



Bundesministerium
für Verkehr und
digitale Infrastruktur



Initiative klimafreundlicher Straßengüterverkehr

Fahrplan für einen klimafreundlichen Straßengüterverkehr
(Antriebe und Kraftstoffe)



Vorwort

Liebe Leserinnen und Leser,

Die Bundesregierung hat sich das Ziel gesetzt, die sektorübergreifenden Treibhausgasemissionen (THG-Emissionen) bis 2050 um 80 bis 95 Prozent zu reduzieren. Darüber hinaus sieht der Klimaschutzplan 2050 eine Reduktion der THG-Emissionen im Verkehr bis 2030 um 40 bis 42 Prozent vor. Für die Erreichung dieser Ziele kommt dem Straßengüterverkehr eine besondere Rolle zu.

Der herkömmliche Dieselmotor im Lkw ist durch seine lange Entwicklungs- und Optimierungsphase effizienter geworden und emittiert insbesondere weniger Schadstoffe. Zukünftig wird der Straßengüterverkehr nach unseren Prognosen jedoch weiter anwachsen, was die Entwicklung und den Einsatz von alternativen Antriebstechnologien und Kraftstoffen erforderlich macht.

Vor dem Hintergrund, bereits kurz- bis mittelfristig alternative Kraftstoffoptionen und innovative Antriebstechnologien in den Markt zu bringen, haben wir die Initiative klimafreundlicher Straßengüterverkehr ins Leben gerufen. Im Dialog mit Akteuren aus Politik, Industrie und Wissenschaft wurden darin konkrete Wege zur sukzessiven Reduktion der THG-Emissionen und der Energieverbräuche im Straßengüterverkehr identifiziert. Im Fokus standen die Antriebs- und Kraftstoffoptionen (erneuerbares) Flüssigerdgas, Wasserstoff sowie strombasierte Flüssigkraftstoffe mit ihren jeweils erforderlichen Infrastrukturen.

Als Ergebnis der Initiative ist für jeden Pfad ein Fahrplan mit Maßnahmenoptionen entstanden. Sie untergliedern sich in die Bereiche „Forschung & Entwicklung“, „Pilot- und Demonstrationsprojekte“ sowie „Politik & Regulierung“. Besonders vielversprechende Optionen für die Gestaltung eines nachhaltigen Straßengüterverkehrs sollen mithilfe von Untersuchungen weiter erforscht und mit konkreten Pilotprojekten im Rahmen der Mobilitäts- und Kraftstoffstrategie näher betrachtet werden.

Enak Ferlemann

Parlamentarischer Staatssekretär
beim Bundesminister für Verkehr und digitale Infrastruktur



Inhalt

1. Einführung	7
2. Ergebnisse der Initiative: Fahrplan für einen klimafreundlichen Straßengüterverkehr (Antriebe und Kraftstoffe)	9
2.1 (EE-)LNG	9
2.1.1 Forschung und Entwicklung	10
2.1.2 Pilot- und Demonstrationsprojekte	10
2.1.3 Politik und Regulierung	11
2.2 Wasserstoff und Brennstoffzelle	12
2.2.1 Forschung und Entwicklung	12
2.2.2 Pilot- und Demonstrationsprojekte	14
2.2.3 Politik und Regulierung	14
2.3 Strombasierte Flüssigkraftstoffe	14
2.3.1 Forschung und Entwicklung	15
2.3.2 Pilot- und Demonstrationsprojekte	15
2.3.3 Politik und Regulierung	17
3. Zusammenfassung und Ausblick	19
4. Anhang	21
Institutionen des Lenkungskreises	21
Kontakt und Impressum	22

1. Einführung

Deutschland hat sich das Ziel gesetzt, seine sektorübergreifenden Treibhausgasemissionen (THG-Emissionen) bis 2050 um 80 bis 95 Prozent zu reduzieren. Für den Verkehrssektor bedeutet dies eine nahezu vollständige Dekarbonisierung. Auf dem Weg dahin sollen die Treibhausgasemissionen des Verkehrs gemäß dem Klimaschutzplan 2050 bis 2030 um 40 bis 42 Prozent reduziert werden [Basisjahr jeweils 1990].

Die spezifischen Energieverbräuche im Verkehr sind in den vergangenen Jahren rund 30 Prozent zurückgegangen. Allerdings steigt der Gesamtenergieverbrauch aufgrund der deutlich wachsenden Verkehrsleistung leicht an. Eine besondere Herausforderung bei der Reduzierung von Endenergieverbrauch und THG-Emissionen stellt der Straßengüterverkehr dar, dessen Verkehrsleistung bis 2030 prognostiziert um 39 Prozent zunehmen wird [Basis: 2010]. Insbesondere im Bereich des schweren Fernverkehrs gilt es deshalb geeignete Lösungen zu finden, um die vereinbarten Energie- und Klimaschutzziele zu erreichen.

Um Wege zur sukzessiven Reduktion der Energieverbräuche und THG-Emissionen im Straßengüterverkehr zu identifizieren und entsprechende Maßnahmenoptionen aufzuzeigen, hat das Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) unter der Leitung von Staatssekretär Rainer Bomba die *Initiative klimafreundlicher Straßengüterverkehr* ins Leben gerufen.

Vertreterinnen und Vertreter aus Wissenschaft, Industrie, Güterkraftgewerbe und Ministerien haben im Rahmen dieser Initiative zwischen November 2016 und April 2017 Vorschläge erarbeitet. Die Arbeiten wurden dabei von einem Lenkungskreis begleitet, der diesen Fahrplan nach seiner zweiten Sitzung am 3. April 2017 verabschiedete. Die Mitglieder (Institutionen) des Lenkungskreises sind im Anhang zu finden.

Im Rahmen der Initiative wurden sowohl für die Politik als auch für die Industrie offene Fragen, Forschungs- und Regelungsbedarfe sowie Hinweise auf mögliche Pilot- und Demonstrationsprojekte diskutiert.

Die Gestaltung eines klimafreundlichen Straßengüterverkehrs soll technologieoffen erfolgen. Im Vordergrund der möglichen Antriebs- und Kraftstoffalternativen stehen dabei Effizienzsteigerung, emissionsfreie Alternativen sowie eine erneuerbare Energiebasis. Die aus der Initiative resultierenden Maßnahmen sollen kurz- bis mittelfristig umsetzbar sein und bis 2030 Wirkung entfalten. Sogenannte Lock-in-Effekte, die durch eine Fokussierung auf eine Technologie entstehen und dadurch die Erreichung der Ziele für 2050 gefährden, sollen vermieden werden. Für die Zeit ab 2030 wird ein Ausblick gegeben, wie die Technologien langfristig zur Dekarbonisierung des Straßengüterverkehrs beitragen können. Bis 2050 wird es notwendig sein, nahezu vollständig von fossilen Energieträgern abzukommen und insbesondere erneuerbaren Strom als Energiebasis auch für den schweren Straßengüterverkehr zu verwenden.

Die Initiative klimafreundlicher Straßengüterverkehr konzentriert sich auf die Untersuchung der Anwendung der Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie, von LNG-Motoren mit der Option der zukünftigen Beimischung von EE- und Biomethan sowie von strombasierten Flüssigkraftstoffen für den Einsatz in herkömmlichen (Diesel-)Verbrennungsmotoren. Die Bundesregierung hat außerdem im Dezember 2014 mit dem Aktionsprogramm Klimaschutz 2020 beschlossen, einen Feldversuch mit Hybrid-Oberleitungs-Lkw durchzuführen. Diese Möglichkeit ist deshalb nicht Teil dieser Betrachtungen.

2. Ergebnisse der Initiative: Fahrplan für einen klimafreundlichen Straßengüterverkehr (Antriebe und Kraftstoffe)

Die Arbeit in der Initiative klimafreundlicher Straßengüterverkehr erfolgte in drei Arbeitsgruppen zu den Themen „Strombasierte Flüssigkraftstoffe“ (AG1), „Infrastruktur für (EE-)LNG und Wasserstoff“ (AG2) und „Antriebssysteme für (EE-)LNG und Wasserstoff“ (AG3). In jeder Arbeitsgruppe arbeiteten etwa 30 Akteure; geleitet wurden sie von einem/einer Vertreter/-in der wissenschaftlichen Begleitung der Mobilitäts- und Kraftstoffstrategie der Bundesregierung (MKS) sowie einem/einer Industrievertreter/-in.

Die Ergebnisse der Arbeitsgruppen werden im Folgenden anhand der Pfade „(EE-)LNG“ (Kapitel 2.1.), „Wasserstoff und Brennstoffzelle“ (Kapitel 2.2.) und „Strombasierte Flüssigkraftstoffe“ (Kapitel 2.3.) dargestellt. Zu jedem Pfad werden die bestehenden Chancen und Herausforderungen aufgeführt und ein Maßnahmenset aufgezeigt, mit dem die technische Entwicklung dieses Pfades gefördert wird und die Industrie zugleich verlässliche Rahmenbedingungen für die zu tätigen Investitionen (u. a. Motorenentwicklung, Infrastrukturaufbau und -betrieb, Integration in Flotten) erhält. In den Arbeitsgruppen wurde darauf hingewiesen, dass es sich hierbei um Wege bzw. Maßnahmen als Handlungsoptionen ohne Priorisierung und um Szenarien handelt, die an bestimmte Voraussetzungen (wie z. B. eine ausreichende Nachfrage) geknüpft wurden.

2.1 (EE-)LNG

Flüssigerdgas (LNG, Liquefied Natural Gas) wird durch Abkühlung von Erdgas auf ca. -160 °C erzeugt. LNG weist nur etwa ein Sechshundertstel des Volumens von gasförmigem Erdgas auf und hat damit eine hohe Energiedichte; dies hat insbesondere zu Transport- und Lagerungszwecken große Vorteile – auch für den Einsatz als Kraftstoff im schweren Lkw. Derzeit wird überwiegend fossiles Erdgas verflüssigt. LNG aus erneuerbaren Energien (EE-LNG) wird bereits durch die Verflüssigung von Biomethan produziert. Weiterhin ist es möglich, (erneuerbaren) Strom über Elektrolyse in Wasserstoff und dann durch eine Methanisierung mit Kohlenstoffdioxid (CO_2) zu Methan (Hauptbestandteil des Erdgases) zu wandeln und zu verflüssigen. EE-LNG wird mittel- und langfristig benötigt, wenn man bei schweren Lkw eine weitgehende Dekarbonisierung auf Basis von Gas anstrebt. Bei Biomethan ist das Potenzial aufgrund der nicht ausreichenden Mengenverfügbarkeit beschränkt. Künftig wäre daher die Option über erneuerbaren Strom bedeutsam.

LNG wird seit den 1960er Jahren produziert und ist Teil der globalen Erdgasversorgung (aktuell weltweite Produktionskapazitäten von rd. 300 Mio. t LNG). LNG-angetriebene schwere Lkw haben bereits mehrere Kleinserienentwicklungen hinter sich und haben eine Marktreife erreicht. Eine Tankstelleninfrastruktur in Deutschland befindet sich in einer sehr frühen Aufbauphase. Aktuell sind drei mobile LNG-Tankstellen in Betrieb, weitere – auch stationäre Einrichtungen – sollen folgen. Die europäische Richtlinie über den Aufbau der Infrastruktur für alternative Kraftstoffe (2014/94/EU [„AFID“]) fordert den Aufbau eines flächendeckenden Tankstellennetzes mit einem Abstand von max. 400 km entlang der europäischen Verkehrsachsen. Da in Anrainerstaaten von Deutschland (Niederlande, Belgien, Polen) LNG-Anlandeterminals mit entsprechenden Kapazitäten existieren, werden diese voraussichtlich in den nächsten Jahren die Versorgung für

Deutschland übernehmen können. Ob Deutschland später eigene (kleinere) LNG-Terminals benötigt, ist zu prüfen.

Neben Potenzialen bei der Verminderung der Treibhausgase gegenüber Diesel-Lkw, insbesondere auch durch Zusatz von Biomethan oder EE-Methan, spricht eine nahezu vollständige Reduzierung der Stickstoffoxide sowie des Feinstaubes für den LNG-Einsatz bei Lkw. Für eine weitere Verbreitung müssen die LNG-Lkw in ihrer Leistungsvielfalt weiterentwickelt und eine ausreichende Tankstelleninfrastruktur aufgebaut werden.

2.1.1 Forschung und Entwicklung

Forschung- und Entwicklungs-Themen (F&E-Themen) werden insbesondere bei aus erneuerbarem Strom erzeugtem Methan (EE-Methan) gesehen. Wie beim Thema Wasserstoff spielt F&E gerade bei der Elektrolyse eine zentrale Rolle (siehe dortige Ausführungen). Zudem ist die Methanisierung als weiterer Umwandlungsschritt notwendig, wobei hier noch Forschungsbedarf besteht. Es existieren zwar Pilotanlagen für eine Methanisierung von Kohlenstoffdioxid, gleichwohl gibt es noch eine Vielzahl offener F&E-Fragen sowohl bei der katalytischen wie auch der biologischen Methanisierung. Neben der Industrialisierung sind die Erhöhung der Wirkungsgrade, z. B. durch eine möglichst effiziente Abfuhr der Reaktionswärme, und die Weiterentwicklung von verschiedenen Reaktortypen wichtige Forschungsthemen. Aspekte wie Lastwechselfähigkeit und Teillastverhalten zur Kopplung an fluktuierende erneuerbare Stromerzeuger sind ebenfalls zu untersuchen.

Neben der Methanisierung ist die CO₂-Bereitstellung ein wichtiges Themenfeld. Das CO₂ kann aus biogenen Umwandlungsprozessen, Industrieprozessen mit prozessbedingten Kohlendioxidemissionen oder aus der Atmosphäre (DAC = Direct Air Capture) gewonnen werden. In allen Bereichen bestehen noch mannigfaltige F&E-Herausforderungen.

2.1.2 Pilot- und Demonstrationsprojekte

Der nächste Schritt auf einem LNG-Pfad im Lkw-Verkehr wäre der Aufbau einer Tankstellen-Infrastruktur.

Während der nationale Strategierahmen für eine Mindestabdeckung entsprechend den EU-Vorgaben weniger als zehn Tankstellen vorsieht, erscheinen für einen LNG-Pfad im Lkw-Verkehr 10 bis 25 stationäre Tankstellen (abhängig von der Entwicklung der LNG-Fahrzeuge) in Deutschland bis 2020 sinnvoll. Dabei ist zu beachten, dass es technisch und kommerziell sinnvoll sein kann, LNG- mit CNG-Tankstellen (CNG = Compressed Natural Gas, komprimiertes Erdgas) an einem Standort zu realisieren.

Bei der Weiterentwicklung der LNG-Motoren können insbesondere die nach dem Ottoprinzip arbeitenden monovalenten Gasmotoren in ihrer Energieeffizienz verbessert werden. Diese dürften aber auch zukünftig eine etwas schlechtere Energieeffizienz aufweisen als Dieselmotoren. Alternativ werden nicht monovalente, hauptsächlich mit LNG betriebene Motoren mit HPDI-Technologie angeboten. Diese arbeiten im Mischbetrieb Gas/Diesel mit variablem Verhältnis nach dem Dieselpinzip und haben einen verbesserten Wirkungsgrad, der ungefähr dem eines Dieselmotors gleichkommt. Auch hier gibt es noch Entwicklungspotenziale. Zwar sind bereits erste LNG-Lkw mit HPDI in Kleinserie verfügbar; eine Senkung der Produktionskosten sowie verbesserte Wirkungsgrade sind aber weiterhin notwendig. Zudem sollte für Tankstellen und Motoren technisch nachgewiesen werden, dass stark klimawirksames Methan nicht oder nur in kleinsten Mengen austritt (sog. „Methanschlupf“). Um eine Ausrichtung der Tankstellen an den europäischen Vorschriften sowie eine Begleitforschung zu Methanverlusten zu ermöglichen, sollte der Tankstellenaufbau auch Teil eines Förderprojektes sein, welches dann sowohl Tankstellen als auch LNG-Lkw mit Zuschüssen fördert. Dabei ist auch zu beachten, dass zwei unterschiedliche Motorentechnologien genutzt werden, die verschiedene Anforderungen hinsichtlich Temperatur und Druck an die Betankung stellen. Pilotprojekte könnten darüber hinaus die Wirksamkeit von LNG-Fahrzeugen zur Reduktion von Umweltschadstoffen und Lärm in der Praxis überprüfen. Ergänzend sollten auch die Beschaffung von LNG-Lkw gefördert und Anreize zur schnellen Kostensenkung gesetzt werden.

Fahrplan für einen klimafreundlichen Straßengüterverkehr: (EE-)LNG

		2017	2020	2030	langfristig
		Markthochlauf		Massenmarkt	Stabiler Markt oder Rückgang
F&E	Produktion	Elektrolyse → vgl. H ₂	Methanisierung	CO ₂ -Abscheidung Industrie/Kraftwerke	CO ₂ -Abscheidung aus Luft
	Verteilung	Entwicklung kostendeckender Bio- und EE-LNG-Pfade			
	Tankstellen	Ausarbeitung Konzept Tankstelle und Versorgung			
	Fahrzeuge	Lkw-Tankstellen: „Methanschlupf messen und vermeiden“ integriert in Förderprogramm stationäre Tankstellen			
Markt	Tankstellen	2 Piloten 5 stat. Tankstellen	10 bis 25 Tankstellen (teils gefördert)	Mindestens 40 Tankstellen	
	Terminals	LNG-Terminals im Ausland	Evtl. kleiner zusätzlicher Terminal in DE		
	Verbrauch	Ca. 10 kt/a	Ca. 400 kt/a	Ca. 1000 kt/a	
	Fahrzeuge	Nischenmärkte Entwicklung nationaler Transportmarkt Entwicklung Transit-Transportmarkt	2000 Lkw	20.000 Lkw	50.000 Lkw
Technologie	Produktion	Verflüssigung fossiles Erdgas	Biomethan-Beimischung	CO ₂ aus Industrie, Luft oder Biogas? Elektrolyse und Methanisierung (EE-Strom)	
	Verteilung	Per Lkw-Trailer	Trailer und Schiffe		
	Tankstellen	Mobile Tankstellen als Piloten 2 Dispenser (optimal 3 bar, 9 bar)	Große stationäre Tankstellen		
	Fahrzeuge	2018 TtW-Effizienz LNG-Fahrzeug: HPDI: Parität OTTO: von 15 % Differenz zu 5 % Differenz Nachweis Nahe-null-Methanschlupf			
Politik	Marktanreize	2017 bis 2024 (2026) Energiesteuerreduktion (Bundestag und Bundesrat) Europäische Koordination		Marktanreize/Regulierung für EE-LNG Import LNG oder heimische Produktion?	
	Infrastruktur	Tankstellen inkl. Belieferung (evtl. gefördert), Normen, Standards, Genehmigungen 2016 bis 2025 AFID-Richtlinie SNR-Meldung und Umsetzung Tankstellenaufbau und Versorgung			
	Fahrzeuge	2017 Anpassung Weights and Dimensions 2015/719 Zuschüsse für mindestens 1000 LNG-LKW 2019 Setzung von CO ₂ -Flottengrenzwerten Unterstützung von CO ₂ -Flottengrenzwerten für neue Lkw auf EU-Ebene			

Langfristig müssten große Methanisierungsanlagen entwickelt und aufgebaut werden. Zudem benötigt die Herstellung relevanter Mengen erneuerbaren LNGs aufgrund der Umwandlungsschritte erhebliche Mengen erneuerbaren Stromes. Hierzu wäre langfristig der Aufbau zusätzlicher erneuerbarer Erzeugungskapazität notwendig.

2.1.3 Politik und Regulierung

Um eine Marktnähe bezüglich der Wirtschaftlichkeit zu erreichen und einen Markthochlauf zu initiieren, ist kurzfristig eine degressive Verlängerung der Energiesteuerprivilegierung für Erdgas über 2018 hinaus erforderlich. Vereinheitlichte und schnelle Genehmigungsverfahren

für den Aufbau der Tankstellen sind wichtige Voraussetzungen für deren Errichtung. Auch ist eine europaweit vereinheitlichte Strategie für die Errichtung eines LNG-Tankstellen-Netzes sinnvoll. Der Nachweis eines geringen Methanschlupfes (Ziel ist hier eine „zero venting policy“) an den Tankstellen, aber auch über die gesamte Well-to-Wheel-Kette ist erforderlich.

Ein weiterer Treiber für den Einsatz von LNG-Lkw wird die Setzung von CO₂-Flottengrenzwerten für neue Lkw auf EU-Ebene sein. Dies sollte von der Bundesregierung unterstützt werden.

2.2 Wasserstoff und Brennstoffzelle

Wasserstoff (H_2) ist ein kohlenstofffreier Energieträger, der über unterschiedliche Wege unter Einsatz verschiedener Energieträger gewonnen wird. Mit der elektrochemischen Umwandlung in einer Brennstoffzelle (BZ) steht eine hocheffiziente Stromerzeugungstechnologie zur Verfügung. Allerdings ist die geringere volumetrische Energiedichte von Wasserstoff ein Nachteil gegenüber Flüssigkraftstoffen im Verkehr.

Bei Pkw-Brennstoffzellenfahrzeugen ist die Phase der Markteinführung mit Kleinserien erreicht. Für die Pkw-Versorgung wird der Aufbau einer Wasserstofftankstelleninfrastruktur in Deutschland und anderen Ländern vorangetrieben, u. a. im Rahmen der Initiative H_2 Mobility. Im Bussektor finden derzeit eine Reihe von Flottentests statt. Erste Demonstratoren werden im Schienenverkehr getestet. Hingegen befindet sich der Lkw-Sektor noch im Prototypenstadium mit Brennstoffzellen-(BZ-)Fahrzeugen und testet diese eher in kleineren Fahrzeugen mit geringeren Tagesreichweiten.

Mit einer Marktvorbereitung mit Kleinserien für den Güterfernverkehr ist erst im Zeitraum von 2020 bis 2025 zu rechnen. Aus wirtschaftlichen Gründen wird der Wasserstoff zu Beginn wahrscheinlich eher aus Industrieanlagen kommen, wo er derzeit als Nebenprodukt anfällt, und über die heute dominierende Erzeugungstechnologie der Dampfreformierung von fossilem Erdgas produziert. Später sollte dann der Elektrolysewasserstoff mit zunehmend höheren Anteilen von erneuerbarem Strom an Relevanz gewinnen, um die Ziele der Dekarbonisierung zu erreichen.

Die Attraktivität von H_2 -BZ-Lkw für den Güterfernverkehr ergibt sich aus dem hohen System-Wirkungsgrad der Brennstoffzelle, der deutlich über denen von Verbrennungsmotoren liegt, die u. a. bei LNG und strombasierten Kraftstoffen eingesetzt werden. Außerdem spricht die lokale Emissionsfreiheit bei Stickstoffoxiden, CO_2 und Feinstaub für H_2 -BZ-Lkw. Die Entwicklung von Fahrzeugkonzepten für H_2 -BZ-Lkw und der Aufbau einer Versorgungs- und Tankstelleninfrastruktur mit Ausrichtung auf Lkw stellen derzeit wichtige Herausforderungen dar.

2.2.1 Forschung und Entwicklung

Die Elektrolyse stellt aufgrund ihres hohen Anteils an den Kosten und der Wirkungsgradverluste die entscheidende Technologiekomponente der Wasserstoffbereitstellung dar. Obwohl heute schon kommerziell verfügbar, sollte auf ihrer Weiterentwicklung der entsprechende Fokus liegen. F&E-Felder sind u. a. die Erhöhung des Wirkungsgrades, das Senken der spezifischen Anlageninvestitionen und die Erhöhung der Anlagenlebensdauer. Weitere Entwicklungsarbeiten zielen auf die Kopplung von Elektrolyseuren mit variablem Stromangebot ab (Windkraftanlagen, PV-Anlagen), weil sich Elektrolyseure durch ein sehr günstiges Teillastverhalten auszeichnen. Des Weiteren besteht der Bedarf, große Anlagen zu errichten, um eine entsprechend hohe Wasserstoffmenge zu erzeugen. Neue Elektrolyseverfahren wie die Hochtemperatur-Elektrolyse, die sich durch noch höhere Wirkungsgrade auszeichnen, sind weiter zu erforschen.

In Bezug auf den Transport größerer Wasserstoffmengen über längere Distanzen (z. B. von einer zentralen Elektrolyse-Anlage an eine Tankstelle) sind geeignete Trägermaterialien für den Wasserstoff als Alternative zu reinem Wasserstoff (gasförmig oder flüssig) zu entwickeln. Eine Option, die in diesem Zusammenhang weiter untersucht werden sollte, ist die LOHC-Technologie (LOHC = Liquid Organic Hydrogen Carriers, flüssige natürliche Wasserstoffträger). Forschungsbedarf besteht weiterhin in der Katalysatorentwicklung, der Stabilität von LOHC in industriellen Anwendungen und der System- und Prozessdynamik.

Da die benötigten jährlichen Wasserstoffmengen an den Lkw-Tankstellen weit über denen von Pkw liegen (eine BZ-Sattelzugmaschine weist aufgrund des höheren Verbrauches und insbesondere der hohen jährlichen Laufleistung den 60-fachen Energiebedarf im Vergleich zu einem BZ-Pkw auf), kann man die bestehenden Konzepte des Aufbaus einer Wasserstofftankstelleninfrastruktur für Pkw nicht unmittelbar übernehmen; deshalb sollten Konzepte für die Versorgung und den Aufbau von Tankstellen mit einer hohen Wasserstoffnachfrage entwickelt werden. Fragen stellen sich hier bezüglich der Herstellung und des Transportes des Wasserstoffes (z. B. zentral und Transport in flüssiger oder gasförmiger Form mit Lkw

Fahrplan für einen klimafreundlichen Straßengüterverkehr: Wasserstoff und Brennstoffzelle

		2017	2020	2030	langfristig
		Marktvorbereitung		Markthochlauf	Massenmarkt
F&E	Erzeugung	Weiterentwicklung Elektrolyse		Großskalige Pilotanlagen	
	Konditionierung und Transport	LOHC Geometrie und Fertigung Karbonfaser-Tanks			
	Tankstellen	Konzeptentwicklung Lkw-Tankstellenaufbau und Versorgung Gegebenenfalls weiterer F&E-Bedarf			
	BZ und Fahrzeug	H ₂ -BZ-Betriebsstunden 14.000 h 2017 Konzept-H ₂ -BZ-Fahrzeug-Integration 2018 bis 2019 Demonstrationsfahrzeug(e) (700 bar H ₂) Machbarkeitsstudie LOHC im H ₂ -BZ-Lkw Erprobung modulare H ₂ -BZ-Konzepte (Wartung, Upgrade)		H ₂ -BZ-Betriebsstunden 25.000 h	
Markt	BZ-Fahrzeuge	Kleinflotten-Tests		4.500 Lkw-Bestand (25 kt/a H ₂)	12.000 Lkw-Bestand (66 kt/a H ₂)
	Tankstellen	Beitrag der Industrie: 25 bis 50 H ₂ -Tankstellen für 700 bar H ₂ für Lkw			
	Fahrzeuge/ Komponenten	2017 LIB-Batteriekosten 160 €/kWh	2025 LIB-Batteriekosten <100 €/kWh		Schwere Lkw, Bus und Bahn mit H ₂ -BZ
		2020 Kosten Karbonfaser-Tanks 10 bis 15 €/kg			
Technologie	Erzeugung	Nebenproduktwasserstoff		Elektrolyse Erdgasdampfpreformierung	
	Konditionierung und Transport	Kopplung von Bus- (350 bar) und Lkw-Tankstellen (700 bar) Noch offen		Versorgung der H ₂ -Tankstellen für Volumennachfrage	
	Fahrzeuge	TtW-Effizienz H ₂ -BZ-Lkw 2,6 kWh/km Verbesserung Energieeffizienz und Dynamik		2025 TtW-Effizienz H ₂ -BZ-Lkw 2,1 kWh/km	
Politik	Marktanreize	Elektrolyse: Entlastung Steuern und Abgaben, Anreize für Systemdienlichkeit Energiesteuerreduzierung/alternative Förderung		Marktanreize/Regulierung für erneuerbaren H ₂	
	Infrastruktur	2017 Verlängerung NIP bis 2026	Unterstützung Tankstellenaufbau Genehmigungsverfahren Europäische Koordination		
	Fahrzeuge	2017 Anpassung Weights and Dimensions 2015/719 2019 Setzung von CO ₂ -Flottengrenzwerten Unterstützung von CO ₂ -Flottengrenzwerten für neue Lkw auf EU-Ebene			

oder Pipelines oder dezentral über die Elektrolyse an Tankstellen). Hieraus leitet sich dann evtl. weiterer spezifischer Forschungsbedarf für Lkw-Tankstellen und deren Versorgung ab. Die Kosten der Brennstoffzelle sollen in den nächsten Jahren noch um 50 Prozent reduziert und die Betriebsdauer auf 25 000 h erhöht werden. Dieser Aufgabe stellt sich die Industrie.

Während Lkw-Fahrzeugkonzepte für die Speicherung von Wasserstoff in Hochdrucktanks bei 700 bar bereits entworfen wurden, müssen die Konzepte zur Speicherung von LOHC im Lkw mit anschließender Umwandlung und Nutzung in der BZ noch erforscht werden. Die Kosten für die aus Karbonfasern bestehenden 700-bar-Hochdrucktanks müssen durch verbesserte Fertigungsprozesse der Tanks und innovative Herstellungsprozesse der Karbonfasern auf 10 bis 15 €/kg gesenkt werden.

2.2.2 Pilot- und Demonstrationsprojekte

Kurzfristig sollen die Fahrzeugkonzepte zum Aufbau einer schweren Fernverkehrs-Sattelzugmaschine fertiggestellt werden. Hier gilt es H₂-BZ, H₂-Tanks und Lithiumbatterie in den begrenzten Bauraum der Sattelzugmaschine zu integrieren. In den Jahren 2018 bis 2019 sollen idealerweise einige H₂-BZ-Lkw-Demonstrationsfahrzeuge aufgebaut und getestet werden, um den Nachweis der erfolgreichen Fahrzeugintegration zu liefern und Aussagen über die Fahrzeugeffizienz und -dynamik zu gewinnen.

Von 2020 bis 2025 sollte die Erprobung in Kleinserien und Kleinflotten erfolgen, bei der gleichzeitig die Anpassungen der Tankstellentechnologie auf die Anforderungen des Lkw durchgeführt werden. Dabei sollte auch geprüft werden, ob und wie Synergien zwischen H₂-Bus- und H₂-Lkw-Tankstellensystemen gehoben werden können. Hier ist die Industrie gefordert, die entsprechenden Untersuchungen und ggf. Entwicklungen der Tankstellentechnologie voranzutreiben.

2.2.3 Politik und Regulierung

Aus regulatorischer Perspektive steht beim Aufbau der Versorgungsinfrastruktur die Elektrolyse im Mittelpunkt. Heute sind die weit überwiegenden Bestandteile des Strompreises für die Elektrolyse gesetzlich veranlasst und machen bis zu 70 Prozent des Strompreises aus. Um den dauerhaften Elektrolyse-Einsatz in Deutschland wirtschaftlich zu gestalten, sollte der Rechtsrahmen deshalb weiterentwickelt bzw. angepasst werden. Ziel ist es, eine Reduzierung der Kostenbelastung durch Entgelte, Abgaben, Umlagen und Steuern zu erreichen. Weiterhin kann die Elektrolyse durch ihre flexible Regulierbarkeit zur Integration von fluktuierenden Erneuerbaren beitragen. Es sollten entsprechende gesetzliche Rahmenbedingungen geschaffen werden, damit Systemdienlichkeit finanziell angereizt und entlohnt wird.

Allerdings sind noch weitere Maßnahmen notwendig, um den Wasserstoffpreis in Bereiche zu senken, in denen BZ-Lkw wirtschaftlich betrieben werden können. Dies betrifft insbesondere die Verstärkung der Energiesteuerreduzierung für Wasserstoff oder die Einführung einer alternativen Förderung. Um dafür zu sorgen, dass die Treibhausgasemissionsbilanz möglichst positiv wird, sollten auch später Anreize oder Regulierungsmaßnahmen für den Einsatz von erneuerbarem Wasserstoff gesetzt werden. Die Unterstützung eines Tankstellenaufbaus und die Regelung für einheitliche und schnelle Genehmigungsverfahren für Tankstellen sind weitere Themen. Auch ist eine vereinheitlichte europäische Politik notwendig, da der Versorgungs- und Tankstellenaufbau auch in anderen europäischen Anrainerstaaten mittelfristig stattfinden sollte.

Regulierungen im Bereich der Fahrzeuge sollten einerseits durch eine moderate Verlängerung der Fahrzeugabmessungen für Fahrzeuge mit alternativen Antrieben (von der Industrie gefordert werden 900 mm) für die Sattelzugmaschine erfolgen und andererseits durch die Einführung mit der Zeit stringenter gesetzter CO₂-Flottengrenzwerte für neue schwere Lkw auf EU-Ebene.

2.3 Strombasierte Flüssigkraftstoffe

Aus elektrischer Energie, beispielsweise aus Wind oder Sonne, und Kohlenstoffdioxid (CO₂; z. B. aus der Luft) kann ein zu Diesel vergleichbarer und „Drop-in“-fähiger Kraftstoff erzeugt werden (sog. PtL-Kraftstoffe). Dazu wird zunächst mithilfe von Strom und dem Elektrolyseverfahren aus Wasser der primär gewollte Wasserstoff (H₂) erzeugt. Anschließend wird „grünes“ CO₂ (z. B. aus der alkoholischen Fermentation) unter Einbindung thermischer Energie und des zuvor erzeugten Wasserstoffs zu Kohlenstoffmonoxid (CO) reduziert. Danach wird in der katalysatorgestützten Fischer-Tropsch-Synthese dieses CO sowie weiterer H₂ unter Wärmefreisetzung zu einem Gemisch unterschiedlicher Kohlenwasserstoffe umgewandelt. Alternativ dazu kann aus dem „grünen“ CO₂ und dem H₂ mithilfe der Methanolsynthese auch ein Alkohol hergestellt werden. Um aus den jeweiligen Syntheseprodukten einen Drop-in-Kraftstoff unter vollständiger Erfüllung der jeweils gültigen Kraftstoffnormen zu

erzeugen, müssen sie in weiteren Raffinerieprozessen bezüglich des molekularen Aufbaus z. T. erheblich verändert, aufgereinigt, konditioniert und additiviert werden.

Vorteil derartiger strombasierter Kraftstoffe ist, dass ein Großteil der vorhandenen Erzeugungs- und Verteilinfrastruktur für fossile Flüssigkraftstoffe – sowie die bisherige Lkw-Antriebstechnologie mit dem schon weit entwickelten Dieselmotor – weiterhin verwendet werden kann. Auch kann ein hochqualitativer und letztlich quasi klimaneutraler flüssiger Treibstoff mit bekannten Eigenschaften verfügbar gemacht werden, der in praktisch beliebigen Anteilen z. B. mit fossilem Diesel mischbar ist und der das Potenzial hat, diesen zukünftig sukzessive klimaneutral zu ersetzen. Aufgrund in Deutschland a priori begrenzter Ressourcen bietet sich bei stark ansteigender Nachfrage auch eine Produktion beispielsweise in Südeuropa oder in der MENA-Region (Middle East and North Africa; Mittlerer Osten und Nordafrika) an, da hier Wind- und Solarstrom (u. a. aufgrund der hohen Solarstrahlung) perspektivisch sehr kostengünstig erzeugt werden können. Zudem kann ggf. die z. T. bereits vorhandene Rohölverarbeitungsinfrastruktur genutzt werden. Nachteilig sind hingegen die thermodynamisch und verfahrenstechnisch bedingten relativ niedrigen Wirkungsgrade des Gesamtprozesses und damit die potenziell vergleichsweise hohen Kosten, die bisher maximal nur im Pilotmaßstab demonstrierte Anlagentechnik und eine Vielzahl weiterer bisher ungelöster technischer, systemischer, ökologischer, ökonomischer und letztlich auch sozialer Fragen.

2.3.1 Forschung und Entwicklung

Nachfolgend wird der identifizierte F&E-Bedarf dargestellt. Dabei ist eine internationale Komponente in jedem der genannten Punkte intendiert, da sowohl die Treibhausgas-(THG-)Emissionsminderung als auch die Energieversorgung international betrachtet und global optimiert werden müssen.

- Technologieentwicklung, d. h. Weiterentwicklung der bestehenden Verfahren bzw. der entsprechenden Anlagentechniken, da mit der heute bekannten Technik Power-to-Liquid-(PtL-)Ketten nicht ohne Weiteres im Energiesystem implementiert werden

können. Dazu müssen die Einzeltechnologien (d. h. CO₂-Bereitstellung, Wasserstoffbereitstellung, direkte CO-Elektrolyse, Synthesen [besonders direkte Synthese auf CO₂-Basis], Syntheseproduktaufbereitung) und die Kombination der einzelnen Teilkomponenten im Rahmen integrierter und optimierter Gesamtkonzepte bzw. Bereitstellungsketten weiterentwickelt werden. Dies inkludiert auch die Verifizierung der Drop-in-Fähigkeit von PtL-Diesel.

- Systemische Analysen; neben der Technikentwicklung muss die sukzessive Einbindung in das Transport- und Energiesystem in Deutschland (und darüber hinaus) systemisch begleitet werden. Dies beinhaltet u. a. folgende Aspekte:
 - Einordnung der PtL-Kraftstoffe in alternative Kraftstoff-Antrieb-Kombinationen,
 - Analyse der national und international verfügbaren Rohstoffpotenziale,
 - optimierte Versorgungsketten auf der Basis vorhandener Infrastrukturkomponenten,
 - Umwelteffekte von PtL-Kraftstoffen,
 - Analyse möglicher Rahmenbedingungen,
 - Entwicklung eines nationalen Masterplans.

Mit Blick auf 2050 muss, ausgehend von den zu entwickelnden verfahrenstechnischen Lösungen, die entsprechende Anlagentechnik in einen großtechnischen kommerziellen Maßstab überführt werden. Dafür ist eine optimierte weitergehende Nutzung der schon vorhandenen und für fossile Flüssigkraftstoffe aufgebauten Infrastruktur wesentlich. Auch sollte aus F&E-Sicht die zunehmende Markteinführung wissenschaftlich begleitet und die dabei deutlich werdenden technischen, ökonomischen, ökologischen und sozialen Herausforderungen jeweils herausgearbeitet werden. Dies gilt insbesondere auch im europäischen und internationalen Kontext.

2.3.2 Pilot- und Demonstrationsprojekte

Ziel von entsprechenden Pilot- und Demonstrationsprojekten muss es sein, die technische und systemische Machbarkeit zu verifizieren bzw. zu optimieren, Vertrauen in diese Technologieoption zu schaffen sowie zur Erschließung der vorhandenen Optimierungspotenziale beizutragen.

Fahrplan für einen klimafreundlichen Straßengüterverkehr: strombasierte Flüssigkraftstoffe



Deshalb sollten unterschiedliche Technologievarianten in verschiedenartigen Maßstäben (u. a. kleine modulare Anlagenkonzepte – d. h. dezentrale Produktion –, Großanlagen in Kombination mit einer konventionellen Raffinerie) und für unterschiedliche CO₂-Quellen demonstriert werden. Dies beinhaltet u. a. die folgenden Aufgaben:

- Demonstration von Stand-alone-Anlagen zur PtL-Erzeugung. Dabei sollten unterschiedliche Elektrolyse- und Synthesepfade realisiert und optimiert werden.
- SOEL (Festoxid-Elektrolyse [engl.: solide oxide electrolysis]) in großem Maßstab anwenden (vom Einzelprojekt in MW-Maßstab bis zu noch größeren Anlagen beispielsweise in Kombination mit einer vorhandenen Raffinerie) und Synergieeffekte durch Wärmeauskopplung der nachfolgenden Synthese nachweisen und evaluieren.
- Ergänzende Aufrüstung von Erdölraffinerien mit PtL-Raffineriekomponenten; d. h. demonstrieren, dass die Voraussetzungen für die Verarbeitung von Fischer-Tropsch-Zwischenprodukten und/oder von Methanol zu normenkonformem Diesel möglich und ggf. zielführend sind.
- CO₂-Abscheidung aus der Luft in großem Maßstab in Kombination mit beispielsweise einer Methanolsynthese demonstrieren, da Erfahrungen mit der Abtrennung von atmosphärischem CO₂ gesammelt werden müssen.
- Betrieb von Fahrzeugflotten der Privatwirtschaft und/oder der öffentlichen Hand mit PtL-Kraftstoff (Imageeffekte), ggf. in Kombination mit der Erprobung der Auswirkung von PtL-Diesel auf die vorhandene Versorgungsinfrastruktur.

Danach müssen dann neu entwickelte technische Detaillösungen, sich ergebende innovative Prozessverschaltungen, verbesserte Kraftstoff-Antriebs-Kombinationen und weitere sich aus einem möglichen Markthochlauf ergebende Demonstrationsnotwendigkeiten adressiert werden, damit die angestrebten Ziele bis 2050 erreicht werden können.

2.3.3 Politik und Regulierung

Sollen PtL-Kraftstoffe für den schweren Güterfernverkehr merkliche Marktanteile in Deutschland und potenziell in Europa erreichen, sollte der politisch gesetzte Ordnungsrahmen angepasst werden. Dies betrifft u. a. folgende Aspekte, die z. T. im europäischen oder sogar im globalen Kontext zu klären wären:

- politische Zielvorgaben konkretisieren sowie verlässlich und zeitabhängig quantifizieren,
- Anpassung der Treibhausgasbilanzierung im Verkehrssektor zur Abbildung der Klimagasneutralität von PtL (möglichst auf europäischer Ebene),
- Definition von Nachhaltigkeitsstandards für PtL-Kraftstoffe, auch im europäischen und internationalen Kontext; dies inkludiert auch die Definition der nutzbaren CO₂-Quellen.
- Identifikation optimaler politischer Lenkungsinstrumente für eine zu definierende Demonstrations- und Markteinführungsphase (u. a. Befreiung von Steuern, Umlagen, Abgaben); dies könnte u. a. folgende Aspekte beinhalten:
 - PtL-Kraftstoffe als Teil der THG-Minderungsquote,
 - PtL-Kraftstoffzertifikate,
- politische/inhaltliche/organisatorische Flankierung des Aufbaus einer PtL-Produktionsinfrastruktur in Südeuropa bzw. im Nahen Osten, u. a. durch GIZ und KfW sowie durch strategische Rohstoffpartnerschaften,
- Anpassung des von einer forcierten PtL-Markteinführungsstrategie betroffenen Ordnungsrahmens (u. a. Ausbauziele für erneuerbare Energien zur Stromerzeugung im EEG),
- Öffentlichkeitsarbeit,
- Schaffung eines Ordnungsrahmens für die geplante Kopplung der Energiesektoren, in welcher PtL-Kraftstoffe eine maßgebliche Rolle spielen können,
- Weiterentwicklung von Normen und Standards auch im europäischen und internationalen Kontext,
- Koordination der deutschen PtL-Aktivitäten und Maßnahmen mit den europäisch und international laufenden Aktivitäten.

Die politische und regulatorische Flankierung eines potenziellen Markthochlaufs von PtL-Kraftstoffen, die aus Ressourcengründen potenziell nicht nur in Deutschland produziert werden dürften, sollte sicherstellen, dass die Weichen auf ein weiteres Wachstum gestellt sind und die deutlich werdenden administrativen Hemmnisse sukzessive abgebaut werden. Dies gilt sowohl im deutschen als auch im europäischen und internationalen Kontext; d. h., eine derartige Flankierung ist eine Daueraufgabe, die erst einen politisch gewollten Markthochlauf ermöglichen würde.

3. Zusammenfassung und Ausblick

Mit dem Fahrplan für einen klimafreundlichen Straßengüterverkehr wurde im Austausch zwischen Politik, Wissenschaft und Industrie eine Basis für die (Weiter-) Entwicklung und Markteinführung bzw. den Markthochlauf klimafreundlicher Technologien im Straßengüterverkehr in Deutschland geschaffen.

Die Betrachtung der einzelnen Technologien zeigt, dass sich LNG, H₂-BZ und strombasierte Kraftstoffe derzeit in unterschiedlichen Technologiereifegraden befinden. Die folgende Darstellung setzt die im Rahmen der Initiative erarbeiteten jeweiligen Diskussionsergebnisse hinsichtlich der möglichen zukünftigen Marktentwicklung und der Energiebereitstellung für die einzelnen Technologieansätze in einen gemeinsamen Kontext.

Für alle drei im Rahmen der Initiative betrachteten Ansätze wird demnach von deutlichen Fortschritten aufgrund der gemeinsamen Anstrengungen von Politik und Wirtschaft bis zum Jahr 2030 ausgegangen. Um die gesetzten Zielstellungen zur Treibhausgasminderung für 2050 zu erreichen, wird ab 2030 von einer steigenden Marktdurchdringung insbesondere von H₂-BZ-Systemen sowie zu einem etwas späteren Zeitpunkt von strombasierten flüssigen Kraftstoffen im Straßengüterverkehr ausgegangen.

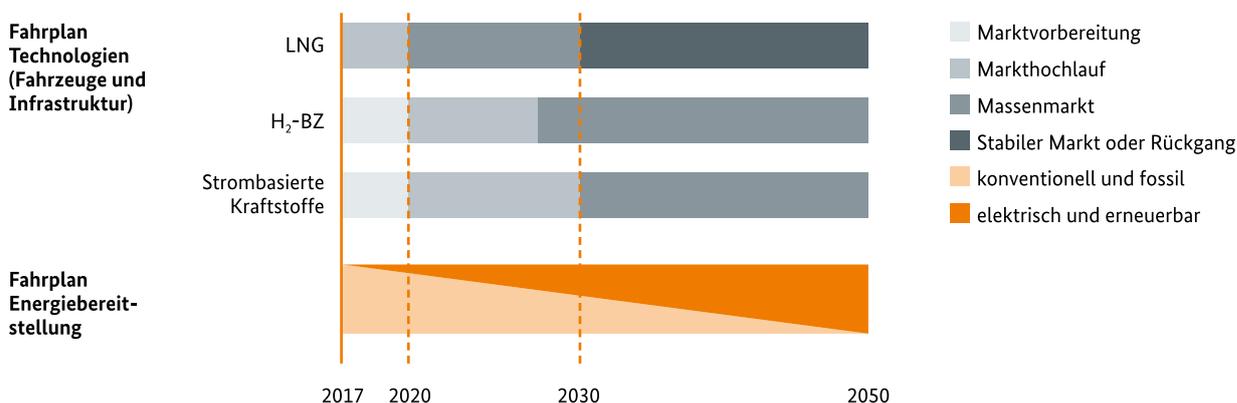
Für die Umsetzung stehen entsprechende Förderprogramme zur Verfügung. Hierzu gehören etwa die Mobilitäts- und Kraftstoffstrategie der Bundesregierung (MKS), in

deren Rahmen der Fahrplan für einen klimafreundlichen Straßengüterverkehr erarbeitet wurde, das Nationale Innovationsprogramm Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie (NIP) sowie die BMVI-Förderinitiative „Energiewende im Verkehr: Sektorkopplung durch die Nutzung strombasierter Kraftstoffe“. Ein Förderprogramm für energieeffiziente und/oder CO₂-arme schwere Nutzfahrzeuge befindet sich in der Ressortabstimmung.

Ein nächster Schritt ist es nun, in geeigneten Akteurskonstellationen besonders vielversprechende Maßnahmen voranzubringen. Seitens der Politik gehört dazu die Prüfung von Gesetzesinitiativen, die Förderung geeigneter Pilotprojekte sowie die Identifikation und finanzielle Unterlegung von Projekten zur weiteren Forschung, Entwicklung und Demonstration. Für den Erfolg der Maßnahmen ist neben der politischen Unterstützung auch das privatwirtschaftliche Engagement der Industrie erforderlich.

Der Fahrplan fasst die Ergebnisse der Beratungen der vom Lenkungsausschuss eingesetzten Arbeitsgruppen zusammen. Das BMVI dankt allen Beteiligten für die engagierte Mitarbeit. Die Empfehlungen der Roadmap werden bei den weiteren Überlegungen zur Fortentwicklung der Mobilitäts- und Kraftstoffstrategie der Bundesregierung (MKS) aufgegriffen werden, damit auch der schwere Straßengüterverkehr seinen Anteil zur Erreichung der Klimaschutzziele der Bundesregierung leisten kann.

Fahrplan klimafreundlicher Straßengüterverkehr (Antriebe und Kraftstoffe)



4. Anhang

Institutionen des Lenkungskeises

Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI)

Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e. V. (BDEW)

Bundesverband Güterkraftverkehr Logistik u. Entsorgung (BGL) e. V.

Bundesverband Wirtschaft, Verkehr und Logistik (BWVL) e. V.

Daimler AG

Deutscher Speditions- und Logistikverband e. V. (DSLTV)

IVECO Magirus AG

Kuehne + Nagel (AG & Co) KG

MEW Mittelständische Energiewirtschaft Deutschland e. V.

Mineralölwirtschaftsverband e. V. (MWV)

NOW GmbH – Nationale Organisation Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie

Scania Deutschland GmbH

Schaeffler AG

Shell Deutschland GmbH

Vattenfall GmbH

Verband der Automobilindustrie e. V. (VDA)

Verband der Internationalen Kraftfahrzeughersteller e. V. (VDIK)



Kontakt und Impressum

Herausgeber

Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI)
Referat G 20 „Energie und Klimaschutz“ und Stabsstelle klimafreundliche Mobilität
Invalidenstraße 44
D-10115 Berlin
www.bmvi.de

Leitung der Arbeitsgruppe

„Strombasierte Flüssigkraftstoffe“

- Prof. Dr.-Ing. Martin Kaltschmitt, Technische Universität Hamburg (TUHH) – Institut für Umwelttechnik und Energiewirtschaft (IUE)
- Dr. Oliver Weinmann, Vattenfall Europe Innovation GmbH

Leitung der Arbeitsgruppe

„Infrastruktur für LNG und Wasserstoff“

- Prof. Dr. Martin Wietschel, Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung (ISI)
- Guillaume Larroque, TOTAL Deutschland GmbH

Leitung der Arbeitsgruppe

„Antriebe für LNG und Wasserstoff“

- Dr. Wolfgang Schade, M-FIVE GmbH
Mobility, Futures, Innovation, Economics
- Dr. Manfred Schuckert, Daimler AG

Fachliche Unterstützung

NOW GmbH
Nationale Organisation Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie
Fasanenstr. 5
D-10623 Berlin
www.now-gmbh.de

Redaktion

IFOK GmbH
Reinhardtstraße 58
D-10117 Berlin
www.ifok.de

Bildnachweis

Seite 1, 22 (Logo MKS): Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI)
Seite 1: Rolande LNG B.V. (LNG-Tankstelle)
© Jeremyiswild / iStock (Zapfsäule)
© Ricul / iStock (Windturbinen und Solarzellen mit Rapsfeld)
© Milos-Muller / iStock (Landschaft mit Straße und rollendem Lkw)
Seite 3: Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI)

Stand

Juni 2017

