

## Überblick und Politikempfehlungen

Auf Grundlage der in dieser Studie formulierten Ziele, wurde die Akzeptanz bei Expertinnen und Experten aus fünf europäischen Ländern (Deutschland, Frankreich, Slowenien, Spanien und Großbritannien) für die Wasserstoffbereitstellung und -nutzung als auch für mobile und stationäre Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologien (HFC) mit Hilfe quantitativer und qualitativer Methoden analysiert. Die Studie ermöglichte es, die Stärken und Schwächen des Innovationssystems von HFC-Technologien zu untersuchen und die Voraussetzungen, die nach Auffassung der Akteure für die weitere Verbreitung von HFC-Technologien benötigt werden, aufzuzeigen. Die Ergebnisse zeigen, dass:

### **1. Die Mehrheit der Stakeholder ist der Meinung, dass HFC-Technologien umweltfreundlich sind**

Die Interviewpartner hoben das Potenzial von HFC-Technologien zur Reduktion von Umweltverschmutzungen und zur Bekämpfung des Klimawandels hervor. Dieser Aspekt ist insbesondere bei der Nutzung von Wasserstoff-Brennstoffzellen-Fahrzeugen (FCEV) im städtischen Bereich im Hinblick auf die Reduzierung von klimaschädlichen Emissionen von großer Bedeutung. Des Weiteren wird die potenzielle Rolle von Wasserstoff als Energieträger für die Integration Erneuerbarer Energien als wichtig empfunden, da dies die Verbreitung von nachhaltiger Energie fördern kann.

Der Umweltschutz wird als wichtige Motivation für das Vorantreiben von Wasserstoff-Brennstoffzellentechnologien im Gegensatz zu fossilen Alternativen angesehen.

### **2. HFCs werden als reife Technologien wahrgenommen**

HFC-Technologien werden von den Interviewten allgemein als positiv und effizienter als bereits existierende Technologien wahrgenommen. So sind die Stakeholder in Bezug auf die Wasserstoffbereitstellung und -nutzung bspw. der Ansicht, dass Wasserstoff ein gutes Medium für weitere Energiequellen sowie ein guter Überträger von Wärme und Energie darstellt. In Bezug auf stationäre Anwendungen können HFC-Technologien unterbrechungsfreie Stromversorgung sicherstellen; aus Sicht der Stakeholder aus Großbritannien können diese Anwendungen in bereits bestehende Technologien integriert werden und besitzen große Leistungspotenziale. Die genannten zentralen Stärken von Wasserstoff-Brennstoffzellen-Fahrzeugen umfassen vor allem Aspekte der technischen Performanz: große Reichweite, schnelle Betankung, hohes Drehmoment etc. Zukünftige technische Herausforderungen sehen einige Befragte jedoch in der Errichtung von Wasserstoff-Tankstellen.

Die Befragung zeigt, dass die Erwartungen der Expertinnen und Experten hinsichtlich der zukünftigen Marktentwicklung unterschiedlicher Anwendungen für Wasserstoff-Brennstoffzellen-Busse und für Wasserstoff als Medium, um Energie aus Erneuerbaren Energiequellen zu speichern, am positivsten sind, am höchsten sind, gefolgt von wasserstoffbasierten Notfallsysteme.

Die am wenigsten positiven Aussichten bestehen aus Expertensicht für Großanlagen zur Primärenergieerzeugung.

### **3. Von Skepsis zu Akzeptanz: Soziale Wahrnehmung von HFC-Technologien**

Im Allgemeinen sind die befragten Expertinnen und Experten der Ansicht, dass Wasserstoff-Technologien von der Öffentlichkeit und wichtigen Akteuren positiv wahrgenommen werden. Die interviewten Expertinnen und Experten erwarten, dass die Nutzer neue Technologien akzeptieren und nachfragen werden - trotz vorheriger Bedenken, wie beispielsweise hinsichtlich Sicherheit. Nach Ansicht der AkteurInnen sind neue FCEV-Nutzer mit der Technologie zufrieden.

**Tabelle 1.** Wichtigste Stärken, Schwächen, Empfehlungen und Erwartungen für drei Anwendungsbereiche nach Ansicht der Expertinnen und Experten

Application	Stärken (von sehr wichtig zu weniger wichtig)	Schwächen (von sehr wichtig zu weniger wichtig)	Empfehlungen	Erwartungen
<b>Wasserstoffbereitstellung und -nutzung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Umweltfreundlich (DE, SP, GB, FR, SI)</li> <li>• Speichermedium für andere Energiequellen &amp; Stromnetz (DE, S, GB, FR, SL)</li> <li>• Überträger von Wärme und Energie (DE, S, SL)</li> <li>• Positive Bewertung in der Bevölkerung (FR, DE)</li> <li>• Erschwinglich (GB, S, SI)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mangel an Märkten / Marktakzeptanz (S, GB, SL, FR, DE)</li> <li>• Kosten (S, GB, SL, FR, DE)</li> <li>• Unangemessene oder zu strikte Regulierungen/ Standards (DE, S, FR, GB)</li> <li>• Mangel an H<sub>2</sub>-Versorgung (SL)</li> <li>• Handling und Transport von H<sub>2</sub> (SL)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Staatliche und politische Unterstützung (DE, S, GB, FR)</li> <li>• Fiskalische Unterstützung (DE, SL)</li> <li>• Information und Einbezug aller Akteure (S, FR)</li> <li>• Power-to-Gas (S)</li> <li>• F&amp;E um Kosten zu reduzieren (DE)</li> <li>• Unterstützung durch kommerzielle Partner (GB)</li> <li>• Zielgerichtete strategische Unterstützung (SL)</li> <li>• Regulatorische Unterstützung (GB)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Generell positiv (DE, SP, GB, SL, FR, S)</li> <li>• Kurzfristige Marktentwicklung (DE, FR, GB)</li> <li>• Hohes Potenzial, unsichere Zukunft (S, GB, FR)</li> <li>• Power-to-Gas (DE, S, FR)</li> <li>• Nutzung mobiler Anwendung entscheidend für H<sub>2</sub>FC-Zukunft (S, FR)</li> <li>• Verbreitung langfristig (SL, GB, S)</li> <li>• Nationale Unterschiede und Spezifikationen (FR, GB, S)</li> </ul>
<b>Stationäre Brennstoffzellen-Einheiten</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Unterbrechungsfreie oder übertragbare Energie (FR, GB, S, DE)</li> <li>• Zuverlässigkeit (DE, GB, S)</li> <li>• Effizienz (DE, S, SL)</li> <li>• Positive Wahrnehmung (DE, FR)</li> <li>• Umweltfreundlich (DE, GB)</li> <li>• Integration in bestehende Infrastruktur (GB)</li> <li>• Hohes Leistungspotenzial (GB)</li> <li>• Geringe Umstellung der Verbraucher notwendig (GB, SL)</li> <li>• Reduziert Druck auf elektrische Versorgungsnetzwerke (SL, GB)</li> <li>• Geeignet für diverse spezielle Umfeldbe-</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kosten (DE, S, GB, SL)</li> <li>• Niedriges Bewusstsein und Unterstützung durch Staat/Regulierer (DE, GB, SI, S)</li> <li>• Investitionsmangel (FR, S)</li> <li>• Relativ geringe Leistung (FR)</li> <li>• Herausforderung, kommerzielle Partner zu gewinnen (SL, DE, S)</li> <li>• Versorgungs- und Distributionsprobleme (GB, DE)</li> <li>• Konkurrenz von alternativen Technologien (GB, DE)</li> <li>• Komplexität des Systems und/oder dessen Komponenten (S, SL)</li> <li>• Ineffizienz (S, DE)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dauerhafte Unterstützung durch den Staat (FR, SL, DE, S, GB)</li> <li>• Erhöhung des öffentlichen Bewusstseins und Verständnisses (GB, DE)</li> <li>• F&amp;E um relative Kosten zu reduzieren (FR, DE)</li> <li>• Regulative Unterstützung inkl. Sicherheitsfragen (SL, GB, DE)</li> <li>• Kohärente staatliche Unterstützung (GB)</li> <li>• Unterstützung durch kommerzielle Partner (S)</li> <li>• Politikanreizsysteme für die Speicherung (S)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Generell positiv (DE, GB, FR, GB, S)</li> <li>• Marktentwicklung in 5-10 Jahren, (kurzfristig) (FR, GB, DE, S)</li> <li>• Negativ (SI)</li> <li>• Niedrige Erwartungen kurz- bis mittelfristig (S, SL)</li> <li>• Staatlicher Support (DE)</li> <li>• Störungsfreie Systeme als Nische (DE)</li> <li>• Unvermeidbarkeit / früher oder später / Enthusiasmus (GB)</li> <li>• H<sub>2</sub> als Speicher ist entscheidend (GB, DE)</li> <li>• Zunächst Nischen-nutzung (FR, GB)</li> </ul>

	dingungen (SL, DE)			
<b>Wasserstoff-Brennstoffzellen-Fahrzeuge</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Technologie per se gut &amp; verglichen mit Alternativen (FR, GB, DE, S)</li> <li>• Keine lokalen /anderen Emissionen (FE, SL, GB, S)</li> <li>• Reichweite, schnelles Auftanken, Drehmoment, schneller cool down (FR, DE, S, GB)</li> <li>• Sicher und leise (SL, FR, GB, DE)</li> <li>• Geeignet für spezielle Flotten (SL)</li> <li>• Effizienz der Brennstoffzelle (SL)</li> <li>• Hohe Leistung (GB)</li> <li>• Wasserstoff als co-gas mit CNG (S)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kosten (S, DE, GB, SL, FR)</li> <li>• Konkurrenz/wahrgenommene Konkurrenz durch andere Technologien (S, GB, SL, DE)</li> <li>• Niedriges Bewusstsein und Unterstützung durch Regulierer/Staat (alle Länder)</li> <li>• Mangel an Versorgung mit (grünem) Wasserstoff (FR)</li> <li>• Komplexität des technologischen/sozio-technischen Systems (alle Länder)</li> <li>• Mangel an Märkten (alle Länder)</li> <li>• Mangel an öffentlichem Bewusstsein (FR)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Staatliche und politische Unterstützung (FR, SL, GB, DE, S)</li> <li>• Allgemeine Unterstützung, um relative Kosten zu reduzieren (SL, GB, DE, S, FR)</li> <li>• Investitionen in Tank-Infrastrukturen (GB, S, DE, SL, FR)</li> <li>• Mehr Kommunikation und Beteiligung (FR, GB, S)</li> <li>• Öffentlichkeit/Personen informieren und beteiligen (FR, GB, DE, S)</li> <li>• Regulative Unterstützung inkl. Sicherheitsfragen (SL, FR, GB, DE)</li> <li>• F&amp;E um Kosten zu reduzieren (DE)</li> <li>• Unterstützung auf kommunaler Ebene (DE, S)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Generell positiv (S, DE, GB, FR, SI)</li> <li>• Niedrige Erwartungen kurz- bis mittelfristig (S, DE, SL, FR, GB)</li> <li>• Unternehmens und Markt-Differenzierung (DE, S)</li> <li>• Strengere Abgasnormen werden H2 im mobilen Bereich voranbringen (GB, FR, DE)</li> <li>• Moderate Entwicklung im Gegensatz zu anderen Ländern (SL)</li> <li>• Unvermeidbarkeit und unbestreitbar wertvoll (SL)</li> <li>• Spezifische Fahrzeugtypen als erstes (SL)</li> </ul>

#### 4. Kosten als größte Schwäche wahrgenommen

Als einer der größten Hindernisse für die Entwicklung und Kommerzialisierung von Wasserstoff-Technologien wurden wirtschaftliche Faktoren hervorgehoben. In diesem Zusammenhang nannten die Interviewten folgende Hürden:

- Hohe Kosten und ein Mangel an Wettbewerb hinsichtlich Wasserstoffproduktion und -speicherung.
- Mangel an Infrastruktur (z. B. Tankstellen) und hohe Kosten für die Installation.
- Hoher Kaufpreis für die Verbraucher/Nutzer (für die private Fahrzeugnutzung durch private Haushalte, für Busflotten für die öffentliche Verwaltung sowie für die stationäre Nutzung in privaten Haushalten)
- Hohe Kosten, die mit Wasserstoff-Technologien einhergehen. Zudem erschweren ein Mangel an Märkten und das Fehlen von Skaleneffekten die Entwicklung.

#### 5. Inadäquate/unverhältnismäßige Regulierungen – geringes Bewusstsein der Regierungen

Gesetzgebungen, die die Erzeugung, die Produktion und das Management Erneuerbarer Energien im Zusammenhang mit Wasserstoff fördern, sind nach Ansicht der Interviewpartner in einigen Ländern nicht vorhanden, unangemessen oder unverhältnismäßig (dies wird als kritischer Punkt von den Befragten aus Spanien erachtet). Dies deckt sich mit den Ergebnissen der Befragung: Die Expertinnen und Experten sind der Meinung, dass Politik und Regulierungsbehörden ein geringes Bewusstsein für HFC-Technologien aufweisen.

## **6. Akteure fordern stärkere allgemeine Unterstützung**

Eine häufige Empfehlung der Expertinnen und Experten für die Entwicklung von HFC-Technologien ist eine kohärente Strategie und eine nachhaltige und kohärente Regierungsunterstützung. Auf Grund unterschiedlicher Ziele des jeweiligen Landes betonen die Akteure die Wichtigkeit einer EU-weiten Strategie. Sie fordern einen stärkeren Einsatz der Regierungen und der Politik, um die Entwicklung von Wasserstoff-Technologien mit Politikanreizen, regulatorischer Unterstützung und Förderung von F&E zur Kostenreduktion voranzutreiben.

## **7. Kommunikation und Einbezug sind entscheidend**

Um Akzeptanz von Wasserstoff-Brennstoffzellen-Systemen in der Öffentlichkeit zu erzielen bzw. zu erhöhen, betonen die Expertinnen und Experten die Notwendigkeit, HFC-Technologien und ihre Eigenschaften zu kommunizieren. Laut den Befragten ist in der Öffentlichkeit das geringste Bewusstsein für Wasserstoff-Brennstoffzellensysteme vorhanden, gefolgt von Politik und Industrie/Wirtschaft. Es wird der Bedarf gesehen, gesellschaftliche Akteure über den Nutzen, aber auch Sicherheitsfragen zu informieren und zu involvieren

## **8. Unterschiedliche Erwartungen an unterschiedliche Anwendungen**

Gefragt nach der Zukunft des Wasserstoff-Sektors, ist die Meinung der Expertinnen und Experten etwas ambivalent. Im Allgemeinen tendieren sie zu einer positiven Haltung und sind der Ansicht, dass sich der Markt in naher Zukunft (fünf Jahre) entwickeln wird. Je nach Anwendung sind die Erwartungen der Akteure jedoch unterschiedlich. Der Bereitstellung und Nutzung von Wasserstoff begegnen die Befragten positiv und erwarten, dass Wasserstoff eine wichtige Rolle im grünen Energiesektor spielen wird. Zudem sehen die Befragten wirtschaftliche Chancen für Wasserstoff-Technologien als Speichermedium.

In Bezug auf stationäre HFC-Technologien zeigen die spanischen Interviewpartner die negativsten Erwartungen. Sie halten es für eher unwahrscheinlich, dass sich Brennstoffzellenheizsysteme mittelfristig entwickeln werden. Sie glauben, dass der Markt nicht oder nur geringfügig entwickelt ist und die Nachfrage nach HFC-Technologien niedrig sein wird. Andere Interviewpartner

betonen Unterschiede zwischen den Ländern und erwähnen bspw. den sehr entwickelten japanischen Markt, wo eine starke staatliche Förderung erfolgt. Einige Befragte sind der Meinung, dass Brennstoffzellenheizsysteme nicht konkurrenzfähig zu den Alternativen sind, wie zum Beispiel Kraft-Wärme-Kopplung oder solarthermische Technologien.

Weiterhin existieren unterschiedliche Meinungen zu FCEVs. Hier zeigen die Befragten generell eine positivere Haltung gegenüber der Entwicklung von Wasserstoff-Brennstoffzellen-Fahrzeugen, obwohl die kurz- bis mittelfristigen Erwartungen noch verhalten sind.

### **Empfehlungen für die Politik**

Das Ziel der Studie war es, den Status Quo und die zukünftige gesellschaftliche Akzeptanz von HFC-Technologien in fünf europäischen Ländern zu untersuchen. Es wird von einem weiten Akzeptanzbegriff ausgegangen, im Sinne einer gesellschaftlichen Einbettung und Annahme der Technologie. Das heißt, neben der Öffentlichkeit werden die Sichtweisen weiterer Akteure, die einen Einfluss auf den Erfolg von Technologien haben, wie bspw. Regulierungsbehörden, Innovationsagenturen und Unternehmen. Für das Design der Studie und die Analyse wurden insofern Konzepte über Innovationssysteme und sozio-technische Transitionen herangezogen. Diese Konzepte gehen von der Annahme aus, dass die erfolgreiche gesellschaftliche Akzeptanz einer Technologie eine positive Orientierung der beteiligten gesellschaftlichen Stakeholder voraussetzt.

Zusammenfassend zeigt sich, dass Akteure aus dem F&E-Bereich HFC-Technologien sehr positiv gegenüberstehen; gleichwohl nehmen sie die Kosten und die begrenzte regulative, politische und kommerzielle Unterstützung - zusätzlich zur Konkurrenz durch alternative Technologien - als wesentliche, miteinander verbundene Hürden für die Technologie an. Folglich sehen die Stakeholder trotz der wahrgenommenen Vorteile der Technologie die Marktdiffusion von HFC-Technologien eher im mittel- bis langfristigen als im kurzfristigen Bereich. Hierfür wurden eine Reihe spezifischer Gründe identifiziert, die eine Rolle spielen; die wichtigsten unter ihnen sind jedoch die Kosten einer Wasserstoffinfrastruktur und der Komponenten der Technologien; aber auch das starke Engagement der Automobilindustrie für Batterie-elektrische Fahrzeuge und die fehlende Wirtschaftlichkeit von stationären Systemen im Wohnbereich spielen aus Sicht der Expertinnen und Experten eine Rolle. Nichtsdestotrotz bieten HFC-Technologien nach Meinung der Befragten kurzfristig realistisches Potenzial in Nischen, wie für unterbrechungsfreie und Notstromversorgung sowie für Anwendungen mit hohem Energiebedarf, wie Busse, Gabelstapler und Schwerlast-Fahrzeuge. Gleichermaßen wird HFC-Technologien kurzfristig betrachtet ein Potenzial für die Speicherung von Erneuerbarer Energie für die Netzstabilisierung sowie für die Einspeisung in das Erdgasnetz gesehen.

Basierend auf den Ergebnissen und vor dem Hintergrund des Vorantreibens von Wasserstoff und Brennstoffzellen-Technologien wurden die folgenden Empfehlungen entwickelt:

- Eine Empfehlung lautete, für eine nachhaltige und kohärente Regierungsunterstützung, auch auf europäischer Ebene, zu sorgen. Zudem wurde Unterstützung im regulatorischen Bereich gefordert, insbesondere im Hinblick auf Bestimmungen im Sicherheitsbereich. Gesetzgebungen zur Luftreinhaltung, die die Nutzung fossiler Energieträger zum Heizen und zur Stromerzeugung beschränken sollen, werden als wichtiger Hebel zur Förderung der zukünftigen Marktentwicklung stationärer Anwendungen eingestuft. Zusätzlich empfehlen die Stakeholder eine Förderung zur Reduktion von Kosten.
- Die Errichtung von Wasserstoff-Tankstellen ist ein zentraler Faktor für die Verbreitung von FCEV. Nicht nur der aktuelle Mangel an Tankstelle, auch deren Zuverlässigkeit muss gewährleistet werden. Die Förderung von F&E ist zentral, um FCEV und die dazugehörige Infrastruktur zuverlässiger zu machen sowie die relativen Kosten zu senken.
- Im Kontext der gesellschaftlichen Akzeptanz von Wasserstoff wurde grüner Wasserstoff von den AkteurInnen als wichtig empfunden. Insofern sollten Projekte gefördert werden, die das Potential der on-site Wasserstoffproduktion demonstrieren, wie zum Beispiel mit Wind-Energie oder Photovoltaik. Diese sauberen Technologien sollten als bevorzugte Medien für die Wasserstoffproduktion gefördert werden. Diese Projekte bergen die Chance für eine stärkere gesellschaftliche und lokale Akzeptanz der Technologie.
- Nach Meinung der Befragten ist die Vertrautheit mit FCEV in der Gesellschaft, aber auch in der Politik und unter Regulierern eher gering. Deshalb bedarf es weiterer Demonstrationsprojekte und Kommunikationskampagnen, um die öffentliche Wahrnehmung und Akzeptanz von Wasserstoff-Technologien zu steigern. Schlussendlich ist es wichtig, alle relevanten Stakeholder zu informieren und mit einzubeziehen.