

Die Wohnungswirtschaft Deutschland



Grüner Wasserstoff in der Wohnungswirtschaft

Beitrag des GdW zum Projekt
Global Energy Perspectives

Oktober 2023

Herausgeber:
GdW Bundesverband
deutscher Wohnungs- und
Immobilienunternehmen e.V.
Klingelhöferstraße 5
10785 Berlin
Telefon: +49 (0)30 82403-0
Telefax: +49 (0)30 82403-199

Brüsseler Büro des GdW
3, rue du Luxembourg
1000 Bruxelles
Telefon: +32 2 5 50 16 11
Telefax: +32 2 5 03 56 07

E-Mail: mail@gdw.de
Internet: <http://www.gdw.de>

Der GdW Bundesverband deutscher Wohnungs- und Immobilienunternehmen e.V. ist im Lobbyregister für die Interessenvertretung gegenüber dem Deutschen Bundestag und der Bundesregierung eingetragen und übt seine Interessenvertretung auf der Grundlage des Verhaltenskodex für Interessenvertreterinnen und Interessenvertreter im Rahmen des Lobbyregistergesetzes aus.

Inhalt

	Seite
1 Einführung	1
2 Herausforderung Gebäudebestand	5
2.1 Weltweite Sicht	5
2.2 Deutschland	6
2.3 Spezialfall GdW	8
2.4 Zusammenfassung	10
3 Erklärung Szenarien und Auswahl des Szenarios für unsere Arbeit	15
3.1 Überblick über Studien	15
3.2 Design der dena-Leitstudie	18
3.3 Zusammenfassung	21
4 Einordnung & Bewertung internationaler H₂-Produktion und Handel	22
4.1 Faktoren für den (globalen) Markthochlauf grünen Wasserstoffs	23
4.2 Datenquellen und Vorgehen	29
4.3 Einordnung internationaler Projekte	32
4.4 Zusammenfassung	35
5 Lokale Wasserstoffproduktion: Politische Situation und aktuelle Entwicklungen	36
5.1 Zusammenfassung	38
6 Schlussfolgerungen für die Wohnungswirtschaft	43
7 Zusammenfassung	45
8 Literaturverzeichnis	47

1 Einführung

Im Jahr 2021 haben sowohl die Europäische Union als auch Deutschland die Ambitionsniveaus ihrer Treibhausgasminderungsziele erneut angehoben. Die Treibhausgasemissionen in Deutschland sollen bis 2030 um 65 % gegenüber 1990 reduziert werden. Im Zuge des russischen Angriffskrieges wurden außerdem die Zielwerte für die Erzeugung erneuerbarer Energien in Deutschland noch einmal angehoben: 2030 sollen bereits 80 % des Bruttostromverbrauchs in Deutschland aus Erneuerbaren Energien stammen.

Die Erreichung dieser Zielmarken sind zuvorderst notwendig, um das globale Klimaziel der Begrenzung der Erderwärmung auf maximal 1,5 °C zu erreichen. Hinzu kommt nun auch das Ziel der Unabhängigkeit von fossilen Energieimporten aus Russland, das seit dem Krieg in der Ukraine zum Paria-Staat geworden ist. Der Korridor an Umsetzungsmöglichkeiten hat sich damit deutlich verengt, da insbesondere das einstmals als Brückentechnologie beworbene Erdgas und die Abhängigkeit davon zur Herausforderung geworden ist.

Dem 1,5-Grad-Ziel entsprechend fordert die europäische Gebäude-richtlinie von 2018 für 2050 den nahezu klimaneutralen Gebäudebestand sowie ausgehend von den Beschlüssen im Jahr 2021 Netto-Null-Emissionen¹ in 2050. Deutschland strebt Netto-Null-Emissionen bzw. Klimaneutralität aller Wirtschaftsbereiche bereits 2045 an. Die deutsche Immobilienwirtschaft unterstützt das Ziel der Klimaneutralität und setzt zur Zielerreichung alle wohnungswirtschaftlich vertretbaren Maßnahmen zur Hebung der Potenziale um.

Während die Jahre 1990 bis 2014 im deutschen Gebäudesektor durch CO₂-Minderungen von etwa 2,4 % p.a. geprägt waren, wurden die gesetzten Zielmarken in den zurückliegenden zwei Jahren trotz erheblicher Emissionsminderungen verfehlt. Mitverantwortlich für diese Zielverfehlung ist wohl unter anderem der Endenergieverbrauch der Wohngebäude, der seit 2013 etwa stagniert. Fraglich ist somit wie hier neue Impulse gesetzt werden können, um die Emissionen von Treibhausgasen im Gebäudebestand rasch, kosteneffizient und nachhaltig zu mindern.

Die Lösungen zur Reduktion der CO₂-Emissionen in Wohngebäuden lassen sich grob in zwei Kategorien einteilen: die Verringerung des Energieverbrauchs durch Energieeffizienzmaßnahmen und der Wechsel zu Energieträgern mit geringen bzw. gänzlich ohne CO₂-Emissionen. Über das kostenoptimale Verhältnis und die passende Zielrichtung dieser beiden für Immobilienbestandhalter grundlegenden Optionen bestehen jedoch unterschiedlichste Auffassungen. Letzten Endes darf der Gebäudesektor, um das Ziel der

¹ Netto-Null bedeutet nicht, dass keine Treibhausgase mehr emittiert werden, sondern dass die verbliebenen Emissionen (im Jahr 2045) durch negative Emissionen, also CO₂-Senken oder die dauerhafte Entnahme von CO₂ aus der Atmosphäre gebunden werden. Nach Abzug der negativen Emissionen sollen „unter dem Strich“ keine Emissionen übrigbleiben (IPCC 2018 Annex I: Glossary).

Klimaneutralität zu erreichen, 2045 keine CO₂-Emissionen mehr emittieren. Damit diese Rechnung aufgeht, muss entweder der Verbrauch oder der Emissionsfaktor des Energieträgers auf null gebracht werden. Das bedeutet, dass keine Vor-Ort-Verbrennung fossiler Energieträger mehr stattfinden darf und der Energiesektor (Fernwärme und zentrale Stromerzeugung) ebenfalls CO₂-freie Energie liefern muss. Da der Verbrauch niemals null sein kann, sind emissionsfreie Energieträger das notwendige Ziel. Bei allen Fortschritten, die wir in Deutschland und auf der Welt bereits im Hinblick auf die Versorgung mit Strom aus erneuerbaren Energien erreicht haben, ist es noch ein weiter Weg bis zu netto Nullemissionen. Besonders im Übergang zu einem Energiesystem, das ganz auf erneuerbaren Energien basiert, ist es wichtig, den Ausstoß von Treibhausgasen mittels Energieeffizienz einzudämmen. Die Steigerung der Energieeffizienz spielt auch in Wohngebäuden eine Rolle, um wertvolle Energie einzusparen. Effizienzgewinne reduzieren zwar Emissionen und tragen so zur Zielerreichung bei, allerdings müssen diese mit zunehmenden Grenzvermeidungskosten der Investitionen immer teurer erkaufte werden.

Betrachtet man beispielsweise energetisch sehr schlechte Bestandsgebäude, sind die typischen ersten Maßnahmenbündel kosteneffizient und wirksam. Werden hingegen Objekte auf ein besonders hohes Effizienzniveau saniert, so wird jede weitere eingesparte kWh Energie in Relation zu den bisherigen Effekten relativ „teurer“ erkaufte. Dabei kommt schnell die Frage auf, ob weitere Investitionen zur Einsparung immer geringerer Mengen an Energie nicht besser in den Ausbau und die Bereitstellung erneuerbarer Energieträger investiert werden sollte. Anders ausgedrückt: ist die energetische Effizienz der Immobilie bereits gut, dann steigen die Kosten für jede weitere Einheit der energetischen Ertüchtigung überproportional stark an. Mit Effizienzgewinnen alleine wird das Ziel der Netto-Null Treibhausgasemissionen nicht erreicht werden können, wenn nicht gleichzeitig auch die Energieträger dekarbonisiert werden.

Bei der Zielerreichung kommt es ebenfalls darauf an, dass die Energiewende nicht nur volkswirtschaftlich, sondern auch für die Verbraucherinnen und Verbraucher so kostengünstig wie möglich ausgestaltet wird. Insbesondere im Mietwohnungs- und Wärmemarkt ist die Sozialverträglichkeit von hoher Relevanz. Grünem Wasserstoff – mittels Elektrolyse unter Nutzung von Strom aus erneuerbaren Energien erzeugt – wird für die Zukunft das Potential zugeschrieben, zu einer kostengünstigeren und sozialverträglicheren Wärmewende beitragen zu können. In der aktuellen politischen Diskussion wird dem (grünen) Wasserstoff hingegen bisher kaum eine Rolle in der zukünftigen Wärmeversorgung beigemessen. Hier liegt der Fokus voll und ganz auf Wärmepumpen und Fernwärme. Die Aussagen der großen renommierten Studien und Szenarien zur Klimaneutralität sind hinsichtlich Wasserstoff im Wärmemarkt ebenfalls verhalten, lediglich die dena-Leitstudie „Aufbruch Klimaneutralität“ sieht in diesem Sektor in jedem Fall eine Zukunft für Wasserstoff. Einig sind sich alle Studien aber, dass Deutschland den Großteil des benötigten Wasserstoffs importieren müssen. Eine der vielen Fragen ist dabei, wann wird Wasserstoff aus deutscher

Produktion oder den internationalen Märkten in beträchtlichen Mengen zur Verfügung stehen?

Diese Frage möchten wir im Rahmen unserer Mitarbeit im Projekt *Global Energy Perspectives* des Global Energy Solutions e.V. versuchen zu beantworten. Wir möchten das Projekt nutzen, um mehr über die Chancen des Importes von grünem Wasserstoff zu lernen sowie die besondere Perspektive und Herausforderung der Wohnungswirtschaft im Hinblick auf die Klimaneutralität in das Projekt einspeisen.

Grundlage unserer Annahmen über den Einsatz von Wasserstoff im Gebäudebereich ist die dena-Leitstudie *Aufbruch Klimaneutralität*. Die Abschätzungen der dena-Leitstudie zeigen, in welchem Umfang bei unterschiedlichen, aber noch realistischer Maßnahmenentwicklungen (Sanierungsrate, Verbreitung elektrischer Wärmeerzeuger) treibhausgasneutrale Gase in verschiedenen Szenarien zur Zielerreichung im Jahr 2030 und in 2045 beitragen können bzw. benötigt werden. Die Studie unterscheidet dabei nicht nach der Herkunft der klimaneutralen Gase bzw. des Wasserstoffs. Aus den verschiedenen Szenarien ergibt sich ein Wasserstoff-Korridor von 3 TWh/a im Jahr 2030 bis hin zu 115 TWh/a im Jahr 2045 allein für den Wärmesektor.

Aktuelle Prognosen sind sich uneins darüber, inwieweit der gemäß der deutschen Wasserstoffstrategie erforderliche Bedarf bis 2030 im entsprechenden Umfang aus heimischer oder internationaler Produktion gedeckt werden kann. Die neue Bundesregierung hat sich für eine Forcierung der einheimischen Erzeugung von Wasserstoff auf Basis Erneuerbarer Energien entschieden. Das langfristige Ziel ist dabei weiterhin, Deutschland zum Leitmarkt für Wasserstoff-Technologien zu entwickeln. Die Koalition will eine Elektrolysekapazität von rund 10 GW im Jahr 2030 erreichen. Das BMWi hatte in der vorangegangenen Legislatur die Prognose zum heimischen Strombedarf für die Wasserstoffelektrolyse für das Jahr 2030 gegenüber der ersten Abschätzung von 30 TWh auf 20 TWh/6,5 GW Elektrolysekapazität nach unten korrigiert.²

Wie viel Wasserstoff am Ende aber für die vielfältigen möglichen Nachfrager aus den Sektoren Industrie, Verkehr, Energie und Wärme zur Verfügung stehen wird, ist aktuell noch völlig unklar. Konkret wird es in dieser Hinsicht wohl erst dann, wenn die Infrastruktur – Produktionsanlagen, Pipelines, Hafenanlagen und Schiffe – vorhanden sind und der Wasserstoff bzw. dessen Derivate zu den Abnehmern gelangen. Als gesichert gilt dabei, dass Deutschland einen Großteil des Wasserstoffs importieren müssen, um seine Nachfrage zu decken. Nach heutigem Stand kann der deutsche Wasserstoffbedarf aufgrund unterschiedlicher Faktoren nicht allein

² Die erste Verbrauchsprognose: <https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Pressemitteilungen/2021/07/20210713-erste-abschaetzungen-stromverbrauch-2030.html>; abgerufen am 05.07.2022

Die zweite Verbrauchsprognose: https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Downloads/E/prognos-bruttostromverbrauch-2018-2030.pdf?__blob=publicationFile&v=2; abgerufen am 05.07.2022

aus heimischer Produktion gedeckt werden. Dazu gehören unter anderem regulatorische Hürden für den Aufbau der entsprechenden Infrastruktur, Erzeugungskosten (die an den vergleichsweise hohen Strompreisen hängen) sowie der Umstand das Elektrolyseure hierzulande nicht mit den entsprechenden Volllaststunden betrieben werden können, um den Energieträger in ausreichenden Mengen und auskömmlichen Preisen bereitstellen zu können.

Durch den russischen Angriffskrieg in der Ukraine wurde die deutsche Energiepolitik nachhaltig verändert. In kürzester Zeit wurden Terminals und Regasifizierungsanlagen in deutschen Häfen gebaut, um den Ausfall russischer Erdgaslieferungen mit dem Import von Flüssiggas zu kompensieren. Über diese Anlagen wird nun bereits seit Dezember 2023 Flüssiggas nach Deutschland importiert. Hinzu kommt, dass der Energieträger Erdgas mit dem Krieg und den darauffolgenden Preissteigerungen massiv an Akzeptanz in der Bevölkerung verloren hat. Auch die Industrie will ihre Abhängigkeit vom Erdgas verringern, um die Belastung durch die hohen Energiepreise zu verringern. Damit wird der Druck zur Transformation des Energiesystems sowohl von marktwirtschaftlicher als auch politischer Seite erhöht. Die Bundesregierung hat angesichts des Krieges die Ziele zum Ausbau der Erneuerbaren Energien bis 2030 unlängst erst erhöht. Wasserstoff, sofern Grün erzeugt, dürfte damit eine noch größere Aufmerksamkeit und eine neue Dynamik erfahren als bisher.

Inwieweit Wasserstoff zur Versorgung von Privathaushalten eine Rolle spielen wird, ist dabei aktuell noch nicht entschieden. Viele Studien und große Teile der Wissenschaftscommunity sprechen sich eindeutig gegen einen dezentralen Einsatz in Wohngebäuden –ähnlich dem heutigen Erdgas- aus. Im vergangenen Jahr sprachen sich sowohl Staatssekretär Patrick Graichen aus dem BMWK und der Vorsitzenden der Netzagentur dafür aus, den Rückbau der Gasnetze zu überprüfen. Energieversorger und die Gaswirtschaft hingegen sehen hingegen für Wasserstoff durchaus auch in dezentraler Wärmebereitstellung eine Zukunft.

Der deutsche Wasserstoffrat hat sich im Jahr 2021 dafür ausgesprochen, dass keine Grundsatzentscheidungen für oder gegen einen Wärmemarkt mit grünen Gasen bzw. Wasserstoff getroffen werden sollten, solange nicht eine bessere Daten- und Erfahrungsgrundlage verfügbar ist. Aus diesem Grund wurde eine entsprechende Studie in Auftrag gegeben, deren Endergebnisse Ende des Jahres 2022 vorgestellt wurden.³ Im Abschlussbericht dieser Studie wird ein differenziertes Bild von Wasserstoff im Wärmemarkt gezeichnet. Der Bericht betont die Abhängigkeit aller Ergebnisse von schwer zu bestimmenden Eingangsgrößen, wie Umfang der Verringerung des Wärmebedarfes im Wärmemarkt, Kostenentwicklung von Wasserstoff und Verfügbarkeit, lokale Netztopologien sowie personelle Ressourcen. Wichtigste Erkenntnis ist, dass der Einsatz von Wasserstoff zur Wärmeerzeugung von den lokalen Gegebenheiten abhängen wird. Um diese lokalen Gegebenheiten zu identifizieren, muss die Erarbeitung der Transformationspfade der Wärmeversorgung

³ <https://www.wasserstoffrat.de/veroeffentlichungen/studien>

auf lokaler Ebene, also Bottom-up erfolgen, wie die Autoren beschreiben. Als mithin wichtigster Faktor für eine lokale Wasserstoffnachfrage identifizieren die Autoren die aktuelle und zukünftige Nachfrage nach Prozesswärme bzw. Prozessgasen aus Industrie und Gewerbe. Dies erweist sich wiederum als wichtiger Anhaltspunkt für die Frage der Weiternutzung der Gasinfrastruktur und somit auch als relevante Fragestellung in Bezug auf die möglichen Alternativen für die im gleichen Gebiet vorhandenen Wohngebäude.

Wasserstoff wird, so eine Schlussfolgerung der Autoren, wesentlicher Bestandteil der Dekarbonisierung des Wärmemarktes -insbesondere der Industrie- sein und ein Teil des Lösungsraums für die Dekarbonisierung privater Haushalte sein. Voraussetzung für den Einsatz in der dezentralen Wohnräume sind aber niedrige Wasserstoffendkundenpreise, so die Autoren der Studie weiter. Aber in keinem Fall ersetzt Wasserstoff die Notwendigkeit des schnellen Zubaus von Wärmepumpen in Neubau und Bestandsgebäuden.

2 Herausforderung Gebäudebestand

2.1 Weltweite Sicht⁴

Global betrachtet sind Wohn- und Nichtwohngebäude für 21 % aller Treibhausgasemissionen verantwortlich. Diese Emissionen setzen sich im Einzelnen aus 57 % indirekten Emissionen aus der externen Strom- und Wärmeerzeugung, 24 % direkten Emissionen am Standort und 18 % sog. grauer Emissionen aus der Verwendung von Zement und Stahl zusammen. Wenn nur die CO₂-Emissionen berücksichtigt werden, steigt der Anteil der CO₂-Emissionen von Gebäuden an den weltweiten CO₂-Emissionen auf 31 %.

Weltweit betrachtet ist die zunehmende Nutzung von Klima- und Lüftungsanlagen für einen Großteil der Zunahme der Energieverbräuche in Wohngebäuden verantwortlich. Die Ursachen dafür sind das Wirtschaftswachstum (mehr Menschen können sich diese Anlagen leisten) sowie die absolut gestiegenen Temperaturen infolge des Klimawandels.

Mit den Effizienzgewinnen im (Wohn)-Gebäudebereich der letzten Jahrzehnte ging eine absolute Zunahme der bebauten (Wohn)-Fläche pro Kopf einher. Das Problem wird dadurch charakterisiert, dass die Wohnfläche seit Jahren zunimmt, während die Größe der Haushalte abnimmt. Hinzu kommen weltweit niedrige Renovierungsraten und die anhaltende Abhängigkeit von fossilen Rohstoffen zur Energieversorgung in Gebäuden. So hat die Nutzung von Gas in Wohngebäuden über die letzten dreißig Jahre um 75 % zugenommen, während die Nutzung von Kohle im gleichen Zeitraum um 59 % zurückgegangen ist.

Den Autoren des IPCC-Berichts zufolge hat die Dekarbonisierung der Energieversorgung das größte Potenzial, einen Beitrag zur

⁴ Die weltweite Sicht wurde aus dem sechsten Sachstandsbericht des Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) entnommen.

Zielerreichung zu leisten. An zweiter Stelle folgen Effizienz- und Suffizienzmaßnahmen.

Der IPCC-Bericht macht zu Wasserstoff bzw. Wasserstoff im Gebäudesektor ebenfalls einige Aussagen. Den Autoren zufolge ist die aktuelle Diskussion um Wasserstoff als Energieträger zur Dekarbonisierung des Energiesystems ein Phänomen der jüngeren Vergangenheit.

Im Fall des Wohnungs-/Gebäudesektors sei es eine verheißungsvolle Lösung, Gasnetze auf Wasserstoff umzustellen, um so wiederum die Dekarbonisierung dieser einzuleiten und den teureren Umstieg auf Wärmepumpen zu vermeiden. Zusätzlich könne auch die Belastung der Stromnetze verringert werden, wenn Wasserstoff/grüne Gase weiterhin eine Rolle spielen sollten. Die Autoren betonen allerdings auch, dass die Umrüstung der Gasnetze den Austausch einer Vielzahl von Leitungen, Armaturen und Endgeräten notwendig machen wird. Über Aufwand und Kosten kann hierbei nur gemutmaßt werden, da insbesondere die Wasserstoffverträglichkeit der Endgeräte in weiten Teilen unbekannt ist. Auf dem deutschen Markt können die Hersteller immerhin bereits sehr sichere Aussagen über die Vereinbarkeit ihrer Geräte mit Wasserstoff machen. Die im IPCC-Bericht mit einbezogenen Szenarien sehen für Wasserstoff nur eine geringe Rolle in Gebäuden. Die größten Wasserstoffbedarfe machen dabei die am weitesten entwickelten Regionen in Europa, Nordamerika und Teilen Asiens aus.

2.2 Deutschland

Während der deutsche Gebäudesektor in den Jahren 1990 bis 2014 Minderungen der CO₂-Emissionen von jährlich etwa 2,4 % erreichte, stagnieren die Minderungen seitdem. Es kam zwar im Jahr 2020 im gesamten Gebäudebereich zu einer Emissionsreduktion in Höhe von rund 4 Mio. Tonnen auf 119 Mio. Tonnen CO₂/a, allerdings überschritt der Gebäudesektor damit für dieses Jahr als einziger Sektor in Deutschland knapp die von der Bundesregierung im Klimaschutzprogramm 2030 festgelegten Ziele von 118 Mio. Tonnen CO₂ für das Jahr 2020. Im Jahr 2021 hat der Gebäudesektor neben dem Verkehrssektor erneut sein Sektorziel verfehlt.

Vor dem Hintergrund dieser wiederkehrenden Zielverfehlung stellt sich die Frage, wie hier neue Impulse gesetzt werden können, um die Emissionen von Treibhausgasen im Gebäudebestand kosteneffizient und nachhaltig zu mindern. Zur Sicherstellung der Erreichung der deutschen Klimaziele im Gebäudesektor ist neben der Energieeffizienz die Dekarbonisierung der Energieversorgung von hoher Relevanz.

Vor dem Hintergrund der geringen deutschen Neubaurate (aktuell circa 0,77 % p. a.) ist die Modernisierung der bestehenden Immobilien ein Schlüssel zur Erreichung der Klimaziele. Die Steigerung der Neubaurate – mit dem Ziel möglichst viele, sehr effiziente Wohngebäude zu bauen – ist nämlich gerade kein Beitrag zur Lösung. Die Treibhausgasemissionen im Neubau, die allein für die Errichtung

anfallen sind um ein Vielfaches höher als die der Sanierungen. Zusätzlich sind im Bestand bereits Emissionen gebunden, die in der Vergangenheit getätigt wurden. Ein Quadratmeter Neubau im Wohnsegment verursacht laut jüngsten Erhebungen ca. 600 kg CO₂e/m². Dies entspricht einem Anteil von circa 20 bis 25 % der gesamten Emissionen über den vollständigen Lebenszyklus der Immobilie hinweg. Bei Null- und Plusenergiehäusern steigt dieser Anteil auf bis zu 35 bis 40 %. Bei einer Modernisierung zum Effizienzhaus-Standard 55 ist eine Minderung der THG-Emissionen um circa 75 % möglich. Die eingesetzte graue Energie beträgt hingegen bezogen auf den Lebenszyklus lediglich ca. 5 % (Bienert, 2022).

Der deutsche Bestand an Mehrfamilienhäusern umfasst etwa 3,2 Mio. Objekte mit knapp 21 Mio. Wohnungen. Wohnungsunternehmen bewirtschaften etwa 30 % dieser Bestände und sind somit wesentliche Akteure der Emissionsminderung. Es muss jedoch darauf hingewiesen werden, dass Mehrfamilienhäuser etwa die Hälfte der insgesamt verfügbaren Wohnungen darstellen, dabei aber nur für etwa 40 % der THG-Emissionen von Wohngebäuden verantwortlich sind. Ein- und Zweifamilienhäuser spielen dementsprechend ebenfalls eine entscheidende Rolle.

Eine zusätzliche Herausforderung im Gebäudesektor stellt die energetische Modernisierungsrate des Gebäudebestandes mit etwa 1 % Vollsanierungsäquivalent⁵ p. a. dar. Diese ist im Zusammenhang mit der Umstellung auf erneuerbare Energien deutlich zu moderat, um die oben genannten Zielvorgaben zu erreichen. Im Ergebnis sind nicht nur

- (1) massive weitere Anstrengungen der Wohnungswirtschaft, sowie die
- (2) Schließung der Förderlücke durch geeignete Instrumente notwendig, sondern auch
- (3) die passende Zielrichtung und Allokation begrenzter finanzieller Ressourcen.

notwendig. Um dem wirtschaftspolitischen Ziel – die Dekarbonisierung des Gebäudesektors zu geringstmöglichen Kosten zu erreichen – Genüge zu tragen, sollte die CO₂-Intensität des Gebäudebetriebes als Bezugsgröße genutzt werden.

Wenn die CO₂-Intensität als Bezugsgröße genutzt wird, steht nicht allein die Effizienz der genutzten Energie im Vordergrund, denn nur in Verbindung mit einer Dekarbonisierung der Energieträger kann die Klimaneutralität des Gebäudebestandes erreicht werden. Somit rücken auch Lösungen in den Blick, die auf Wasserstoff oder grünen Gasen basieren.

⁵ Das Vollsanierungsäquivalent, meist als Sanierungsquote bezeichnet, berücksichtigt auch Teilsanierungen. Es stellt somit ein gewichtetes Mittel dar, welches Sanierungs- und Effizienzmaßnahmen in den beiden Bereichen Gebäudehülle (Außenwände, unterer und oberer Gebäudeabschluss, Fenster) und Anlagentechnik zusammenfasst.

2.3 Spezialfall GdW

Der GdW vertritt über seine 14 Landesverbände rund 3.000 Wohnungs- und Immobilienunternehmen, darunter zu großen Teilen öffentliche oder genossenschaftliche Wohnungsgesellschaften. Sie repräsentieren zusammen einen Bestand von ca. 6 Mio. Wohnungen, das entspricht rund 17 % des gesamten bzw. 30 % des Mietwohnungsbestandes in Deutschland.

Tabelle 1 stellt dar, mit welchen Heizsystemen die zum GdW gehörenden Wohnungen beheizt werden.

	2002	2007	2012	2018
Ofenheizung (Einzel)	9,9%	5%	2,6%	2,0%
Etagenheizung bzw. Gastherme	12,5%	11,9%	12,6%	11,4%
Gaskessel zentral	24,4%	26,6%	29,8%	30,8%
Ölkessel zentral	4,3%	3,5%	2,2%	1,6%
BHKW⁶	1,5%	1,4%	1,2%	1,7%
Elektroheizung (Fußboden, Speicherheizung)	2,3%	2%	1,8%	1%
Fern-/Nahwärme	45%	49,2%	47,6%	49,3%
Wärmepumpen	0,1%	0,1%	0,2%	0,6%
Zentrale Biomasseheizung	/	0,4%	0,5%	0,7%
Sonstige	/	/	1,6%	0,9%

Tabelle 1: Beheizungsstruktur der GdW-Unternehmen. Quelle: GdW-Jahresstatistik 2019

Die Beheizungsstruktur der Mitgliedsunternehmen unterscheidet sich insgesamt deutlich von der des gesamten Wohnungsbestandes in Deutschland (siehe Tabelle 1 und Abbildung 3). Während der gesamte Wohngebäudebestand zu knapp 50 % mit Gas beheizt wird, beträgt dieser Anteil bei den Mitgliedsunternehmen des GdW nur etwa 42 %. Der größte Unterschied zum gesamten Wohnungsbestand besteht hinsichtlich der Nutzung der Fernwärme: 49,3 % der Bestände des GdW werden mittels Fernwärme versorgt, demgegenüber stehen 13,9 % deutschlandweit. Andere Energieträger und Technologien wie BHKW, Öl, Pellets u.a. sind bei den Mitgliedsunternehmen des GdW nur im unteren einstelligen Bereich vertreten und spielen praktisch keine Rolle. So haben Einzelofenheizungen zu Beginn der 90er-Jahre noch mit 21,4 % eine beträchtliche Rolle gespielt, deren Anzahl betrug zuletzt noch etwa 2 %. Die Herausforderung zur Dekarbonisierung ist also bei den Mitgliedern des GdW etwas anders gelagert als im übrigen Bestand: Ein großer Teil der Bestände wird mittels Fernwärme versorgt, die Aufgabe zur Dekarbonisierung dieser liegt wiederum bei Energieversorgern und Stadtwerken. Der GdW kann hierbei insbesondere mit Effizienzmaßnahmen Hilfestellung zur Zielerreichung leisten. Betrachten wir den Energieverbrauch und die deutschlandweiten Raumwärmeverbräuche, so fällt auf, dass wir seit 2010 bzw. spätestens 2013 in eine Phase der Stagnation eingetreten sind. Konnte der

⁶ BHKW: Blockheizkraftwerk

Raumwärmeverbrauch zwischen 1990 und 2010 von 193 kWh/m²a auf 132 kWh/m² gesenkt werden, stagniert dieser seitdem auf diesem Niveau (siehe Abbildung 3).

Was den Stand der energetischen Sanierung anbelangt, steht der GdW im Vergleich zum gesamten Wohngebäudebestand gut da. Der vollmodernisierte Anteil (Niedrigenergiehaus und Standard) machen zusammen 40,2 % der Bestände des GdW aus. Hinzu kommen 5,5 % Neubauten und 31,3 % teilsanierte Bestände. Demgegenüber stehen 4,3 % vollmodernisierte, 8,4 % Neubauten und 51,4 % teilsanierte Bestände.

Die Wohnungswirtschaft steht vor vielfältigen Aufgaben, die insbesondere unter dem Eindruck der umweltpolitischen Herausforderungen unter immensen Druck geraten sind.



Abbildung 1: Magisches Dreieck der Wohnungswirtschaft. In Analogie zum magischen Viereck der staatlichen Wirtschaftspolitik – das gleichzeitige Erreichen der Ziele ist nur mit magischen Kräften zu schaffen.

Mit den wirtschaftlichen und energiepolitischen Verwerfungen im Zuge des russischen Angriffskrieges in der Ukraine sind neue Unwägbarkeiten dazu gekommen, die die Parameter der Wohnungswirtschaft zusätzlich beeinflussen. Vormalige Gewissheiten, d.h. sicher geglaubte Grundsätze wie niedrige Energiepreise oder der Einsatz von Erdgas als Brückentechnologie sind spätestens seit dem 24.02.2022 Makulatur. Angesichts steigender Energiepreise und der notwendigen Maßnahmen zur Erreichung der Klimaschutz-Ziele wird die soziale Frage immer mehr an Bedeutung gewinnen müssen. Würden die umweltpolitischen Ziele in den Vordergrund gerückt und die sozialen Ziele hintenangestellt werden, würde zwangsläufig eine Gefährdung des sozialen Friedens in Kauf genommen werden. Es handelt sich also um konkurrierende Zielsetzungen, die gleichzeitig dauerhaft in eine möglichst gute Balance zu bringen sind. Dieser angestrebte Balancezustand ist Grundlage für die kosteneffiziente Allokation der zur Verfügung stehenden Finanzmittel. Das beschriebene Zieldreieck wird auch und vor allem hinsichtlich der Wärmewende, die wir einleiten müssen, unter Druck geraten.

Mit dem anstehenden Austausch der Wärmeerzeuger (ganz gleich, ob Strom oder grüne Gase eingesetzt werden) und den

notwendigen Sanierungsmaßnahmen steht die Wohnungswirtschaft vor immensen branchenspezifischen Herausforderungen. Darum ist es umso mehr von Bedeutung, dass wir frühestmöglich mit den notwendigen Maßnahmen beginnen und die zur Verfügung stehenden Finanzmittel effizient einsetzen.

Für die Wohnungswirtschaft muss ein klimaneutraler Gebäudebestand als Teil einer guten, sicheren und sozial verantwortbaren Wohnungsversorgung der breiten Schichten der Bevölkerung betrachtet werden. Wie erläutert wurde, leistet die Wohnungswirtschaft Erhebliches für die soziale Stabilität der Gesellschaft und trotzdem müssen alle Investitionen aus der Miete refinanziert werden. Eine Ausweitung der Investitionstätigkeit stößt an Grenzen. Zyrische Kommentare behaupten, dass eine zu hohe Wohnkostenbelastung oft nicht das Ergebnis einer als zu hoch wahrgenommenen Miete, sondern eines zu geringen Einkommens oder zu hoher Betriebskosten ist. Letztere sind aktuell von massiven Energiepreiserhöhungen geprägt.

Warum ist die Ausweitung der Investitionen so schwierig? Die vorhandenen Ressourcen (Bauwirtschaft, Finanzierungsbedingungen) begrenzen eine Ausweitung der Investitionen:

- Die Rentabilität von energetischen Maßnahmen, und als Nebenbedingung die jährliche Notwendigkeit eines positiven Cash-flows und eines positiven Ergebnisses.
- Die Beleihungskapazität des Bestandes und die Untergrenze der Relation von Eigenkapital zu Fremdkapital.
- Der Mangel an Planern und fachlich qualifizierten Handwerkern, auch in den technischen Abteilungen der Wohnungsunternehmen.
- In Teilbereichen der Wohnungswirtschaft, wie ländlichen Räumen mit aktuell 15 bis 25 % und bald 25 bis 40 % Leerstand, sind Investitionen nicht möglich.
- Politische Entscheidungen vermindern die zur Verfügung stehenden Mieteinnahmen für Eigenkapital und zur Refinanzierung, wie Mietpreisbremsen, lokale Mietendeckel, steigende Kappungsgrenzen für die Mieterhöhung nach Modernisierung.

Verzögerte Lieferketten und hohe Nachfrage am Markt haben zu einer massiven Erhöhung der Preise geführt.

Insgesamt sieht sich die soziale Wohnungswirtschaft einer weit schwierigeren Lage als noch vor einem Jahr gegenüber.

2.4 Zusammenfassung

Die Herausforderung der Dekarbonisierung der Energie- und Wärmeversorgung von Wohngebäuden ist je nach Ebene der Betrachtung -international, national oder im Fall des GdW- unterschiedlich gelagert. Speziell die Gebäude des GdW werden zu fast 50 % mit Fernwärme versorgt, während deutschlandweit Erdgas sowie Heizöl die am weitesten verbreiteten Energieträger ist. Der Schlüssel zur

Dekarbonisierung deutscher Wohngebäude liegt eindeutig im Gebäudebestand, während in anderen Erdteilen der Neubau entscheidend sein wird. Für Deutschland wird es darauf ankommen, dass Energieeffizienz und Dekarbonisierung Hand in Hand gehen. Der derzeit existierende Wärmeverbrauch muss – beginnend mit den höchsten Energieverbräuchen – kosteneffizient und möglichst schnell gesenkt werden. Der verbliebene Bedarf muss dabei über den Einsatz erneuerbarer Energien, den Anschluss an Wärmenetze und, wo möglich, die Nutzung objektweiser Wärmelieferung effizient gedeckt werden. Die für den Gebäudebestand benötigten Fördermittel müssen so eingesetzt werden, dass die höchsten Treibhausgaseinsparungen pro Fördereuro realisiert werden können. Gerade bei unsanierten oder schlecht sanierten Gebäuden sind hier die höchsten Energieeinsparpotentiale zu heben. Dabei ist sicherzustellen, dass die Mieterinnen und Mieter nicht übermäßig belastet werden und die Bezahlbarkeit für alle Einkommensklassen gewährleistet bleibt. Die Wohnungen im Bereich des GdW sind an Haushalte mit mittleren und kleinen Einkommen vermietet.

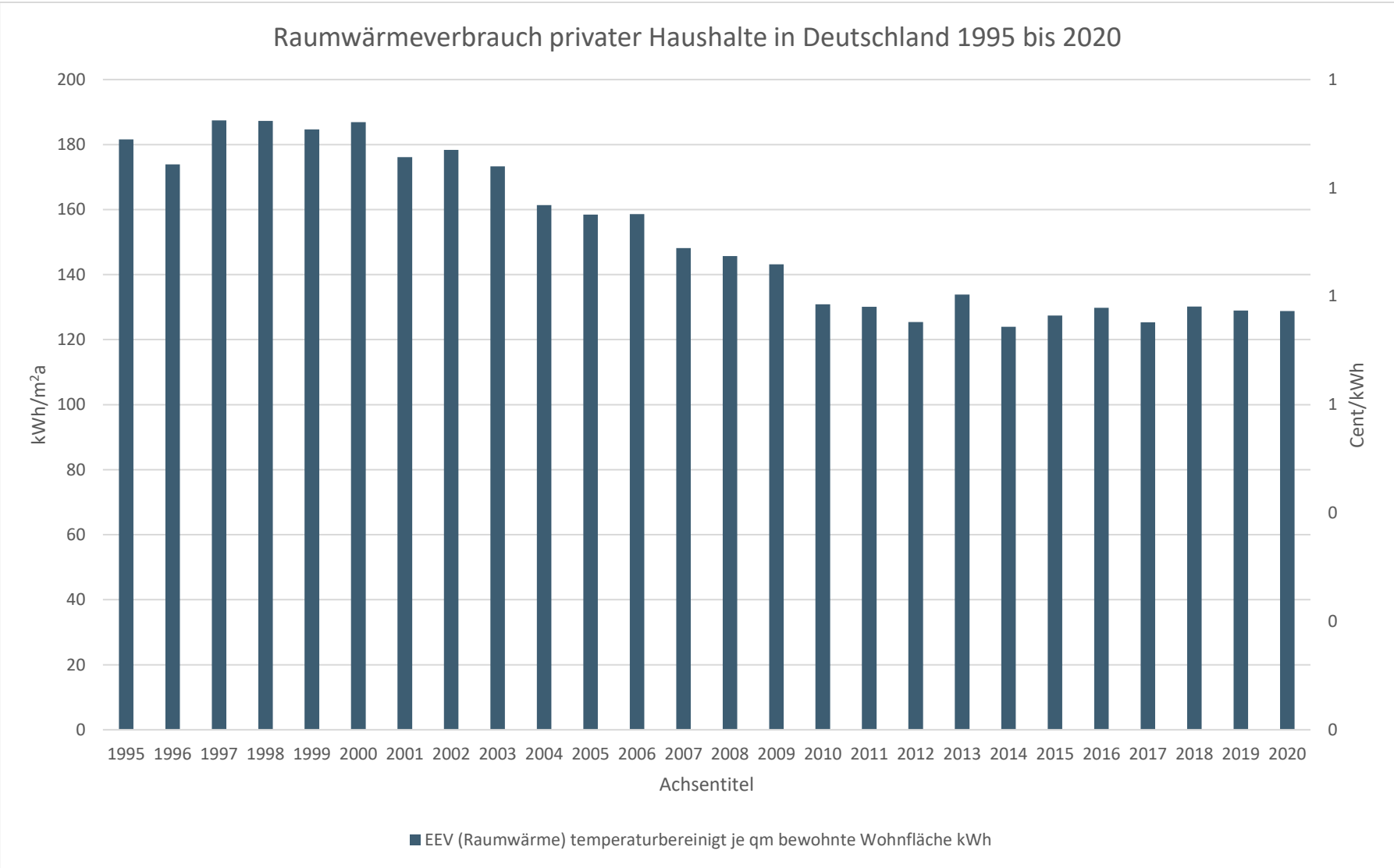
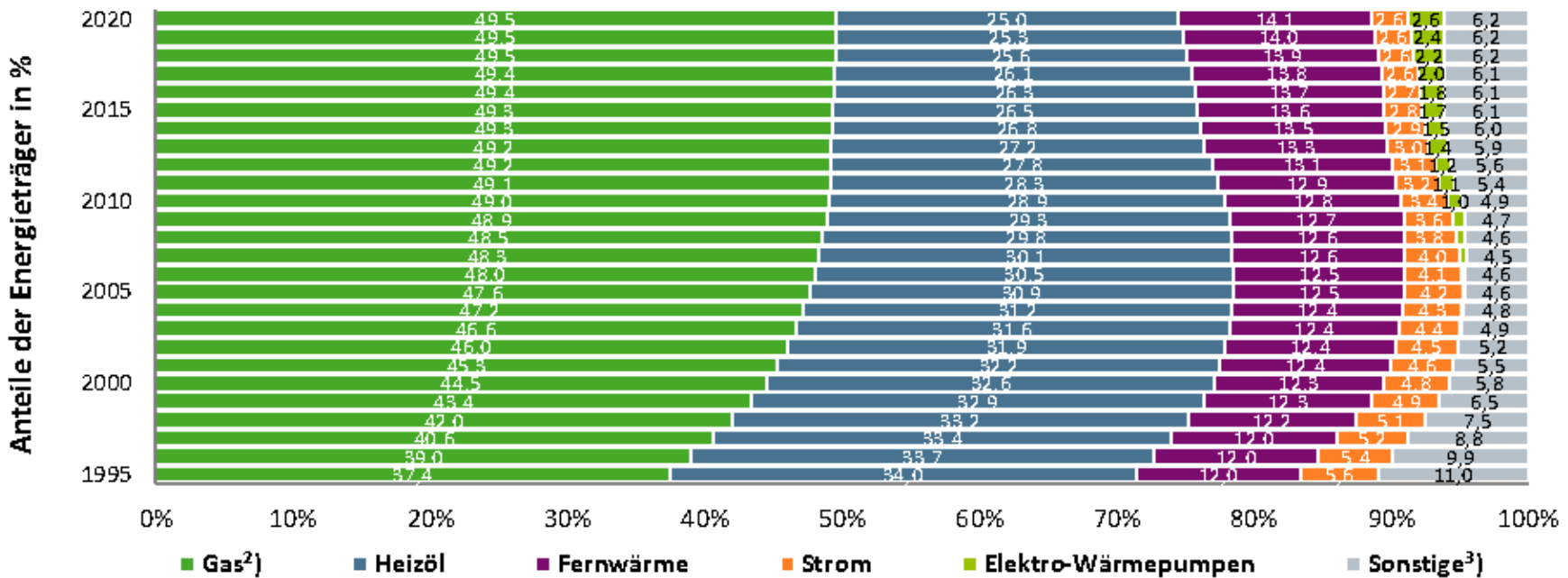


Abbildung 2: Raumwärmeverbrauch privater Haushalte in Deutschland von 1995 bis 2020. Quelle: Energiedaten: Gesamtausgabe (BMWK)

Entwicklung der Beheizungsstruktur des Wohnungsbestandes¹⁾ in Deutschland



Quelle: BDEW, Stand 01/2021

¹⁾Anzahl der Wohnungen in Gebäuden mit Wohnraum; Heizung vorhanden; ²⁾ einschließlich Biogas und Flüssiggas; ³⁾ Holz, Holzpellets, sonstige Biomasse, Koks/Kohle, sonstige Heizenergie

Abbildung 3: Entwicklung der Beheizungsstruktur des Wohnungsbestandes in Deutschland. Quelle: bdew, 2021

Das Mannheimer Modell der Wärmewende (Autoren: MVV)

Die Ausgangssituation für eine klimaneutrale Wärmewende ist in Mannheim und Umgebung ausgesprochen günstig. Bereits heute werden in der Stadt rund zwei Drittel des Wärmebedarfs mit Fernwärme gedeckt. Fernwärmeleitungen reichen bis weit in die Region. Städte wie Heidelberg, Schwetzingen und Speyer sind an das Netz angeschlossen.

Bis 2030 wird die Wärmeerzeugung vollständig dekarbonisiert sein. Die Wärme aus dem Kohlekraftwerk wird durch Flusswärmepumpen, Geothermie, Abwärme- und Biomassenutzung Schritt für Schritt ersetzt. Bis 2035 wird auch kein fossiles Gas mehr an die eigenen Kunden geliefert, parallel verlaufende Gasleitungen werden im Zuge des Fernwärmeausbaus stillgelegt.

Trotz des hohen Fernwärmeanteils werden mehrere 1.000 neue Hausanschlüsse verlegt, zunächst in sog. Fernwärmeprioritätsgebieten, später auch in weiteren Stadtteilen je nach wirtschaftlicher Situation. In den übrigen Gebieten wird die Umrüstung auf elektrische Wärmepumpen vorangetrieben. Lediglich in einigen Randgebieten könnte Wasserstoff eine langfristige Alternative darstellen.

Den Kunden steht es im Übrigen in allen Gebieten frei, sich für eine Wärmepumpe zu entscheiden. Durch die Entwicklung eines digitalen Zwillings sind wir in der Lage auch für kleinteilige Quartiere die jeweils günstigste Wärmelösung sowohl aus Kundensicht als auch unter unseren Wirtschaftsbedingungen zu ermitteln. Damit steht ein wichtiges Beratungstool zur Verfügung.

Das Tool wurde erstmalig bei der Energieversorgung Offenbach eingesetzt. Weitere Anwendungen bei unseren anderen Beteiligungen in Kiel und Ingolstadt sind in der Diskussion. Ausdehnungen in die jeweiligen Regionen sind vorstellbar, insbesondere wenn grüne Wärmequellen wie Fluss- oder Meerwasserpumpen, Geothermie, Abwärme aus Rechenzentren oder der Industrie zur Verfügung stehen.

Gegenwärtig wird geprüft, inwieweit aus diesem digitalen Planungsinstrument mit geringem Aufwand eine kommunale Wärmeplanung abgeleitet werden kann. Ein solches Vorgehen wird oft in Dänemark gewählt, wo die Wärmeplanung eine lange Tradition aufweisen kann. Dies würde nach unserer Auffassung den Planungsprozess und damit die Wärmewende deutlich beschleunigen.

Eine weitere Entwicklungsperspektive besteht in einer Erweiterung für eine digitale Stadtentwicklungsplanung, in der aktive und passive Klimaschutzmaßnahmen integriert betrachtet werden können. Dabei geht es die Entsiegelung von Flächen, den PV-Ausbau auf und an Gebäuden sowie um die Umnutzung vorhandener Verkehrsflächen etwa für neue Tramlinien und Radverkehrsanlagen.

Schließlich ist das Instrument auch für die Planung von Quartierslösung einsetzbar, z.B. für sogenannte Nahwärmenetze. Damit

könnte es auch für die Wohnungswirtschaft interessant sein. Eine Verbindung des Tools mit der Erfassung des energetischen Zustands der Gebäude durch Wärmebilder und einer standardisierten bzw. seriellen Sanierungsplanung und -umsetzung ist ebenfalls geplant.

Wenn in einer mittleren Großstadt wie Mannheim mit etwas mehr als 300.000 Einwohnern ein Fernwärmeanteil von 70 und evtl. sogar mehr Prozent möglich ist, besteht aufgrund der Dichte der Bebauung und, soweit grüne Wärmequellen vorhanden sind, auch in größten Städten und vor allen in den Millionenstädten Berlin, Hamburg und München noch ein erhebliches Fernwärmeausbaupotential.

Dort, wo Fernwärme nicht zum Einsatz kommt, ist die Wärmepumpe das Mittel der Wahl. Erstens wird man – auch aus Gründen der steigenden Energiekosten – um eine Sanierung der schlecht gedämmten Gebäude nicht herumkommen, zweitens sind Weiterentwicklungen der Wärmepumpen-Technologie absehbar.

Ein direkter Einsatz des vermutlich auf Jahre knappen und somit teuren Wasserstoffs ist daher kurzfristig weder erforderlich noch wegen wichtigerer Einsatzgebiet sinnvoll. Unabdingbar wird aber seine mittelfristige Verwendung in Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen sein, um das fluktuierende Angebot der erneuerbaren Energien klimaneutral auszugleichen.

3 Erklärung Szenarien und Auswahl des Szenarios für unsere Arbeit

3.1 Überblick über Studien

Betrachtet man verschiedene Studien zur Klimaneutralität 2045, fällt auf, dass besonders im Bereich der Wohngebäude die Annahmen zur benötigten Menge an Wasserstoff sehr stark auseinanderklaffen. Während über die Mengen und Einsatzszenarien in der Industrie (Stahl, Grundstoffchemie) große Einstimmigkeit in allen Studien herrscht, ist der Gebäudebereich noch mit sehr vielen Unsicherheiten behaftet. Die Unterschiede lassen sich aus den Studiendesigns, Prämissen und Analysetiefen erklären. Darüber hinaus stellen viele Studien sogenannte „Alles-oder-nichts“-Szenarien an, in denen ein Energieträger/eine Technologie das Energiesystem dominiert, während gemischte Szenarien nur in wenigen Studien prominent diskutiert werden. Der Großteil der Szenarien bezieht dominierende Technologien mit ein, was bei ihrer Betrachtung immer mitbedacht werden muss.⁷

Eine tiefere Durchdringung mit Wasserstoff in Gebäuden wird in den Studien vor allem dann erreicht, wenn „Suffizienzmaßnahmen“ nicht mit der gebotenen Notwendigkeit fortgeschrieben werden. Zusätzlich spielen auch die Ambitionsniveaus zur

⁷ Im weiteren Verlauf der Arbeit werden wir Szenarien mit extremen Annahmen nicht berücksichtigen, wenn es um die Nachfrageentwicklung des Gebäudesektors geht.

Treibhausgasreduktion eine Rolle. Je höher diese sind, desto mehr Wasserstoffeinsatz wird erwartet. In den *Langfristszenarien für die Transformation des Energiesystems in Deutschland 3* wird der Unterschied von Strom- und gasbasierten Energiesystemen im Hinblick auf Wohngebäude ausdiskutiert: Die Investitionen in einem strombasierten Energiesystem (hohe Gebäudeeffizienz, hohe Sanierungsrate und ambitionierten flächendeckenden Neubaustandards) fließen in die Wohngebäude direkt und schaffen dort langfristige Güter in Form von energieeffizienten Neubauten und sanierten Bestandsgebäuden. In Grüngas- bzw. Wasserstoffbasierten Energiesystemen hingegen entwickelt sich der Gebäudebestand weniger ambitioniert und die Investitionen werden zum Großteil außerhalb der Wohngebäude in die Bereitstellung erneuerbarer Energien und die Generierung erneuerbarer Gase investiert. Die technischen Fortschritte werden dann nicht innerhalb, sondern außerhalb des Gebäudesektors gemacht.⁸

Im Unterschied zum Wasserstoffbedarf herrscht in den Studien weitgehende Einigkeit hinsichtlich des gesamtwirtschaftlichen Endenergieverbrauchs (EEV) (abnehmend um durchschnittlich 20 % bis 2030) und dessen Zusammensetzung. Die Ergebnisse liegen sehr eng zusammen, größere Veränderungen in der Zusammensetzung werden erst nach 2030 erwartet. Auch im Gebäudebereich wird eine durchschnittliche Abnahme des EEV um 10 % bis 2030 erwartet. Die geringere Abnahme im Vergleich zur Gesamtwirtschaft wird mit der Trägheit des Gebäudesektors und den bereits heute erkennbaren Zielverfehlungen erklärt. Der Erdgasverbrauch sinkt in allen Sektoren, während Strom bis zum Jahr 2045 in allen Studien – unabhängig davon ob Strom- oder gasbasiertes Szenario – zum dominanten Energieträger nach EEV wird. Auch in gasbasierten Szenarien soll der Wasserstoffverbrauch das heutige Niveau des Erdgasverbrauchs nicht wieder überschreiten.

Betrachten wir den Gebäudesektor etwas genauer: In allen Studien – unabhängig von der Ausprägung der Szenarien – nehmen Wärmepumpen, Energieeffizienz und Neubaustandards eine hervorgehobene Rolle ein. So liegen beispielsweise die Annahmen zur Anzahl der Wärmepumpen für 2030 mit 4 bis 6 Mio. Stück sehr dicht beieinander. (Ariadne Projekt, 2021) Alle betrachteten Studien erwarten eine Steigerung der Sanierungsrate auf ein Minimum von 1,3 % p.a.⁹ bis zu 2,0 % bis zum Jahr 2030 (Ariadne Projekt, 2021; Wietschel, 2021). Auch im Fernwärmebereich wird ein Ausbau der Netze und eine Zunahme der Fernwärmeerzeugung erwartet (~ 160 TWh). Zur Nutzung von Wasserstoff in der Fernwärme gibt es selten konkrete Annahmen. Der Anteil schwankt meist zwischen 0 % und 30 %. Nutzbare Abwärmepotentiale, die sich aus Umstellungen in der Industrie und bei der Produktion von H₂ in Elektrolyseuren ergeben, werden teilweise diskutiert, aber nicht quantifiziert.

⁸ Szenarien, die eine geringere Sanierungsrate, weniger effizienten Neubau und eine geringere Marktdurchdringung der Wärmepumpe annehmen können auch als „strukturkonservative Szenarien“ charakterisiert werden. Sie zeichnen sich durch eine geringere Akzeptanz neuer, strombasierter Technologien aus, was dazu führt dass diese nur begrenzt zum Einsatz kommen.

⁹ Dena-Leiststudie Aufbruch Klimaneutralität, Szenario KN100

Mit Fokus auf das Referenzjahr 2030 erwartet die Mehrzahl der Studien nur geringe bzw. keine Wasserstoffnachfrage im Gebäudesektor. Eine Ausnahme stellt hierbei die dena-Leitstudie „Aufbruch Klimaneutralität“ dar, die für 2030 einen Wasserstoffbedarf zwischen 3 und 5 TWh (je nach Szenario, wobei immer mindestens 3 TWh erwartet werden) in diesem Sektor benennt. Für das Referenzjahr 2040 zeigen einige Studien größere Mengen in diesem Sektor zwischen 4 und 25 % an. Für 2045 bzw. 2050 weisen die Studien eine hohe Spreizung auf, wobei es auch zu diesem Zeitpunkt weiterhin Studien gibt, die keine Wasserstoffnachfrage im Gebäudesektor erwarten. Die Wasserstoffbedarfe in Wohngebäuden liegen für 2045/2050 zwischen 7 und 79 TWh. Über alle Studien und Szenarien hinweg wird ein möglicher Bedarf also vor allem langfristig erwartet, meist ab 2040. Als Determinanten des Wasserstoffeinsatzes werden die Treibhausgasreduktionsziele, die Sanierungsrate und -tiefe sowie die Marktdurchdringung von Fernwärme und Wärmepumpen genannt. Betrachtet man die Treibhausgasreduktionsziele, so ist der Wasserstoffeinsatz im Gebäudesektor dort am größten, wo die Treibhausgasreduktionsziele am höchsten (95 %) sind. Niedrige Sanierungsraten (<2 %) sind ebenfalls häufig ein Indikator für eine Wasserstoffnachfrage im Gebäudesektor.

Im Vergleich zu den vorgestellten Studien beschreitet die jüngst vorgestellte „Bottom-Up Studie zu Pfadoptionen einer effizienten und sozialverträglichen Dekarbonisierung des Wärmesektors“ einen anderen Weg. Die Studie beschränkt sich auf die Betrachtung der Herausforderung der Wärmewende und betrachtet diese gleichzeitig von unten nach oben, nimmt also die kleinste Ebene – Städte und Landkreise – in den Fokus. Eines der zentralen Ergebnisse dabei ist, dass die Verfügbarkeit lokaler Wärmequellen, Biomasse, Abwärmepotenziale und die temperaturspezifischen Nachfragepotenziale entscheidend sind für die letztendliche Ausgestaltung der klimaneutralen Wärmeversorgung. Hinzu kommt die Vielfalt an vorhandenen Infrastrukturen, der Erneuerbaren-Energien-Potentiale und der Gebäudebestände, sodass eine Vielfalt an Kombinationsmöglichkeiten entsteht.

Mithin entscheidend für eine breite Nutzung von Wasserstoff sei der Prozesswärmebedarf der Industrie, so die Studienautoren. Wenn dieser den Raumwärmebedarf deutlich übersteigt, ist die Strategie der energiebeziehenden Unternehmen zur Dekarbonisierung entscheidend für den Transformationspfad des Versorgungsgebietes. Der Grund dafür ist, dass die Bedarfsdeckung der Prozesswärme sich im Vergleich zur Raumwärme durch höhere Anteile von Biomasse, Biogas und je nach Szenario direkter Elektrifizierung oder Wasserstoff auszeichnet. Darüber hinaus entscheidet aber vor allem das Preisniveau des Wasserstoffs, ob dieser in der Breite Anwendung findet.

In unseren Annahmen zur Nachfrage nach Wasserstoff im Gebäudesektor orientieren wir uns an der dena-Leitstudie „Aufbruch Klimaneutralität“. Diese Studie bietet sich für unsere Zwecke aus vielerlei Gründen an:

- Praxisnahe Annahmen zu Sanierungsrate, Sanierungstiefe, aber sehr ambitioniert.

- Wärmepumpen, Wärmenetze, lokale PV und Gebäudeeffizienz sind die Parameter der Gesamtsystemmodellierung.
- Die einzelnen Sektoren werden sowohl im Rahmen des Gesamt-szenarios als auch separat modelliert
- Der GdW hat als Projektpartner an der Studie mitgewirkt, in Arbeitsgruppen die Eingangsdaten fachlich begleitet und im Lenkungskreis über die Schwerpunkte der Erarbeitung mitentschieden und die Ergebnisse diskutiert. Das Studiendesign kann aus Perspektive unserer Branche als ambitioniert, aber noch nah an der Realität angesehen werden.
- Die dena-Leitstudie konstatiert in allen Szenarien eine Nachfrage nach „Grünen Gasen“¹⁰ im Gebäudesektor. Diese ergibt sich aus einer Zielerreichungslücke der Szenarien.

3.2 Design der dena-Leitstudie

Die Leitstudie entwirft ein Hauptszenario zu dem vier Pfadausprägungen modelliert werden. Die Pfadausprägungen unterscheiden sich durch unterschiedlich starke Ausprägungen in den Parametern der Gebäudesanierungsrate, Kraftstoffeffizienz, Elektrifizierungsgrad (EV, WP und Stromverbrauch) und der Energieeffizienz in den einzelnen Sektoren. Aus der Variation dieser Parameter ergeben sich am Ende unterschiedliche Endenergieverbräuche, Bedarfe und Zusammensetzungen der Energieträger. So führt eine starke Betonung von Elektrifizierung und Gebäudeeffizienz in der Studie zu einer verstärkten Verbreitung von elektrischen PKW und Wärmepumpen, wohingegen ein schwächerer Fokus zum breiteren Einsatz gasbasierter Heizungstechnologien sowie der Nutzung von synthetischen Kraftstoffen führt. Die letztendlich vier Pfadausprägungen können anhand zweier Dimensionen charakterisiert werden. Die vier Pfadausprägungen und die jeweilige Einstellung der Parameter sind in Abbildung 4 dargestellt.

Projektstruktur Methodik Hauptszenario und Pfadausprägungen

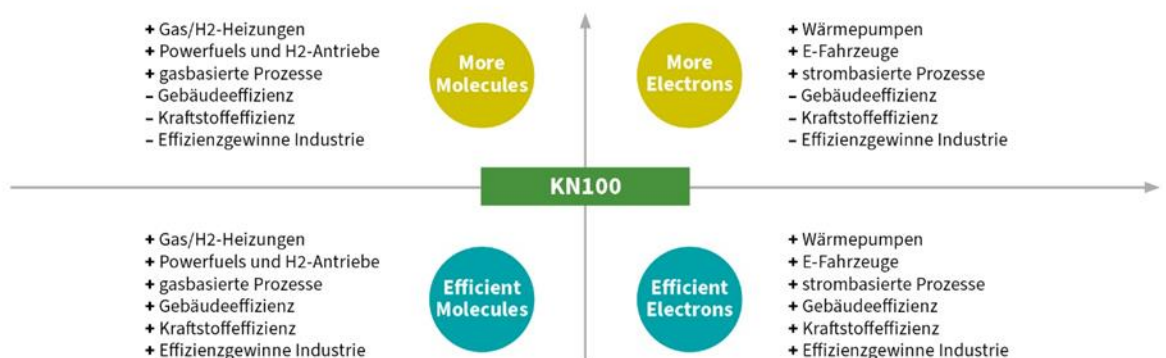


Abbildung 4: Pfadausprägungen der dena-Leitstudie "Aufbruch Klimaneutralität"

Da die Variationen in den einzelnen Pfadausprägungen die Zusammensetzung der Endenergienachfrage in Bezug auf Strom und molekülbasierte Energieträger wie Wasserstoff beeinflussen, ist es

¹⁰ Grüne Gase meint hier Wasserstoff, Biogas, Biomethan und synthetisches Methan

wichtig welche der Pfadausprägungen wir als Blaupause für den Wasserstoffbedarf nutzen. Bezogen auf den Gebäudesektor werden in den Pfadausprägungen abweichende Entwicklungen der Agententechnik und unterschiedliche Effizienzgewinne, abhängig von den Sanierungsaktivitäten und dem Elektrifizierungsgrad, betrachtet. Für die Auswahl der Pfadausprägung, die Basis der weiteren Arbeit sein soll, orientieren wir uns an diesen Parametern. In den Ausprägungen „More“ wird eine durchschnittliche Sanierungsrate von 1,30 % pro Jahr unterstellt wird (-0,43 % gegenüber Basisszenario KN100). In der Ausprägung „Efficient“ wird eine höhere durchschnittliche Sanierungsrate von 2,16 % pro Jahr (+0,43 % gegenüber Basisszenario KN100) angenommen. Zusätzlich zu der Sanierungsrate wird für den Gebäudesektor die Zusammensetzung der Beheizungstechnologien variiert. Die Ausprägungen „Electrons“ berücksichtigen einen höheren Zubau von elektrischen Wärmepumpen gegenüber dem Basisszenario, während dieser Zubau in den Ausprägungen „Molecules“ geringer ist. In den Elektronen-basierten Pfaden wird die Wärmepumpe dadurch langfristig zum dominierenden Wärmeerzeuger, während in den Molekül-Pfaden gasbasierte Technologien an erster Stelle verharren. Die Sanierungstiefe wird nicht variiert.

Pfadausprägung	Sanierungsrate pro Jahr	Verhältnis Wärmepumpen/ Gasheizungen in 2045 (in Mill.)	H ₂ -Anteil am EE-Verbrauch 2030/2045
Efficient Electrons	2,16%	11,3/6,1	5/56 TWh
More Electrons	1,4 %	11,3/6,1	5/76 TWh
Efficient Molecules	2,16%	6,8/9,1	5/86 TWh
More Molecules	1,4 %	6,8/9,1	3/115 TWh
Referenzszenario KN100	1,76%	9,0/7,7	

Tabelle 2: Variation der Sanierungsrate in den Pfadausprägungen der dena-Leitstudie

Aufgrund der Variationen der Parameter ergeben die Pfadausprägungen unterschiedliche Endenergieverbräuche, die in Abbildung 5 dargestellt sind.

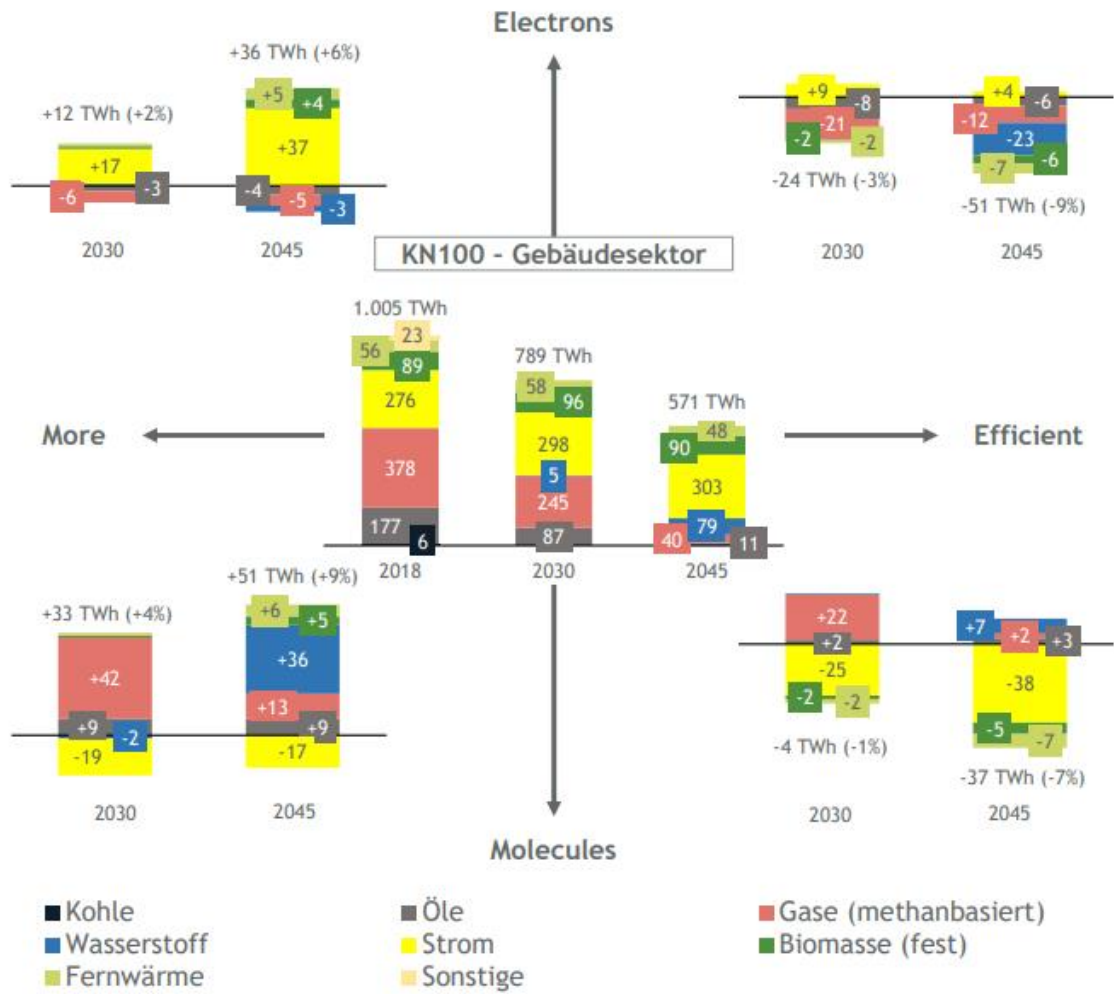


Abbildung 5: Endenergieverbräuche der Pfadausprägungen im Gebäudesektor (Quelle: Gutachten zur dena-Leitstudie Aufbruch Klimaneutralität)

Aus den dargestellten Endenergieverbräuchen ergibt sich ein Korridor an bereitzustellendem Wasserstoff von 3-5 TWh (2030) bis hin zu 76-115 TWh (2045). Im Vergleich zu allen anderen Studien und Szenarien überrascht es, dass die dena-Leitstudie in allen Pfadausprägungen eine Wasserstoff-Nachfrage im Gebäudesektor erwartet. Der Wasserstoffanteil am Endenergieverbrauch im Jahr 2045 ist besonders in den Pfadausprägungen geringer, die eine hohe Sanierungsrate und/oder einen breiten Einsatz elektrischer Wärmebereitstellung unterstellen. Jedoch wird auch für diese Effizienz-/Elektro-nengetriebenen Szenarien ein Wasserstoffbedarf von Minimum 56 TWh im Jahr 2045 erwartet. Es überrascht, dass im Szenario „More Molecules“ der Wasserstoffverbrauch auf 3 TWh im Jahr 2030 als einziges Szenario zurückgeht, während gleichzeitig der Verbrauch methanbasierter Gase um 42 TWh ansteigt. Die relative Zunahme zum Hauptszenario ist wahrscheinlich begründet durch den niedrigeren Zubau an elektrischen Wärmepumpen und gleichzeitig einen geringeren Rückgang der mit Gasheizungen ausgestatteten Gebäude.

Zumindest für das Hauptszenario KN100 diskutieren die Autoren die Zusammensetzung des Endenergieverbrauchs. Die Wasserstoff-

nutzung im Gebäudesektor soll demzufolge zunächst im Rahmen einer Beimischung von Wasserstoff in die Methanverteilnetze erfolgen. Die durchschnittliche Wasserstoffbeimischung liegt im Jahr 2030 demnach bei 5,8 Vol.-%, was bis 2045 auf 13,9 Vol.-% ansteigen soll. Was die Zusammensetzung der methanbasierten Gase anbelangt, gehen die Autoren bereits für 2030 von einem biogenen Anteil von 10% aus. Im Jahr 2045 sollen noch etwa 11 TWh fossiles Erdgas genutzt, während etwa 30 TWh biogen bereitgestellt werden.

Zur Realisierung der strombasierten Wärmebereitstellung, wie sie in der dena-Leitstudie stellvertretend für viele andere Energiewendeszenarien skizziert wird, ist eine enorme Zunahme der Sanierungsrate und ein Aufwuchs des Einbaus von Wärmepumpen in Neubau- und Bestandsgebäuden notwendig. Wie bereits in Kapitel 2 beschrieben liegt die aktuelle Sanierungsrate für Deutschland bei rund 1%. Gleichzeitig sind Bauunternehmer und Handwerksbetriebe komplett ausgelastet, das heißt mit den aktuellen personellen Ressourcen ist kaum zusätzliches möglich. Bis aber entsprechende Ressourcen aufgebaut sind, dauert es Jahre. Hinzu kommt, dass das Handwerk nicht in der Breite für die Wärmepumpe als Hauptwärmeerzeuger ausgebildet ist. Hier ist also auch eine entsprechende Ausbildungsoffensive notwendig. Erschwerend kommt hinzu, dass die Produktionskapazitäten der Wärmepumpenhersteller erst für den benötigten Aufwuchs ausgeweitet werden müssen. Es fehlt also sowohl an personellen, fachlichen und industriellen Ressourcen, um den von der Studie veranschlagten Aufwuchs strombasierter Wärmebereitstellung zu verwirklichen. Aufgrund dieser Annahmen zu den Bedingungen für den Hochlauf der strombasierten Wärmebereitstellung entscheiden wir uns für die Pfadausprägung „More Molecules“ als Basis für die weitere Analyse. Der Verbrauch von Wasserstoff im Gebäudesektor beläuft sich im Jahr 2030 in diesem Szenario auf 3 TWh. Im nächsten Schritt soll nun geklärt werden, ob diese Mengen über den internationalen Markt zur Verfügung stehen.

3.3 Zusammenfassung

Bei der Durchsicht der großen Studien zur Klimaneutralität Deutschlands zeigt sich, dass eine große Abhängigkeit der Studienergebnisse von den gewählten Eingangsgrößen besteht.

Die Studien liegen sehr eng beieinander was die gesamtwirtschaftliche Betrachtung, insbesondere die Abschätzungen zu Endenergieverbräuchen anbelangt, jedoch bestehen in der Betrachtung der Einzelsektoren deutliche Differenzen zwischen den Studien. Die Zusammensetzungen der Endenergieträger in den einzelnen Sektoren ist dabei sehr unterschiedlich und hängt stark von den jeweils gesetzten Prämissen ab. Der Wärmemarkt, der in Zukunft noch stärker als heute von lokalen Gegebenheiten abhängig sein wird (Verfügbarkeit erneuerbarer Energiequellen, Biomassepotenzial, Verfügbarkeit von Wasserstoff). Diese differenzierte Betrachtung fehlt in den top-down Systemstudien völlig. Eine positive Ausnahme stellt die Studie des Nationalen Wasserstoffrates dar, die die große Bedeutung lokaler Gegebenheiten für die letztendliche Ausgestaltung der zukünftigen Energie- und Wärmeversorgung hervorhebt. Einig

sind sich alle Studien in den großen Leitlinien, nämlich das in jedem Fall eine Erhöhung der Sanierungsrate zur Effizienzsteigerung sowie ein massiver Ausbau der strombasierten Wärmeerzeugung notwendig sein werden. Welches Ausmaß diese dann am Ende annehmen werden, wird sich zeigen. Im Lichte der dena-Studie zeichnet sich ab, dass wir auch im besten Fall eines starken Wasserstoffausbaus eine Untergrenze von 4,5 Mio. Wärmepumpen im Gebäudesektor bis 2030 nicht unterschreiten werden können.

4 Einordnung & Bewertung internationaler H₂-Produktion und Handel

Der Import von Wasserstoff bzw. seinen Derivaten wird in Zukunft eine wesentliche Säule zur Deckung nationaler und europäischer Wasserstoffbedarfe bilden. Was Deutschland betrifft sind sich praktisch alle Szenarien und Studien einig, dass die deutsche Wasserstoffproduktion den heimischen Bedarf nicht alleine decken können. Meist wird ein Importanteil von mindestens 50 % nach Deutschland angenommen (Wietschel M. e., 2021). Aus welchen Ländern und Regionen dieser Wasserstoff (bzw. darauf basierende Energieträger wie Ammoniak, Methanol oder LOHC) importiert werden soll, steht aktuell noch nicht fest. Für die Bundesrepublik Deutschland existieren aktuell zwei Pfade, die den Wasserstoffimport anregen sollen. Da wäre zum einen das Förder- und Importprojekt H2Global. Das erklärte Ziel von H2Global ist die Schaffung ausreichender Planungs- und Investitionssicherheit für Betreiber und Investoren, um Investitionen in Produktions- und Logistikkapazitäten für Wasserstoff und PtX-Produkte in industriellem Maßstab anzuregen. Um das aktuell bestehende Marktdilemma (fehlende Produktionskapazitäten bei gleichzeitig fehlenden erneuerbaren Energien) zu beheben, wurde im Rahmen der Initiative ein Marktintermediär (HINT.Co) geschaffen, der angebotsseitig langfristige Abnahmeverträge und nachfrageseitig kurzfristige Verkaufsverträge vermitteln soll. Die Preisdifferenz zwischen Angebot (Erzeugung und Transport) und Nachfrage soll dabei im Rahmen eines an dem Contracts for Difference-Ansatz (CfD) angelehnten Mechanismus durch staatliche Subventionen ausgeglichen werden. Diese Subventionen belaufen sich für den Zeitraum 2024 bis 2033 auf insgesamt 900 Mio. Euro. Die Preisfindung soll im Sinne eines Doppelauktionsmechanismus erfolgen, das heißt das der Intermediär niedrige Einkaufspreise mit hohen Verkaufspreisen koppelt. Auf diese Weise fällt die ausgleichende Differenz zwischen Einkauf und Verkauf möglichst gering aus. Betreiber von Produktions- und Logistikstandorten für Wasserstoff/PtX-Produkte im Ausland erhalten so die für Investitionen notwendige Sicherheit langfristiger Abnahmeverträge. Aufseiten der Abnehmer soll der Intermediär ermöglichen, dass Wasserstoff/PtX-Produkte zu marktüblichen Preisen in den Wirtschaftskreislauf gelangen und so wiederum Anreize für Anwender schaffen, in die Verwendung dieser Energieträger zu investieren, sodass Anlagen und Kraftwerke auf die dauerhafte Nutzung von Wasserstoff/PtX-Produkten umgestellt werden. Der Beginn des wettbewerbsbasierten Bieterverfahrens wird zeitnah öffentlich bekanntgegeben. Voraussichtlicher Beginn ist das zweite Quartal 2022.

Die zweite Säule des deutschen Wasserstoffimports wird von bilateralen Wasserstoffpartnerschaften und Abnahmeverträgen gebildet, die die Bundesregierung bzw. deutsche Energieversorgungsunternehmen mit Staaten oder einzelnen Unternehmen in Afrika, Asien und Südamerika geschlossen haben. Auf diese Weise wird aber immerhin ein guter Kooperationsrahmen für zukünftige Wasserstoff-Handelsbeziehungen geschaffen. Solche Wasserstoffpartnerschaften, wie sie beispielsweise Energieversorger wie E.ON mit Fortescue Future Industries aus Australien¹¹ schließen oder die Bundesregierung auf zwischenstaatlicher Ebene im Rahmen ihrer „Wasserstoffdiplomatie“¹², können mit ein Indikator sein, dass bereits dort angesiedelte Projekte dem deutschen Markt zufließen werden.

4.1 Faktoren für den (globalen) Markthochlauf grünen Wasserstoffs

Im Nachfolgenden werden die Kriterien erläutert, anhand derer eine Beurteilung von Lieferländern, Projekten und Importmengen möglich ist. Die nachfolgenden Kategorien sollen einen Überblick geben, welche Aspekte zur Beurteilung von Wasserstoffprojekten und Lieferketten in Betracht gezogen werden sollten.

Vertreter von Industrie, Politik und Wissenschaft sind sich nahezu einig in der Hinsicht, dass Deutschland auch in Zukunft einen Großteil seiner Energie importieren müssen. Wietschel et al. (2021) und dem Ariadne-Projekt (2021) zufolge liegen die Annahmen zur gesamtwirtschaftlichen Wasserstoffnachfrage Deutschlands für 2030 bei bis zu 60 TWh. Unseren Annahmen nach werden davon auf den Gebäudesektor bis zu 3 TWh entfallen. Was die Importquote und die Zusammensetzung der zu importierenden Wasserstoff/PtX-Produkte anbelangt, treffen die Studien unterschiedliche Annahmen.

Bei der Elektrolyse wird aktuell zwischen vier Haupttechnologien unterschieden, die sich aufgrund unterschiedlicher Arbeitstemperaturen in zwei Kategorien einteilen lassen. Den Niedertemperaturtechnologien (AEL und PEMEL) wird dabei der höchste Grad technologischer Reife beschieden, diese sind für den Markthochlauf bereit (Berks, 2022). Hochtemperaturverfahren (HTEL und AEMEL) sind noch nicht abschließend ausgereift. So sind von den Niedertemperaturtechnologien bereits Projekte im Maßstab 20 - 25 GW im Regelbetrieb. Die Hochtemperaturprozesse befinden sich aktuell im Maßstab bis 1 MW, allerdings sind auch hier bereits Projekte im Gigawatt-Bereich angekündigt. Von allen Technologien wird der alkalischen Elektrolyse (AEL) der größte Marktvorteil nachgesagt, aufgrund der jahrzehntelangen Erfahrungen mit dieser Technologie. Dieser Faktor schlägt sich unter anderem in Investitionsausgaben von 879 EUR/kW nieder, die damit um die Hälfte geringer sind als

¹¹ <https://www.rechargenews.com/energy-transition/e-on-and-fortescue-plan-australia-germany-hydrogen-bridge-to-substitute-russian-energy/2-1-1193231> abgerufen am 18.07.2022

¹² <https://www.auswaertiges-amt.de/de/aussenpolitik/themen/klima/energie/wasserstoffbuero-nigeria/2495118#:~:text=Das%20B%C3%BCro%20in%20Abuja%20wird,Industrieproduktion%20und%20Schwertransport%20klimafreundlich%20betreiben> abgerufen am 18.07.2022

die der anderen Technologien (Berks, 2022). Berechnungen des deutschen Wasserstoff- und Brennstoffzellenverbandes (DWV e.V.) zufolge wird in den nächsten Jahren eine deutliche Reduktion der Produktionskosten eintreten. Demzufolge werden sich die Kosten im Jahr 2025 bei 553 EUR/kW für die AEL bzw. 610 EUR/kW für die PEM-Elektrolyse bewegen. Die Kostendegression bis 2030 bewegt sich für beide Technologien jeweils im Bereich um die 100 EUR/kW.¹³ Als weiterer einzukalkulierender Faktor kommt die Verfügbarkeit von Rohstoffen hinzu (DWV e.V., 2022). Bei der alkalischen Elektrolyse wird in der Regel Nickel als Elektrodenmaterial eingesetzt, während bei der PEMEL beispielsweise Platin und Iridium eine große Rolle spielen. Eine Rohstoffknappheit bei einem oder mehreren dieser Edelmetalle könnten die Investitionskosten in die Höhe treiben und so den Markthochlauf behindern, sofern technische Fortschritte diesen Umstand nicht ausgleichen können (Berks, 2022). Sowohl was die Wirkungsgrade als auch die kalte Startzeit anbelangt, werden allen vier großen Elektrolysetechnologien in Zukunft noch Technologiesprünge vorausgesagt. Die HTEL-Elektrolyse hat dabei mit Abstand den größten Wirkungsgrad, gefolgt von PEMEL und AEL (Berks, 2022).

Als erschwerender Faktor kommt hinzu, dass die Herstellungsprozesse von Elektrolyseuren aktuell ausnahmslos in der Einzelfertigung stattfinden. Um die zukünftigen Bedarfe allein an Elektrolyse-Anlagen zu decken, muss also zuerst die Elektrolyseindustrie zu einer Industrie im Gigawatt-Maßstab werden. Einer Marktabfrage des DWV zufolge wird sich die jährliche Lieferkapazität im Jahr 2025 zwischen 13 und 16 GW pro Jahr einpendeln. Für 2030 vergrößert sich die Bandbreite auf den Bereich von 21 bis 28 GW pro Jahr. Für das Jahr 2030 werden teilweise keine Angaben von Herstellerseite gemacht, was die Unsicherheit zusätzlich erhöht. Den Berechnungen des DWV zufolge werden mit diesen angekündigten Produktionsmengen für 2025 zwischen 34 und 42 TWh Wasserstoff erzeugt werden können. Bis 2030 würde die Produktionskapazität auf mindestens 55 TWh anwachsen.¹⁴

Was die technischen Aspekte und die Versorgung mit Elektrolyseuren anbelangt, liegt der Schlüssel zum Erfolg sicherlich in der Ausweitung der Produktion. Diese bedingt sowohl die Kostendegression, was wiederum die CAPEX für Wasserstoffprojekte senkt, bewirkt aber auch technische Innovation, sodass mehr und mehr Technologien den Weg in den Markt finden. Die alkalische Elektrolyse ist dabei die kostengünstige und etablierte Wahl, was ihr sicherlich kurzfristig einen Vorteil im Markthochlauf verschaffen wird. Die anderen Technologien wiederum punkten mit höheren Wirkungsgraden und breiteren Anwendungsfeldern in der Industrie. Letzteres trifft insbesondere auf die HTEL-Elektrolyse zu, die vor allem in industriellen Kontexten diskutiert wird. Dementsprechend wird sich am Ende auch nicht eine der Technologien durchsetzen

¹³ Die angegebenen Kosten für die installierte Elektrolyseleistung beziehen sich auf die Studie der Fraunhofer ISE "Cost forecast for low temperature electrolysis – technology driven bottom-up prognosis for PEM and alkaline water electrolysis systems" (2021)

¹⁴ Die Berechnung des DWV beruht auf der Annahme von 4000 Volllaststunden pro Jahr und einem Wirkungsgrad der AEL & PEM-Technologien von 0,65.

können, sondern es wird je nach Kontext und Anwendung eine andere benötigt. Inwiefern die berechnete Wasserstoffproduktion – basierend auf der Elektrolyseurproduktion in Deutschland – erreicht werden kann, wird zu großen Teilen von der Anzahl der Vollbenutzungsstunden und der Regulatorik für den Elektrolyseurbetrieb abhängen.

Nachdem die Elektrolyseanlage produziert ist, widmen wir uns der Wasserstofferzeugung. Hierbei geht es um die Frage der technischen Verfügbarkeit des Energieträgers Wasserstoff/dessen Derivate zu möglichst niedrigen Preisen sowie günstigen Transportbedingungen.

Der schiffsgebundene Transport ist aktuell noch mit vielerlei Unwägbarkeiten verbunden: Dedizierte Wasserstoff-Tanker existieren aktuell praktisch nicht, das erste Schiff dieser Art wurde Anfang 2022 in Japan zu Wasser gelassen (Sonali, 2022). Hinzu kommt, das für die nötige Verflüssigung des Wasserstoffs für den Transport ein Äquivalent von 36 % der transportierten Energie eingesetzt werden muss. (Collins, 2022). In Deutschland angekommen, müsste der Wasserstoff wiederum regasifiziert werden. Als Alternative zum Wasserstoff-Transport bietet sich grüner Ammoniak (NH_3) an. Zu dessen Synthese wird unter anderem grüner Wasserstoff eingesetzt. Der Vorteil von Ammoniak ist, dass die Herstellung, Lagerung und der Transport im globalen Maßstab bereits erprobt sind. Zudem weist er bei längeren Transportdistanzen per Schiff geringere Kosten gegenüber Wasserstoff auf (Wietschel M, 2021) Vor Ort kann der Ammoniak direkt als Grundstoff in der chemischen Industrie eingesetzt werden, oder (unter erneutem Energieeinsatz) wieder in seine Bestandteile aufgespalten werden. Eine ausführliche Diskussion der physikalischen Vor- und Nachteile von Wasserstoff und Ammoniak findet sich bei Collins (2022) und eine technisch-ökonomische Betrachtung in einem Papier der Kearney Unternehmensberatung für Uniper (2021).

Vergleicht man Tanker mit Pipelines, sind letztere bei einer Transportdistanz von bis zu 3000km im Vorteil. Bei Pipelines kommt es darauf an, ob diese neu gebaut werden müssen oder bestehende Erdgasleitungen genutzt werden können. Wietschel et al. (2021) zufolge ist der Transport in umgewidmeten um die Hälfte günstiger als in Neubau-Pipelines. Die gesamten Kosten des schiffsgebundenen Imports liegen der Arbeit von Wietschel et al. etwa 25% über den Kosten des Pipeline-Transport. Einer Arbeit von Guidehouse (2021) zufolge werden die reinen Transportkosten per Schiff mit 1 EUR/kg H_2 vierfach höher als der innereuropäische Pipeline-Transport sein. Damit möglichst viel kostengünstiger Wasserstoff nach Deutschland importiert werden kann, sollten also auch die europäischen Potenziale stärker ins Auge gefasst werden. Innerhalb Europas kann zum Transport größtenteils auf das bestehende Fernleitungsnetz zurückgegriffen werden (Stichwort „Hydrogen Backbone“). Hinzu kommt das nahezu ganz Europa bereits mittels Pipelines erschlossen ist. Einem Papier des *Fuel Cells and Hydrogen Joint Undertaking* zufolge ist ein europäisches Elektrolysepotential von 2.250 TWh im Jahr 2050 möglich (2019). Guidehouse veranschlagt für 2050 sogar ein Potenzial von 4990 TWh und für 2030 ein Potenzial von 645 TWh. Damit kann die Wasserstoffnachfrage

Europas nahezu vollständig aus heimischen Potenzialen gedeckt werden. Der Wasserstoffstrategie der Europäischen Union zufolge soll bis 2024 eine Gesamtleistung von 6 GW und bis 2030 insgesamt 40 GW Elektrolyseleistung installiert werden. Dieser Vorteil einer innereuropäischen Produktion muss mit den Aspekten der Diversifizierung und den möglichen positiven Effekten globaler Wasserstoff-Partnerschaften abgewogen werden. Deutschland allein wird in jedem Fall auf Importe – ganz gleich, ob H₂, Ammoniak, Methanol o. ä. – angewiesen sein, um den Wasserstoffbedarf decken zu können.

Zukünftige, internationale Wasserstoffpartnerschaften sollen vor allem mit Staaten geschlossen werden, aus denen Deutschland bisher keine fossilen Energien bezogen hat. Vorrang haben hier Staaten, die in wind- und sonnenreichen Regionen der Erde liegen und damit ideale Voraussetzungen zur Produktion grünen Wasserstoffs bieten. Im Hinblick auf die zukünftige Versorgungssouveränität sollte die Kritikalität einer jeden neuen Wasserstoff-Handelsbeziehung bewertet werden. Daher ist eine wichtige Frage, welche Auswirkungen ein kurzfristiger Ausfall des Partners für den Import der wasserstoffbasierten Energieträger hätte. Langjährige Beziehungen zum Exporteur sind hier positiv zu bewerten. Vor diesem Hintergrund wären Projekte wie das vom Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (BMZ) mit Marokko initiierte Projekt zur Ammoniak-Produktion kritisch zu bewerten, da die dort herrschende konstitutionelle Monarchie mit dem weiterhin ungelösten Westsahara-Konflikt ein Risiko für das Zustandekommen des Projektes darstellt. Damit in jedem Fall die Schäden des Ausfalls eines Partners minimiert werden, sollten die zukünftigen Wasserstoff-Handelsbeziehungen diversifiziert werden. Diesem Aspekt wurde in Deutschland in der Vergangenheit wenig Beachtung geschenkt, wie das Fehlen von Flüssiggas-Terminals und die Abhängigkeit ostdeutscher Raffinerien von russischem Rohöl zeigen.¹⁵ Der Hochlauf der Wasserstoffwirtschaft bietet die Chance, den Energieimport auf eine breite Anzahl von Partnerländern zu verteilen.

Zur Bewertung der Zuverlässigkeit eines möglichen Partnerlandes gehört die politische Sphäre, nämlich wie wehrhaft das Partnerland gegenüber verschiedenen Krisenszenarien ist. Die möglichen Gefährdungen hierbei sind vielfältig, komplex und stehen häufig in Wechselwirkung miteinander. Zuerst sollte geschaut werden, ob das Partnerland in einer politisch instabilen Region liegt und ob beispielsweise Naturkatastrophen eine Bedrohung darstellen. Naturkatastrophen können sowohl direkt eine Bedrohung für die Infrastruktur und die Exportkapazitäten darstellen, als auch mittel- und langfristig zu sozialen Spannungen, politischen Krisen und Instabilität führen. Im Zuge des Klimawandels wird die Häufigkeit und Heftigkeit von Naturkatastrophen weiter zunehmen. Damit ein Staat diese Krisen abfedern kann, braucht es Finanz- und Humankapital¹⁶ sowie einen nachhaltigen Umgang mit Ressourcen. Für die

¹⁵ Schwedt, Frankfurt/Oder

¹⁶ Das Humankapital umfasst die wirtschaftlich nutzbaren Fähigkeiten, Kenntnisse und auch Verhaltensweisen der Erwerbsbevölkerung eines Staates. Diese Fähigkeiten werden durch Schule, Ausbildung und Studium erworben. Für die Steigerung des Humankapitals sind somit die Investitionen in Erziehung, Aus- und Weiterbildung relevant.

politische Wehrhaftigkeit eines Landes ist die Struktur der politischen Institutionen, die Leistungsfähigkeit der Sozialsysteme und der Zustand der Zivilgesellschaft von Bedeutung. Zu starre oder autokratische Systeme bieten hier ein nicht zu unterschätzendes Fragilitätsrisiko. Einen Überblick zur Resilienz politischer Systeme weltweit bieten unter anderem folgende Skalen:

- Worldwide Governance Indicators (Weltbank)
- Fragile States Index (Fund for Peace)
- Global Innovation Index (u.a. Cornell University)

Dabei muss betont werden, dass keine Skala die Resilienz eines möglichen Exporteurs jetzt oder in der Zukunft erschöpfend abbildet.

Einen ersten Versuch, politische, soziale, ökonomische und ökologische Faktoren mit in die Bewertung potenzieller Partnerländer einzubeziehen wurde von Professor Andreas Goldthau von der Willy Brandt School of Public Policy der Universität Erfurt unternommen. Gemeinsam mit Studierenden wurden dazu Fragen beleuchtet wie: Wie gut ist die Gerichtsbarkeit in dem Land? Kann die Produktion die Lebensverhältnisse der Anwohner beeinträchtigen? Was tut das Land für den Klimaschutz vor Ort? Pflügt Deutschland bereits Partnerschaften zu diesem Land, oder wäre es eine gänzlich unerprobte Beziehung?

Die Rangliste wird angeführt von Norwegen, Chile, Neuseeland, Australien und Mexiko. Der Professor betont, dass die Faktoren und deren Gewichtung für die Rangliste keineswegs in Stein gemeißelt seien und nur ein Deutungsangebot von vielen darstellten. In jedem Fall würde aber deutlich werden, dass die Suche nach neuen Energiepartnern mit vielen unbekanntem und Fallstricken verbunden sei.¹⁷

Vor dem Hintergrund dieser Resilienzfaktoren sollten zukünftige Wasserstoff-Partnerschaften stärker in eine globale politische Gesamtstrategie einbezogen werden, um problematische Energiepartnerschaften mit Autokratien wie Russland zu vermeiden bzw. deren Kritikalität abzuschwächen. Aus der Vergangenheit zu lernen bedeutet, einseitige Partnerschaften zu vermeiden. Im fossilen Zeitalter wurden Energiepartnerschaften vor allem mit solchen Staaten abgeschlossen, die die Rohstoffe am günstigsten liefern konnten. Dies führte zu engen Handelsbeziehungen zu Autokratien, in denen dann oftmals nur wenige vom Rohstoffexport profitierten, während die breite Bevölkerung wenige bzw. negative Auswirkungen wie Umweltzerstörung und Verteilungskonflikte erfuhr. Insofern wird auch die Stärkung politischer und gesellschaftlicher Resilienz im Zuge der Vertiefung wirtschaftlicher Beziehungen an Bedeutung gewinnen. Overland (2019) argumentiert, dass im Zuge des Ausbaus erneuerbarer Energien und der Entwicklung neuer Handelsbeziehungen im Energiebereich nicht zwingend die Fehler des fossilen Zeitalters wiederholt werden müssen: Die erneuerbare

¹⁷ <https://www.spektrum.de/news/gruener-wasserstoff-wettlauf-der-wuestenstaaten/2037880#> abgerufen am 12.07.2022

Energieerzeugung benötige langfristige Infrastruktur-Investitionen, mehr lokale Wertschöpfung und die Entwicklung von Arbeitsplätzen vor Ort. Der Aufbau von Wasserstoff-Handelsbeziehungen kann somit einen entwicklungspolitischen Mehrwert bewirken, womit zum Beispiel erdölexportierenden Ländern eine Alternative zu fossilen Energieträgern geboten werden kann.

Die Entwicklungszusammenarbeit kennt zahlreiche Kriterien, ob eine Partnerschaft der Förderung von Rechtsstaatlichkeit und Demokratie zuträglich ist und weiterverfolgt werden sollte. Seit geraumer Zeit versucht China beispielsweise in Afrika, neue einseitige Handelsbeziehungen aufzubauen. Der Hochlauf einer globalen Wasserstoffwirtschaft bietet die Chance, diesem Prozess eine zukunftsfähige, gleichberechtigte Alternative entgegenzusetzen. Eine kritische Auseinandersetzung mit diesen Aspekten bietet die Chance, die Fehler des fossilen Zeitalters zu vermeiden und neue, wertegeleitete Partnerschaften aufzubauen. Dabei ist es unvermeidlich, dass es zu Zielkonflikten zwischen entwicklungspolitischen und wirtschaftlichen Interessen kommen wird. Dieser Spagat ist jedoch langfristig von Vorteil, um die zukünftige Versorgung mit erneuerbaren Energieträgern resilienter zu gestalten.

Vor dem Hintergrund dieser Ausführungen müssen sog. „Hochpotentialländer“ für die globale Wasserstoffwirtschaft neu bewertet werden. Besonders Länder in Nordafrika oder Südamerika verfügen aktuell noch nicht über die notwendige Infrastruktur, um ihre jeweiligen Vorteile (Überschuss erneuerbarer Energien, geringe Transportdistanz) auszuspielen zu können. Einzig Norwegen etabliert sich bereits als Wasserstoff-Exporteur in Pipeline-Distanz für die EU (Kloth, 2022). Weitere Exporteure mit Potenzial sind über den Globus verteilt und nur mittels Tankern erreichbar: USA, Kanada, Chile, Brasilien, Argentinien, Südafrika, Marokko, Ägypten, Namibia, Australien, Japan, Indien. Allerdings haben die Transport- und Speicherkapazitäten eine herausragende Bedeutung für den Markthochlauf von Wasserstoff und seinen Folgeprodukten. Der Aufbau der notwendigen Infrastruktur in den In- und Exportländern wird zu Beginn sehr kostenintensiv sein.

Insbesondere in der Anfangsphase des Aufbaus von Wasserstoffwertschöpfungsketten kommt es auf die politischen Entwicklungen und Regulierungen an: Wie setzt die politische Ebene welche Leitplanken, welche Technologien werden dadurch gefördert und was bedeutet das für Geschwindigkeit und Ausbreitung der Wasserstoffmärkte? Dies sind nur einige der Fragen, die in diesem Zusammenhang gestellt werden können. Politische Interventionen in Form von Subventionen, Anreizprogrammen und Regulierungsmaßnahmen werden einen wesentlichen Einfluss auf die Entwicklung der Wasserstoffmärkte nehmen (Blind, et al., 2022). Insbesondere die Entwicklungen in den Vorreiterländern, die sich dadurch auszeichnen, dass sie Technologieführerschaft im Wasserstoffbereich beanspruchen und/oder bereits eine Wasserstoffstrategie entwickelt haben, die die Entwicklung der Märkte der Wasserstofftechnologien und Anwendungen bestimmen werden. Aktuellen Zahlen zufolge verfügen mehr als 20 nationale, supranationale und subnationale Akteure über eine eigene Wasserstoffstrategie. Die allermeisten dieser Strategien haben zur Aufgabe, die Wasserstoffproduktion

anzuregen und/oder den Weg für Wasserstoffhandel zu bereiten. Eine Strategie ist zum Aufbau neuer Wirtschaftszweige und Handelsbeziehungen aber nur ein Teil der Lösung der Herausforderung. Ebenso bedeutend ist die Harmonisierung von technischen Standards und Zertifizierungen. Einer aktuellen Arbeit der Dena und des Weltenergieerats Deutschland zufolge ist ein einheitliches Zertifizierungssystem für den globalen Wasserstoffhandel aktuell nicht in Sicht. Ein Grund dafür sei, dass Länder oder Märkte mit besonders ehrgeizigen Kriterien für die Produktion von Wasserstoff aus erneuerbaren Energien – wie etwa die Europäische Union – diese nicht zugunsten eines global harmonisierten Systems aufgeben werden, so die Autoren (Crone, Lakeit, Reinholz, & Sailer, 2022). Wenn sich keine Harmonisierung einstellen will, so die Autoren weiter, kann das dazu führen das große Wasserstoffproduzenten und ‚Hochpotenzialländer‘ das eine Zertifizierungssystem dem anderen vorziehen werden. Das könnte im Ergebnis bedeuten, dass das System mit den geringsten Markteintrittsbarrieren am attraktivsten ist. Diese Entwicklung wiederum wäre kontraproduktiv für Vorreitermärkte mit besonders strengen Kriterien wie die USA oder die Europäische Union. In ihrer Arbeit untersuchten die Autoren insgesamt elf Zertifizierungssysteme aus der EU, Deutschland, China, Japan, Australien, den USA und Großbritannien. Am weitesten fortgeschritten ist die Harmonisierung hinsichtlich der Nutzung erneuerbaren Stroms zur Erzeugung, die Nutzung von Massebilanzansätzen zur Zertifizierung des Wasserstoffs sowie die Zulässigkeit von Kohlenstoffquellen für die Produktion synthetischer Kraftstoffe. Die nachfolgende Liste gibt einen Überblick über die hier diskutierten Kriterien, die stärkerer Beachtung bedürfen:

- Wasserstofferzeugungstechnologien
- Kritikalität der Handelsbeziehungen
- Infrastruktur
- Politische (In)-stabilität
- Humankapital
- Wasserstoffpartnerschaften, Willenserklärungen
- Politik und Regulierung

4.2 Datenquellen und Vorgehen

Nachdem die Faktoren, die zur Bewertung von Partnerländern und Wasserstoffpartnerschaften herangezogen werden können, betrachtet haben, soll es im nächsten Schritt darum gehen, konkrete und angekündigte Projekte/Partnerschaften und Lieferzusagen nach Deutschland vor dem Hintergrund des gesamtwirtschaftlichen Wasserstoffbedarfs einzuordnen. Welche Rolle spielen die Zusagen und in welchen Sektoren werden sie am Ende ankommen?

Eine umfassende aktuelle Auflistung weltweit geplanter und angekündigter Wasserstoff bzw. Derivate-Projekte bieten Datenbanken der Internationalen Energieagentur (IEA), der International

Partnership for Hydrogen and Fuel Cells in the Economy (IPHE)¹⁸, des Hydrogen Council¹⁹ sowie für den europäischen Markt das Fuel Cell & Hydrogen Observatory (FCHO)²⁰.

Die Datenbank der IEA beinhaltet laut Aussage der Autoren alle erfassbaren Projekte zur Erzeugung von Wasserstoff. Die Datenbank der IEA differenziert in sechs Projektstadien (Konzept, Demo, Machbarkeitsstudie, Financial Investment Decision, im Bau, im Betrieb): Die Stadien „im Bau“ und „im Betrieb“ sind selbsterklärend. „Demo“ ist eine Kategorie für Projekte, die lediglich auf die Demonstration einer Technologie abzielen und keine kommerziellen Zwecke verfolgen oder bei denen nach der Demonstration der Technologie eine kurzfristige Stilllegung vorgesehen ist. In der Kategorie „Financial Investment Decision“ sind Projekte versammelt, für die die finale Investitionsentscheidung noch aussteht, bei denen aber in Kürze mit dem Baubeginn zu rechnen ist. Die Kategorie „Konzept“ umfasst Projekte, die bisher nur angekündigt bzw. Teil einer Willenserklärung zwischen den Projektpartnern sind, diese befinden sich also noch in einer sehr frühen Phase der Projektentwicklung. Die Projekte der Kategorie „Machbarkeitsstudie“ sind zwischen der Finanzierbarkeitsentscheidung und dem Konzept anzusiedeln. Die Autoren der IEA-Datenbank nehmen die Einteilung anhand der Aussagen der Projektpartner vor, im Zweifelsfall greifen sie auf Expertenmeinungen zur Einschätzung zurück. Die übrigen Datenbanken und ihre Kriterien sind nur teilweise bzw. nicht öffentlich, fließen aber in die Datenbank der IEA ein, die einen Anspruch auf Vollständigkeit auf weltweiter Ebene erhebt.

Bei der Auswahl der Projekte in der Datenbank der IEA gilt es, eine Eingrenzung vorzunehmen, um möglichst nur solche Projekte zu betrachten, die auch eine Chance auf eine Realisierung besitzen. Aus diesem Grund werden im weiteren Verlauf die im folgenden markierten Projektkategorien mit einbezogen:

- Konzept
- Demo
- **Machbarkeitsstudie**
- **Financial Investment Decision**
- **Im Bau**
- Im Betrieb

Projekte der Kategorien Konzept oder Demo werden nicht in einer Größenordnung aufgebaut, die für eine exportorientierte Produktion relevant sind. Außerdem sind Konzepte oder Demonstrationsprojekte nicht auf den langfristigen Export ausgerichtet, sondern

¹⁸ Die IPHE umfasst alle großen Produktionsländer für Wasserstoff und Brennstoffzellentechnologie und sammelt Daten und Informationen zu diesen Technologien in den Mitgliedsländern.

¹⁹ Das Hydrogen Council ist ein privatwirtschaftlicher Zusammenschluss international tätiger Unternehmen der Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologien.

²⁰ Das FCHO ist ein Zusammenschluss europäischer Interessensverbände im Bereich der Wasserstoffherzeugung.

die kurzfristige Erprobung der Möglichkeiten. Im Betrieb befindliche Anlagen sind zum Zeitpunkt der Erhebung in so geringem Umfang vorhanden, dass diese kaum eine Rolle spielen werden. Anschließend werden die Projekte anhand des angekündigten Produktionsbeginns in eine kurz- (<2026), mittel- (<2030) und langfristige (<2040) Gruppe sortiert. Zusätzlich muss bei der Betrachtung der Projekte nach den vorgesehenen Endanwendungen differenziert werden. Projekte, deren Wasserstoff beispielsweise in Raffinerien oder für die Stahlproduktion eingesetzt werden soll, werden dem globalen Markt nicht zur Verfügung stehen. Die Datenbank der IEA differenziert nach einer ganzen Reihe von Endanwendungen, von denen die im Folgenden markierten, unserer Ansicht nach am wahrscheinlichsten dem globalen/deutschen Markt zur Verfügung stehen werden:

- Raffinerien
- **Ammoniak**
- **Methanol**
- Eisen und Stahl
- Andere industrielle Anwendungen
- Mobilität
- Energiesektor
- **Netzeinspeisung (sofern das Projekt in Deutschland angesiedelt ist)**
- **KWK (sofern das Projekt in Deutschland angesiedelt ist)**
- **Wohnraumwärme**
- Synthetische Kraftstoffe
- Netzeinspeisung synth. Methans
- Mobilitätsanwendung synthetischen Methans

Bei Endanwendungen wie Netzeinspeisung, KWK oder Wohnraumwärme sind für uns nur solche Projekte interessant, die in Deutschland angesiedelt sind. Die Mengen solcher Projekte im Ausland werden dem deutschen Wärmemarkt nicht zur Verfügung stehen. Um herauszufiltern, welche Mengen an Wasserstoff dem Wärmemarkt zur Verfügung stehen könnten werden wir also wie folgt vorgehen: Die gesamte Projektdatenbank der IEA wird der Reihe nach anhand der Projektstadien, der Weltregionen und der Verwendungspfade gefiltert.

Als letzter Schritt werden die Kriterien des Humankapitals und der Wasserstoffpartnerschaften/Willenserklärungen angewandt. Nach jeder Ebene werden die Ergebnisse wiederum anhand der Zeithorizonte gefiltert.

Unser Ziel ist, am Ende eine Liste an Projekten und Wasserstoffmengen zu erhalten, von deren Verfügbarkeit zu bestimmten Zeitpunkten mit an Sicherheit grenzender Wahrscheinlichkeit ausgegangen werden kann.

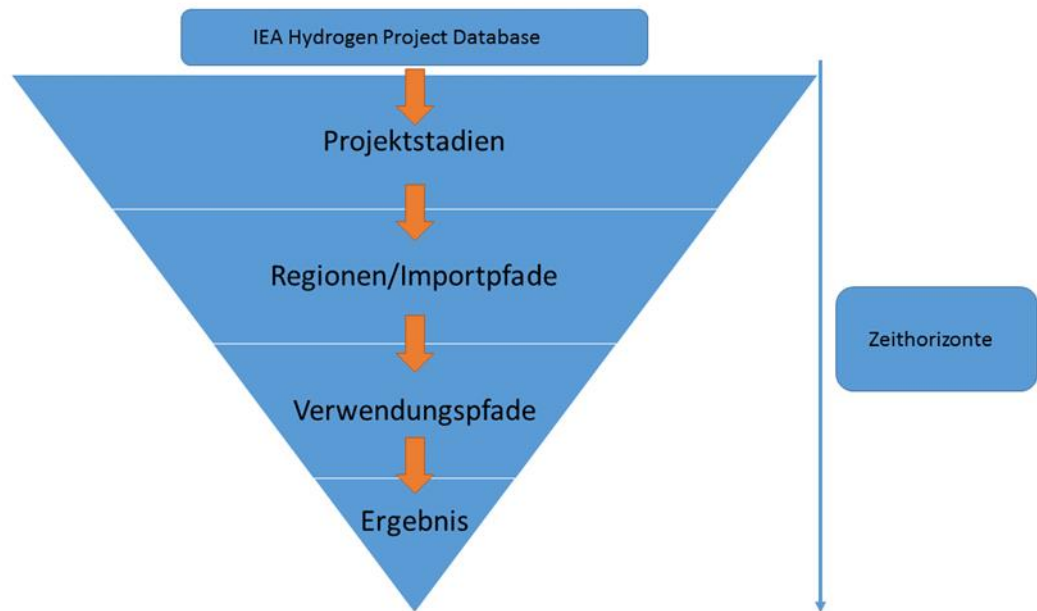


Abbildung 6: Darstellung der Vorgehensweise der Analyse

4.3 Einordnung internationaler Projekte

Der Datenbank der IEA zu Wasserstoffprojekten zufolge befinden sich aktuell (Stand Oktober 2021) weltweit 3,6 GW an Elektrolyseleistung im Bau oder stehen kurz vor der finalen Investitionsentscheidung, die in den nächsten Jahren mit der Produktion beginnen sollen.²¹ Über alle Projektstadien hinweg listet die Datenbank bis 2026 30,6 GW Elektrolysekapazität. Dem Hydrogen Council zufolge sind 93 GW an Elektrolyseleistung bis 2030 weltweit angekündigt, die sich hauptsächlich auf Europa, Australien und Nordamerika verteilen (Hydrogen Council, 2021). Der Datenbank der IEA zufolge sind sogar 148,6 GW bis zum Jahr 2030 angekündigt. In der engeren Auswahl der Projektkategorien sind bis 2026 21,7 GW bzw. bis 2030 54,88 GW Elektrolysekapazität in Planung oder fest zugesagt. Darüber hinaus gibt es eine Vielzahl an Projekten, für die in der Datenbank aktuell weder Produktionskapazitäten bzw. ein Start der Produktion bekannt ist. Die nächste Aktualisierung der Datenbank der IEA ist für das vierte Quartal 2022 geplant.

²¹ Hydrogen Project Database, IEA; Oktober 2021

IEA Hydrogen Project Database	Bis 2026	bis 2030	2031-2040
Konzept, Demo	8,8 GW	88,58 GW	22,95 GW
Machbarkeitsstudie, FID, im Bau ²²	21,7 GW	33,15 GW	/
Alle Projektkategorien	30,6 GW	121,73 GW	22,95 GW
Hydrogen Council (McKinsey)		93 GW	

Tabelle 3: Auflistung der Elektrolysekapazitäten angekündigter oder in Umsetzung befindlicher Projekte (IEA Hydrogen Project Database, 2021)

Die Herausforderung bei diesen aufgerufenen Mengen an Elektrolysekapazität ist es, einzuordnen ob und wie der einmal produzierte Wasserstoff überhaupt für den deutschen Markt und dann zur Versorgung der Wohngebäude zur Verfügung stehen kann.

Die Diskrepanz zwischen den Angaben der Datenbanken der IEA und des Hydrogen Council kann dabei als ein erster Anhaltspunkt genommen werden, um die Spanne des produzierten Wasserstoffs einzuschätzen.

Aktuell installierte Elektrolysekapazität weltweit	0,363 GW (IEA, 2021)
Wasserstoffnachfrage des Gebäudesektors nach „More Molecules“-Pfad der dena-Leitstudie	3 TWh 2030, 115 TWh 2045
Umfang der weltweit angekündigten Projekte zur Wasserstoff-Produktion (IEA, 2021)	30,6 GW (≤ 2026)
Projizierte Lieferkapazität der deutschen Elektrolyseurindustrie (2025)	13-16 GW/a ($\sim H_2$ -Produktion von 34-42 TWh/a)

Tabelle 4: Kennzahlen zur Kontextualisierung

Über alle Kategorien hinweg verteilen sich die Projekte in der Datenbank der IEA wie folgt auf die Regionen der Welt:

²² Die Kategorien sind von der Datenbank der IEA übernommen.

IEA Hydrogen Project Database	2021-2026	bis 2030	2031-2040	Summe
Europa	234	53	6	293
davon Deutschland	42	5	1	48
Afrika	3	/	/	3
Nordamerika	53	1	/	54
Südamerika	5	1	/	5
Asien (Südostasien, Asien)	30	/	1	31
Naher Osten (Vorderasien, Arabische Halbinsel)	9	1	1	11
Australien	39	5	/	42
Summe:	405	61	8	439

Tabelle 5: regionale Verteilung der Projekte in allen Projektstadien (IEA Datenbank, 2021)

Das Gros der Projekte ist der Auswertung zufolge eindeutig in Europa angesiedelt. Dahinter folgen Nordamerika, Asien und Australien. Das entspricht in Verteilung der Projekte der Aussage des Hydrogen Council. Auffällig an der Verteilung ist, dass obwohl Australien und Südamerika aufgrund ihrer guten Bedingungen für erneuerbare Energien viel Potenzial beigemessen wird, sich dies augenscheinlich noch nicht in der Anzahl der Projekte widerspiegelt. Die insgesamt 42 Projekte in Australien stellen eine Elektrolyseleistung von 25,7 GW dar, während die 48 deutschen Projekte nur 12,1 GW Leistung darstellen.

	Bis 2026	Bis 2030	2031-2040	Summe
KWK & Netzeinspeisung (Deutschland)	162,5 MW	270 MW	/	432,5 MW
Energiesektor (Deutschland)	120 MW	/	/	120 MW
Wohnraumwärme (Deutschland)	/	/	/	/
Ammoniak & Methanol (weltweit)	5,7 GW	2,2 GW	/	7,9 GW
Ammoniak & Methanol (Europa)	1,5 GW	2,2 GW	/	3,7 GW
Ammoniak & Methanol (Afrika)	206,8 MW	/	/	206,8 MW
Ammoniak & Methanol (Nordamerika)	573 MW	/	/	573 MW
Ammoniak & Methanol (Südamerika)	/	/	/	/
Ammoniak & Methanol (Asien)	100 MW	/	/	100 MW
Ammoniak & Methanol (Naher Osten)	2,5 GW	/	/	2,5 GW
Ammoniak & Methanol (Australien)	835 MW	/	/	835 MW

Tabelle 6: zur Verfügung stehende Produktionsmengen an H₂ und Folgeprodukten in den relevanten Projektstadien

Aus der Auflistung in Tabelle 6 geht hervor, dass nur ein Bruchteil der Elektrolysekapazität deutscher Projekte in für den Wärmemarkt relevante Endanwendungen²³ gelangt. Insgesamt sind das bis 2030 knapp 550 MW Elektrolysekapazität. Was den Weltmarkt angeht, kommen im Prinzip nur Ammoniak oder Methanol zur Betrachtung in Frage: Der Großteil der Kapazität verteilt sich auf Europa und den Nahen Osten, während alle anderen Regionen im Megawatt-Bereich liegen. Über 2026 hinaus sind einzig in Europa Projekte mit diesen Endanwendungen vorgesehen.

Bei den ausgewählten Verwendungspfaden muss immer mitbedacht werden, dass diese nur in der Theorie der Wohnungswirtschaft zur Wärmebereitstellung zur Verfügung stünden, d. h. diese Mengen könnten theoretisch über die allgemeine Gasversorgung zu den Haushalten gelangen. Ob Ammoniak oder Methanol aber in der oben angezeigten Größenordnung nach Deutschland importiert und dann wiederum zu Wasserstoff umgewandelt werden, ist aktuell nicht gesichert. Beide Energieträger könnten auch ohne Rückumwandlung weiterverwendet werden und würden damit dem Wärmemarkt nicht zur Verfügung stehen. Insofern sind die Angaben weiterhin mit Unsicherheit behaftet. Zusätzlich produzieren die Projekte in den seltensten Fällen für nur einen Verwendungspfad. Meist sind für ein Projekt mehrere Pfade angegeben. In den Tabellen rechnen wir immer mit der Gesamtgröße des Projektes. Im Jahr 2030²⁴ stehen über die internationalen Importe mit 10,2 GW nur ein Bruchteil der 3 TWh zur Verfügung, die laut unserem Szenario benötigt werden. Weitere Kapazitäten müssten dann über eine nationale Produktion oder Ausweitung europäischer und internationaler Produktion bereitgestellt werden.

4.4 Zusammenfassung

Die vorangegangene Diskussion zeigt, wie viele Parameter und Stellschrauben für den Hochlauf internationaler und nationaler Wasserstoffwirtschaft zu beachten sind.

Diese reichen von der Produktion der Elektrolyseure (Hoch- und Niedertemperatur), über die Transportwege und Infrastrukturen (Schiffe und Pipelines) bis hin zur Auswahl der Produktionsstandorte und Partnerländern. Hinzu kommen rahmengebende Faktoren wie die Bildung neuer Handelsbeziehungen, Resilienz von Lieferketten, Diversifikation und der Stabilität der Partnerländer. Die Schwierigkeit bei der Beurteilung dieser Parameter ist, dass praktisch alle Elemente der Prozesskette aktuell politisch erst im Aufbau sind, und technisch im industriellen Maßstab nicht stattfinden und erst aufgebaut werden müssen. Die Auswertung der Projektdatenbank der IEA zeigt, dass über internationale Märkte kurz- (≤ 2026) bis mittelfristig (≤ 2030) nicht genügend Wasserstoff zur Deckung der Nachfrage des Wärmemarkts in Deutschland zur Verfügung stehen wird.

²³ KWK & Netzeinspeisung, Energiesektor, Wohnraumwärme

²⁴ Für 2030 rechnen die meisten Szenarien mit den ersten Wasserstoffbedarfen zur Wärmebereitstellung

Eine Analyse des Energiewirtschaftlichen Instituts der Universität Köln (ewi) zu bestehenden und bis 2030 geplanten Elektrolyseanlagen in Deutschland kommt zu ähnlichen Schlussfolgerungen (Cam, Brinker, & Sprenger, 2022). Das von der Bundesregierung neu gesteckte Ziel von 10.000 MW heimischer Erzeugung würde nicht erreicht werden. Die Autoren beziffern für das Jahr 2030 einen mittels Import zu füllende Lücke von 50,5 Mrd. kWh Wasserstoff. Diskrepanz zu den Zielen bestünde darüber hinaus in der Pipeline-Infrastruktur.

Die Elemente der Wasserstoff-Prozesskette sind alle für sich mit Unwägbarkeiten verbunden und bedingen sich zusätzlich gegenseitig, wodurch ein sehr kompliziertes Konstrukt entsteht, an dessen Ende ein weltweiter Wasserstoffmarkt bzw. regionale Wasserstoffmärkte stehen sollen. Insbesondere zu Beginn bzw. noch bevor der Hochlauf der Wasserstoffwirtschaft in Deutschland, Europa und der Welt beginnen kann, kommt es auf die Politik an. Die Politische Regulierung setzt die Leitplanken und gibt die Geschwindigkeit des Markthochlaufs vor. Als aktuelles Beispiel könnte hier z.B. der Inflation Reduction Act der USA und dessen Implikationen für den Wasserstoffhochlauf genannt werden. Inwieweit diese Maßnahme dem Hochlauf grünen bzw. klimaneutralen Wasserstoffs in den USA zuträglich ist, kann an dieser Stelle nicht erörtert werden.

Je nachdem, wie eng oder weit die Anforderungen und Regeln für die einzelnen Elemente der Wasserstoffprozesskette gesetzt werden, wird sich die Geschwindigkeit und das Wachstum des Markthochlaufs entscheiden. Ein erster positiver Einstieg wurde in Deutschland mit dem EEG 2023 und den Wasserstoffausschreibungen gesetzt.

5 Lokale Wasserstoffproduktion: Politische Situation und aktuelle Entwicklungen

Die Ergebnisse der Analyse zeigen, welche Bedeutung dem Aufbau einer heimischen und europäischen Wasserstoffproduktion zukommt. Die Ampelkoalition hat in dieser Hinsicht im Koalitionsvertrag ein Zeichen gesetzt. So soll die heimische Erzeugung von Wasserstoff auf Basis Erneuerbarer Energien forcieren und Deutschland zum Leitmarkt für Wasserstoff-Technologien entwickeln. Die Koalition will eine Elektrolysekapazität von rund 10 GW im Jahr 2030 erreichen. Das ist eine Verdoppelung gegenüber den 5 GW, die noch in der ersten Version der Nationalen Wasserstoffstrategie unter der Großen Koalition für 2030 ausgegeben wurden. Vor kurzem legte der Nationale Wasserstoffrat ein Eckpunktepapier vor, in dem gefordert wird die Wasserstoffstrategie zur Erreichung dieses Ziels entsprechend auszustatten und fortzuschreiben.²⁵

Einen ersten Anstoß für dezentrale Wasserstoffprojekte legte die Bundesregierung mit der im Rahmen des Osterpakets angekündigten Reform des EEG. Vorgesehen ist eine Förderung von

²⁵ https://www.wasserstoffrat.de/fileadmin/wasserstoffrat/media/Dokumente/2022/2022-06-20_NWR-Eckpunktepapier_Ueberarbeitung_NWS.pdf

Wasserstoffspeichern, die mit Wind- oder Solaranlagen kombiniert werden, damit überschüssiger Strom in Wasserstoff umgewandelt und später rückverstromt werden kann. Auch soll es möglich sein, Wind- und Solaranlagen zu kombinieren, um eine größtmögliche Effizienz des Systemverbunds zu ermöglichen. Zusätzlich soll der Einsatz von Wasserstoff in KWK-Anlagen gefördert werden. Im Rahmen des Osterpakets sind außerdem Ausschreibungen für grüne Wasserstoffprojekte im Umfang von insgesamt 11.800 MW vorgesehen: Dies umfasst innovative Konzepte mit wasserstoffbasierter Stromspeicherung, Anlagen zur Erzeugung von Strom aus grünem Wasserstoff sowie systemdienlich mittels Elektrolyseuren erzeugten grünen Wasserstoff.

Nach Berechnungen des Reiner-Lemoine-Instituts könnten Anlagen unter 5 MW eine heimische Produktion von rund 13,7 Mrd. kWh und damit rund die Hälfte der Zielmenge der Nationalen Wasserstoffstrategie für 2030 decken. Die Autoren betonen vor allem die Netzdienlichkeit der Wasserstofferzeugung im kleinen Maßstab. Kleinere Anlagen könnten flexibel auf das fluktuierende Angebot an Wind- und Solarstrom reagieren. Damit würden sie einen wichtigen Beitrag zur Netzstabilität und Versorgungssicherheit leisten können. Zusätzlich kann die dezentrale Wasserstofferzeugung die regionale Wertschöpfung mit neuen Geschäftsmodellen stärken und den Markthochlauf in die Breite tragen.

Auch auf europäischer Ebene werden die ersten regulatorischen Leitplanken für die Wasserstofferzeugung gesetzt. Die EU-Kommission will –nach Ansicht vieler Verbände und Kommentatoren- deutlich engere Kriterien für den Strombezug der Elektrolyseure zur Wasserstoffproduktion setzen. Dies geht aus dem neuesten Rechtsakt hervor, der am 20.05.2022 veröffentlicht wurde. Elektrolyseanlagen, die vor 2027 errichtet werden müssen ihren erneuerbaren Strom nicht aus zusätzlich errichteten Anlagen beziehen. Ab 2027 müssen Elektrolyseanlagen spätestens 3 Jahre nach Inbetriebnahme der erneuerbaren Energieanlagen in Betrieb genommen werden. Bis 2027 gilt eine monatliche Korrelation des über das öffentliche Stromnetz bezogenen erneuerbaren Stroms. Daraus wird ab 2027 eine stündliche Korrelation. Die Regel zur Korrelation (auch Gleichzeitigkeitsregel genannt) legt fest, in welchem Zeitintervall erneuerbare Stromerzeugung und Wasserstoffproduktion liegen müssen, damit der Wasserstoff als Grün gelten kann. Die Gleichzeitigkeitsregeln betrifft in erster Linie Elektrolyseure, die an das öffentliche Stromnetz angeschlossen werden und darüber Strom beziehen. Die Wasserstoffproduktion soll so bilanziell mit der erneuerbaren Erzeugung verknüpft werden, damit möglichst sichergestellt werden kann, dass der Wasserstoff wirklich *grün* ist. Dies zwingt die politischen Entscheidungsträger in diesem Fall, zur Abwägung zwischen zwei Zielen: Dem Setzen von Anreizen für Investitionen in innovative Technologien wie die Elektrolyse und der Reduktion von Emissionen im Stromsektor. Die Herausforderung dabei ist, dass wir zum aktuellen Stand der Energiewende haben nur in einer begrenzten Zahl von Jahresstunden so viel erneuerbaren Strom im Netz haben, dass zusätzlich zum herkömmlichen Stromverbrauch auch die Nachfrage neu installierter Elektrolyseure mit erneuerbarem Strom gedeckt werden kann. Diese wenigen Jahresstunden reichen in Deutschland nach Schätzungen aber

wahrscheinlich nicht aus, um kostengünstigen Wasserstoff zu erzeugen. In allen anderen Stunden des Jahres müsste konventioneller Strom genutzt werden, um den wachsenden Bedarf der Elektrolyseure zu decken.

5.1 Zusammenfassung

Aktuell besteht faktisch keine zentrale oder dezentrale Produktion grünen Wasserstoffs in nennenswerten Ausmaßen in Deutschland. Allerdings werden bereits die ersten politischen Leitplanken für den Hochlauf der Produktion von Elektrolyseuren der Erzeugung von Wasserstoff und der Distribution und Verwendung dessen gesetzt. Eine nennenswerte Anzahl von Projekten, die auch zu größeren Wasserstoffmengen führen sollen, befinden sich im Aufbau. Je nachdem wie sich der Hochlauf entwickelt, werden die Projekte zeigen, in welcher Form die deutsche und europäische Wasserstoffproduktion eine breite Marktverfügbarkeit sicherstellen kann.

Finanzierung von lokalen Projekten zur Erzeugung von grünem Wasserstoff (Autoren: Deutsche Kreditbank AG, DKB)

Die Charakteristika von lokalen Vorhaben zur Erzeugung von grünem Wasserstoff verlangen in der Finanzierungspraxis von Kreditinstituten nach einem daran angepassten Bewertungs- und Sicherheitenmodell.

So weisen diese Vorhaben eine starke Heterogenität auf, was Anwendungsgebiet (z.B. Wärme oder Mobilität), Geschäftsmodell, Abnehmer- und Akteursstruktur sowie eingesetzte Technologie anbelangt. Entsprechend variieren auch die Projektgrößen, das Finanzierungsvolumen und nicht zuletzt die inhärenten Risiken, die es zu berücksichtigen und mitigieren gilt. Dazu gehört auch, dass mit dem derzeit am Anfang stehenden Markthochlauf gleichermaßen noch entwickelte Absatzmärkte fehlen, die Vorhaben typischerweise auf die Einbindung von Fördermitteln angewiesen sind und nicht zuletzt der Rechtsrahmen weiterer Ausgestaltungen bedarf. Diese Faktoren bedingen, dass die bankinterne Projektprüfung von Wasserstoffvorhaben zur Feststellung der Finanzierbarkeit und die damit verbundene Festlegung von Darlehensbedingungen und Kreditaufgaben einen hohen Grad an Komplexität besitzt.

Während sich die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung bei klassischen non-recourse EEG-Projektfinanzierungen, wie sie bei Wind- und PV-Anlagen üblich sind, im Wesentlichen auf eine Cash-Flow-Modellierung stützt, greift eine alleinige Gegenüberstellung von Einnahmen und Ausgaben bei Wasserstoffvorhaben aus den vorgenannten Gründen erheblich zu kurz. Daher sind diese vielmehr als besondere Form der Unternehmensfinanzierung zu behandeln, bei der der Betrachtungsschwerpunkt dem Geschäftskonzept einschließlich der beteiligten Akteure gilt, in das die H₂-Erzeugungsanlage als Finanzierungsgegenstand integriert ist. Die Bewertung des dem Wasserstoffvorhabens zugrundeliegenden Gesamtkonzepts ergibt sich aus der Analyse einzelner

Teilaspekte, die die Hauptrisikotreiber abdecken. Dazu gehören neben der Auswertung der wirtschaftlichen Verhältnisse der zentralen Projektbeteiligten zur Bonitätseinschätzung auch deren nachgewiesene Erfahrung bei der Umsetzung und dem Betrieb solcher Projekte (technische und kaufmännische Kompetenz).

Bei der Erzeugung von grünem Wasserstoff stellt sich des Weiteren auch die Frage der Herkunft des dafür benötigten Stroms aus Erneuerbaren Energien. So ist es notwendig, dass dieser entweder durch einen langfristigen Grünstrombezug oder die Selbsterzeugung in eigenen Erneuerbaren-Energien-Anlagen sichergestellt ist.

Ein weiterer wichtiger Fokus liegt auf dem Vermarktungskonzept des in der Anlage produzierten grünen Wasserstoffs. Dahingehend muss eine tragfähige Offtaker-Struktur gegeben sein, die durch langfristige Abnahmeverträge gesichert ist. Hierbei steht die Minimierung der Marktpreis- und Abnahmerisiken im Vordergrund. Für die Einschätzung der Robustheit der aus dem Vermarktungskonzept ableitbaren Umsatz- und Ertragsplanung ist neben dem Verwendungszweck (z.B. Wärmeerzeugung) auch der Endkunde (z.B. Industrieunternehmen, private Haushalte) zu betrachten. Der Einsatz bewährter Technik beim Elektrolyseur ist dabei ebenso zu berücksichtigen wie die lokal bestehende Infrastruktur, die eine entsprechende Tauglichkeit für die Einspeisung und den Transport des grünen Wasserstoffs aufweisen muss.

Mit einem solchen umfangreichen Katalog an Bewertungsaspekten wird den komplexen Strukturen bei grünen Wasserstoffvorhaben Rechnung getragen. Letztendlich sind nur auf diese Weise Aussagen über dessen langfristige Tragfähigkeit und somit eine fundierte Kreditentscheidung möglich.

Klimaneutraler Gebäudebestand: Herausforderungen und Lösungen für Quartiersprojekte (Autoren: techem)

Jüngste geopolitische Ereignisse verdeutlichen einmal mehr, dass wir den Verbrauch von Energie reduzieren und Abhängigkeiten von fossilen Energieträgern senken müssen. Dies gilt auch und gerade für den Gebäudesektor. Im Jahr 2021 hat er laut Schätzung des Umweltbundesamtes erneut sein Sektor-Minderungsziel verfehlt und witterungsbedingt mit dazu beigetragen, dass Deutschlands CO₂-Emissionen gegenüber 2020 insgesamt um 4,5 % gestiegen sind.

Die entscheidende Frage muss daher heute lauten: Wie kann es gelingen, den Sektor bis 2045 CO₂-neutral zu gestalten und bereits bis 2030 das Zwischenziel von 50 % klimaneutraler Wärmeerzeugung in Gebäuden zu erreichen? Die zügige Dekarbonisierung ist dafür die Grundvoraussetzung, gepaart mit einer deutlichen Verbrauchsreduzierung sowie dem Ausbau erneuerbarer Energien. Für das Erreichen derart ambitionierter Ziele gibt es kein Patentrezept und keine Blaupause. Dafür ist der Gebäudebestand zu heterogen. Entscheidend ist jedoch ein effizienter und hochautomatisierter Gebäudebetrieb. Energieströme müssen optimal gesteuert und regenerative Erzeugungen intelligent

aufeinander abgestimmt werden. Um dies zu erreichen, sind geringinvestive digitale Lösungen sowie das digitale Messen der Energieströme wesentliche Hebel. Allein auf diese Weise lassen sich bereits zehn bis 15 % des Energieverbrauchs einsparen.

Quartierslösungen bieten großes Potential für den Klima- und Umweltschutz

Noch mehr Wirkkraft hat die Digitalisierung des Gebäudesektors, wenn Synergien in ganzen Quartieren genutzt werden, um energieeffiziente, klimaschonende und gesunde Arbeits- und Lebensräume zu schaffen. Im Quartier können Daten aus einzelnen Gebäuden vernetzt und optimale Führungsgrößen für den Betrieb der zentralen Erzeugeranlagen für Wärme und Strom ermittelt werden. Und auch die Sektorenkopplung kann im Quartier ihre Wirkung optimal entfalten: Strom von der Photovoltaikanlage kann für die E-Ladestation und Wärmepumpe genutzt werden. Diese können die Energie direkt verwerten bzw. fungieren als sektorübergreifende Energiespeicher für die über Photovoltaik erzeugte Energie.

Derzeit gestaltet sich die Sanierung von Bestandsimmobilien mithilfe von Wärmepumpen als recht aufwändig. Oftmals helfen hier hybride Lösungen mit effizienten Gasthermen. Der Quartiersansatz muss folglich unbedingt weiter in den Fokus der Diskussion rücken – in Deutschland, aber auch auf europäischer Ebene. Wir bei Techem unterstützen die Bundesregierung dabei, Mieterstrom- und Quartierskonzepte zu vereinfachen und zu stärken, etwa mit unseren Lösungen in den Bereichen Submetering, Wärme-Contracting und E-Charging. Denn die zur Erreichung der Klimaziele unverzichtbare Sektorenkopplung wird vor allen Dingen in Quartieren ermöglicht. Wichtig ist dabei, dass es wettbewerbsoffene Rahmenbedingungen sowohl für Fern- als auch für Nahwärme gibt und sich nicht nur Lösungen, die auf Anschluss- und Benutzungszwang beruhen, durchsetzen. Auch ist beim Ausbau der Ladeinfrastruktur für Elektromobilität in Mehrfamilienhäusern mehr Tempo gefragt. Mit flexiblen Servicepaketen bietet Techem schon heute eine umfangreiche Komplettlösung, um den Ausbau gemeinsam mit der Immobilienwirtschaft voranzutreiben.

Der Bereich Wärme-Contracting bietet ebenfalls große Potenziale für die Energieeffizienz im Quartier. Stromgeführte, regenerative Systeme können von Beginn an optimal geplant und integriert werden. Durch hocheffiziente, moderne Anlagentechnik und eine professionelle Betriebsführung werden die Gebäude wirtschaftlich mit Wärme versorgt und CO₂ wird eingespart. Zudem können Liegenschaften in Quartieren durch digitale Vernetzung von zentraler Stelle effizient und smart gesteuert werden. Techem unterstützt als Contractor im gesamten Prozess – von der Planung und Dimensionierung der Anlagentechnik über die Wärmeversorgung im Betrieb bis hin zu Monitoring und Wartung der Anlagen.

Smart Metering für modernes Energiemanagement

Durch weitere Gebäudeautomation lassen sich Einsparungen von bis zu 20 % zu vertretbaren Kosten erreichen – ein Gewinn für Mietende und Vermietende. Bei aller Schelte über den Rollout: Smart Metering leistet einen wichtigen Beitrag zur Digitalisierung des Gebäudesektors und dem Smart Meter Gateway (SMGW) kommt dabei eine entscheidende Rolle zu. Denn nur die spartenübergreifende, digitale Erfassung und Visualisierung von Verbräuchen bietet allen Beteiligten einen wesentlichen Mehrwert, mit dem Verbräuche gezielt reduziert werden können. Wir begrüßen daher die Entscheidung des Bundesamts für Sicherheit in der Informationstechnik (BSI), die Allgemeinverfügung zum Smart-Meter-Rollout zurückzunehmen. Der Rollout muss endlich aus Kundenperspektive gedacht und beschleunigt werden. Dazu müssen die regulatorischen Rahmenbedingungen grundlegend überarbeitet und vereinfacht werden.

Der flächendeckende Rollout ist für das moderne Energiemanagement essenziell, denn mit der steigenden Nachfrage nach Photovoltaik- und E-Charging-Lösungen rückt das Monitoring von Stromflüssen zunehmend in den Fokus. Der digitale Messstellenbetrieb ist für den Einblick in Energieerzeugung und -verbrauch unabdingbar. Deshalb braucht es für die Energiewende in Immobilien und kompletten Quartieren einen übergreifenden Blick auf das energetische Gesamtsystem im Gebäude, in dem Komponenten wie Wärme, Elektrizität und Mobilität stärker ineinandergreifen. Als wettbewerblicher Messstellenbetreiber und Dienstleister stellt Techem die Lösungen und Services bereit, um den Rollout voranzutreiben und aktiv mitzugestalten.

Wir müssen uns aber auch darüber im Klaren sein, dass Klimaneutralität nicht ohne zusätzliche Kosten realisierbar sein wird. Es gilt seitens der Politik, eine faire Verteilung zwischen Eigentümern und Mietenden zu finden und unterstützende Transferleistungen beizusteuern. Zudem muss die Abhängigkeit von fossilen Energieträgern verringert werden, um die Dekarbonisierung des Gebäudesektors voranzutreiben. Außerdem ist eine offene Gebäudedatenbank notwendig, um die Bestandssanierung effektiv und schnell zu ermöglichen. Daten von Bürgerinnen und Bürgern müssen geschützt werden, doch die Auswertung (anonymisierter) Verbrauchs- und Messdaten ist zwingend erforderlich, um eine effektive Digitalisierung zu unterstützen. Nur dann wird es gelingen, die CO₂-Emissionen bis zum Jahr 2030 um 65 % gegenüber 1990 zu senken und bis 2045 vollständige Klimaneutralität in Deutschland zu erreichen.

Praxisbeispiel, Ineffizienzen durch regulatorische Hemmnisse (Autoren: Vonovia)

Durch den Klimawandel erfolgt eine Verschärfung der gesellschaftlichen Wahrnehmung und politischen Ausrichtung hinsichtlich einer gravierenden Änderung der Energieerzeugung und Energieverwendung. Um den Klimaschutz zu erhöhen ist es daher erforderlich alle verfügbaren, dekarbonisierenden Energieträger und Versorgungskonzepte in Betrachtung zu nehmen. Heutzutage bestehen marktreife Konzepte zur klimaneutralen Energieerzeugung und -nutzung, damit jedoch ihr vollständiges Potenzial abrufbar gemacht werden kann, müssen politisch bestehende regulatorische Hemmnisse abgebaut werden. Als Beispiel kann die Einführung der Power-to-Gas-Technologie, pilotiert in der Energiezentrale der Zukunft (EZZ) in Bochum-Weitmar durch Vonovia, genannt werden. Neben dem Einsatz grüner Fernwärme und Wärmepumpen wird bei dieser Technologie überschüssig erneuerbar erzeugter PV-Strom genutzt, um „grünen“ Wasserstoff mittels Elektrolyse zu erzeugen und zu speichern. Bei Bedarf wird der gespeicherte Wasserstoff anschließend zur Erzeugung von Strom und Wärme in einer Brennstoffzelle verwendet. Durch diese Sektorenkopplung der Strom- und Wärmenutzung kann eine erhebliche Reduktion von CO₂-Emissionen erfolgen. Damit diese Innovation wie der EZZ auch wirtschaftlich betrieben werden kann, müssen verschiedene regulatorische Hemmnisse minimiert und Prozesse beschleunigt werden. Der Übergang zu einem erfolgreichen Markthochlauf muss ermöglicht und die derzeit bestehenden regulatorischen Hemmnisse, insbesondere bei der energietechnischen Verknüpfung der Netze und Verbrauchssektoren, beseitigt werden. Ebenso muss der Ausbau dieser Klimaschutztechnologien forciert und bspw. durch den Wegfall von Steuern und Umlagen an wirtschaftlicher Attraktivität gewinnen. Nach wie vor besteht jedoch im derzeitigen Marktumfeld ein Ungleichgewicht zwischen erzielbaren Deckungsbeiträgen beim Einsatz von Power-to-Gas am Strom-Spotmarkt und den Investitions- und Betriebskosten der Anlagen. Um dieser Ineffizienz der Power-to-Gas-Anlagen entgegenzuwirken, müssen Anreize durch die Vereinfachung des Absatzes von erneuerbaren Gasen und der Stromvermarktung erfolgen. Ebenso müssen regulatorische Hemmnisse, insbesondere durch zahlreiche Bauauflagen, auf die Anwendung von Wasserstoff in der Wohnungswirtschaft angepasst sowie Förderatbestände und Anreizstrukturen für die Gebäudewärmeversorgung berücksichtigt werden. Nur bei der Schaffung gleicher Wettbewerbsbedingungen für die einzelnen Technologien in den Bereichen Steuern, Abgaben und Netztarifen können erneuerbare Technologien wirtschaftlich betrieben und angewendet werden.

6 Schlussfolgerungen für die Wohnungswirtschaft

Aktuell sind die zukünftige Marktverfügbarkeit und die Rolle von grünem Wasserstoff in Deutschland weiterhin ungeklärt. Über internationale Märkte wird wahrscheinlich nicht genug Kapazität zur Deckung zukünftiger Bedarfe im Wärmemarkt zur Verfügung stehen. Eine nationale/europäische Produktion muss erst noch entwickelt werden, damit die entsprechenden Mengen erzeugt werden können. Aufgrund dessen ist davon auszugehen, dass Wasserstoff nur zu einem kleinen Teil und erst ab 2030 zur Dekarbonisierung der Wohnraumwärme beitragen kann.

Zur Frage der letztendlichen Ausgestaltung einer klimaneutralen Wärmeversorgung liefert uns die jüngst erschienene Bottom Up Studie des Fraunhofer ISE im Auftrag des Nationalen Wasserstoffrates wichtige Anhaltspunkte. Lokale Faktoren, erneuerbaren Potenziale sowie die temperaturspezifische Nachfrage sind demnach die entscheidenden Faktoren in dieser Frage. Der letztendliche Einsatz von Wasserstoff entscheidet sich unter anderem anhand des Preises sowie der Prozesswärmebedarfe der Industrie vor Ort, so die Autoren weiter. Aus diesem Grund sei eine gründliche und allumfassende Durchführung der kommunalen Wärmeplanung unabdingbar, um sowohl für Industrie, Gewerbe und Verbraucher robuste, längerfristig planbare Lösungen für die Versorgungsoptionen darzulegen.

Außerdem bestätigt die Bottom Up Studie noch einmal, dass der Weg in allen großen Energiesystemstudien, die wir auch in Kapitel 3.1. betrachtet haben, bis 2030 sehr ähnlich verläuft und durch einem starken Hochlauf der Photovoltaik- und Wärmepumpenleistungen zur Erreichung der Ziele des Klimaschutzgesetzes geprägt ist. Der Energieträger- und Heizungstechnologiewechsel in Richtung Strom und Wärmepumpen erfolgt in jedem Szenario in allen Bereichen und verbaut damit auch nicht die Option zur Einbindung von Wasserstoff in das Gesamtsystem.

Wir gehen davon aus, dass ab sofort mindestens jeder zweite neu eingebaute Wärmezeuger eine Wärmepumpe sein muss. Zur Nutzung von Wasserstoff in der Wärmebereitstellung für Wohnhäuser stehen nichtsdestotrotz vielfältige direkte oder indirekte Verwendungspfade zur Verfügung.

Direkte Nutzungsmöglichkeiten sind die Verwendung in

- Brennstoffzellen,
- BHKW,
- Gas-Wärmepumpen oder
- Brennwertkesseln,

jeweils als Grund- oder Spitzenlast.

Indirekte Nutzungsmöglichkeiten bestehen

- in der Nutzung der Abwärme eines lokalen Elektrolyseurs für ein lokales Wärmenetz.

- in der Lieferung grüner Fernwärme, die unter Nutzung von Abwärme eines Elektrolyseurs oder mit Hilfe der Verbrennung von Wasserstoff erzeugt wurde.

Ob und zu welchem Zeitpunkt diese Pfade der Wohnungswirtschaft zur Verfügung stehen, können nur dedizierte regionale Analysen und darauf aufbauende Transformationspläne aufzeigen.

Wasserstoff wird voraussichtlich mittels Gasleitungen, entweder im Gasmix mit Erdgas und/oder Biomethan oder in zukünftigen reinen Wasserstoff(teil-)netzen verteilt werden. Eine Anlieferung in Tanks oder Containern wird als unwirtschaftlich bewertet.

Die Erzeugung im Quartier ist sinnvoll, solange der Wasserstoff nicht für die einfache Verbrennung verwendet wird.

Trotz der Möglichkeit, Wasserstoff zukünftig als zusätzliche Option und Lückenschließer für die Erreichung der Klimaziele einzusetzen, sollte und darf heute keine sinnvolle geplante Modernisierungsmaßnahme oder Heizungsoptimierung deswegen verschoben werden. Alle heute finanzierbaren und wohnungswirtschaftlich sinnvollen Maßnahmen zur Energieeinsparung und zur Versorgung mit erneuerbaren Energien sind durchzuführen.

Insbesondere ein schneller Zubau von Wärmepumpen ist in Neubau- wie Bestandsgebäuden unabdingbar zur Erreichung der Klimaziele. Der konsequente Einbau von Wärmepumpen wird die spätere Möglichkeit zum Wasserstoffeinsatz nicht verbauen. Dafür ist die Aufgabe der Dekarbonisierung des Gebäudebestands mit ihren externen Einflüssen schlichtweg zu groß, als dass diese schnell bewältigt werden kann

Zum Umstieg in Richtung Klimaneutralität empfehlen wir der Wohnungswirtschaft:

Bei Gebäuden, die auf Basis fossiler Energieträger versorgt werden, und bei denen ein Kesseltausch ansteht, sollte geprüft werden,

- ob das Gebäude an ein Fernwärmenetz angeschlossen werden kann (unter Berücksichtigung der WärmelieferV)
- ob Contracting-Modelle, auch unter Einbezug benachbarter Gebäude, umsetzbar sind
- ob der Biogasanteil im Gasbezug erhöht werden kann
- ob das Gebäude – ggf. unter Vergrößerung einiger Heizkörper – ganz oder teilweise mit einer Wärmepumpe versorgt werden kann (bei bereits vollständig oder teilweise energetisch modernisierten Gebäuden).

Sollte ein Gaskessel unerwartet ausfallen, sind vor Einbau eines neuen Gaskessels die folgenden Punkte zu beachten:

- Auslegung prüfen (Überdimensionierung vermeiden).
- Wärmeerzeugung, Wärmeverteilung und Wärmeübergabe optimal an den Bedarf anpassen.

- Auswirkung verschiedener CO₂-Preise analysieren, wie etwa 66 EUR/t (2026) und 200 EUR/t (2035) unter Beachtung des Eigenanteils nach CO₂KostAufG.

Bis zum Inkrafttreten der 65%-Regel für neu einzubauende Heizungen ist zu prüfen, ob ein neuer Gas-Brennwertkessel mit einer solarthermischen Anlage, vorzugsweise zur Heizungsunterstützung, kombiniert werden kann und im Brennwertbetrieb läuft.

Bei Verbleib eines mit Erdgas betriebenen Kessels sind die Preisentwicklungen aufgrund der angespannten Versorgungslage nicht kalkulierbar. Zusätzlich müssen steigende CO₂-Preise einkalkuliert werden.

Um die zukünftige Verfügbarkeit klimaneutraler Wärmeversorgung – ganz gleich ob Wärmelieferung, Biogas, Wasserstoff oder Wärmepumpen – sicherzustellen, empfehlen wir dringend den Kontakt zu Stadtwerken, Energieversorgern sowie Contractoren zu suchen, um Transformationsprozesse anzustoßen.

7 Zusammenfassung

Mit dem von GdW gelieferten Projektbeitrag konnten zweierlei Dinge aufgezeigt werden:

Erstens, dass das Ausmaß der Herausforderung der Dekarbonisierung des Gebäudebestandes weltweit und besonders in Deutschland je nach Betrachtungsgröße unterschiedlich gelagert ist. Wir haben herausgearbeitet, dass der Schlüssel zur Dekarbonisierung deutscher Wohngebäude eindeutig im Gebäudebestand liegt. Hierbei wird es darauf ankommen, dass Energieeffizienz und Dekarbonisierung Hand in Hand gehen. Der derzeit existierende Wärmebedarf muss möglichst kosteneffizient und schnell gesenkt werden. Der verbliebene Bedarf muss dabei über den Einsatz erneuerbarer Energien und die Nutzung jedweder Wärmepotentiale effizient gedeckt werden. Die dafür benötigten Fördermittel müssen so eingesetzt werden, dass die höchsten Treibhausgaseinsparungen pro Förderereuro realisiert werden können. Gerade bei unsanierten oder schlecht sanierten Gebäuden sind hier die höchsten THG- und Energieeinsparpotentiale zu heben. Dabei ist sicherzustellen, dass die Mieterinnen und Mieter nicht überfordert werden und die Bezahlbarkeit für alle Einkommensklassen gewährleistet bleibt.

Eine Herausforderung insbesondere der Dekarbonisierung der Wärmeversorgung ist, dass Erdgas aktuell der am weitesten verbreitete Energieträger ist. Von dieser Abhängigkeit zu einer mehrheitlich strombasierten Wärmebereitstellung zu wechseln, ist eine Hürde, die es zu überwinden gilt. Die Möglichkeit, stattdessen in der Stofffamilie der Gase zu bleiben, verleitet dazu, zukünftig auf erneuerbar erzeugten Wasserstoff anstelle von Erdgas zur Wärmeerzeugung zu setzen. Das Problem ist, dass aktuell kaum nennenswert Wasserstoff aus erneuerbaren Energien erzeugt wird und die entsprechenden Produktionsketten erst aufgebaut werden müssen. Zusätzlich müssen entsprechende Regularien vonseiten der Politik gesetzt werden, um dem aktuell sehr teuren grünen Wasserstoff einen Markteintritt zu ermöglichen. Hinzu kommt, dass in Europa

direkt nur in wenigen Regionen Wasserstoff zu günstigen Preisen erzeugt werden kann. International betrachtet kommen sehr viel mehr, sogenannte „Hochpotentialländer“ für die Wasserstoffproduktion in Frage. Bei diesen kommt dann erschwerend hinzu, dass ein Transport via Schiffen/Tankern nötig wäre, damit der Wasserstoff nach Europa gelangt.

Die Auswertung der Projektdatenbank der IEA zeigt jedoch, dass zum jetzigen Zeitpunkt über die internationalen Märkte bei weitem nicht genug Wasserstoff zur Verfügung stünde, den Bedarf des deutschen Wärmemarktes im Jahr 2030 von 3 TWh zu decken. Laut der Auswertung stünden im Jahr 2030 etwa 10,2 GW Elektrolysekapazität zur Verfügung, die theoretisch in den deutschen Wärmemarkt fließen könnten. Dies entspricht in etwa dem Ziel der Bundesregierung, die bis 2030 insgesamt 10 GW heimischer Kapazität aufbauen will. Zur Deckung der Wasserstoffnachfrage von 3 TWh wäre insofern ein enormer Aufwuchs der Wasserstoffproduktion in Deutschland aber auch weltweit nötig, um allein die heimischen Bedarfe decken zu können.

Für die deutsche Wohnungswirtschaft ergeben sich daraus zweierlei Schlussfolgerungen:

1. Erstens, dass Wasserstoff nur zu einem kleinen Teil und erst ab 2030 zur Dekarbonisierung der Wohnraumwärme beitragen kann. Insofern ist der massive und breite Einstieg in die Wärmepumpentechnologie sowie der weitere Ausbau von Wärmelieferung und Fernwärme umso bedeutender, damit die Wohnungswirtschaft ihren Beitrag zur Erreichung der kurz- und langfristigen Klimaziele leisten kann. Ein weiterer Baustein werden auch Energieeffizienzmaßnahmen sein, um besonders verbrauchsintensive Gebäude einzuhegen
2. Die vorangegangene Diskussion rund um den Aufbau internationaler Märkte für Wasserstoff und dessen Derivate hat gezeigt, an wie vielen Stellen mehr Wissen notwendig ist, um Klarheit über den Hochlauf und das Ausmaß der zukünftigen Wasserstoffwirtschaft zu gewinnen. Skaleneffekte werden sicherlich einen enormen Beitrag zur Verbreitung der Wasserstofferzeugung auf Basis erneuerbarer Energien leisten. Nichtsdestotrotz werden andere Faktoren wie die Resilienz und Verlässlichkeit neuer Partner oder die unterschiedlichen Vorteile von Pipeline- und Seetransport einen enormen Einfluss darauf haben, wie die Märkte am Ende ausgestaltet werden.

Inwieweit die aktuelle Unsicherheit rund um Erdgas, dessen Preise und Verfügbarkeit dem Hochlauf der Wasserstoffmärkte zusätzlichen Schub verleihen können, wird sich zeigen. Mit Sicherheit wird aber die Diskussion um Unabhängigkeit von russischen Energieimporten gepaart mit dem Willen zur Klimaneutralität allen erneuerbaren Energien Auftrieb verleihen und damit auch der Wasserstoff-Erzeugung.

8 Literaturverzeichnis

- Ariadne Projekt. (Oktober 2021). Von Deutschland auf dem Weg zur Klimaneutralität 2045 - Szenarien und Pfade im Modellvergleich: <https://ariadneprojekt.de/news/big5-szenarienvergleich/> abgerufen
- Berks, L. (2022). *Global Energy Solutions* e.V. Von Elektrolyse Status Quo: technik, Kosten und Herausforderungen: https://global-energy-solutions.org/wp-content/uploads/2022/04/220224_LB_Elektrolyse_Status-Quo.pdf abgerufen
- Bienert, S. (2022). *Klimaneutralität vermieteter Mehrfamilienhäuser – aber wie?* Regensburg: IRE|BS Universität Regensburg.
- Blind, K., Cremonese, L., Jahn, J., Marian, A., Mbungu, G., Neuner, F., . . . Wietschel, M. (2022). *Monitoring der globalen Wasserstoffwirtschaft*. Potsdam: Institute for Advanced Sustainability Studies (IASS).
- Collins, L. (22. Januar 2022). *Recharge News*. Von Why shipping pure hydrogen around the world might already be dead in the water: <https://www.rechargenews.com/energy-transition/special-report-why-shipping-pure-hydrogen-around-the-world-might-already-be-dead-in-the-water/2-1-1155434> abgerufen
- Crone, K., Lakeit, K., Reinholz, T., & Sailer, K. (2022). *Global Harmonisation of Hydrogen Certification*. Berlin: dena, Weltenergieinstitut Deutschland.
- DWV e.V. (24. März 2022). *dww-info.de*. Von DWV-Marktumfrage: 30 GW Elektrolyse-Lieferkapazität bis 2030 möglich: <https://www.dww-info.de/dww-marktumfrage-30-gw-elektrolyse-lieferkapazitaet-bis-2030-moeglich/> abgerufen
- Holst, M., Aschbrenner, S., Smolinka, T., Voglstätter, C., & Grimm, G. (Oktober 2021). *COST FORECAST FOR LOW TEMPERATURE ELECTROLYSIS-TECHNOLOGY DRIVEN BOTTOM-UP PROGNOSIS FOR PEM AND ALKALINE WATER ELECTROLYSIS SYSTEMS*. Von <https://www.ise.fraunhofer.de/>: https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/documents/presseinformationen/2022/2021-11-17_CATF_Report_Electrolysis_final.pdf abgerufen

- Hydrogen Council, & McKinsey & Company. (Februar 2021). *hydrogencouncil.com*. Von Hydrogen Insights: <https://hydrogencouncil.com/en/hydrogen-insights-2021/> abgerufen
- Hydrogen Council, M. (November 2021). *Hydrogen Council*. Von HYDROGEN FOR NET ZERO: <https://hydrogencouncil.com/wp-content/uploads/2021/11/Hydrogen-for-Net-Zero.pdf> abgerufen
- HYDROGEN, F. C. (2019). Von Hydrogen Roadmap Europe : https://www.fch.europa.eu/sites/default/files/Hydrogen%20Roadmap%20Europe_Report.pdf abgerufen
- IEA. (Oktober 2021). *iea.org*. Von Hydrogen Project Database: <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-product/hydrogen-projects-database> abgerufen
- Jens, J., Wang, A., Mavins, D., Moultak, M., Schimmel, M., van der Leun, K., . . . Buseman, M. (Juni 2021). *Guidehouse*. Von ANALYSING FUTURE DEMAND, SUPPLY, AND TRANSPORT OF HYDROGEN: https://gasforclimate2050.eu/wp-content/uploads/2021/06/EHB_Analysing-the-future-demand-supply-and-transport-of-hydrogen_June-2021.pdf abgerufen
- Kearney. (Oktober 2021). *Kearney*. Von Competitiveness of green hydrogen import pathways for Germany in 2025: [https://info.kearney.com/26/5484/landing-pages/order-kearney-uniper-energy-green-hydrogen-\(de\).asp?/a/gruener-wasserstoff-konkurrenzfaehig](https://info.kearney.com/26/5484/landing-pages/order-kearney-uniper-energy-green-hydrogen-(de).asp?/a/gruener-wasserstoff-konkurrenzfaehig) abgerufen
- Kloth, C. (17. März 2022). *Deutschland und Norwegen wollen bei H2-Importen kooperieren*. Von energate-messenger: <https://www.energate-messenger.de/news/220945/deutschland-und-norwegen-wollen-bei-h2-importen-kooperieren> abgerufen
- Overland, I. (2019). The geopolitics of renewable energy: debunking four emerging myths. *Energy Research & Social Science*.
- Sonali, P. (21. Januar 2022). *World's first hydrogen tanker to ship test cargo to Japan from Australia*. Von <https://www.reuters.com/business/environment/worlds-first-hydrogen-tanker-ship-test-cargo-australia-japan-2022-01-20/> abgerufen

Wietschel, M. (2021). *Fraunhofer ISI*. Von Import von Wasserstoff und Wasserstoffderivaten: Von Kosten zu Preisen:
<https://publica.fraunhofer.de/entities/publication/202beff6-8ef4-41c8-8a38-dfce82df7180/details> abgerufen

Wietschel, M. e. (2021). *Fraunhofer ISI*. Von Metastudie Wasserstoff - Auswertung von Energiesystemstudien:
<https://publica.fraunhofer.de/entities/publication/c51cfcaf-7f5a-4b7c-b639-ea8190ec3acc/details> abgerufen

GdW Bundesverband
deutscher Wohnungs- und
Immobilienunternehmen e.V.

Klingelhöferstr. 5
10785 Berlin
Telefon: +49 (0)30 82403-0
Telefax: +49 (0)30 82403-199

Brüsseler Büro des GdW
3, rue du Luxembourg
1000 Bruxelles
BELGIEN
Telefon: +32 2 5 50 16 11
Telefax: +32 2 5 03 56 07

E-Mail: mail@gdw.de
Internet: <http://www.gdw.de>