakten wird in den USA als ein Indikator für Erfolg angesehen. Viele kalifornische Geschäftsleute sind gegenüber Interaktionen sehr offen und bereit, ihre Ratschläge, persönlichen Erfahrungen oder Kontakte zu teilen. Deutsche Unternehmen zögern dagegen häufig, mit der Konkurrenz oder Mitbewerbern zu kommunizieren, weil fälschlicherweise angenommen wird, dass nur Gespräche mit zukünftigen Kunden und Investoren das Geschäft voranbringen. Um sich in den USA zu vernetzen, sollten informelle Gespräche jedoch so häufig wie möglich wahrgenommen werden, um sein Netzwerk zu erweitern. Es kann dabei helfen offene Fragen zu klären oder mit Kontakten im Wasserstoffbereich verknüpft zu werden, wo sich eine selbstständige Kontaktaufnahme generell schwierig gestalten würde.

Ein weiterer Teil der Adaption ist die lokale Anpassung der Geschäftsidee. In den USA wird dies als *Product-Market Fit* bezeichnet. Das bedeutet, dass ein Produkt auf den Zielmarkt zugeschnitten und dadurch für eine bestimmte Zielgruppe angepasst wird.[101] Deutsche KMUs müssen das Bewusstsein entwickeln, dass gewisse Änderungen vorgenommen werden müssen, um Kunden auf dem US-Markt anzusprechen. Hierbei sollte nicht der Fehler begangen werden, den Erfolg eines Produkts anhand der deutschen Kundenzufriedenheit zu messen. Die Zielmarktanpassung kann sich neben dem Produkt

[100] Vgl. Investopedia (2021): Networking, abgerufen am 12.11.2021
[101] Vgl. Founders-playbook (2018): Product-Market Fit, abgerufen am 12.11.2021

auf Dienstleistungen, das gesamte Geschäftsmodell oder auch den Preis beziehen. Die Prüfung des *Product-Market Fits* sollte idealerweise vor dem Markteintritt durchgeführt werden und definitiv bevor Geld in Marketing und Vertrieb investiert wird. Wichtige Punkte, die beim *Product-Market Fit* zu berücksichtigen sind, sind unter anderem die Zielgruppe, der Teilmarkt, Preisgestaltung und bereits am Markt verfügbare Lösungen. Eine weitere wichtige Frage, mit der sich Marktteilnehmer auseinandersetzen müssen, ist, welches Problem das Produkt oder die Dienstleistung löst. Innovationen, die Lösungen für bestehende Aufgaben liefern, haben bessere Chancen im US-Markt.

Neben der Anpassung von innovativen Lösungen müssen sich Markteinsteiger auch auf der kulturellen Ebene mit dem Zielland vertraut machen. Grundlegend gilt, dass amerikanische Geschäftspartner andere Gebräuche und Vorgehensweisen haben als Deutsche. In der Kommunikation können Sprachbarrieren auftreten und Aussagen können missinterpretiert werden. In Gesprächen und bei der Vorstellung von Lösungen sind Kalifornier oft bereit, Rückmeldung und allgemeine Ratschläge zu geben. Allerdings sollte von deutscher Seite darauf geachtet werden, Enthusiasmus und überschwängliches Lob zurückhaltend zu betrachten. An der Ostküste der Vereinigten Staaten vermeidet man es im Allgemeinen zu direkt zu sein und agiert lieber freundlich und herzlich. Das Gleiche gilt für Kritik. Diese wird oftmals sehr vorsichtig und versteckt formuliert, weshalb genaues Nachfragen empfehlenswert sein kann. In Kalifornien, insbesondere im Silicon Valley, bevorzugen Amerikaner ein lockeres Geschäftsumfeld und erscheinen als einladend und warmherzig, was jedoch nicht bedeutet, dass sie per se eine persönliche Beziehung eingehen möchten. Diese Lockerheit spiegelt sich auch in der Arbeitskleidung wider. Es wird außerhalb von Banken selten ein Anzug oder Ähnliches getragen, der Kleidungsstil ist eher ungezwungen (*casual*). Der lockere Kleidungsstil reflektiert jedoch nicht die Arbeitsweise der Amerikaner. Generell kann gesagt werden, dass sehr viel und hart gearbeitet wird und es weniger Urlaubstage gibt als in Deutschland. Im Silicon Valley besteht oft der Drang, sich zu beweisen und dem Druck auf dem schnelllebigen Arbeitsmarkt standzuhalten. Es ist keine Seltenheit, nach 1-3 Jahren den Arbeitsplatz zu wechseln, um dem persönlichen und beruflichen Entwicklungsbedarf gerecht zu werden. Anders als in Deutschland können Arbeitsverhältnisse jederzeit ohne Angabe von Gründen und ohne Einhaltung von Fristen gekündigt werden.

Markteintrittskosten

Kostenaspekte spielen selbstverständlich eine bedeutende Rolle beim Eintritt in den US-Markt. Daher müssen deutsche KMUs frühzeitig überlegen, ob sie über ausreichende finanzielle Mittel verfügen oder diese langfristig beschafft werden können. Unternehmen müssen sich erst einmal im Markt positionieren und beweisen, weshalb eine langfristige, gut durchdachte Planung entscheidend ist. Die Planung dient dazu ein Gefühl zu bekommen, ab welchem Zeitpunkt ein profitabler Erfolg erzielt werden kann. Neben den generellen Betriebskosten sollten Kosten wie Rechtsberatung, Steuerberatung und Wirtschaftsprüfung mit einbezogen werden. Bevor Geld investiert wird, sollte also ein langfristiger Businessplan erstellt werden. Die Finanzierung sollte zunächst über deutsche Kreditinstitute und Banken erfolgen, da es höchst unwahrscheinlich ist als ausländisches Unternehmen in der Anfangsphase einen Kredit von amerikanischen Banken zu erhalten. Es kann aus finanzieller Sicht von Vorteil sein eine Partnerschaft mit einem US-Unternehmen einzugehen, da diese schon über Geldmittel verfügen oder Ansprüche auf staatliche Zuschüsse und Kredite haben. Eine andere Möglichkeit der Kapitalbeschaffung, bei der eine Zusammenarbeit mit amerikanischen Marktakteuren vorteilhaft sein kann, sind Investoren. In Kalifornien, insbesondere im Silicon Valley, gibt es viele Investoren, die an innovativen Lösungen interessiert sind und auch in ausländische Unternehmen investieren.

Langfristige Planung in den USA

Der Eintritt in den US-Markt ist mit viel Aufwand verbunden. Es dauert in der Regel ein paar Jahre, bis ein KMU in den USA Gewinn erzielt. Daher ist es empfehlenswert langfristig zu planen und bestmöglich dauerhaft Geschäfte in den USA zu tätigen. Um die Ernsthaftigkeit des Vorhabens zu demonstrieren, ist eine Präsenz auf dem US-Markt sehr ratsam. Hierfür können sich Unternehmen entscheiden, ob sie eine Niederlassung oder eine Tochtergesellschaft gründen wollen. Eine Niederlassung ist lediglich eine vom Hauptsitz örtlich getrennte Außenstelle. Die Gründung einer Tochtergesellschaft ist hingegen eine Formung der selbstständigen Rechtsform und in der Regel mit höherem finanziellem und rechtlichem Aufwand verbunden. Die Vorteile sind jedoch unter anderem das Bestehen einer Haftungsminimierung, da Schadensersatzansprüche auf die Tochtergesellschaft limitiert werden können und somit die

Muttergesellschaft schützen. Zudem können durch eine Tochtergesellschaft Steuern minimiert werden. Für eine Niederlassung in den USA muss hingegen eine Körperschaftsteuer und zusätzlich eine US-Niederlassungssteuer (*Branch Profit Tax*) gezahlt werden.[102] Alternativ bietet das Delegiertenbüro der deutschen Wirtschaft in San Francisco Unterstützung beim Markteinstieg mit einem *Virtuellen Office*-Angebot, um den Prozess zu vereinfachen.

Sollte sich eine Firma dazu entscheiden vor Ort ein Unternehmen zu gründen, müssen einige Punkte beachtet werden. Zunächst sollte sich darüber bewusst gemacht werden, welcher Standort strategisch richtig ist und welche Form von Unternehmen gegründet werden soll. In den USA gibt es verschiedene Unternehmensstrukturen. Einfache Formen sind die *Sole Proprietorship* und die *Partnership*, bei welchen die Eigentümer steuerlich nicht vom Unternehmen getrennt sind. Zwei formellere Strukturen sind die LLCs (Limited Liability Company) und Corporations. LLCs ähneln einer deutschen GmbH, bei der der Eigentümer nicht persönlich haftbar ist. Corporations sind eine Rechtskörperschaft, die von Aktieninhabern (*shareholder*) beeinflusst wird. Sie haben mehr formelle Vorschriften als *LLCs* und sind für Investoren in der Regel am attraktivsten. Die meisten großen Unternehmen in den USA sind *Corporations*.

Nach der Auswahl der Unternehmensstruktur kann das Unternehmen in Kalifornien online günstig registriert werden. Der *Secretary of State* verlangt beispielsweise für eine *LLC* eine Gebühr von 70 USD und für eine *Corporation* 100 USD. Zudem werden ein Name, ein registrierter Vertreter, der für wichtige Dokumente zuständig ist und eine Arbeitserlaubnis benötigt. Eine Arbeitserlaubnis und somit eine *Employer Identification Number* (*EIN*) wird vom *Internal Revenue Service* (*IRS*) vergeben und kann nur erhalten werden, wenn ein entsprechendes Visum vorhanden ist. Beim US-Generalkonsulat kann als zukünftiger Firmeninhaber ein Antrag für ein Investorenvisum E2 gestellt werden. Dieses Visum wird in der Regel gestattet, wenn belegt werden kann, dass die Firma den USA mit investierten Summen und Arbeitsplätzen Gewinn bringen kann. Danach können mit Hilfe der Dokumente ein Business-Bankkonto eröffnet, Versicherungen abgeschlossen und Genehmigungen und Lizenzen beantragt werden, die vom kalifornischen Staat verlangt werden.[103,104]

Unabhängig davon für welche Art von Marktpräsenz sich ein Unternehmen entscheidet, ist es günstig eine Mischung aus deutschem und amerikanischem Personal zu haben. Das Vereinen des deutschen Wissens zum Unternehmen und des amerikanischen Geschicks zur strategischen Positionierung und Vermarktung vor Ort kann zielführend sein. Das Vermischen von deutscher und amerikanischer Geschäftsmentalität ist oftmals eine vielversprechende Kombination. Jemanden vor Ort zu haben ist wichtig, um die Bedürfnisse von Kunden und Partnern entsprechend zu adressieren. Amerikaner erwarten schnelle Rückmeldungen, dauerhafte Erreichbarkeit und zeitnahes Handeln. Lokales Personal oder Servicepartner sollten daher vor Ort ansprechbar sein.

Unterstützung des Delegiertenbüros

Das Delegiertenbüro der deutschen Wirtschaft in San Francisco unterstützt gerne bei der US-Expansion mit strategischer Beratung, bei der Geschäftspartnersuche, beim Aufbau einer lokalen Geschäftspräsenz oder bei Fragen zur Standortwahl. Das Delegiertenbüro in San Francisco verfügt über umfangreiche Kontakte in der Wasserstoff- und Energiebranche und bietet deutschen KMUs dieses Netzwerk kennenzulernen und bei Markteintrittsaktivitäten als Unterstützung zur Seite zu stehen.

[102] Vgl. Becker International Law (2019): Soll Ich Eine Tochtergesellschaft in Den USA Gründen? Von Müttern und Töchtern!, abgerufen am 15.11.2021
[103] Vgl. TRUiC (2021): How to Start a business in California, abgerufen am 15.11.2021
[104] Vgl. Unternehmer.de (2020): Gründen in den USA: Das musst du wissen, abgerufen am 15.11.2021

8. Schlussbetrachtung inkl. SWOT-Analyse

Der kalifornische Markt ist für Technologien rund um grünen Wasserstoff und Power-to-X aufgrund der Marktgröße, des Wachstums und der politischen Förderung sehr vielversprechend. Für deutsche Firmen, die ihren Markteintritt gut vorbereiten, bieten sich hier gute Marktchancen. Die Haupttreiber des Marktes sind der politische Wille und die ambitionierten Ziele für erneuerbare Energien, das ausgeprägte Umweltbewusstsein und eine hohe Dichte an *Early Adoptern*, gepaart mit einem hohen Pro-Kopf-Einkommen. Kalifornien steht enorm unter Druck seine Emissionen, besonders im Transportsektor, zu verringern, weshalb vielfältige, attraktive Förder- und Finanzierungsinstrumente existieren. Derzeit ist ein guter Zeitpunkt für den Markteinstieg, da sich die Grüner-Wasserstoff-Branche noch in der Entwicklung befindet, aber in Kalifornien auf ein enormes Interesse stößt. Das Gleiche gilt für Power-to-X-Technologien, bei denen besonders Deutsche eine Vorreiterrolle haben. Weitere Marktchancen und -risiken sowie die Stärken und Schwächen deutscher Unternehmen auf diesem Markt sind in der folgenden SWOT-Analyse zusammengefasst.

Tabelle 4: SWOT-Analyse

Deutsche Unternehmen auf dem kalifornischen Markt	
Stärken (*Strengths*)	**Schwächen (*Weaknesses*)**
• Angebot hochqualitativer Leistungen und Produkte unter der Marke *Made in Germany* • Deutschlands Vorreiterrolle innerhalb Europas in energie- und klimapolitischen Zielsetzungen • Deutschlands Vorreiterrolle und Renommee im Bereich Wasserstoff • Systemkompetenz im Bereich Energiespeichersysteme • Operative Daten aus bestehender Geschäftstätigkeit können beim Markteinstieg genutzt werden	• Fehlendes Vertriebs- und Partnernetzwerk • Unwissenheit über die regionalen Bedingungen • Fehlende Kenntnisse über Kundenbedürfnisse und Akquise in den USA • Fehlende Kenntnisse über Antragsprozesse für Ausschreibungen, Fördermittel und Genehmigungen • Fehlende Kenntnisse der technischen Standards sowie im Vertrags- und Handelsrecht • Import: bestehende Handelshemmnisse (*Local Content Requirements* und Einfuhrzölle)
Kalifornischer Markt für grünen Wasserstoff	
Chancen (*Opportunities*)	**Risiken (*Threats*)**
• Umfangreiche Marktgröße in naher Zukunft • Politischer Wille und staatliche Vorgaben: Ambitionierte Ziele zur Emissionsreduktion und zur Erhöhung des Erneuerbare-Energien-Anteils • Hohes Interesse an alternativen Energiequellen in Kalifornien und hohes Pro-Kopf-Einkommen • Attraktive (staatliche) Fördermittel für Infrastrukturausbau • Ausgeprägte Organisations- und Verbandslandschaft zur Förderung von grünem Wasserstoff • Verkaufsstopp von Fahrzeugen mit Verbrennungsmotoren in Kalifornien ab 2035	• Komplexe, teilweise langwierige Genehmigungsprozesse • Unterschiede im Geschäftsmodell und Erwartungen an Projektentwickler • Hohe Markteintrittskosten • Geringer Preisgestaltungsspielraum, da Markt vor allem von Kosten getrieben wird • Erstarkender Protektionismus auf föderaler Ebene • Wettbewerb mit wohlhabenden Industrien mit ausgeprägter Infrastruktur (Öl, Gas etc.) • *Buy American Act*

Quelle: Eigene Darstellung teilweise mit Informationen von Die Bundesregierung (2019): Deutsche Industrie erwirtschaftet hohe Umsätze, abgerufen am 03.12.2021 und Çora, Hakan & Mikail, Elnur (2020), 21st Century Hydrogen Energy Economics, Swot Review and Selected Examples of Global Patterns, abgerufen am 03.12.2021

9. Profile der Marktakteure

9.1 Ministerien, Behörden und Verbände

Name/Beschreibung	Kontaktdaten
Bay Area Council Economic Institute Das Bay Area Council Economic Institute ist eine Partnerschaft von Unternehmen, Regierungen, Hochschulen und Non-Profit-Organisationen, die es sich zum Ziel gesetzt hat, die Wirtschaftlichkeit und Wettbewerbsfähigkeit der Bay Area zu fördern.	353 Sacramento Street, Suite 1000 San Francisco, CA 94111 +1-415-981 7117 bacei@bayareacouncil.org www.bayareaeconomy.org
Bioenergy Association of California Die Bioenergy Association of California hat das Ziel, die Entwicklung von nachhaltiger Bioenergie und die dazugehörigen Aktivitäten in Kalifornien voranzutreiben. Primäre Aufgaben sind die Einflussnahme bei bundesstaatlichen Gesetzentwürfen, Aufklärung der Öffentlichkeit, die Förderung von Forschung und Entwicklung sowie das Verbreiten von Best-Practice-Beispielen.	P.O. Box 6184 Albany, CA 94706 +1-510-610-1733 info@bioenergyca.org www.bioenergyca.org
California Contractors State License Board (CCSLE) Die California CSLE mit Sitz in Sacramento bietet Informationsmaterialien und die notwendigen Unterlagen für das Lizensierungsverfahren zur gewerblichen Niederlassung im Bundesstaat Kalifornien.	9821 Business Park Drive Sacramento, CA 95827 +1-916-255-3900 info@cslb.com www.cslb.ca.gov
California Energy Commission Die California Energy Commission ist die wichtigste Energiepolitik- und Planungsbehörde für Kalifornien und unter anderem zuständig für die Förderung der staatlichen Energiepolitik, Energieeffizienz erreichen, Investitionen in Energieinnovation, erneuerbare Energien entwickeln, Verkehrswende, Überwachung der Energieinfrastruktur und Vorbereitung auf Energienotfälle.	1516 9th Street, MS-29 Sacramento, CA 95814 +1-916-654-4287 publicadvisor@energy.ca.gov https://www.energy.ca.gov/

California Environmental Protection Agency Die California Environmental Protection Agency (CalEPA) ist eine staatliche Behörde auf Kabinettsebene innerhalb der kalifornischen Regierung. Die Mission von CalEPA ist es, die Umwelt wiederherzustellen, zu schützen und zu verbessern, um die öffentliche Gesundheit, Umweltqualität und wirtschaftliche Vitalität zu gewährleisten.	1001 I Street, Suite 2828 Sacramento, CA 95814 info@calepa.com https://calepa.ca.gov/
Cradle to Cradle Products Innovation Institute Das Institut verwaltet das Zertifizierungsprogramm CradletoCradle (C2C), welches Produktstandards für die Nachhaltigkeit u.a. von Bauprodukten setzt.	475 14th Street Suite 290 Oakland, CA94612 +1-415-816-7087 info@c2ccertified.org www.c2ccertified.org
East Bay Municipal Utility District Bei der EBMUD handelt es sich um einen öffentlichen Versorgungsbezirk, der Wasser- und Abwasserbehandlungsdienste für ein Gebiet von etwa 500 Quadratkilometern rund um San Francisco bereitstellt. Durch die Abwasserbehandlung wird Energie erzeugt, die Rückgewinnung generiert mehr Strom, als sie für ihren täglichen Betrieb benötigt, der überschüssige Strom wird in das Stromnetz eingepflegt.	375 11th Street Oakland, CA 94607 +1-866-403-2683 customerservice@ebmud.com www.ebmud.com
Los Angeles County Economic Development Corporation Die Los Angeles County Economic Development Corporation (LAEDC) wurde als gemeinnützige Organisation gegründet, um in Zusammenarbeit mit L.A. County die Macht des Privatsektors zu nutzen, um die wirtschaftliche Entwicklung zu lenken und einen breiteren Wohlstand zu schaffen. LAEDC arbeitet mit allen Interessengruppen in der Region zusammen, einschließlich Bildung, Wirtschaft und Regierung.	444 South Flower Street, 37th Floor Los Angeles, CA 90071 +1-213-622-4300 info@laedc.org https://laedc.org/
North American Association of Utility Distributors (NAAUD) Die North American Association of Utility Distributors (NAAUD) ist eine Vereinigung der führenden regionalen Stromversorgungsunternehmen.	PO Box 566 Smithville, 64089 MO +1-816-985-4997 director@naaud.org www.naaud.org/

SF Environment Das San Francisco Department of Environment bietet Lösungen an, die den Klimaschutz vorantreiben und die Lebensqualität in San Francisco verbessern.	1455 Market Street, Suite 1200 San Francisco, California 94103 +1-415-355-3700 environment@sfgov.org https://sfenvironment.org/

9.2 Energieversorger

Name/Beschreibung	Kontaktdaten
Apple Valley Choice Energy AVCE hat mit SCE zusammengearbeitet, um den Stromkunden umweltfreundlicheren und erschwinglicheren Strom zu liefern. AVCE beschafft Strom, während SCE diese Energie bis zur Haustür liefert, die Infrastruktur wartet und repariert, die diese Energie transportiert, und einen Kundendienst einschließlich Abrechnung bietet.	14975 Dale Evans Parkway Apple Valley, CA 92307 +1-760-573-2823 contact@AVChoiceEnergy.com www.avchoiceenergy.com/
Central Coast Community Energy Central Coast Community Energy (3CE) ist eine Community Choice Energy-Agentur, die von lokalen Gemeinden gegründet wurde, um sauberen und erneuerbaren Strom für die Bezirke Monterey, San Benito und Santa Cruz und nun auch für Teile der Bezirke San Luis Obispo und Santa Barbara zu beschaffen und gleichzeitig die traditionelle Rolle eines Versorgers bei der Lieferung von Strom und der Aufrechterhaltung der elektrischen Infrastruktur sowie der Abrechnung beizubehalten.	70 Garden Court, Suite 300 Monterey, CA 93940 +1-213-978-3311 info@lacity.org https://ita.lacity.org/
Clean Energy Alliance Im November 2019 gründeten die Städte Carlsbad, Del Mar und Solana Beach die Clean Energy Alliance, eine gemeinnützige öffentliche Einrichtung, die in ihren Versorgungsgebieten ein „Community Choice Energy"-Programm durchführen wird. Das Ziel der CEA ist es, ein Energiedienstleister zu sein, der der Gemeinschaft durch die Lieferung von saubererem und lokal produziertem Strom, die Reduzierung der Nachfrage, wirtschaftliche Investitionen und wettbewerbsfähige Tarife für Einwohner, Unternehmen und kommunale Einrichtungen im Versorgungsgebiet Vorteile bringt.	56 City Hall 635 S. Highway Solana Beach, CA 92075 +1-858-720-2400 ceo@thecleanenergyalliance.org www.thecleanenergyalliance.org/

Clean Power Alliance CPA ist Kaliforniens neuer, lokal betriebener Stromversorger für Gemeinden in Los Angeles und Ventura Counties. Die Clean Power Alliance stellt ihren Kunden 100% Ökostrom zur Verfügung.	555 W. 5th Street, 35th Floor Los Angeles, CA 90013 +1-888-585-3788 customerservice@cleanpoweralliance.org www.cleanpoweralliance.org/
Clean Power SF Clean Power SF, ein Programm der San Francisco Public Utilities Commission, ist eine lokale Lösung für die Klimakrise und bietet der Gemeinde erneuerbare, erschwingliche und zugängliche Energie. Sie befähigen Bewohner und Unternehmen, sich schon heute für eine nachhaltigere Zukunft zu entscheiden.	525 Golden Gate Avenue San Francisco, CA 94102 +1-415-554-0773 cleanpowersf@sfwater.org www.cleanpowersf-sfpucyem2.squarespace.com/
Desert Community Energy Desert Community Energy ist ein „Community Choice Energy"-Programm (auch bekannt als „Community Choice Aggregation"), das durch eine nicht gewinnorientierte Partnerschaft zwischen den Städten Palm Springs, Cathedral City und Palm Desert ermöglicht wird.	73-710 Fred Waring Drive, Suite 200 Palm Desert, CA 92260 +1-855-357-9240 customerservice@desertcommunityenergy.org www.desertcommunityenergy.org
East Bay Community Energy Im Jahr 2018 gründeten der Landkreis Alameda und 11 seiner Städte die EBCE, um eine gemeinnützige öffentliche Agentur zu gründen, die diesen Community Choice Energy Service verwaltet. Die derzeit bedienten Städte sind: Albany, Berkeley, Dublin, Emeryville, Fremont, Hayward, Livermore, Oakland, Piemont, San Leandro und Union City.	1999 Harrison Street, Suite 800 Oakland, CA 94612 +1-833-699-3223 customer-support@ebce.org www.ebce.org/
Los Angeles Department of Water and Power (LADWP) Das Los Angeles Department of Water and Power ist der größte städtische Wasser- und Stromversorger des Landes, wurde vor mehr als 100 Jahren gegründet, um 4 Mio. Einwohner und Unternehmen in Los Angeles zuverlässig und sicher mit Wasser und Strom zu versorgen.	111 N. Hope Street Los Angeles, CA 90012 +1-800-499-8840 https://www.ladwp.com/ info@ladwp.com

MCE Clean Energy MCE wurde Kaliforniens erstes Community Choice Aggregation-Programm. Einwohner und Unternehmen in den Bezirken Marin und Napa, im nicht eingetragenen Bezirk Contra Costa, im nicht eingetragenen Bezirk Solano und in den Städten und Gemeinden Benicia, Concord, Danville, El Cerrito, Lafayette, Martinez, Moraga, Oakley, Pinole, Pittsburg, Pleasant Hill, Richmond, San Pablo, San Ramon, Vallejo und Walnut Creek können nun wählen, wie viel erneuerbare Energie sie für ihre Stromversorgung benötigen.	1125 Tamalpais Avenue San Rafael, CA 94901 +1-888-632-3674 info@mcecleanenergy.org www.mcecleanenergy.org/
Pacific Gas & Electric Company (PG&E) Die in San Francisco ansässige Pacific Gas & Electric Company ist nicht nur einer der drei bedeutendsten Energieversorger Kaliforniens, sondern gilt auch als einer der größten landesweit. Mit Hilfe seiner rund 20.000 Angestellten übernimmt das Unternehmen die Strom- und Gaslieferung an mehr als 15 Mio. Verbraucher. Es unterliegt der California Public Utilities Commission.	77 Beale Street San Francisco, CA 94177 +1-415-973-7000 customerservice@pge.com www.pge.com
Peninsula Clean Energy Peninsula Clean Energy ist der offizielle Stromversorger von San Mateo County, der sauberen und erschwinglichen Strom erzeugt und erhebliche Reinvestitionen in die Gemeinde tätigt. Als eine von Kaliforniens Community Choice Aggregation (CCA)-Organisationen verfügt Peninsula Clean Energy über die Flexibilität und die lokale Kontrolle, um innovative Optionen beim Kauf und der Erzeugung von Strom für Einwohner und Unternehmen zu nutzen.	2075 Woodside Road Redwood City, CA 94061 +1-866-966-0110 info@peninsulacleanenergy.com www.peninsulacleanenergy.com/
Pico Rivera Innovative Municipal Energy Pico Rivera Innovative Municipal Energy (PRIME) ist das neue lokale Energieprogramm, das von der Stadt Pico Rivera ins Leben gerufen wurde. Dieser saubere und moderne Stromversorger steht ausschließlich denjenigen zur Verfügung, die in Pico Rivera arbeiten und leben. Mit dem hochgesteckten Ziel, die innovativsten, dezentralisierten modernen Energietechnologien im Bundesstaat zu schaffen, ist Pico Rivera entschlossen, bei der Entwicklung sauberer Energieplattformen für seine Kunden mitzuhelfen.	6615 Passons Boulevard Pico Rivera, CA 90660 +1-562-801-4421 info@poweredbyprime.org www.poweredbyprime.org/

Pioneer Community Energy Pioneer Community Energy wird von einem Gremium lokal gewählter Beamter geführt, die sich zum Ziel gesetzt haben, Strom zu niedrigeren und stabileren Tarifen bereitzustellen. Da Pioneer keine Anteilseigner hat, können in ihren lokalen Gemeinden Einsparungen und Investitionen getätigt werden, um die Tarife niedrig zu halten und lokale Elektrizitätsprogramme zu entwickeln, die den Einwohnern und Unternehmen zugutekommen.	2510 Warren Drive, Suite B Rocklin, CA 95677 +1-844-937-7466 customerservice@pioneercommunityenergy.ca.gov www.pioneercommunityenergy.ca.gov/
Pomona Choice Energy Pomona Choice Energy – von der Stadt Pomona speziell für Einwohner und lokale Unternehmen geschaffen – bietet der Gemeinde eine Wahlmöglichkeit, wo es vorher keine gab. Pomona Choice Energy ist eine Alternative zu Southern California Edison (SCE), dem lokalen Versorgungsunternehmen im Besitz von Investoren und zuvor einzigen Stromanbieter der Stadt. Das neue Programm wird lokal verwaltet, ist nicht gewinnorientiert und bietet saubere Energie zu niedrigen, wettbewerbsfähigen Preisen.	505 South Garey Avenue Pomona, CA 91768 +1-909-620-2079 customerservice@pomonachoiceenergy.org www.pomonachoiceenergy.org/
Sacramento Municipal Utility District (SMUD) SMUD versorgt das Sacramento County in Kalifornien mit Elektrizität und ist mit ca. 625.000 Kunden einer der zehn größten öffentlichen Energieversorger in den Vereinigten Staaten.	6301 S Street Sacramento, CA 95817 +1-877-452-3211 customerservices@smud.org www.smud.org
San Diego Gas & Electric (SDG&E) San Diego Gas & Electric ist einer der drei größten Energieversorger Kaliforniens und beliefert rund 3,4 Mio. Verbraucher in San Diego und dem Orange County im Südwesten der USA mit Energie. Das Unternehmen gehört zu und wird reguliert von Sempra Energy, einer Holding, deren Tochterunternehmen Strom und Gas liefern sowie Produkte und Dienstleistungen im Energiebereich anbieten.	8326 Century Park Court San Diego, CA 92123 +1-619-696-2000 info@sdge.com www.sdge.com

San Diego Community Power San Diego Community Power (SDCP) ist ein „Community Choice Aggregation"-Programm, das für die Städte Chula Vista, Encinitas, Imperial Beach, La Mesa und San Diego eingerichtet wurde, um sauberen, kohlenstofffreien Strom für die Gemeinden zu erzeugen. Als lokal kontrollierter, nicht gewinnorientierter Energieversorger wird San Diego Community Power niemals vom Steuerzahler finanziert werden und wird die wirtschaftliche Vitalität durch die Bereitstellung sauberer Energie zu wettbewerbsfähigen Preisen und die Finanzierung lokaler Projekte für erneuerbare Energien unterstützen.	1200 3rd Street, 18th Floor San Diego, CA 92101 +1-858-492-6005 info@sdcommunitypower.org www.sdcommunitypower.org/
San Francisco Public Utilities Commission (SFPUC) Bei der SFPUC handelt es sich um eine Abteilung der Stadt und des Countys San Francisco. Sie hat eine Regulierungsfunktion und kümmert sich um die Wasserversorgung, Abwasserbeseitigung und städtische Stromversorgung.	1155 Market Street San Francisco, CA 94103 +1-415-551-4720 info@sfwater.org www.sfwater.org
San Jose Clean Energy San José Clean Energy, oder SJCE, ist der neue Stromversorger von San José, der Bewohner und Unternehmen mit sauberer, erschwinglicher Energie versorgt. Er wird vom Community Energy Department der Stadt San José betrieben und hat sich der Schaffung einer nachhaltigeren Zukunft für die Gemeinde und künftige Generationen verschrieben.	200 E Santa Clara Street San Jose, CA 95113 +1-833-432-2454 info@sanjosecleanenergy.org www.sanjosecleanenergy.org/
Silicon Valley Clean Energy SVCE ist eine öffentliche, nicht gewinnorientierte Agentur, die 270.000 Privat- und Geschäftskunden in 13 Gemeinden des Silicon Valley mit sauberem Strom versorgt. Seit 2017 hat SVCE über 1 Mrd. USD für den Bau neuer Anlagen für erneuerbare Energien bereitgestellt und gleichzeitig den Kunden mehr als 50 Mio. USD an Stromkosten erspart. SVCE arbeitet eng mit PG&E zusammen, das Strom über Stromleitungen an Haushalte und Unternehmen liefert.	333 W. El Camino Real #330 Sunnyvale, CA 94087 +1-844-474-7823 info@svcleanenergy.org www.svcleanenergy.org/

Solana Energy Alliance Die SEA bietet ihren Kunden sauberere Energie, wettbewerbsfähige Tarife, mehr Wahlmöglichkeiten und lokale Kontrolle. Im Juli 2017 verabschiedete der Stadtrat von Solana Beach den Solana Beach Climate Action Plan, in dem die Umsetzung eines Community Choice Aggregation-Programms als die Nummer eins der Strom- und Erdgasmaßnahmen zur Reduzierung der Treibhausgasemissionen bezeichnet wurde.	City Hall 635 S. HWY 101 Solana Beach, CA 92075 +1-858-720-4422 info@SolanaEnergyAlliance.org www.solanaenergyalliance.org/
Southern California Edison (SCE) Als einer der drei wichtigsten Energieversorger Kaliforniens beliefert Southern California Edison etwa 14 Mio. Verbraucher mit Strom. Das Versorgungsgebietet reicht von Zentral- bis Südkalifornien und in die Küstenregionen, ausgenommen Los Angeles.	2244 Walnut Grove Avenue Rosemead, CA 91770 +1-626-302-1212 customerservice@sce.com www.sce.com
Southern California Public Power Authority Die Southern California Public Power Authority besteht aus elf Stadtwerken und liefert erneuerbaren Strom an ca. zwei Mio. Kunden auf über 7.000 Quadratmeilen.	1160 Nicole Court Glendora, CA 91740 +1-626-793-9364 mwebster@scppa.org www.scppa.org
Valley Clean Energy Die Valley Clean Energy Alliance, oder VCE, ist der offizielle Stromversorger für Kunden in den Städten Woodland und Davis sowie im nicht inkorporierten Yolo County. Sie ist eine gemeinnützige öffentliche Einrichtung, was bedeutet, dass sie zu 100% für die Kunden arbeitet. VCE bietet zum ersten Mal überhaupt eine Auswahl an Stromversorgern an.	604 2nd Street Davis, CA 95616 +1-530-446-2750 info@valleycleanenergy.org www.valleycleanenergy.org/
Carbon Lighthouse Carbon Lighthouse ist ein Technologieunternehmen, das Eigentümern von Gewerbeimmobilien (CRE) eine einfache Dekarbonisierung von Gebäuden bietet. Mit mehr als einem Jahrzehnt fundierter Expertise bei der Beseitigung von CO_2-Emissionen aus der bebauten Umwelt erschließen die einzigartige Efficiency Production-Plattform und die CLUES®-KI-Software neue klimatische, finanzielle und betriebliche Werte für Eigentümer, die Dekarbonisierungsziele erreichen müssen.	343 Sansome Street San Francisco, CA 94104 +1-866-573-7755 info@carbonlighthouse.com www.carbonlighthouse.com

9.3 Interessante Unternehmen

Name/Beschreibung	Kontaktdaten
Bloom Energy Der Bloom Energy Server ist eine dezentrale Stromversorgungslösung, die für das digitale Zeitalter entwickelt wurde und in der Lage ist, hochzuverlässige, unterbrechungsfreie, konstante Stromversorgung rund um die Uhr zu liefern, die zudem sauber und nachhaltig ist. Die einzigartigen Vor-Ort-Stromerzeugungssysteme von Bloom gehören zu den effizientesten der Welt, bieten deutlich reduzierte Betriebskosten und produzieren drastisch niedrigere Treibhausgasemissionen. Durch die Erzeugung von Strom dort, wo er verbraucht wird, bietet Bloom Energy erhöhte elektrische Zuverlässigkeit und verbesserte Energiesicherheit und bietet einen klaren Weg zur Energieunabhängigkeit.	4353 N 1st Street San Jose, CA 95134 +1-408-543-1500 info@bloomenergy.com www.bloomenergy.com
In3BioRenewables In3BioRenewables unterstützt Start-ups bei der Entwicklung, Finanzierung und Realisierung von Bioenergieprojekten.	181 Pajaro Circle Freedom, CA 95019 +1-831-761-0700 info@in3inc.com www.in3group.net
SoCalGas Als größtes Erdgasversorgungsunternehmen der USA liefert SoCalGas Energie an 21,6 Mio. Verbraucher in Zentral- und Südkalifornien.	1811 Hillhurst Avenue Los Angeles, CA 90027 +1-800-427-2200 webmaster@socalgas.com www.socalgas.com
Strategen Consulting Strategen arbeitet im gesamten Ökosystem des Energiesektors mit führenden Persönlichkeiten des öffentlichen Sektors, globalen Technologieunternehmen, Versorgungsunternehmen und Projektentwicklern zusammen, um sie dabei zu unterstützen, ihre Ziele im Bereich der erneuerbaren Energie über die synergetischen Plattformen des Unternehmens für Beratung, Verbandsmanagement und Veranstaltungen zu erreichen.	2150 Allston Way, Suite 400 Berkeley, CA 94704 +1-510-665-7811 info@strategen.com www.strategen.com

Tetra Tech Tetra Tech ist ein führender Anbieter von Beratung, Engineering, Programmmanagement, Bauleitung und technischen Dienstleistungen. Das Unternehmen unterstützt Regierungs- und Handelskunden durch innovative Lösungen für Wasser, Umwelt, Infrastruktur, Ressourcenmanagement, Energie und internationale Entwicklung.	3475 East Foothill Boulevard Pasadena, CA 91107 +1-626-470-2844 jim.wu@tetratech.com www.tetratech.com

10. Quellenverzeichnis

Adelphi (2021): Wasserstoff in den USA: Potenziale, Diskurs, Politik und transatlantische Kooperation, abgerufen am 11.11.2021

Atlantiv Council (2021): Hydrogen Policy Sprint, abgerufen am 09.11.2021

BakerMcKenzie (2020): Shaping tomorrow's global hydrogen market via de-risked investments, abgerufen am 09.11.2021

Before the public utilities commission of the state of California (2020): Motion for party status of the green hydrogen coalition, abgerufen am 08.11.2021

Bloom Energy (2021): Heliogen and Bloom Energy Lead the Way to Produce Low-Cost Green Hydrogen Following Successful Demonstration, abgerufen am 30.11.2021

Bundesministerium für Bildung und Forschung (2020): Eine kleine Wasserstoff-Farbenlehre, abgerufen am 18.11.2021

Bureau of Economic Analysis (2021): California, abgerufen am 06.12.2021

Bureau of Economic Analysis (2021): Germany International Trade and Investment, abgerufen am 06.12.2021

Bureau of Labor Statistics (2021): The Employment Situation, abgerufen am 06.12.2021

California Air Resources Board (2018): Annual Evaluation of Fuel Cell Electric Vehicle Deployment & Hydrogen Fuel Station Network Development, abgerufen am 09.11.2021

California Air Resources Board (2021): California Greenhouse Gas Emissions for 2000 to 2019, abgerufen am 15.12.2021

California Air Resources Board (kein Datum): Carbon Capture & Sequestration, abgerufen 26.01.2022

California Energy Commission (2020): 2020 Total System Electric Generation, abgerufen am 06.12.2021

California Energy Commission (kein Datum): Hydrogen Vehicles & Refueling Infrastructure, abgerufen am 26.01.2022

California Energy Commission (2020): Joint Agency Staff Report on Assembly Bill 8, abgerufen am 30.12.2021

California Energy Commission (2021): About the California Energy Commission, abgerufen am 06.12.2021

California Fuel Cell Partnership (2020): Roadmap for the Deployment and Buildout of Renewable Hydrogen Production Plants in California, abgerufen am 06.12.2021

California Hydrogen Business Council (2018): About Us, abgerufen am 08.12.2021

California ISO (2016): Flexible Resources Help Renewables, abgerufen am 06.12.2021

California ISO (2021): Understanding the ISO, abgerufen am 06.12.2021

California Legislative Information (2018): Assembly Bill No. 3232, abgerufen am 15.12.2021

California Legislative Information (2018): SB-100 California Renewables Portfolio Standard Program, abgerufen am 06.12.2021

California Public Utilities Commission (2021): CCA Regulatory Information, abgerufen am 06.12.2021

California Public Utilities Commission (2021): What is the California Public Utilities Commission?, abgerufen am 06.12.2021

Central Intelligence Agency (2021): The World Factbook - USA, abgerufen am 06.12.2021

Chemie.de (kein Datum): Elektrolyse, abgerufen am 19.11.2021

City of Lancaster (2020): Lancaster, CA Becomes the First Hydrogen City in the United States, abgerufen am 15.12.2021

CNBC (2021): Why California is shutting down its last nuclear plant, abgerufen am 19.11.2021

Çora, Hakan & Mikail, Elnur (2020), 21st Century Hydrogen Energy Economics, Swot Review and Selected Examples of Global Patterns, abgerufen am 03.12.2021

CPUC (2020): Renewable Portfolio Standard Program (RPS), abgerufen am 25.10.2021

Deloitte (2020): 2021 renewable energy industry outlook, abgerufen am 12.11.2021

Deutsche Energie-Agentur (2019): Power to X: Technologien, abgerufen am 29.11.2021

Die Bundesregierung (2019): Deutsche Industrie erwirtschaftet hohe Umsätze, abgerufen am 03.12.2021

EMCEL (2021): Welche Vorteile bietet die Hochtemperatur-Elektrolyse?, abgerufen am 23.11.2021

en:former (2018): Strom, der neue Brennstoff, abgerufen am 29.11.2021

EnergieSystemForschung (2021): Stromversorgung aller Branchen verknüpfen, abgerufen am 29.11.2021

Energy.Gov (kein Datum): Hydrogen Production: Electrolysis, abgerufen am 23.11.2021

EPA (kein Datum): Energy and Environment Guide to Action, abgerufen am 25.10.2021

Federal Energy Regulatory Commission: Shaping the Grid of the Future, abgerufen am 26.10.2021

FfE (2021): Elektrolyse – Die Schlüsseltechnologie für Power-to-X, abgerufen am 23.11.2021

Forbes (2019): California, abgerufen am 06.12.2021

Forschungszentrum Jülich GmbH (kein Datum): Alkalische Elektrolyse, abgerufen am 23.11.2021

Forschungszentrum Jülich GmbH (kein Datum): Polymerelektrolytmembran-Elektrolyse, abgerufen am 23.11.2021

German Trade & Invest (2021): Die USA wollen die Nummer eins bei Wasserstoff werden, abgerufen am 11.11.2021

green energy lab (2021): Sektorkopplung – ein wesentlicher Beitrag zur Energiewende, abgerufen am 29.11.2021

Green Hydrogen Coalition (2021): About GHC, abgerufen am 30.11.2021

Green Hydrogen Coalition (2021): Green Hydrogen Guidebook, abgerufen am 30.11.2021

Green Hydrogen Coalition (2021): LADWP Joins HyDeal LA, abgerufen am 30.11.2021

Greentecch Media (2020): How to Build a Green Hydrogen Economy for the US West, abgerufen am 30.11.2021

Greentech Media (2021): How Siemens Energy Is Targeting the US Geen Hydrogen Opportunity, abgerufen am 30.11.2021

H2international (2019): What exactly is power-to-X?, abgerufen am 29.11.2021

Hitachi Zosen (2021): Green Hydrogen for California, abgerufen am 05.11.2021

Hydrogen Council (2020): Path to hydrogen competitiveness A cost perspective, abgerufen am 08.11.2021

IKEM (2020): Wasserstoff -Farbenlehre, abgerufen am 18.11.2021

I Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg (2019): CO2-Quellen für die PtX-Herstellung in Deutschland - Technologien, Umweltwirkung, Verfügbarkeit, abgerufen am 01.12.2021

Lernhelfer (2021): Wasserstoff, abgerufen am 18.11.2021

Lexology – Key distinctions between distributors and agents (2013), abgerufen am 11.11.2021

Linde (2021): Linde to Produce Green Hydrogen for Mobility Market in California, abgerufen am 07.12.2021

Loan Programs Office (2021): H2@Scale, abgerufen am 27.11.2021

Million Insights (2021): Hydrogen Generation Market Analysis Report, abgerufen am 06.12.2021

National Conference of State Legislatures (2020): State Renewable Portfolio Standards and Goals, abgerufen am 09.12.2021

National Law Review (2021): Infrastructure Investment and jobs Act: Accelerating the Development of Hydrogen, abgerufen am 08.12.2021

National Renewable Energy (2020): Interconnection Standards, abgerufen am 26.10.2021

National Renewable Energy Laboratory (2016): California Power-to-Gas and Power-to-Hydrogen Near-Term Business Case Evaluation, abgerufen am 10.11.2021

National Renewable Energy Laboratory (2020): Study Shows Abundant Opportunities for Hydrogen in a Future Integrated Energy System, abgerufen am 06.12.2021

Plug Power (2021): Plug Power to Build Largest Green Hydrogen Production Facility on the West Coast, abgerufen am 30.12.2021

Pixabay (2021): Pixabay Illustrations, abgerufen am 07.01.2022

Power (2020): Power-to-Gas Offers an Optimal Path for a Carbon-Free California, abgerufen 26.01.2022

Public Policy Institute of California (kein Datum): California's Population, abgerufen am 06.12.2021

Renewable Energy and Environmental Sustainability (2019): The hydrogen economy and jobs of the future, abgerufen am 06.11.2021

Representative of German Industry & Trade (kein Datum): German Business in the USA, abgerufen am 06.12.2021

Road map to a us hydrogen economy (2021): Reducing emissions and driving growth across the nation, abgerufen am 11.11.2021

RP-Energie-Lexikon (kein Datum): Methanisierung, abgerufen am 08.12.2021

S&P Global (2020): SDG&E plans first US Long-Duration Green Hydrogen Storage Facilities, abgerufen am 30.12.2021

Scientific American (2021): Cost of Carbon Pollution Pegged at $51 a Ton, abgerufen am 26.10.2021

SGH2 Energy (2020): World's Largest Green Hydrogen Project to Launch in California, abgerufen am 30.11.2021

SGH2 Energy (kein Datum): About Us, abgerufen am 15.12.2021

SGH2 Energy (kein Datum): World's Largest Green Hydrogen Project to Launch in California, abgerufen am 15.12.2021

Siemens (2020): e-hydrogen for deep decarbonization of all end user sectors, abgerufen am 26.10.2021

Siemens energy (2021): Hydrogen Solutions, abgerufen am 26.01.2022

Small business (2020): How to Choose the Right Distribution Channel for your Business, abgerufen am 11.11.2021

SoCalGas (2021): SoCalGas Aims to Advance Transformative Hydrogen Technologies via U.S. Department of Energy Hydrogen "Eartshot" RFI, abgerufen am 05.12.2021

SoCalGas (kein Datum): Power-To-Gas Technology, abgerufen am 26.01.2022

SoCalGas Newsroom (2021): SoCalGas and Bloom Energy Collaborate on New Hydrogen Project, abgerufen am 26.01.2022

Springer Professional (2021): Wie sich Elektrolyseure für die Massenproduktion eignen, abgerufen am 23.11.2021

Statista (2021): Covid-19 and Investment Behavior Worldwide, abgerufen am 06.12.2021

Stefan Best, Daniel Becker und Detlef Schulz (kein Datum): Power-to-Gas- Funktionsweise, Technologien und Anwendungen, abgerufen 23.11.2021

Strategieplattform Power to Gas (kein Datum): Erzeugung synthetischer Energieträger, abgerufen am 08.12.2021

The White House (2021): Fact Sheet, abgerufen am 06.12.2021

The World Bank (2021): GDP Ranking, abgerufen am 06.12.2021

The World Bank (2021): Global Outlook, abgerufen am 06.12.2021

U.S. Census Bureau (2021): International Trade and Good Services, abgerufen am 06.12.2021

U.S. Department of Energy (2021): Department of Energy Hydrogen Program Plan, abgerufen am 25.10.2021

U.S. Department of Energy (2021): Hydrogen Pipelines, abgerufen am 25.10.2021

U.S. Department of Energy (2021): Solicitations and Business Opportunities, abgerufen am 25.11.2021

U.S. Department of the Treasury (2021): U.S. International Reserve Position, abgerufen am 06.12.2021

U.S. Energy Information Administration (2019): Renewable Energy explained, abgerufen am 25.10.2021

U.S. Energy Information Administration (2021): California State Energy Profile, abgerufen am 06.12.2021

U.S. Energy Information Administration (2021): California State Profile and Energy Estimates, abgerufen am 06.12.2021

UCI (2020): UC Irvine Research Program Takes Step Toward Affordable Energy, abgerufen am 08.12.2021

UCI (2021): National Fuel Cell Research Center, abgerufen am 08.12.2021

Urbangrid (2019): Types Of Power Purchase Agreements For Offsite Renewable Energy Projects, abgerufen am 26.10.2021

VDI (2021): Power-to-X-Technologien für die Sektorkopplung, abgerufen am 29.11.2021

Virtuelles Institut: Strom zu Gas und Wärme (2015): Technologiecharakterisierungen, abgerufen am 23.11.2021

WSHA (2021): About WSHA, abgerufen am 30.11.2021

11. Interviewverzeichnis

Die Übersetzung der Interviews geschah durch das Delegiertenbüro der Deutschen Wirtschaft in San Francisco.

Interview mit Andrew Martinez, Hydrogen Program Expert, California Air Resources Board Fuel Cell, durchgeführt am 29.11.2021

Interview mit Derek Hobden, Power Systems Development Manager, Siemens, durchgeführt am 23.11.2021

Interview mit Mark Riedy, Counsel, Kilpatrick Townsend & Stockton LLP, durchgeführt am 18.11.2021

Interview mit Jamie Randolph, Business Development Manager, PG&E, durchgeführt am 17.12.2021