



# Mit Energie in den Wasserstoffmarkt

Wie die Reallabore der Energiewende Geschäftsmodelle für Wasserstoff erproben und umsetzen

## Die Transferforschung Trans4ReaL

Das vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) geförderte Transferforschungsprojekt Trans4ReaL begleitet gegenwärtig sechs Reallabore der Energiewende im Kontext Wasserstoff und Sektorkopplung (Stand 23.01.2023) sowie drei weitere Umsetzungsvorhaben (im Folgenden zusammen „Reallabore“ genannt) [1]. In den Reallaboren erproben Unternehmen unterschiedliche Wasserstofftechnologien unter realen Bedingungen im industriellen Maßstab, damit sie auch großflächig eingesetzt werden können.

## Leistung der Forschung: So hilft das Wissen aus den Reallaboren bei der Umgestaltung des Energiesystems

Eine besondere Herausforderung für die Reallabore und ihre zahlreichen Partner aus der Wirtschaft besteht darin, dass die existierenden Geschäftsmodelle aus der Energiewirtschaft und Industrie nicht uneingeschränkt auf die Nutzung des emissionsarmen Energieträgers Wasserstoff übertragbar sind. Unternehmen wiederum, die in Wasserstoff eine echte Chance sehen und den Energieträger für sich nutzen wollen, sehen sich bei der Umstellung mit verschiedenen Hürden konfrontiert.

Zunächst betrifft das den Preis: Wasserstoff ist im Vergleich zu fossilen Energieträgern sehr teuer und kann daher momentan nicht wirtschaftlich eingesetzt werden. Hinzu kommen hohe Investitionskosten, zum Beispiel für Elektrolyseure oder neue

Industrieanlagen, die die Wirtschaftlichkeit zusätzlich verschlechtern. Ein weiteres Hemmnis bilden mangelnde oder unklare regulatorische Vorgaben zur Herstellung und Anwendung von grünem Wasserstoff. Dies führt bei Unternehmen zu weiteren Planungsunsicherheiten, was wiederum Investitionsentscheidungen erschwert.

Damit Geschäftsmodelle funktionieren, müssen sie wirtschaftlich rentabel sein. Das bedeutet für Geschäftsmodelle im Bereich Wasserstoff, dass eine Anpassung sowohl des Marktdesigns als auch der rechtlich-regulatorischen Rahmenbedingungen erforderlich ist. Im Projekt Trans4ReaL untersuchen die Ruhr-Universität Bochum und die Stiftung Umweltenergierecht den zukünftigen Wasserstoffmarkt und die erforderliche Gesetzgebung. Die Forschungsstelle für Energiewirtschaft (FfE) arbeitet eng mit beiden Projektpartnern zusammen und fokussiert sich darauf, wie zukünftige Geschäftsmodelle im Bereich Wasserstoff aussehen können.

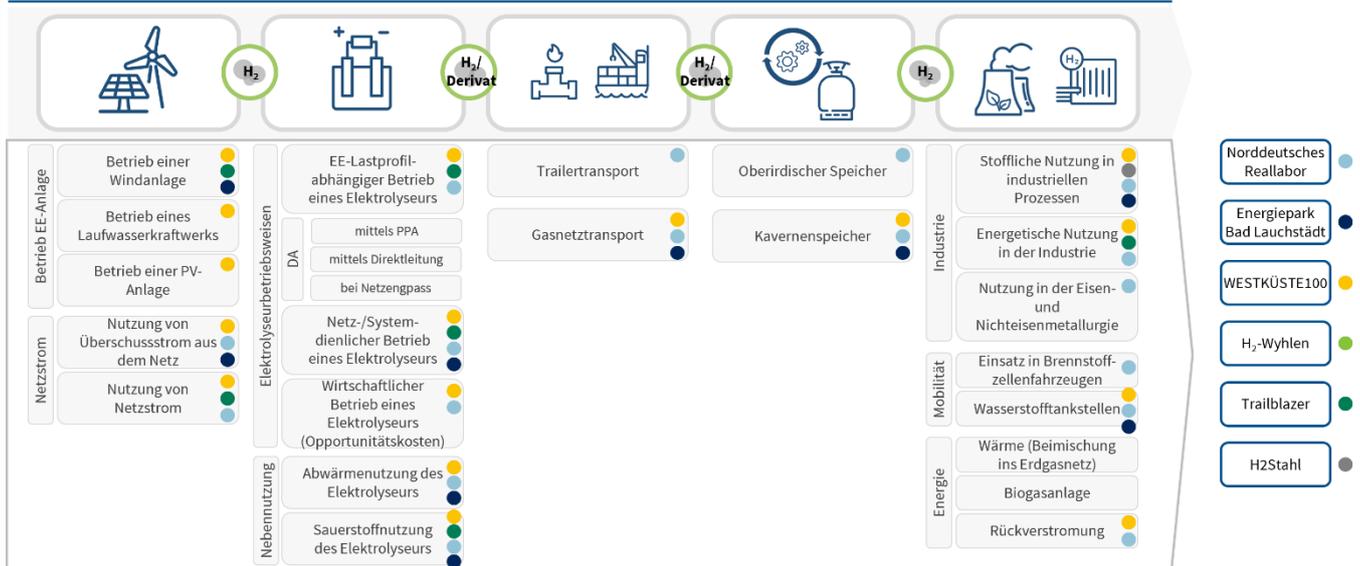
## Die Wertschöpfungskette von Wasserstoff

Um eine Basis für die weitere Projektarbeit in den Reallaboren und in der Transferforschung zur Entwicklung künftiger Geschäftsmodelle zu schaffen, wurden die Vorhaben der Reallabore in einheitlichen und standardisierten Steckbriefen als sogenannte Use Cases (dt. Anwendungsfälle) festgehalten. Die insgesamt 15 Use Cases wurden bei sieben Workshop-Terminen vorgestellt und anhand von Leitfragen diskutiert. Zum Zeitpunkt

der Durchführung der Termine sind sechs Reallabore gestartet. Insgesamt brachten Teilnehmerinnen und Teilnehmer aus 15 verschiedenen Unternehmen und Forschungseinrichtungen ihr Wissen und ihre Erfahrung in die Workshops ein. Ein zentraler Aspekt hierbei war es, bestehende Umsetzungshürden zu identifizieren und einzuordnen. Als Ergebnis des Arbeitsprozesses

entstanden die Use-Case-Steckbriefe [2] und eine Übersicht der Use Cases entlang der Wertschöpfungskette von Wasserstoff, wie in nachfolgender Abbildung dargestellt.

### Prozesskette



Quelle: <https://www.enargus.de/>

Klassifizierung von Use Cases nach der Wasserstoffwertschöpfungskette und Zuordnung zu den Reallaboren

### Die Reallaborvorhaben im Bereich Wasserstoff

Durch die Workshops konnten zahlreiche neue Erkenntnisse gewonnen werden, die im Folgenden systematisch entlang der Wertschöpfungskette von Wasserstoff beschrieben werden. Das Themenspektrum umfasst die Relevanz unterschiedlicher Wasserstoffanwendungen genauso wie Hürden, die den Reallaboren in der Praxis begegnen.

#### Wasserstoffherzeugung

Im Fokus der Wasserstoffherzeugung steht für Industrieunternehmen und Energieerzeuger die Herstellung von grünem Wasserstoff, der mit erneuerbarem Strom erzeugt wird. Zur Deckung des künftigen Wasserstoffbedarfs wäre jedoch auch der Einsatz von gelbem Wasserstoff denkbar, der aus dem gegenwärtigen Strommix erzeugt wird. Über den zu verwendenden Strom zur Wasserstoffproduktion bestehen gegenläufige Sichtweisen: Aus Sicht des Energiesystems wäre es sinnvoll, nach Möglichkeit überschüssigen Strom aus erneuerbaren Energien in Zeiten hoher Stromproduktion und geringer Stromnachfrage für die Wasserstoffproduktion zu nutzen. Aus Unternehmensperspektive hingegen sollten Elektrolyseure mit einer möglichst hohen Jahresstundenzahl betrieben werden, um für eine ausreichende Wirtschaftlichkeit zu sorgen.

Wie erkennt man grünen Wasserstoff? Hierzu wird es künftig entsprechende politische Vorgaben zur Herstellung von grünem Wasserstoff geben. Der Entwurf der EU-Kommission aus Mai 2022 sieht vier Varianten zur Erzeugung von grünem Wasserstoff vor:

die Nutzung einer Direktleitung zwischen einer Erneuerbare-Energien-Anlage und einem Elektrolyseur, das Abschließen eines Rahmenvertrags über die Lieferung von erneuerbarem Strom sowie den Betrieb des Elektrolyseurs im Falle eines Netzengpasses und in einer Region mit einem Anteil von über 90 Prozent erneuerbarem Strom im Netz. Die aktuellen Diskussionen bei Trans4ReaL zeigen noch zahlreiche Fragen auf: Wie etwa soll mit möglichen Netzengpässen umgegangen werden und wie lassen sie sich verhindern? Und wie beeinflussen die unterschiedlichen Varianten oder verschiedenen Betriebsweisen der Elektrolyseure den Herstellungspreis von Wasserstoff? Insbesondere hinsichtlich der rechtlichen Fragestellungen wünschen sich die Reallabore und die Akteure zeitnah eine klare Vorgabe, um die unternehmerische Planungssicherheit zu erhöhen. Die Herstellung von grünem Wasserstoff mittels Strom aus Windenergieanlagen wird in den Reallaboren Energiepark Bad Lauchstädt [3], im Norddeutschen Reallabor [4] und in der WESTKÜSTE100 [5] erfolgen.

#### Wasserstofftransport

In den Reallaboren werden drei Möglichkeiten zum Transport von Wasserstoff umgesetzt: die Beimischung von Wasserstoff in das bestehende Erdgasnetz, der Betrieb eines speziellen Wasserstoffnetzes und der Transport mit Tanklastern oder Trailern. Zentral für den Wasserstofftransport sind der Bau und der Betrieb von reinen Wasserstoffnetzen, da sie die günstigste Form des Transports darstellen. Die Beimischung von Wasserstoff in das bestehende Erdgasnetz hingegen wird aus Sicht der Reallabore

aller Voraussicht nach erst während des Markthochlaufs von Wasserstoff relevant sein.

Der Transport von Wasserstoff per Trailer stellt insbesondere dann eine sinnvolle Lösung dar, wenn noch keine flächendeckende Netzinfrastruktur aufgebaut wurde. Er könnte künftig aber auch dann noch relevant bleiben, um Wasserstoff auch in abgelegene Regionen zu transportieren, die nicht wirtschaftlich von einem Wasserstoffnetz beliefert werden können.

Die Umsetzung in den Reallaboren zum Thema Wasserstofftransport geschieht in unterschiedlicher Form. So beschäftigen sich das Norddeutsche Reallabor [4] und das Reallabor WESTKÜSTE100 [5] mit der Beimischung von Wasserstoff in das Erdgasnetz. WESTKÜSTE100 erprobt gleichzeitig den Bau neuer Wasserstoffnetze [5]. Die Umstellung bestehender Erdgasnetze plant und erprobt der Energiepark Bad Lauchstädt [3]. Daneben gibt es – insbesondere in stark industriell geprägten Regionen – bereits existierende Wasserstoffleitungen. Sie werden zum Beispiel im Vorhaben des Reallabors Trailblazer [6] genutzt.

### Wasserstoffspeicherung

Die Speicherung von Wasserstoff dient der zeitlichen Entkopplung von Herstellung und Anwendung. An Industriestandorten kann dadurch eine ungleichmäßige Wasserstofflieferung ausgeglichen werden. Mittels Rückverstromung können zudem Lastspitzen im Stromnetz abgepuffert werden. Es gibt unterschiedliche Arten von Speichern. So werden im Energiepark Bad Lauchstädt [3], im Norddeutschen Reallabor [4] und im Reallabor WESTKÜSTE100 [5] sogenannte Kavernenspeicher untersucht, die sich zum Beispiel in Salzstöcken befinden. Wasserstoff kann aber auch in oberirdischen Speichern gelagert werden, wie dies im Reallabor H<sub>2</sub>-Wyhlen der Fall ist [7].

Da Speichertechnologien für Wasserstoff über viele Jahre hinweg bereits erprobt wurden, ist die Umsetzung als weniger kritisch anzusehen. Damit verbunden ist auch die Etablierung wirtschaftlicher Geschäftsmodelle für Wasserstoffspeicher, die als gesichert angesehen werden kann.

Aus energiewirtschaftlicher Perspektive wiederum ist eine Untersuchung des heutigen und zukünftigen Geschäftsmodells eines Wasserstoffspeicher-Betreibers und dessen Abhängigkeit von der Verfügbarkeit von Wasserstoff auf dem Markt interessant. Hier gilt es noch zahlreiche Fragen zu klären, die zum Teil grundsätzlicher Art sind, aber auch noch wichtige Details betreffen: Wird es zum Beispiel in Zukunft gesetzliche Vorgaben für Mindestfüllstände geben? Zu welchen Zwecken werden die Speicher hauptsächlich verwendet, beispielsweise für die gleichmäßige Belieferung industrieller Anlagen? Und kann bei einem Kavernenspeicher grauer Wasserstoff zur Füllung von Hohlräumen verwendet und anschließend eingespeicherter grüner Wasserstoff immer noch als grün deklariert werden? Oder verliert er sein Zertifikat als grüner Wasserstoff? Dies wäre ein erhebliches Risiko für den Betreiber eines Kavernenspeichers.

### Industrielle Nutzung von Wasserstoff

Die Umstellung von fossilen Energieträgern auf Wasserstoff führt für Industrieunternehmen zu hohen Investitionskosten und zu Planungsunsicherheit. Zudem ist die Umstellung wegen der

hohen Preise derzeit kaum wirtschaftlich darstellbar. Benötigt werden daher Anreize für die großflächige Nutzung von Wasserstoff in der Industrie. Generell sind solche Anreizmechanismen und politischen Maßnahmen sowohl auf Erzeugungs- als auch auf Anwendungsseite möglich. Damit Investitionen zeitnah in Gang gesetzt werden, sollte daher schnell Einigung erzielt werden, welche Maßnahmen hierfür geeignet sind.

Durch die Umstellung von fossilen Energieträgern auf Wasserstoff wachsen insgesamt die Anforderungen an Unternehmen. Anders als bei der Nutzung von Erdgas existiert für Wasserstoff bislang kein Markt, auf dem dieser einfach eingekauft werden kann. Viele Industrieunternehmen müssen daher erstmals energiewirtschaftliches Wissen aufbauen und sich mit energiewirtschaftlichen Fragestellungen auseinandersetzen: Woher soll zum Beispiel der Wasserstoff bezogen werden, der künftig benötigt wird? Ist dieser Wasserstoff nach gültigen Kriterien als grün zertifiziert? Sollte ein Unternehmen am eigenen Standort besser einen eigenen Elektrolyseur errichten, um grünen Wasserstoff zu erzeugen, und welche Auflagen sind dabei einzuhalten? Zusätzliche Komplexität bei der Beantwortung dieser schwierigen Fragestellungen entsteht durch die Unsicherheit über zukünftige Preisentwicklungen und die verfügbare Menge an Wasserstoff.

Grundsätzlich ist Wasserstoff für drei Arten von Anwendungen in der Industrie geeignet. Mit Wasserstoff kann Hochtemperaturwärme erzeugt werden, die wie beispielsweise im Norddeutschen Reallabor bei der Kupferproduktion benötigt wird [4]. Darüber hinaus kann Wasserstoff stofflich eingesetzt werden. In der Raffinerie der WESTKÜSTE100 wird Wasserstoff in Veredlungsverfahren verwendet, um Schadstoffe aus dem Erdöl zu lösen [5]. In der Stahlherstellung kann Wasserstoff genutzt werden, um den Sauerstoff aus dem Eisenerz zu lösen. Damit beschäftigt sich das Reallabor H<sub>2</sub>Stahl [8].

### Wasserstoffnutzung in der Mobilität

Im Bereich der Mobilität finden sich weitere Anwendungsmöglichkeiten von Wasserstoff als klimafreundlichem Energieträger, beispielsweise in Brennstoffzellen-Fahrzeugen. Die Einführung der Treibhausgas-Quote (THQ-Quote) belohnt emissionsfreie Fahrzeuge und macht damit auch Brennstoffzellen-Fahrzeuge finanziell lohnenswert. Allerdings stellen zum gegenwärtigen Zeitpunkt die niedrige Anzahl an Wasserstofftankstellen sowie die geringere Technologiereife und die damit verbundenen hohen Kosten im Vergleich zu batterieelektrischen Fahrzeugen ein Hindernis für eine dynamische Marktentwicklung dar. Erforscht und erprobt wird die Nutzung von Wasserstoff im Mobilitätskontext im Norddeutschen Reallabor [4].

### Rückverstromung von Wasserstoff

Wasserstoff kann mittels Brennstoffzellen oder Gasturbinen in Strom zurückgewandelt werden. Damit kann er in einem zukünftig rein regenerativen Energiesystem eine wichtige stabilisierende Rolle für das Stromsystem übernehmen. Auch können existierende Gasturbinen mit geringem Aufwand zu Wasserstoffgasturbinen umgerüstet werden. Damit bestünde in Deutschland ein einfach zu hebendes Potenzial, um existierende Technik für Wasserstoff verfügbar zu machen. Generell ist die Rückverstromung von Wasserstoff in den Reallaboren, die an den

Workshops teilgenommen haben, kein Fokusthema. Das 2023 gestartete Reallabor RefLau nimmt sich dieses Themas jedoch an [9].

### **Ausblick für die Transferforschung**

Die Workshops der Transferforschung geben einen aufschlussreichen Einblick in die geplanten Vorhaben der Reallabore für die sich anbahnende Wasserstoffwirtschaft. Sie beschäftigen sich gegenwärtig am intensivsten mit möglichen rechtlichen Vorgaben zur Herstellung und Nutzung von grünem Wasserstoff. Zudem spielt die Wirtschaftlichkeit der zukünftigen Geschäftsmodelle eine wichtige Rolle für die beteiligten Unternehmen. Insbesondere für die Anwendung von Wasserstoff besteht der Wunsch nach politischen Anreiz- und Fördermechanismen. Unkritisch wird nach gegenwärtigem Stand in den Reallaboren die technische Umsetzung des Transports von Wasserstoff gesehen.

Auch die Wasserstoffspeicherung stellt für die Reallabore durch die langjährige Erprobung der Technologien und Geschäftsmodelle mit Erdgas keine große Herausforderung dar. Bei der Nutzung von Wasserstoff in der Mobilität bleibt insbesondere die technologische Entwicklung im Vergleich zu Konkurrenztechnologien abzuwarten. Die Rückverstromung – obwohl politisch gewollt [10] – steht in den Reallaboren aktuell kaum im Fokus. Dementsprechend verbleiben bei der industriellen Nutzung von Wasserstoff die meisten offenen Fragen und – zusammen mit der Wasserstoffherstellung – der dringendste Handlungsbedarf zur Schaffung eines klaren rechtlichen Rahmens.

Für die weitere Arbeit der Transferforschung bieten die Erkenntnisse aus den Diskussionen mit den Reallaboren zahlreiche Ansatzpunkte. So wird die FfE im Themenkomplex des sich entwickelnden Wasserstoffmarktes untersuchen, wie aus Unternehmenssicht ein Elektrolyseur wirtschaftlich betrieben werden kann. Übergeordnetes Ziel der weiteren Forschungstätigkeiten ist es, die Fragestellungen rund um die Reallabore bestmöglich zu beantworten und zu einem Gelingen der Vorhaben beizutragen.

Die vorgestellten und geplanten Arbeiten sind Forschungsgegenstand des Projekts Trans4ReaL (Förderkennzeichen: 003EWT001A-G). Die Erkenntnisse aus der Transferforschung werden in regelmäßigen Abständen in Form von Handlungsansätzen veröffentlicht, wobei der erste Bericht Ende des ersten Quartals 2023 ansteht.

### **Literatur**

- [1] Simon Pichlmaier, Tapio Schmidt-Achert und Anika Neitz-Regett: Trans4ReaL – Transferforschung für die Reallabore der Energiewende zu Sektorkopplung und Wasserstoff [online]. Verfügbar unter: <https://www.ffe.de/projekte/trans4real-transferforschung-fuer-die-reallabore-der-energiewende-zu-sektorkopplung-und-wasserstoff/> (Zugriff am: 14. Dezember 2022).
- [2] Valerie Ziemsky und Simon Pichlmaier: Wasserstoffvorhaben in den Reallaboren der Energiewende [online]. Verfügbar unter: <https://www.ffe.de/veroeffentlichungen/wasserstoffvorhaben-in-den-reallaboren-der-energiewende/> (Zugriff am: 26. Januar 2023).
- [3] VNG AG: Projektwebsite Energiepark Bad Lauchstädt [online]. Verfügbar unter: <https://energiepark-bad-lauchstaedt.de/> (Zugriff am: 14. Dezember 2022).
- [4] CC4E / HAW Hamburg: Projektwebsite Norddeutsches Reallabor [online]. Verfügbar unter: <https://norddeutsches-reallabor.de/> (Zugriff am: 14. Dezember 2022).
- [5] PLÜCOM e.K.: Projektwebsite WESTKÜSTE100 [online]. Verfügbar unter: <https://www.westkueste100.de/> (Zugriff am: 14. Dezember 2022).
- [6] Air Liquide Deutschland GmbH: Projektwebsite Trailblazer [online]. Verfügbar unter: <https://de.airliquide.com/trailblazer> (Zugriff am: 14. Dezember 2022).
- [7] EnBW Energie Baden-Württemberg AG: Projektwebsite H2-Whylen [online]. Verfügbar unter: <https://www.enbw.com/unternehmen/konzern/forschung/erneuerbare-energien/h2-whylen.html> (Zugriff am: 14. Dezember 2022).
- [8] Projektträger Jülich | Forschungszentrum Jülich GmbH: Projekt H2Stahl: Hochofen nutzt Wasserstoff in der industriellen Praxis [online]. Verfügbar unter: <https://www.energiesystemforschung.de/forschen/projekte/reallabor-der-energiewende-h2-stahl> (Zugriff am: 16. Dezember 2022).
- [9] Referenzkraftwerk Lausitz GmbH: Projektwebsite RefLau [online]. Verfügbar unter: <https://www.reflau.com/projekt> (Zugriff am: 25. Januar 2023).
- [10] Louise Maizières: „Merkblatt Förderung von wasserstoffbasierten Konzepten durch das EEG 2023“, Berlin, 2022 [online]. Verfügbar unter: <https://www.dihk.de/resource/blob/76930/3657f2658863e817f2ad40b1cd7ee07a/merkblatt-h2-ausschreibungen-data.pdf> (Zugriff am: 26. Januar 2023).

#### **Weiterführende Links zur Transferforschung:**

[Factsheet zur Transferforschung](#)

[Wasserstoffvorhaben in den Reallaboren der Energiewende](#)

[Die Reallabore der Energiewende im Überblick](#)

# Impressum

## Herausgeber:

Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena)  
Chausseestraße 128 a  
10115 Berlin  
Tel.: +49 (0)30 66 777 - 0  
Fax: +49 (0)30 66 777 - 699  
E-Mail: info@dena.de  
Internet: www.dena.de

## Autoren:

Dr. Simon Pichlmaier, Leiter Wasserstoff und synthetische Energieträger, Forschungsstelle für Energiewirtschaft e. V. (FfE)  
Valerie Ziemsky, Wissenschaftliche Mitarbeiterin, Forschungsstelle für Energiewirtschaft e. V. (FfE)

## Redaktion:

Oliver Jorzik, Deutsche Energie-Agentur (dena)

## Bildnachweis:

shutterstock/Audio und werbung, Grafik: FfE/EnArgus

## Stand:

03/2023

## Diese Publikation erscheint im Rahmen der Transferforschung für die Reallabore der Energiewende zu Sektorkopplung und Wasserstoff.

*Zentrale Aufgabe der Transferforschung ist die Verarbeitung der Ergebnisse und Erkenntnisse aus den Reallaboren der Energiewende in verallgemeinerbares Wissen und dessen Verbreitung. Hierfür werden die gewonnenen wissenschaftlichen Erkenntnisse breiteren Stakeholder-Kreisen und der interessierten Öffentlichkeit durch Vernetzungs- und Kommunikationsaktivitäten verfügbar gemacht. So trägt die Transferforschung zur Transparenz von Forschungsergebnissen bei und speist das gewonnene Wissen in den allgemeinen gesellschaftlichen Diskurs zu Energiewende, Klimaschutz und Energiesicherheit ein.*



Den Kern der Transferforschung bildet das Forschungsprojekt Trans4Real unter Leitung der FfE München. Das interdisziplinäre Konsortium besteht neben der FfE aus der DECHEMA Gesellschaft für Chemische Technik und Biotechnologie, dem Zentrum für BrennstoffzellenTechnik, der Agora Energiewende, der Stiftung Umweltenergierecht, der Ruhr-Universität Bochum sowie der Hochschule für Politik der TU München. Unterstützt wird Trans4Real von der Deutschen Energie-Agentur (dena) und der Nationalen Organisation Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie (NOW) in den Bereichen der externen Vernetzung sowie der Verbreitung der Ergebnisse. Die Abstimmung aller Akteure der Transferforschung mit dem Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) sowie dem Projektträger Jülich (PtJ) wird über einen Steuerungskreis unter Leitung des BMWK sichergestellt. Die Arbeiten werden vom BMWK finanziert.

## Die Transferforschung wird unterstützt durch

