

POTENZIALANALYSE ZUR WASSERSTOFFINFRASTRUKTUR AN DEUTSCHEN FLUGHÄFEN

MANAGEMENT SUMMARY

 Fraunhofer IML

Nadine Richter-Mücklich
Karsten Uhing

Ausgangssituation und Zielsetzung

Die Transformation hin zu klimaneutralen Flughäfen stellt eine zentrale Herausforderung für die kommenden Jahrzehnte dar. Neben der Elektrifizierung bodenseitiger Prozesse und dem Einsatz nachhaltiger Flugkraftstoffe (SAF) wird Wasserstoff zunehmend als potenzieller Energieträger im Luftverkehr und im Flughafenbetrieb diskutiert. Vor diesem Hintergrund untersucht die vorliegende Studie, welches Potenzial Wasserstoff für deutsche Verkehrsflughäfen besitzt und unter welchen technischen, wirtschaftlichen und regulatorischen Rahmenbedingungen ein sinnvoller Einsatz erfolgen kann.

Ziel der Analyse ist es, den infrastrukturellen Bedarf sowie die technologischen Optionen systematisch zu bewerten und darauf aufbauend Handlungsoptionen für Flughafenbetreiber, politische Akteure und weitere Stakeholder abzuleiten. Dabei werden sowohl kurzfristige Anwendungsmöglichkeiten im Bodenbetrieb als auch langfristige Perspektiven für den Flugbetrieb berücksichtigt.

Einordnung von Wasserstoff im Energiesystem des Flughafens

Die Ergebnisse der Studie zeigen, dass Wasserstoff im Kontext des Flughafenbetriebs nicht als generischer Ersatz für bestehende Technologien zu verstehen ist, sondern als komplementäre Lösung innerhalb eines breiteren Energiemixes. Insbesondere im Vergleich zu batterieelektrischen Anwendungen wird deutlich, dass Wasserstoff vor allem dort relevant wird, wo batterieelektrische Lösungen an technische oder betriebliche Grenzen stoßen, beispielsweise bei schweren Fahrzeugen, im Winterdienst oder bei Anwendungen mit hohen Leistungsanforderungen und begrenzten Ladefähigkeiten.

Gleichzeitig bleibt festzuhalten, dass kurzfristig andere Dekarbonisierungspfade dominieren werden. Während im Bodenbetrieb insbesondere die Elektrifizierung mittels Batterie voranschreitet, liegt im Flugbetrieb der Fokus zunächst auf nachhaltigen Flugkraftstoffen. Wasserstoff nimmt somit eine ergänzende Rolle ein, deren Bedeutung sich erst im Zeitverlauf weiter ausprägen wird.

Gestufte Entwicklung: GH₂ als Einstieg, LH₂ als Perspektive

Ein zentrales Ergebnis der Studie ist die klare Differenzierung zwischen gasförmigem (GH₂) und flüssigem Wasserstoff (LH₂). Beide Formen unterscheiden sich grundlegend hinsichtlich ihrer technischen Anforderungen, Einsatzlogiken und zeitlichen Relevanz.

Gasförmiger Wasserstoff stellt einen kurzfristig realisierbaren Einstiegspfad dar, insbesondere für Anwendungen im Bodenbetrieb. Die hierfür notwendigen Technologien sind grundsätzlich verfügbar und lassen sich modular in bestehende Prozesse integrieren. Flüssiger Wasserstoff hingegen wird primär im Kontext zukünftiger wasserstoffbetriebener Flugzeuge betrachtet und ist mit deutlich höheren Anforderungen an Infrastruktur, Sicherheit und Betrieb verbunden. Seine Relevanz liegt daher vor allem in einer langfristigen Perspektive.



Diese Unterscheidung führt zu einer gestuften Entwicklung, bei der zunächst GH_2 -basierte Anwendungen erprobt werden, während LH_2 -Infrastrukturen vor allem vorbereitend geplant werden.

Rolle von GSE und Grenzen der frühen Nachfrage

Die Untersuchung hat gezeigt, dass Ground Support Equipment (GSE) ein grundsätzlich geeignetes Anwendungsfeld für erste Wasserstoffanwendungen darstellt. Gleichzeitig wurden jedoch deutliche Einschränkungen identifiziert. Dazu zählen insbesondere die begrenzte Verfügbarkeit serienreifer Fahrzeuge, hohe Investitionskosten sowie das derzeitige Preisniveau für Wasserstoff.

Vor diesem Hintergrund wurde deutlich, dass GSE-Anwendungen zwar wichtige Lern- und Demonstrationsfunktionen erfüllen können, jedoch allein keine ausreichende Nachfrage erzeugen, um größere Infrastrukturinvestitionen wirtschaftlich zu tragen. Eine Skalierung erscheint daher nur in Kombination mit weiteren Anwendungsfeldern realistisch.

Bedeutung regionaler Ökosysteme für die Wirtschaftlichkeit

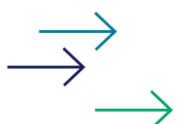
Ein zentrales Ergebnis der Studie ist die Bedeutung regionaler Multi-Use-Ökosysteme für die wirtschaftliche Tragfähigkeit von Wasserstoffinfrastrukturen. Die Analyse hat gezeigt, dass Flughäfen aktuell allein in der Regel keine ausreichende Nachfrage generieren, um entsprechende Investitionen langfristig zu rechtfertigen, solange kein nennenswerter wasserstoffbasierter Flugverkehr besteht.

Erst durch die Einbindung zusätzlicher Nutzergruppen, etwa aus den Bereichen Logistik, öffentlicher Personennahverkehr oder Industrie, können ausreichende Auslastungen erreicht und Skaleneffekte realisiert werden. In diesem Zusammenhang wurde deutlich, dass sich die Rolle der Flughäfen primär auf die Funktion als Ermöglicher und Integrator konzentriert, während Betrieb und Nutzung der Infrastruktur stärker von externen Akteuren geprägt werden.

Modularer Hochlauf und „No-Regret“-Ansatz

Die Ergebnisse der Studie deuten darauf hin, dass der Hochlauf von Wasserstoffinfrastruktur an Flughäfen voraussichtlich schrittweise und modular erfolgen wird. Anstelle frühzeitiger großskaliger Investitionen wurden flexible, mobile Lösungen als geeigneter Einstieg identifiziert. Diese ermöglichen es, erste Erfahrungen zu sammeln und gleichzeitig Investitionsrisiken zu begrenzen.

Ein solcher Ansatz wurde im Rahmen der Studie als „No-Regret“-Strategie beschrieben, da er unabhängig vom tatsächlichen Markthochlauf sinnvolle Vorbereitungsschritte darstellt. Parallel dazu wurde die frühzeitige Integration von Wasserstoffaspekten in die Masterplanung als wichtiger Hebel zur Sicherung zukünftiger Handlungsspielräume identifiziert.



Zentrale Herausforderungen und Hemmnisse

Die Analyse hat gezeigt, dass die wesentlichen Herausforderungen für den Einsatz von Wasserstoff weniger in der technischen Machbarkeit liegen, sondern in institutionellen, regulatorischen und marktbezogenen Faktoren. Dazu zählen insbesondere fehlende Standardisierungen, komplexe Genehmigungsprozesse, unklare Haftungsfragen sowie die begrenzte Verfügbarkeit geeigneter Technologien auf Seiten der Hersteller.

Darüber hinaus wurde eine unzureichende Datenbasis hinsichtlich realer Nachfrage- und Lastprofile identifiziert, die eine fundierte Planung von Infrastruktur erschwert. Diese Unsicherheiten führen dazu, dass Investitionsentscheidungen derzeit mit erhöhten Risiken verbunden sind.

Implikationen und Handlungsoptionen

Auf Basis der Analyse wurden Handlungsoptionen für die relevanten Akteursgruppen identifiziert. Für Flughafenbetreiber ergibt sich insbesondere die Möglichkeit, Wasserstoff frühzeitig in die strategische Planung zu integrieren, Pilotprojekte umzusetzen und regionale Partnerschaften aufzubauen.

Für politische Akteure und Fördergeber zeigen sich Ansatzpunkte in der Reduktion von Frühphasenrisiken, der Weiterentwicklung regulatorischer Rahmenbedingungen sowie der Unterstützung technologischer Entwicklungen. Energie- und Industrieakteure können insbesondere durch den Aufbau regionaler Versorgungsstrukturen und die Entwicklung geeigneter Geschäftsmodelle zur Umsetzung beitragen.

Diese Handlungsoptionen sind als mögliche Entwicklungspfade zu verstehen und nicht als verbindliche Handlungsempfehlungen.

Fazit

Die Studie hat gezeigt, dass Wasserstoff im Kontext deutscher Verkehrsflughäfen eine potenzielle, jedoch klar eingegrenzte Rolle einnimmt. Ein kurzfristiger, flächendeckender Einsatz ist nicht zu erwarten. Vielmehr deutet sich ein selektiver und schrittweiser Hochlauf an, der eng an externe Entwicklungen, insbesondere im Bereich der Fahrzeugverfügbarkeit, Regulierung und regionalen Wasserstoffmärkte, gekoppelt ist.

Insgesamt lässt sich der Einsatz von Wasserstoff weniger als isoliertes Infrastrukturprojekt, sondern als Teil eines systemischen Transformationsprozesses einordnen. Flughäfen, die frühzeitig flexible und anpassungsfähige Ansätze verfolgen, können sich in diesem Prozess strategische Handlungsspielräume sichern, ohne sich auf unsichere Entwicklungen festlegen zu müssen.

