

# EIN MODELL FÜR

# DIE ZUKUNFT



H<sub>2</sub>iPort KA Mod



Hochschule Karlsruhe  
University of  
Applied Sciences



gefördert von:



Baden-Württemberg

MINISTERIUM FÜR UMWELT, KLIMA UND ENERGIEWIRTSCHAFT



## Inhalt

Ohne Wasserstoff geht es nicht .....	1
Wasserstoff-Hub für die Region Karlsruhe .....	3
Modellierung des Wasserstoff-Hubs .....	5
Vorbereitung und Übertragungsstruktur .....	5
Szenarien und Infrastrukturleistung .....	8
Fazit .....	12
Begleitende Aktivitäten zu H <sub>2</sub> iPort KA Mod .....	12
Umfrage zum Wasserstoffbedarf .....	12
„Woche des Wasserstoffs“ in der Region Karlsruhe .....	14
Nächste Schritte .....	15
Projektpartner .....	16
Assoziierte Partner .....	22
Ansprechpartner und Kontaktdaten .....	28

Bildnachweise: TMC-Fotografie.de/Adobe Stock (Titel), Netze-Gesellschaft Südwest (S. 2), Markus Kießling/Zukunft Gas (S. 4), Siemens Energy (S. 9), Mineraloelraffinerie Oberrhein (S. 12), Oiltanking Deutschland (S. 14), Axpo Solutions AG (S. 15), Fraunhofer ICT (S. 16), Hochschule Karlsruhe (S. 17), IAVF (S. 18), projektart (S. 20), Uli Deck (S. 21), lanastace/Adobe Stock (Symbole S. 4, S. 11, S. 27), Hochschule Karlsruhe (Abbildungen S. 6, S. 8, S. 10, S. 11, S. 13).

## Ohne Wasserstoff geht es nicht

Die Auswirkungen des Klimawandels zeigen, dass der Einsatz fossiler Energieträger dringend reduziert werden muss. Das erfordert ein schnelles und entschlossenes Handeln auf allen Ebenen: international, national, regional und lokal. Nur durch eine gemeinsame Anstrengung kann es gelingen, die Lebensgrundlagen für zukünftige Generationen zu sichern und die schlimmsten Folgen des Klimawandels abzuwenden. Abgesehen davon zeigen aktuelle geopolitische Ereignisse, wie wichtig eine stärkere Energieunabhängigkeit und resiliente Beschaffung sind.

Als zentraler Baustein für eine nachhaltige, klimafreundliche Zukunft gilt grüner Wasserstoff. Im Gegensatz zu herkömmlichem Wasserstoff, der aus fossilen Brennstoffen wie Erdgas gewonnen wird und dabei CO<sub>2</sub>-Emissionen verursacht, wird grüner Wasserstoff durch Elektrolyse von Wasser produziert. Der dazu benötigte Strom stammt aus erneuerbaren Energiequellen wie Wind- oder Solarenergie. Grüner Wasserstoff besitzt somit ein hohes CO<sub>2</sub>-Reduktionspotenzial und ist in vielen Sektoren anwendbar, etwa in der Mobilität, in der Bereitstellung elektrischer Energie und Wärme oder in Industrie, Gewerbe und Landwirtschaft.

Investitionen in Wasserstofftechnologien und notwendige Infrastrukturen sind ein Schlüssel, um die Energiewende dort voranzutreiben, wo sich Prozesse nur schwer oder gar nicht elektrifizieren lassen. Derzeit etablieren sich grüne Wasserstofftechnologien ohne Förderung allerdings nur schleppend, was vor allem an ihrer noch fehlenden Wirtschaftlichkeit liegt. Risikobehaftete Investitionen in Produktionstechnologien, Infrastruktur und Anwendungssektoren und damit verbundene Umstrukturierungen des Energiebezugs können nicht allein von der Industrie geleistet werden. Politische und regulatorische Unterstützung ist nötig, es braucht internationale Kooperationen, Finanzierung und Investitionsstrategien sowie Begleitforschung.

Das geplante Wasserstoff-Kernnetz in Deutschland führt im Südwesten zunächst bis Mannheim und Ludwigshafen – die Region Karlsruhe wird erst nach 2030 angebunden. Eine steigende H<sub>2</sub>-Nachfrage erfordert aber bereits früher eine Infrastruktur für Wasserstoff. Deshalb wäre ein Wasserstoff-Hub in Karlsruhe gut platziert, denn hier ergeben sich industrielle Nutzungsmöglichkeiten, etwa durch die größte Kraftstoffraffinerie Deutschlands. In den Karlsruher Rheinhäfen könnten zudem Frachtschiffe anlanden, die Wasserstoff transportieren oder die mit Wasserstoff betrieben werden.

Als Sitz etlicher Forschungseinrichtungen bietet Karlsruhe wissenschaftliche Expertise zu Wasserstoff. Die geografische Lage der Stadt ermöglicht eine Anbindung des Wasserstoff-Netzes an das Elsass, die Pfalz und an den südlichen Oberrhein. Auch die Speicherung von Wasserstoff oder seiner Derivate für diskontinuierliche Einsatzfälle wäre an diesem H<sub>2</sub>-Knotenpunkt möglich.



Grüner Wasserstoff soll unter anderem Erdgas (hier eine Gasdruckregelstation in Au am Rhein) ersetzen

### **Wasserstoff-Hub für die Region Karlsruhe**

Ein industriegeführtes Konsortium hat das Projekt angestoßen, um Rahmenbedingungen für eine Wasserstoff-Infrastruktur in der Region Karlsruhe zu definieren. Es sollte geprüft werden, ob sich der Standort Karlsruhe für eine nachhaltige Wasserstoffnutzung eignet und ob er sich als Vorbild für den Einsatz erneuerbarer Energien in Baden-Württemberg etablieren könnte. In diesem Zug wurde ein Dialog mit Stakeholdern aufgenommen, um die Akzeptanz für den Aufbau einer großtechnischen Wasserstoffinfrastruktur zu untersuchen. Das Projekt H<sub>2</sub>iPort KA besteht aus zwei Phasen. In Phase 1 wurden bis Juli 2024 die unterschiedlichen Elemente modelliert.

Das dynamische Modell bildet alle relevanten Energiewandlungs-, Speicher- und Verteilstrukturen einer Wasserstoff-Wertschöpfungskette ab. Es enthält geplante technische, ökonomische und ökologische Maßnahmen basierend auf dem mittelfristigen Bedarf an grünem Wasserstoff und geht auf nationale und internationale Preisentwicklungen, Steuervorgaben, existierende Vertragsbedingungen einzelner Partner, Standortgegebenheiten sowie den Verkauf von Energie und Systemdienstleistungen ein. In Phase 2 erfolgt die Realisierung der Wasserstoffinfrastruktur.

Das H<sub>2</sub>iPort KA Mod-System besitzt offene Schnittstellen, sodass es weitere Nutzer und Infrastruktur-Akteure integrieren und an steigende Bedarfe und veränderte Angebotssituationen angepasst werden kann.

Die Modellierung des H<sub>2</sub>-Hubs in Karlsruhe hat den Zweck, wirtschaftlich tragfähige Investitionsstrategien vorzubereiten und die Öffentlichkeit einzubinden. Durch gezielte Vernetzungs- und Transferangebote entlang der gesamten Wertschöpfungskette soll der Markthochlauf von grünem Wasserstoff unterstützt und eine nachhaltige Energiewende beschleunigt werden.



Wasserstoffleitungen sind Teil der neuen Infrastruktur, die für die Zukunftstechnologie aufgebaut werden

Die Rheinhäfen Karlsruhe mit den benachbarten Industriestandorten gewinnen damit eine Entscheidungsgrundlage für die zukunftssichere, aber auch wirtschaftliche Ausgestaltung eines H<sub>2</sub>-Hubs. Das Modell kann flexibel auf andere potenzielle Wasserstoff-Hub-Standorte angepasst werden und die Entwicklung weiterer Zentren unterstützen.

In Phase 2 des Projekts H<sub>2</sub>iPort KA sollen ab August 2024 mithilfe der in Phase 1 gewonnenen Erkenntnisse ein skalierter Aufbau und eine Vernetzung der Wasserstoffinfrastruktur-Elemente umgesetzt werden.



## Modellierung des Wasserstoff-Hubs

Für die Abbildung des Wasserstoffsystems werden alle relevanten Komponenten und ihre Varianten in einem mathematischen Modell zusammengefasst. Dieses sogenannte Maximalmodell bildet als Superstruktur den denkbaren Lösungsraum ab und definiert mögliche Interaktionen zwischen Technologien, Speichern und Abnehmern. Verschiedene Standorte von Wasserstofftankstellen sowie Anlandungsmöglichkeiten des grünen Wasserstoffs, etwa in Form von Flüssigwasserstoff, Ammoniak oder Methanol samt notwendiger Umwandlungstechnologien, werden gleichzeitig abgebildet.

Das Modell enthält auch die Installation eines Elektrolyseurs und Speichermöglichkeiten in den Rheinhäfen, um eine resiliente und unabhängige Wasserstoffversorgung zu gewährleisten. Transportmöglichkeiten wie Pipeline, LKW, Schiff und Schiene werden ebenfalls berücksichtigt.

Zielfunktion des Modells ist, den Wasserstoffbedarf der Region Karlsruhe in den Jahren 2027 bis 2045 kostenoptimal zu decken. Hierbei werden die vorhandenen Investitions- und Wartungskosten der Komponenten herangezogen sowie die Kosten von Wasserstoff aus der Pipeline, Stromkosten aus grünen PPAs (Power Purchase Agreements) sowie Ammoniak aus der Schiffsanlandung.

## Vorbereitung und Übertragungsstruktur

Zunächst wurden die Grundzüge des Modells entwickelt: Die Energiesystemkomponenten – dargestellt in Grey-Box-Modellen – bilden die wichtigsten physikalischen Zusammenhänge ab. Die im Modell berücksichtigten Kosten setzen sich aus Investitions-, Wartungs- und Betriebskosten zusammen, wobei die Investitions- und Wartungskosten als jährliche Zinsen und Tilgungen dargestellt werden.



Zusätzlich wurde eine Emissionsstruktur entwickelt, die das CO<sub>2</sub>-Reduktionspotenzial der geplanten Umstellung auf Wasserstoffinfrastruktur mit der bisherigen Situation vergleichbar macht.

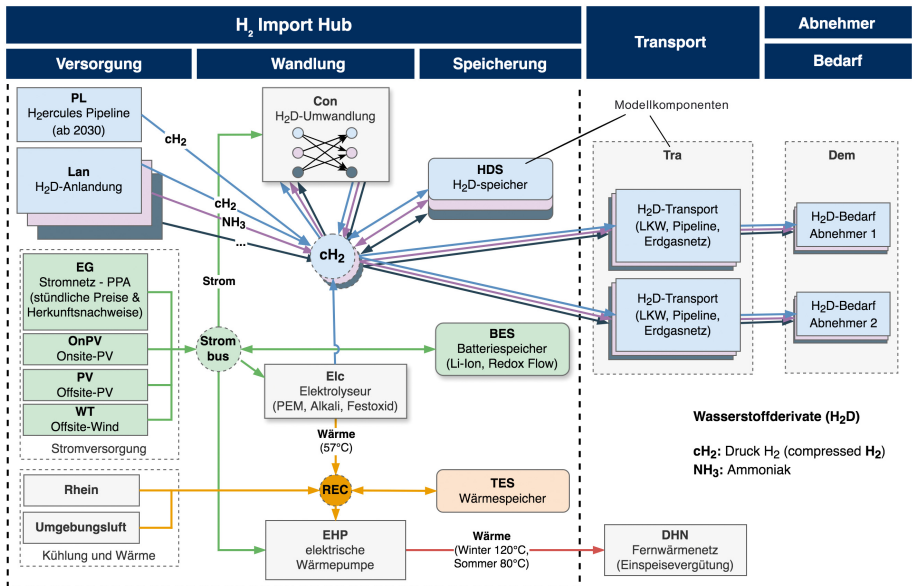


Abb. 1: Superstruktur des Modells H<sub>2</sub>iPort KA Mod mit allen betrachteten Komponenten

Zur Darstellung der Übertragungsstruktur wurden alle relevanten Komponenten in die Kategorien Versorgung, Umwandlung, Speicherung, Transport und Bedarf unterteilt (siehe Abbildung 1).

- **Versorgung** umfasst die Stromversorgung für den Wasserstoff-Hub, die Pipeline, über die der Wasserstoff angeliefert wird, die Anlandung von Wasserstoff oder seiner Derivate, das Rheinwasser und die Atmosphäre als Kühl- und Wärmequellen. Zur Stromversorgung gehören das Stromnetz sowie Power Purchase Agreements (langfristige Stromlieferverträge aus Erneuerbare-Energien-Anlagen). Im Modell wurden

Onshore-PPAs, Offshore-PPAs und PV-PPAs eingesetzt. Zusätzlich wird die Versorgungsmöglichkeit mit lokal erzeugtem Strom aus PV- und Windkraftanlagen berücksichtigt. Diese Art der Stromerzeugung wird mit dem Strombedarf der Elektrolyseure und Umwandlungskomponenten verknüpft.

- **Wandlung** umfasst die Reaktionseinheiten zur Umwandlung von Wasserstoff in seine Derivate oder zur Rückgewinnung von Wasserstoff aus diesen Derivaten. Wasserstoffderivate wie beispielsweise Ammoniak werden per Schiff an den Wasserstoff-Hub geliefert. Durch Cracking kann daraus Wasserstoff gewonnen werden. Mit dem Haber-Bosch-Verfahren kann Wasserstoff wiederum zu Ammoniak synthetisiert und so kostengünstig gespeichert werden.  
Zu den Wandlungskomponenten gehören Elektrolyseure und Wärmepumpen. Elektrolyseure spalten Wasser in seine Bestandteile Wasserstoff und Sauerstoff. Überschüssige Wärme, die bei der Elektrolyse entsteht, kann über Wärmepumpen in das Fernwärmenetz eingespeist werden.
- **Speicherung** meint die (längerfristige) Lagerung von Wasserstoff und seiner Derivate, die (kurzfristige) Speicherung von Strom in Batterieeinheiten sowie Wärmespeicher für die Abwärme, die bei der Elektrolyse entsteht.
- **Transport** beschreibt die Beförderung von Wasserstoff und seiner Derivate vom Wasserstoff-Hub zu den Kunden, beispielsweise per LKW oder Pipeline.
- **Bedarf** gruppiert die Nachfrage nach Wasserstoff und Wasserstoff-Derivaten bei bestimmten Industriekunden, Tankstellen sowie anderen Nutzern in der Region Karlsruhe.

## Szenarien und Infrastrukturleistung

Um im Modell des Wasserstoff-Hubs alle denkbaren Optionen zu berücksichtigen, wurden 30 verschiedene Preis-, Infrastruktur- und Bedarfsszenarien entwickelt. Die Preisszenarien umfassen mögliche Verschiebungen der Wasserstoff- oder PPA-Preise, eine Abweichung des Zinssatzes, Veränderungen der Investitionskosten des Elektrolyseurs oder der Batterie, aber auch Schwankungen der Treibhausgas-Quote. Die berechneten Infrastruktur-Szenarien umfassen auch eine zeitliche Verzögerung des Pipeline-Anschlusses, strategische Reserven, einen begrenzten Einsatz erneuerbarer Energien oder die Nutzung des Elektrolyseurs zur Stabilisierung des Stromnetzes. Auch Veränderungen beim Wasserstoff-Bedarf wurden betrachtet.

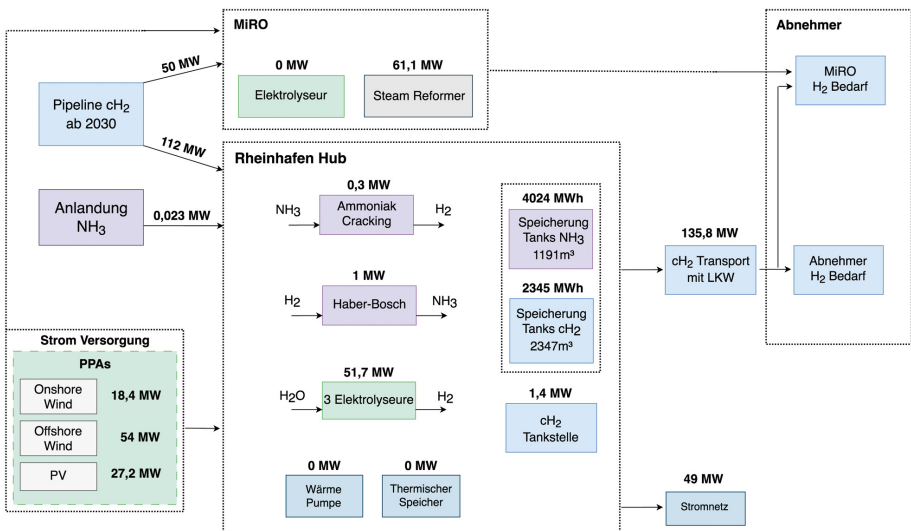


Abb. 2: Leistungswerte der Komponenten im Referenz-Szenario 2027 bis 2045

Die Leistungswerte der Wasserstoff-Infrastruktur im Referenz-Szenario für die Jahre 2027 bis 2045 (Abbildung 2) zeigen, dass gut 50 Megawatt Elektrolyseleistung nötig sind, um die Nachfrage nach grünem Wasserstoff ab 2027 zu

decken (den Bedarf der Mineraloelraffinerie Oberrhein MiRO noch nicht eingerechnet). Der Strom für den Betrieb des Wasserstoff-Hubs kann zunächst über PPAs bezogen werden, ein Mix aus Onshore-PPAs, Offshore-PPA und PV-PPAs stellt die optimale Lösung dar. Der Aufbau lokaler Kapazitäten zur Erzeugung erneuerbarer Energie für den H<sub>2</sub>-Hub ist in der Stadt Karlsruhe aufgrund der hohen Besiedlungsdichte und der Restriktionen des Naturschutzes nicht in nennenswertem Umfang möglich.

Eine Anlandung von Ammoniak ist nur in einem geringen Umfang sinnvoll. Das Haber-Bosch-Verfahren und das Ammoniak-Cracking erweisen sich im kleinen Maßstab als rentabel, um Wasserstoff auch über längere Zeiträume zwischenspeichern zu können, solange noch kein Pipeline-Anschluss verfügbar ist.

Sobald die Pipeline in Betrieb geht, erfolgt darüber die Hauptversorgung mit Wasserstoff. Auch dann wird Wasserstoff in Form von Druckwasserstoff und als Ammoniak in Speichern vorgehalten, um Angebot und saisonale oder prozessbedingte Bedarfsspitzen auszugleichen.



Modell einer Elektrolyseur-Anlage von Siemens Energy

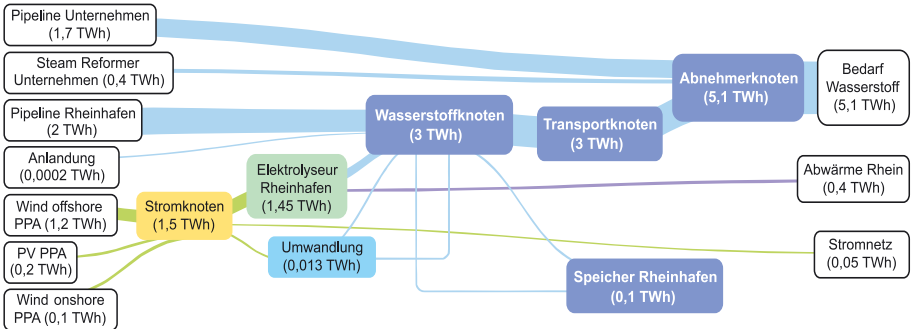


Abb. 3: Sankey-Diagramm der Energieflüsse von 2027 bis 2045

Im Sankey-Diagramm (Abbildung 3) ist zu erkennen, wie groß der Energiefluss durch die einzelnen Komponenten ist und wie diese miteinander verbunden sind. Der Bedarf an Wasserstoff wird hauptsächlich durch die Pipeline zu den Rheinhäfen gedeckt.

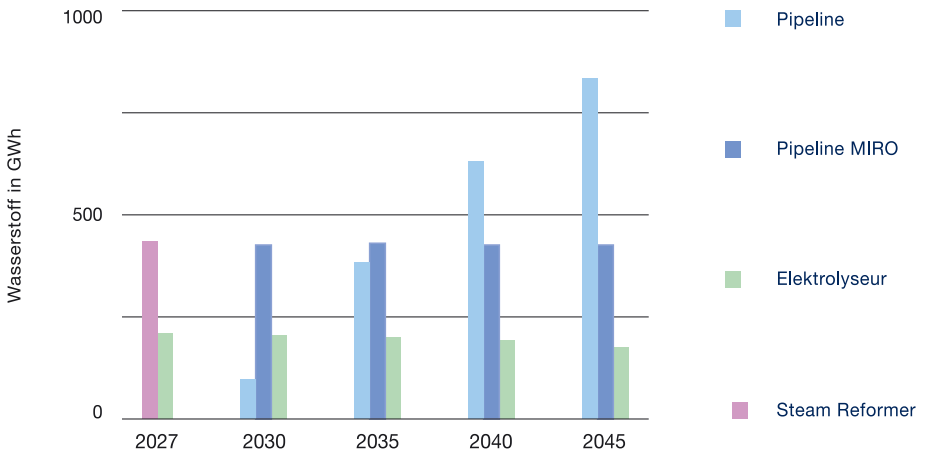


Abb. 4: Wasserstoff über die Stützjahre

Die Darstellung über die Stützjahre 2027 bis 2045 (Abbildung 4) zeigt, dass die Pipeline im Jahr 2027 noch nicht verfügbar ist. Das hat zur Folge, dass die Rheinhäfen zunächst nur durch Elektrolyseure und die MiRO durch ihren Steam Reformer mit

Wasserstoff versorgt werden. Ab 2030 kann die Pipeline den gesamten Wasserstoffbedarf der MiRO sowie einen Teil des Bedarfs der Rheinhäfen abdecken.

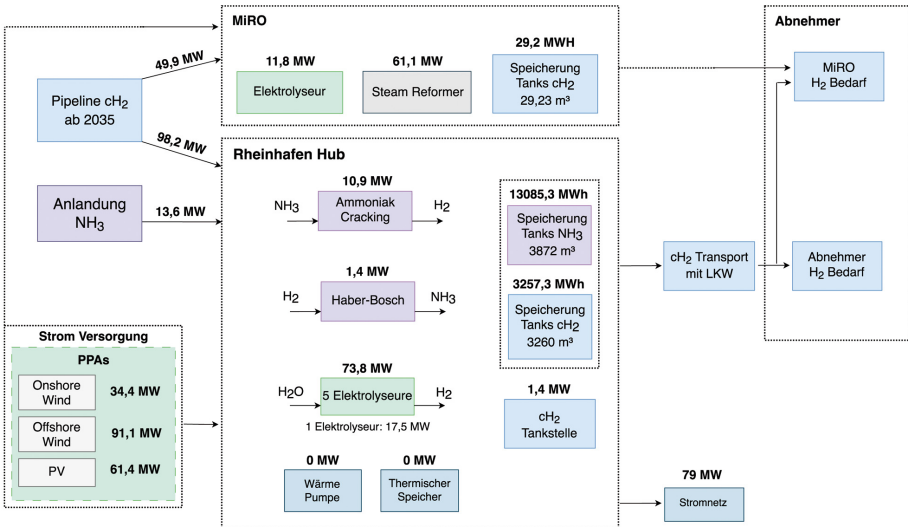
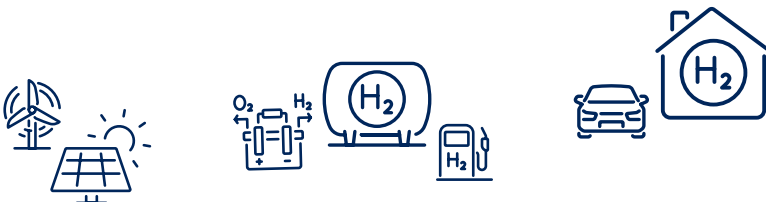


Abb. 5: Leistungswerte der Komponenten für das Referenzszenario Pipeline 2035

Ein weiteres Szenario ist eine Verzögerung der Pipelinefertigstellung um fünf Jahre (Abbildung 5), was eine frühzeitige Erweiterung der übrigen Wasserstoffinfrastruktur erforderlich macht. So erhöht sich die installierte Leistung der Elektrolyseure und eine Anlandung von Ammoniak wird rentabel. Dies hat auch zur Folge, dass durch Ammoniak-Cracking mehr Wasserstoff zur Verfügung gestellt und mehr Speicherkapazität installiert werden muss.



## Fazit:

Im Referenz-Szenario ist bereits ab 2027 mit einer Elektrolyseurleistung von 50 Megawatt zu rechnen, um die Nachfrage nach grünem Wasserstoff zu decken. Kapazität für die hierfür erforderliche Infrastruktur wäre in den Rheinhäfen, aber auch in der Mineraloelraffinerie Oberrhein vorhanden. Eine Nutzung der Abwärme ist in den Modellen nicht abgebildet, kann aber als Möglichkeit berücksichtigt werden. Die Modellierung bietet eine gute Grundlage, um sektorenübergreifende und vernetzte Investitionen in die Wasserstoffwirtschaft in der Region Karlsruhe zu planen. Allerdings muss darauf hingewiesen werden, dass für den Markthochlauf von grünem Wasserstoff nicht nur die Erzeugung von Sichtbarkeit durch lokale Aktivitäten wie Netzwerkarbeit und Gespräche erforderlich sind, sondern auch langfristig verlässliche Rahmenbedingungen, die Business-Cases für einzelne Sektoren ermöglichen.



Auch auf dem Gelände der MiRO in Karlsruhe wird die technologische Transformation stattfinden

## Begleitende Aktivitäten zu H<sub>2</sub>iPort KA Mod

### Umfrage zum Wasserstoffbedarf

Ein Bestandteil des Projekts H<sub>2</sub>iPort KA Mod war, den aktuellen und zu erwartenden Wasserstoffbedarf der Unternehmen im Wirtschaftsraum der

TechnologieRegion Karlsruhe zu ermitteln. Zum Gebiet der TRK gehören in Deutschland die Landkreise Germersheim, Karlsruhe, Rastatt, Südliche Weinstraße sowie die Städte Baden-Baden, Karlsruhe und Landau.

2023 wurde vom Projektpartner TechnologieRegion Karlsruhe ein spezifischer Adressenstamm in den von der Wasserstoff-Roadmap BW empfohlenen Fokusbranchen Grundstoffchemie, Mineralölverarbeitung, Stahlerzeugung und Eisenmetall-Verarbeitung, Zement, Kalk, Keramik und Ziegel, Glas, Zucker, Papier und Logistik angesprochen.

Es scheint, als sei die Bereitschaft der regionalen Unternehmen, sich mit solchen Fragestellungen auseinanderzusetzen, zu diesem Zeitpunkt insgesamt noch gering gewesen. In Baden-Württemberg wurde vom Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoffforschung zeitgleich eine Studie durchgeführt. Dort hat sich gezeigt, dass die Region Karlsruhe bereits 2030 einen vergleichsweise hohen Bedarf an grünem Wasserstoff hat.



Abb. 6: Akzeptierte Mehrkosten für grünen Wasserstoff

Ein bemerkenswertes Ergebnis der Umfrage ist, dass zwei Drittel der Befragten Mehrausgaben für grünen Wasserstoff akzeptieren würden. Jedes Dritte dieser Unternehmen würde sogar Mehrkosten von bis zu 25 Prozent hinnehmen (siehe Abbildung 6).

Vieles deutet darauf hin, dass Unternehmen in der Frühphase des H<sub>2</sub>-Hochlaufs bereit sind, Mehrkosten für die Versorgung mit Wasserstoff in Kauf zu nehmen. Mehrkosten von über 25 Prozent wurden jedoch von keinem der befragten Unternehmen als akzeptabel bezeichnet. Die Modellierung zeigt allerdings, dass die Mehrkosten zunächst deutlich über 25 Prozent liegen werden.



## „Woche des Wasserstoffs“ in der Region Karlsruhe

Eine ganzheitliche Betrachtung des Energieträgers Wasserstoff ist die Grundvoraussetzung für einen effizienten Wandel von einer fossil dominierten zu einer klimaneutralen Gesellschaft. Insbesondere muss die breite Bevölkerung frühzeitig über Prozesse der Transformation informiert werden und Angebote für einen Gedankenaustausch erhalten. Seit einigen Jahren findet daher die bundesweite Aktion „Woche des Wasserstoffs“ statt.

Die Hochschule Karlsruhe, Projektpartnerin von H<sub>2</sub>iPort KA Mod, organisiert in diesem Rahmen eine Vortragsreihe, in der sie spezifische Einblicke in die Anwendungsfelder von Wasserstoff gibt. Vertreter aus Politik, Forschung und Industrie nahmen Ertüchtigung der Leitungsinfrastruktur, Sicherheit, Skalierung der Produktion sowie Fördermöglichkeiten, Entwicklung neuer Märkte und deren Erschließung durch Start-ups in den Blick.



Das Großtanklager der Mabanft-Tochter Oiltanking Deutschland in den Karlsruher Rheinhäfen

## Nächste Schritte

Mit dem Ende von Phase 1 des Projekts H<sub>2</sub>iPort KA Mod steht erstmalig eine umfassende Modellierung für einen H<sub>2</sub>-Hub zur Verfügung. Diese wurde mit Bezug auf die Rheinhäfen Karlsruhe entwickelt, programmiert und angewendet, hierfür liegen nun konkrete Kennzahlen für definierte Szenarien vor.



Die Wasserstoffproduktionsanlage des Projektpartners Axpo Solutions AG in der Schweiz

In Phase 2 beschäftigen sich einzelne Partner bereits konkret mit einer technischen Umsetzung, auch vor dem Hintergrund der Planungen zum deutschlandweiten H<sub>2</sub>-Kernnetz. Investoren, Hersteller und Abnehmer treffen sich zu Gesprächen und verhandeln bi- und multilateral. Das Modell H<sub>2</sub>iPort KA Mod hilft, die Gespräche auf eine solide Basis zu stellen. Inwieweit daraus eine regionale Wasserstoff-Wertschöpfungskette entsteht, hängt auch von den jeweiligen Rahmenbedingungen und verschiedenen Gegebenheiten ab.

Mit der Publikation der Forschungsergebnisse zum H<sub>2</sub>-Hub in Karlsruhe soll auch die Identifikation und Anbindung weiterer Wasserstoff-Akteure unterstützt werden. Wichtig ist außerdem die Einbeziehung weiterer gesellschaftlicher Gruppen in die Wasserstoff-Thematik, um Transparenz und Akzeptanz für dieses Thema zu fördern.

## Projektpartner

Fraunhofer-Institut für Chemische Technologie



Die Wissenschaftler\*innen des Bereichs Angewandte Elektrochemie am Fraunhofer ICT können ihre Stärken zeigen, wenn es darum geht, die Defossilisierung voranzutreiben. Sie verfügen über große Expertise auf dem Gebiet der Validierung von Wasserstoffkomponenten und gesamter Systeme – auch in Bezug auf deren Sicherheit (H2TwinTest). Darüber hinaus besitzen sie umfassendes Know-how im Bereich der Materialentwicklung für Katalysatoren. Hinzu kommt umfangreiches Fachwissen zu elektrochemischen Speichern – von Lithiumtechnologien bis hin zu Großspeichern wie Redox-Flow-Batterien.



Am Campus des Fraunhofer ICT in Pfinztal wird auch die Wasserstoffherzeugung durch Elektrolyse erforscht

Im Projekt H<sub>2</sub>iPort KA Mod wird das Potenzial sichtbar, das Wasserstoff vor allem in den Sektoren Industrie, Mobilität und Energie aufweist. Das Fraunhofer ICT beteiligt sich mit Kompetenzen im Bereich der Elektrolyse sowie deren Systemkomponenten, zudem ist das Institut in die gesamte Außendarstellung involviert.

Die Forschungsgruppe Energiesystemanalyse erarbeitet Lösungen zur nachhaltigen Energieversorgung an der Schnittstelle von Forschung und Praxis. Sie setzt Methoden der mathematischen Modellierung, Simulation und Optimierung zur Zusammensetzung von Energiesystemen sowie zum Betrieb energietechnischer Anlagen ein. Die grundsätzliche Problematik bei der Einführung von H<sub>2</sub> als Energieträger liegt in der Komplexität der einzelnen Anwendungsszenarien, der noch nicht vorhandenen Infrastruktur für großskaligen Transport, Lagerung und Distribution und der noch nicht bekannten Nachfrage, etwa auf Unternehmensseite.



Treffen der Projektpartner von H<sub>2</sub>iPort KA Mod an der Hochschule Karlsruhe

Für das Projekt H<sub>2</sub>iPort KA Mod hat die Hochschule Karlsruhe ein umfassendes Modell eines Wasserstoff-Hubs entwickelt, dessen Kernfunktionalität sie quelloffen (Open Source) zur Verfügung stellt. Das Modell bildet die relevanten Energiewand-

lungs-, Speicher- und Verteilstrukturen sowohl auf Kostenseite (Investitions- und Betriebskosten) als auch hinsichtlich ihres technischen Betriebsverhaltens im Zusammenspiel ab. Es beschreibt das dynamische Verhalten in einem differentialgleichungsbasierten System. Das Modell wurde realitätsnah anhand der Gegebenheiten der Rheinhäfen Karlsruhes parametrisiert und mit technischen und wirtschaftlichen Datengrundlagen der Partner bestückt. Die Optimierung des Modells beispielsweise auf Wirtschaftlichkeit kann als Basis für eine zukunftsichere Ausgestaltung des H<sub>2</sub>-Hubs in den Rheinhäfen dienen.

## IAVF Antriebstechnik GmbH



Die IAVF Antriebstechnik GmbH arbeitet seit über 40 Jahren in der Entwicklung von Antrieben für mobile und stationäre Anwendungen sowie von deren Betriebsstoffen. Sie bietet ihren nationalen und internationalen Kunden ein breites Portfolio an Testing- und Engineering-Dienstleistungen.



Wasserstofftanks am Sitz von IAVF in Karlsruhe: Hier entsteht eine firmeneigene H<sub>2</sub>-Infrastruktur

Als langjähriger Entwicklungspartner von Fahrzeugherstellern kann das Unternehmen auf umfangreiche Erfahrungen in Bereich der Mobilität zurückgreifen. IAVF betreibt heute 85 vollautomatisierte Prüfstände für Antriebe von Road- und Non-Road-Anwendungen bis 4 MW und deren Komponenten, außerdem verfügt es über Labore zur umfangreichen Bauteil- und Schadensanalytik.

Für neue und gleichzeitig robuste Antriebe mit modernen Technologien spielen nachhaltig erzeugte Kraftstoffe eine bedeutende Rolle. Neben E-Fuels muss hier vor allem grüner Wasserstoff genannt werden, da er einen hervorragenden Beitrag zur Dekarbonisierung leisten kann. Als industrieller H<sub>2</sub>-Anwender mit stark steigendem Verbrauch und Firmensitz in den Karlsruher Rheinhäfen hat IAVF die Koordination des Projekts H<sub>2</sub>iPort KA Mod übernommen.

Aufgrund des großen CO<sub>2</sub>-Reduktionspotenzials, das der Einsatz von Wasserstoff in allen Sektoren verspricht, rechnet die IAVF Antriebstechnik GmbH in den kommenden Jahren mit einem erheblichen Bedarf an Wasserstoff für ihre Prüfstände. Deshalb baut IAVF bereits seit 2022 eine eigene H<sub>2</sub>-Infrastruktur mit Lagerung und Verteilung auf, um seine Kunden auch zukünftig bei Entwicklung und Testing in diesem Bereich unterstützen zu können.

**KVH Karlsruher Versorgungs-, Verkehrs- und Häfen GmbH Geschäftsbereich Rheinhäfen**



Mit einem Gesamtumschlag von rund sieben Millionen Tonnen im Jahr sind die Rheinhäfen Karlsruhe der größte Binnenhafen Baden-Württembergs und einer der fünf größten in Deutschland. Auf dieser logistischen Drehscheibe werden die drei Verkehrsträger Straße, Schiene und Wasserstraße intelligent vernetzt.

Die Rheinhäfen Karlsruhe wirken proaktiv an der Umsetzung der Energiewende mit und unterstützen im Konsortium von H<sub>2</sub>iPort KA Mod den Aufbau einer Wasserstoffimport-, Speicher- und Verteilinfrastruktur in den Rheinhäfen Karlsruhe.

Gemeinsam mit den Stadtwerken als einem weiteren Unternehmen der Stadt Karlsruhe unterstützen die Rheinhäfen dabei mit Daten sowie mit energiewirtschaftlichem Know-how bei der Plausibilisierung der Ergebnisse. Die Rheinhäfen haben Areale identifiziert, die sich für den Umschlag sowie die Weiterbehandlung von Wasserstoff und Wasserstoffderivaten wie Ammoniak anbieten. Dabei lag der Fokus nicht nur darauf, die Binnenschifffahrt zu berücksichtigen, es wurden auch grundlegenden Sicherheitsvoraussetzungen zum Umgang mit Wasserstoff innerhalb der Hafeninfrastruktur zum Wasserstoffumschlag geprüft.



Das Fahrgastschiff im Karlsruher Rheinhafen ist bereits für Wasserstoff vorbereitet

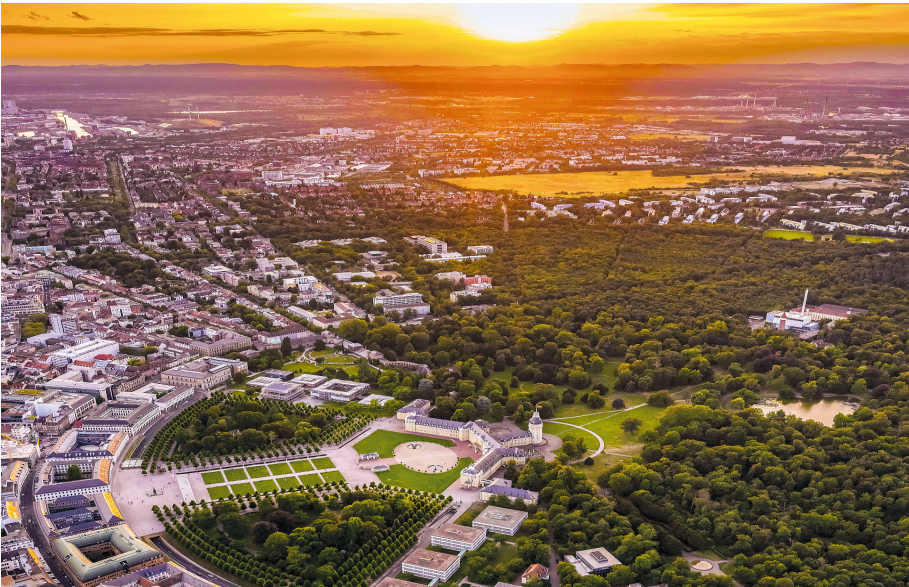
TechnologieRegion Karlsruhe GmbH



Als eine der führenden Wirtschafts- und Innovationsregionen in Europa vereint die TechnologieRegion Karlsruhe internationale Konzerne, Wissenschaftseinrichtungen von globaler Bedeutung, mittelständische Unternehmen und Start-ups.

Die TechnologieRegion Karlsruhe GmbH ist ein über Landesgrenzen hinweg vernetztes Aktionsbündnis, das Wirtschaft, Kammern, Wissenschaft und Kommunen verbindet und Plattformen für Zusammenarbeit schafft. Gegenüber Entscheidungsträgern auf Landes-, Bundes- und Europa-Ebene vertritt die TRK Interessen lokaler Akteure. Die Ergebnisse ihrer Kooperationsprojekte macht sie im nationalen und internationalen Umfeld sichtbar.

Mit RE-Action 1.5 verfügt die TechnologieRegion über eine ambitionierte Energiestrategie. Im Rahmen des Projekts H<sub>2</sub>iPort KA Mod ist es der TRK GmbH wichtig, den Markthochlauf des nachhaltigen Energieträgers Wasserstoff zu beschleunigen und hiesige Unternehmen an dieses Schlüsselfeld der Wirtschaft heranzuführen. Dazu entwickelt sie regionale Informationsformate wie die Website [trk.de/projekte/h2iportka](http://trk.de/projekte/h2iportka). Mit dem branchenübergreifenden Aufbau von Know-how gibt die TRK wichtige Impulse für innovative und nachhaltige H<sub>2</sub>-Anwendungen in der Region.



Schloss Karlsruhe im Zentrum der TechnologieRegion, die eine ambitionierte Energie-Strategie verfolgt



## Assoziierte Partner

### Air Products GmbH



Das 1940 gegründete Industriegas-Unternehmen hat sich zum Ziel gesetzt, innovative Lösungen zu entwickeln, die der Umwelt dienen und Nachhaltigkeit fördern. Air Products und seine Mitarbeitenden wollen sich den Herausforderungen von Kunden, Gemeinschaften und der Welt insgesamt widmen. Eine Reduktion der globalen Emissionen um 20 Prozent ist möglich, wenn Wasserstoff auch zur Dekarbonisierung von Schwerlasttransporten und in der Industrie eingesetzt wird. Air Products bietet eine Produktlinie für die Wasserstoffbetankung an. Die Wasserstofftankstellen umfassen Kompression, Speicherung und Abgabe. Die Anlagen von Air Products sind für eine minimale Installation ausgelegt und können mit jeder Wasserstoffquelle verwendet werden. Pkw, Lkw, Busse, Motorroller, Lokomotiven, Flugzeuge und sogar U-Boote wurden bereits mit Technologien von Air Products betankt. Noch stammen 80 Prozent des weltweiten Energieverbrauchs aus fossilen Brennstoffen. Air Products ist der Überzeugung, dass Wasserstoff in energieintensiven Sektoren unserer Wirtschaft eine praktische und emissionsfreie Lösung für die Energieversorgung darstellt. Unter diesem Gesichtspunkt war es für Air Products wichtig, am Projekt H<sub>2</sub>iPort KA Mod mitzuwirken.

### Axpo Solutions AG



Die größte Erneuerbare-Energieversorgerin der Schweiz ist in der Stromerzeugung, im Strom- und Gashandel sowie über die Tochtergesellschaften Volkswind und Urbasolar in der Entwicklung von Wind- und Solarparks aktiv. Als Anbieterin von innovativen Energielösungen ist Axpo in über 30 europäischen Ländern, in den USA

und in Singapur vertreten. Die Wasserstoff-Abteilung der Axpo Solutions AG stellt grünen Wasserstoff und Derivate wie Methanol her. Im April 2024 hat der Konzern zusammen mit Rhiienergie die bisher größte grüne Wasserstoffproduktionsanlage für die Schweiz eröffnet. Die Rheinhäfen Karlsruhe als zentraler und vernetzter Versorgungspunkt mit Anbindung an Frankreich und die Schweiz sind für Axpo interessant. Deshalb möchte das Unternehmen im Rahmen des Projekts dazu beitragen, die Ergebnisse der Modellierung umzusetzen und einen H<sub>2</sub>-Hub in Karlsruhe zu etablieren. Axpo kann hierfür grünen Wasserstoff für die emissionsfreie Rheinschifffahrt liefern und grünen Wasserstoff oder Derivate aus europäischen Projekten in die Region Karlsruhe importieren.

### EnBW Energie Baden-Württemberg AG



Als eines der größten Energieunternehmen in Deutschland und Europa versorgt EnBW rund 5,5 Millionen Kunden mit Strom, Gas, Wasser sowie Dienstleistungen und Produkten aus den Bereichen Infrastruktur und Energie. Eckpfeiler des Ausbaus erneuerbarer Energien ist der Bau neuer, flexibel einsetzbarer, wasserstofffähiger Gaskraftwerke sowie die Weiterentwicklung der Verteil- und Transportnetze für Strom und Gas. Eine Schlüsselrolle auf dem Weg zur Klimaneutralität spielt die Transformation der Gaswirtschaft hin zu dekarbonisierten Gasen und insbesondere zu Wasserstoff. Die EnBW engagiert sich in diesem Bereich über die gesamte Wertschöpfungskette – von Erzeugung, Transport, Speicherung bis hin zu Vertrieb, Verteilung und Nutzung in Kraftwerken. Zum Forschungsprojekt H<sub>2</sub>iPort KA Mod trägt EnBW ihre Expertise in Energiehandel und Energiesystemen bei, um einen „grünen“ Elektrolyseur optimal mit erneuerbarem Strom zu versorgen. Dank langjähriger Erfahrung mit Power Purchase Agreements kann EnBW hier eine passgenaue Lösung gemäß EU-Kriterien bereitstellen.

### H2Global Advisory GmbH



Die H2Global Advisory GmbH ist eine deutsche Stiftung, die sich der Förderung von grünem Wasserstoff widmet. Ihr Hauptziel ist es, den Markthochlauf von H<sub>2</sub> aus erneuerbaren Energien zu beschleunigen. Dies geschieht durch die Schaffung von Marktanreizen, die Förderung von Projekten und die Stärkung internationaler Kooperationen.

H2Global entwickelt Mechanismen, die den Markt für grünen Wasserstoff stärken sollen – etwa finanzielle Anreize und Fördermittel. Die Stiftung unterstützt Forschungs- und Entwicklungsprojekte zu technologischen Innovationen im Bereich des grünen Wasserstoffs. Zudem fördert H2Global die Zusammenarbeit zwischen verschiedenen Ländern und Regionen durch den Aufbau von Handelsbeziehungen und den Austausch von Know-how. In der Stiftung sind gegenwärtig 61 Unternehmen entlang der gesamten Wertschöpfungskette Power-to-X vertreten.

Sie organisieren sich in thematischen Arbeitsgruppen und treffen sich zu Geberkonferenzen, um über die Wirtschaftlichkeit von nachhaltig erzeugtem Wasserstoff, seine Produktion und die Nutzung in Sektoren wie Industrie, Verkehr und Energie zu beraten.

Die Assoziation im Projekt H<sub>2</sub>iPort KA Mod war für H2Global interessant, da die Modellierung sehr gut zu den Zielen der Stiftung passt.

### Mabanaft GmbH & Co. KG



Das international tätige Energieunternehmen ist auf den Großhandel mit Mineralölprodukten spezialisiert und bietet Dienstleistungen im Energie- und Chemie-sektor an. Unter den Kunden sind Energieeinzelhändler, Tankstellenbetreiber und

Großkunden. Zu den Kernkompetenzen von Mabanaft zählen innovative Energielösungen für die Bereiche Transport, Wärme, Landwirtschaft und Industrie. Das Unternehmen betreibt ein umfangreiches Netzwerk von Lager- und Umschlagseinrichtungen und ermöglicht damit eine effiziente Distribution und Logistik von Mineralölprodukten. Allein in Deutschland verfügt Mabanaft über elf Tanklager, die von der Tochtergesellschaft Oiltanking Deutschland betrieben werden. Mit der Erweiterung seines Kraftstoff-Portfolios um erneuerbare Lösungen wie Wasserstoff und dessen Derivate (etwa Ammoniak) ist das Ziel verbunden, Kraftstoff-Lösungen nachhaltiger zu machen.

Teil dieser Bemühungen spiegelt auch das geplante Ammoniak-Importterminal im Hamburger Hafen wider. Für das Projekt H<sub>2</sub>iPort KA Mod leistet das Großtanklager in den Rheinhäfen Karlsruhe mit einer Kapazität von rund 211.000 Kubikmetern einen wichtigen Beitrag in Sachen Infrastruktur und Erfahrungen.

**MiRO Mineraloelraffinerie Oberrhein GmbH & Co. KG**



Deutschlands größte Raffinerie verarbeitet pro Jahr rund 15 Millionen Tonnen Rohöl und versorgt jeden Tag zehn Millionen Menschen mit Benzin, Diesel und Heizöl. In der Mineraloelraffinerie Oberrhein MiRO in Karlsruhe entstehen Grundstoffe für viele Produkte des Alltags wie etwa Joghurtbecher, Computer, Sportkleidung, Medikamente und Kosmetika, aber auch Bitumen für den Straßenbau oder Einsatzstoffe für die chemische Industrie.

Die Abwärme der Produktionsprozesse versorgt täglich über 40.000 Haushalte in Karlsruhe mit CO<sub>2</sub>-neutraler Fernwärme. Nun soll mit der Integration von grünem Wasserstoff ein wesentlicher Bestandteil der MiROStrategie 2030+ erfüllt werden. Um Einsatzmöglichkeiten von grünem Wasserstoff zu untersuchen und Business-Cases zu entwickeln, bot sich die Vernetzung mit regio-

nenen Partnern im Projekt H<sub>2</sub>iPort KA Mod an. Die MiRO kann hier ihr Fachwissen zu regionalspezifischen Scale-up-Möglichkeiten und Limitationen einbringen und von Erkenntnissen aus der Modellierung profitieren. Diese gibt wertvolle Hinweise zur zeitlichen Dimension und Abfolge beim Aufbau einer H<sub>2</sub>-Infrastruktur, dem Hochfahren der H<sub>2</sub>-Mengen sowie dem Zusammenwirken der Partner.

### Netze-Gesellschaft Südwest mbH



Als größter Gasnetzbetreiber unter der Regulierungsaufsicht des Landes Baden-Württemberg versorgt die Netze-Gesellschaft Südwest über 100 Kommunen in Nordbaden und Oberschwaben mit Gas. Daraus resultiert langjährige Erfahrung bei Planung, Bau, Betrieb und Instandhaltung von Gasverteilnetzen und Anlagen, Biogasaufbereitungsanlagen, Nahwärmenetzen, technischen Anlagen wie Blockheizkraftwerken oder Heizzentralen, Erdgas- und Wasserstofftankstellen sowie PV-Anlagen.

Aktuell arbeitet die Netze-Gesellschaft Südwest an ihrer Wasserstoff-Transformation – ab 2030 bis 2035 will sie schrittweise auf 100 Prozent Wasserstoff umstellen. Um die Energiewende mit Wasserstoff erfolgreich umzusetzen, müssen Versorgungssicherheit, Bezahlbarkeit, Umwelt- und Klimaschutz sowie die Sektorenkopplung zusammen gedacht werden.

Die Mitwirkung an Wasserstoff-Forschungsprojekten hilft, auf dem aktuellen Stand zu bleiben, die Transformation kontinuierlich voranzutreiben und die Pläne zur Gasnetzgebietstransformation zu verfeinern. Ins Projekt H<sub>2</sub>iPort KA Mod hat die Netze Südwest ihr Wissen eingebracht, mit dem sie dazu beiträgt, den Aufbau einer zukunftsfähigen und nachhaltigen Verteilnetz-Infrastruktur in der Region Karlsruhe zu unterstützen.

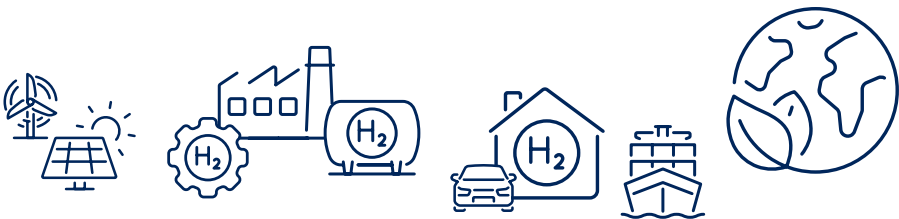
## Siemens Energy Global GmbH & Co. KG

Mit seinen Produkten, Lösungen und Services deckt Siemens Energy nahezu die gesamte Energiewertschöpfungskette ab – geschätzt ein Sechstel der weltweiten Stromerzeugung basiert auf Technologien des Konzerns. Damit gehört er zu den weltweit führenden Unternehmen der Energietechnologie.

Siemens Energy legt großen Wert auf regionale Nähe und ist in Baden-Württemberg fest verankert. Der Standort in Karlsruhe ist weltweiter Hauptsitz für das Leittechniksystem, das Remote Expert Center und das Cyber Security Operations Center sowie das interne Schulungszentrum Power Academy.

Mit der 2023 in Berlin eröffneten vollautomatisierten Gigawatt-Fabrik für Elektrolyseure ebnet Siemens Energy den Weg für den Hochlauf der grünen Wasserstoff-Wirtschaft. Denn: Damit Wasserstoff zum Wegbereiter für eine klimaneutrale Zukunft werden kann, muss er in großen Mengen und zu wettbewerbsfähigen Preisen verfügbar sein.

Bei der Modellierung des H<sub>2</sub>-Hubs in den Rheinhäfen Karlsruhe brachte Siemens Energy sein technisches Know-how und seine Praxiserfahrung in der Realisierung großskaliger Elektrolyse samt Engineering, Projektmanagement, Installation und Inbetriebnahme ein. Die Hardware beinhaltet neben dem Elektrolyseur auch dessen Prozess-Infrastruktur. In Kombination mit einer Industriewärmepumpe lässt sich die Effizienz der Elektrolyseanlage durch Nutzung der Abwärme von circa 75 Prozent auf über 95 Prozent steigern.



## **Ansprechpartner und Kontaktdaten**

### **IAVF Antriebstechnik GmbH (Konsortialführer)**

Dr. Peter Berlet

E-Mail: [peter.berlet@iavf.de](mailto:peter.berlet@iavf.de)

Telefon: +49 721 955 05 0

### **Hochschule Karlsruhe**

Prof. Dr. Marco Braun, Daniel Bull

E-Mail: [marco.braun@h-ka.de](mailto:marco.braun@h-ka.de), [daniel.bull@h-ka.de](mailto:daniel.bull@h-ka.de)

Telefon: +49 721 925 0

### **Fraunhofer-Institut für Chemische Technologie**

Prof. Dr. Karsten Pinkwart, Stefan Bürger

E-Mail: [karsten.pinkwart@ict.fraunhofer.de](mailto:karsten.pinkwart@ict.fraunhofer.de), [stefan.buerger@ict.fraunhofer.de](mailto:stefan.buerger@ict.fraunhofer.de)

Telefon: +49 721 4640 0

### **KVVH Karlsruher Versorgungs-, Verkehrs- und Hafen GmbH Geschäftsbereich Rheinhäfen**

Jens-Jochen Roth

E-Mail: [roth@rheinhafen.de](mailto:roth@rheinhafen.de)

Telefon: +49 721 599 7402

### **TechnologieRegion Karlsruhe GmbH**

Markus Wexel

E-Mail: [markus.wexel@trk.de](mailto:markus.wexel@trk.de)

Telefon: +49 721 40244 712

# H<sub>2</sub>iPort KA Mod

Wirtschaftliche Ausgestaltung  
eines Wasserstoff-Hubs in den  
Rheinhäfen Karlsruhe



Hochschule Karlsruhe  
University of Applied Sciences

