

Auf dem Weg zur Emissionsfreiheit im Zugverkehr

Wasserstoff-Infrastruktur für die Schiene
Fahrplan für den Einsatz von
Brennstoffzellentriebwagen in Deutschland

Im Auftrag von



Bundesministerium
für Verkehr und
digitale Infrastruktur

Koordiniert durch



Building a better
working world

Ansprechpartner

Beauftragung der Studie
Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI)
Referat G21 Elektromobilität
Invalidenstraße 44
10115 Berlin

Telefon 030 18 300 0
Telefax 030 18 300 1920
Email Ref-g21@bmvi.bund.de

Koordination der Studie
NOW Nationale Organisation Wasserstoff und
Brennstoffzellentechnologie
Thorsten Herbert
Fasanenstraße 5
10623 Berlin

Telefon 030 311 61 16-18
Telefax 030 311 61 16-99
Email thorsten.herbert@now-gmbh.de

Projektleitung und Begleitung der Studie
Ernst & Young GmbH
Wirtschaftsprüfungsgesellschaft
Dr. Rainer Scholz
Rothenbaumchaussee 76-78
20148 Hamburg

Telefon 040 361 32 - 17056
Telefax 040 181 3943 - 17056
Email rainer.scholz@de.ey.com

Impressum

Gefördert durch
Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI)
Invalidenstraße 44
10115 Berlin

Koordiniert durch / Herausgeber
NOW Nationale Organisation Wasserstoff
und Brennstoffzellentechnologie
Fasanenstraße 5
10623 Berlin

AUTOREN
Ernst & Young GmbH (EY)
Dr. Rainer Scholz, Nadja Gläser, Daniel Paluch, Timo Schmidt

MITARBEIT
NOW >> Philipp Braunsdorf
EY >> Tobias Merten, Dr. Ralf Seidenspinner, Christian Hedrich,
Peter Wettengel
Ludwig Bölkow Systemtechnik >> Dr. Ulrich Bünger, Jan Zerhusen,
Martin Zerta
Becker Büttner Held >> Dr. Henning Thomas, Dr. Martin Altmann,
Dr. Christian Jung, Dr. Roman Ringwald
SIGNON Group >> Gerd Moderzinski
TÜV SÜD Rail >> Dr. Jürgen Heyn
IFOK GmbH >> Christian Klasen

Gestaltung >> ZWEIPRO Kommunikationsdesign, Düsseldorf

Druck >> das druckhaus, Korschenbroich

Erscheinungsjahr >> 2016

Inhalt

>>	GRUSSWORT Staatssekretär Rainer Bomba	4
>>	KANN DIE EINFÜHRUNG VON BRENNSTOFFZELLENTRIEBWAGEN IN DEUTSCHLAND GELINGEN? Management Summary	6
>>	BENÖTIGEN WIR EINEN ERWEITERTEN RECHTSRAHMEN? Genehmigungsbehörde	8
>>	WELCHE BETREIBERMODELLE ERMÖGLICHEN DEN EINSATZ DER WASSERSTOFFTECHNOLOGIE? Aufgabenträger	10
>>	WIE WERDEN ZENTRALE AKTEURE UND BÜRGER/INNEN EINGEBUNDEN UND WELCHE AKZEPTANZMASSNAHMEN SOLLTEN VORGESEHEN WERDEN? Exkurs: Öffentlichkeitsbeteiligung und Akzeptanz	14
>>	WIE KANN EINE BETRIEBSGERECHTE UND SICHERE VERSORGUNG MIT WASSERSTOFF GELINGEN? Eisenbahninfrastruktur	16
>>	KÖNNEN BRENNSTOFFZELLENZÜGE BEREITS HEUTE IM REGIONALVERKEHR EINGESETZT WERDEN? Eisenbahnverkehrsunternehmen	20
>>	WAS IST BEI DER EINFÜHRUNG INNOVATIVER TECHNOLOGIEN FÜR ÖFFENTLICHE AUFGABEN ZU BEACHTEN? Exkurs: Innovationsmanagement	24
>>	KANN DIE WASSERSTOFFINFRASTRUKTUR WIRTSCHAFTLICH UND WETTBEWERBSFÄHIG SEIN? Wirtschaftlichkeit	26
>>	ANSÄTZE ZUR GESTALTUNG DER RECHTLICHEN UND REGULATORISCHEN RAHMENBEDINGUNGEN Fazit: Rechtliche und regulatorische Rahmenbedingungen	28
>>	SYNERGIEN MIT DEM STRASSENVERKEHR UND MIT DEM STROMSYSTEM Ausblick	30

Diese Studie beruht auf den uns überlassenen Unterlagen und mündlich erteilten Auskünften. Für den Fall, dass der dieser Studie zu Grunde liegende Sachverhalt oder die getroffenen Annahmen unzutreffend sind oder sich ändern, kann sich dies auf die Gültigkeit der Aussagen dieser Studie auswirken. Diese Studie beruht auf dem Rechtsstand zum Zeitpunkt des Datums dieser Studie und gibt unsere Interpretation der relevanten gesetzlichen Bestimmungen und die hierzu ergangene Rechtsprechung wieder. Im Zeitablauf treten Änderungen bei Gesetzen, der Interpretation von Rechtsquellen sowie in der Rechtsprechung ein. Derartige Änderungen können eine Fortschreibung dieser Studie erforderlich machen. Wir weisen ausdrücklich darauf hin, dass wir ohne gesonderten Auftrag nicht verpflichtet sind, diese Studie auf Grund einer Änderung der zu Grunde liegenden Fakten bzw. Annahmen oder Änderungen in der Gesetzgebung oder Rechtsprechung zu überprüfen und gegebenenfalls fortzuschreiben. Diese Studie wurde ausschließlich für unseren Mandanten im Rahmen der mit unserem Mandanten geschlossenen Mandatsvereinbarung erstellt. Sie ist nicht dazu bestimmt, Dritten als Entscheidungsgrundlage zu dienen. Dritten gegenüber übernehmen wir keinerlei Verpflichtungen, Verantwortung oder Sorgfaltspflichten (keine Dritthaftung), es sei denn, wir haben einem Dritten gegenüber im Vorhinein schriftlich etwas Abweichendes bestätigt.



Grußwort

STAATSSSEKRETÄR RAINER BOMBA IM BUNDESMINISTERIUM FÜR VERKEHR UND DIGITALE INFRASTRUKTUR

Technologieführerschaft in Zukunftsbranchen sichert wirtschaftliches Wachstum, Wohlstand und Arbeitsplätze. Die Vorreiterrolle bei der Erbringung umweltfreundlicher Transportdienstleistungen, die dem Schienenverkehr zukommt, muss durch den Einsatz innovativer Technologien weiter ausgebaut werden. Daher ist es unserem Bundesministerium ein wichtiges Anliegen zukunftsweisende Konzepte, wie den verstärkten Einsatz brennstoffzellenbasierter Triebzüge, zu fördern.

Der Verkehrssektor spielt bei der Energiewende und beim Klimaschutz eine entscheidende Rolle. Mit Batteriestrom aus erneuerbaren Energien oder Wind-Wasserstoff im Tank wird aber nicht nur der CO2-Ausstoß gesenkt, sondern auch die Abhängigkeit von Kraftstoffimporten verringert. Vorreiter bei der Elektromobilität zu sein, bedeutet nicht nur Wissens- und Technologievorsprung im internationalen Wettbewerb zu erarbeiten, sondern auch Vorbild bei umweltverträglichem und ressourcenschonendem Verkehr zu sein.

NIP — NATIONALES INNOVATIONSPROGRAMM WASSERSTOFF- UND BRENNSTOFFZELLENGEOTECHNOLOGIE

Das Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) unterstützt die Industrie seit mehreren Jahren mit umfangreichen Programmen in der Marktvorbereitung elektromobiler Angebote im Bereich der Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie. Als Ministerium für Mobilität und Modernität steuert das BMVI bis 2016 insgesamt 500 Millionen Euro öffentliche Fördermittel zu den Forschungsprojekten von Industrie und Wissenschaft bei. Im Rahmen des eigens dazu aufgelegten Nationalen Innovationsprogramms Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie (NIP) werden die Produkt- und Verfahrensneuerungen unter Alltagsbedingungen erprobt.

MOBILITÄTS- UND KRAFTSTOFFSTRATEGIE

Im Energiekonzept der Bundesregierung spielt der Verkehrssektor mit seinem Energieverbrauch eine zentrale Rolle. Als Beitrag der Verkehrspolitik zur Energieeinsparung dient die Mobilitäts- und Kraftstoffstrategie (MKS), in die wir alle relevanten Akteure einbeziehen, um gemeinsam Energie- und Kraftstoffoptionen zu analysieren. Die MKS verstehe ich dabei als eine lernende Strategie zur langfristigen Umsetzung der Energiewende im Verkehr.

PARTNERSCHAFT UND AKZEPTANZ STÄRKEN

Die Mobilität der Zukunft erfordert in Politik, Industrie und Wissenschaft national wie international ein partnerschaftliches Bündnis. Über das Programm NIP hat sich bereits ein enges und gut funktionierendes Netzwerk etabliert. Gemeinsam mit unseren Nachbarländern gilt es, europaweit kompatible Infrastrukturen für Wasserstoff und Batteriestrom aufzubauen. Auf unserem Weg in die elektromobile Zukunft müssen wir aber vor allem die Menschen begeistern. Denn die auf Batterien oder Brennstoffzellen basierenden Mobilitätstechnologien werden nur dann am Markt erfolgreich sein, wenn sie von den Nutzern akzeptiert und angenommen werden.

EMISSIONSFREIHEIT IM ZUGVERKEHR

Das deutsche Schienenstreckennetz ist zu 50 % nicht elektrifiziert, der Einsatz von dieselgetriebenen Zügen mit entsprechendem Schadstoffaustausch ist somit an der Tagesordnung. Ein erfolgversprechendes Konzept zur Minimierung der Emissionen im Schienenverkehr bieten hier brennstoffzellenbasierte Triebzüge. Eine intelligente Verknüpfung von nicht elektrifizierten Bahnstrecken mit vorhandenen Wasserstoff-Quellen bietet langfristig die Möglichkeit nicht nur im alltäglichen Betrieb, sondern zusätzlich in der benötigten Logistik vollkommen auf fossile Brennstoffe und damit auf die Erzeugung von Emissionen zu verzichten. Wir freuen uns, mit dieser Machbarkeitsstudie und der Definition wichtiger Voraussetzungen diesem Schritt ein Stück näher zu kommen.

Herzlichst,
Ihr Rainer Bomba



Kann die Einführung von Brennstoffzellentriebwagen in Deutschland gelingen?

Etwa 50 Prozent des deutschen Streckennetzes sind nicht elektrifiziert. Der Oberleitungsbau ist kostenintensiv, auf Streckenabschnitten mit geringer Auslastung unwirtschaftlich und in landschaftlich reizvollen Gebieten oftmals nicht gewollt. Gleichwohl haben Betreiber und Öffentlichkeit ein großes Interesse daran, den Schienenverkehr auf solchen Strecken von Emissionen zu befreien, die mit herkömmlichen Dieselfahrzeugen betrieben werden. Der Einsatz elektrischer Triebzüge mit wasserstoffbetriebenen Brennstoffzellen stellt hier eine interessante und erfolgversprechende Alternative dar, die die Technologieführerschaft Deutschlands weiter unterstreichen und die nötige Flexibilität in einem sich ändernden Nahverkehrssektor – insbesondere im ländlichen Raum – mit sich bringen kann.

Das Konsortium hinter dieser Studie untersuchte von Oktober 2015 bis Mai 2016 im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr und Digitale Infrastruktur (BMVI) und der Nationalen Organisation Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie (NOW) die Rahmenbedingungen für den Einsatz von Brennstoffzellentriebwagen in Deutschland. Derzeit entwickelt der Hersteller Alstom im Rahmen des Nationalen Innovationsprogramms Wasserstoff („NIP“ – koordiniert durch die NOW) eine neue Triebzuggeneration mit Brennstoffzellenantrieb. Zwei Prototypen aus diesem Projekt sollen bereits 2017 im niedersächsischen Bremervörde zum Einsatz kommen.

Die dieser Studie zugrunde liegenden Daten wurden in Anspruchsgruppen-Interviews, Experteninterviews, eigenen Expertenschätzungen und Erhebungen zusammengetragen. Insbesondere die Analyse der Kostendaten und der Wirtschaftlichkeit basiert auf Expertenschätzungen, die im jeweiligen Einzelfall mit konkreten Preisangaben der Lieferanten validiert werden müssen.

In einem ersten Schritt untersucht die Studie die betrieblichen Anforderungen, welche sich aus dem betriebsgerechten Bahnbetrieb ergeben. Eine wesentliche Erkenntnis ist, dass es hinsichtlich der Umlaufplanung für die Regionalstrecken in Deutschland keine operationellen Einschränkungen geben wird, da die Reichweite der Züge pro Tag bzw. Umlauf ausreichend ist. Neben der Emissionsfreiheit ist die Umwandlung von Bremsenergie in Bewegungsenergie ein weiterer Vorteil: Der kombinierte Brennstoffzellen-Batterieantrieb kann sein Potenzial auf Strecken mit vielen Haltepunkten und wechselnden Höhenprofilen besonders gut ausschöpfen.

Parallel zu den betrieblichen Anforderungen wurden in der Studie sowohl die Anforderungen an die Wasserstoffbereitstellung als auch die Verfügbarkeit von Wasserstoff (Wasserstoffquellen) dargestellt. Dazu gehört u.a. die Identifikation von Wasserstoffquellen in der Nähe der in Frage kommenden, nicht-elektrifizierten Strecken in Deutschland sowie die Bereitstellungslogistik. Zunächst wird der Bereitstellungstransport von Wasserstoff über die Straße in Tankwagen oder über Pipeline (bei bestehenden Rohrleitungen) empfohlen, mittel- bis langfristig wird ein Transport über die Schiene mit einem Kesselwagen als geeignet angesehen. Im Fokus stehen aber auch Tankcontainer, sowohl für den Straßen- als auch den Bahntransport.

Ein weiterer Schwerpunkt der Studie behandelt die rechtlichen Rahmenbedingungen, insbesondere bezogen auf das Genehmigungsrecht sowie das Energie- und Vergaberecht. Bis dato war nicht eindeutig geklärt, ob ein eindeutiger Rechtsrahmen vorhanden ist. Nach Analyse der rechtlichen Rahmenbedingungen konstatiert die Studie jedoch, dass im geltenden Rechtsrahmen die Genehmigung von Wasserstoffeinrichtungen zur Erzeugung, zum Transport und zur Betankung gemäß entsprechender Genehmigungsverfahren bereits möglich ist. Im Rahmen einer Vergabe ist zudem eine kombinierte Ausschreibung aller Leistungen hinsichtlich der Beschaffung bis hin zur Betankung der Züge zumindest in der Einführungsphase der Technologie denkbar.

Weiterhin diskutiert die Studie, welche Finanzierungs- und Betreiberstrukturen sich verwirklichen lassen hinsichtlich des Ziels, umsetzungsgerechte Betreiberkonzepte aufzuzeigen. Ein wesentliches Ergebnis ist, dass der zusätzliche Leistungsbaustein „Wasserstoffversorgung“ Risiken mit sich bringt, die bisher in den üblichen Betreiberstrukturen nicht optimal abbildbar sind. Ein mögliches Mittel die Risiken angemessen zu verteilen ist die Finanzierung und Zurverfügungstellung des Fahrzeugpools durch den Aufgabenträger an das Eisenbahnverkehrsunternehmen. Hierdurch können Politik und Verwaltung die Umsetzung ihrer Nachhaltigkeitsstrategien direkt beeinflussen.

Bei der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung wird unterschieden in Anfangsinvestitionen und laufende Betriebskosten. Durch die höheren Investitionskosten in die Wasserstoff-Züge gibt es bei der Beschaffung einen Wirtschaftlichkeitsnachteil von 25 % gegenüber den Diesel-Zügen. Betrachtet man allerdings die laufenden Kosten der Infrastruktur, so entsteht im Basis-Fall ein Wirtschaftlichkeitsvorteil von 4,8 % für den Wasserstoffantrieb. Kaluliert man für eine bessere Vergleichbarkeit außerdem Kostenreduktionseffekte und Subventionen für den Diesel-Kraftstoff ein, so erhöht sich dieser Vorteil auf 23 %. Damit kann sich die Wasserstoff-Infrastruktur neben der regionalen Emissionsfreiheit auch unter der ökonomischen Perspektive zu einer interessanten und wettbewerbsfähigen Alternative gegenüber der Diesel-Infrastruktur darstellen.

Als Kooperationspartner bei der Entwicklung der Prototypen wird der niedersächsische Aufgabenträger LNVG die Fahrzeuge auf einer bereits identifizierten Strecke einsetzen und plant den anschließenden Einsatz einer Flotte. Bezugnehmend auf diese Fallstudie in der Region Bremervörde ist eine Öffentlichkeitsbeteiligung im Sinne eines transparenten und diskursiven Einführungsprozesses mit einer Kampagne als Beispiel entwickelt worden. Hier ist es wichtig, dass in der Öffentlichkeit ein Verständnis für die Technologie und daraus resultierend Unterstützung für das Konzept gibt..

Abschließend zeigen die Ergebnisse der Studie, dass der Einsatz von Brennstoffzellen-Triebwagen prinzipiell wirtschaftlich darstellbar ist. Allerdings müssen die richtigen Rahmenbedingungen in der Einführungsphase geschaffen werden. Diese werden in der vorliegenden Veröffentlichung erläutert und notwendige Schritte für ihre Umsetzung aufgezeigt.



Benötigen wir einen erweiterten Rechtsrahmen?

Für Errichtung und Betrieb von Wasserstofftankstellen zum Betrieb von Schienenfahrzeugen ist der geltende Rechtsrahmen ausreichend. Die Kriterien für die Genehmigung solcher Anlagen und die entsprechenden Verfahren zur Feststellung der Genehmigungsfähigkeit existieren bereits (siehe dazu Tabelle auf der rechten Seite). Neue Rechtsinstitute oder Prüfungsinstrumente müssen nicht eingeführt werden.

Die in Frage kommenden Genehmigungsverfahren betreffen hauptsächlich Maßnahmen, die innerhalb der bestehenden Eisenbahninfrastruktur durchgeführt werden. Einrichtungen zur Lagerung und Abfüllanlagen sind notwendigerweise Teil der Eisenbahninfrastruktur, denn Lokomotiven im Fahrbetrieb können nur in einem Schienennetz betankt werden. Lediglich die Erzeugung von Wasserstoff ist außerhalb der Eisenbahninfrastruktur möglich.

BlmSchG-Genehmigung

Für die Wasserstoffherzeugung mittels Elektrolyseur außerhalb einer Eisenbahninfrastruktur muss regelmäßig eine Genehmigung der notwendigen Anlagen nach § 4 Bundes-Immissionsschutzgesetz (BlmSchG) eingeholt werden. Die Genehmigungsvoraussetzungen, für nach dem BlmSchG genehmigungsbedürftige Anlagen, ergeben sich aus § 6 BlmSchG.

Umfang: Wichtig für die Erteilung einer Genehmigung ist die Erfüllung der Betreiberpflichten aus § 5 BlmSchG sowie weiterer dort konkretisierter Anforderungen. Außerdem dürfen andere öffentlich-rechtliche Vorschriften und Belange des Arbeitsschutzes der Errichtung und dem Betrieb der Anlage nicht entgegenstehen. Die Genehmigung nach dem BlmSchG hat eine formelle Konzentrationswirkung. Dies bedeutet, dass nahezu alle anderen behördlichen Entscheidungen, welche für die Anlage relevant sein könnten, eingeschlossen werden. Daher sind im Rahmen eines BlmSchG-Verfahrens auch sämtliche andere öffentlich-rechtliche Anforderungen an Wasserstoffherzeugungsanlagen zu prüfen.

Dauer: Im Gegensatz zum Planfeststellungsverfahren gibt es bei BlmSchG-Verfahren eine gesetzliche Höchstdauer. Über den vollständigen Genehmigungsantrag ist grundsätzlich innerhalb von 7 Monaten, im vereinfachten Verfahren sogar innerhalb von 3 Monaten, zu entscheiden.

PLANFESTSTELLUNGSVERFAHREN

Errichtung und Inbetriebnahme einer Betankungsanlage oder einer Wasserstoffherzeugungseinrichtung (on-site Elektrolyse) in der Eisenbahninfrastruktur bedürfen in jedem Fall eines Planfeststellungsverfahrens nach § 18 des Allgemeinen Eisenbahngesetzes (AEG).

Antrag: Zu den Eisenbahnbetriebsanlagen gehören nach § 2 Abs. 3c Nr. 1 AEG auch „Einrichtungen für die Brennstoffaufnahme“. Einem Antrag auf Planfeststellung sind stets vorhabenspezifische Planunterlagen beizufügen. Welche Unterlagen für eine Wasserstofftankstelle erforderlich sind, ergibt sich aus der Planfeststellungs-Richtlinie (Nr. 12), dem Umweltleitfaden und dem Leitfaden „Antragsunterlagen des Eisenbahnbundesamtes“ (EBA). Das Planfeststellungsverfahren selbst richtet sich nach den §§ 72 bis 78 Verwaltungsverfahrensgesetz (VwVfG).

Umfang: Im Planfeststellungsverfahren werden die vom Vorhaben berührten öffentlichen und privaten Belange sowie die Umweltverträglichkeit bewertet und gegeneinander abgewogen. Des Weiteren wird geklärt, ob das Vorhaben

- > technisch umsetzbar ist,
- > den geltenden Regelwerken und Sicherheitsstandards entspricht,
- > öffentliche Belange berührt,
- > private Rechte oder Belange Dritter berührt und in welchem Umfang diese in der Genehmigungsentscheidung zu berücksichtigen sind.

Behörde: Die zuständige Behörde für die Planfeststellung ist das Eisenbahnbundesamt (EBA). Das EBA prüft die Unterlagen auf Vollständigkeit, Plausibilität und technische Realisierbarkeit. Daran anschließend werden die Unterlagen durch das EBA an die Anhörungsbehörde des Bundeslandes weitergeleitet, in welchem das Vorhaben voraussichtlich umgesetzt wird. Das Anhörungsverfahren erfolgt selbstständig und eigenverantwortlich durch die jeweilige Landesbehörde. Ein Anhörungsverfahren bedeutet stets Öffentlichkeitsbeteiligung. Die Planfeststellungsunterlagen sind in den betroffenen Gemeinden zur Erhebung etwaiger Einwendungen öffentlich auszulegen. Im Anschluss an das Anhörungsverfahren leitet die Anhörungsbehörde ihre abschließende Stellungnahme mit einer Zusammenfassung aller erhobenen Einwendungen an das EBA. Letzteres entscheidet im Folgenden über die Zulässigkeit des Vorhabens.

Die sachlichen Zulassungskriterien ergeben sich für Tankstellen mit einer Lagerungskapazität von weniger als 3 Tonnen Wasserstoff aus der Betriebssicherheitsverordnung (BetrSichV), bei einer Lagerungskapazität von 3 Tonnen und mehr aus dem Bundes-Immissionsschutzgesetz (BlmSchG). Im letzteren Fall ist auch eine Umweltverträglichkeitsprüfung bei zu erwartenden erheblich nachteiligen Umweltauswirkungen durchzuführen.

Dauer: Eine zeitliche Prognose der Dauer von Planfeststellungsverfahren ist kaum möglich. Gerade bei technisch innovativen Vorhaben sind eine Vielzahl von Rechten, Belangen und Interessen gegeneinander abzuwägen. Häufig wird im Rahmen der Planfeststellung eine Umweltverträglichkeitsprüfung erforderlich. Die Anzahl der Einwendungen ist nicht kalkulierbar, und weder das AEG noch das VwVfG enthalten eine gesetzliche Befristung. Es empfiehlt sich daher, das EBA schon in einem sehr frühen Stadium der Planungen einzubinden und zu informieren.

Vorgang	Varianten	Genehmigungserfordernis
Wasserstoff-Erzeugung (Elektrolyse)	on-site: Elektrolyseur in Bahn-Infrastruktur	Planfeststellungsverfahren § 18 AEG
	Elektrolyseur im Industriepark außerhalb der Bahn-Infrastruktur	I.d.R. BlmSchG-Genehmigung nach § 4 BlmSchG i.V.m. Nr. 4.1.12 des Anhangs 1 zur 4. BlmSchV
Wasserstoff-Transport	Rohrleitung ausschließlich auf privatem oder öffentlichem Grund	Ggf. Planfeststellung/-genehmigung nach § 20 Abs. 1 und Nrn. 19.4 bis 19.6 Anlage 1 UVPG
	Rohrleitung auf Bahn-Infrastruktur	Planfeststellungsverfahren § 18 AEG
Wasserstoff-Tankstellen	Tankstellen in Bahn-Infrastruktur	Planfeststellungsverfahren § 18 AEG

Fazit

Die Genehmigung von Wasserstoffeinrichtungen zur Erzeugung, zum Transport und zur Betankung ist bereits heute im geltenden Rechtsrahmen möglich. Der Umfang der jeweiligen Verfahren kann sich allerdings zeitintensiv gestalten. Es wird außerdem empfohlen, das EBA frühzeitig in den Prozess einzubinden und zu informieren.

Welche Betreibermodelle ermöglichen den Einsatz der Wasserstofftechnologie?

KONVENTIONELLE BESCHAFFUNG IN DEUTSCHLAND

Die Standardform der Vergabe von Verkehrsleistungen im schienengebundenen Personennahverkehr (SPNV) in Deutschland sieht die Bereitstellung der Fahrzeuge durch ein Eisenbahnverkehrsunternehmen (EVU) vor. Das EVU wird mit der Verkehrsleistung auf der ausgeschriebenen Strecke beauftragt. Hierfür muss es Fahrzeuge bereitstellen und hohe Investitionen in die Beschaffung tätigen. Des Weiteren liegen sowohl Wartung als auch Instandhaltung der Züge im Aufgabenbereich des EVU. Je nach Bundesland können sich diese Konstrukte auch voneinander unterscheiden.

NEUER LEISTUNGSBAUSTEIN: WASSERSTOFF-INFRASTRUKTUR

Der Aufgabenträger (AT) steht vor der Herausforderung, die Leistungsbausteine Bereitstellung, Wartung und Instandhaltung der Züge, Erbringung der Verkehrsleistung sowie Bereitstellung der H2-Infrastruktur zu gewährleisten.

Für den Leistungsbaustein H2-Infrastruktur gibt es zwei Optionen: eine integrierte oder eine separate Beschaffung. Aktuell gibt es keinerlei Erfahrung hinsichtlich der Effektivität und Machbarkeit beider Beschaffungsoptionen. Im Gegensatz zu der bestehenden Dieselinfrastruktur, müsste im Fall der Wasserstoffnutzung sowohl eine neue Tankstelle mit der gesamten dahinter liegenden Beschaffungslogistik als auch das gesamte ökonomische Wertschöpfungs-system geschaffen werden.

GEEIGNETE MODELLE FÜR DIE EINFÜHRUNG EINER H2-INFRASTRUKTUR

Im Rahmen dieser Studie wurden verschiedene Modelle analysiert, die die Einführung einer Wasserstoffinfrastruktur bei angemessener Risikoverteilung zwischen AT und EVU unterstützen. Die erarbeiteten Modelle sollen in erster Linie als Grundkonzept verstanden werden und ein Spektrum an denkbaren Beschaffungsmöglichkeiten aufzeigen. Die abschließende Ausgestaltung sowie Vorteilhaftigkeit hängt von den konkreten spezifischen Rahmenbedingungen (insbesondere Entwicklungs- und Verbreitungsstand der H2-Technologie für die Schieneninfrastruktur) ab.

OPTION 1 – BEREITSTELLUNG MIT SEPARATER VERGABE DER WASSERSTOFF-VERSORGUNG

Die folgenden Modelle bauen auf dem Beschaffungsansatz auf, der eine separate Vergabe der Wasserstoffversorgung vorsieht.

KONVENTIONELLE BESCHAFFUNG DER FAHRZEUGE

Die Bereitstellung, Wartung und Instandhaltung der Fahrzeuge sowie Erbringung der Verkehrsleistung erfolgt hierbei durch das EVU.

VORTEILE

- > Bereitstellung der Verkehrsleistung aus einer Hand
- > AT profitiert von der Marktkenntnis des jeweiligen EVU
- > Generierung von leistungs- bzw. wertschöpfungsstufenübergreifenden Synergien durch EVU

NACHTEILE

- > Hohe Markteintrittshürden (insbesondere für kleine und mittlere EVU aufgrund hoher Investitionskosten)

Um EVU den Markteintritt trotz hoher Anfangsinvestitionen zu erleichtern und den Wettbewerb zu stärken, wurden verschiedene unterstützende Instrumente seitens der AT zur Entlastung der EVU entwickelt:

- > Wiederzulassungsgarantie
- > Wiedereinsatzgarantie (Fahrzeuge)
- > Übernahme Zinsänderungsrisiko
- > Kapitaldienstgarantie
- > Restwertgarantie (Fahrzeuge)

AUFGABENTRÄGER-FAHRZEUGPOOL

Bei diesem Grundmodell beschafft der Aufgabenträger selbst die Fahrzeuge und hält diese unabhängig von der Vergabe der Verkehrsleistung in einem Fahrzeugpool vor. Diese werden dem jeweiligen EVU während der Laufzeit des Verkehrsvertrages bereitgestellt. Der AT übernimmt dabei im übertragenen Sinne die Funktion eines Vermieters bzw. Leasinggebers.

VORTEILE

- > Zinsvorteile (bei Beschaffung mittels öffentlicher Finanzierung)
- > Skaleneffekte (günstigere Beschaffungskonditionen bei größeren Bestellmengen)
- > Entfall des Restwertrisikos der Fahrzeuge auf Seiten der EVU

NACHTEILE

- > Mögliches Erfahrungspotenzial seitens EVU wird nicht genutzt (z. B. bei der Fahrzeugbeschaffung)
- > AT trägt durch Fahrzeugbereitstellung diverse Risiken (u.a. Technologierisiken) und muss zusätzliche Kompetenzen und Personal vorhalten

Daneben gibt es weitere alternative Realisierungsmodelle, z. B. das Fahrzeug-Dienstleistungsmodell, bei dem die Beschaffung und Bereitstellung der Züge durch eine Projektgesellschaft erfolgt.

OPTION 2 – BEREITSTELLUNG MIT INTEGRIERTER VERGABE DER WASSERSTOFF-VERSORGUNG

Die neuartige (Beschaffungs-) Komponente der Versorgung mit H2 (inkl. Bereitstellung der entsprechenden Infrastruktur) könnte wie in den folgenden Modellen ausgestaltet werden:

LNVG-H2-MODELL

Das geplante Beschaffungsmodell der Landesnahverkehrsgesellschaft Niedersachsen (LNVG-H2-Modell) verknüpft das AT-Fahrzeugpoolmodell mit der Zuständigkeit der Versorgung mit H2. Die Erbringung der Verkehrsleistung wird dabei separat ausgeschrieben. Es werden weitreichende Kompetenzen und Verantwortungen an den Fahrzeughersteller übertragen, womit auch entsprechende Risiken und Chancen einhergehen. Zusätzlich übernimmt der Fahrzeughersteller in diesem Modell die Betankung der Züge mit Wasserstoff. Er kann hierbei auch die Rolle des Integrators einnehmen und die Tätigkeit an einen Unterauftragnehmer übertragen.

VORTEILE

- > Alle Vorteile des AT-Fahrzeugpools
- > Bereitstellung von Fahrzeugen und (Wasserstoff-) Infrastruktur aus einer Hand (keine Schnittstellenproblematik für AT)
- > Risikoübernahme (insb. technische Risiken) durch den privaten Partner

NACHTEILE

- > Alle Nachteile des AT-Fahrzeugpools
- > Verkleinerung des Wettbewerbsfelds

H2-DIENSTLEISTUNGSMODELL

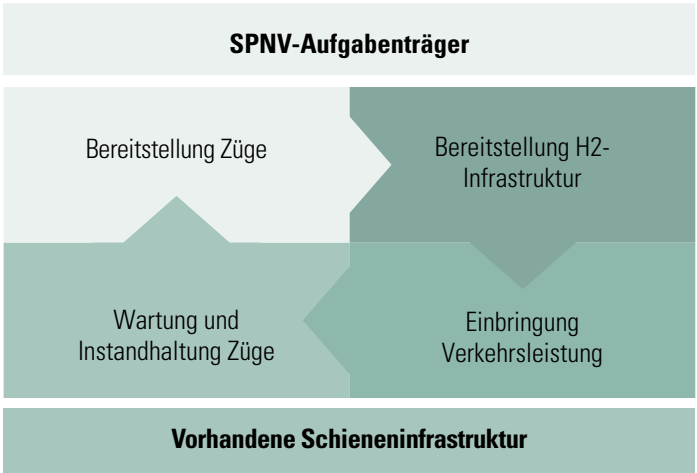
Das Fahrzeug-Dienstleistungsmodell mit dem Einbezug der H2-Lieferung baut auf dem LNVG-H2-Modell auf: Die Grundstruktur entspricht dem Fahrzeug-Dienstleistungsmodell, wobei die Projektgesellschaft sich um einen H2-Versorger erweitert (Joint-Venture) und zum Full-Service-Dienstleister inklusive Betankung der Züge wird.

Fazit

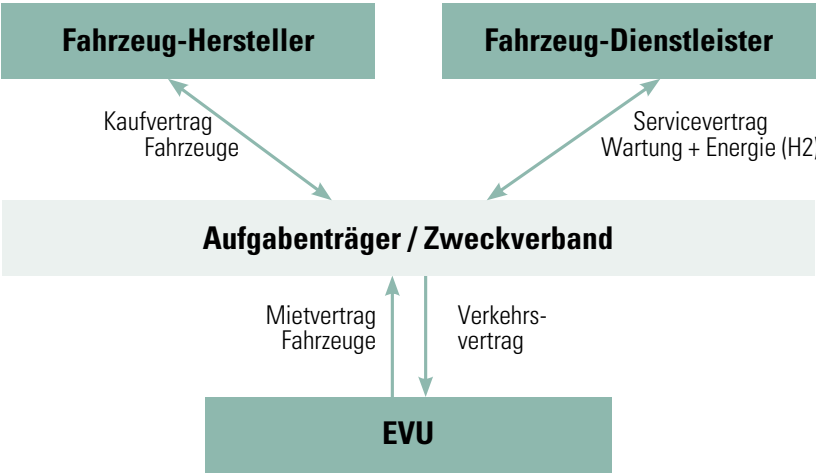
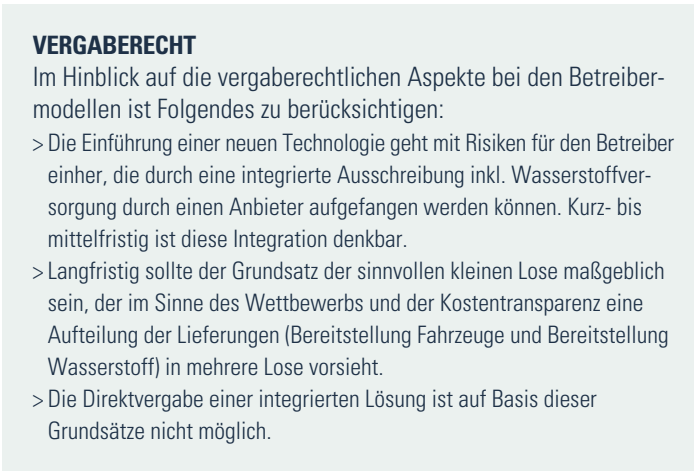
Es gibt eine Bandbreite an Modellen und Kombinationsmöglichkeiten, welche mit entsprechenden Vor- und Nachteilen einhergehen.

So liegen die Vorteile eines integrierten Beschaffungsmodells darin, dass alle Leistungen zentral aus einer Hand erfolgen. Zudem übernimmt der private Partner Risiken und Verantwortung, kann seinerseits jedoch technische Abstimmungen vornehmen und Synergien nutzen. Auch werden durch die zentrale Durchführung Schnittstellen verringert und der Controllingaufwand des AT gering gehalten. Jedoch kann eine Leistungsbündelung das Wettbewerbsfeld beeinflussen und gegebenenfalls eingrenzen.

Generell gilt, dass bei der projektindividuellen Strukturierung des Beschaffungsvorhabens und dem damit einhergehenden Design des Betreibermodells stets die projekt- sowie länder- bzw. aufgabenträgerspezifischen Randbedingungen analysiert und berücksichtigt werden müssen. Es ist zudem empfehlenswert, sorgfältige Marktanalysen bzw. -befragungen durchzuführen und die Informationsgrundlage zu erweitern.



Wesentliche Leistungsbausteine im Spektrum zwischen AT und EIU



Das LNVG-H2-Modell



Wie werden zentrale Akteure und Bürger/innen eingebunden und welche Akzeptanzmaßnahmen sollten vorgesehen werden?

Wenn Infrastruktur- und Technologievorhaben in der Gesellschaft Akzeptanz erlangen sollen, bedarf es einer gut konzipierten und professionell umgesetzten Öffentlichkeitsbeteiligung. Je früher die zentralen Akteure und Bürger/innen dabei eingebunden werden, desto geringer ist das Risiko eines Konflikts.

Ein in drei Teile gegliedertes Vorgehen kann durch Information und Dialogmöglichkeiten die positive Grundhaltung in der Gesellschaft für die Nutzung der Brennstoffzellentechnologie im Schienenverkehr unterstützen.

TEIL 1 – GRUNDLAGEN GUTER ÖFFENTLICHKEITSBETEILIGUNG

Das Teilhabebedürfnis von Bürger/innen an den Entwicklungen in ihrem direkten Umfeld ist in den letzten Jahren stark gestiegen. Bei der Konzeption und Umsetzung von Infrastrukturmaßnahmen lassen sich jedoch häufig Lücken zwischen der angebotenen Öffentlichkeitsbeteiligung und dem realen Diskussionsbedarf der relevanten Akteure und der Bevölkerung beobachten. So treten Konflikte häufig dann auf, wenn sich nicht alle Betroffenen rechtzeitig oder ausreichend informiert fühlen. In diesen Situationen sind Aufgabenträger häufig von plötzlich auftretender Kritik überrascht, obwohl sie sich zuvor an alle Anforderungen der formell vorgeschriebenen Beteiligung gehalten haben.

Dieses „Beteiligungsparadox“ ist in untenstehender Abbildung dargestellt. Das mit zunehmendem Projektverlauf wachsende Delta zwischen (a) der möglichen Einflussnahme durch die Bürger/innen und (b) ihrem Engagement und Interesse macht das bestehende Konfliktpotenzial deutlich.

Geplante Infrastrukturprojekte sollten daher möglichst frühzeitig auf ihr Konfliktpotenzial überprüft und die Konzeption sowie Umsetzung der Öffentlichkeitsbeteiligung neben der vorgeschriebenen formellen Beteiligung um informelle Dialog- und Beteiligungs-Elemente (Information, Konsultationen, Mitgestaltung) ergänzt werden.

TEIL 2 – STRATEGISCHE ÖFFENTLICHKEITSBETEILIGUNG

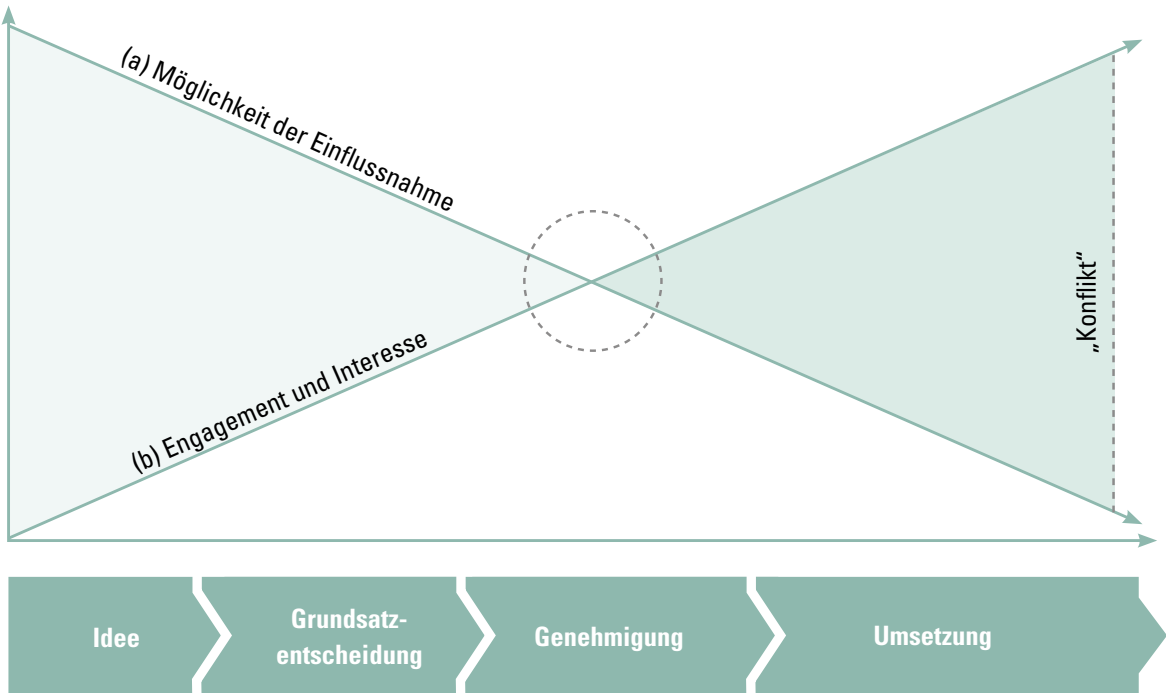
Das übergeordnete Ziel ist es, dass die Einführung der Wasserstofftechnologie im Schienenverkehr in der regionalen und breiten Öffentlichkeit positiv wahrgenommen wird. Zwar stehen die Deutschen der Technologie grundsätzlich positiv gegenüber, doch gelten als wesentliche Grundvoraussetzung für die dauerhafte Akzeptanz die sichere Anwendung der Technologie sowie die Nachhaltigkeit des eingesetzten Wasserstoffs. Diese sowie weitere durch Themen-, Sensitivitäts- und Stakeholderanalysen identifizierte Aspekte müssen transparent, umfassend und zielgruppengerecht kommuniziert und dazu frühzeitig entsprechende Dialogformate angeboten werden.

Das strategische Vorgehen der Öffentlichkeitsbeteiligung besteht aus drei Schritten:

- 1. Die zentralen Fachakteure als Fürsprecher für den Einsatz der Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie im Schienenverkehr gewinnen,
- 2. Die Bürger/innen entlang der Strecke (insb. Fahrgäste und Anwohner/innen) zu (Laien-)Experten entwickeln,
- 3. Die erlangten Erfahrungen beim Pilotprojekt unter Einbeziehung der Akteure und Bürger/innen auf die weiteren Regionen übertragen.

Für dieses Vorgehen bietet sich eine Kombination aus Informations- und Konsultationselementen an. Auf diesem Wege erhalten die Interessierten umfassende und verständliche Informationen sowie ergänzende Dialogangebote für weitere Fragen, Hinweise und Diskussionen.

Die einzelnen Schritte sollten für eine professionelle Verzahnung aller Interessierten sowie für die Umsetzung anhand eines klaren Kommunikationsplans durch ein die Technologieeinführung begleitendes Projektbüro für die Kommunikation und Öffentlichkeitsarbeit koordiniert werden.



Beteiligungsparadox der Öffentlichkeitsbeteiligung

TEIL 3 – EINFÜHRUNGSKAMPAGNE AM BEISPIEL DER FALLSTUDIE NIEDERSACHSEN

Die Ersteinführung der Technologie in Niedersachsen entfaltet aufgrund ihres Pilotcharakters auch direkte Auswirkungen auf die Einführung der Technologie in anderen Regionen. Sie ist entsprechend sorgfältig vorzubereiten. Basierend auf den ersten beiden Teilen lassen sich die folgenden Eckpunkte einer guten Kommunikation und Öffentlichkeitsbeteiligung für die Pilotstrecke in Niedersachsen darstellen.

BIS ENDE 2016: Der Brennstoffzellen-Zug befindet sich noch auf dem Teststand in Frankreich. Die Zeit sollte genutzt werden, um alle bestehenden Informationen der beteiligten Akteure zu bündeln, abzustimmen und für die Kommunikation aufzubereiten; etwa in einer geeigneten Storyline. Daraufhin gilt es die Kommunikationsschwerpunkte der genannten Akteure zum Projekt aufzuteilen und alle relevanten politischen Vertreter in Region, Land und Bund über das Vorhaben zu unterrichten.

1. HALBJAHR 2017: Der Brennstoffzellen-Zug befindet sich auf der Teststrecke. Die Fachakteure und NGOs sollten mit konkreten Informationen zum Projekt versorgt werden. Als Anlass hierfür dienen Einladungen zu Symposien, Testfahrten sowie Werkstatt- und Zugbesichtigungen; jeweils nach der Zulassung des Zuges durch das Eisenbahnbundesamt. Ergänzend sollten Hintergrundgespräche für die Medien angeboten werden.

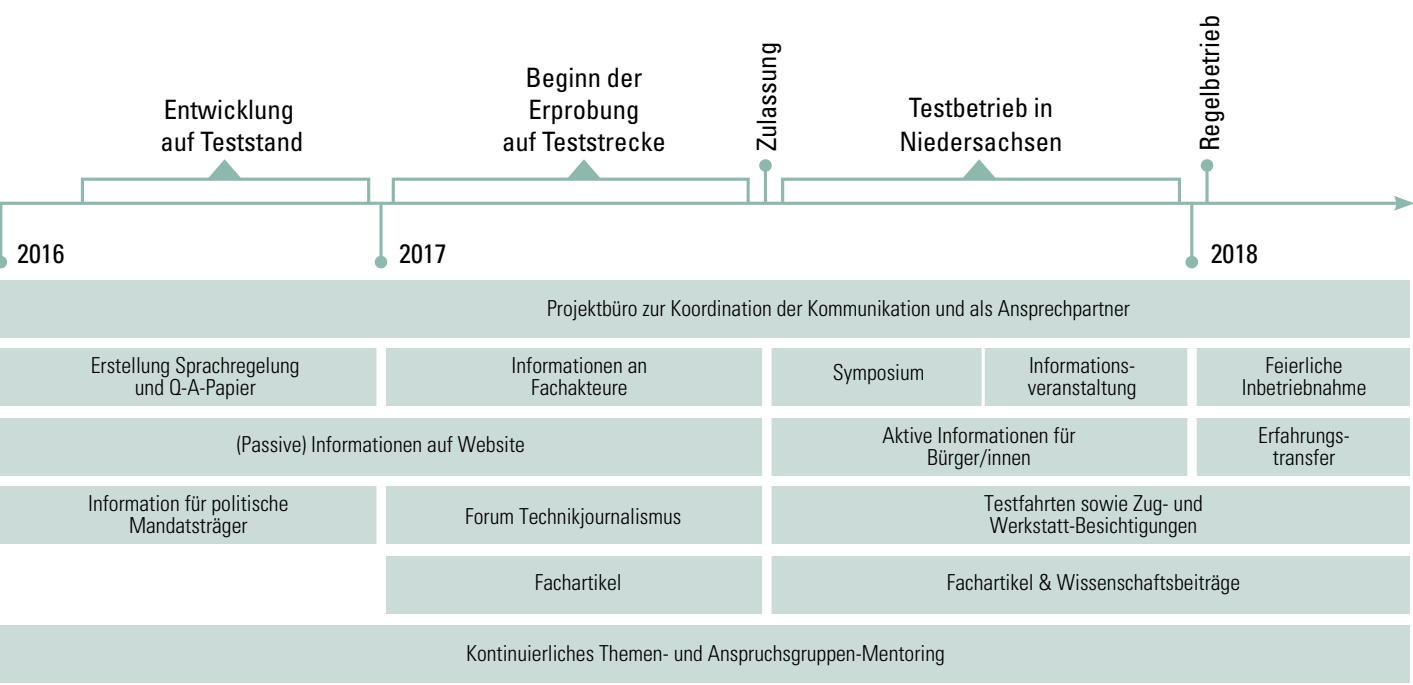
2. HALBJAHR 2017: Der Brennstoffzellen-Zug ist zugelassen und wird im Probetrieb in Niedersachsen getestet. Nun sollten Kommunikation und Öffentlichkeitsbeteiligung in der Region intensiviert werden. Parallel zu einem journalistischen Hintergrundgespräch sollten Informationsbroschüren in der gesamten Region verteilt werden, welche die Vorteile der Technologie und die wichtigsten Fragen zur Sicherheit und Nachhaltigkeit beantworten, klare Ansprechpartner für Rückfragen benennen und zu Probefahrten und Besichtigungen einladen.

Ergänzend sollte die innovative Technologie in Wissenschaftsmagazinen (TV, Print, Internet) leicht verständlich auch für die überregionale Öffentlichkeit dargestellt werden.

AB 2018: Der Brennstoffzellen-Zug wird im Regelbetrieb im Personenverkehr eingesetzt. Die offizielle Inbetriebnahme findet im Rahmen einer feierlichen Veranstaltung statt. Daran anschließend sollten die Informationsangebote weiterbestehen und die beteiligten Akteure ihre Erfahrungen durch Fachartikel sowie die Teilnahme an Fachveranstaltungen teilen und dadurch die Sichtbarkeit des Projekts erhöhen.

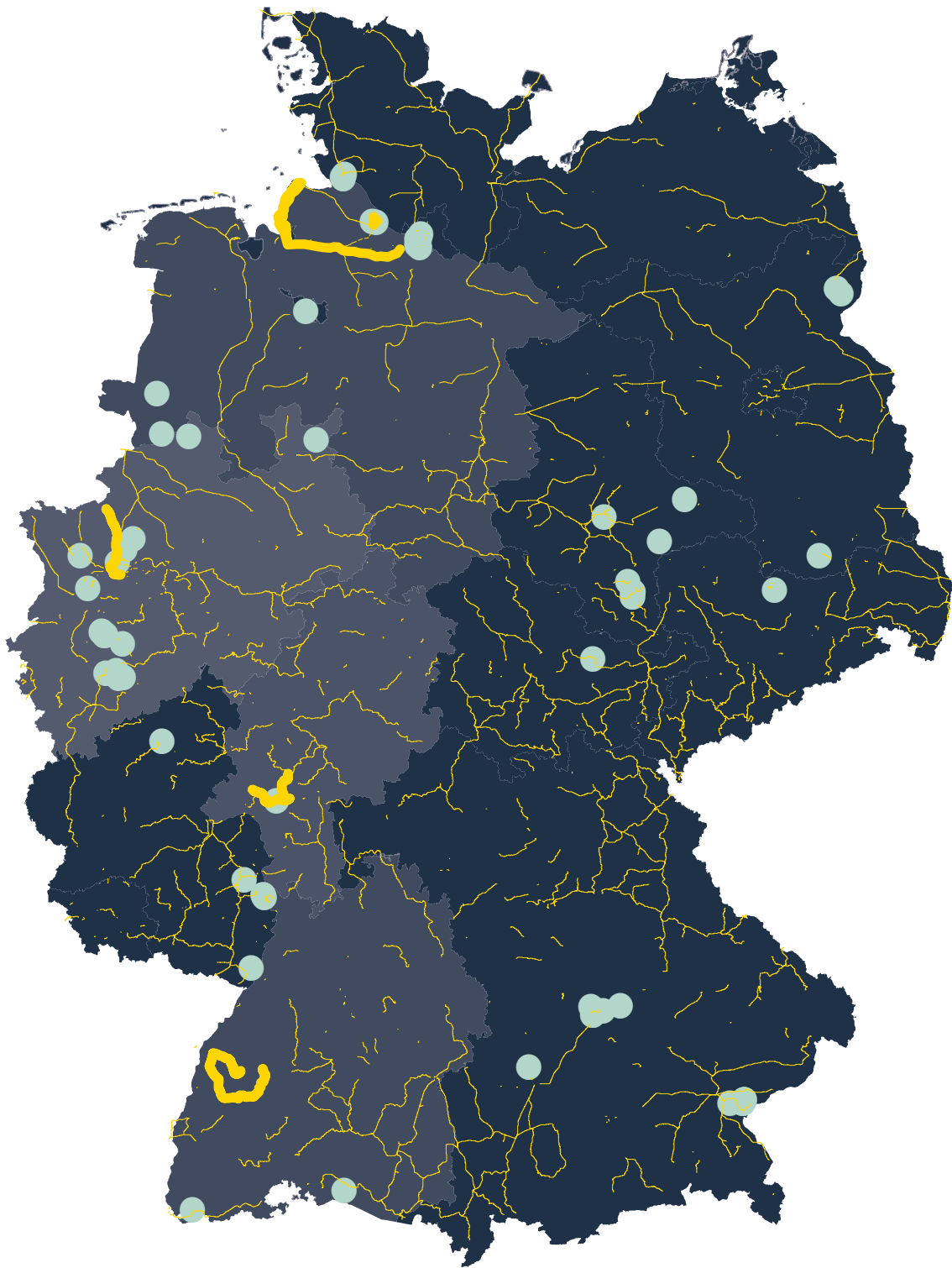
Empfehlungen für das weitere Vorgehen: Für die Kommunikation und Öffentlichkeitsbeteiligung sowie die begleitende Akzeptanzforschung besteht eine Vielzahl an möglichen Maßnahmen, die an einer zentralen Stelle koordiniert und miteinander verknüpft werden müssen. Empfohlen wird die Einrichtung eines Projektbüros, bis die neuen Züge im Regelverkehr eingesetzt werden. Basierend auf einem Kommunikationsplan analysiert das Projektbüro laufend die Wahrnehmung aller Akteure, bündelt die bestehenden Informationen, Anfragen und Diskussionsbedarfe, koordiniert die Umsetzung der verschiedenen Informations- und Konsultationsmaßnahmen und passt die Planung aufgrund aktueller Entwicklungen und Erkenntnisse regelmäßig an.

Das Projektbüro sowie die gesamte Öffentlichkeitsbeteiligung wirkt dabei dann besonders vertrauenswürdig, wenn der Absender eine öffentliche Institution ist, die mit der Maßnahme die Energiewende im Verkehr gestalten möchte und keine wirtschaftlichen Interessen verfolgt. Im vorliegenden Fall kommen hier der Bund sowie das Land Niedersachsen in Frage. Die projektbezogene Öffentlichkeitsarbeit durch den jeweiligen Zuwendungsempfänger bleibt davon ausgenommen.



Übersicht der empfohlenen Einführungskampagne

Wie kann eine betriebsgerechte und sichere Versorgung mit Wasserstoff gelingen?



Diese Karte zeigt die bestehenden Wasserstoffquellen in Deutschland und die nicht-elektrifizierten Strecken im deutschen Schienennetz. Daraus wird deutlich, wo es kurzfristig kostengünstige Einsatzmöglichkeiten für Brennstoffzellenzüge gibt. Sie zeigt auch, dass es an den potenziellen Strecken nicht immer eine bestehende Wasserstoffquelle gibt. Die Bereitstellungslogistik wird insgesamt eine große Rolle spielen. Vor diesem Hintergrund wurden geeignete Versorgungspfade identifiziert und bewertet.

- H2 Quellen/Nutzung
- nicht elektrifiziert
- H2 Pilotstrecken

WASSERSTOFFQUELLEN

NEBENPRODUKTWASSERSTOFF AUS INDUSTRIEPROZESSEN

Einige industrielle Prozesse (z.B. die Chlor-Alkali-Elektrolyse) produzieren neben dem gewünschten Hauptprodukt das Nebenprodukt Wasserstoff. Dieser kann als Kraftstoff kostengünstig in den Verkehrssektor verkauft werden. In den meisten Fällen ist eine Reinigung des H2 notwendig.

H2-ERZEUGUNG IN EINEM ERDGAS-DAMPFREFORMER

Wasserstoff wird heute überwiegend durch Dampfreformierung von Kohlenwasserstoffen hergestellt. Die Herstellung erfolgt dabei meist direkt am Ort des Wasserstoffbedarfs und wird dem entsprechenden Prozess via lokaler Rohrleitung zur Verfügung gestellt. Ein Teil des erzeugten Wasserstoffs kann nach entsprechender Konditionierung (Verdichtung, Verflüssigung) weiteren Verbrauchern zur Verfügung gestellt werden.

H2-ERZEUGUNG PER ELEKTROLYSE

Die Erzeugung von Wasserstoff durch die Elektrolyse gilt als eine der vielversprechendsten Möglichkeiten, in Zukunft große Mengen Wasserstoff aus erneuerbarem Strom zu erzeugen und damit neben der Reduktion von Schadstoffen und Lärm auch die Treibhausgasemissionen zu reduzieren. Gegenwärtig stehen mit alkalischer Elektrolyse und PEM Elektrolyse zwei unterschiedliche Technologien für den Einsatz im industriellen Maßstab zur Verfügung.

WASSERSTOFFVERSORGUNGSPFADE UND IHRE BEWERTUNG

Die Identifikation und Analyse von fünf möglichen Versorgungspfaden hat ergeben, dass vor allem hinsichtlich der Wirtschaftlichkeit zunächst die Bereitstellung von Nebenprodukt-Wasserstoff zu priorisieren ist. Die On-Site Elektrolyse geht heute noch mit hohen Investitionskosten einher, insbesondere wenn erhöhte Betriebskosten durch eine Besteuerung nach dem EEG anfallen. Eine Befreiung von dieser Besteuerung ist lediglich möglich wenn eine unmittelbare Nutzung des erzeugten Stroms für den Eisenbahnbetrieb nachgewiesen wird. Dies ist nach heutiger Einschätzung nicht der Fall. Die Verflüssigung von Wasserstoff aus dem Dampfreformer ist in Europa lediglich in drei Anlagen möglich, was große Abhängigkeiten schaffen kann. Bei einer Fahrzeugflotte von 10-12 Triebwagen rechnen wir mit einem Tagesbedarf an Wasserstoff von 2 t.

NEBENPRODUKT-WASSERSTOFF GASFÖRMIG PER LKW ODER BAHN-TRAILER

Kleine und mittlere Wasserstoffverbraucher, für die eine Wasserstofferzeugung vor Ort aufgrund der hohen Investitionskosten unrentabel ist, können per LKW oder Bahn* mit Nebenprodukt-Wasserstoff aus zentralen Produktionseinrichtungen versorgt werden. Das geschieht gasförmig in Druckbehältern.

Empfehlung: Nebenprodukt-Wasserstoff und Wasserstoff aus bestehenden Dampfreformierungsanlagen kann vergleichsweise kostengünstig verfügbar sein. Abhängig von der Entfernung zum Verbraucher können diese mit vertretbaren Kosten angeliefert werden.

Transport Straße: Die heute für den Straßentransport überwiegend eingesetzte Wasserstoff-Transporttechnologie erfordert jedoch mehrere 40t LKW pro Tag, was zu starken Akzeptanzproblemen bei den Anwohnern führen kann. Aufkommende Transporttechnologien mit 500 bar Karbonfasertanks können die LKW-Lieferfrequenz deutlich reduzieren.

*Derzeit liegen zu der Anlieferung per Bahn nur wenige Erfahrungen in Europa vor.

Transport Bahn: Bahngüterwagen können aufgrund des höheren zulässigen Gewichts eine deutlich höhere Wasserstoffmenge pro Wagen transportieren. Gleichzeitig können mehrere Waggons zu einem Zug zusammengestellt werden, was die Anzahl der Fahrten weiter reduzieren kann. Entsprechende Wasserstoffdruckbehälter für den Bahntransport waren in der Vergangenheit in Europa bereits im Einsatz - eine neue Generation dieser Behälter müssten noch entwickelt und in größerer Stückzahl produziert werden. Hierbei können aber auch Containersysteme zum Einsatz kommen, was unter den betrieblichen Bedingungen des Bahnverkehrs noch zu prüfen wäre.

NEBENPRODUKT-WASSERSTOFF GASFÖRMIG PER PIPELINE

Rohrleitungen haben gegenüber anderen Verteiloptionen vor allem dann Vorteile, wenn dauerhaft große Mengen zwischen H2-Erzeuger und -Verbraucher transportiert werden müssen. Rohrleitungssysteme oder Erweiterungen bestehender Systeme sind prinzipiell denkbar. Für kleine H2-Durchsätze ist eine Rohrleitung wirtschaftlich eher uninteressant.

Empfehlung: Bei der Pipeline-Lösung gilt es, die lokalen Rahmenbedingungen genau zu analysieren. So können eine bereits bestehende Rohrleitung in der Nähe, die Wasserstoffmenge, die Länge der geplanten Pipeline sowie mögliche zusätzliche Abnehmer Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit haben.

SICHERHEITSTECHNISCHE VORAUSSETZUNGEN FÜR DIE BETANKUNG

Wasserstoff allgemein: H2 ist ein farbloses, geruchloses, hoch entzündliches, reaktives, nicht toxisches Gas.

Wasserstoff steigt aufgrund seiner geringen Dichte sehr schnell nach oben. Da die Wasserstofftanks bei den in Entwicklung befindlichen Brennstoffzellentriebwagen auf dem Dach platziert sind, verflüchtigt es sich bei möglichen Leckagen schnell nach oben.

Wasserstofftankstelle: Grundsätzlich muss für jede Wasserstofftankstelle eine spezifische Gefährdungsbeurteilung gemäß Betriebssicherheitsverordnung durchgeführt werden, um die standortspezifischen Randbedingungen berücksichtigen zu können.

Existierende Sicherheitsnormen sind für die Wasserstoffinfrastruktur im Schienenverkehr anwendbar, auch wenn es noch kein Regelwerk dazu gibt. Nutzbare Regelwerke sind hier beispielsweise die Betriebssicherheitsverordnung, TRBS 3151 zur Vermeidung von Brand-, Explosions- und Druckgefährdungen an Tankstellen und Gasfüllanlagen zur Befüllung von Landfahrzeugen sowie das VdTÜV-Merkblatt DRGA 514 zu Anforderungen an Wasserstofftankstellen; Druckgase; etc.

Konzeption der Tankstelle: Bei der Festlegung der erforderlichen Maßnahmen gegen Druck-, Brand- und Explosionsgefahren als Ergebnis der Gefährdungsbeurteilung sind auch die Wechselwirkungen zwischen den verschiedenen Anlagenteilen (z. B. zwischen einer Tankstelle und einer Gasfüllanlage) zu berücksichtigen. Die Erfüllung weiterer Anforderungen wie u.a. eine Befehlseinrichtung zum Abschalten und Schutz der Lagerbehälter sind ebenfalls zu beachten.

Zoneneinteilungen von explosionsgefährdeten Bereichen: Bei der Gefährdungsbeurteilung einer Betankungsanlage ist von einer Vielzahl von Bereichen, in denen mit dem Vorhandensein einer gefährlichen, explosionsfähigen Atmosphäre gerechnet werden muss, auszugehen. Diese Bereiche sind als explosionsgefährdete Bereiche auszuweisen.

Anforderungen an Blitz- und Überspannungsschutz: Die Gefahren durch einen Blitzeinschlag und die damit verbundene Freisetzung von Kraftstoffen oder deren Dämpfe sowie von Betriebsstoffen sind zu ermitteln und zu minimieren. Anforderungen an die Aufstellung: Die Komponenten der Wasserstofftankstelle dürfen in Räumen oder Schrankgehäusen untergebracht oder als Freiluftanlagen aufgestellt werden. Dabei sind die Anlagenkomponenten stets zuverlässig gegen den Zutritt Unbefugter zu sichern.

Elektrotechnische Anforderungen: Es müssen die zum Zeitpunkt der Errichtung gültigen Anforderungen gemäß der Explosionsschutzrichtlinie sowie den TRBS eingehalten werden.

Gefährdungen durch Bahnstromanlagen: Im Bereich von Bahnanlagen sind Gefährdungen durch die Fahrleitung mit entsprechend hohen Spannungen (15 kV) und Strömen (40 kA Kurzschlussstrom) möglich. Insbesondere die geringe erforderliche Zündenergie für ein Wasserstoff-Luft Gemisch wird durch die Bahnstromanlagen schnell überschritten und muss wirksam verhindert werden. Zwar werden die Brennstoffzellentriebwagen für gewöhnlich nicht unter Fahrleitungen fahren (müssen), dennoch sollten vorsorgende Maßnahmen getroffen werden. Diese Maßnahmen betreffen hauptsächlich Sicherheitsabstände, Erdungs- und Potentialausgleichsmaßnahmen sowie sicherheitsspezifische Funktionalitäten die Bahnstromversorgung (u.a. Oberleitung) betreffend.

Wartung und Instandhaltung: Für die Durchführung aller Instandhaltungsarbeiten sind die Festlegungen der Betriebssicherheitsverordnung bindend. Das Personal ist entsprechend der spezifischen Gefährdungsbeurteilung zu schulen. Da sich Wasserstoff nach oben verflüchtigt, müssen mögliche Ansammlungen ausgeschlossen werden. Aus diesem Grund sind die Gebäude mit einem Deckenabluftsystem auszurüsten.

DER BETANKUNGSVORGANG

Die Auslegung der Brennstoffzellen des geplanten Fahrzeugs basieren auf einer Reinheit des Wasserstoffes von 5.0 (ISO 14687-2). Dies ist insbesondere für die Auslegung der Tankstelle zu beachten, wenn beispielsweise Nebenprodukt-Wasserstoff verwendet wird, der ggf. nicht diese Reinheit aufweist und gereinigt werden muss.

Die Betankung des Fahrzeugs erfolgt im geschlossenen Befüllsystem mit einem Nenn-Fülldruck von 35 MPa. Je nach Auslegung der Nachfülleinrichtung können die Tankgeschwindigkeiten variieren. Mit der Füllkupplung WEH TK 16 H2 HF können Tankgeschwindigkeiten bis zu 7,2 kg/min realisiert werden. Dieses System bewährt sich gegenwärtig bereits im öffentlichen Nahverkehr.

Die Nachfülleinrichtung am Fahrzeug basiert auf den geltenden Normen für den Einsatz von Dieselfahrzeugen. Die parallele Betankung von beiden Tanksystemen wird durch 2 Füllstutzen pro unabhängige Anlage sichergestellt und ermöglicht einen schnellen Tankzyklus analog der konventionellen Dieselbetankung.

Die erzielbare durchschnittliche Betankungsgeschwindigkeit ist entscheidend von der Auslegung der Betankungsanlage abhängig. Bei der Beschaffung einer Betankungsanlage sollte die geforderte durchschnittliche Betankungsgeschwindigkeit sowie die benötigte Betankungsfrequenz (z.B. 2 Züge pro Stunde) eindeutig und frühzeitig spezifiziert werden. Bei der Spezifikation der Betankungsanlagen sollte ein Tankzyklus von ca. 20 min/Zug gefordert werden, analog einer konventionellen Dieselanlage.

Fazit

- > Nebenprodukt-Wasserstoff und Wasserstoff aus Dampfreformierung sind heute und unter den bestehenden gesetzlichen Regelungen günstiger verfügbar als Wasserstoff aus Onsite-Elektrolyse. Die Rahmenbedingungen vor Ort können entscheidenden Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit einzelner Versorgungsoptionen haben.
- > Der Wasserstoff-Transport auf der Schiene ist aus Akzeptanzgründen dem auf der Straße vorzuziehen.
- > Wasserstoff als farbloses, reaktives & nicht-toxisches Gas verflüchtigt sich rückhaltlos nach oben.
- > Existierende Sicherheitsnormen sind für die Wasserstoffinfrastruktur anwendbar.
- > Bei der Planung der Tankstelle ist die für die Brennstoffzelle nötige Reinheit des Wasserstoffs unbedingt zu beachten
- > Bei Auslegung der Tankstelle einen ähnlichen Tankzyklus wie bei Diesel-Triebwagen planen (20 Min. pro Zug).



Können Brennstoffzellenzüge bereits heute im Regionalverkehr eingesetzt werden?

ÜBERBLICK

Geschwindigkeit: Um im deutschen Schienenverkehr eingesetzt zu werden, müssen Regionalzüge eine Geschwindigkeit von ca. 120 bis 160 km/h erreichen, um als Zubringer den Zeitplan des Fernverkehrs nicht zu gefährden. Die in dieser Studie betrachteten Brennstoffzellenzüge erfüllen diese Forderung mit einer Maximalgeschwindigkeit von 140 km/h und sind somit grundsätzlich einsatztauglich.

Reichweite: Für die bisher angedachten Strecken bedeutet die Umlaufreichweite von etwa 650 km keinerlei Einschränkungen hinsichtlich der Umlaufplanung.

Betankung: Die Betankungseinrichtung der Brennstoffzellenzüge entspricht mit einem Nenndruck von 35 MPa und einer Tankgeschwindigkeit von bis zu 7,2 kg/min bereits heute den geltenden Normen. Der Nenndruck von 35 MPa bewährt sich bereits bei Brennstoffzellenbussen im öffentlichen Nahverkehr. Im Rahmen der Umlaufplanung ist die ermittelte durchschnittliche Nachfüllzeit, und damit Nichtverfügbarkeit des Zuges von ca. 45 Minuten für den für den gesamten Betankungsvorgang mit einzubeziehen (siehe Seite 18, Der Betankungsvorgang).

Sicherheit: Aus Sicherheitsgründen wird eine automatische Wegfahrsperre sowie ein druckdichter Verschluss der Tankvorrichtung während des gesamten Betankungsvorgangs an der Zapfsäule am Gleis empfohlen, um den Austritt des 99,999 Vol-% Wasserstoffs zu verhindern. Einer ersten Berechnung dieser Studie nach belaufen sich die Kosten einer solchen Betankungsanlage insgesamt auf etwa 2 EUR/kgH2.

EFFIZIENZVORTEIL BRENNSTOFFZELLENANTRIEB

Im Vergleich mit Dieseltriebwagen weisen die Brennstoffzellenzüge mit Batterie-Hybridanteil folgende Vorteile auf: Hohe Beschleunigungswerte und die Möglichkeit, Energie aus dem Bremsvorgang zurückzugewinnen. Insgesamt ergibt sich ein Effizienzvorteil gegenüber dem reinen Dieselantrieb, verdeutlicht an den Simulationsergebnissen* der in dieser Studie u.a. betrachteten Referenzstrecken „Bremervörde“ und „Königstein“:

Insbesondere anhand der Ergebnisse der Referenzstrecke „Königstein“ wird deutlich, dass Brennstoffzellenzüge bei Strecken mit vielen Haltepunkten sowie stark ausgeprägtem Höhenprofil über einen Effizienzvorteil gegenüber dem Dieselantrieb verfügen.

Es kann davon ausgegangen werden, dass der immer größer werdende Bedarf in der Fahrzeugtechnik zu einer Weiterentwicklung dieser Antriebsart führen und sich unmittelbar auf die Steigerung des Wirkungsgrades auswirken wird. So wird sich der Verbrauch an Wasserstoff perspektivisch um weitere 10% bis 15% senken und den nachgewiesenen Effizienzvorteil weiter steigern. Umlauf- und Betankungsplanungen können dadurch gleichermaßen optimiert werden.

STANDORTPLANUNG IM HINBLICK AUF DEN BETRIEBSABLAUF

Hinsichtlich der Standortplanung der Tankanlage in der Schieneninfrastruktur sind folgende Aspekte zu beachten.

In fast allen Eisenbahnverkehrsunternehmen (EVU) ist die Betankung der Fahrzeuge Teil der Fahrzeugbereitstellung und wird in der Regel auf dem Gelände des Depots bzw. der Abstellanlage durchgeführt. Zu den Komponenten einer umfassenden Wasserstoff- und Betankungsinfrastruktur zählen die Wasserstoffbereitstellung, der Wasserstofftransport zur Betankungsanlage sowie die Wasserstoffabfülleinrichtung und die komplette Betankungsanlage. Bei der Durchführung der Standortplanung ist drauf zu achten, dass die Zapfsäulen als wichtiger Bestandteil unmittelbar am Gleis normgerecht innerhalb des Begrenzungsbereichs angeordnet werden.

Für die Standortplanung der Betankungsanlagen am Gleis ist darüber hinaus laut Gefährdungsanalyse Folgendes zu berücksichtigen:

- > Mindestabstand von 5 m zwischen Zapfsäule und Speicherbehälter
- > Max. zulässige Länge der Betankungsschlauchleitung von 5 m
- > Eine Schlauchrückholung sorgt für eine zuverlässige Unterbringung
- > Eine Abreißkupplung ist trotz Losfahrsperre vorzusehen

Im Fallbeispiel verbraucht der Brennstoffzellentriebwagen im Regelbetrieb täglich ca. 150 kg Wasserstoff. Dies bedeutet für eine Flotte mit 10 bis 12 Fahrzeugen einen Wasserstoff-Bedarf pro Tag von 1,5 - 2t. Bei einem Tagesbedarf von 2t würden nach aktuellem Stand 4 Lkw (490 kgH2/Transporteinheit) und 3 Bahnkesselwagen (660 kgH2/Transporteinheit) benötigt. Wasserstoff kann in unterschiedlichen Varianten der Betankungsanlage bereitgestellt werden:

- > Wählt man als Option die Elektrolyse vor Ort, so gilt es eine Fläche von bis zu 1000m² in Streckennähe zu finden, was üblicherweise kaum zu realisieren ist.
- > Eine Anlieferung mit Lkw oder Bahn-Kesselwagen bringt nicht den hohen Genehmigungsaufwand und Betriebsaufwand in Streckennähe. Gleichwohl muss die Lieferlogistik insb. in Wohngebieten berücksichtigt werden. Genehmigungstechnisch ist diese Option mit deutlich weniger Verwaltungsaufwand zu realisieren.

Die folgende Grafik illustriert den Umfang der zu planenden Komponenten für Betankungsanlagen in der Schieneninfrastruktur. EVUs und EIUs müssen diese Anordnung frühzeitig planen, um entlang des Streckennetzes eine ausreichende Wasserstoffversorgung sowie einen reibungslosen Umlauf zu ermöglichen.

Fazit

Obwohl die betriebliche Planung einer umfangreichen Wasserstoffinfrastruktur mit allen notwendigen Komponenten eine Herausforderung darstellt, ist ein normgerechter Einsatz von Brennstoffzellenzügen im deutschen Schienenverkehr bereits heute möglich.

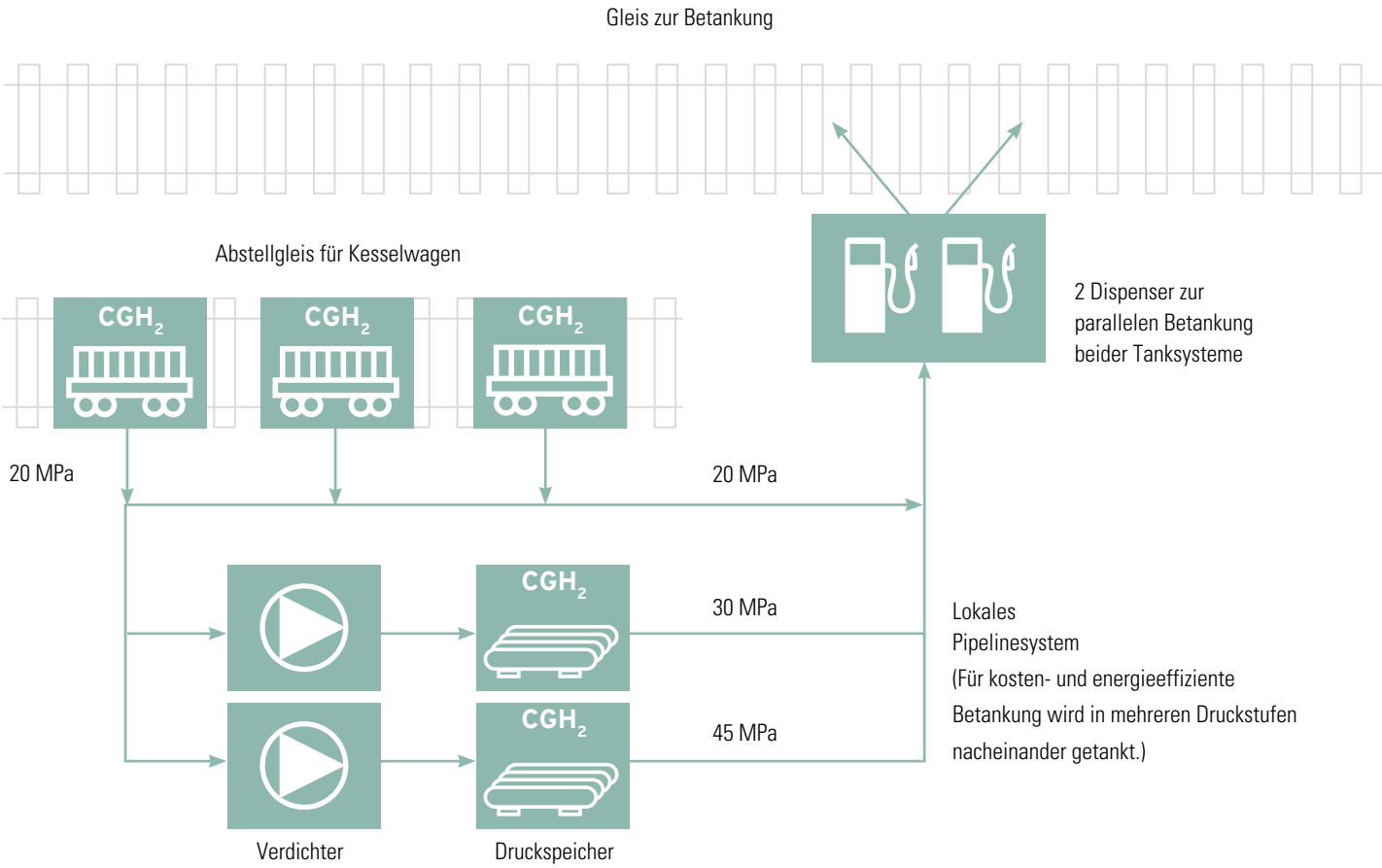
Im Vergleich zu Dieseltriebwagen ist ein deutlicher Effizienzvorteil im Verbrauch, insbesondere auf Strecken mit vielen Haltepunkten sowie stark ausgeprägtem Höhenprofil, erkennbar.

Bei der Integration der Brennstoffzellenzüge in den allgemeinen Schienenverkehr müssen die entsprechenden Umlaufpläne daher sorgfältig und unter Berücksichtigung der zeitlichen und technischen Voraussetzungen von den EVUs geplant werden.

Referenzstrecke	Vergleichsdaten				
	Streckenlänge pro Runde	Anzahl der Stationen	Verbrauchswerte		Energiebedarf Brennstoffzellen gegenüber Dieselantrieb
			Diesel	Wasserstoff	
	km	-	l/km (kWh/km)	kg/km (kWh/km)	
Buxtehude – Bremerhaven – Bremervörde – Cuxhaven – Buxtehude	240	44	1,08 (10,8)	0,23 (7,7)	-29%
Frankfurt – Königstein – Frankfurt	50,2	18	1,82 (18,2)	0,34 (11,3)	-38%

Simulationsergebnisse zu Verbrauchsdaten der BZ-Züge auf den Referenzstrecken

*Eigene Berechnung auf Basis der Simulation des Herstellers



Anordnung der Wasserstoffinfrastruktur am Gleis



Was ist bei der Einführung innovativer Technologien für öffentliche Aufgaben zu beachten?

INNOVATIONSMANAGEMENT UND EINFÜHRUNG VON KORREKTURFAKTOREN ALS VORAUSSETZUNG FÜR EINE PRÄZISE WIRTSCHAFTLICHKEITSABSCHÄTZUNG

Bei der Einführung und dem Management innovativer Technologien im öffentlichen Rahmen sind verschiedene Einflussfaktoren zu berücksichtigen, welche insbesondere für öffentliche Großprojekte und Innovationen gelten.

Im Gegensatz zu privatwirtschaftlichen Projekten werden Innovationen der öffentlichen Hand häufig durch regulatorische Maßnahmen und Verordnungen gesteuert, was wiederum den Einführungsprozess der innovativen Technologie stark beeinflusst und anregt. Im Rahmen einer angestrebten Emissionsfreiheit im Zugverkehr können beispielsweise entsprechende Verordnungen die Einführung beschleunigen und für eine nachhaltige Etablierung sorgen. Ein Beispiel einer erfolgreich gesteuerten Einführung einer innovativen Technologie ist die Aufnahme von Elektrofahrzeugen in deutsche Fahrzeugflotten: Erst durch die Verordnung verringerter Flottenemissionswerte durch die öffentliche Hand wurden vermehrt Elektrofahrzeuge in betriebliche Fahrzeugflotten integriert. Somit stellen öffentliche Regularien auf Länderebene und ihre Kommunikation eine Möglichkeit zur positiven Einflussnahme auf den Einführungsprozess im SPNV dar.

Die kontinuierliche und offene Kommunikation mit Kooperationspartnern ist für eine effiziente und effektive Einführung unerlässlich, da die Partner als Zulieferer oder spätere Nutzer der Technologie umfassend in die Einführung miteinbezogen werden sollten. Für den öffentlichen Auftraggeber ergibt sich daraus die Notwendigkeit unterstützende Voraussetzungen wie beispielsweise den Umfang von Ressourceneinsatz und Informationsbereitstellung frühzeitig zu planen.

Grundsätzlich sollte sich ein angemessener Einführungsprozess in der Initiierung gezielter Public-Private-Partnerships widerspiegeln, da dies eine flexible Gestaltung von Ressourcen und Expertise ermöglicht. Um die Bildung effektiver Public-Private-Partnerships zu fördern, ist es seitens der öffentlichen Hand ratsam Risiken der initialen Einführung der innovativen Technologie zu übernehmen und somit privatwirtschaftliche Akteure zu Investitionen zu motivieren. Dies kann beispielsweise in Form von Förderungen (z.B. Zuwendungen und Steuererleichterungen) oder Schirmherrschaften geschehen.

Um die Einführung der innovativen Technologie weiter positiv zu beeinflussen, ist es wichtig Stabilität und Akzeptanz im Sinne aller Beteiligten sowie der Öffentlichkeit sicherzustellen. Auch hier ist es wiederum wichtig eine klare, stets offene und frühzeitige Kommunikation gegenüber und mit allen Beteiligten zu halten, welche den Einführungsprozess positiv lenken kann.

Eine weitere Problematik bei der Einführung innovativer Technologien durch öffentliche Institutionen ist die ungleiche Bewertungsgrundlage beim Vergleich mit etablierten Technologien: Für die Wirtschaftlichkeitsabschätzung der neuen Technologie müssen auf Annahmen gestützte Laufzeiten und entsprechende Abschreibungszeiträume festgelegt werden, welche als Basis für Wirtschaftlichkeitsvergleiche mit etablierten Technologien dienen. Am Beispiel der Wasserstoffinfrastruktur bedeutet dies im Vergleich mit der Dieselinfrastruktur, dass letzterer positive betriebliche und buchhalterische Vorteile zugutekommt, da bereits Skaleneffekte greifen und die Nutzungsdauer der bestehenden Infrastruktur den Abschreibungszeitraum überschreitet. Die dadurch hervorgerufene Verzerrung im Wirtschaftlichkeitsvergleich kann die Einführung einer grundsätzlich positiven, neuen Technologie hemmen. Berücksichtigt man jedoch zukünftige Einsparpotenziale sowie Effizienzsteigerungen in der Bereitstellung der innovativen Technologie, sollte bereits im Rahmen eines gezielten Einführungs- und Innovationsmanagements eine angemessene Korrektur dieser Verzerrungen stattfinden. Die Einbeziehung eines Korrekturfaktors in der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung, als Ausgleich zwischen etablierter und neuer Technologie, ist somit ein sinnvolles Mittel die Einführung angemessen zu steuern.

Fazit

Folgende Faktoren sind grundsätzlich bei der Einführung einer innovativen Technologie im öffentlichen Rahmen zu berücksichtigen:

- > Der gezielte Einsatz einer offenen und frühzeitigen Kommunikation von regulatorischen Verordnungen und Beschlüssen.
- > Die Übernahme von mit der Einführung verbundenen Risiken durch die öffentliche Hand.
- > Die zielgerichtete und offene Kooperation mit Umsetzungspartnern sowie die Etablierung von Public-Private-Partnerships.
- > Die Beachtung von Korrekturfaktoren im Wirtschaftlichkeitsvergleich etablierter und neuer Technologien.



Kann die Wasserstoffinfrastruktur wirtschaftlich und wettbewerbsfähig sein?

METHODIK

Im ersten Schritt werden die Infrastrukturbereitstellungskosten pro Fahrzeug in MEUR netto p.a. (ohne Investitionskosten) für die Wasserstoff- und Diesel-Infrastruktur im Grundszenario mit den heute wahrscheinlichsten Ausprägungen der Annahmen und entsprechenden Kostenwerten ermittelt.

Dazu wird die Wirtschaftlichkeitsabschätzung für die Wasserstoff-Infrastruktur (Fahrzeuge mit Brennstoffzellenantrieb) und die Diesel Infrastruktur (Fahrzeuge mit Dieselantrieb) auf Grundlage der folgenden Kostenpositionen durchgeführt:

- > Investitionskosten (separate Betrachtung)
- > Betriebskosten
- > Treibstoffkosten
- > Gebühren für die Nutzung der Schieneninfrastruktur

Diese Kostendaten basieren auf Expertenschätzungen, Erhebungen und Herstellerangaben (Oktober 2015 - Mai 2016), die es zu einem späteren Zeitpunkt und für den jeweiligen Anwendungsfall zu validieren gilt. Für die benannten Positionen werden entsprechende Eingangsparameter (Kosten, Verbrauchsdaten, Laufleistung Fahrzeuge etc.) ermittelt und hierfür Annahmen getroffen. Um die Vergleichbarkeit der Gesamtergebnisse weiter zu erhöhen, werden in einem zweiten Schritt ausgehend von den ermittelten Infrastrukturbereitstellungskosten die folgenden Parameter zusätzlich in die Abschätzung eingebracht:

- > Korrekturfaktor für Reifegrad der Technologie (Wasserstoff-Infrastruktur) (siehe hierzu auch Seite 24)
- > Subventionen für Diesel-Treibstoff

Die einzelnen Positionen und Parameter für die Wirtschaftlichkeitsabschätzung werden nachfolgend für das Grundszenario näher erläutert. (Worst und best case werden in dieser Veröffentlichung nicht betrachtet)

KOSTENPOSITIONEN UND PARAMETER

Investitionskosten

Gemäß unserer Marktrecherche belaufen sich die Investitionskosten für einen herkömmlichen Zug mit Dieselantrieb auf durchschnittlich ca. MEUR 4,0 netto bis ca. MEUR 4,5 netto. Im Verhältnis dazu werden die Investitionskosten für einen Zug mit Brennstoffzellenantrieb nach Einschätzung von Experten um ca. 25 % über den Investitionskosten eines Fahrzeugs mit Diesel-Triebwagen liegen und sich dementsprechend auf ca. MEUR 5,0 netto bis ca. MEUR 5,6 netto bei Serienfahrzeugen belaufen. Für das Grundszenario eines Dieselzugs werden die mittleren Investitionskosten der Bandbreite von rd. MEUR 4,3 netto angenommen. Daraus ergeben sich erhöhte Investitionskosten für einen Zug mit Brennstoffzellenantrieb von ca. MEUR 5,3 netto.

Betriebskosten

Der Treibstoffverbrauch pro Zug leitet sich aus den Angaben eines Fahrzeugherstellers zu den Referenzstrecken ab. Gemäß den erhobenen Daten ergibt sich ein durchschnittlicher Wasserstoffverbrauch von 0,23 kgH2/km sowie ein Verhältnis von Wasserstoff- zu Dieselverbrauch von 1 zu 5,20*. Daraus lässt sich ein durchschnittlicher Verbrauchswert für Diesel-Treibstoff von 1,20 lDiesel/km errechnen. Als durchschnittliche **Jahreslaufleistung** der Züge werden 200.000 km angenommen.

Der **Instandhaltungs- und Instandsetzungsaufwand** für einen konventionellen Dieselzug (zweiteilig) wird nach Expertenmeinung mit ca. EUR 0,8 netto pro km ohne Nebenkosten angegeben. Für einen Zug mit Brennstoffzellenantrieb wird nach Expertenansicht ein reduzierender Kostenansatz im Vergleich zum Dieselzug in einer Bandbreite von ca. 5 % bis 20 % erwartet. Diesbezüglich kann von künftigen Kosteneinspareffekten ausgegangen werden, da der Instandhaltungsaufwand der Dieselmotoren deutlich höher zu bewerten ist als der Instandhaltungsaufwand für die Brennstoffzelle und E-Motoren (allerdings bleibt der Antriebsstrang, Ausgang Motor-Kardanwelle-Achsgetriebe gleich). Dagegen ist der Instandhaltungsaufwand der Diesel-Tankanlage im Vergleich zum Wasserstoff geringer einzuschätzen (da letzterer einen höheren Anteil an Druckbehälter und Druckleitungen aufweist). Insgesamt führt dies zu Wirtschaftlichkeitsvorteilen zugunsten der Züge mit Brennstoffzellenantrieb. Es werden für das Grundszenario 10 % angenommen. Weitere (unspezifische) Betriebskosten z. B. für die Reinigung der Brennstoffzellen- und Diesel-Triebwagen werden im Rahmen dieser Studie nicht betrachtet.

Treibstoffkosten

Bezüglich der Treibstoffkosten bzw. Betankungskosten frei Zapfpistole für den Wasserstoff ergeben sich folgende Kostendaten (jeweils ohne Umsatzsteuer, ohne sonstige Abgaben):

- > Für das Grundszenario werden auf Basis vorheriger Erkenntnisse Kosten von EUR 5,05 netto/kgH2 inklusive Marge angenommen (Nebenprodukt-Wasserstoff, Bahntransport).

Gebühren

Die Trassenpreise belaufen sich unabhängig von der Antriebsart der Züge für die Referenzstrecke auf ca. EUR 2,25 netto pro km. Die Preise je Stationshalt belaufen sich ebenfalls unabhängig von der Antriebsart der Züge auf einen Betrag von ca. EUR 2,47 netto.

Korrekturfaktor

In einem Wasserstoff-Markt (Bus/Schiene/PKW) mit Absatzpotenzial größerer Stückzahlen sind durch technischen Fortschritt und Serienfertigungseffekte Kostenreduktionen in der Größenordnung von 10 % bis 20 % zu erwarten. Für das Grundszenario der Wasserstoff-Infrastruktur wird eine Kostenreduktion von 15 % angenommen, welche sich durch einen berücksichtigten Korrekturfaktor von 0,85 ausdrückt.

Subventionen (Diesel-Treibstoff)

Aktuell wird der Liter Diesel um ca. 18 Cent niedriger besteuert als Superbenzin (ROZ 95). Dieser Differenzbetrag wird als Subvention für den Diesel-Treibstoff im Rahmen der Wirtschaftlichkeitsabschätzung zugunsten des Wasserstoff-Treibstoffes in Ansatz gebracht und auf den Dieselpreis aufgeschlagen.

Bereinigte Infrastrukturbereitstellungskosten

Nach Berücksichtigung des Korrekturfaktors für den Reifegrad der Technologie sowie der Diesel-Subventionen ergibt sich ein Wirtschaftlichkeitsvorteil zugunsten der Wasserstoff-Infrastruktur von ca. 23 %. Die Differenz beträgt ca. MEUR 0,23 netto p.a. Die folgende Tabelle stellt die einzelnen Kostenkomponenten gegenüber und vergleicht dabei die identifizierten Infrastrukturkosten des Brennstoffzellenantriebs mit denen des Dieselantriebs (EUR-Angaben netto).

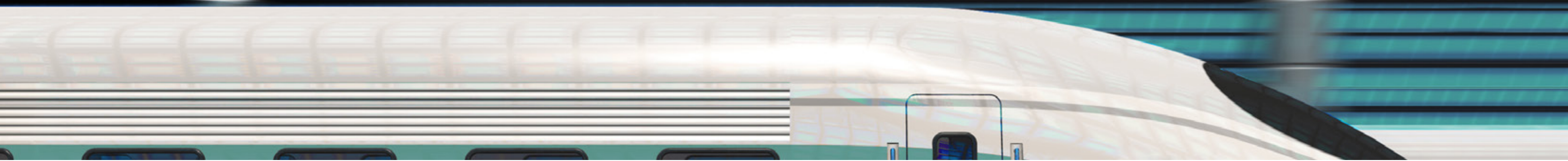
	Einheit	Wasserstoff-Infrastruktur	Diesel-Infrastruktur
		Brennstoffzellenantrieb	Dieselantrieb
Einmalige Investitionskosten			
Angenommene Investitionskosten pro Zug	MEUR	ca. 5,3	rd. 4,3
Jahreslaufleistung	km/Jahr	200.000	200.000
Laufende Betriebskosten			
Betriebskosten			
Instandhaltung ohne Nebenkosten	EUR/km	0,72	0,80
Treibstoffkosten			
Treibstoffverbrauch	kg H2/km bzw. l Diesel/km	0,23	1,20
Betankung frei Zapfpistole	EUR/kg H2 bzw. EUR/l Diesel	5,05	1,10
Gebühren			
Trassenpreise	EUR/km	2,25	2,25
Preise je Stationshalt	EUR/Station	2,47	2,47
Infrastrukturbereitstellungskosten (laufende Kosten)	MEUR/Jahr	0,92	0,96
Korrekturfaktor für Reifegrad der Technologie	Faktor	0,85	–
Subventionen	EUR/l Diesel	–	0,18
Bereinigte Infrastrukturbereitstellungskosten (laufende Kosten)	MEUR/Jahr	0,78	ca. 1,0

Vergleich Kostenpositionen Dieselantrieb und Brennstoffzellenantrieb pro Zug und Jahr

Fazit für das Grundszenario

Die Infrastrukturbereitstellungskosten weisen für die Wasserstoff-Infrastruktur einen Wirtschaftlichkeitsvorteil von ca. 4,8 % bzw. ca. EUR 47.000 netto pro Jahr pro Zug auf (einmalige Investitionskosten für die Züge nicht inbegriffen). Geht man zusätzlich von realistischen Kostenreduktionseffekten von 15 % für die Wasserstoff-Infrastruktur in einem Zeitraum von 4-6 Jahren aus und werden die aktuellen Subventionen für den Diesel-Kraftstoff berücksichtigt, erhöht sich der Wirtschaftlichkeitsvorteil zugunsten der Wasserstoff-Infrastruktur auf ca. 23 %. Die positive Differenz für die Wasserstoff-Infrastruktur beträgt demnach ca. MEUR 0,66 netto pro Jahr. Damit stellt sich die Wasserstoff-Infrastruktur im Grundszenario unter ökonomischen Gesichtspunkten zu einer interessanten und wettbewerbsfähigen Alternative gegenüber der Diesel-Infrastruktur dar.

*Eigene Berechnung auf Basis der Simulation des Herstellers



Ansätze zur Gestaltung der rechtlichen und regulatorischen Rahmenbedingungen

STROMNEBENKOSTEN BEI DER WASSERSTOFF-ERZEUGUNG

Die energiewirtschaftsrechtlichen Untersuchungen der Studie haben gezeigt, dass für den notwendigen Bezug von Strom bei der Wasserstoffgewinnung durch die Elektrolyse grundsätzlich sämtliche Belastungen mit den Stromnebenkosten (Netzentgelten, EEG-Umlage und Stromsteuer) anfallen können. Zwar kommen je nach Situation im Einzelfall mehrere Befreiungs- und Reduzierungsmöglichkeiten in Betracht, aus Sicht der Wasserstoffnutzung im Schienenverkehr ist es aber „zufällig“, ob die Ausnahmen oder Reduzierungen eingreifen. Eine Reduzierung der EEG-Umlage gilt allerdings bei der Nutzung von Strom in Elektro-Zügen. Es sollte jedoch vom Gesetzgeber ausdrücklich klargestellt werden, dass diese Reduzierungsmöglichkeit bei Wasserstoff-Schienenbahnen für den Strom zur Wasserstoffgewinnung ebenfalls eingreift.

Ansatz: Durch eine gesetzliche Klarstellung sollte der Fall der Verwendung von Wasserstoff in Schienenbahnen bei den Umlagen und Abgaben bedacht werden. Die Reduzierung der EEG-Umlage bei Schienenbahnen sollte die Wasserstoffproduktion für die anschließende Nutzung im Schienenverkehr ausdrücklich erfassen – ähnliches gilt für bestehende Befreiungen bei Netzentgelten und Stromsteuer.

UMFANGREICHE GENEHMIGUNGSVERFAHREN

Wie bereits auf Seite 8 dargestellt, sind für Errichtung und Betrieb der jeweiligen Anlagen in der Regel Planfeststellungsverfahren notwendig, was hohe Verfahrensanforderungen an alle Beteiligten stellt. Dies hat zwar den Vorteil, dass keine weiteren Genehmigungen mehr eingeholt werden müssen, aber der hohe Zeitaufwand dürfte die Betreiber trotzdem vor große Herausforderungen stellen.

Ansatz: Betreiber sollten Hilfestellungen zum Durchlaufen der Genehmigungsverfahren bekommen. Hilfreich wären Klärstellungen innerhalb von Gesetzen, Verordnungen oder Verwaltungsvorschriften. Daneben erscheint gerade auch die Zusammenstellung und Veröffentlichung von Leitfäden durch staatliche Stellen (oder ggf. auch Private) als hilfreich und empfehlenswert.

AUFGABENVERTEILUNG FÜR WASSERSTOFFERZEUGUNG, -TRANSPORT UND -BETANKUNG

Als Betreiber der Wasserstoffherzeugungseinrichtungen – also insbesondere der Elektrolyseure – sowie der Rohrleitungen, Lagereinrichtungen und Tankstellen kommen unterschiedliche Unternehmen in Betracht. Gerade dann, wenn Eisenbahnverkehrsunternehmen (EVU) oder Eisenbahninfrastrukturunternehmen (EIU) die genannten Aufgaben übernehmen möchten, ergeben sich hieraus erhebliche finanzierungsrelevante Auswirkungen. EIU müssen grundsätzlich allen Dritten die Nutzung der Infrastruktur unter gleichen Bedingungen zur Verfügung stellen. Die hierfür erhobenen Entgelte unterliegen aber einer regulierungsrechtlichen Kontrolle.

Ansatz: Die Untersuchung der regulierungsrechtlichen Vorgaben des Eisenbahnrechts hat gezeigt, dass hiermit eine Gesamtbetrachtung von Aufgaben erforderlich ist, die im heutigen Regulierungsrahmen unterschiedlichen Akteuren zugewiesen sind. Wenn Eisenbahnverkehrsunternehmen die genannten Aufgaben ganz oder teilweise selbst übernehmen wollen, so müsste es ihnen möglich sein, diese Kosten z.B. über ihre Beförderungspreise abzudecken.

VERGABERECHT

Nach rechtlicher Prüfung ist es im Vergabeverfahren grundsätzlich möglich, die Nutzung von Wasserstoffzügen oder – allgemeiner – die Nutzung einer emissionsfreien Schienenmobilität vorzugeben. Hierbei müssen die vergaberechtlichen Anforderungen ebenso wie die tatsächliche Entwicklung und Verfügbarkeit von Technologien beachtet werden.

Ansatz: Es ist zu prüfen, wie die Bietenden auf die erforderliche Infrastruktur zur Nutzung von Wasserstoff in Schienenfahrzeugen zurückgreifen können. Ein möglicher Ansatz wäre eine integrierte Ausschreibung, bei welcher zusammen mit dem Betrieb der Schienenfahrzeuge auch der Aufbau einer entsprechenden Infrastruktur ausgeschrieben wird. Hier muss jedoch konkret überlegt werden, welche Aufgaben dabei einbezogen werden müssen, insbesondere dann, wenn im räumlichen Umfeld bereits erschließbare Wasserstoffquellen existieren (z.B. Transport des Wasserstoffs).

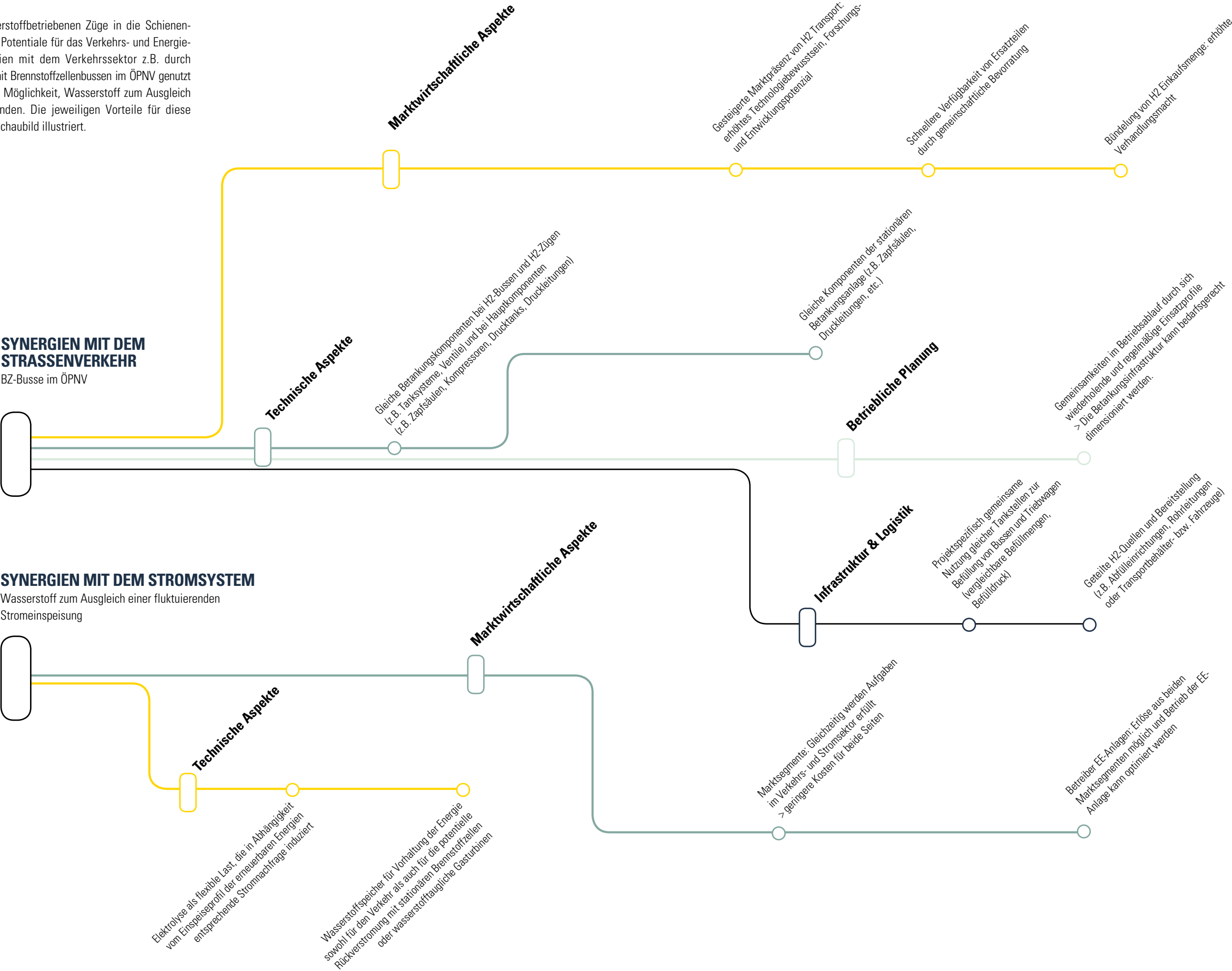
ANSCHUBFINANZIERUNG FÜR DIE EINFÜHRUNG EINER WASSERSTOFFINFRASTRUKTUR

Im Hinblick auf die deutlich höheren Investitionskosten für die Züge in Kombination mit den Infrastrukturbereitstellungskosten (siehe Wirtschaftlichkeitsbetrachtung auf Seite 26/27) wird die Wasserstoff-Infrastruktur im Vergleich zur Dieselinfrastruktur in der Zeit der Einführung noch nicht wettbewerbsfähig sein. In Anbetracht der politischen Zielsetzung des emissionsfreien SPNV und der in der Berechnung noch nicht berücksichtigten weiteren Umweltauswirkungen und Gesundheitsschäden der Bevölkerung durch den Schadstoffausstoß von Dieselfahrzeugen gilt es, die Einführungsphase für staatliche, halböffentliche und private Akteure wirtschaftlicher zu gestalten.

Auch bei den Fahrzeugen wird bei Absatz größerer Stückzahlen und technischem Fortschritt mittelfristig eine Kostenreduktion von 10-20 % erwartet. Eine Anschubfinanzierung in Form einer Förderung könnte hier kurz- bis mittelfristig unterstützen, bis sich die Technologie und die Prozesse etabliert haben.

Synergien mit dem Straßenverkehr und dem Stromsystem

Jenseits einer Integration der wasserstoffbetriebenen Züge in die Schieneninfrastruktur bestehen übergeordnete Potentiale für das Verkehrs- und Energiesystem. Zum einen können Synergien mit dem Verkehrssektor z.B. durch gemeinsame Betankungsinfrastruktur mit Brennstoffzellenbussen im ÖPNV genutzt werden und zum anderen besteht die Möglichkeit, Wasserstoff zum Ausgleich bei der Stromeinspeisung zu verwenden. Die jeweiligen Vorteile für diese Möglichkeiten werden in folgendem Schaubild illustriert.



Partner



Ernst & Young GmbH

Wirtschaftsprüfungsgesellschaft

Projektleitung, Realisierungsmodelle und
Wirtschaftlichkeitsanalyse



**ludwig bolkow
systemtechnik**

Ludwig-Bölkow-Systemtechnik GmbH

Wasserstoffinfrastruktur und -bereitstellung,
Synergiepotenziale



BECKER BÜTTNER HELD

Becker Büttner Held

Rechtliche Rahmenbedingungen



TÜV SÜD Rail GmbH

Risikobewertung und generische Systemspezifikation

IFOK.

IFOK GmbH

Öffentlichkeitsbeteiligung



SIGNON Deutschland GmbH

Betriebliche Planung