

Forschungs- und Entwicklungsbedarfe zum Einsatz von Wasserstoff in der Chemieindustrie

Die chemische Industrie steht vor der großen Herausforderung, fossile Eingangsstoffe und Energieträger auf klimaneutrale Alternativen umzustellen. Dabei kann und wird Wasserstoff eine prominente Rolle übernehmen. Die Umsetzung bedarf jedoch der Klärung einiger noch offener Fragestellungen. So ist nicht nur die Verfügbarkeit zu gewährleisten, sondern auch technologische Herausforderungen innerhalb der chemischen Prozessketten sind zu betrachten. Die Komplexität dieser Transformation besteht insbesondere in der Anpassung von zum Teil seit Jahrzehnten etablierten industriellen Prozessen mit hohen (aktuell auch einzigen) Wasserstoffbedarfen, wie Methanol- und Ammoniaksynthesen. Zudem gilt es auch, völlig neue Technologien und industrielle Prozesse für die Defossilisierung der chemischen Industrie zu entwickeln. Diese werden einen entsprechend hohen zukünftigen Bedarf an klimaneutralem Wasserstoff beinhalten. Im Fokus steht insbesondere die Entwicklung von Prozesstechnologien für die Herstellung von synthetischem Naphtha oder Alternativen als Basis für die Grundstoffindustrie.

Daraus ergeben sich eine Vielzahl von Forschungs- und Entwicklungsthemen, welche parallel angegangen werden müssen. Um diese zu erfassen, wurde im Rahmen der AG 1 des Nationalen Wasserstoffrates ein dreistufiger Prozess gestartet. Hierbei wurden relevante Experten ausgewählt und mit ihnen zukünftige Bedarfe und Handlungsfelder diskutiert. Die Ergebnisse dieses Prozesses sind nachfolgend zusammengefasst und spiegeln Sachstand, Forschungs- und Entwicklungsbedarfe sowie erste Empfehlungen wider.

1 SACHSTAND

Durch die Ausführungen der Experten und die Diskussionen konnten verschiedene Aspekte zum aktuellen Sachstand identifiziert werden. Die wesentlichsten sind nachfolgend aufgeführt.

Die Rolle von Wasserstoff bei der Erreichung der Klimaziele ist substanziell, jedoch in der aktuellen Betrachtung der chemischen Industrie wird diese noch unterschätzt. Hinzu kommen die Entwicklung und Etablierung neuer Prozesstechnologien, welche die Erschließung zusätzlicher Quellen für relevante Elemente wie Schwefel und Kohlenstoff beinhalten.

Die deutsche Elektrolyse-Industrie befindet sich im Übergang zur Industrialisierung und Skalierung, welche für den großtechnischen Einsatz von grünem Wasserstoff in chemischen Prozessen unabdingbar ist. Folglich ist der Markthochlauf mit der technologischen Neuorientierung der chemischen Industrieprozesse zu parallelisieren.

Mit den derzeitig verfügbaren LCA-Tools und Modellierungen, die Aussagen zu aktueller Entwicklung der Klimaauswirkungen ermöglichen, ist eine Projizierung der Ist-Daten in die Zukunft auf Basis der bestehenden Daten und Entwicklungen lückenhaft. Dies führt zu einer verfälschten Darstellung des Ist-Standes, der zeitlichen Entwicklung und zu einer extremen Spannweite der Prognosen.

2 FORSCHUNGS- UND ENTWICKLUNGSBEDARF

2.1 GRUNDSÄTZLICHE F&E-ASPEKTE

Im Folgenden werden die Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten erfasst, die der Umsetzung einer Klimaneutralität im Jahr 2035 in der chemischen Industrie dienen, verbunden mit dem Ziel, die Petrochemie zu vergrünen und auf den Einsatz von Wasserstoff vorzubereiten. Von Relevanz sind dabei die Auswirkungen auf die sichergestellte Versorgung mit Aromaten und anderen Basischemikalien.

Die sich entwickelnden energieeffizienten technologischen Innovationen sollten modular und „drop-in-fähig“ eingebaut werden können, um so bestehende Prozessketten in möglichst großem Umfang weiternutzen zu können. In diesem Kontext gilt es zudem, integrierte Systeme zu schaffen und die Prozesssteuerung so zu optimieren, dass Effizienz und Resilienz kontinuierlich erhöht werden. Einen Beitrag dazu leisten z. B. Entwicklungsfortschritte im Bereich der Wasserstoffverdichtung, die nicht nur auf verbesserte Energieeffizienz abzielen, sondern auch auf geringere Standzeiten und einen flexibleren Betrieb.

2.2 TECHNIKEN, DIE ZUR INDUSTRIALISIERUNG ANSTEHEN (TRL 7-8)

Zur Erreichung dieser optimierten Prozesse muss zunächst die heute etablierte Elektrolysetechnologie technologieoffen schnell in industrieller Größenordnung am Markt implementiert werden. Dazu gehört auch eine konsequente Senkung der Kosten von Elektrolyseanlagen und Komponenten durch Industrialisierung und konsequente evolutionäre Weiterentwicklung.

2.3 TECHNIKEN MIT GRUNDLEGENDEM F&E-BEDARF

Die Anforderungen, die aus der Integration in erneuerbare Energiesysteme entstehen, sind ein wesentlicher Fokus, insbesondere in Hinblick auf den dynamischen Betrieb, der Wechselbelastungen erzeugt, die für Prozesse und Materialien Stress bedeuten.

Speichertechnologien für (grünen) Strom sind ein zusätzliches wichtiges Element der Kette. Grüne Trägermoleküle für Wasserstoff oder Rohstoffe sollten im Stoffverbund und in Richtung ganzheitlicher Wertschöpfungsketten genauer betrachtet werden, mit Fokus auf Transport- und Kosteneffizienzen und deren Verfügbarkeit sowie regionale Versorgungssicherheit. Dies betrifft insbesondere auch Wasserstoffderivate wie Ammoniak.

Materialforschungsbedarfe gibt es grundsätzlich insbesondere im Bereich frei getesteter Dichtungsmaterialien und -konzepte für Wasserstoff. Ein Thema von ebenso hoher Relevanz ist der Ersatz seltener und bedenklicher Materialien. Als Beispiele seien die Herstellung von Elektroden ohne Platinmetalle oder fluorfreie Membrane genannt. Durch die Weiterentwicklung kann langfristig Unabhängigkeit von strategischen oder bedenklichen Ressourcen erreicht werden.

Weiterhin sind Aktivitäten in Richtung Hochtemperaturelektrolyse als sinnvoll in Richtung Integrationsfähigkeit thermischer Prozessketten einzuschätzen. Relevante Forschungsthemen sind hierbei die Maximierung der Wirkungsgrade und effiziente Nutzungsmöglichkeiten der entstehenden Abwärme. Lebensdauererlösende Innovationen sind ebenso zu fördern.

Um alle Klimaziele fristgerecht erreichen zu können, muss auch der Energieverbrauch grundsätzlich gesenkt werden. Derzeit sind viele Technologien noch dampfintensiv. Dieser kann mithilfe geeigneter Katalysatoren für CO₂-Abscheidungs- und Speicherprozesse genutzt werden und so sowohl zu erhöhter Energieeffizienz als auch zu verringerten Emissionen beitragen. Auch alternative Prozesse, wie OxyCombustion oder die Nutzung zur Wärmeversorgung, sind möglich und sollten unter ganzheitlicher Prozesskettenentwicklung berücksichtigt werden.

Neben technologischen Weiterentwicklungen und Materialforschungen gilt es, im Zuge einer wirtschaftlichen Umsetzung die bestehende Infrastruktur zu nutzen und die neue Wasserstoffwertschöpfungskette effektiv und ggf. schrittweise einzubinden. Hier bedarf es bei Komponenten und Bauteilen, die in Kontakt mit Wasserstoff kommen, z. B. insbesondere der Betrachtung von Standzeiten und Materialverträglichkeiten bei Drücken von über 200 bar. Diesbezüglich sind explizit die Brennertechnologien, deren Brenner und Öfen für reinen oder hochkonzentrierten Wasserstoff konvertiert werden müssen, zu erforschen und industriell einsatzfähig zu gestalten. Dabei ist neben der grundsätzlichen Passfähigkeit auch die schrittweise Umstellung von Erdgas auf Wasserstoff zu berücksichtigen.

Im industriellen Einsatz sind prinzipiell besondere Sicherheitsvorkehrungen erforderlich, z. B. unter kryogenen Bedingungen. Dies spiegelt sich auch in der Forschung und Entwicklung für die Verbesserung von Sicherheitstechnik wider, etwa durch die industrielle Detektion von Wasserstoffaustritten.

Ein wichtiger Enabler der zielgerichteten Umsetzung ist eine Standardisierung von Bauteilen sowie Planungs- und Bewertungsmethoden. Es besteht ein Bedarf an entsprechenden Komponentenkatalogen und/oder standardisierten Angaben u. a. zu mittleren Betriebsdauern zwischen Ausfällen (MTBF) und weiteren (Erfahrungs-)Werten. Zudem sollen allgemein anerkannte Empfehlungen für Bauteilalterungen, Zyklensfestigkeiten und Materialwechselwirkungen (beispielsweise Aging/Rafftests) in Form von Qualifizierungsarbeiten bereitgestellt werden. Beides geht einher mit dem Ziel, ein gemeinsames Industrierwissen aufzubauen und so EU-weiten Qualitätsstandards zu genügen. Hierbei kann teilweise auf bestehenden Systemen aufgesetzt werden, diese sind jedoch unter dem Aspekt des verstärkten Wasserstoffeinsatzes neu zu bewerten. Verbesserte technische Lösungen zur Wasserstoffproduktqualitätssicherung stehen im Fokus, z. B. kostengünstige Online-Messungen entsprechend den anerkannten Qualitätsstandards.

Einen Beitrag zur Wasserstoffkreislaufwirtschaft leistet die Forschung durch zielgerichtete Bedarfsermittlungen. So sollen Entwicklungsszenarien aufgestellt werden, die den Einfluss einer funktionsfähigen Kreislaufwirtschaft aufzeigen und so genaue Prognosen über den Wasserstoffbedarf ermöglichen. Neben der Korrektur der bisher unterschätzenden Wahrnehmung der Bedarfe in der chemischen Industrie als Ganzes benötigt es ebenso eine Analyse im Bereich chemisches Recycling. Dies schließt eine Lücke in der Abfallhierarchie zwischen mechanischem Recycling und Wiederverwendung und ist als solche Technologie noch nicht vollends am Markt etabliert, könnte aber zukünftig den Bedarf an neuen Kohlenstoffquellen ergänzen. Weitere Technologien, deren Reife auf TRL 8 in den kommenden Jahren hochskaliert wird, müssen ebenso Berücksichtigung in den Entwicklungsszenarien finden. Dies betrifft auch die Nutzung des anfallenden Elektrolyse-Sauerstoffs oder weiterer Nebenprodukte anderer Prozesse bei deren Optimierung.

Erhöhter Forschungs- und Entwicklungsbedarf zeigt sich in der Kostenreduzierung, die sowohl in TRL-8-Technologien als auch solchen mit niedrigeren Reifegraden – dort von Anfang an – konsequent mitgedacht werden muss. So bedarf es weiterer Aktivitäten zur Steigerung der Kosteneffizienz entlang der Wasserstoffwertschöpfungskette, insbesondere in Hinblick auf Nutzung von Nebenprodukten und Prozessoptimierung. Die Kosten und Auswirkungen auf Chemieparks im Bereich Methanol, Ammoniak, LOHC usw. sollen untersucht werden, vor allem mit dem Blick einer nachhaltigen Versorgungssicherheit. Ebenso bisher weitgehend unerforschte Technologien, wie Ammoniak-Cracking, gilt es im Hinblick auf Wirtschaftlichkeit und ausreichenden quantitativen Beitrag zur Erreichung der Klimaziele zu untersuchen. Der Nationale Wasserstoffrat empfiehlt Pilotprojekte, die auf Basis der zu erforschenden Technologie- und Entwicklungsszenarien Kostendegressionen und Geschäftsmodelle ableiten, unter Berücksichtigung von Betriebskosten. Dabei soll ebenso ein Fokus auf Prozessketten mit regionalen Strukturen gelegt werden, in Hinblick auf System- und Kosteneffizienz und grundsätzliche Moleküloptionen. Zur Entwicklung dieser Geschäftsmodelle sind umfangreiche Modellierung und Darstellung von Kostendegressionskurven vonnöten.

Im Bereich der Kostenreduzierung kommen der techno-ökonomischen und der Life-Cycle-Cost-Analyse besondere Bedeutung zu. Fragestellungen sind neben den Kostendegressionskurven die Nutzung vorhandener Gasnetze für Wasserstoff, wirtschaftliche Einsatzmöglichkeiten von Membrantechnologien sowie der Einfluss der Lebensdauer.

3 SICHERUNG DES FACHKRÄFTEANGEBOTES

Als sich neu entwickelndes und wandelndes Betätigungsfeld bietet der Einsatz von Wasserstoff in der chemischen Industrie besondere Herausforderungen für die zukünftigen Fach- und Führungskräfte. So gilt es, neue Kompetenzen zu erwerben und die Transformationsaktivitäten in Richtung grüne Chemie zielführend mitzugestalten. Über die Möglichkeit, als ausgebildete Fachkraft in der jeweiligen Heimat mitwirken zu können, kann insbesondere durch Weiterbildungsaktivitäten Fachkräfteabwanderung entgegengewirkt werden. Neben allgemeinen Weiterbildungsbedarfen benötigt es insbesondere im Anlagenbau und in der fachspezifischen Prozesskompetenz Umschulungen mit dem Fokus der Attraktivitätssteigerung für das Arbeiten im Bereich einer grünen Chemieindustrie der Zukunft. So müssen neue Chemie- und Elektrochemieprozesse für z. B. Verträglichkeit und Wechselbelastung (Lebensdauer) erlernt werden. Grundsätzlich sind jedoch entlang der Wasserstoff-Wertschöpfungskette neue Angebote in Richtung Prozessoptimierung und -verschaltung notwendig.

4 HANDLUNGSEMPFEHLUNGEN

Der Einsatz von Wasserstoff in der chemischen Industrie bedarf entlang der Wertschöpfungskette gesonderter Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten. Der Nationale Wasserstoffrat empfiehlt den Aufbau der einzelnen Technologien entlang ebendieser Kette, sowohl bei der Wasserstoffproduktion als auch bei den Umstellungen der Chemieanlagen- und -prozesse. Dies betrifft insbesondere auch den gezielten Aufbau von Technologiezulieferern, die bei der Skalierung eine entscheidende Rolle spielen werden.

Der Technology Readiness Level (TRL) soll als Leitmaßstab der Bewertung dienen:

- ◆ Der Hauptfokus soll zunächst auf der Herstellung der Serienreife von TRL-8-Technologie liegen (insbesondere Industrialisierung der Elektrolyse).
- ◆ Technologien mit niedrigerem TRL sollen gefördert und jene auf mittlerem TRL sollen auf Pilotanlagenmaßstab skaliert werden, um Risiken des Entwicklungsprozesses zu reduzieren und realistische Geschäftsmodelle zu ermöglichen.
- ◆ Forschungsaktivitäten zur Substitutionsfähigkeit seltener und bedenklicher Materialien sollen intensiviert werden, um strategische Ressourcenunabhängigkeit zu erreichen.
- ◆ Regionale Strukturen und Prozessketten sind dabei besonders zu berücksichtigen, welche die jeweiligen Versorgungsstrategien und Produktketten als Ganzes abbilden.

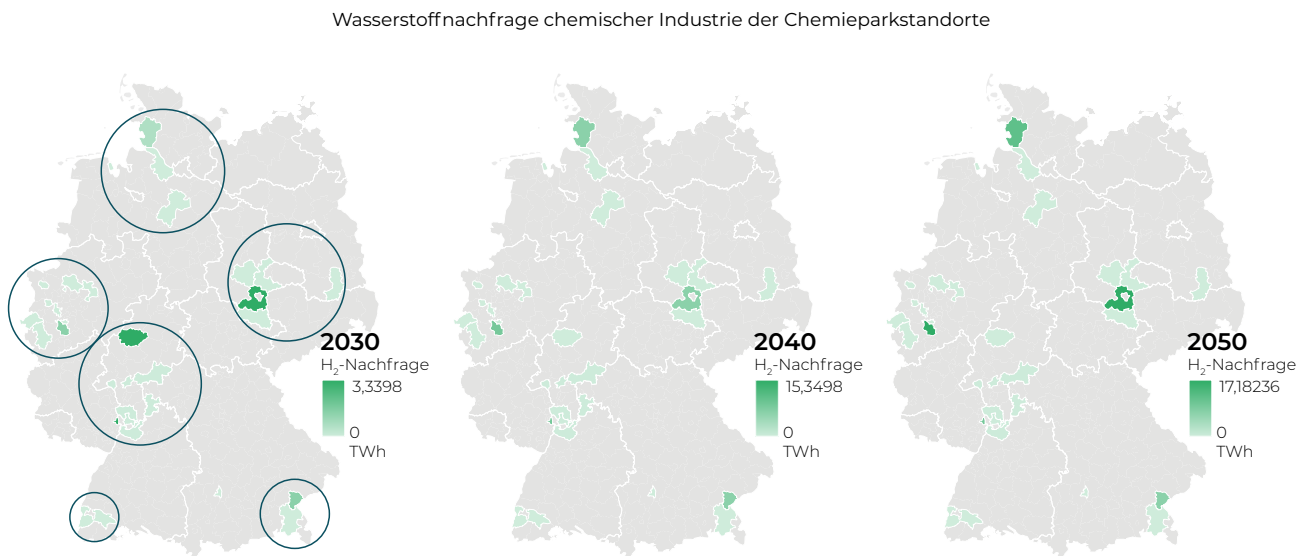
Dementsprechend wird der Fokus auf eine schnelle Umsetzung von Prozessen gelegt, die absehbar relevant, industrialisierbar und skalierbar sind, nach dem Prinzip „Demonstrieren, Skalieren, Anwenden“. Der Bereich der Anwendung bezieht sich nicht nur auf die Umstellung der regionalen Strukturen, sondern beinhaltet auch den Export ganzheitlicher Prozesskettenkonzepte.

Weiterhin soll der Grundsatz der Technologieoffenheit verfolgt werden. Alle Technologien, die zur Erreichung der Klimaziele dienen, sind zu berücksichtigen. Derzeit sollte keine Eingrenzung auf H₂ als Carrier-Molekül erfolgen, auch Alternativen (Ammoniak, LOHC) sollen F&E-bezogen berücksichtigt werden. Um den deutschen Technologievorsprung auch langfristig beibehalten und ausbauen zu können, soll bei der Weiterentwicklung bestehender Technologien deren globale Anwendbarkeit angestrebt werden, um umfassende Technologieexporte zu ermöglichen.

Zur Unterstützung der Skalierung auf das avisierte TRL 8 empfiehlt der Nationale Wasserstoffrat den schnellen Aufbau von Referenzanlagen. Dafür sollten Verbundstandorte ausgewählt werden, um die stärkere Verzahnung von Forschung und Entwicklung mit der industriellen Umsetzung zu fördern. Als Charakteristika für diese Standorte wird mindestens die 10-MW-EL-Ebene für Invest-Entscheidungen sowie unterschiedliche regionalen Strukturen bei den Prozessketten und der Versorgung empfohlen. Mithilfe von 10.000 bis 100.000 t Wasserstoff pro Jahr kann aufgezeigt werden, dass die Technologie im Größeren funktioniert. Auch aus Sicht des Anlagenbaus kann durch die Umsetzung entsprechender Referenzanlagen („First-of-a-kind“) und Verbundstrategien deren Marktfähigkeit über den Standort Deutschland hinaus demonstriert werden. Es empfiehlt sich, Forschungsanlagen in großer Dimensionierung aufzusetzen und die Dynamik auf Erzeugerseite (erneuerbare Energien) mit der Nichtdynamik auf Verbraucherseite zu koppeln.

In Abbildung 1 werden Referenzstandorte (küstennah/offshore, Hafennähe/Schiffslieferungen, Binnenlandlage/regionale Versorgung) und ihre Wasserstoffnachfrage in den Jahren 2030, 2040 und 2050 bildlich in einer Deutschlandkarte dargestellt.

Abbildung 1: Referenzstandorte (küstennah/offshore, Hafennähe/Schiffslieferungen, Binnenlandlage/regionale Versorgung) und ihre Wasserstoffbedarfe



Unter Berücksichtigung der aktuellen regionalen Struktur der chemischen Industrie sowie deren Prognose auf Basis der Skalierung des Ist-Zustandes wird eine regionale Clusterung deutlich. Es wäre zu empfehlen, auf dieser Basis Experimentierräume mit entsprechenden Besonderheiten in den Fokus zu nehmen: Küstennahe Cluster mit direkter Kopplung zum Auf- und Ausbau der H₂-offshore-Strukturen, hafennahe Standorte bilden Referenzstrukturen für die Kopplung mit Schiffslieferungen (H₂, Derivate und Zwischenprodukte); Standorte in Binnenlandlage bilden Strukturen mit regionaler Versorgung aus. Somit könnten unterschiedliche technologische Ansätze bis zur industriellen Implementierung erprobt und nachhaltig auch unter Effizienz-, Kosten- und Klimaneutralitätsgründen betrachtet sowie bewertet werden.

Eine Besonderheit bilden Standorte mit Raffinerien, die neben der Hochskalierung und schnellen Realisierung alternativer Prozesstechniken wenig spezifische Basisforschung benötigen. Entscheidend sind hier geeignete Rahmenbedingungen und eine verbindliche rechtliche Basis für Investitionsentscheidungen, welche nicht direkt Gegenstand der Analyse zu den Forschungsbedarfen sein kann.

Zur Etablierung der Wasserstofftechnologien in der chemischen Industrie bedarf es einer ganzheitlichen Analyse des sinnhaften Einsatzes von Elektronen. Der Vergleich von Elektrifizierung und anderen Wegen für z. B. Prozesswärme wird benötigt. Ebenso steht die Standardisierung von Komponenten und Anforderungen an diese in Form von Komponentenkatalogen und Rafftests aus.

Einhergehend mit den noch offenen Skalierungs- und Forschungsfragen gibt es derzeit keine Best Practices im Bereich Geschäftsmodellentwicklung. Es gilt, diese insbesondere im Bereich der sektorübergreifenden Arbeit aufzuzeigen, wofür die Referenzanlagen und -standorte als Konzeptblaupausen für die Transformation der chemischen Industrie zu verwenden sind. Dies sollte im Kontext der industriellen Themenanordnung geschehen. Ein Top-down-Ansatz, aus der Praxis kommend, der dann in verschiedenen Anwendungen zum Tragen kommt, wird empfohlen. Dafür benötigt es eine enge Zusammenarbeit von Forschung und Industrie, die entlang der Wertschöpfungskette fehlende Bausteine aufzeigt, nach deren Erforschungsnotwendigkeit differenziert und dann anwendungsnah umsetzt.



DER NATIONALE WASSERSTOFFRAT

Mit der Verabschiedung der Nationalen Wasserstoffstrategie hat die Bundesregierung am 10. Juni 2020 den Nationalen Wasserstoffrat berufen. Der Rat besteht aus 26 hochrangigen Expertinnen und Experten der Wirtschaft, Wissenschaft und Zivilgesellschaft, die nicht Teil der öffentlichen Verwaltung sind. Die Mitglieder des Wasserstoffrats verfügen über Expertise in den Bereichen Erzeugung, Forschung und Innovation, Dekarbonisierung von Industrie, Verkehr und Gebäude/Wärme, Infrastruktur, internationale Partnerschaften sowie Klima und Nachhaltigkeit. Der Nationale Wasserstoffrat wird geleitet durch Katherina Reiche, Parlamentarische Staatssekretärin a. D.

Aufgabe des Nationalen Wasserstoffrats ist es, den Staatssekretärsausschuss für Wasserstoff durch Vorschläge und Handlungsempfehlungen bei der Umsetzung und Weiterentwicklung der Wasserstoffstrategie zu beraten und zu unterstützen.

◆ **Kontakt: info@leitstelle-nws.de, www.wasserstoffrat.de**