

Modul 1:

Kurzgutachten mit einer Analyse der regionalen Wertschöpfungskette und Handlungsempfehlungen

Autor: Dr. Thomas Kattenstein, Patrick Krieger, Dr. Frank Koch

Datum: 18. Januar 2021

Inhalt

0	Executive Summary	3
1	Einleitung	4
2	Analyse der regionalen Wertschöpfungsketten	4
2.1	Wasserstoffproduktion	6
2.2	Wasserstoffübertragung, -verteilung und -speicherung	10
2.3	Wasserstoffnutzung in der Industrie	14
2.4	Wasserstoff und Brennstoffzelle im Verkehr	17
2.5	Wasserstoffanwendung für die Strom- und Wärmeerzeugung	22
2.6	Forschung und Entwicklung, Anwendungs- und Testzentren	24
3	Kommunen, Netzwerke, Cluster	26
4	Gesamtheitliche Rückschlüsse und Handlungsempfehlungen	27

0 Executive Summary

Im vorliegenden Kurzgutachten werden eine Bestandsanalyse der regionalen Wertschöpfungskette im Bereich Wasserstoff für die Metropole Ruhr vorgenommen und darauf basierend Handlungsempfehlungen abgeleitet. Im Ergebnis ist die Metropole Ruhr sehr gut im gesamten Ökosystem Wasserstoff von der Wasserstoffproduktion über die Infrastruktur bis hin zur Anwendung in den Segmenten Industrie, Verkehr sowie Strom- und Wärmeerzeugung aufgestellt. Dies betrifft sowohl den Bereich der Hersteller und Zulieferer von Anlagen, Systemen und Komponenten als auch die Anwenderseite (u.a. im Bereich der Stahl- und Chemieindustrie sowie der Verkehrsanwendungen). Hintergrund sind die industrielle Stärke des Ruhrgebietes mit jahrzehntelanger Erfahrung beim Umgang mit Wasserstoff inkl. bestehender Infrastrukturen, die Erfahrungen im Anlagenbau und in der Energieversorgung und nicht zuletzt die hohe Nachfrage an Verkehrsdienstleistungen (Straße, Schiffe, Schiene) mit hohen Ansprüchen an Klimaschutz und Schadstoffminderungen. Zudem zeichnet sich die Metropole Ruhr durch eine deutschlandweit führende Forschungslandschaft im Wasserstoffbereich aus, die technisches Know-how schafft und hochqualifizierte Absolventen hervorbringt. Nicht zuletzt sind im kommunalen Umfeld bereits vielfältige Aktivitäten im Bereich Wasserstoff entstanden, die Klimaschutz mit lokaler Wertschöpfung verbinden.

Um die gesamten Wasserstoffaktivitäten an der Ruhr auf die nächste Stufe zu heben, werden konkret zwei Handlungsempfehlungen gegeben: zum einen sollten im Rahmen einer „Kordinierungsstelle Wasserstoff Ruhr“ die relevanten Akteure im Ökosystem Wasserstoff weiter zusammengeführt werden, um die vielfältigen Aktivitäten der Metropole Ruhr von Großindustrie bis Start-ups, von Forschungseinrichtungen bis kommunale Initiativen weiter zu verknüpfen und zu verstärken. Hierzu gehören u.a. umfassende Beratungsleistungen bei der Projektinitiierung und bei Förderfragen. Zum anderen gilt es, einen Fahrplan für die Metropole Ruhr – eine „Wasserstoff Roadmap Ruhr“ – zu entwickeln, die basierend auf klaren Zielsetzungen (bspw. für die Jahre 2025 und 2030) konkrete Handlungsansätze und Meilensteine – in Anlehnung an die Wasserstoff Roadmap NRW – für die einzelnen Bereiche des Ökosystems Wasserstoff im Ruhrgebiet enthält.

1 Einleitung

Das Thema Wasserstoff (H₂) hat insbesondere im zurückliegenden Jahr 2020 nicht nur in Fachkreisen, sondern auch bei Entscheidungsträgern aus Politik und Wirtschaft enorm an Bedeutung gewonnen. Dies zeigt sich u.a. durch die Veröffentlichung von spezifischen Wasserstoffstrategien und Roadmaps in der EU, Deutschland und in Nordrhein-Westfalen mit ambitionierten Zielsetzungen für die Wasserstoffproduktion, -infrastruktur und -anwendung in den verschiedenen Sektoren. Darüber hinaus sind bereits bedeutende Aktivitäten auf Unternehmensseite umgesetzt bzw. zumindest angekündigt worden. Hieraus lässt sich ableiten, dass Wasserstoff – immer grüner werdend – zur Erreichung einer Klimaneutralität im Jahr 2050 in allen Sektoren Industrie, Verkehr, Energie und Wärme unabdingbar ist.

Die Metropole Ruhr weist beim Thema Wasserstoff jahrzehntelange Erfahrungen hinsichtlich Erzeugung, Verteilung und Anwendung insbesondere in der (petro-) chemischen Industrie auf. Auch die deutschlandweit längste industrielle Wasserstoffpipeline (240 km) verbindet Chemiestandorte an der Ruhr mit dem Rheinland. Die Umstellung dieses bisher emissionsbehafteten grauen Wasserstoffs auf grüne Quellen wird ergänzt durch vielfältige neue Erzeugungs- und Anwendungsmöglichkeiten für Wasserstoff. Hier sind vor allem die Stahlindustrie, die Mobilität, die Erzeugung an ehemaligen Kraftwerksstandorten und die Versorgung von Quartieren zu nennen.

Viele Akteure – Großunternehmen und KMU sowie Forschungseinrichtungen und Kommunen – sind bereits beim Thema Wasserstoff in den vorgenannten Bereichen aktiv. Viele neue Akteure können noch zusätzlich an der Wertschöpfungskette des Wasserstoffs („Ökosystem Wasserstoff“) beteiligt und miteinander vernetzt werden. Dies betrifft sowohl die Seite der Betreiber und Anwender von Wasserstofftechnik als auch die Hersteller von Anlagen und Systemen sowie die Zulieferer von Komponenten.

Vor diesem Hintergrund ist das Ziel des vorliegenden Kurzgutachtens, eine □Bestandsanalyse der vorhandenen Wasserstofflandschaft im Ruhrgebiet (Wertschöpfungskette, Akteure, Projekte, Netzwerke & Initiativen) durchzuführen, Synergiepotenziale und vorhandenen Vernetzungs- und Beratungsbedarf für Unternehmen und Kommunen zu identifizieren und hieraus neue Arbeitsfelder für die Business Metropole Ruhr (BMR) vor dem Hintergrund der Wirtschaftsförderung abzuleiten.

2 Analyse der regionalen Wertschöpfungsketten

Die Metropole Ruhr weist hervorragende Randbedingungen auf, das Ökosystem Wasserstoff entlang der gesamten Wertschöpfungskette (s. Abbildung 1) aufzubauen:

- **H₂-Produktion:**
heimische Erzeugungspotenziale, Hersteller und Energieversorger

- **H2-Übertragung, -Verteilung und -Speicherung:**
hervorragendes Energieinfrastrukturnetz mit Anbindung an zentrale Windstandorte, dichtes Verteilnetz, H2-Industriepipeline, Häfen als Importhubs
- **H2 in der Industrie:**
vielfältige Industrien mit hoher Wasserstoffnachfrage (Stahl, Chemie, Raffinerie)
- **H2 im Verkehr:**
hohe Verkehrsdichte mit hohem H2-Anwendungspotenzial (Straße, Schiffe, Schiene)
- **H2 für Strom und Wärme:**
Kraftwerkstandorte mit guter infrastruktureller Anbindung, Wasserstoffnachfrage durch vorhandene Quartiere
- **F&E, Anwendungs- und Testzentren:**
hervorragende Forschungslandschaft und vorhandene Zentren zur Unterstützung von Unternehmen/KMU und Start-ups sowie ansiedlungsinteressierter Unternehmen

Die Wasserstoff Roadmap NRW liefert interessante Kennzahlen für die Metropole Ruhr. So wird hier der Wasserstoffbedarf in NRW für die angestrebte Klimaneutralität im Jahre 2050 auf über 100 TWh/a (entspricht 3 Mio. t/a) beziffert. Die Metropole Ruhr wird hier als ein Schwerpunkt betrachtet, allein der Großraum Duisburg verursacht rund 30 % der H2-Nachfrage NRWs. Zudem können laut Wasserstoff Roadmap NRW in Nordrhein-Westfalen bis zu 130.000 Arbeitsplätze durch Wasserstoff entstehen. Aufgrund der Randbedingungen in der Metropole Ruhr kann davon ausgegangen werden, dass mindestens ein Drittel hiervon für das Ruhrgebiet erschlossen werden kann.

Diese vorgenannten Randbedingungen und Zahlen geben Anlass, im Folgenden die einzelnen Bereiche des Ökosystems Wasserstoff mit spezifischen Potenzialen für die Metropole Ruhr eingehender zu analysieren.



Abbildung 1: Gesamte Wertschöpfungskette im Ökosystem Wasserstoff

2.1 Wasserstoffproduktion

Wasserstoff kann aus verschiedenen Rohstoffen und durch verschiedene Technologien produziert werden. Zur Erreichung der ambitionierten Klimaziele muss langfristig vor allem grüner Wasserstoff zum Einsatz kommen. Von grünem Wasserstoff spricht man vor allem bei Wasserstoff, der durch Elektrolyse aus erneuerbarem Strom (und Wasser) hergestellt wird. Zur elektrolytischen Spaltung von Wasser sind verschiedene Technologien verfügbar.

Elektrolyse

Die alkalische Elektrolyse ist ein Prozess, der seit über 100 Jahren industriell angewendet wird. Die Methode ist vor allem im stationären Dauerbetrieb erprobt und das Technology Readiness Level (TRL) liegt bei 9. Diese Technologie basiert auf der Chlor-Alkali-Elektrolyse, in der der Dortmunder Hersteller Thyssenkrupp Uhde Chlorine Engineers (**TKUCE**) einer der zwei Weltmarktführer ist. Eine weitere Elektrolysetechnologie funktioniert mit einer Protonen-Austausch-Membran (PEM, engl. Proton Exchange Membrane). Die PEM-Elektrolyse kommt seit über 20 Jahren in verschiedenen Nischenanwendungen zum Einsatz. Durch die Möglichkeit eines dynamischen Betriebs eignet sich die PEM-Elektrolyse in besonderer Weise für die Sektorenkopplung. Ihr TRL liegt derzeit bei 6-8. Beide Verfahren funktionieren bei relativ niedrigen Temperaturen zwischen 50 – 80 °C. Als drittes Verfahren ist die Hochtemperaturelektrolyse zu nennen, die bei 800 °C betrieben wird. Wenn die Hochtemperaturelektrolyse in Verbindung mit einer Abwärmequelle betrieben werden kann, kann ein sehr hoher elektrischer Wirkungsgrad von rund 78 % (bezogen auf den Heizwert von Wasserstoff, z. Vgl. PEM ca. 62 %) erreicht werden. Ihr TRL liegt bei 4 – 6. Ein noch junges oder wenig erforschtes Verfahren ist die Elektrolyse mittels Anionen-Austausch-Membran (AEM, engl. Anion Exchange Membrane), die das nun auch im münsterländischen Saerbeck ansässige Unternehmen **Enapter** entwickelt. Zudem fällt bereits heute Wasserstoff als Nebenprodukt in der chemischen Industrie bei der o.g. ausgereiften Chlor-Alkali-Elektrolyse an (z.B. im Chemiepark Marl).

Weitere Verfahren

Neben der Elektrolyse existieren weitere Verfahren zur Produktion von Wasserstoff. Heute wird nahezu der gesamte Wasserstoffbedarf aus der Dampfreformierung (Steam Methane Reforming, SMR) oder der autothermen Reformierung (ATR) gedeckt. Einen großer Dampfreformer mit einer Produktion von mehreren Tonnen Wasserstoff pro Stunde betreibt u.a. **Evonik** im Chemiepark Marl. Beide Verfahren führen zu erheblichen CO₂-Emissionen, da sie fossiles Erdgas als Rohstoff nutzen. Hier spricht man von grauem Wasserstoff. Durch die Abscheidung des freiwerdenden Kohlendioxids (CO₂) und die anschließende

Speicherung oder stoffliche Nutzung in den Verfahren Carbon Capture and Storage (CCS) oder Carbon Capture and Utilisation (CCU) kann auch hier ein Großteil der CO₂-Emissionen vermieden und sogar zum Aufbau einer nachhaltigen Kohlenstoffkreislaufwirtschaft genutzt werden. Bei Wasserstoff, der aus der Reformierung fossilen Erdgases in Kombination mit CCS oder CCU produziert wird, spricht man von blauem Wasserstoff. Dieser kann eine Brückentechnologie bis zur ausreichenden Verfügbarkeit von grünem Wasserstoff darstellen. Diese Sichtweise vertreten sowohl die deutsche Wasserstoffstrategie¹ als auch die nordrhein-westfälische Wasserstoff Roadmap². Außerdem besteht die Möglichkeit, statt des fossilen Methans grünes Biogas einzusetzen, um die Wasserstoffproduktion klimaneutral zu ermöglichen – ein Potenzial für eher ländlich geprägte Regionen im Ruhrgebiet. **Arcanum Energy** aus Unna arbeitet an der Wasserstoffproduktion insbesondere im landwirtschaftlichen Sektor.

Weiterhin besteht die Möglichkeit, Wasserstoff unter Sauerstoffabschluss aus der Pyrolyse/Thermolyse von Methan oder kohlenwasserstoffhaltigen Abfällen zu erzeugen. Hierbei werden das Methan bzw. die Abfälle thermisch zersetzt. Als Produkte entstehen u.a. fester Kohlenstoff und Wasserstoff. Der Kohlenstoff sollte im besten Fall als Rohstoff in anderen Industrien, wie der Reifenproduktion, zum Einsatz kommen. Ansonsten ließe er sich auch leichter dauerhaft lagern als abgeschiedenes gasförmiges CO₂.³ Das Thema der Pyrolyse wird im Dortmunder Projekt „**H2-Ruhr - CleanPort**: Plattform für den Aufbau einer H2-Startup-Szene“ vorangetrieben.

Bedarfe und Standorte

Eine flächendeckende Versorgung wird langfristig nicht durch inländische Produktion gedeckt werden können. Stattdessen muss grüner Wasserstoff aus sonnen- und windreichen Regionen importiert werden. In der Wasserstoff Roadmap NRW wird davon ausgegangen, dass mehr als 80 % des benötigten Wasserstoffs in 2050 importiert werden müssen.⁴ Parallel und kurzfristig gilt es eigene Produktionskapazitäten zu schaffen, um erste Verbraucher versorgen zu können. Diese Produktionskapazitäten können zentral an günstigen Standorten mit einfachem Zugang zu erneuerbarem Strom oder dezentral in der Nähe der Verbraucher aufgebaut werden. In der Wasserstoff Roadmap NRW wird der Aufbau von 100 MW Elektrolyseleistung bis 2025 und 1 – 3 GW Elektrolyseleistung bis 2030 angestrebt.⁵ Nach hiesiger Auffassung können sowohl aufgrund bestehender Potenziale zum Ausbau erneuerbarer Energien als auch aufgrund gut ausgebaute

¹ Nationale Wasserstoffstrategie (2020), Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, S. 4

² Wasserstoff Roadmap Nordrhein-Westfalen (2020), Ministerium für Wirtschaft, Innovation, Digitalisierung und Energie des Landes Nordrhein-Westfalen, S. 16

³Eine Wasserstoff Roadmap für Deutschland (2019), Fraunhofer ISE, S. 12 ff

⁴ Wasserstoff Roadmap Nordrhein-Westfalen (2020), Ministerium für Wirtschaft, Innovation, Digitalisierung und Energie des Landes Nordrhein-Westfalen, S. 7ff

⁵ Wasserstoff Roadmap Nordrhein-Westfalen (2020), Ministerium für Wirtschaft, Innovation, Digitalisierung und Energie des Landes Nordrhein-Westfalen, S. 9

Stromnetzinfrastrukturen auch H₂-Erzeugsanlagen in relevanter Größe in der Metropole Ruhr errichtet werden.

Hersteller und Zulieferer

Im Bereich der Hersteller und Zulieferer für die Wasserstofferzeugung ist vor allem die o.g. **TKUCE** als Hersteller alkalischer Elektrolyseure aufzuführen, ein Joint Venture zwischen Thyssenkrupp Industrial Solutions und Industrie De Nora, mit Sitz in Dortmund. TKUCE bietet seine Elektrolyseure als 20-MW-Module sehr erfolgreich weltweit an, zuletzt gewann man die Ausschreibung für das Projekt „Element One“ im Rahmen des Wasserstoff-Innovations- und -Entwicklungszentrums von NEOM in Saudi-Arabien. Im Bereich Wasserstoff-Erzeugung sind zudem **Asahi Kasei** und **Hydrogenics** im Ruhrgebiet aktiv (Herten, Gladbeck). Die **ProPuls GmbH** aus Gelsenkirchen entwickelt neuartige PEM-Elektrolyseure. Als Zulieferer für Membrantechnologie fungiert **Evonik Creavis** aus Marl. Zuletzt wurde hier ein besonderer Fokus auf die vorgenannte AEM-Technologie in Zusammenarbeit mit Enapter gelegt. EPC-Leistungen (Engineering, Procurement and Construction) werden u.a. von den Unternehmen **Steag Energy Services** und **DMT** aus Essen sowie **Etabo** aus Bochum angeboten. Die **ETW Energietechnik** aus Moers liefert Anlagen zur Wasserstoffreinigung mit Druckwechselabsorption. Die **Babcock Borsig** in Gladbeck baut zudem gleichen Zwecke Trennanlagen auf Basis metallischer Membranen. Gleichrichter liefert u.a. das Unternehmen **IPS Fest** aus Hamm. Die **Thyssenkrupp Industrial Solutions** baut zudem Reformer und Methanisierungsreaktoren. **Concord Blue Engineering** aus Herten entwickelt nach wie vor Thermolysereaktoren, die aus Abfällen und Biomasse wasserstoffreiche Gase erzeugen. Diese Übersicht von Akteuren ließe sich noch deutlich weiterführen (siehe Modul 2 „Akteursübersicht“).

Betreiber und Anwender

Eine Wasserstoffproduktion mit Wertschöpfung in der Metropole Ruhr kann – wie oben geschildert – örtlich im Ruhrgebiet stattfinden oder aber auch an Standorten mit höheren Potenzialen für das erneuerbare Energieangebot und/oder mit günstigen Infrastrukturbedingungen. Regulatorische Rahmenbedingungen, wie die Befreiung des Elektrolysestroms von der EEG-Umlage, sind für die Erreichung einer verbesserten Wirtschaftlichkeit in beiden Fällen erforderlich. Potenzielle Betreiber bzw. Anwender rekrutieren sich aus dem Bereich der großen Energieversorger und der großindustriellen Nutzer (oft mit Anlagen außerhalb des Ruhrgebiets) sowie der Stadtwerke und Abfallwirtschaftsbetriebe (s. kommunale Initiativen NRW-Modellkommune, HyExperts etc.), der Industriegaseversorger und Tankstellenbetreiber. Hier sind insbesondere **RWE** (GET H₂ Nukleus, Lingen 100 MW), **STEAG** (HydrOxy Hub Duisburg-Walsum, 500 MW), **OGE** aus Essen und **Amprion** aus Dortmund (hybridge, 100 MW), die **AGR** in Herten als Betreiber einer Müllheizkraftwerk-basierten Elektrolyse sowie die **Westnetz** (Reallabor Smart Quart) sowie **Uniper** (Standort Scholven) zu nennen. Eine Vielzahl weiterer Elektrolyseprojekte befindet sich in der Metropole Ruhr in Vorbereitung, u.a. in Verbindung mit kommunalen Konzepten und dem 5-StandorteProgramm. Bereits in Betrieb befindliche Elektrolyseprojekte sind bei **Thyssenkrupp Steel** (Carbon2Chem, 2 MW), beim **ZBT** in Duisburg

(Elektrolysetestfeld als Teil von Carbon2Chem), am **H2-Anwenderzentrum** in Herten (Elektrolyseure von Hydrogenics und Asahi Kasei) sowie am **GW**I in Essen (Virtuelles Institut Strom zu Gas und Wärme) zu finden. Das **h2-netzwerk ruhr** treibt das Projekt „Wasserstofflabor Ruhr: Demonstrations- und Betriebsforschungszentrum in Scholven“ voran. **MAN Energy Solutions** plant einen Wasserstoff-Campus in Oberhausen. Zudem befassen sich **OGE** und **Thyssenkrupp Steel** mit der großskaligen blauen Wasserstofferzeugung über die Erdgasreformierung inkl. CCS (H2morrow an der Nordseeküste).

Fazit und Handlungsempfehlungen

In der Metropole Ruhr ist nach einer Studie des Instituts der deutschen Wirtschaft⁶ vom Dezember 2020 die Unternehmerlandschaft auf dem Gebiet des Wasserstoffs hervorragend aufgestellt. So ist auch im Bereich der Wasserstoffproduktion eine Vielzahl an Unternehmen aktiv, die es noch weiter zu vernetzen, zu koordinieren und mit noch nicht aktiven aber potenten Unternehmen zu ergänzen gilt. Klar ist, dass der benötigte Wasserstoff nur zu einem geringeren Anteil im Ruhrgebiet selbst erzeugt werden kann. Vor dem Hintergrund können folgende Handlungsempfehlungen abgeleitet werden:

- Ausbau erneuerbarer Stromerzeugung ist auch in der Metropole Ruhr als Basis für grünen Wasserstoff notwendig
- Aufbau der Wasserstoffwirtschaft, hier der Wasserstoffproduktion, ist zu koordinieren, einzelne kommunale Aktivitäten sollten verknüpft werden, Betreiber sollten von Best-Practice-Beispielen profitieren (Technikauswahl und -auslegung, Beschaffung, Betrieb, Geschäftsmodell, Genehmigungsfragen)
- Elektrolysekapazitäten basierend auf erneuerbarem Strom (Wind, PV, Abfall) sollten aufgebaut werden, um einerseits Absatz für die lokalen Hersteller zu schaffen und andererseits kurzfristig die stark steigende Wasserstoffnachfrage aus Industrie, Verkehr und Mobilität zu decken
- Alternative Wasserstoffproduktionsverfahren (Biogasreformierung sowie blauer und türkiser Wasserstoff) können die elektrolytische Erzeugung unterstützen und sollten daher mitbetrachtet werden
- Der Aufbau von Produktionskapazitäten muss mit dem wachsenden Bedarf synchronisiert werden
- Im Bereich der Hersteller und Zulieferer sollten zusätzliche Vernetzungsmöglichkeiten geschaffen werden
- Anwendungs- und Innovationszentren zur Wasserstoffproduktion sind zu unterstützen
- Die Projektentwicklung und Förderberatung sollte als Teil der Koordinierungsaufgaben forciert werden

⁶ „Wasserstoffranking 2020: Wo steht das Ruhrgebiet im Metropolenvergleich?“, IW Consult, Dezember 2020

2.2 Wasserstoffübertragung, -verteilung und -speicherung

Der produzierte Wasserstoff kann auf unterschiedlichen Wegen und unter Anwendungen unterschiedlicher Speichertechnologien zu den verschiedenen Anwendungen transportiert werden. Im Folgenden werden zunächst die verschiedenen Speichertechnologien kategorisiert und beschrieben. Für die einzelnen Speichertechnologien ergeben sich dann unterschiedliche Transportmodalitäten.

Während Wasserstoff eine hohe gravimetrische Energiedichte von 33,33 kWh/kg aufweist, ist die volumetrische Energiedichte aufgrund der geringen Dichte unter Standardbedingungen mit 2,69 kWh/m³ äußerst gering. Diesel als vergleichbarer Energieträger im Mobilitätssektor weist eine volumetrische Energiedichte von 9.700 kWh/m³ auf. Durch den Einsatz verschiedener Speichertechnologien muss die Energiedichte erhöht werden, um einen ökonomisch darstellbaren Transport von Wasserstoff zu ermöglichen. Im Wesentlichen lassen sich die verschiedenen Methoden in die Kategorien physikalische Speicherung und chemische Speicherung einteilen.⁷

Physikalische Speicherung

Bei der physikalischen Speicherung wird der Wasserstoff in seiner elementaren Form gespeichert. Um die volumetrische Energiedichte zu erhöhen, kann der Wasserstoff entweder komprimiert oder verflüssigt werden.

Die Speicherung von verdichtetem gasförmigem Wasserstoff bietet die Möglichkeiten des Transports in Druckflaschenbündeln oder durch Pipelines. Bei einem leitungsgebundenen Transport hängt die Kapazität im Wesentlichen vom Durchmesser der Pipeline ab. Grundsätzlich ist eine Versorgung mit mehreren Tonnen pro Tag möglich. Beim Transport über die Straße hängt die Transportkapazität vor allem von der Druckstufe ab. Pro LKW können hier 400 – 1.000 kg transportiert werden. Das Wasserstoffabfüllzentrum von **Air Liquide** im Chemiepark Marl füllt jährlich 15.000 Trailer mit 200 bis 300 bar Betriebsdruck. Bei verflüssigtem Wasserstoff ergibt sich eine Transportkapazität von bis zu 4.000 kg pro Tankwagen.⁸ Flüssiger Wasserstoff ist in NRW nicht verfügbar und wird aus Rotterdam oder Leuna bezogen.

⁷ Techno-ökonomische Analyse alternativer Wasserstoffinfrastruktur, Markus Eduard Reuß 2019 (FZJ), S. 22

⁸ Präsentation Speicheroptionen für Wasserstoff, Klaus Stolzenberg 2019 (Planet GbR), S. 5

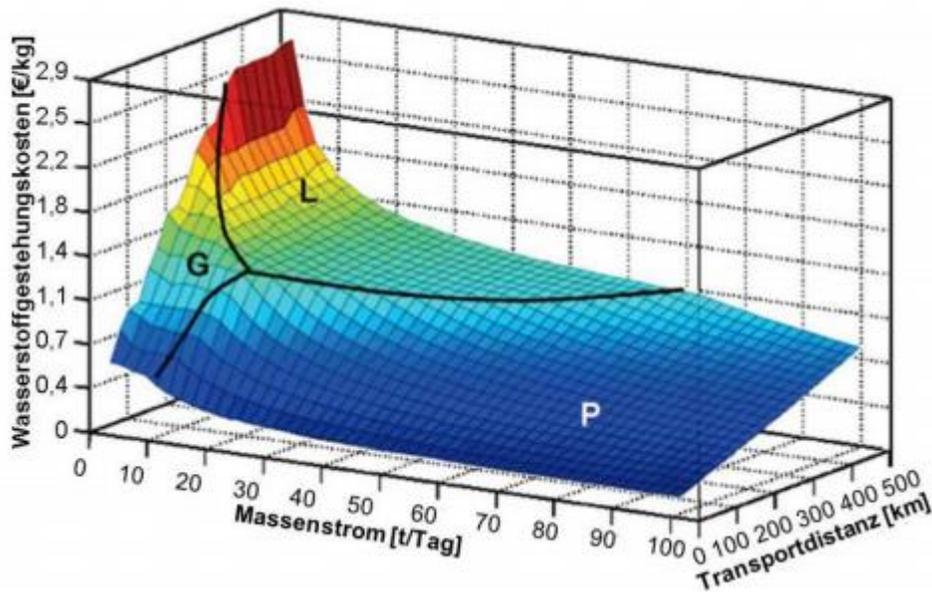


Abbildung 2: Minimale Transportkosten für Wasserstoff in Abhängigkeit von Massenfluss und Transportentfernung (Techno-ökonomische Analyse alternativer Wasserstoffinfrastruktur, Markus Eduard Reuß 2019 (FZJ), S. 22)

Die Kompression des Wasserstoffs von 10 auf 500 bar erfordert den Einsatz von weniger als 12 % des Energiegehalts des komprimierten Wasserstoffes. Bei der Verflüssigung ist heute hingegen noch mehr als ein Drittel des Energiegehaltes des Wasserstoffes zur Konditionierung nötig, wobei dieser Bedarf durch effiziente Verfahren und größere Anlagen noch um rund 40 % gesenkt werden kann.⁹

Für die Wirtschaftlichkeit der verschiedenen Transportmodalitäten lässt sich sagen, dass sich ein Straßen-transport von gasförmigem Wasserstoff nur bei kleinen Mengen und geringen Entfernungen darstellen lässt. Der Transport von flüssigem Wasserstoff kann eine Lösung für große Distanzen sein, während der Transport via Pipeline ab einem Bedarf von 10 t_{H2}/d favorisiert werden kann.

Chemische Speicherung

Bei der chemischen Speicherung wird der Wasserstoff chemisch an einen Trägerstoff gebunden. Am wichtigsten sind hier derzeit die chemischen Hydride und hier insbesondere die LOHC-Technologie (Liquid Organic Hydrogen Carrier). Hierbei wird eine organische Wasserstoffträgerflüssigkeit durch eine endotherme Reaktion hydriert, also mit Wasserstoff beladen. Die beladene Flüssigkeit kann in konventionellen Tankwagen mit einer Kapazität von 2.000 kg Wasserstoff transportiert werden.¹⁰ Am Anwendungsort muss der

⁹ Präsentation Speicheroptionen für Wasserstoff, Klaus Stolzenberg 2019 (Planet GbR), S. 8 & S.12

¹⁰ Präsentation Speicheroptionen für Wasserstoff, Klaus Stolzenberg 2019 (Planet GbR), S. 5

Wasserstoff unter Wärmezufuhr aus der Trägerflüssigkeit ausgetrieben werden. Die Trägerflüssigkeit kann dann erneut beladen werden.

Die LOHC-Technologie ist noch in der Entwicklung. Für die Entladung der Trägerflüssigkeit ist mit 12 kWh/kg ein ähnlicher Energieaufwand wie für die Verflüssigung nötig. Allerdings muss der Wasserstoff im Anschluss noch gereinigt werden, um in PEM-Brennstoffzellen zum Einsatz kommen zu können. Das Thema LOHC wird vor allem von **Hydrogenious** aus Erlangen vorangetrieben, im Rheinischen Revier soll mit dem neuen **Helmholtz-Cluster** für nachhaltige und infrastrukturkompatible Wasserstoffwirtschaft ein erstes LOHC-Testfeld in industrieller Größenordnung aufgebaut werden.

Alternativ zur Speicherung in einem flüssigen Träger wie beim LOHC ist auch die Speicherung in festem Metall möglich. Hierbei werden Wasserstoffatome in der Gitterstruktur von Leichtmetallen gespeichert. Metallhydride können für stationäre Anwendungen infrage kommen. In diesem Bereich ist das **Max-Planck-Institut für Kohlenforschung** in Mülheim tätig.

Übertragung und Verteilung per Pipeline

Für hohe Übertragungsmengen und lange Transportdistanzen bieten sich demgegenüber Pipelines an. In der bereits vorgenannten Industriepipeline in der Rhein-Ruhr-Region von **Air Liquide** (mit den Endpunkten in Castrop-Rauxel und Leverkusen und Sticheleitungen nach Oberhausen und Krefeld) können auf einer Leitungslänge von 240 km mit einem Betriebsdruck bis zu 25 bar jährlich max. rund 30.000 t (oder 1 TWh) Wasserstoff transportiert werden. Für den langfristig insgesamt benötigten Wasserstofftransport (100 TWh/a) sind größere Pipelines basierend auf Erdgasleitungen erforderlich. Wurden diesbezüglich vor einigen Jahren noch Beimischungen von Wasserstoff in das bestehende Erdgasnetz favorisiert, so werden heute vermehrt 100-%-Wasserstoffleitungen angestrebt. Die Übertragungsnetzbetreiber wie **Open Grid Europe** (OGE) aus Essen und **Thyssengas** aus Dortmund treiben entsprechenden Planungen voran, und auch die aktuelle Grüngasvariante des Netzentwicklungsplans sieht einen schnellen Ausbau bis 2030 vor. Bis 2030 könnten 240 km Wasserstoffleitungen in NRW (hiervon 190 km ehemalige Erdgasleitungen) realisiert werden, die das Ruhrgebiet mit nördlich gelegenen Windstandorten in Deutschland und den Niederlanden verbinden. Ein Pipelineneubau wird mit Investitionskosten von rund 1.000 Euro/km angegeben, eine Umwidmung erfordert nur rund 10 % dieser Kosten.

Hersteller und Zulieferer

Im Bereich des Wasserstofftransports und der Speicherung sind diverse Hersteller in der Metropole Ruhr tätig. So sind bspw. Großkompressoren für die **MAN Energy Solutions SE** in Oberhausen und die **Siemens Gas&Power** in Duisburg und kleinere Kompressoren für die **Hofer Hochdrucktechnik** in Mülheim ein wichtiges Geschäftsfeld. Wasserstoffleitungen werden bei der **Mannesmann Line Pipe** aus Hamm, **Europipe** aus Mülheim (jeweils Stahl) und perspektivisch bei der **WKT Westfälische Kunststoff Technik** (Polymer) aus Sprockhövel entwickelt. Komponenten für den Pipelinetransport von Wasserstoff, wie

Kugelhähne, können u.a. von **Böhmer** aus Sprockhövel produziert werden. Pipelineengineering bietet die **DMT** aus Essen an. Komponenten wie Ventile oder Druckminderer für den Hochdruckgastransport mit Wasserstoffbündeln oder -trailern liefert **Anleg** aus Wesel oder **Gastech** aus Herten.

Betreiber rund Anwender

Als Infrastrukturbetreiber sind die internationalen Industriegaseunternehmen **Air Liquide** in Marl (Abfüllstation in Marl, Pipeline), **Air Products** in Hattingen und **Linde** aktiv. Die Fernleitungsnetzbetreiber **OGE** und **Thyssengas** bereiten im Rahmen der in Kap. 2.1 genannten größeren Projekte die Umstellung von Erdgasnetzen auf Wasserstoffbetrieb vor. Hierfür sind Wasserstoff als Gas der öffentlichen Versorgung nach EnWG aber erst dem Erdgas gleichzusetzen und damit entsprechende Investitionen umlagefähig zu gestalten. Auf Verteilnetzebene bereiten die im Ruhrgebiet tätigen Verteilnetzbetreiber wie **Westnetz** und **Gelsenwasser** Projekte vor. Industrieunternehmen wie **Evonik** und **BP** unterhalten auf ihren Betriebsgeländen eigene Wasserstoffinfrastrukturen, wie Leitungen und technische Speicher. Natürliche Salzkavernenspeicher finden sich nicht im Ruhrgebiet, werden aber von **Uniper** und **RWE Gas Storage West** betrieben (Gronau/Epe). Technische Speicher befinden sich am **H2-Anwenderzentrum** in Herten beim Zentrum für BrennstoffzellenTechnik (ZBT) in Duisburg. Neben dem leitungsgebundenen „Import“ des Wasserstoffs über Gasnetze sind mittelfristig auch schiffsbasierte Lieferungen von (Flüssig-) Wasserstoff oder wasserstoffbasierten Trägern wie Methanol und Ammoniak insbesondere über den **Duisburger Hafen** zu verwirklichen.

Fazit und Handlungsempfehlungen

Aufgrund der im Ruhrgebiet gut ausgebildeten Infrastruktur im Energie- und Industriebereich ergeben sich hier auch hervorragende Möglichkeiten für den Transport, die Verteilung und Speicherung von Wasserstoff. Bestehende Gasinfrastrukturen können auf Wasserstoff umgestellt (speziell Ferntransport in die Metropole Ruhr) oder sukzessive mit steigenden Anteilen mit Wasserstoff beaufschlagt werden. Der jahrzehntelange Umgang mit Wasserstoff in der Industrie inkl. des vorgenannten Pipelinebetriebs bildet einen umfassenden Erfahrungsschatz, der die zukünftige Nutzung des Wasserstoffs in Energie und Verkehrsinfrastrukturen deutlich erleichtern wird. Unternehmen der Metropole Ruhr werden hiervon profitieren können. Für den benötigten Import von Wasserstoff sind die gut ausgebauten leitungsgebundene Infrastrukturen von großem Vorteil. Aber auch das Interesse des Duisburger Hafens, als Importhub für Wasserstoff bzw. wasserstoffhaltige Energieträger zu fungieren, ist ein Pfund für die Metropole Ruhr. Vor dem Hintergrund können folgende Handlungsempfehlungen abgeleitet werden:

- Großen Mengen an Wasserstoff sind zukünftig in das Ruhrgebiet zu importieren und zu verteilen
- Transport- und Verteilnetzinfrastukturen sind entsprechend auf Wasserstoff umzustellen (eine 100%-Umstellung ist hierbei einer Beimischung ins Erdgas vorzuziehen, da der Wasserstoff danach nur aufwändig separiert werden kann)

- Der Ausbau der Infrastruktur sollte im Vorlauf des steigenden Bedarfs in den verschiedenen Sektoren erfolgen und ist in Verbindung mit der (heimischen oder externen) Produktion zu koordinieren
- Hinsichtlich der Importe sind Einbindungsmöglichkeiten von Projekten wie GETH₂, Element Eins, H2morrow, Haru Oni (Chile) etc. zu analysieren
- Großskalige Erzeugungs- und Verbrauchstrukturen vereinfachen den Infrastrukturaufbau in der Startphase
- Die Industriepipeline von Air Liquide kann in den Anfängen eine wichtige Stütze sein, langfristig sind i.W. die bestehenden Erdgasinfrastrukturen zu nutzen sowie in geringerem Maße neue Leitungen aufzubauen
- Heimische Hersteller/Zulieferer sind basierend auf ihrem bestehenden Know-how in den Infrastrukturaufbau einzubinden, hierzu ist ein entsprechendes Netzwerk aufzubauen
- Der Forschungszweig der Wasserstoffinfrastrukturen (z.B. Werkstoffe) und der wasserstoffhaltigen Energieträger (z.B. Ammoniak) ist zu stärken
- Eine koordinierende Stelle sollte entsprechende Projektentwicklungen mit Beratungsleistungen zu Förderfragen vorantreiben

2.3 Wasserstoffnutzung in der Industrie

Wasserstoff kann in der Industrie über bisherige Anwendungen hinaus vielfältig mit hoher Klimaschutzwirkung genutzt werden: als Eisenerz-Reduktionsmittel, als Energieträger für Thermoprozesse und KWK sowie als Rohstoff für die Erzeugung von Ammoniak und von flüssigen Kohlenwasserstoffen aus CO₂, wo sich dessen Entstehung nicht vermeiden lässt.

Gemäß der Wasserstoff Roadmap NRW wird rund ein Drittel des deutschen Wasserstoffbedarfs in NRW anfallen. Wichtigste Abnehmer werden hier vor allem die industriellen Verbraucher wie die Stahl-, die Petrochemie- und Chemieindustrie sein, welche in der Metropole Ruhr mit **Thyssenkrupp**, den Raffinerien von **BP** sowie dem **Chemiepark Marl/Evonik** stark vertreten sind und die Grundlage für den zügigen Aufbau einer H₂-Wertschöpfungskette schaffen.

Stahl wird in der Regel im Hochofenverfahren aus Eisenerz oder im Elektrostahlverfahren aus Schrott gewonnen. Etwa $\frac{3}{4}$ der deutschen Erzeugung entfällt auf Primärstahl, und diese geschieht zumeist da, wo Eisenerz und Koks oder Kohle per Schiff angeliefert werden können. Gut die Hälfte der deutschen Primärstahlerzeugung erfolgt im Ruhrgebiet. Die Hochofenroute ist besonders CO₂-intensiv, da für die Reduktion des Eisenerzes große Mengen Koks benötigt werden. Eisenerz wird aber auch schon seit den 1970er Jahren in kleineren Anlagen nach dem sogenannten Midrex-Verfahren im Gegenstrom mit wasserstoffreichem Gas direkt (ohne Aufschmelzen) zu Eisenschwamm reduziert – u.a. in Hamburg. Das Gas wird meist aus Erdgas gewonnen. Dies verringert die CO₂-Emissionen im Vergleich zur konventionellen Hochofenroute bereits erheblich. Weitere CO₂-Einsparungen sind durch den Einsatz von grünem Wasserstoff zur

Direktreduktion zu erreichen. Der Eisenschwamm (Direct Reduced Iron, DRI) wird in Elektrolichtbogenöfen zu Stahl weiterverarbeitet. Ein realistischer Weg für die Stahlindustrie kann zunächst der Umstieg auf die erdgasbasierte Direktreduktion und dann der schrittweise Ersatz des Erdgases durch Wasserstoff sein.¹¹ Eine Teillösung wird derzeit bei **Thyssenkrupp** in Duisburg erprobt, wo in einigen Blasformen Wasserstoff statt Kohlenstaub in einen Hochofen eingeblasen wird, um die CO₂-Emissionen zu verringern. Hiermit kann bereits die Anlieferung großer H₂-Mengen erprobt werden. Bis 2050 soll aber auch hier eine parallele Entwicklung der Direktreduktionsroute kombiniert mit der CCU-Technologie zu einer klimaneutralen Stahlproduktion führen.

In der chemischen Industrie spielt Wasserstoff bereits heute als Zwischenprodukt insbesondere für die Ammoniakherstellung eine wichtige Rolle. Hier besteht großes Potenzial, den heute grauen Wasserstoff durch CO₂-neutral produzierten grünen Wasserstoff zu ersetzen und die Emission großer Mengen CO₂ zu vermeiden, wobei prozesstechnische Abhängigkeiten berücksichtigt werden müssen. So wird die Synthese von Harnstoff derzeit ausschließlich in Kombination mit der Ammoniaksynthese betrieben. Dabei wird der nötige Wasserstoff für den Ammoniak mittels Dampfreformierung gewonnen. Das entstehende CO₂ wird anschließend in der Synthese von Harnstoff genutzt. Hier müssten bei der Verwendung von grünem Wasserstoff zur Ammoniaksynthese alternative CO₂- und Wärmequellen zur Synthese von Harnstoff genutzt werden. Eine weitere wichtige Grundchemikalie, Methanol (CH₃OH), wird heute weitüberwiegend aus Erdgas oder Kohle gewonnen, wobei zunächst ein wasserstoffreiches Synthesegas gebildet wird. Solche Gase lassen sich auch aus grünem Wasserstoff und CO₂ erzeugen, wobei aber nur unvermeidlich entstehendes CO₂ oder aus der Luft entnommenes CO₂ einfließen sollte, da CO₂ aus Strom- und Wärmeerzeugung viel effizienter anders vermieden werden kann. Anders ausgedrückt: für die Wiedernutzbarmachung von CO₂ ist ein Mehrfaches der Energie erforderlich, die bei seiner Entstehung in der Strom- und Wärmeerzeugung gewonnen wird. Darüber hinaus fällt Wasserstoff bei der Chlorproduktion als Nebenprodukt der Chloralkalielektrolyse an. Dieser Prozess könnte flexibilisiert werden, um mit erneuerbaren Energien betrieben werden zu können. Der **Chemiepark in Marl** kann neben vielen anderen Nutzern von Prozesswärme ein wichtiger Abnehmer für grünen Wasserstoff werden und ist über **Evonik** bereits fester Teil der GetH₂ Nukleus Initiative. Eine Erzeugung von Methanol aus grünem Wasserstoff und CO₂ im Chemiepark Marl macht systemisch jedoch erst Sinn, wenn die eigenen Energiebedarfe bereits defossilisiert sind, bzw. emissionsfrei bedient werden. Volkswirtschaftlich macht die Erzeugung von Methanol und Ammoniak nur Sinn, wenn damit mehr Wert geschöpft werden kann als durch die Umstellung bestehender Produkte auf nicht-fossile Rohstoffe. Die meisten Primär-Erzeugnisse des Chemieparks dürften höheren Marktwert haben als die Commodities Methanol und Ammoniak, die in vielen Weltregionen günstig und auch günstig grün erzeugt werden können.

¹¹ Eine Wasserstoff Roadmap für Deutschland (2019), Fraunhofer ISE

In Raffinerien wird Wasserstoff heute zur Entschwefelung des Rohöls und zum Hydrocracking eingesetzt. Vor allem hier bietet die Möglichkeit, grauen Wasserstoff durch grünen zu ersetzen, erhebliches CO₂-Emissionenvermeidungspotenzial. In Horst und Scholven betreibt **BP** einen Raffineriekomplex mit einer Rohölverarbeitungskapazität von fast 13 Milliarden Tonnen im Jahr. Damit ist Gelsenkirchen der drittgrößte Raffineriestandort in Deutschland¹², welcher ebenfalls Teil der GetH₂ Nukleus Initiative ist. Der Raffineriebereich bietet sich für eine großskalige und wirtschaftlich tragfähige Markteinführung des Wasserstoffs an, allerdings ist hierfür die Umsetzung der Renewable Energy Directive (RED II) in deutsches Recht unabdingbare Voraussetzung.

Zusätzlich zu diesen stofflichen Anwendungen kann Wasserstoff auch energetisch in Industrieprozessen zur Anwendung kommen. Insbesondere in Prozessen mit großen Wärmebedarfen, die nicht elektrisch gedeckt werden können, kann Wasserstoff perspektivisch fossile Energieträger ersetzen. Zu nennen ist hier insbesondere die Glas- und Keramikindustrie, die in der Metropole durch den Glashersteller **Pilkington Glas** in Gelsenkirchen und Gladbeck sowie durch **Veralia** in Essen und **Rockwool** in Gladbeck vertreten ist. In diesem Zusammenhang wird federführend vom Gas- und Wärmeinstitut (**GW**) in Essen die Studie HyGlass erarbeitet. Weitere mögliche Anwendungsfelder können die Ziegel-, Zement- und die Zinkproduktion sowie Verzinkereien sein.

Hersteller und Zulieferer

Das Ruhrgebiet ist in den vorgenannten Industriesektoren traditionell sehr gut aufgestellt, dies betrifft nicht nur die Anwenderseite, sondern auch die Hersteller und Zulieferer. Im Bereich der Stahlindustrie ist bspw. **Tenova** aus Essen zu nennen, die für die Salzgitter Flachstahl eine DRI-Pilotanlage auf Wasserstoff-Basis entwickelt. Im Bereich der Chemie und Petrochemie sind die **DMT** aus Essen (Basic & Detail Engineering, Fertigung, Bau & Inbetriebnahme), **Thyssenkrupp Industrial Solutions** aus Dortmund und **Etabo** aus Bochum (Anlagenbau und Anlagenservice) aktiv, die alle schon Projekte zum Thema Wasserstoff durchgeführt haben. Im Bereich der thermischen Nutzung von Wasserstoff sind **Combutec** aus Gevelsberg und **Kueppers Solutions** aus Gelsenkirchen zu nennen, die industrielle Feuerungsanlagen für die Verbrennung von Wasserstoff liefern. Aus hiesiger Sicht wird gerade in diesem Bereich eine hohe Zahl weiterer Unternehmen erwartet, die basierend auf ihrem bisherigen Portfolio auch wasserstoffbasierte Anlagen und Systeme entwickeln können.

Betreiber und Anwender

Als Anwender und Betreiber kommen im Wesentlichen die vorgenannten Unternehmen wie **Thyssenkrupp** in Duisburg, die **BP**-Raffinerien in Gelsenkirchen und **Evonik** im **Chemiepark Marl** in Betracht, die im Rahmen der bereits erläuterten Projekte im Wasserstoffbereich aktiv sind. **Voigt & Schweitzer** mit ihrer

¹² Raffinerien und Pipelines in Deutschland (2019), Mineralölwirtschaftsverband

Tochterfirma **ZINQ** aus Gelsenkirchen veredeln Stahl mit einer Zinkbeschichtung. Das hierfür notwendige flüssige Zink wird derzeit mit Erdgas beheizt. Der Prozess soll aber perspektivisch auf Wasserstoff umgestellt werden. In der Glasindustrie ist **Pilkington Glas** aus Gelsenkirchen/Gladbeck ein wesentlicher Player im Bereich der Glasindustrie, **Brenntag** aus Essen ist in der Distribution und Verarbeitung der wasserstoffbasierten Chemikalien Methanol und Ammoniak aktiv.

Fazit und Handlungsempfehlungen

Die historische Stärke der Metropole Ruhr im Bereich der Industrie bildet eine hervorragende Basis, um auch bei der Markteinführung des Wasserstoffs – die zuerst in der Industrie und im Verkehr erfolgen wird – eine Vorreiterrolle einzunehmen. Viele Unternehmen, vor allem die Großunternehmen, haben längst die Zeichen der Zeit erkannt, und verfolgen seit einigen Jahren Wasserstoffprojekte. Nach Konzeptstudien und ersten Demonstrationen steht nun die großskalige Markteinführung an. In der Wasserstoff Roadmap NRW werden für den Industriebereich ambitionierte Zielsetzungen benannt. So soll eine erste großtechnische Direktreduktionsanlage zur Erzeugung von Stahl auf Basis von Wasserstoff am Standort Duisburg bis 2025 entstehen. Hierfür wären allein 90.000 t H₂ pro Jahr (annähernd 3 TWh oder ca. 1.000 MW Elektrolyseleistung) erforderlich. Bis 2030 soll sich demgegenüber allein im Stahlbereich der H₂-Bedarf mehr als verdoppeln, die anderen Industriebereiche kommen noch hinzu. Vor diesem Hintergrund ergeben sich vielfältige Möglichkeiten für Unternehmen aus dem Ruhrgebiet. Folgenden Empfehlungen lassen sich ableiten:

- Der Bereich der Industrie wird als einer der ersten das Ökosystem Wasserstoff mit Leben füllen und sollte dabei unterstützt werden
- Während große Unternehmen – insbesondere auf der Anwenderseite – selbständig die Entwicklungen forcieren, benötigen Hersteller/Zulieferer und Engineering-Dienstleister eher eine Unterstützung in Form eines Netzwerks; viele dieser Akteure sind noch zu identifizieren und durch Fördermaßnahmen zu unterstützen; eine entsprechende Beratung zu Förderquellen, Förderanträgen und zur Erstellung von Businessplänen ist anzubieten
- Die Wasserstoffbedarfe der verschiedenen industriellen Nachfrager sind übergreifend in der Metropole Ruhr zu ermitteln und zu bündeln, mit den Bedarfen anderer Sektoren (insb. Mobilität) zu ergänzen und mit dem Aufbau der Wasserstoffproduktion (inkl. „Import“) und der Infrastruktur zu koordinieren

2.4 Wasserstoff und Brennstoffzelle im Verkehr

Im Klimaschutzprogramm 2030 der Bundesregierung wird eine Reduktion der CO₂-Emissionen im Verkehrssektor von 42 % bis 2030 im Vergleich zu 1990 vorgegeben. Bislang wurden jedoch in diesem Bereich keinen signifikanten CO₂-Minderungen erreicht. Zur Erreichung dieses Ziels muss daher, neben einer grundsätzlichen Verringerung des Verkehrsaufkommens, insbesondere die Elektrifizierung des

Straßenverkehrs vorangetrieben werden. Neben dem Ausstoß von Klimagasen bilden auch der Ausstoß von Schadgasen wie NO_x sowie der Lärm durch den Verkehr zwei weitere Herausforderungen im Verkehrssektor, die gerade in einem dichtbesiedelten Ballungsraum wie das Ruhrgebiet deutlich verringert werden müssen.

Neben der batterieelektrischen Mobilität kann der Einsatz von wasserstoffbetriebenen Brennstoffzellenfahrzeugen zur Lösung dieser Herausforderungen eine bedeutende Rolle spielen. Wasserstoff eignet sich aufgrund seiner relativ hohen Energiedichte im Vergleich zu Batterien, deren großes Gewicht die verfügbare Nutzlast (Fracht, Passagiere) verringern würde, besonders gut als Energieträger für schwere Fahrzeuge, die große Distanzen am Stück zurücklegen müssen. Zudem sind Wasserstofffahrzeuge in wenigen Minuten wieder aufgetankt, was hohe Nutzungszeiten erlaubt.

Dies bietet gerade im Nutzfahrzeugsegment vielversprechende Einsatzmöglichkeiten. Nutzfahrzeuge verursachen in Deutschland 1/3 der Emissionen des Verkehrsbereichs. Innerhalb der Nutzfahrzeuge sind die Fahrzeuge mit 26t zGG und darüber für etwa die Hälfte der Emissionen verantwortlich.¹³

Für LKW kommt sowohl die gasförmige Speicherung (GH₂) bei 350 oder 700 bar (wie bei PKW), für Reichweiten über 500 km, aber auch die Speicherung in flüssiger Form (LH₂) infrage, um sehr große Reichweiten bis 1.000 km zu ermöglichen. In der Wasserstoff Roadmap Nordrhein-Westfalen werden bis 2025 über 400 und bis 2030 11.000 schwere LKW angestrebt.¹⁴

Aktuell sind zwei Brennstoffzellen-PKW Modelle von Toyota und Hyundai am Markt verfügbar. Bei Brennstoffzellen-LKW befindet sich derzeit eine Vielzahl von Fahrzeugen in der Entwicklung. Mit ersten Fahrzeugen ist ab Ende 2021 zu rechnen, die überwiegende Zahl kommt nach 2023. Bereits am Markt verfügbare Nutzfahrzeuge sind brennstoffzellenbasierte Müllfahrzeuge u. a. des Herstellers Faun. Eine Straßenkehrmaschine desselben Herstellers kommt 2021 auf den Markt, ein Fahrzeug eines anderen Herstellers (Greenmachines) ist bereits erhältlich. Ein Kastenwagen von Opel (Vivaro) ist angekündigt, gleiches von Renault (Master, Kangoo). Diese Fahrzeuge eignen sich vor allem für Kurierdienste.

Weiterhin kann Wasserstoff in der Intralogistik für die Elektrifizierung von Gabelstaplern und Flurförderfahrzeugen genutzt werden. Wasserstoff eignet sich besonders dann, wenn die Fahrzeuge durch einen Mehrschichtbetrieb geringe Standzeiten haben und eine Batterie daher kaum geladen werden könnte.

Neben der Logistik kann Wasserstoff auch im straßen- und schienengebundenen ÖPNV zum Einsatz kommen. Wasserstoffbrennstoffzellenbusse führen den Wasserstoff in 350-bar-Tanks mit und können so bereits

¹³ Werkstattbericht Antriebswechsel Nutzfahrzeuge – Wege zur Dekarbonisierung schwerer LKW mit Fokus auf Elektrifizierung (2020), Nationale Plattform Zukunft der Mobilität, S. 11

¹⁴ Wasserstoff Roadmap Nordrhein-Westfalen (2020), Ministerium für Wirtschaft, Innovation, Digitalisierung und Energie des Landes Nordrhein-Westfalen, S. 9

heute als Ersatz für konventionelle Dieselfahrzeuge eingesetzt werden. Bei Brennstoffzellenbussen sieht die Marktsituation bereits deutlich besser aus als bei LKW. Hier sind es vor allem ausländische Anbieter wie Solaris und Van Hool, die schon Fahrzeuge im Markt haben. Daimler folgt 2021.

Das ausgewiesene Ziel in der Wasserstoff Roadmap Nordrhein-Westfalen lautet, bis 2025 500 und bis 2030 3.800 Wasserstoffbusse im Einsatz zu haben.¹⁵

Der Einsatz in PKW kann insbesondere für Langstreckenwendungen sinnvoll sein. Eine direkte Elektrifizierung durch einen batterieelektrischen Antrieb ist im Idealfall zwar energieeffizienter, andere Vorteile wie kurze Betankungszeit und hohe Reichweite bieten dennoch auch hier Einsatzpotentiale für Brennstoffzellen-PKW. In erster Linie sollte für die Metropole Ruhr allerdings der Einsatz von Nutzfahrzeugen und der zugehörige Aufbau der H₂-Infrastruktur im Fokus stehen, da hier in Ergänzung zur Industrie hohe Potenziale zur CO₂-Einsparung bestehen und Fahrzeuge zeitnah verfügbar sein werden.

Auf der Schiene können Wasserstoffbrennstoffzellenzüge konventionelle Diesellokomotiven auf Strecken ohne Oberleitungsversorgung ersetzen. Insbesondere auf langen oder topographisch anspruchsvollen Streckenabschnitten ist Wasserstoff besser als Energieträger geeignet als die Batterie.

Ein weiteres Anwendungsfeld ist der Schiffsverkehr. Aktuell befindet sich ein Schubschiff (ELEKTRA) für den Einsatz auf Kanälen in Entwicklung. Containerschiffe mit Brennstoffzellenantrieb sollen ab 2023 auf dem Rhein fahren (Projekt RH2INE), die u.a. im **Hafen Duisburg** betankt werden sollen.

Zur Versorgung der Fahrzeuge ist eine flächendeckende Wasserstoffinfrastruktur nötig. In Deutschland gibt es rund 90 öffentliche Wasserstofftankstellen für PKW (davon 20 in NRW mit 6 Standorten im Ruhrgebiet: **Essen, Dortmund, Duisburg, Herten, Kamen, Mülheim**). ÖPNV-Betreiber mit einer Wasserstoffbusflotte benötigen i. d. R. eine eigene Betriebstankstelle. Für Nordrhein-Westfalen werden bis 2025 60 PKW-Tankstellen und 20 LKW-Tankstellen angestrebt. Im Jahr 2030 sollen insgesamt 200 Wasserstofftankstellen verfügbar sein.¹⁶

Eine Wasserstofftankstelle besteht üblicherweise aus den folgenden Komponenten: ein Niederdrucktank zur Speicherung des Wasserstoffs, ein Verdichter, ein Hochdruckzwischenpeicher sowie ein Dispenser. Die heute schon vorhandenen PKW-Tankstellen können nur begrenzt für die Versorgung von größeren Nutzfahrzeugen genutzt werden. Dies liegt vor allem an dem deutlich höheren H₂-Bedarf der LKW, der den Bedarf eines PKW um mehr als das 10-fache übersteigt. Sowohl die Speicher auf den verschiedenen

¹⁵ Siehe 13

¹⁶ Siehe 13

Druckniveaus als auch die Verdichter sind nicht für die erforderlichen Tankkapazitäten ausgelegt.¹⁷ Zudem fehlt oft auch der Platz auf der Tankstelle sowohl für einen Kapazitätsausbau als auch für die großen Fahrzeuge.

Duisburg bewirbt sich aktuell in einer Ausschreibung des BMVI als **Standort für das Technologie und Innovationszentrum Wasserstofftechnologie (TIW)**. Das TIW soll als eine Entwicklungs-, Zertifizierungs- und Standardisierungseinrichtung für die Entwickler von Brennstoffzellenfahrzeugen- und -komponenten (z. B. H₂-Tanks) dienen.

Wie auch in den anderen Anwendungsfeldern, kommt damit im Verkehrssektor die energiesystemdienliche Eigenschaft von Wasserstoff als Energiespeicher zum Tragen und unterstützt dadurch die Nutzung von erneuerbaren Energien auch in diesem Bereich. Denn die Speicherung von Energie als Wasserstoff erlaubt die zeitliche Verschiebung von Energieerzeugung (durch Wind und PV) und Energienutzung (Fahrzeugantrieb) um längere Zeiträume, wohingegen Batterie- (und auch Oberleitungsfahrzeuge) nur in dem Moment geladen bzw. betrieben werden können, wo die Energie auch erzeugt wird.

Hersteller und Zulieferer

Das Ruhrgebiet kann auch in diesem Anwendungsfeld bereits einige Unternehmen aufbieten. Die Fa. **Cummins** (ehemals **Hydrogenics**), die künftig in Herten ansässig sein wird (derzeit noch Gladbeck), stellt Brennstoffzellen für LKW, Busse und Schienenfahrzeuge her. Die Fa. **Anleg** in Schermbeck konzipiert und baut Wasserstofftankstellen und Speicherbündel für Fahrzeuge. Die Fa. **HS Fahrzeugbau** in Herne hat ein Müllfahrzeug auf einem Fahrzeugchassis mit Brennstoffzellenantrieb an die AGR Herten geliefert. **Schwelm Anlagentechnik** aus Schwelm baut Wasserstofftankstellen. **Air Products** in Hattingen baut ebenfalls Tankstellen. **Andreas Hofer** in Mülheim stellt Kompressoren her, die an Tankstellen verwendet werden. Das **ZBT** in Duisburg hat eine mobile Wasserstofftankstelle entwickelt und ist als eines von zwei Laboren in Deutschland zugelassen, die Wasserstoffqualität an Tankstellen zu zertifizieren. **Inburex** in Hamm erstellt Sicherheitsgutachten für H₂-Tankstellen.

Betreiber rund Anwender

Die **Ruhrbahn** in Essen, **Vestische Straßenbahnen** in Herten, **STOAG** in Oberhausen, **Stadtwerke Hamm** und **Duisburger Verkehrs- und Versorgungsgesellschaft** planen den Einsatz von

¹⁷ Wie könnte ein Tankstellenaufbau für Brennstoffzellen-Lkw in Deutschland aussehen? (2020), Rose; Wietschel; Gnnann, Working Paper Sustainability and Innovation No. S 09/2020, Fraunhofer Isi, S. 3

Brennstoffzellenbussen im ÖPNV. Der **VRR** unterstützt diese Bestrebungen. **AGR Herten** und **Wirtschaftsbetriebe Duisburg** setzen Müllsammelfahrzeuge mit Brennstoffzellenantrieb ein. In den **Städten Essen, Herten, Duisburg, Mülheim** sind Brennstoffzellen-PKW bereits in den kommunalen Fuhrparks vorhanden, weitere Kommunen planen die Anschaffung.

Diverse Logistik- und Handelsunternehmen haben Interesse am Einsatz von Brennstoffzellen-LKW, sobald diese verfügbar sind: dazu zählen **DHL, Aldi, Kläser, Lidl, REWE, Rhenus, Borchers, Metro, Dachser, ABC** u. v. m. Reeder wie **HTS** in Duisburg und **Rhenus** aus Holzwickede arbeiten im NRW-Niederlande-Projekt RH2INE an der Entwicklung von Brennstoffzellenschiffen.

Der **Duisport** bietet sich zudem als intermodaler H2-Hub für Schiffe, Schiene und Straße (Lkw, Intralogistik wie Reach Stacker) an.

Fazit und Handlungsempfehlungen

Wasserstoffbasierte Mobilität kann einen wichtigen Beitrag leisten, um die Herausforderungen des Verkehrssektors im Hinblick auf Reduktion von Klima- und Schadgasen sowie Lärm zu meistern. Um die Einführung und Ausweitung der Wasserstoffmobilität im Ruhrgebiet zu befördern, bieten sich eine Reihe von Maßnahmen an:

- Nachfrage der o. g. Nahverkehrsunternehmen bündeln und eine Beschaffungsinitiative für Wasserstoffbusse aufsetzen; weitere Betriebe für Wasserstoffbusse begeistern, gemeinsame Nutzung von dezidierten H2-Busdepots (größerskalige und damit wirtschaftlichere H2-Tankstellen, H2-geeignete Werkstätten, H2-geschultes Werkstattpersonal)
- Kommunale Wirtschaftsbetriebe über brennstoffzellenbasierte Müllfahrzeuge und weitere Kommunalfahrzeuge (Kehrmaschinen, leichte LKW) informieren und gemeinsame Beschaffungen initiieren
- LKW-Initiative des Landes NRW („400 LKW bis 2025“) durch Ansprache und Einbindung weiterer Spediteure unterstützen
- H2-Tankstelleninfrastruktur ausbauen (jede Stadt hat mind. eine H2-Tankstelle), sowohl für PKW, aber besonders für LKW. Solche „Greenhubs“ sollten an den wichtigen Verkehrsachsen (A1, A2, A40, A42, A43) entstehen. Weitere Tankstellenstandorte wären Logistikhubs wie z.B. in Dorsten. Synergien zwischen Verkehrsträgern (Bus, Bahn, Lkw, Schiff) durch gemeinsam nutzbare Tankstellenstandorte schaffen. Tankstellen an eine H2-Pipeline anschließen. Genehmigungsverfahren für Tankstellen auf kommunaler Ebene beschleunigen, Bebauungspläne für H2-Tankstellen öffnen bzw. Flächen ausschreiben
- Unterstützung der Projektentwicklung, Partnerfindung und Inanspruchnahme von Förderprogrammen; Unterstützung der vorgenannten TIW-Bewerbung in Duisburg

2.5 Wasserstoffanwendung für die Strom- und Wärmeerzeugung

In der Strom- und Wärmeerzeugung existieren neben der energetischen Nutzung von Wasserstoff für die Prozesswärme in der Industrie zwei weitere wichtige Anwendungsfelder. Wasserstoff kann zum einen für die dezentrale Strom- und Wärmeversorgung von Gebäuden oder Quartieren eingesetzt werden. Zum anderen kann (aus erneuerbaren Stromüberschüssen elektrolytisch gewonnener) grüner Wasserstoff durch Rückverstromung netzdienlich in der zentralen Stromversorgung eingesetzt werden.

Wasserstoff kann eine alternative zu konventionellen Öl- oder Erdgasheizungen darstellen. Bereits heute gibt es die Möglichkeit zur Installation von brennstoffzellenbasierten KWK-Anlagen, die mit Erdgas betrieben werden. Dabei wird das Erdgas zu Wasserstoff reformiert, welcher dann in einer Brennstoffzelle Strom und Wärme erzeugt. Durch die hohe Effizienz des Systems kann im Vergleich zu einem Ölkessel rund die Hälfte der Primärenergie eingespart werden, was zu einer Reduktion der CO₂-Emissionen um rund 60 % führt.¹⁸ Perspektivisch können diese KWK-Anlagen mit synthetischem oder biologischem Methan versorgt werden und so klimaneutral betrieben werden. Eine hochattraktive Marktförderung für diese Anlagen bis 5 kW_{el} stellt die KfW im Rahmen des Programms 433 bereit (rund 10.000 Anlagen sind hier bereits gefördert worden). Eine erdgasbasierte PAFC-Brennstoffzelle mit 100 kW_{el} befindet sich seit einigen Jahren beim **ZBT** in Duisburg im Einsatz.

Alternativ ist auch der direkte Einsatz von grünem Wasserstoff in einer Brennstoffzelle möglich, um eine klimaneutrale Strom- und Wärmeversorgung zu erreichen. Für einen flächendeckenden Einsatz wäre allerdings der Anschluss privater Haushalte an ein reines Wasserstoffnetz oder die Umwidmung des bestehenden Gasnetzes nötig. Bis dahin besteht die Möglichkeit der dezentralen Wasserstoffherzeugung aus erneuerbaren Energien in unmittelbarer Nähe zur Brennstoffzelle. Diese Möglichkeit bietet sich durch die Nachfragebündelung insbesondere für ganze Quartiere an. Ein Beispiel ist das Innovationsquartier der **Vonovia** in Bochum-Weitmar. Die **Stadtwerke Essen** planen Ähnliches. **Westnetz** arbeitet in Holzwickede an der Umstellung eines kleinen Netzes auf Wasserstoff. Im Rahmen des BMWi-Reallabors Smart Quart will **E.ON** u.a. in Essen und Kaisersesch Strom aus regenerativer Erzeugung zunächst in Wasserstoff umwandeln und dann per Microgrid u.a. zur Wärmeerzeugung per BHKW, Brennstoffzellen und Brennwertthermen einsetzen.

Die o.g. Rückverstromung von grünem Wasserstoff in Phasen großer Stromnachfrage und geringer Produktion kann neben Brennstoffzellen auch in Gasturbinen erfolgen. Derzeit gibt es nur kleinere wasserstofffähige Gasturbinen unter 100 MW. Im Rahmen des Virtuellen Instituts / KWK.NRW wird derzeit am Gas-Wärme-Institut **GWI** in Essen der Test eines Hybrid-SOFC-System bestehend aus einer Hochtemperatur-Brennstoffzelle vom Typ einer tubularen SOFC (Solid Oxide Fuel Cell) mit nachgeschalteter Mikro-

¹⁸ <https://www.now-gmbh.de/sectoren-themen/strom/stationaere-stromversorgung/>

Gasturbine von Mitsubishi Hitachi Power Systems (**MHPS**) vorbereitet (Inbetriebnahme 2022). Die europäischen Gasturbinenhersteller haben in einer Selbstverpflichtung erklärt, bis 2030 den Einsatz von einem Wasserstoff in Neuanlagen zu ermöglichen.¹⁹

Hersteller und Zulieferer

Wichtige Hersteller aus dem Gasturbinenbereich sind mit **Siemens Energy** aus Mülheim und **MHPS** aus Duisburg in der Metropole Ruhr angesiedelt. Wasserstoffbasierte Turbinen sind – wie oben dargelegt – hier längst in der Entwicklung und eine erfolgreiche Markteinführung unbedingt notwendig, um Arbeitsplätze im Ruhrgebiet zu erhalten. Im Bereich der Brennstoffzellen werden stationäre Systeme basierend auf Wasserstoff von **Cummins** (ehemals Hydrogenics) in Gladbeck (demnächst Herten) und basierend auf Diesel, Erd- und Flüssiggas oder Methanol von **HYREF** aus Herten angeboten. Anwendungsbereiche sind hier vor allem die netzferne oder unterbrechungsfreie Stromversorgung kritischer Infrastrukturen. Als Zulieferer sind exemplarisch **HKO Isoliertechnik** aus Oberhausen (Isolierung für Hochtemperatur-Brennstoffzellen) und **Kostal** aus Hagen (Leistungselektronik) zu nennen.

Betreiber und Anwender

Die vorgenannten Betreiber und Anwender stehen exemplarisch für vielfältige Optionen aus den Bereichen wasserstoffbasierte Strom- und Wärmeerzeugung in Kraftwerksdimensionen, Wohnungsbau/Quartiere, kommunale Anwendungen im Stadtwerkebereich, industrielle oder kritische Anwendungen. Hier wäre zusätzlich **Nordfrost** anzuführen, die in Herne ein Tiefkühlager basierend auf dem Einsatz einer Brennstoffzelle betreiben. **E.ON Business Solutions** aus Essen hat sich überdies bereits einen Namen als Projektentwickler und -betreiber von industriellen Brennstoffzellen im MW-Bereich gemacht.

Fazit und Handlungsempfehlungen

Die Strom- und Wärmebereitstellung weist in der Metropole Ruhr sowohl zentral an (bestehenden) Kraftwerksstandorten als auch dezentral zur Versorgung einzelner Industriebetriebe sowie Gewerbe- und Wohnquartiere große Potenziale auf. Wenngleich sich die Wasserstoffanwendungen zunächst auf Verwendung in der Industrie (stofflich) und im Verkehr konzentrieren werden (Stichworte: Referenzkosten und Klimaschutzpotenzial), sollte dieser Bereich nicht außer Acht gelassen werden und – wie bereits gestartet – erste Demonstrationsprojekte umgesetzt werden. Die Empfehlungen im Einzelnen:

- Bestehende Kraftwerkstandorte sind auf eine spätere Umrüstung auf Wasserstoff-Gasturbinenbetrieb zu prüfen, Gasturbinenhersteller sind bei notwendigen Entwicklungen zu unterstützen

¹⁹ <https://powertheeu.eu/>

- Metropole Ruhr ist als früher Kristallisationspunkt eines Wasserstoffnetzes und mit hoher Bevölkerungsdichte prädestiniert für einen Ersatz fossiler Wärmeerzeugung durch Wasserstoff in Quartieren; erste Demonstrationsprojekte mit H₂-Microgrids sollte schon jetzt umgesetzt werden
- Sichere Stromversorgung kritischer Infrastrukturen durch Brennstoffzellen sollte forciert werden (Krankenhäuser, Mobil- und Behördenfunk, Umspannstationen etc.)
- Entwicklungsbedarf bei Herstellern von Brennstoffzellen und evtl. BHKWs und Thermen sollte unterstützt werden
- Koordinierung der Partner in vorgenannten Themenbereichen, insb. Beratung bei der Projektinitiierung inkl. Fördermaßnahmen

2.6 Forschung und Entwicklung, Anwendungs- und Testzentren

Die Metropole Ruhr ist außerhalb der Unternehmenslandschaft auch im Umfeld der Forschung und Entwicklung im nationalen Vergleich sehr gut aufgestellt. Die vorgenannte Studie des Instituts der deutschen Wirtschaft sieht die Metropole Ruhr in beiden Kategorien – Unternehmens- und Forschungslandschaft – an Position eins in Deutschland. Eine genauere Analyse bestätigt, dass im Ruhrgebiet ansässige Akteure vielfach landesweit zur Spitzengruppe gehören, z.B.:

- **H₂-Anwenderzentrum in Herten:** Im Oktober 2009 wurde in Herten das erste kommunale Anwenderzentrum für die Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie in Deutschland eröffnet. Es bietet Unternehmen und Forschungseinrichtungen Technikraumflächen zur Entwicklung, zum Test und zur Zertifizierung von Komponenten und Systemen an. Die direkte Erzeugung und Bereitstellung regenerativen Wasserstoffs durch eine Windstromelektrolyse vor Ort ist ein zentraler Bestandteil und das Alleinstellungsmerkmal des Anwenderzentrums. Neben vielen anderen Unternehmen nutzt bspw. das japanische Elektrolyseur-Hersteller Asahi Kasei das Zentrum. Jüngst hat das amerikanische Brennstoffzellen-Unternehmen Cummins seine Ansiedlung in unmittelbarer Nachbarschaft in Herten angekündigt.
- **Zentrum für Brennstoffzellentechnik (ZBT) in Duisburg:** Über 100 Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler forschen, prüfen und beraten am ZBT in Duisburg zu Themen rund um Wasserstoff und Brennstoffzelle. Mehr als 15 Jahre Erfahrung weist das ZBT im Bereich der Wasserstoffherzeugung in den Bereichen Elektrolyse, Infrastruktur und Qualität, chemische Brennstoffe, Reformierung und Standardisierung auf. Hervorzuheben ist das deutschlandweit einmalige Wasserstofftestfeld mit verschiedenen Elektrolysesystemen, Speichern, Kompressoren und einer flexiblen Betankungseinrichtung. Das ZBT arbeitet überdies in allen Ebenen der Wertschöpfungskette von PEM-Brennstoffzellen und hat jahrelange Erfahrungen hinsichtlich Regelwerke und Sicherheitsanforderungen. Vor diesem Hintergrund ist das ZBT an entscheidender Stelle bei der NRW-Bewerbung um das

- Technologie- und Innovationszentrum Wasserstoffmobilität (TIW) des Bundesverkehrsministeriums eingebunden.
- **Gas- und Wärmeinstitut in Essen:** Das Gas- und Wärme-Institut Essen e.V. (GWI) wurde 1937 gegründet und ist ein unabhängiges und weit über Nordrhein-Westfalen hinaus etabliertes Forschungsinstitut im Gasbereich mit rund 100 Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern. Im Fokus der Arbeiten steht die Erforschung, Optimierung und wirtschaftliche Nutzung der Potenziale des Energieträgers Gas mit dem Ziel, erneuerbare Energie zu integrieren, speichern und zeitunabhängig bereitzustellen. Themen sind Power-to-X, Dekarbonisierung und Sektorkopplung, Analysen zum Energieträger Wasserstoff sowie Folgeprodukte, Energiespeicherung mittels Power-to-Gas-Technologie, optimaler Einsatz von Kraft-Wärme-Kopplung inkl. Brennstoffzellen. Diesbezüglich ist der europaweit erstmalige Test eines Hybrid-SOFC-Systems mit Gasturbine zu nennen.
 - **Fraunhofer UMSICHT in Oberhausen:** Das Fraunhofer UMSICHT arbeitet an der Industrialisierung der Wasserstoffelektrolyse und forscht u.a. an neuen Katalysatoren. Aktuelle Schwerpunkte liegen vor allem im Ersatz der bisher verwendeten edelmetallhaltigen Katalysatoren, die durch kostengünstige und reichhaltig verfügbare Katalysatoren zu ersetzen sind. Daneben ist es ein Ziel, den Zellaufbau durch preiswertere Komponenten zu revolutionieren und dichtungsfreie, modulare Stacksysteme zu entwerfen. Ein weiterer Schwerpunkt bei UMSICHT liegt im Bereich der Herstellung von Bipolarplatten für PEM-Brennstoffzellen.
 - **Westfälische Hochschule in Gelsenkirchen:** Die Arbeitsgruppen „Wasserstoffenergiesysteme“ und „Wasserstofftechnik“ der Westfälischen Hochschule befassen sich seit über 15 Jahren mit der Entwicklung und Untersuchung von kleinen bis mittleren PEM-Brennstoffzellen und Elektrolyseursystemen. Ein Schwerpunkt der Arbeit ist die Entwicklung von Einzelzellen, Stacks sowie Systemen, insbesondere für Spezialanwendungen. Eine Schlüsselentwicklung der Arbeitsgruppe ist ein neuartiges modulares Stackdesign auf Basis der hydraulischen Verpressung, welches bereits weltweit zum Patent angemeldet worden ist und mit Industriepartnern kommerzialisiert wird.

Auch die **Max-Planck-Institute für Kohlenforschung** (heterogene Katalyse, Wasserstoffspeicherung) und **chemische Energiekonversion CEC** (heterogene Reaktionen, Umwandlung von Wasserstoff in Methanol oder Ammoniak) jeweils in Mülheim arbeiten im Grundlagenbereich am Thema Wasserstoff. Dasselbe gilt für die **Ruhr-Universität Bochum** und die **Universität Duisburg-Essen**.

Folgende Empfehlungen können abgeleitet werden:

- Forschungsaktivitäten in der Metropole Ruhr sind weiterhin zu unterstützen, um die gute Position zu festigen; dies fördert die Attraktivität des Standortes durch hier geleisteten technischen Fortschritt und die Verfügbarkeit von hochqualifiziertem Personal

- Die Verknüpfung von Instituten und Unternehmen bei F&E-Tätigkeiten in Kooperationsvorhaben ist durch einen Innovationstransfer weiter zu forcieren, um insbesondere KMU im Thema Wasserstoff weiter zu qualifizieren
- Hierzu ist eine Koordinierungsstelle aufzubauen, die die Netzwerkbildung, Projektentwicklung und Förderberatung sicherstellt

3 Kommunen, Netzwerke, Cluster

In der Metropole Ruhr existieren bereits einige Netzwerke und Cluster, die sich vollständig oder zumindest anteilig mit dem Thema Wasserstoff beschäftigen. Solche Netzwerke sind sinnvoll, um einen Wissensaustausch zu begünstigen, die fachlich-technische Arbeit im Rahmen von Projekten zu forcieren, gemeinsame Interessen zu entwickeln und zu vertreten sowie Öffentlichkeitsarbeit durchzuführen. Gerade in dem sich so dynamisch entwickelnden Bereich des Wasserstoffs sind Netzwerke bzw. Koordinierungsstellen von großem Wert für die handelnden Akteure.

Folgende Netzwerke/Initiativen mit Bezug zur Metropole Ruhr sind u.a. aufzuführen:

- **h2-netzwerk ruhr**: eingetragener Verein zu Wasserstoff im Ruhrgebiet
- **Wasserstoffkoordination Emscher-Lippe**: angesiedelt bei der WIN Emscher-Lippe GmbH
- **Digital Campus Zollverein**: eingetragener Verein zu Digitalisierung, Innovation und Transformation
- **H₂UB**: Initiative von OGE zur Unterstützung von Start-ups im Bereich Wasserstoff
- **Greentech.Ruhr**: Netzwerk der BMR zur Umweltwirtschaft
- **IN4Climate.NRW**: NRW-Landesinitiative zur klimaneutralen Industrie
- **Netzwerk Brennstoffzelle und Wasserstoff, Elektromobilität**: Teil der EnergieAgentur.NRW

Diese Übersicht kann ergänzt werden durch viele in der Metropole Ruhr aktive Kommunen:

- **Essen**: Machbarkeitsstudie HyExpert „E-GoH₂“ im Rahmen des NIP-HyLand-Programms
- **Kreis Recklinghausen, Bottrop, Gelsenkirchen**: Machbarkeitsstudie HyExperts „HyEXEL“ für Region Emscher-Lippe
- **Duisburg**: Teil des Gewinnerkonsortiums „Düssel.Rhein.Wupper“ des NRW-Modellregionen-Wettbewerbs Wasserstoffmobilität
- Weitere Kommunen, in denen Wasserstoffaktivitäten bereits in Umsetzung oder konkreter Vorbereitung sind: **Hamm, Herten, Kamp-Lintfort, Mülheim, Unna, Wesel etc.**

Als Fazit ist festzuhalten, dass in der Metropole Ruhr bisher keine Koordinierungsstelle vorhanden ist, die sich niederschwellig, für die gesamte Region und ganzheitlich mit dem Thema Wasserstoff beschäftigt. Die Einrichtung einer solchen Koordinierungsstelle wird daher empfohlen.

4 Gesamtheitliche Rückschlüsse und Handlungsempfehlungen

Die Metropole Ruhr ist über Jahrzehnte geprägt durch Energiewirtschaft, Stahl und (petro-) chemische Industrie sowie durch Verkehr und Logistik. All diese Bereiche sind z.T. seit längerer Zeit einem Wandel von emissionsbehafteten Lösungen zu emissionsarmen oder -freien Alternativen unterzogen. Wasserstoff als Speichermedium, Kraftstoff, Brennstoff oder Rohstoff spielt bei diesem Transitionsprozess eine wichtige Rolle. Entsprechende Wasserstoffstrategien auf Bundes- und Landesebene weisen insbesondere dem Ruhrgebiet eine wichtige Bedeutung zu.

In der Wasserstoff-Roadmap NRW werden im Ruhrgebiet zum einen ein zukünftiger Verbrauchsschwerpunkt für Wasserstoff und zum anderen mit dem einhergehenden Technologiebedarf im Zukunftsmarkt Wasserstoff große Chancen für den Strukturwandel gesehen.

Die hier durchgeführte Bestandsanalyse zeigt, dass viele Aktivitäten in der Metropole Ruhr bereits entstanden sind: durch die Großindustrie, durch Energieversorger, durch Stadtwerke, durch Wirtschaftsförderer und Kommunen sowie durch die Forschung. Basis bildet vielfach die bestehende Expertise durch die bereits langjährige Anwendung von (grauem) Wasserstoff mitsamt der bestehenden Infrastruktur, u.a. einer Wasserstoffpipeline, die mit 240 km Länge durch das Ruhrgebiet und Rheinland führt.

Hierbei werden bereits Bestandteile der gesamten Wertschöpfungskette (s. Kapitel 2) im Ökosystem Wasserstoff bestehend aus der H₂-Produktion, -Übertragung, -Verteilung und -Speicherung, sowie der H₂-Anwendung in der Industrie, im Verkehr und für die Strom- und Wärmebereitstellung betrachtet. Es fehlt bisher allerdings an einer koordinierten Vorgehensweise, um Synergien zu erschließen (z.B. Bündelung von Wasserstofferzeugung und Nachfrage, Aufbau von Technologiepartnerschaften) insbesondere unter Einbindung der lokalen Wirtschaft auf Seiten von Herstellern und Zulieferern, vor allem KMU. Zudem geht es darum Start-ups zu entwickeln, die an den Schnittstellen von Wissenschaft und Wirtschaft entstehen.

Die konkrete Handlungsempfehlung lautet, im Rahmen einer „**Koordinierungsstelle Wasserstoff Ruhr**“ die relevanten Akteure im Ökosystem Wasserstoff neu oder besser zu positionieren, um hiermit zu Klimaschutz und Ressourcenschonung sowie zum Erhalt und Ausbau von Arbeitsplätzen beizutragen. Es gilt, die vielfältigen Aktivitäten der Metropole Ruhr von Großindustrie bis Start-ups, von Forschungseinrichtungen bis kommunale Initiativen zusammenzuführen und zu verstärken. Unterstützung sollte im Bereich Projektentwicklung und Förderberatung angeboten werden -- insbesondere für KMU, die hier besonderen Bedarf aufweisen.

Vorab gilt es, einen Fahrplan für die Metropole Ruhr – eine „**Wasserstoff Roadmap Ruhr**“ – zu entwickeln, die basierend auf Zielsetzungen (bspw. für die Jahre 2025 und 2030) konkrete Handlungsansätze und Meilensteine für die einzelnen Bereiche des Ökosystems Wasserstoff im Ruhrgebiet enthält. Da in der

Wasserstoff Roadmap NRW die Metropole Ruhr die entscheidende Schlüsselregion darstellt, könnte die „Wasserstoff Roadmap Ruhr“ in Anlehnung an den NRW-Fahrplan entwickelt werden.

Der Lösungsansatz für die **Koordinierungsstelle Wasserstoff Ruhr** beinhaltet folgende Aspekte:

- Begleitung der Wasserstoff Roadmap Ruhr
- Aufbau des Netzwerks/Erfassung der Akteure und Aktivitäten
- Erarbeitung gemeinsamer Ansätze für Innovationen – projekt- und produktbasiert – in den einzelnen Bereichen der Wertschöpfungskette im Ökosystem Wasserstoff (s. Kapitel 2)
- Anbieten von Beratungsleistungen bei der Projektentwicklung und Fördermaßnahmen: Förderquellenidentifikation, Erstellung von Förderanträgen und Businessplänen
- Aufbau von übergreifenden Kooperationen über die gesamte Wertschöpfungskette im Ökosystem Wasserstoff hinweg; erste Verknüpfung von H₂-Produktion und -Anwendung
- Vorbereitung eines „H₂-Enablers“ als Intermediär zwischen allen Akteuren – Produzenten und Nachfragern, Infrastrukturbetreibern, Herstellern und Zulieferern, sowie Forschung und Entwicklung – im Ökosystem Wasserstoff basierend auf den bereits gestarteten Aktivitäten (u.a. auch HyExperts) mit besonderem Fokus auf KMUs und Start-ups in der Metropole Ruhr

Die folgende Abbildung 3 enthält abschließend einen Vorschlag zur Umsetzung der vorgenannten Koordinierungsstelle Wasserstoff Ruhr

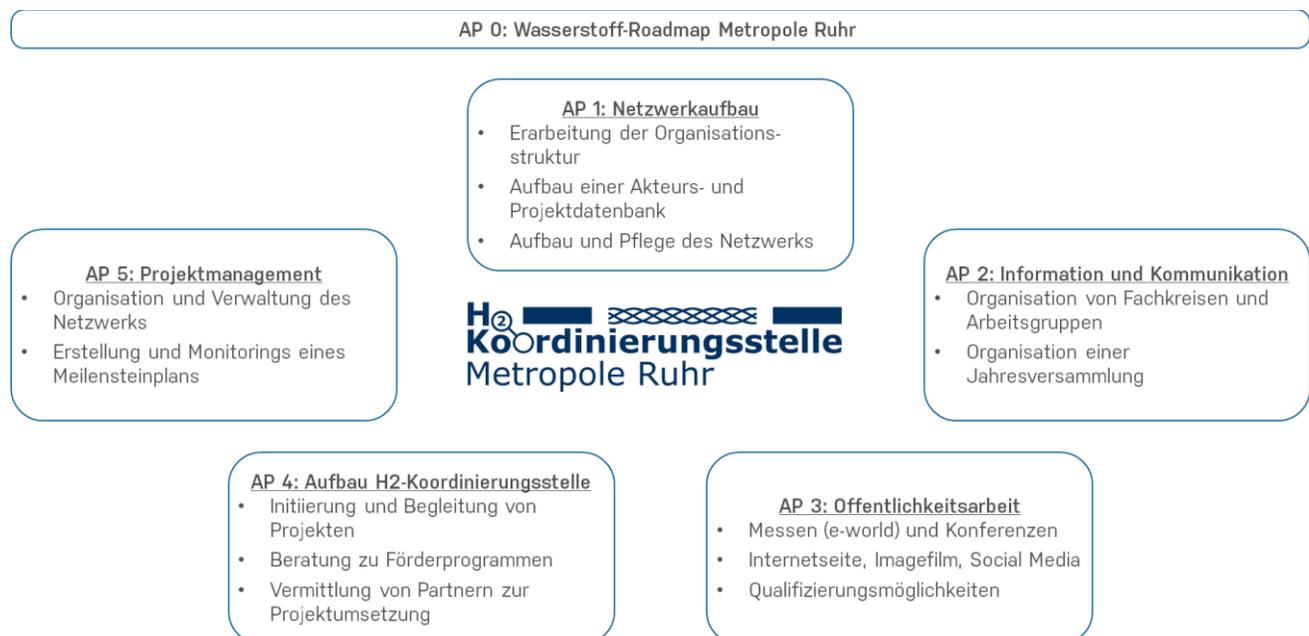


Abbildung 3: Mögliche Arbeitsinhalte der Koordinierungsstelle Wasserstoff Ruhr