



AUFBAU EINER WASSERSTOFFWIRTSCHAFT AM BEISPIEL VON BINNENHÄFEN

EIN LEITFADEN



Impressum:



HOCHSCHULE HEILBRONN

Hochschule Heilbronn
Institut LOGWERT

Bildungscampus 9
74076 Heilbronn

Prof. Dr. Jens Hujer
Alexandra Wolf
Leonie Lesemann
Verena Hess
Matthias Bramme



**Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft
und Organisation IAO**
Forschungs- und Innovationszentrum Kog-
nitive Dienstleistungssysteme (KODIS)

Bildungscampus 9
74076 Heilbronn

Felix Zimmermann
Janika Kutz
Timo Stöhr

Gefördert durch:



Baden-Württemberg

MINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT, ARBEIT UND TOURISMUS

Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Tourismus Baden-Württemberg

Heilbronn, im Mai 2022

Einführung und Hintergrund

Der **Klimaschutz** zählt zu den zentralen gesellschaftlichen Aufgaben unserer Zeit. Neue energiewirtschaftliche Konzepte, die Nutzung nachhaltig erzeugter Energieträger und die Entwicklung ressourcenschonender Technologien sind der Fokus zahlreicher Strategiepapiere, die das Erreichen einer **Klimaneutralität** für die nächsten Jahrzehnte als zentrales Ziel formulieren. Die Bundesregierung hat im Rahmen der nationalen Wasserstoffstrategie im Jahr 2020 klar aufgezeigt, dass eine erfolgreiche Klimawende nur mit dem Einsatz von CO₂-neutralem (grünem) **Wasserstoff** realisiert werden kann, der voraussichtlich zum größeren Teil importiert werden muss.

Eine wichtige Rolle für die Versorgung mit Wasserstoff könnten **Knotenpunkte** der Transportlogistik einnehmen, die für den Güterverkehr auf regionaler, nationaler und internationaler Ebene teilweise seit Jahrhunderten bestehen. Ein vielversprechendes Beispiel hierfür sind **Binnenhäfen**. Diese bieten als **Umschlagplätze** mit multimodaler Anbindung sehr gute Möglichkeiten, um den Import und die Verteilung von grünem Wasserstoff durch eine Verkehrsverlagerung von der Straße auf die Wasserstraße und Schiene zu unterstützen, oder diese drei Transportwege als Umschlagsdrehzscheibe miteinander zu verknüpfen. Auch für Baden-Württemberg bietet der Rhein als bedeutende Binnenwasserstraße einen Anschluss an große Seehäfen, über die zukünftig grüner H₂ importiert werden könnte. Gleichzeitig sind im direkten Umfeld von Häfen häufig zahlreiche **Energieverbraucher** angesiedelt, bei denen Wasserstoff zukünftig fossile Brennstoffe ersetzen könnte. Weiterhin könnten Güter wie Wasserstoff Zukunftsperspektiven bieten, um die **Wettbewerbsfähigkeit** gerade für kleine Binnenhäfen im Güterverkehr zu sichern.

Um die spezifischen Potenziale und Herausforderungen einer Wasserstoffwirtschaft am Beispiel von Binnenhäfen zu identifizieren und Ansätze für eine Umsetzung zu entwickeln, wurde in den Jahren 2021 und 2022 die **Studie „H2-Hafen Heilbronn (H2HN)“** durch die Hochschule Heilbronn und das Fraunhofer IAO unter Einbeziehung von lokalen Akteuren mit Unterstützung des Ministeriums für Wirtschaft, Arbeit und Tourismus Baden-Württemberg durchgeführt.

Als Ergebnis dieses Forschungsprojekts wurde dieser **Leitfaden** entwickelt, um Entscheidungsträgern, Hafenanliegern und deren direktes Umfeld dabei zu unterstützen, Ansatzpunkte für eine **Transformation** in Richtung einer Wasserstoffwirtschaft zu finden. Dafür wurde eine Darstellung anhand von 7 Schritten gewählt, die im Rahmen des Forschungsprojekts definiert wurden und jeweils zentrale Aktivitäten und Leitfragen beinhalten. Die Reihenfolge der Schritte dient dabei zur groben Orientierung, diese können grundsätzlich auch parallel oder in anderer Reihenfolge erfolgen:

- | | |
|--|---|
| 01 Das Ökosystem identifizieren | 05 Die Finanzierung planen |
| 02 Ein Netzwerk aufbauen | 06 Die Akzeptanz managen |
| 03 Die Anwendungsfälle planen | 07 Umsetzen und kontinuierlich skalieren |
| 04 Die Versorgung planen | |

01 Das Ökosystem identifizieren

Um eine Wasserstoffwirtschaft im (Binnen-)Hafen systematisch aufzubauen, müssen in der Regel zahlreiche Akteure und Institutionen einbezogen werden. Diese übernehmen eine, oder sogar mehrere Rollen in einer H₂-bezogenen Wertschöpfung und ergeben gemeinsam Ökosysteme, in denen sie wechselseitig voneinander abhängig sind. Der räumliche Ausgangspunkt der Überlegung ist hierbei der Hafen. Dennoch können wesentliche Elemente der Wertschöpfung auch außerhalb des Hafens liegen – beispielsweise die Erzeugung oder die Nutzung von Wasserstoff. Um ein Ökosystem aufbauen zu können, sind eine grundlegende Kenntnis der einzelnen Akteure und eine erste Einschätzung zu deren potenziellen Rollen wichtig. Ausgehend davon können die Potenziale und Schwerpunkte einer Wasserstoffwirtschaft im Hafen initial abgeschätzt werden.

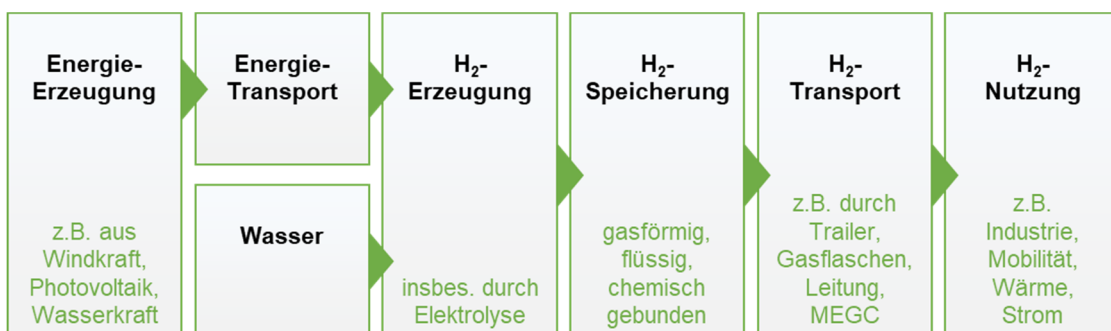


Abb. 1 Beispielhafte Wertschöpfungskette der Wasserstoffwirtschaft, eigene Darstellung

Aktivitäten:

- **Potenzielle H₂-Anwendungsfälle in und um den Hafen initial identifizieren**
Geeignet sind insbesondere Verbraucher von fossilen Brennstoffen wie Umschlagsanlagen, LKW, Hafengebäude, Flurförderzeuge, energieintensive Industrie, ÖPNV, oder anliegende Schiffe, die eine stationäre Energieversorgung benötigen. Zukünftig soll Wasserstoff auch als Treibstoff für Schiffe eingesetzt werden können. Bei der initialen Identifikation von Anwendungsfällen muss jedoch berücksichtigt werden, dass die am besten geeignete Technologie jeweils im Einzelfall ermittelt werden muss. (Zu Anwendungsfällen vgl. 03 für weitere Informationen)
- **Potenzielle H₂-Bezugsquellen, Transportwege und Infrastrukturen initial identifizieren**
Die Versorgung mit grünem H₂ kann aus verschiedenen Quellen erfolgen. Eine (anteilige) Erzeugung vor Ort kann gelingen, wenn ausreichend Strom aus erneuerbaren Energien verfügbar ist. Daneben sind Import und Verteilung von grünem H₂ über den multimodalen Anschluss des Hafens (Schiff, LKW, Zug) oder leitungsgebunden möglich, sofern entsprechende Gasleitungen verfügbar sind, bzw. umgerüstet oder aufgebaut werden können. (Zur Versorgung vgl. 04 für weitere Informationen)
- **Identifizieren, welche Elemente der Wertschöpfung in einer Wasserstoffwirtschaft durch lokale Akteure besetzt oder unterstützt werden könnten:**
 - **(Grüne) Energieerzeugung**
Beispiele: Lokale Energieversorger wie Stadtwerke, Große Energieversorger, Besitzer*innen von freien Flächen für PV-Anlagen
 - **H₂-Erzeugung (lokal)**

Beispiele: Lokale Energieversorger wie Stadtwerke, überregionale Energieversorger, Industrieunternehmen

- **Externer Bezug von grünem H₂**
Beispiele: Anbieter von Gasen, überregionale Energieversorger
- **H₂-Transport**
Beispiele: Speditionen und Logistikunternehmen (Trailer mit ADR-Zulassung), Bahntransportunternehmen, Reedereien, Gasnetzbetreiber, Terminalbetreiber, Energieversorger, Tankstellenbetreiber
- **H₂-Speicherung**
Beispiele: Energieversorger, Gasnetzbetreiber, Industrieunternehmen
- **H₂-Nutzung**
Beispiele: Logistikunternehmen, Speditionen, Reedereien, Verkehrsbetriebe, Terminalbetreiber, Industrieunternehmen, Gebäudebetreiber, Energieversorger
- **Weitere Akteure identifizieren, die für die Entwicklung einer Wasserstoffwirtschaft relevant sein können**
 - **Akteure zur Schaffung von Rahmenbedingungen**
Beispiele: Kommunale und regionale Verwaltung, Hafenbetreiber
 - **Akteure zur Vernetzung**
Beispiele: Intermediäre wie Wirtschaftsförderer, Kammern
 - **Akteure aus Forschung und Entwicklung**
Beispiele: Forschungseinrichtungen, Beratungs- und Entwicklungsdienstleister
- **Lokale Stärken identifizieren**
Für einen erfolgreichen Aufbau einer Wasserstoffwirtschaft ist es wichtig, lokale Stärken auszunutzen. Dazu gehören beispielsweise besondere fachliche Kompetenzen im Bereich der Energiewirtschaft (z.B. Forschung und Entwicklung), vorhandene Erdgasleitungen, erneuerbare Stromquellen, engagierte Akteure, Investoren, Vernetzung der Akteure im Hafen, gute Anbindung an große Seehäfen, große Energieverbraucher im Umfeld, Akteure mit Erfahrung im Umschlag von Gefahrgut

Leitfragen:

- 1) Welche Rollen in der Wertschöpfungskette können im direkten Umfeld des Hafens besetzt werden?
- 2) Welche Akteure sind strategisch besonders bedeutsam für den Hafen?
- 3) Gibt es im direkten Umfeld Unternehmen mit erhöhtem Energiebedarf, die als H₂-Verbraucher in Frage kommen?
- 4) Gibt es im Hafen Unternehmen mit Erfahrungen und Kapazitäten im Umschlag und der Lagerung von Gefahrgut?
- 5) Welche potenziellen H₂-Quellen und Transportwege kommen grundsätzlich in Frage?
- 6) Welche Stärken zeichnen das Umfeld des Hafens aus?

02 Ein Netzwerk aufbauen

Der Aufbau neuer Technologien und Infrastrukturen für die Versorgung und Nutzung von Wasserstoff sind mit Unsicherheit und hohen Investitionen verbunden. Ein mög-

lichst synchroner Aufbau eines Angebots bzw. der Bereitstellung von Wasserstoff einerseits und einer Nachfrage bzw. Nutzung andererseits müssen gelingen, um die Bereitschaft der Akteure für einen Markthochlauf zu stärken und damit verbundene wirtschaftliche Risiken abzumildern. Ein Netzwerk von Partnern kann diese Herausforderungen gemeinsam adressieren und so die richtigen lokalen Rahmenbedingungen für den Aufbau einer Wasserstoffwirtschaft schaffen. Auch die Vernetzung mit überregionalen Akteuren ist wichtig, um beispielsweise mögliche Lieferanten und/oder Abnehmer für im Hafen umgeschlagenen Wasserstoff zu identifizieren.

Aktivitäten:

- **„Kümmerer“ identifizieren**
Eine zentral koordinierte Vernetzung und Kommunikation zwischen den Akteuren, entweder durch einen einzelnen Akteur, oder eine Gruppe von Akteuren, kann Transparenz schaffen und ein strukturiertes Vorgehen begünstigen. Wichtig ist hierbei, dass der/die Verantwortliche(n) in der Position ist/sind, die gemeinsamen Interessen der Beteiligten und des Hafens insgesamt zu wahren.
- **Vernetzung zwischen den Akteuren vor Ort**
Koordiniert durch den/die „Kümmerer“ wird ein lokales Akteurs-Netzwerk aufgebaut. Im Netzwerk sollten zum einen möglichst viele Elemente der H₂-Wertschöpfungskette abgedeckt werden. Zum anderen sollten kommunalpolitische Entscheidungsträger*innen eingebunden werden. Auch die Einbeziehung von möglichst großen und bekannten Unternehmen kann von Vorteil sein – diese sind häufig investitionsstark und sorgen für eine gesteigerte Außenwahrnehmung.
- **Gemeinsame Ziele definieren und Grobkonzept entwerfen**
Im Netzwerk sollten insbesondere die bestehenden Kompetenzen, Ressourcen und Interessen der Akteure sichtbar gemacht werden, um daraus gemeinsame Ziele, Ansätze und erste Konzepte entwickeln zu können. So wird eine Grundlage geschaffen, Investitionen und damit verbundene Risiken zu teilen, Ressourcen zu bündeln und Kapazitäten optimal auszunutzen.
- **Vernetzung mit überregionalen Akteuren**
Eine Vernetzung mit überregionalen Akteuren ist auf verschiedenen Ebenen wichtig, um den Aufbau einer Wasserstoffwirtschaft im Binnenhafen zu stärken:
 - **Akteure, die eine aktive Rolle in der Wertschöpfung übernehmen können**
Diese können dabei helfen Lücken in der Wertschöpfungskette zu schließen um den Hafen als überregionalen Umschlagsort für H₂ zu etablieren.
 - **Anbieter von Technologien und Expertise**
Diese können bereits in einer frühen Phase einen Überblick über potenzielle technologische Lösungen, die es zum Aufbau einer Wasserstoffwirtschaft braucht, bieten.
 - **Akteure im (förder-)politischen Umfeld**
Hier ist eine frühzeitige Vernetzung wichtig, um zum einen Möglichkeiten einer öffentlichen Förderung vorzubereiten. Zum anderen werden auf der politischen Ebene die Grundlagen für zukünftige Importe von H₂ aus dem Ausland entwickelt. Relevante Ansprechpartner auf dieser Ebene sind beispielsweise Ministerien, Projektträger, Programmgesellschaften wie die NOW GmbH oder Innovationsagenturen wie die e-mobil BW.
 - **Bestehende Akteursnetzwerke und Aktivitäten**

Ebenfalls relevant ist eine Vernetzung mit bestehenden Modell-Regionen (wie bspw. den HyLand Regionen), Innovationsclustern und sonstigen Akteursnetzwerken und Vorhaben, die in relativer räumlicher Nähe bzw. mit Anbindung zum Hafen bereits im Bereich H₂ aktiv sind.

Leitfragen:

- 1) Wie kann ein Netzwerk organisiert werden und wer übernimmt die Rolle des/der „Kümmerer(s)“?
- 2) Welche engagierten, bekannten und/oder investitionsstarken Akteure können „Zugpferde“ des Netzwerks werden?
- 3) Welche Ziele gibt es unter den Akteuren und wie können diese in ein gemeinsames Grobkonzept einfließen?
- 4) Welche überregionalen Akteure könnten Lücken in der Wertschöpfung schließen?
- 5) Wie können (förder-)politische Akteure in das Vorhaben eingebunden werden?
- 6) Welche bestehenden H₂-bezogenen Akteursnetzwerke und Aktivitäten gibt es im weiteren räumlichen Umfeld, die an Aktivitäten im Hafen angebunden werden könnten?

03 Die Anwendungsfälle planen

Das Umfeld von Binnenhäfen bietet verschiedene potenzielle Anwendungsfälle für (grünen) Wasserstoff, die zur Reduktion klimaschädlicher Emissionen beitragen können. Die Voraussetzung dafür ist, dass fossile Brennstoffe durch grünen Wasserstoff ersetzt werden. Die Anwendungsfälle können sowohl direkter Bestandteil des Hafenbetriebs sein, als auch in relativer räumlicher Nähe des Hafens, beispielsweise in angrenzenden Industriegebieten verortet werden. Als Umschlagplätze für multimodalen Güterverkehr sind Binnenhäfen auch als Standort für H₂-Tankstellen geeignet. Die folgende Abbildung zeigt eine Auswahl potenzieller H₂-Anwendungsfelder im Umfeld von Binnenhäfen.

<p>Industrie und Petrochemie</p> <ul style="list-style-type: none"> • Kraft- und Schmierstoffe z.B. Mineralölverarbeitung • Chemische Produkte (stoffliche Nutzung) z.B. Ammoniak, Kunststoffe, Stahl • Direkte energetische Nutzung z.B. Strom, Prozesswärme 	<p>Mobilität und Transport</p> <ul style="list-style-type: none"> • Wasserstoff-Verbrennungsmotoren z.B. LKW, Flurförderzeuge, Busse, Züge • Brennstoffzellen (BZ) z.B. PKW, Flurförderzeuge, Busse, LKW, Fähren, Schiffe, Züge, Umschlagsanlagen, Spezialfahrzeuge
<p>Stromsektor</p> <ul style="list-style-type: none"> • Stromspeicher z.B. für Stromerzeugungsanlage • Stromerzeugung z.B. Spitzenlastdeckung, wasserstofffähige Gasturbinen • Energiemanagement 	<p>Gebäude (Wärme und Strom)</p> <ul style="list-style-type: none"> • H₂-betriebene Heizkessel • Lokale KWK-BZ-Systeme • Zentrale KWK-BZ-Systeme • Beimischung zu Erdgas

Abb. 2 Potenzielle Anwendungsfelder von Wasserstoff im Umfeld von (Binnen-)Häfen, eigene Darstellung

Aktivitäten:

- **Anwendungsfälle identifizieren und bewerten**

Zunächst werden die potenziellen H₂-Anwendungsfälle im Hafenumfeld identifiziert. Pro Anwendungsfall ist zu bewerten, ob Wasserstoff und die damit verbundenen Technologien grundsätzlich eine mehrwertstiftende Lösung darstellen. Bei einer Bewertung der Anwendungsfälle für einen Einsatz von Wasserstoff(-technologien) sind insbesondere folgende Faktoren zu prüfen:

- **Prozessuale und technische Eignung für den spezifischen Anwendungsfall und Verfügbarkeit der Technologien**

Die Anwendungsfälle sollten in Hinblick auf technische und prozessuale Anforderungen wie Energieeffizienz, Reichweiten oder Tank- und Ladezeiten überprüft werden. Ist grundsätzlich auch eine (batterie-)elektrische Umsetzung denkbar, bietet diese in der Regel eine bessere Energieeffizienz und geringere Treibstoffkosten als der Einsatz von Wasserstoff. Dabei muss grundlegend auch geprüft werden, ob und welche geeigneten Technologien am Markt verfügbar sind. So sollen beispielsweise Schiffe mit (Flüssig-)Wasserstoff Antrieb im Jahr 2022 erstmals verfügbar sein, während LKW mit Brennstoffzellenantrieb je nach Hersteller in den Jahren 2023-2027 in Serienfertigung gehen sollen.

- **Mehrwerte**

Die Einsparung klimaschädlicher Emissionen sind in der Regel ein zentraler Mehrwert für den Einsatz von grünem Wasserstoff. Diese sind in vielen Fällen auch mit politischen Vorgaben wie Klimazielen verknüpft. Grundsätzlich sollten Anwendungsfälle mit einem hohen Einsparpotenzial eher hoch priorisiert werden.

- **Genehmigungen und rechtliche Rahmenbedingungen**

Die Umsetzung von H₂-Anwendungsfällen ist teilweise mit infrastrukturellen (Bau-)Maßnahmen verknüpft. Bei der Auswahl der Anwendungsfälle sollte darauf geachtet werden, dass für die Standorte eine grundsätzliche Aussicht auf Erfüllung der Zulassungsverfahren wie der Baugenehmigung, der immissionschutzrechtlichen Genehmigung und Planfeststellung besteht.

- **Soziale Aspekte**

Die Schaffung von H₂-Anwendungsfällen kann auch soziale Aspekte nach sich ziehen. Zur Wahrung der sozialen Nachhaltigkeit sowie zur Förderung der Akzeptanz sollten beispielsweise damit verbundene Auswirkungen auf Arbeitsplätze berücksichtigt werden.

- **Wirtschaftlichkeit**

Erhebungen wie die zugrundeliegende Studie „H₂-Hafen Heilbronn (H₂HN)“ zeigen, dass die Kosten für Unternehmen eines der zentralen Entscheidungskriterien bei H₂-Anwendungsfällen darstellen. Dabei sind neben den Investitionskosten für die Anschaffung der benötigten Technologien auch Kosten für die Versorgungsinfrastruktur (wie z.B. H₂-Speicher) und die Betriebskosten zu berücksichtigen. Bei der Entscheidung sollte ein Vergleich zwischen verschiedenen Technologieoptionen gezogen werden. Im Allgemeinen wird beobachtet, dass Wasserstofftechnologien im Jahr 2022 noch deutlich teurer als etablierte Technologien sind, die mit fossilen Brennstoffen betrieben werden. Grundsätzlich kann jedoch prognostiziert werden, dass die Preise für Technologien mit einem voranschreitenden Markthochlauf und einer zunehmenden Verfügbarkeit von Serienprodukten fallen werden. Grüner Wasserstoff ist im

Jahr 2022 in der Beschaffung teurer als fossile Brennstoffe. Je nach Entwicklung der Erzeugungs- und Verteilinfrastruktur sowie der Kostenentwicklung bei fossilen Brennstoffen könnten in den Jahren 2030-2035 wirtschaftlich konkurrenzfähige Preise von unter 3 €/kg erzielt werden.¹

- **H₂-Bedarfe**

Der Wasserstoffbedarf der einzelnen Anwendungsfälle gibt ein wichtiges Indiz über den zeitlichen Horizont einer möglichen Umsetzung und die generelle Machbarkeit. Für einen stabilen Betrieb muss nicht nur die Deckung des regelmäßigen Bedarfs sondern auch die Kompensation möglicher Versorgungsausfälle über Sicherheitspuffer gewährleistet werden. Auch die Absicherung durch große Gasanbieter kann dabei helfen, kurzfristig Versorgungsausfälle zu kompensieren. Als Bewertungsgrundlage für den H₂-Bedarf der Anwendungsfälle können verschiedene potenzieller Anwendungsszenarien in unterschiedlichen Ausprägungen erstellt werden.

- **Strategische Planung durchführen**

Schließlich sollten die Anwendungsfälle durch die beteiligten Akteure priorisiert und deren schrittweise Umsetzung zeitlich geplant werden. Dabei sind insbesondere Anwendungsfälle erfolgsversprechend, die folgende Charakteristika aufweisen:

- Hohe Potenziale zur Einsparung von klimaschädlichen Emissionen oder andere besondere Mehrwerte.
- Möglichkeiten zur Kopplung mit weiteren Anwendungsfällen, z.B. durch eine gemeinsame H₂-Versorgung.
- Gute Möglichkeiten zur Integration in bestehende Energiesysteme, z.B. durch Nutzung von Energieüberschüssen oder Abwärme.
- Gute Möglichkeiten zur Finanzierung und Förderung, beispielsweise durch aktuelle öffentliche Förderprogramme und durch hohe politische Relevanz (fit zu Strategiepapieren wie der Nationalen Wasserstoffstrategie der Bundesregierung).
- H₂-Bedarfe, die voraussichtlich mit moderaten Investitionen in die Versorgungsinfrastruktur gedeckt werden können.
- Durchführung durch engagierte Akteure.

Leitfragen:

- 1) Welche Anwendungsfälle bieten die größten Mehrwerte?
- 2) Wie ist die Wirtschaftlichkeit der Anwendungsfälle zu bewerten?
- 3) Gibt es besonders gut geeignete Standorte im Hafenumfeld für Anwendungen und damit verbundene Teile der H₂ Infrastruktur?
- 4) Gibt es öffentliche Förderprogramme die Anwendungsfälle unterstützen können?
- 5) Wie ist der Anwendungsfall in der Wertschöpfungskette einzuordnen und welche Partner (vor- und nachgelagert) brauche ich zur Umsetzung?
- 6) Wie können die Anwendungsfälle in ein strategisches Gesamtkonzept integriert und miteinander gekoppelt werden?

¹ Vgl. Wood Mackenzie (2020): Green hydrogen costs to fall by up to 64% by 2040

04 Die Versorgung planen

Die H₂-Versorgung ist für Binnenhäfen auf zwei Ebenen relevant: Einerseits müssen Infrastrukturen geschaffen werden, um mögliche Anwendungsfälle im Hafenumfeld zu versorgen. Andererseits kann der Hafen als Güterumschlagsplatz Bestandteil einer überregionalen H₂-Versorgung sein. Für beide Ebenen ist es wichtig, nachhaltige und zuverlässige Lösungen für H₂-Speicherung und Transport zu schaffen. Auch eine Erzeugung vor Ort ist bei einer ausreichenden Verfügbarkeit von grünem Strom denkbar. Entscheidend für die Auswahl geeigneter Versorgungskonzepte sind neben den grundsätzlich infrastrukturell verfügbaren Transportwegen auch die benötigten Mengen Wasserstoff. Die Folgende Abbildung gibt einen Überblick über mögliche zukünftige H₂-Transportwege in (Binnen-)häfen sowie eine grobe Charakterisierung.

	H ₂ -Formen	Umsetzung	Transportkapazitäten	Transportdistanz	Sonstiges
Pipeline	gasförmig	langfristig, hohe Investitionen	sehr groß	mittel - sehr groß	Netz hat Speicherwirkung
Straße	gasförmig, flüssig, chemisch gebunden	kurzfristig, schrittweise Investitionen	eher gering	klein	Container oder Tanker möglich, bisher nur konventionelle Antriebe
Schiene	gasförmig	mittelfristig, schrittweise Investitionen	mittel	klein - mittel	Entladeterminale und Schieneninfrastruktur müssen vorhanden sein
Wasserstraße	gasförmig, flüssig, chemisch gebunden	langfristig, hohe Investitionen	groß	mittel - sehr groß	passende Infrastruktur und Anbindung notwendig

Abb. 3 Transportwege von Wasserstoff und Charakterisierung (Stand 2022), eigene Darstellung

Aktivitäten:

- **Möglichkeiten für H₂-Erzeugung, Transport und Bereitstellung identifizieren und bewerten**

Bei den Erzeugungs- und Logistikkonzepten stehen die Ermittlung der H₂-Erzeuger und die Evaluation möglicher Transportmittel im Zentrum der Betrachtung. Dabei müssen die lokalen Gegebenheiten wie Freiflächen oder der Anschluss an die Verkehrsinfrastrukturen beachtet werden. Ziel ist es, zum einen die mögliche Erzeugungsleistung festzulegen. Diese hängt im Wesentlichen von dem verfügbaren grünen Strom, aber auch von Freiflächen für Erzeugungsanlagen wie Elektrolyseuren sowie weiteren Anlagen zur Verdichtung und Speicherung ab. Zum anderen muss entlang der Wertschöpfungskette bestimmt werden, welche externen Bezugsquellen bestehen und welche lokalen sowie externen Anwendungsfälle über einen Umschlag im Hafen versorgt werden müssen. Hierfür ist eine überregionale Vernetzung auf politischer und wirtschaftlicher Ebene besonders relevant. Je nach Rahmenbedingungen kommen unterschiedliche Transportwege in Frage (siehe Abbildung). Insbesondere müssen folgende Aspekte geprüft werden:

- **Vorhandene Infrastrukturen**

Die existierenden Infrastrukturen werden betrachtet, um deren Leistungsfähigkeit in Bezug auf das Handling von und die Versorgung mit Wasserstoff zu

ermitteln. Dabei werden insbesondere die verfügbaren Transportwege und damit verbundene Verkehrsträger, sowie die davon betroffenen Akteure (z.B. Reedereien und Speditionen) und deren Kompetenzen im Handling von Gefahrstoffen betrachtet. Für die Verteilung könnten auch bestehende Gasleitungen zur Verteilung von H₂ in Betracht gezogen werden. Diese können entweder dazu genutzt werden, ein Gemisch aus Wasserstoff und Erdgas zu transportieren (mit ca. 20-30% Anteil von H₂, insbesondere für die Anwendung in Gas-Heizungen) oder können für einen Transport von ausschließlich Wasserstoff umgerüstet werden. Für die Bereitstellung von Wasserstoff können bestehende Tankstellen umgerüstet bzw. erweitert werden. Als kleinere und flexiblere Variante ist auch der Einsatz von mobilen Tankstellen denkbar, die am Markt teilweise auch als „Pay-per-use“ Angebote verfügbar sind.

- **Am Markt vorhandene Technologien**

Die in der Abbildung dargestellten Transportwege werden mit Technologien umgesetzt werden, die teilweise noch nicht in Serienreife am Markt verfügbar sind (Stand 2022). Während flüssiger und insbesondere gasförmiger Wasserstoff bereits regelmäßig per LKW (Tank, Container) transportiert wird, sind Speicherung und Transport von chemisch gebundenem H₂ in LOHC (Liquid Organic Hydrogen Carriers) noch in der Entwicklung bzw. Erprobung. Bereits seit langem Etabliert hingegen ist der Transport von Ammoniak, beispielsweise per LKW oder Schiff, welcher durch seine chemische Zusammensetzung den Transport von Wasserstoff ermöglicht. Aufgrund der dynamischen Weiterentwicklung ist es also wichtig, sich einen Überblick über aktuell verfügbare Technologien zu schaffen.

- **Kapazitäten von grüner Stromerzeugung und Erzeugungseffizienz**

Ein relevanter Teilaspekt für die Versorgung mit Wasserstoff ist die Bedarfsdeckung über regional erzeugten (grünem) Wasserstoff. Dazu sind vorhandene Kapazitäten für die Produktion von grünem Strom nötig. Diese müssen in Hinblick auf Erzeugungseffizienz, die maximal erzeugbare Gesamtleistung und die tatsächlich abgerufene Leistung analysiert werden. Dabei muss berücksichtigt werden, dass eine grundsätzliche Konkurrenz zur direkten Verwendung des Stroms besteht und der für die H₂-Erzeugung verwendete Strom von der EEG-Umlage befreit wird (Stand 2022). Dabei muss auch ermittelt werden, zu welchen Kosten der Wasserstoff vor Ort erzeugt werden könnte und wie diese im Vergleich zu den Kosten bei einem externen Bezug zu bewerten sind. Im direkten Vergleich könnten beispielsweise anfallende Kosten für den Transport mit niedrigen Stromgestehungskosten an einem externen Erzeugungsort ausgeglichen werden.

- **Genehmigungen und rechtliche Rahmenbedingungen**

Bei der Planung und Umsetzung von H₂-Versorgungsinfrastrukturen müssen verschiedene rechtliche Rahmenbedingungen berücksichtigt werden. Diese sind in den folgenden Bereichen besonders relevant (Beispiele):

- **Lagerung und Umgang mit Wasserstoff**

Produktion: §93 Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG)

Infrastruktur: §28 und §113 Energiewirtschaftsgesetz (ENWG)

H₂ hat den Rang eines eigenen Energieträgers neben bspw. Erdgas

- **Umgang mit Wasserstoff**

Technische Regeln für Gefahrenstoffe TRGS 720 – 724 (ex Gemische)

TRGS 510 und 727

Regeln für Betriebssicherheit

TRBS 1201 und 2141

Aktivitäten:

- **Schrittweise Investitionen planen und unter Akteuren aufteilen**

Um die Kapitalbedarfe und damit verbundene Risiken für einzelne Akteure auf ein akzeptables Niveau zu begrenzen, sollten Investitionen möglichst schrittweise erfolgen und auf viele Akteure (unter Wahrung des gemeinsamen Nutzens) aufgeteilt werden. Dabei sollten Infrastrukturen und Anlagen, wenn möglich modular aufgebaut und eine schrittweise Skalierung der Anwendungsfälle angestrebt werden. Können einerseits Nutzer von H₂ Abnahmegarantien und andererseits Anbieter Preis- und Versorgungssicherheiten geben, besteht für alle beteiligten Akteure eine gesteigerte Sicherheit bei der Finanzierung von Investitionen.

- **Öffentliche Fördermöglichkeiten prüfen**

Ein wichtiges Instrument zur Finanzierung sind öffentliche Fördermöglichkeiten. Förderausschreibungen für Investitions- und Forschungsprojekte sollten regelmäßig gesichtet werden. Dabei ist zu beachten, dass die Zeiträume zwischen Bekanntmachung und Einreichung häufig wenige Wochen bis Monate betragen. Im Idealfall sollten Partnernetzwerk und Grobkonzept zum Zeitpunkt der Bekanntmachung bereits bestehen, sodass im Zuge der Skizzenerstellung primär eine Ausarbeitung erfolgen kann. Dabei muss jedoch berücksichtigt werden, dass Förderungen in vielen Fällen nur erste Investitionen und/oder zeitlich begrenzte Anlaufphasen unterstützen. Ein dauerhaft finanzierter Betrieb muss also nach wie vor sichergestellt werden. Geplante zukünftige Förderschwerpunkte können grundsätzlich anhand von Strategiepapieren, wie der Nationalen Wasserstoffstrategie der Bundesregierung oder Roadmaps auf Landesebene abgeleitet werden. Vorhaben, welche zu den Schwerpunkten in politischen Strategiepapieren passen, haben in der Regel eine bessere Aussicht auf Förderung. So werden beispielsweise Brennstoffzellenantriebe bei Schiffen und der Ausbau der Verteilinfrastruktur (wie beispielsweise in flüssiger Form, oder chemisch gebunden über Ammoniaktankschiffe) in der nationalen Wasserstoffstrategie als strategische Zukunftsmärkte genannt.² Für die Identifikation öffentlicher Fördermöglichkeiten sind beispielsweise die Bekanntmachungen der folgenden Institutionen und Förderinstrumente regelmäßig zu sichten:

- EU-Innovationsfond
- NOW GmbH (insbesondere Nationales Innovationsprogramm Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie)
- Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK)
- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (BMUV)
- Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)
- Bundesministerium für Digitales und Verkehr (BMDV)
- Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg (bzw. vergleichbares Ministerium in anderen Bundesländern)
- Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Tourismus Baden-Württemberg (bzw. vergleichbares Ministerium in anderen Bundesländern)

- **Möglichkeiten zur Kopplung mit anderen Vorhaben prüfen und Synergien nutzen**

Vorhaben zum Aufbau einer Wasserstoffwirtschaft sollten, wenn möglich miteinander gekoppelt werden. Dies betrifft beispielsweise die gemeinsame Nutzung von Infrastrukturen zur Versorgung, oder Wissen, dass übergreifend genutzt werden

² Vgl. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) (2020): Nationale Wasserstoffstrategie,

kann. Auch „Nebenprodukte“ wie beispielsweise Abwärme, oder bei der H₂-Erzeugung durch Elektrolyse abgespaltener Sauerstoff können verwertet werden, beispielsweise bei der Abwasseraufbereitung in Kläranlagen. Werden mehrere öffentlich geförderte Vorhaben miteinander verknüpft, muss jedoch die Vermeidung einer Doppelförderung sichergestellt werden.

- **Große, investitionsstarke Unternehmen einbeziehen**

Kapitalstarke Unternehmen bieten für ein H₂-Ökosystem die Chance, den Aufbau von Infrastrukturen durch Investitionen zu unterstützen – beispielsweise durch den Aufbau einer H₂-Tankstelle, die nicht nur für die Versorgung des eigenen Fuhrparks genutzt, sondern auch für Dritte geöffnet werden kann. Auch die Wahrnehmung von Förder- und Kapitalgebern kann für Projektkonsortien durch die Einbeziehung großer, kapitalstarker und namhafter Unternehmen positiv gestärkt werden.

- **Möglichkeiten für nachhaltige Finanzierungsinstrumente prüfen**

Zur Finanzierung von Vorhaben, die einen Bezug zu den ESG-Kriterien (Environmental, Social, Governance) haben, werden in Anlehnung an den „Aktionsplan Nachhaltige Finanzierung“ der Europäischen Kommission Finanzierungsinstrumente vorwiegend durch Kreditinstitute herausgegeben. Diese bieten unter Umständen günstige Konditionen und sollten für die Finanzierung von Vorhaben geprüft werden.

Leitfragen:

- 1) Wie können die Investitionen aufgeteilt werden und möglichst schrittweise erfolgen?
- 2) Welche öffentlichen Förderprogramme können genutzt werden?
- 3) Wie können Vorhaben miteinander gekoppelt, Synergien genutzt und mögliche „Nebenprodukte“ verwertet werden?
- 4) Gibt es kapitalstarke Akteure, die Investitionen zum Nutzen für das Ökosystem tätigen können?
- 5) Kann eine Finanzierung über nachhaltige Finanzierungsinstrumente erfolgen, die besonders günstige Konditionen bieten?

06 Die Akzeptanz managen

Ein wichtiger Baustein für den Aufbau einer Wasserstoffwirtschaft am Hafen ist die Akzeptanz dieses Energieträgers, damit verbundener Technologien und Veränderungen. Die Akzeptanz muss sowohl von direkt betroffenen Akteuren ausgehen, die beispielsweise Teil des H₂-Ökosystems sind, als auch von indirekt betroffenen, die im Umfeld von H₂-Speichern, Tankstellen oder anderen Anlagen ansässig sind. Neben Unternehmen und öffentlichen Akteuren muss hierbei auch die Bevölkerung berücksichtigt werden. Eine erfolgsversprechende Möglichkeit zur Erzeugung von Akzeptanz ist die frühzeitige Einbindung aller Akteure in Form von prospektivem Akzeptanzmanagement bereits in der Planungsphase.

Aktivitäten:

- **Zielgruppen identifizieren**

Dabei muss festgelegt werden, welche Akteure grundsätzlich vom Aufbau einer Wasserstoffwirtschaft in Binnenhäfen betroffen sind. Dazu zählen beispielsweise:

- **Akteure, die Teil der Wertschöpfung sind**
- **Lokale Akteure in der direkten Umgebung des Hafens** wie z.B. Unternehmen, Anwohner*innen, öffentliche Institutionen mit Sitz in Hafennähe
- **Öffentliche Institutionen, die von den Aktivitäten direkt betroffen sind** bzw. in Entscheidungsprozessen beteiligt werden müssen
- **Sonstige Akteure**, z.B. Intermediäre, die als Multiplikatoren agieren können
- **Akzeptanzbedingende Faktoren identifizieren und bewerten**
Dazu zählen z.B. Umweltwirkungen und Raumwirksamkeit der geplanten Aktivitäten (z.B. Lärm, wahrgenommene Sicherheit, Bebauung), Zuverlässigkeit der geplanten Technologien, Systeme und der Versorgung, politische Rahmenbedingungen wie die generelle Einstellung von Entscheidungsträgern und Förderbedingungen oder Planungssicherheit.
- **Identifikation von Möglichkeiten des Akzeptanzmanagements**
In Abhängigkeit der vorgenommenen Bewertung werden Maßnahmen abgeleitet, welche gezielt zu einer Steigerung der Akzeptanz beitragen. Dabei muss insbesondere entschieden werden, in welchen Bereichen dies informationsbasiert oder unter aktiver Beteiligung der Zielgruppen umgesetzt werden soll.
- **Durchführung von akzeptanzsteigernden Maßnahmen**
Diese sollten möglichst frühzeitig und zielgruppenspezifisch umgesetzt werden. Dabei ist wichtig, dass diese glaubwürdig gestaltet und Reaktionen der Beteiligten berücksichtigt werden. Dabei können beispielsweise folgende Ansätze gewählt werden:
 - **Über geplante Aktivitäten öffentlich informieren**, z.B. über Medien und Veranstaltungen
 - **Allgemeine Informations- und Aufklärungsveranstaltungen zum Thema H₂ durchführen**, z.B. mit Expertenvorträgen
 - **Akteure durch interaktive Formate am Planungs- und Entwicklungsprozess beteiligen**, z.B. in Form von Workshops und Bürgerdialogen
 - **Demonstratoren zur anschaulichen Vermittlung der Technologien einsetzen**, z.B. im Rahmen von Roadshows

Leitfragen:

- 1) Was sind die zentralen Zielgruppen eines Akzeptanzmanagements?
- 2) Welche Faktoren nehmen Einfluss auf die Akzeptanz der Zielgruppen auf die geplanten Wasserstoffaktivitäten?
- 3) In welchem Umfang müssen die Zielgruppen in die Planung eingebunden werden?
- 4) Welche Maßnahmen und Formate eignen sich für ein prospektives Akzeptanzmanagement?
- 5) Wie müssen diese zielgruppenspezifisch gestaltet werden?

07 Umsetzen und kontinuierlich skalieren

Schließlich werden die geplanten Maßnahmen und Aktivitäten zum Aufbau einer Wasserstoffwirtschaft im Binnenhafen schrittweise umgesetzt. Hierbei sind besonders eine regelmäßige Erfolgskontrolle, die Ertüchtigung von Beteiligten Institutionen und Personen, eine transparente Kommunikation sowie eine kontinuierliche Weiterentwicklung und Anpassung der geplanten Schritte wichtig. Neue Fördermöglichkeiten, neue Bezugsquellen für H₂, geänderte politische Rahmenbedingungen und eine Weiterentwicklung der Technologien und Infrastrukturen können neue Ansätze ermöglichen oder Anpassungen in der Strategie erfordern.

Aktivitäten:

- **Qualifizierungsangebote schaffen und nutzen**
Ein sicherer operativer Umgang mit Wasserstofftechnologien erfordert eine fachliche Qualifizierung des direkt und indirekt betroffenen Personals. Berücksichtigt werden müssen dabei beispielsweise notwendige Kenntnisse über einen sicheren Umgang mit Technologien (z.B. Hochvoltschulung für Brennstoffzellenfahrzeuge) und Wartungsaufgaben für Mitarbeitende der direkt beteiligten Akteure. Auch Organisationen wie die Feuerwehr müssen geschult werden, um mögliche Notfallsituationen sicher lösen zu können. Um eine erfolgreiche Qualifizierung zu ermöglichen sind beispielsweise Kammern ein wichtiger Partner.
- **Erfolgskontrolle und Begleitforschung durchführen**
Ein sicherer und erfolgreicher Betrieb muss anhand von definierten Messparametern überwacht werden. Relevant sind dabei beispielsweise verbrauchte H₂-Mengen, Ausfälle von Anlagen und in der Versorgung, Emissionen, die Akzeptanz, Wartezeiten oder die Entwicklung von Kosten. Die gewonnenen Erkenntnisse können anschließend aufbereitet und auf weitere Bereiche übertragen werden. Gerade in frühen Phasen des Markthochlaufs ist eine (ggf. öffentlich geförderte) Begleitforschung durch Forschungseinrichtungen wertvoll, um gewonnene Erkenntnisse öffentlich zugänglich zu machen und so die Entwicklung einer Wasserstoffwirtschaft grenzüberschreitend unterstützen zu können.
- **Marketing und Kommunikation durchführen**
Für die Förderung einer positiven (öffentlichen) Wahrnehmung sowie die Forcierung einer weiteren Vernetzung sollten Projektaktivitäten und Erfolge kommuniziert und vermarktet werden. Mögliche Kanäle sind die regionale und überregionale Presse, eine gemeinsame Onlinepräsenz, Veranstaltungen oder spezialisierte Webinare für Wasserstoffwirtschaft, welche durch einige Anbieter regelmäßig öffentlich zugänglich durchgeführt werden.
- **Weitere Infrastrukturen und neue Anwendungsfälle aufbauen und integrieren**
Neue Technologien und Akteure, eine zunehmende Verfügbarkeit von grünem Wasserstoff, sinkende Kosten, neue Rahmenbedingungen und eine zunehmende Bekanntheit und Akzeptanz bieten in diesem dynamischen Umfeld viele Chancen, das Wasserstoff-Ökosystem auszubauen. Diese sollten dafür genutzt werden, die geplanten Aktivitäten weiterzuentwickeln. Dabei können möglicherweise mittelfristig auch bisherige Infrastrukturen zur Versorgung wegfallen bzw. durch effizientere Alternativen ersetzt werden. Für eine stabile Entwicklung sind weiterhin eine langfristige Planung, eine transparente Kommunikation und ein starkes Akteursnetzwerk mit Unterstützung aus Wirtschaft, Politik und Verwaltung wichtig und müssen gepflegt werden.

Leitfragen:

- 1) Welche Kompetenzbedarfe bestehen für eine erfolgreiche Umsetzung, welche Qualifizierungsmaßnahmen eignen sich und welche Partner können dabei unterstützen?
- 2) Sind alle Rahmenbedingungen wie beispielsweise Genehmigungen und eine sichere Versorgung geklärt?
- 3) Welche Kenntnisse und Erfahrungen können aus ersten Erprobungen gezogen werden und wie können diese (auch durch Dritte) genutzt werden?
- 4) Wie können Erfolge vermarktet werden?
- 5) Wie entwickeln sich wichtige Rahmenbedingungen und wie können diese für die Weiterentwicklung genutzt werden?
- 6) Wie kann sichergestellt werden, dass das Akteursnetzwerk dauerhaft transparent und aktiv bleibt?