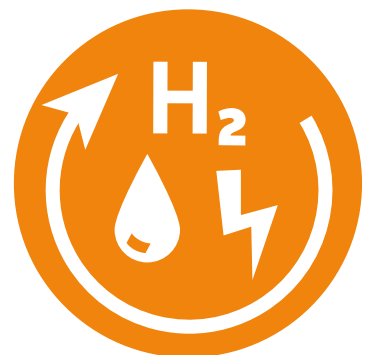




1. KURZBERICHT DER AG 2

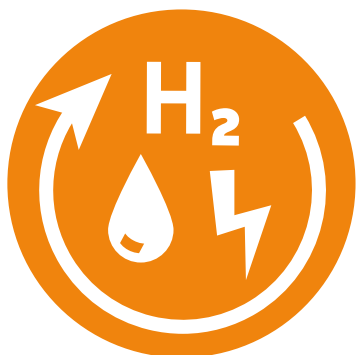
ELEKTROMOBILITÄT. BRENNSTOFFZELLE. ALTERNATIVE KRAFTSTOFFE – EINSATZMÖGLICHKEITEN AUS TECHNOLOGISCHER SICHT

ARBEITSGRUPPE 2
ALTERNATIVE ANTRIEBE UND
KRAFTSTOFFE FÜR
NACHHALTIGE MOBILITÄT



NPM

Nationale Plattform
Zukunft der Mobilität



INHALT

VORWORT	4
1 EXECUTIVE SUMMARY	6
2 EINFÜHRUNG UND ZIELSETZUNG	7
3 GRUNDLAGEN DES KURZBERICHTS	9
4 ERSTE ERKENNTNISSE DER AG 2	10
4.1. Perspektiven batterieelektrischer Fahrzeuge	11
4.2. Perspektiven von Brennstoffzellen-Fahrzeugen	16
4.3. Perspektiven alternativer Kraftstoffe	20
5 AUSBLICK	27
6 ANHANG	29

VORWORT

Neue Antriebe und Kraftstoffe sind ein wesentliches Instrument für die Reduzierung von Emissionen

Neue Antriebstechnologien und Kraftstoffe spielen eine zentrale Rolle für das Erreichen der Klimaschutzziele der Bundesregierung: Die Reduzierung der CO₂-Emissionen im Verkehrssektor um 40 bis 42 % bis 2030 gegenüber dem Basisjahr 1990 wird nur möglich sein, wenn der Einsatz alternativer Antriebe und Kraftstoffe ein wesentlicher Bestandteil des insgesamt notwendigen Maßnahmenpaketes wird. Die neuen Antriebs- und Kraftstoffoptionen sind grundsätzlich umsetzbar, allerdings bestehen Unterschiede hinsichtlich ihrer technologischen Reife, ihrer Marktreife und der Einsatzmöglichkeiten, bei denen ihr Potential zur Emissionsreduzierung besonders wirksam werden kann.

Die AG 2 und ihre drei Fokusgruppen

Die Arbeitsgruppe 2 (AG 2) der Nationalen Plattform Zukunft der Mobilität (NPM) vereint Expertinnen und Experten aus Industrie, Nicht-Regierungsorganisationen, Verbänden, Politik und Wissenschaft. Gemeinsam betrachten und bewerten die Mitglieder neue Antriebs- und Kraftstoffoptionen aus technischer Perspektive. Jede der Antriebsarten und Kraftstoffoptionen erfordert spezielles Wissen. Daher unterstützen weitere Expertinnen und Experten die AG 2 in den drei Fokusgruppen 1) *Technologische Elektromobilitätskonzepte*, 2) *Wasserstoff und Brennstoffzelle* sowie 3) *Alternative Kraftstoffe für Verbrennungsmotoren*.

Der erste Kurzbericht der AG 2 dient als Grundlage für den weiteren Arbeitsprozess

Langfristig tragfähige Lösungen können nur durch ein Zusammenspiel der verschiedenen Technologien geschaffen werden. Daher hat es sich die AG 2 zum Ziel gesetzt, einen Technologiemix zu finden, der den größtmöglichen Beitrag zur Senkung des CO₂-Ausstoßes leisten kann. Um entsprechende Handlungsempfehlungen an die Bundesregierung formulieren zu können, geht die AG 2 in drei Schritten vor, die durch Kurzberichte dokumentiert werden.

In dem vorliegenden ersten Kurzbericht stehen die technische Machbarkeit sowie die erwarteten Potentiale von elektrischen Antrieben, wasserstoffbetriebenen Fahrzeugen und alternativen Kraftstoffen im Vordergrund. Die Fokusgruppen hatten die jeweiligen fachlichen Grundlagen erarbeitet und mit dem Plenum der AG 2 diskutiert, sodass der erste Kurzbericht nun das gemeinsame Verständnis der AG 2 und ihrer drei Fokusgruppen abbildet.

Darauf aufbauend wird die AG 2 in einem zweiten Kurzbericht die Rahmenbedingungen betrachten und die daraus entstehenden Hemmnisse und realen Potentiale bewerten. In einem dritten Kurzbericht werden die Auswirkungen beleuchtet, die mit dem Einsatz der verschiedenen Antriebs- und Kraftstoffoptionen einhergehen. Diese Erkenntnisse wird die AG 2 im nächsten Jahr in eine Technologie-Roadmap überführen.

Die AG 2 sucht dabei den engen Austausch mit den anderen NPM-Arbeitsgruppen, um gemeinsam Handlungsoptionen für die Politik zu erarbeiten. Ziel ist es, Gestaltungsmöglichkeiten für die Entwicklung eines

treibhausgasneutralen und nachhaltigen Verkehrssystems in 2050 aufzuzeigen und somit zur Einhaltung der Klimaziele der Bundesrepublik Deutschland bis zum Jahr 2030 beizutragen.



PROF. DR. BARBARA LENZ

Leiterin der AG 2, Alternative Antriebe und Kraftstoffe für nachhaltige Mobilität

1 EXECUTIVE SUMMARY

Die Transformation der Antriebs- und Kraftstofftechnologien bildet eine zentrale Herausforderung für die Ausgestaltung einer nachhaltigen Mobilität. Dafür hat die AG 2 folgende technologische Optionen hinsichtlich des aktuellen und zukünftig erwartbaren Entwicklungsstands unter optimalen Voraussetzungen betrachtet: **technologische Elektromobilitätskonzepte, Wasserstoff und Brennstoffzellen** sowie **alternative Kraftstoffe** für den Verbrennungsmotor. Die Technologien wurden dabei unabhängig voneinander betrachtet.

Die AG 2 geht davon aus, dass **2030 7 bis 10,5 Millionen BEV und PHEV** (Plug-In Hybrid Electric Vehicle) im Bestand sein werden. Die Reichweiten unterscheiden sich je nach Fahrzeugsegment: Bei **Pkw** besteht eine Bandbreite von bis zu 300 km im Kleinwagensegment und über 500 km bei Oberklasse-Pkw. **Leichte und mittlere Nutzfahrzeuge** können eine Reichweite zwischen 100 und 250 km erzielen. Erste Prototypen für batterieelektrische **schwere Nutzfahrzeuge** erreichen vergleichsweise geringe Reichweiten. Im **Straßengüterfernverkehr** werden aktuell erste Teststrecken für Oberleitungs-Lkw aufgebaut. Für die **Schifffahrt** bestehen Planungen für die Nutzung von Landstrom in Häfen und es wurden bereits erste Fähren elektrifiziert. Für **Flugzeuge** gibt es erste Prototypen, die auf lange Sicht eine Reichweite von bis zu 1.000 km erreichen können, und im **Schieneverkehr** existieren Prototypen für batteriebetriebene Triebzüge und Diesel-Hybrid-Rangierlokomotiven.

Aus **klimapolitischer Sicht** wäre bei Brennstoffzellen-Fahrzeugen ein Bestand von bis zu **1,4 Millionen Pkw und 400.000 Nutzfahrzeugen** wünschenswert für 2030, die in Deutschland tatsächlich erreichbaren Fahrzeugzahlen sind aufgrund der zurückhaltenden Positionierung etlicher Autohersteller noch mit **Unsicherheiten** behaftet und sollen in dem zweiten **Kurzbericht** abgestimmt dargelegt werden. Der aktuelle Entwicklungsstand ist bei den einzelnen Fahrzeugen sehr unterschiedlich und reicht von ersten Erprobungsträgern bis hin zu Serienfahrzeugen. Serienanwendungen finden sich heute vor allem im Mittel- bzw. Oberklassensegment bei Pkw. Für Brennstoffzellen-Fahrzeuge ergeben sich Reichweiten, die mit denen verbrennungsmotorisch betriebener Fahrzeuge vergleichbar sind. Im **Schienepersonennahverkehr** können nicht elektrifizierte Strecken durch mit Wasserstoff betriebene Nahverkehrszüge bedient werden. In der **Luftfahrt** werden Brennstoffzellen vor allem für elektrische Antriebe und Nebenaggregate eingesetzt. Erste Entwicklungsprojekte in der **Schifffahrt** statten Binnen- und Fährschiffe mit Brennstoffzellen aus und nutzen die Brennstoffzelle für die Bordstromversorgung.

Technologieoptionen neuartiger alternativer Kraftstoffe konnten entlang **biomassebasierter und strombasierter Kraftstoffe** identifiziert werden. Diese Kraftstoffe stehen derzeit allerdings nur in **geringen Mengen** zur Verfügung, sodass zu deren Verbreitung Technologien für den Einsatz in Großanlagen weiterentwickelt werden müssen. Alternative Kraftstoffe sind **mit der bestehenden Tankinfrastruktur kompatibel** und bieten sich **insbesondere für schwere Verkehrsmittel** wie schwere Nutzfahrzeuge, Schiffe und Flugzeuge im Zusammenhang mit langen Reichweiten an.

Die AG 2 hat mit dem vorliegenden Kurzbericht eine technologieorientierte Faktenbasis für alternative Antriebe und Kraftstoffe zur Reduktion von CO₂-Emissionen im Verkehr geschaffen. In der weiteren Arbeit wird die AG 2 nun technologieoffen die Rahmenbedingungen und Potentiale sowie die Auswirkungen auf Umwelt, Gesellschaft und Wirtschaft betrachten.

2 EINFÜHRUNG UND ZIELSETZUNG

Dieser Kurzbericht gibt einen ersten Zwischenstand der Arbeit in der AG 2 *Alternative Antriebe und Kraftstoffe für nachhaltige Mobilität* der NPM wieder. Er stellt den Status quo der Technologien im Überblick dar und gibt einen Ausblick auf die aus technologischer Sicht möglichen Antriebs- und Kraftstoffpotentiale im Jahr 2030. Das bedeutet: Der Fokus liegt auf dem technologisch grundsätzlich Möglichen und Machbaren. Ergänzend dazu beschreibt der Bericht die aktuelle Kostensituation bezüglich der Herstellung und des Betriebs von alternativen Antrieben sowie der Herstellung und Bereitstellung von alternativen Kraftstoffen. Eine Abschätzung von Potentialen, die sich aus Annahmen zu spezifischen Rahmenbedingungen und Einflüssen ergeben, ist somit **nicht** Gegenstand dieses Kurzberichts. Auch das potentielle Nutzungsverhalten wird nicht in diesem Bericht betrachtet. Vielmehr gibt der Bericht eine Einschätzung der Expertinnen und Experten der AG 2 zum aktuellen Stand der Technik und deren wahrscheinliche weitere Entwicklung wieder.

Die AG 2 betrachtet drei technische Optionen, die sich jedoch gegenseitig nicht ausschließen. Ziel der AG 2 ist es, alternative Technologien mit geringen CO₂-Emissionen aufzuzeigen, die die Treibhausgasemissionen und die Abhängigkeit von fossilen Energieträgern reduzieren und somit zur Erreichung der Klimaziele im Verkehrssektor im Jahr 2030 und darüber hinaus beitragen:

- **Option 1: technologische Elektromobilitätskonzepte**
- **Option 2: Wasserstoff und Brennstoffzelle**
- **Option 3: alternative Kraftstoffe für Verbrennungsmotoren**

Zur Faktenanalyse dieser drei Optionen wurden in der AG 2 drei Fokusgruppen mit Expertinnen und Experten etabliert, die zur Vorbereitung des Kurzberichts die relevanten Fakten zusammengetragen haben. Es wurden alle Möglichkeiten aufgeführt, die die Mitglieder der AG 2 unter den bekannten Voraussetzungen als grundsätzlich technisch machbar einschätzen. Basierend auf den Vorarbeiten der Fokusgruppen und entlang gemeinsam festgelegter Kategorien werden in diesem ersten Kurzbericht der AG 2 die Grundlagen in Bezug auf den Einsatz alternativer Antriebe und Kraftstoffe aus technologischer Sicht aufgezeigt. Dabei wurde die technologische Machbarkeit der drei Optionen unabhängig voneinander betrachtet.

Die Klimaschutzziele der Bundesregierung für 2030 legen für jeden Sektor Ziele für die Reduktion von CO₂-Emissionen fest. Die Abhängigkeiten und Wechselwirkungen der einzelnen Sektoren untereinander sind der AG 2 grundsätzlich unbekannt und wurden deshalb nicht betrachtet. Diese Wechselwirkungen sind abhängig vom Mobilitätssystem (Energiegewinnung, Energieverteilung, Rohstoffketten, Produktionsketten, Fahrzeugnutzung und -recycling) des Referenzzeitraums (1990). Definitionsgemäß unterscheidet sich das Mobilitätssystem 2030 deutlich vom Referenzsystem (Beispiel: Fossile Ketten werden durch elektrifizierte Ketten ersetzt). Das führt dazu, dass sich zwischen den einzelnen Sektoren positive und negative CO₂-Verschiebungen ergeben. Die AG 2 unterstützt deshalb die Forderung nach Life-Cycle-Analysen oder zumindest Well-to-Wheel-Betrachtungen der unterschiedlichen Technologien, um mit diesen Ergebnissen zu einem validen, ganzheitlichen Ergebnis zu kommen. Denn das Ziel muss es sein, dass die CO₂-Emissionen insgesamt gesenkt werden.

Gemeinsam wurde in der AG 2 ein ausgewogenes Set an Kategorien (Kosten, Umwelteffekte, verschiedene Externalitäten etc.) festgelegt, um damit einen Vergleich der drei technologischen Optionen möglich zu machen, der in einem späteren Arbeitsschritt eine Quantifizierung des Beitrags von alternativen Antrieben und Kraftstoffen für eine nachhaltige Mobilität zulässt. Es ist zu beachten, dass zudem eine weitere Absenkung des Energiebedarfs im Verkehr, zum Beispiel durch Erhöhung der Energieeffizienz, zur Erreichung der Klimaschutzziele beitragen kann.

Weitere Kriterien im Sinne einer nachhaltigen Entwicklung werden in den folgenden Berichten der AG 2 aufgegriffen. Der vorliegende Kurzbericht leistet damit einen Beitrag zum Ziel der AG 2, am Ende ihrer Arbeiten eine umfassende Bewertung von alternativen Antrieben und Kraftstoffen, differenziert nach Einsatzzwecken oder Fahrzeugsegmenten, vorzulegen. Zudem wird durch die weiteren Arbeiten der AG 2 aufgezeigt werden, in welcher zeitlichen Abfolge die Technologien hinsichtlich ihrer Marktreife eingesetzt werden können; darauf aufbauend werden Handlungsempfehlungen ausgesprochen. In späteren Bewertungen werden neben technisch-ökonomischen Kriterien auch die gesellschaftlichen Anforderungen zur Akzeptanz und zur Nutzung alternativer Antriebe und Kraftstoffe durch Haushalte und Unternehmen berücksichtigt. Die AG 2 wird sich unter anderem zu sektorübergreifenden Themen mit den anderen Arbeitsgruppen der NPM abstimmen.

Dieser erste Kurzbericht stellt die bisher erreichten Ergebnisse der AG 2 dar und bildet die Grundlage für die weiteren Arbeiten der AG 2.

3 GRUNDLAGEN DES KURZBERICHTS

Einen wesentlichen Input für die Arbeit der AG 2 stellt der Zwischenbericht der AG 1 *Wege zur Erreichung der Klimaziele 2030 im Verkehrssektor*¹ dar. Der Zwischenbericht benennt insgesamt sechs Handlungsfelder zur Reduktion der sogenannten CO₂-Lücke im Verkehr in Deutschland bis zum Jahr 2030. Unmittelbar relevant für die Aufgabenstellung in der AG 2 sind die Handlungsfelder (1) Antriebswechsel: Pkw und Lkw, (2) Effizienzsteigerungen: Pkw und Lkw sowie (3) regenerative Kraftstoffe. Im Anhang 1 zu diesem Kurzbericht werden auszugsweise wesentliche Aussagen aus dem Zwischenbericht der AG 1 mit Bezug zu den Themen der AG 2 dargestellt.

Die anderen drei Handlungsfelder der AG 1 – (4) Stärkung Schienenpersonenverkehr, Bus-, Rad- und Fußverkehr; (5) Stärkung Schienengüterverkehr, Binnenschifffahrt; (6) Digitalisierung – zielen auf eine Verlagerung weg vom motorisierten Individualverkehr bzw. vom Straßengüterverkehr sowie auf die Digitalisierung des Verkehrs ab. Für die letztgenannten Handlungsfelder wird erwartet, dass davon Auswirkungen auf den Kraftfahrzeugbestand bzw. die Jahresfahrleistungen ausgehen, die sich wiederum auf den Endenergiebedarf des Verkehrs auswirken und damit zumindest indirekt Einfluss auf den Energie- und Kraftstoffbedarf im Verkehr haben werden.

Als weitere Grundlagen für diesen ersten Kurzbericht der AG 2 wurden die folgenden aktuellen Studienergebnisse bzw. Daten herangezogen:

- Prognos, The Boston Consulting Group: Klimapfade für Deutschland, https://www.zvei.org/fileadmin/user_upload/Presse_und_Medien/Publikationen/2018/Januar/Klimapfade_fuer_Deutschland_BDI-Studie/Klimapfade-fuer-Deutschland-BDI-Studie-12-01-2018.pdf
- BDI-Handlungsempfehlungen zur Studie „Klimapfade für Deutschland“, <https://e.issuu.com/embed.html#2902526/57478142>
- dena-Leitstudie Integrierte Energiewende, https://www.dena.de/fileadmin/dena/Dokumente/Pdf/9261_dena-Leitstudie_Integrierte_Energiewende_lang.pdf
- Umweltbundesamt, Klimaschutzbeitrag des Verkehrs bis 2050 https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/texte_56_2016_klimaschutzbeitrag_des_verkehrs_2050_getagged.pdf
- MiD Ergebnisbericht http://www.mobilitaet-in-deutschland.de/pdf/MiD2017_Ergebnisbericht.pdf
- Verkehr in Zahlen 2018/2019 https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Publikationen/G/verkehr-in-zahlen_2018-pdf.pdf?_blob=publicationFile
- Klimaschutzplan 2050 der Bundesregierung https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Klimaschutz/klimaschutzplan_2050_bf.pdf






Weitere verwendete Quellen werden im Text entsprechend angegeben.

¹ https://www.plattform-zukunft-mobilitaet.de/wp-content/uploads/2019/03/Zwischenbericht-03_2019-der-AG1-Klimaschutz-der-NPM-Wege-zur-Erreichung-der-Klimaziele-2030-im-Verkehrssektor.pdf

4 ERSTE ERKENNTNISSE DER AG 2

Dieses Kapitel stellt wesentliche Ergebnisse aus der ersten Arbeitsphase der AG 2 komprimiert dar. Die Fokusgruppen haben die vorhandenen Fakten zu den Optionen Elektromobilität, Wasserstoff/Brennstoffzelle und alternative Kraftstoffe zusammengestellt und entlang der nachfolgend dargestellten Kategorien aufbereitet. Auf die Kategorie Treibhausgase (THG)-Emissionen geht der erste Kurzbericht noch nicht ein, da diese erst im Kontext der Rahmenbedingungen und eines entsprechenden Markthochlaufs betrachtet werden.

Tabelle 1: Kategorien der Faktenaufbereitung des vorliegenden Kurzberichts

	Antriebssysteme		Tank und Ladeinfrastruktur
	Fahrzeugsysteme		Kosten
	Verfügbarkeit und Rohstoffbedarfe		Anschlussfähigkeit
	THG- /CO ₂ -Bilanzen (Angabe Bandbreite in kg CO ₂ -Äquivalent/GJ)		

Der Betrachtung der technologischen Optionen wurde eine Unterteilung nach Fahrzeugarten hinterlegt: Für Pkw wurde weiter differenziert in Pkw-Segmente, für Nutzfahrzeuge (NFZ) bzw. Lkw wurde weiter differenziert in Klassen, weitere Kategorien: Schienenfahrzeuge, Flugzeuge, Binnen- und Seeschiffe.

Tabelle 2: Pkw-Flotte in Deutschland 2017, differenziert nach Pkw-Segmenten sowie Jahresfahrleistungsklassen und mittlerer Jahresfahrleistung in den Segmenten

Pkw-Segment	Jahresfahrleistungsklassen (km)			Mittlere Jahresfahrleistung (km)
	unter 10.000	10.000–14.999	15.000 und mehr	
Kleinwagen	47 %	26 %	27 %	12.377
Kompaktklasse	34 %	26 %	39 %	15.168
Mittelklasse	24 %	25 %	51 %	16.125
Oberklasse	29 %	23 %	48 %	13.423
Gesamte Flotte	35 %	25 %	40 %	14.653

Quelle: Eigene Auswertung, Daten aus MiD 2017, Pkw-Segmente nach Kraftfahrt-Bundesamt

Tabelle 3: Nutzfahrzeug- /Lkw-Klassen und deren Tagesfahrleistungen

Nutzfahrzeug- /Lkw-Klassen	Tagesfahrleistungen (km)	
	Gruppe A	Gruppe B
bis 3,5 t zGG (Sprinter) (N1)	≤ 150	> 150
3,5–12 t zGG (Verteiler-Lkw) (N2)	≤ 250	in Einzelfällen > 250
über 12 t zGG (Fernverkehrs-Lkw) (N3)	ca. 750	
ÖPNV-Busse (M3)	ca. 400	
Fernverkehrsbusse (M3)	ca. 1.200	

4.1. PERSPEKTIVEN BATTERIEELEKTRISCHER FAHRZEUGE

Antriebs- und Fahrzeugsysteme:

Die AG 2 geht auf Basis der AG 1-Zahlen davon aus, dass 2030 7 bis 10,5 Millionen batterieelektrische Pkw (BEV und PHEV; siehe Zielkorridor AG 1) im Bestand sein werden. Wichtig für einen Markthochlauf ist die Verfügbarkeit von Fahrzeugangeboten bei rein batterieelektrischen Fahrzeugen (BEV) sowie bei Plug-in-Hybrid-Fahrzeugen (PHEV) in allen Pkw-Marktsegmenten und bei leichten Nutzfahrzeugen. Zum aktuellen Zeitpunkt befinden sich bereits circa 60 Modelle von unterschiedlichen Herstellern für verschiedene Zielgruppen im Markt. Aufgrund der geltenden CO₂-Vorgaben² der Europäischen Union für Neuwagenflotten lassen die aktuellen Modellankündigungen der Hersteller (OEMs) einen deutlichen Anstieg bei BEV und PHEV ab 2020 erwarten³. So sind für 2021 bereits über 200 und für 2025 über 300 BEV-Modelle⁴ für den europäischen Markt angekündigt, sodass den Verbraucherinnen und Verbrauchern für jeden Anwendungsfall ein vollelektrisches Fahrzeug angeboten werden wird.

Tabelle 4: Auszug der Pkw-Segmente in Bezug auf potentielle Reichweiten und Verbräuche aktuell im Markt befindlicher Fahrzeuge

	Pkw-Segment	Potentielle elektrische Reichweite ⁵	Verbrauch	Lebensdauer
Pkw	Kleinwagen	bis ca. 300 km (WLTP)	14–17 kWh/100 km	Nutzungsverhalten bestimmt Lebensdauer (Unterschied z. B. zwischen Individualmobilität (max. 1 Ladezyklus pro Tag) und „Sharing“-Mobilität)
	Kompaktklasse	bis ca. 350 km (WLTP)	14–21 kWh/100 km	
	Mittelklasse	bis ca. 550 km (WLTP)	14–23 kWh/100 km	
	Oberklasse	über 500 km (WLTP)	20–26 kWh/100 km	

²Verordnung (EU) 2019/631 des Europäischen Parlaments und des Rates.

³https://www.transportenvironment.org/sites/te/files/publications/2019_07_TE_electric_cars_report_final.pdf

⁴<https://www.transportenvironment.org/publications/electric-surge-carmakers-electric-car-plans-across-europe-2019-2025>

⁵Die genannten Reichweiten sind als maximale Reichweiten zu verstehen und können ggf. durch erhöhte Nutzung der Heizung im Winter etc. reduziert werden.

Auffällig sind hierbei die zum Teil recht deutlichen Unterschiede im Verbrauch innerhalb der Segmente und die mit größer werdenden Fahrzeugen steigenden potentiellen Reichweiten. Es bleibt außerdem anzumerken, dass eine größere Traktionsbatterie nicht zwangsläufig mit einer größeren Reichweite einhergehen muss, da Letztere stark von der Effizienz des Gesamtfahrzeugs abhängig ist. Der fahrzeugspezifische Energieverbrauch wird, wie bei anderen Antriebsarten auch, vom Fahrzeuggewicht, aber auch vom Luft- und Rollwiderstand und der Effizienz des Antriebes beeinflusst. Für die Elektromobilität stellen diese Punkte jedoch wichtige Arbeitsfelder dar, um Reichweiten und Batteriekapazitäten zu optimieren. Aktuelle Fahrzeugankündigungen neuer PHEV-Modelle zeigen, dass in diesen Fahrzeugen zukünftig Batterien für größere Reichweiten verbaut werden, sodass prinzipiell 80 bis 90 % der Tagesfahrleistung der meisten Nutzerinnen und Nutzer reinelektrisch abgedeckt werden können.

Darüber hinaus kann für die Batterie derzeit nicht davon ausgegangen werden, dass sie den gesamten Lebenszyklus des Fahrzeugs überdauert. Da die Alterung einer Batterie stark abhängig ist vom Nutzungsverhalten – dabei insbesondere von der Batterietemperatur während des Betriebs (unter anderem. haben Einfluss: Anzahl und Art der Fahrzyklen, das heißt Voll- oder Teilzyklen, Ladeverhalten, verwendete Ladetechnologie, Betriebstemperatur) –, kann keine ausreichend begründete, allgemeingültige Aussage zu deren Lebensdauer abgeleitet werden⁶. Im Bereich der elektrischen Nutzfahrzeuge (leichte Nutzfahrzeuge und Busse) werden ebenfalls bereits einige Modelle auf dem Markt angeboten⁷. Die Batteriekapazitäten und Reichweiten aktueller Nutzfahrzeuge mit vollelektrischen Fahrzeugkonzepten können der Tabelle 5 entnommen werden:

Tabelle 5: NFZ-Klassen N1 und N2 in Bezug auf potentielle Reichweiten und Verbräuche aktuell im Markt befindlicher Fahrzeuge

	NFZ-Klasse	Potentielle Reichweite ⁸	Verbrauch
Leichte und mittelschwere NFZ	N1 Szenario „Sprinter“ bis 3,5 t zGG (bis 16.000 km/a bzw. bis 120 km/d) → Zustellfahrzeuge	100–200 km	20 kWh/100 km
	N1 Szenario „Sprinter“ bis 3,5 t zGG → Handwerkerfahrzeuge bis 150 km/d	150–250 km	20–37 kWh/100 km
	N1 Szenario „Sprinter“ bis 3,5 t zGG → Long-Range (> 150 km/d) einschließlich Transitverkehr	bisher kein Fahrzeug auf dem Markt	
	N2 Szenario bis 7,5 t zGG (ab 25.000 km/a bzw. bis 250 km/d)	ca. 100 km	65–100 kWh/100 km

⁶ Dennoch geben einige OEMs für ihre Fahrzeugbatterien Garantien für Lebensdauern von bis zu acht Jahren oder 160.000 bis 200.000 Kilometer bei 70 % der ursprünglichen Batteriekapazität.

⁷ <https://www.eurotransport.de/artikel/marktuebersicht-e-busse-24-modelle-mit-elektroantrieb-10490238.html>

⁷ <https://www.eurotransport.de/artikel/grosse-marktuebersicht-elektro-transporter-16-transporter-modelle-mit-e-antrieb-10490177.html>

⁸ Die genannten Reichweiten sind als maximale Reichweiten zu verstehen und können ggf. durch erhöhte Nutzung der Heizung im Winter etc. reduziert werden.

Im öffentlichen Personennahverkehr (ÖPNV) wird seit 2018 die Elektrifizierung der Busflotten vorangetrieben. In beiden Anwendungsfällen, ÖPNV und Lieferverkehre mit leichten Nutzfahrzeugen, können prinzipiell die Batteriekapazitäten sehr gut auf die zu fahrenden Tagesstrecken in den teilweise feststehenden Linienverkehren angepasst werden. Es bleibt jedoch anzumerken, dass beim aktuellen Stand der Technik zum Teil zusätzliche Fahrzeuge angeschafft werden müssen, um die gleiche Zahl an Personenkilometern realisieren zu können. Für Anwendungen mit langen Reichweiten sind die Hersteller zurzeit in Konzeptphasen, für die es nur wenige Daten gibt. Seit Oktober 2018 befindet sich beispielsweise ein Elektrofernbus in der Erprobung zwischen Frankfurt und Mannheim⁹. Ebenso sind aktuell schwere Nutzfahrzeuge bis 40 t als Hybrid- oder vollelektrische Fahrzeuge mit begrenzter reinelektrischer Reichweite in der Erprobungsphase bei Akteuren mit fester Routenplanung¹⁰. Markteinführungen dieser Fahrzeuge sind zum Teil bereits für Ende 2019 und 2020 geplant. Für im Straßengüterfernverkehr einzusetzende Nutzfahrzeuge ist eine große elektrische Reichweite erforderlich. Für solche Anwendungen wird das Konzept der Oberleitungs-Lkw bzw. des eHighways auf verschiedenen Strecken in Deutschland (erste Strecke seit diesem Jahr) und Schweden (seit 2016) in einer kommerziellen Pilotphase gemeinsam mit Transportunternehmen evaluiert.

Für spezielle Anwendungsfälle mit überdurchschnittlicher Nutzungszeit, beispielsweise kommunale Nutzfahrzeuge mit einer nur geringen Lebensfahrleistung, kann es sinnvoll sein, Teile der Bestandsfahrzeuge nachträglich zu elektrifizieren¹¹. Insgesamt ergeben sich für die schweren Nutzfahrzeuge und Busflotten folgende Daten:

Tabelle 6: NFZ-Klassen N3 und M3 in Bezug auf potentielle Reichweiten und Verbräuche aktuell im Markt befindlicher Fahrzeuge

	NFZ-Klasse	Potentielle Reichweite ¹²	Verbrauch
Schwere NFZ	N3 Jahres- / Tagesfahrleistung schwere Nutzfahrzeuge: ca. 100.000 km/a bzw. ca. 750 km/d	batterieelektrisch: k. A. Oberleitung: Direktstromabnahme; Batteriebetrieb: ca. 20 km	batterieelektrisch: k. A. Oberleitung: 130–150 kWh/100 km
	M3 Jahres- / Tagesfahrleistung ÖPNV-Busse: bis 90.000 km/a bzw. ca. 280 km/d	125–450 km	80–160 kWh/100 km
	M3 Jahres- / Tagesfahrleistung Fernbusse: ca. 180.000 km/a bzw. ca. 1.200 km/d	ca. 250 km	ca. 150 kWh/100 km

Bei Binnen- und Seeschiffen bestehen, abgesehen von Planungen für die Nutzung von Landstrom für Schiffe in Häfen und ersten Beispielen für die Elektrifizierung von Fähren (zum Beispiel Fjordfährschiffe in Norwegen¹³), keine relevanten Anwendungsfelder für die Nutzung von Strom. Beim Schienengüter- und Schienenpersonenfernverkehr besteht aufgrund bereits weitgehender Elektrifizierung von Eisenbahnstrecken und Erweiterungsplanungen kein Handlungsbedarf auf der Fahrzeugseite. Im Schienenpersonennahverkehr, bei dem auf einer Nahverkehrsverbindung sowohl elektrifizierte (60 % des Schienennetzes¹⁴) als auch nicht elektrifizierte Eisenbahnstrecken

⁹<https://www.flixbus.de/unternehmen/presse/pressemitteilungen/flixbus-launcht-ersten-deutschen-100-prozent-elektrischen-fernbus>

¹⁰<https://www.eurotransport.de/artikel/marktuebersicht-schwere-nutzfahrzeuge-19-lkw-modelle-mit-e-antrieb-10490197.html>

¹¹<https://www.erneuerbar-mobil.de/projekte/live>

¹²Die genannten Reichweiten sind als maximale Reichweiten zu verstehen und können ggf. durch erhöhte Nutzung der Heizung im Winter etc. reduziert werden.

¹³Siehe: businessportal-norwegen.com: Elektro-Katamaran zwischen Flam und Gudvangen.

¹⁴Allianz pro Schiene.

befahren werden, sind batterieelektrische Fahrzeugkonzepte¹⁵ in der Entwicklung bzw. Erprobung. Dabei werden die Batteriekapazitäten durch die Hersteller so ausgelegt, dass eine Reichweite von 40 bis 150 km für nicht elektrifizierte Streckenabschnitte garantiert werden kann¹⁶. Ab den Jahren 2022/2023 werden erste mit Akkus ausgerüstete Triebzüge in Nahverkehrsnetzen im regulären Einsatz sein.^{17,18} Für den Rangierdienst sind batterieelektrische Lokomotiven denkbar. Diesel-Hybrid-Rangierlokomotiven befinden sich heute noch in der Entwicklung, zum Teil sind sie jedoch auch schon im Einsatz. Je nach Leistungsprofil und Einsatz lassen sie Einsparungen beim Kraftstoffverbrauch erwarten.

Bei der Flugzeugentwicklung stehen aktuell Konzeptstufen für Kleinflugzeuge sowie VTOL (Vertical Take-Off and Landing) mit Reichweiten zwischen 100 und 300 km im Fokus¹⁹. Zurzeit werden hybrid-elektrische Flugzeuge mit einer Reichweite von bis zu 1.000 km und geringer Passagierzahl sowie elektrische Drohnen entwickelt. Perspektivisch werden Flugzeuge und Drohnen, zunächst in Nischenanwendungen, sowohl im Personen- als auch im Güterverkehr eingesetzt. In der nächsten Dekade stellen diese Technologien jedoch noch keine nennenswerten Anwendungsfelder für elektrische Antriebe und Batterietechnik dar.

Rohstoffverfügbarkeit:

Der Ausbau der Elektromobilität bewirkt einen erhöhten Bedarf an Rohstoffen wie Lithium, Kobalt oder Mangan, deren nachhaltige Gewinnung auf internationalen Märkten sichergestellt werden muss. Die Gewinnung, Weiterentwicklung und das Recycling dieser Rohstoffe ist als Innovationschance für die deutsche Industrie notwendig, da Förderung und Verarbeitung mit Umweltbelastungen verbunden sind.

Ladeinfrastruktur:

Laut dem Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft (BDEW) stehen seit August 2019 in Deutschland 20.650 öffentlich zugängliche Ladepunkte zur Verfügung, davon sind 12 % (circa 2.500) DC-Schnelllader²⁰. Hinsichtlich der Dauer von Ladevorgängen gelten, abhängig von der Technologie und der Ladeleistung der Ladepunkte, folgende Ladezeiten für einen Ladevorgang:

Tabelle 7: Ladezeiten in Abhängigkeit von der Ladeleistung

Ladeleistung (50-kWh-Batterie)	Mittlere Ladedauer
AC 3,7 kW	14 bis 15 Stunden
AC/DC 11 bis 22 kW	2,5 bis 5 Stunden
DC 50 kW	ca. 1,5 Stunden
DC 150 kW	ca. 30 Minuten
DC 350 kW	ca. 10 bis 20 Minuten

¹⁵https://www.bombardier.com/en/media/newsList/details.bt_20180912_world-premiere--bombardier-transportation-presents-a.bombardiercom.html

¹⁶<https://www.stadlerail.com/de/medien/article/stadler-laesst-den-flirt-von-der-leine/165/>

¹⁷<https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid:f48fa9d1-2abd-41ab-b2f9-f37cfd6d59e6/db-desiro-ml-oebb-cityjet-eco-d.pdf>

¹⁸Klebsch, Wolfgang et al. 2018, Seite 12: Batteriesysteme für Schienentriebzüge – emissionsfreier Antrieb mit Lithium-Ionen-Zellen. Studie des VDE Verband der Elektrotechnik, Elektronik und Informationstechnik e. V.

¹⁹<https://www.kn-online.de/Nachrichten/Schleswig-Holstein/Land-SH-will-55-Elektro-Zuege-von-Stadler-bestellen-und-ab-2022-einsetzen>

²⁰<https://www.bo.de/lokales/ortenaus/siemens-soll-bis-2023-akku-zuege-fuer-die-ortenaus-lieferrn>

¹⁹<https://www.electrive.net/tag/vtol/>

¹⁹<https://www.tab-beim-bundestag.de/de/pdf/publikationen/themenprofile/Themenkurzprofil-021.pdf>

²⁰<https://www.bdew.de/energie/bdew-ladesaeulenregister/>

Die angegebenen Ladezeiten sind von der Ladeleistung des Ladepunkts²¹ sowie von der im Fahrzeug verfügbaren Technologie abhängig und dienen daher als Orientierungswerte. Insbesondere bei DC-Schnellladung erfolgt meist ab einem State of Charge (SoC) von 80 % eine Ladephase mit abnehmender Ladeleistung, um die größtmögliche reversible Kapazität zu erzielen (de-rating). Einschränkungen gibt es derzeit im Hinblick auf das Schnellladen, das nicht bei allen Pkw als Option zur Verfügung steht. Bei den privaten Ladepunkten ist in den kommenden zehn Jahren keine höhere Ladeleistung als 22 kW für Pkw zu erwarten, da der Aufbau von Schnellladepunkten mit hohen Kosten verbunden ist, die sich für einzelne zu ladende Fahrzeuge nicht lohnen.

Beim Oberleitungs-Lkw wird der Strom direkt vom Fahrzeug am Fahrdraht abgegriffen und entsprechend von den fahrenden Fahrzeugen genutzt. Gleichzeitig können die Batterien der Fahrzeuge geladen werden. Je nach Tageszeit können, analog zum elektrischen Schienenverkehr, mit Energielieferanten Lösungen zur optimalen Lastverteilung für Ladeinfrastruktur und Oberleitungen abgestimmt werden.

Ein wesentlicher Bestandteil des nachhaltigen Umgangs mit neuen Technologien ist die Wiederverwendung oder das Recycling, insbesondere der Batterien, am Ende des Lebenszyklus. Für gealterte Fahrzeugbatterien gilt im Allgemeinen, dass sie ab einem State of Health (SOH) von 70 % als nicht mehr ausreichend leistungsfähig für die Verwendung in Elektrofahrzeugen angesehen und daher ausgetauscht werden. Gealterte Fahrzeugbatterien können in Abhängigkeit vom Verwertungsplan entweder dem Recycling oder sogenannten Second-Use-Verwendungen zugeführt werden.

Für das Recycling von Batterien sind verschiedene Verfahren vorhanden. Diese werden zum Teil bereits industriell umgesetzt, wobei nicht alle Verfahren auf eine vollständige Wiederverwertung aller Bestandteile des Batteriesystems (inklusive Gehäuse, Elektrolyt, Aktivmaterialien, Separator) in einem geschlossenen Kreislaufsystem für die erneute Verwendung in der Batterieproduktion ausgelegt sind. Mit Bezug auf die Recyclingquote können aktuell im Pilotmaßstab 70 bis 80 % der Wertstoffe potentiell für die Batterieproduktion recyclet werden, wobei die Quote perspektivisch auf 90 % ansteigen könnte²². Der Export alter Fahrzeuge ist kritisch zu sehen, da die Batterien dadurch dem Kreislaufprozess nicht mehr zur Verfügung stehen. Dies ist einer der Gründe, weshalb sich aktuell die EU-Batterierichtlinien in Überarbeitung befinden.

Neben dem Recycling ist die Verwendung gealterter Fahrzeugbatterien auch für Second-Use-Anwendungen als stationäre Speicher möglich. Die Batterieleistung und -kapazität ist für diesen Anwendungsfall in der Regel noch so gut, dass auf diese Weise das vollständige Potential der Batterien ausgenutzt werden kann. Außerdem lassen sich die CO₂-Emissionen bei der Batterieproduktion durch Reduzierung des Rohstoffbedarfs und der Transportaufwände langfristig reduzieren.

Kosten:

Für die aktuell diskutierte Ladeinfrastruktur bestehen verschiedene technologische Lösungen in den unterschiedlichen Leistungsklassen von 3,7 kW AC bis 350 kW DC. Die Hersteller und Betreiber dieser Technologien gehen aktuell und perspektivisch bis 2030 von den in Tabelle 8 angegebenen durchschnittlichen Investitionskosten (Material und Installation) je Ladepunkt aus. Eine Gesamtkostenbetrachtung für den Technologiehochlauf bis 2030 ist stark an die Fahrzeuganzahl gekoppelt und wird im zweiten Kurzbericht in enger Abstimmung mit der AG 5 erfolgen.

²¹ Anzumerken ist an dieser Stelle, dass mit steigender Ladeleistung auch ein erhöhter Energieverlust (zum Beispiel in Form von Wärme) einhergeht, sodass zum vollständigen Laden des Akkus in Summe mehr Strom in das Fahrzeug übertragen werden muss. Die Effizienz ist dabei abhängig vom Lade- und Fahrzeugsystem.

²² Abschlussbericht LithoRec II: https://www.erneuerbar-mobil.de/sites/default/files/2017-01/Abschlussbericht_LithoRec_II_20170116.pdf, Duesenfeld.com

Tabelle 8: Technologien für Ladepunkte und erwarteter Investitionsbedarf

	Heute	2030
AC bis 22 kW (privat)	2.500 EUR	1.800 EUR
AC und DC bis 22 kW (öffentlich zugänglich)	5.000 EUR	3.200 EUR
DC 50–150 kW (öffentlich zugänglich)	80.000 EUR	70.000 EUR
DC über 150 kW (öffentlich zugänglich)	127.000 EUR	100.000 EUR

Zusätzliche Kosten für die Ladeinfrastruktur werden ggf. auch netzseitig entstehen. Die AG 2 wird in diesem Zusammenhang mit der AG 5 in weiterem Austausch stehen und die Konzepte abstimmen.

Die Batteriekosten (Euro/kWh auf Systemebene) werden, basierend auf derzeitigen Kosten von 130 bis 170 Euro/kWh, perspektivisch nach 2025 (abhängig von Entwicklungserfolgen im Bereich Zellchemie) auf unter 100 bis 150 Euro/kWh²³ sinken.

4.2. PERSPEKTIVEN VON BRENNSTOFFZELLEN-Fahrzeugen

Antriebs- und Fahrzeugsysteme:

Das Thema Wasserstoff wird in mehreren Anwendungen eine bedeutende Rolle erlangen. Neben der Anwendung in der Brennstoffzelle ist Wasserstoff in Verbrennungsmotor und Turbine nutzbar und dient als wesentliche Basis für synthetische Kraftstoffe. Brennstoffzellen-Fahrzeuge mit Wasserstoff als alternativem Kraftstoff bieten bis zum Jahr 2030 Entwicklungsperspektiven bei Nutzfahrzeugen (Lkw, Busse), im Pkw-Bereich sowie im Schienenverkehr. Weitere wichtige Anwendungsbereiche finden sich in der Intralogistik sowie bei Binnenschiffen und kleinen Flugzeugen. Der aktuelle Entwicklungsstand ist bei den einzelnen Fahrzeugen sehr unterschiedlich und reicht von ersten Erprobungsträgern bis hin zu Serienfahrzeugen.

²³Zum Beispiel laut dieser Studie: Philippot, Maeva et al. 2019 Band 5, Seite 23: Eco-Efficiency of a Lithium-Ion Battery for Electric Vehicles: Influence of Manufacturing Country and Commodity Prices on GHG Emissions and Costs, Batteries, <https://doi.org/10.3390/batteries5010023>

Tabelle 9: Übersicht zu Anwendungsfeldern von Brennstoffzellen (BZ) in Pkw mit höheren jährlichen Laufleistungen und Nutzfahrzeugen

	Pkw-Segmente NFZ-Klassen	Potentielle Reichweite	Energieverbrauch	Lebensdauer
Pkw	Kleinwagen	500 km	H2-Verbrauch von ca. 0,75–1 kg H2/100 km entspricht einem Energieverbrauch von 25–33 kWh.	2018 wurde eine BZ-Lebensdauer von 20.000 h nach- gewiesen. ²⁴
	Kompaktklasse	500 km		
	Mittelklasse (inkl. Familien-Vans)	700 km		
	Oberklasse (inkl. SUV und Sportwagen)	600 km (2020), 1.000 km (2030)		
N1 UND N2	Szenario „Sprinter“ bis 3,5 t zGG (bis 16.000 km/a bzw. bis 120 km/d)	ca. 500 km (2019) ca. 1.000 (2030)	1,4–1,5 kg H2/100 km	
	Szenario 7,5 t zGG (ab 25.000 km/a bzw. bis 250 km/d)	perspektivisch 1.000 km	ca. 2–3 kg H2/100 km	
N3	Jahres-/Tages-Fahr- leistung schwere Nutz- fahrzeuge (ca. 100.000 km/a bzw. ca. 750 km/d)	1.000 km	ca. 8 kg H2/100 km	gefordert 40.000 h → 1 BZ-Wechsel pro Lebensdauer
M3	Jahres-/Tages-Fahr- leistung ÖPNV Busse (bis 90.000 km/a bzw. ca. 280 km/d)	450–500 km (2019) bis ca. 100 km (2030)	ca. 8–12 kg H2/100 km (je nach Buskonfigura- tion und Strecke)	gefordert 40.000 h → 1 BZ-Wechsel pro Lebensdauer*
	Jahres-/Tages-Fahr- leistung Fernbusse: ca. 180.000 km/a bzw. ca. 1.200 km/d	450–500 km (2019) bis ca. 1.000 km (2030)	ca. 8 kg H2/100 km	gefordert 40.000 h → 1 BZ-Wechsel pro Lebensdauer

*Die Lebensdauer von mobilen Brennstoffzellen erfolgt als Zeitangabe ausschließlich in Form von Betriebsstunden, da eine reine Fahrleistungsbetrachtung keine sinnvollen Aussagen zulässt bzw. diese im Kontext der durchschnittlichen Geschwindigkeit zu sehen wären. Bei Linienbussen mit einer Einsatzzeit von zehn bis zwölf Jahren, einer durchschnittlichen Geschwindigkeit von 14 bis 18 km/h im Stadtverkehr und einer jährlichen Fahrleistung von rund 60.000 km liegen die Anforderung bei rund 40.000 bis 45.000 Stunden. Demnach wären künftig die Brennstoffzellen etwa bei der Hälfte der Bus-Lebenszeit einmal zu tauschen, da die nachgewiesene Lebensdauer derzeit bei circa 20.000 Stunden liegt.

²⁴Eudy, Leslie; Post, Matthew 2018: Fuel Cell Buses in U.S. Transit Fleets: Current Status 2018, NREL/TP-5400-72208, 50 pp.

Serienanwendungen finden sich heute vor allem im Mittel- bzw. Oberklassensegment bei Pkw. Hier sind aktuell Fahrzeuge von drei Herstellern in Deutschland erhältlich²⁵. Erste Verkehrsbetriebe setzen Brennstoffzellen-Busse im ÖPNV ein. Im Güterverkehr im Bereich leichter bis schwerer Nutzfahrzeuge befinden sich diverse Fahrzeuge von leichten Transportern bis zu 40-t-Sattelzugmaschinen mit Brennstoffzelle in der Entwicklung.

Auch Nahverkehrstriebzüge im Schienenpersonennahverkehr auf nicht elektrifizierten Strecken können mit Brennstoffzellen betrieben werden. Vorserienfahrzeuge²⁶ haben eine Reichweite von 1.000 km bei einem Verbrauch von circa 18 bis 28 kg Wasserstoff/100 km erreicht²⁷. Erste Einsätze von Serienfahrzeugen wird es im Raum Bremer-vörde, wo bereits 2018 erste Testläufe erfolgreich verliefen, sowie im Main-Taunus-Kreis in Hessen ab 2022 geben. Dort werden zum Fahrplanwechsel 2022 insgesamt 27 Brennstoffzellen-Züge in Betrieb genommen²⁸. Weitere Fahrzeuge werden im Raum Bremervörde in Niedersachsen in den Einsatz gehen.

Größere Stückzahlen von Brennstoffzellen-Anwendungen wurden darüber hinaus bereits in der Anwendung von Brennstoffzellen-Staplern in der Intra-logistik erreicht²⁹.

Bei Schiffen wird derzeit (2019) im Rahmen eines Entwicklungsprojektes (Projekt ELEKTRA³⁰) ein erstes Binnenschiff mit Brennstoffzellen ausgestattet. Weiterhin erfolgt die Entwicklung der Nutzung von Brennstoffzellen für Fährschiffe und die Bordstromversorgung von Schiffen³¹.

Grundsätzlich ist Wasserstoff als Kraftstoff für Flugzeugturbinen einsetzbar.³² Aktuelle Forschungsvorhaben zielen jedoch vor allem auf den Einsatz von Brennstoffzellen für elektrische Antriebe und Nebenaggregate von Flugzeugen. Für diesen Einsatzzweck bestehen noch offene Forschungsfragen, zum Beispiel bezüglich Brennstoffzellen, die für höhere Betriebstemperaturen ausgelegt sind wegen der in Flugzeuganwendungen begrenzten Kühlmöglichkeiten.

Die Bereitstellung von Wasserstoff für verkehrliche Anwendungen erfolgt bislang hauptsächlich aus Erdgas oder aus chemischen Prozessen (Industriewasserstoff). Die Herstellung aus erneuerbaren Energien mittels Elektrolyse spielt noch eine eher geringe Rolle. Perspektivisch kann Wasserstoff auch aus Biomasse gewonnen werden; es wird auf eine Versorgung mit „grünem“ Wasserstoff auf der Basis von Elektrolyse abgezielt.

Aus klimapolitischer Sicht wäre bei Brennstoffzellen-Fahrzeugen ein Bestand von bis zu 1,4 Millionen Pkw und 400.000 Nutzfahrzeugen wünschenswert für 2030, die in Deutschland tatsächlich erreichbaren Fahrzeugzahlen sind aufgrund der zurückhaltenden Positionierung etlicher Autohersteller noch mit Unsicherheiten behaftet und sollen im zweiten Kurzbericht der AG 2 abgestimmt dargelegt werden. Zahlen dieser Größenordnung werden allerdings auch in Studien genannt (dena, McKinsey). Bislang gibt es lediglich Ankündigungen von Fahrzeugproduktionszahlen asiatischer Hersteller, die es als technologisch möglich erscheinen lassen, solche Fahrzeugzahlen in den jeweiligen Märkten auch zu erreichen. Bei einem beispielhaft angenommenen Bestand von 1 Millionen Fahrzeugen (0,8 Millionen Pkw und 0,2 Millionen Nutzfahrzeuge) in 2030 würde sich ein Bedarf von circa 423.000 (extrapolierte Verbrauchsdaten unter der Annahme von Effizienzverbesserungen der Fahrzeugtechnik um 10 % bis 2030) bis circa 470.000 t (reale Verbrauchsdaten auf Basis heutiger Technik) Wasserstoff pro Jahr ergeben. Um diesen Bedarf rein mit „grünem“ Wasserstoff zu decken, wären 5,7 bis 6,4 GW Elektrolyseleistung bei 3.500 Betriebsstunden mit Windenergie erforderlich. Die Installation dieser Leistung kann nach Einschätzung der Elektrolysehersteller erreicht werden.

²⁵<https://h2.live/wasserstoffautos>

²⁶<https://www.alstom.com/de/our-solutions-rolling-stock/coradia-ilint-der-weltweit-erste-wasserstoffzug>

²⁷VDE Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik e. V. 2019, Alternativen zu Dieseltriebzügen im SPNV – Einschätzung der systemischen Potentiale.

²⁸<https://www.rmv.de/c/de/informationen-fuer-journalisten/presse/aktuelle-pressemitteilungen/21052019-rmv-tochter-fahma-bestellt-groesste-brennstoffzellen-zug-flotte-der-welt-bei-alstom/>

²⁹<https://www.produktion.de/trends-innovationen/warum-staplerflotten-kuenftig-mit-wasserstoff-fahren-106.html>

³⁰Projekt ELEKTRA (<https://www.e4ships.de/deutsch/projekte-binnenschiffahrt/elektra/>).

³¹Forschungsprojekt Hy Seas III (<https://www.zfk.de/mobilitaet/neue-kraftstoffe/artikel/dlr-entwickelt-faehrschiff-mit-wasserstoffantrieb-2018-07-27/>) bzw. Demonstrationsvorhaben Pa-X-ell2 (<https://www.e4ships.de/deutsch/projekte-seeschiffahrt/pa-x-ell-2/>).

³²Europäische Kommission 2005: Liquid hydrogen fuelled aircraft – system analysis (CRYOPLANE), <https://cordis.europa.eu/project/rcn/52464/factsheet/de>

Rohstoffverfügbarkeit:

Alle Stoffe in der Brennstoffzelle sind mit heutigen industriellen Methoden recyclebar³³. Eine stoffliche Recyclingquote von 98 % der Verbundstoffe ist möglich. Der Platinbedarf eines Brennstoffzellen-Fahrzeuges liegt ab 2020 bei circa 0,125 g/kW³⁴. Bereits heute konnte der Platinbedarf deutlich gesenkt werden und soll in den nächsten Jahren auf den eines Abgasnachbehandlungssystems eines Fahrzeugs mit Verbrennungsmotor sinken. Zielsetzung verschiedener Forschungsvorhaben ist sowohl die Reduzierung der Platinbelastung als auch der Ersatz durch andere Materialien. Darüber hinaus sollen durch Recycling von Platin aus Brennstoffzellen sowie durch die Aufarbeitung von Platin aus Autokatalysatoren zusätzliche Mengen erschlossen werden.

Tankinfrastruktur:

In Deutschland gibt es derzeit (Stand Juni 2019) 71 öffentliche Wasserstoff-Tankstellen, an denen Pkw mit 700 bar betankt werden können. Bis Ende 2019 sollen insgesamt 100 Tankstellen für eine erste flächendeckende Versorgung in Deutschland zur Verfügung stehen. Die Leistung einer Zapfsäule liegt aktuell, hiervon ist auch mittelfristig auszugehen, bei 2 bis 3 MW. Künftig wird zumindest ein Teil der Wasserstoff-Tankstellen auch für die Versorgung des schweren Güterverkehrs ausgelegt werden müssen.

Aufgrund der hohen Energiedichte des Wasserstoffs ist die Betankungsdauer eines Brennstoffzellen-Fahrzeugs vergleichbar mit der Betankung eines Fahrzeugs mit Verbrennungsmotor.

Der Flächenbedarf derzeit realisierter Wasserstoff-Tankstellen mit einer Zapfstelle (aber inklusive Bevorratung, ohne On-site-Produktion) liegt bei 100 m² pro Tankstelle. Es wird erwartet, dass rund die Hälfte der Wasserstoff-Tankstellen in bestehende größere Tankstellenstandorte integriert werden können und für die andere Hälfte neue Wasserstoff-Tankstellen entstehen.

Kosten:

Die Kosten für eine übliche Pkw-Tankstelle betragen im Jahr 2020 circa 1 Millionen Euro^{35,36}. Möglicherweise entstehen Zusatzkosten aufgrund spezieller Anforderungen (zum Beispiel größere Anlagen zur Versorgung von Nutzfahrzeugen) und lokaler Gegebenheiten, die erst bei einer konkreten Planung berücksichtigt werden können.

Aktuell wird Wasserstoff an den Tankstellen für 9,50 Euro pro kg (79 Euro/GJ) angeboten. Die Herstellungskosten weisen eine breite Spanne auf, abhängig von der Herkunft des Wasserstoffs. Die Gestehungskosten für Industriewasserstoff betragen rund 2 Euro pro kg (16 Euro/GJ).³⁷ Für „grünen“ Wasserstoff aus Elektrolyse sind die Kosten für erneuerbaren Strom der bestimmende Preisanteil. Für die zukünftige Versorgung mit „grünem“ Wasserstoff werden auch Importe aus Ländern mit günstigen Stromgestehungskosten an Bedeutung zunehmen. Insbesondere in einem auf erneuerbarem Strom basierendem Energiesystem kann jedoch auch die lokale Erzeugung von Wasserstoff inländisch sinnvoll sein. Hersteller erweitern derzeit ihre Produktionskapazitäten für Elektrolyseure in dem Bereich von bis zu einem Gigawatt³⁸.

³³Wark, Michael 2016, Seite 343–364: Challenges in Automotive Fuel Cells Recycling, Recycling 2016, 1, doi:10.3390/recycling1030343

³⁴Heraeus Precious Metals: Platinbedarf von Brennstoffzellen-Fahrzeugen – Traum oder Realität? <https://www.metallwoche.de/platinbedarf-von-brennstoffzellenfahrzeugen-traum-oder-realitaet>

³⁵Comparative Analysis of Infrastructure 2018: Hydrogen Fueling and Electric Charging of Vehicles.

³⁶https://stiftung.adac.de/app/uploads/2019/06/IBeMo_Abschlussbericht_final_190625_LBST_Zerhusen.pdf

³⁷<https://www.shell.de/medien/shell-publikationen/shell-hydrogen-study.html>

³⁸<https://www.itm-power.com/news-item/new-factory-update-and-senior-production-appointment>, <https://www.hydrogenics.com/2019/02/25/hydrogenics-to-deliver-worlds-largest-hydrogen-electrolysis-plant/>

4.3. PERSPEKTIVEN ALTERNATIVER KRAFTSTOFFE

Kraftstoff- und Fahrzeugsysteme:

Der Fahrzeugbestand wird immer langsamer erneuert. Blends mit alternativen, CO₂-neutralen Kraftstoffen bieten die wichtige Möglichkeit, die CO₂-Emissionen ohne Fahrzeugumrüstungen in der Bestandsflotte zu senken. Daher wurde die Einführung alternativer Kraftstoffe bis 2030 auch von der AG 1 als erforderlich betrachtet. Alternative Kraftstoffe – beispielsweise biomassebasierte oder strombasierte Kraftstoffe – können im heutigen Pkw- und Lkw-Fahrzeugbestand, und dabei ebenfalls für Hybridantriebe und Plug-in-Hybridantriebe, eingesetzt werden und sind mit der heutigen Infrastruktur weitestgehend kompatibel. Großes Einsatzpotential, auch über das Jahr 2030 hinaus, dürften alternative Kraftstoffe insbesondere in Anwendungsgebieten haben, in denen Verbrennungskraftmaschinen als Antriebe nur schwer zu ersetzen sind. Dazu gehören beispielsweise Langstreckenflüge oder die maritime Schifffahrt.

Darstellbare Mengen alternativer Kraftstoffe in 2030:

Aufgrund geltender Kraftstoffnormen können einzelne biomassebasierte Kraftstoffe (BtX)- und synthetische Kraftstoffe (PtX)-Kraftstoffe wie Ethanol, Methanol oder Dimethylether (DME)/Oxymethylenether (OME) derzeit nur begrenzt beigemischt werden. Der heute bedeutendste BtX-Kraftstoff Biodiesel (Fettsäuremethylester, engl. FAME) wird als 7%ige Beimischung zu fossilem Diesel (B7) genutzt, kann aber von freigegebenen Nutzfahrzeugen in geschlossenen Flotten auch als B20, B30 oder B100 (Reinkraftstoff) getankt werden. Andere biomasse- oder strombasierte Produkte, zum Beispiel Methan, können fossilen Kraftstoffen (im Fall von Methan zu Compressed Natural Gas (CNG) oder Liquefied Natural Gas (LNG)) in beliebigen Mengen (0–100 %) beigemischt werden. Nach einer erfolgreichen Drop-in-Phase und bei Erreichen substantieller Produktionsmengen können spezielle PtX-Kraftstoffe als „Designer-Kraftstoffe“ auch an separaten Tanksäulen vermarktet werden. Der Übergang von der Drop-in-Phase zur separaten Vermarktung lässt sich somit fließend gestalten.

Alternative Kraftstoffe insgesamt tragen derzeit knapp 150 PJ/a zum Kraftstoffverbrauch in Deutschland von circa 2.400 PJ/a bei. Der überwiegende Anteil hiervon sind biomassebasierte Kraftstoffe mit etwa 120 PJ (bzw. 5 % bezogen auf den Energiegehalt)³⁹, der restliche Anteil setzt sich aus fossilem CNG und LNG zusammen. Biokraftstoffe werden international gehandelt; auch Deutschland importiert (derzeit unter anderem Ethanol und Hydrogeniertes Pflanzenöl (HVO)/Hydroprozessierte Esther und Fettsäuren (HEFA)) und exportiert (derzeit vor allem Biodiesel/FAME) Biokraftstoffe⁴⁰.

Für 2030 prognostiziert das Referenzszenario der AG 1 einen Endenergiebedarf im Verkehr von 2.200 PJ/a. Dies beinhaltet einen Kraftstoffbedarf von 2.100 PJ/a und den Strombedarf für Elektromobilität. Für die nächste Dekade von 2021 bis 2030 geben die EU-Vorordnung 2018/842 (kurz Effort-Sharing-Regulation, ESR⁴¹) und die EU-Richtlinie 2018/2001 (kurz Renewable Energy Directive, RED II⁴²) den Ziel- und Regelungsrahmen für Deutschland vor. Für biomassebasierte Kraftstoffe unterscheidet die RED II Biokraftstoffe aus Anbaubiomasse, die auch den Nahrungs- und Futtermittelsektor bedienen könnte, und sieht für deren Anrechnung auf das RED-II-Verkehrs- und -Gesamtziel eine Obergrenze vor (Status 2020 plus 1%-Punkt bzw. maximal 7 %),⁴³ fortschrittliche Biokraftstoffe

³⁹<https://mediathek.fnr.de/grafiken/daten-und-fakten/bioenergie/biokraftstoffe/biokraftstoffe-in-deutschland.html/>

⁴⁰Naumann, Karin et al. 2019: Monitoring Biokraftstoffsektor (4. Auflage), Kapitel 6.1, DBFZ Deutsches Biomasseforschungszentrum gemeinnützige GmbH.

⁴¹<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/HTML/?uri=CELEX:32018R0842&from=EN>

⁴²<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/HTML/?uri=CELEX:32018L2001&from=EN>

⁴³Die RED II (Artikel 26 Absatz 1) regelt die Anrechnung der Nutzung von Biokraftstoffen aus Anbaubiomasse, die auch als Nahrungs- und Futtermittel genutzt werden kann, auf den Anteil von Energie aus erneuerbaren Quellen am Bruttoendenergieverbrauch der Europäischen Union und sieht hierfür den Status quo 2020 plus 1 % bzw. höchstens 7 % als Maximalwert vor. Die Umsetzung der RED II in nationales Recht befindet sich derzeit in der Ausarbeitung. Erwägungsgrund (80) zur RED II sieht vor, den Anteil an Biokraftstoffen aus Anbaubiomasse zu begrenzen, um die Folgen direkter und indirekter Landnutzungsänderung gering zu halten, ohne die Verwendung von Biokraftstoffen aus Anbaubiomasse generell einzuschränken.

aus unterschiedlichen Rohstoffen gemäß Anhang IX Teil A mit bis 2030 auf real mindestens 1,75 % ansteigenden Anteilen sowie Biokraftstoffe aus Altspeise- und tierischen Ölen/-fetten gemäß Anhang IX Teil B mit einer Deckelung von 1,7 %. Zudem erlaubt die RED II weitere nicht biogene Optionen (zum Beispiel strom- und abfallbasierte Kraftstoffe) sowie die Mitraffination von erneuerbaren Produkten in klassischen Raffinerien. In 2030 könnten unter optimistischen Annahmen und idealen Voraussetzungen folgende Mengen erneuerbarer Kraftstoffe realisiert werden: (i) Biokraftstoffe aus Anbaubiomasse (maximal 7 % gemäß iLUC-Richtlinie 2015/1513/EG) circa 155 PJ, (ii) fortschrittliche Biokraftstoffe circa 75 PJ, wobei allein 50 PJ durch Biomethan abgedeckt werden können, unter der Voraussetzung, dass die Rand- und Rahmenbedingungen nicht nur einen Ausbau entsprechender Biomethan-kapazitäten, sondern auch einen wachsenden Gasmarkt (CNG/LNG) im Verkehr zulassen, (iii) Biokraftstoffe aus Altspeise- und tierischen Ölen/-fetten circa 37 PJ. Zusätzlich zu diesen circa 12 % könnten strombasierte Kraftstoffe (PtX) unter idealen Voraussetzungen und unter Einbezug von Importen bis zu 190 PJ bzw. circa 9 % beitragen.

Aufsummiert beträgt die realisierbare Menge erneuerbarer Kraftstoffe in Deutschland in 2030 also bis zu 450 PJ/a (optimistische Annahme des Zuwachses an biomasse- und strombasierten Kraftstoffen unter idealen Voraussetzungen und Einbezug von Importen). Dies entspricht 21 % des Kraftstoffbedarfs in 2030.

Da sich die Technologie strombasierter Kraftstoffe derzeit noch im Pilot- und Demonstrationsstadium befindet und dementsprechende Erzeugungskapazitäten erst noch aufgebaut werden müssen, schätzen einige Mitglieder der AG 2 die im Jahr 2030 verfügbare Menge strombasierter Kraftstoffe deutlich niedriger ein, maximal 35 PJ.

Auch streben einige Mitglieder der AG 2 einen Verzicht der Nutzung von Kraftstoffen aus Anbaubiomasse (Nahrungsmittel- und Futterrohstoffe) und lediglich die Erfüllung der Mindestforderungen der RED II für fortschrittliche Biokraftstoffe an; aus dieser Sichtweise ergibt sich eine Menge von weniger als 40 PJ/a bei den fortschrittlichen Biokraftstoffen.

Wird in Deutschland bis 2030 lediglich der Rahmen der RED II umgesetzt ohne weitere Berücksichtigung der darüber hinaus notwendigen Maßnahmen laut der ESR, wird das Klimaziel im Verkehr nicht erreicht. Vielmehr wären insbesondere eine deutlich höhere Menge fortschrittlicher Biokraftstoffe sowie ein Inverkehrbringen anderer erneuerbarer Kraftstoffe wie strombasierter Kraftstoffe (Wasserstoff, PtG und PtL) erforderlich⁴⁴.

Vor allem in der Luftfahrt und der Schifffahrt sind alternative Kraft- und Treibstoffe auf absehbare Zeit unverzichtbar. Speziell bei Binnenschiffen und in der maritimen Seeschifffahrt sind alternative Kraftstoffe wie (Bio-)Methan (CNG/LNG) (Beispiel: Aidanova) und Methanol (Beispiel: Stena Germanica) bereits heute in Einzelfällen im Einsatz.⁴⁵

Für Schienenfahrzeuge im nicht elektrifizierten Schienenpersonennahverkehr (SPNV) und für Diesellokomotiven ist die Nutzung alternativer Kraftstoffe in der bestehenden Flotte generell möglich, ebenso die Umrüstung von Verbrennungsmotoren für andere alternative Antriebe (zum Beispiel Erdgas/Biomethan).

Bei Flugzeugen für Europa-Verbindungen (Kurz- und Mittelstrecke) bzw. für interkontinentale Verbindungen (Langstrecke) wurde die Nutzbarkeit von erneuerbarem Kerosin vielfach demonstriert. Erneuerbares Kerosin kommt heute in Deutschland und Europa aber erst in sehr geringen Mengen zum Einsatz.^{46,47} Demgegenüber ist der Einsatz alternativer Antriebe technisch voraussichtlich nicht bzw. nur für beschränkte Reichweiten (<1.000 km) und begrenzte Passagierzahlen möglich. Für die Langstrecke ist der Einsatz alternativer Antriebe zurzeit nicht absehbar. Flüssige Kohlenwasserstoffe als Energieträger bleiben in diesem Anwendungsfeld also auch langfristig unverzichtbar.

⁴⁴ https://www.dbfz.de/fileadmin/user_upload/Referenzen/Studien/Ausgestaltung_Biokraftstoffgesetzgebung.pdf

⁴⁵ <https://www.schiffsjournal.de/meyer-werft-baustart-der-neuen-aida-schiffsgeneration-erstes-kreuzfahrtschiff-mit-lng-antrieb/>

<https://www.stenaline.de/supergreen/treibstoff-der-zukunft>

<https://task39.sites.olt.ubc.ca/files/2013/05/Marine-biofuel-report-final-Oct-2017.pdf>

https://www.iea-amf.org/app/webroot/files/file/Annex%20Reports/AMFAnnex_41.pdf

⁴⁶ <https://www.lufthansagroup.com/de/verantwortung/klima-umwelt/treibstoffverbrauch-und-emissionen/alternative-kraftstoffe.html>

https://www.qatarairways.com/en-gb/press-releases/2009/Oct/PressRelease_12Oct09_2.html

⁴⁷ Weltweit wurden in den letzten zwölf Jahren über 180.000 Flüge mit nachhaltigem Kerosin durchgeführt, jedoch gibt es mangels verbindlicher Vorgaben/Quoten und geringer Nachfrage auf Basis freiwilliger Regelungen noch keinen funktionierenden Markt für erneuerbares Kerosin.

Skaleneffekte senken langfristig die Herstellungskosten. Dies gilt für die Wasserstoffproduktion und darüber hinaus auch für synthetische Kraftstoffe bzw. Methan. Langfristig müssen auch diese Kraftstoffe aus Ländern mit höherem Potential an erneuerbaren Energien importiert werden.

Alternative Kraftstoffe aus fossilen Quellen bezeichnen Kraftstoffe, die nicht aus Rohöl hergestellt werden, und umfassen komprimiertes oder verflüssigtes Erdgas (CNG bzw. LNG), konventionell erzeugten Wasserstoff sowie Gas-to-Liquid-Kraftstoffe (GtL). Sowohl CNG als auch LNG weisen einen hohen technischen Entwicklungsstand auf und können in beliebigen Verhältnissen mit regenerativ erzeugtem Methan (Biomethan, SNG oder PtG) gemischt und somit durch dieses ersetzt werden. Die größte Verbreitung konventioneller alternativer Kraftstoffe weist CNG auf. Relevante Mengen regenerativen Methans könne zeitnah erschlossen werden. Die Meinungen zum Einsatz von alternativen Kraftstoffen divergieren in der AG 2 jedoch; die jeweiligen Argumente sind nachfolgend aufgelistet:

Argumente für den Einsatz von fossilem CNG/LNG	Argumente gegen den Einsatz von fossilem CNG/LNG
Selbst bei rein fossilem Methan können die CO ₂ -Emissionen um bis zu 20% ⁴⁸ bei Pkw und bis zu 15% ⁴⁹ bei Lkw gesenkt werden (im Vergleich zu Benzin/Diesel).	Fossiles CNG/LNG bietet keine langfristige Klimaschutzoption in der Perspektive bis 2050 und darüber hinaus.
CNG/LNG eignen sich sehr gut für die unbegrenzte Beimischung von regenerativ hergestelltem Methan.	Die Einsparungen von THG-Emissionen sind im Vergleich zu anderen Optionen nur gering; Methanschlepp trägt zusätzlich zu THG-Emissionen bei.
CNG-Fahrzeuge erzielen bei Life Cycle-Analysen die geringsten THG-Emissionen, insbesondere bei Verwendung erneuerbaren Methans ⁵⁰ .	Die Investitionen in eine LNG-Infrastruktur (Tankstellen für Lkw, Verteilinfrastruktur an Häfen wie LNG-Terminals etc.) sind nicht zukunftsweisend.
Die EU-Richtlinie 2014/94/EU gibt den Auf- / Ausbau von Infrastruktur für alternative Kraftstoffe vor und die EU-Mitgliedstaaten setzen diese aktuell bereits um.	
Die Abhängigkeit der Mobilität vom Rohöl verringert sich.	

Verfügbarkeit biomassebasierter Kraftstoffe:

Der Anteil erneuerbarer Energieträger im Verkehr wird heute in erster Linie über biomassebasierte Kraftstoffe (BtX) realisiert. Biokraftstoffe aus Anbaubiomasse, die auch in den Nahrungs- und Futtermittelmarkt gehen könnten, sowie aus Altspeise- und tierischen Ölen/ -fetten sind in bedeutenden Mengen am Markt verfügbar. Die wichtigsten Biokraftstoffe sind global gesehen Bioethanol aus zucker- und stärkehaltigen Pflanzenteilen (zum Beispiel Zuckerrohr, Zuckerrübe, Getreide, Mais), Biodiesel/FAME (Fatty acid methyl ester) sowie in zunehmendem Maß HVO (hydrotreated vegetable oils) bzw. HEFA (hydrotreated esters and fatty acids), die jeweils pflanzliche und tierische Öle und Fette einsetzen. Biomethan aus Biogas als Kraftstoff kommt bislang nur in geringen Mengen zum Einsatz. Weltweit werden derzeit biomassebasierte Kraftstoffe im Umfang von circa 3.700 PJ/a⁵¹ produziert, wobei die Produktionskapazitäten deutlich höher liegen.⁵² Für Biokraftstoffe besteht ein weltweiter Markt, auch Deutschland importiert und exportiert Biokraftstoffe.

⁴⁸Van Basshuysen, R., Erdgas und erneuerbares Methan 2015, Seite 200.

⁴⁹Herstellerangabe.

⁵⁰<https://www.adac.de/verkehr/tanken-kraftstoff-antrieb/alternative-antriebe/co2-treibhausgasbilanz-studie/>

⁵¹1 GJ = 277,8 kWh bzw. 1 kWh = 3,6 MJ.

⁵²https://www.dbfz.de/fileadmin/user_upload/Referenzen/DBFZ_Reports/DBFZ_Report_11_4.pdf

Fortschrittliche Biokraftstoffe sind teils in Pilot- und Demonstrationsanlagen verfügbar, werden allerdings – mit Ausnahme von Biomethan – nur sehr begrenzt bzw. noch nicht kommerziell produziert. Hierzu zählen beispielsweise Bioethanol und synthetische Kraftstoffe wie BtL auf der Basis fester Biomasse oder von Abfall- und Rückständen, aber auch HVO/HEFA auf der Basis von biogenen Rohölen (zum Beispiel aus Lignin oder Holz). In Bezug auf die Diskussion in der AG 2 sei auf die unterschiedliche Einschätzung der Mitglieder hinsichtlich der bis 2030 realisierbaren Mengen (siehe Seite 21) verwiesen.

Kosten biomassebasierter Kraftstoffe:

Die Kraftstoffgestehungskosten weisen eine große Bandbreite von hohen einstelligen bis hohen zweistelligen Werten (Euro/GJ) auf und geben daher nur eine grobe Indikation der Einordnung einzelner Optionen hinsichtlich ihrer Gestehungskosten. Neben den Investitionen sind die Rohstoffkosten sowie die häufig an Rohstoffpreise gekoppelten Preise für Koppel-/Nebenprodukte die entscheidenden Einflussgrößen. Mit steigender Nachfrage nach nachhaltiger Biomasse für die stoffliche und energetische Nutzung ist von steigenden Rohstoffpreisen auszugehen, das heißt, die Skalierung der Technologie ist nicht unbedingt mit einer Kostendegression verbunden und kann sogar zu steigenden Herstellungskosten führen. Die Marktpreise für Biokraftstoffe, die innerhalb der in Deutschland geltenden THG-Quote (gemäß BImSchG) eingesetzt werden, lagen in einer Größenordnung von circa 22 bis 30 Euro/GJ für Bioethanol, 35 bis 40 Euro/GJ für Biodiesel/FAME und bis zu 16 Euro/GJ für Biomethan.

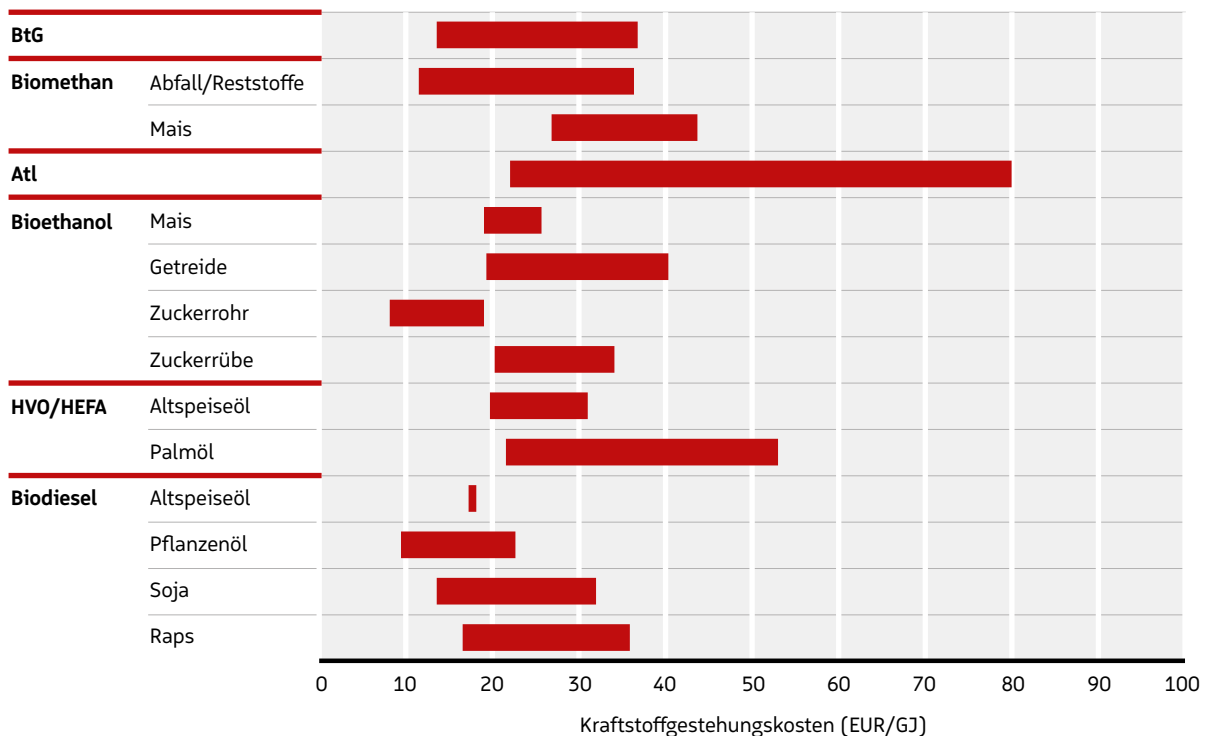


Abbildung 1: Bandbreite der Kraftstoffgestehungskosten unterschiedlicher biomassebasierter Kraftstoffe (eigene Darstellung auf Basis der Auswertung internationaler Untersuchungen). Die Kraftstoffgestehungskosten sind auf 2018 normalisiert.

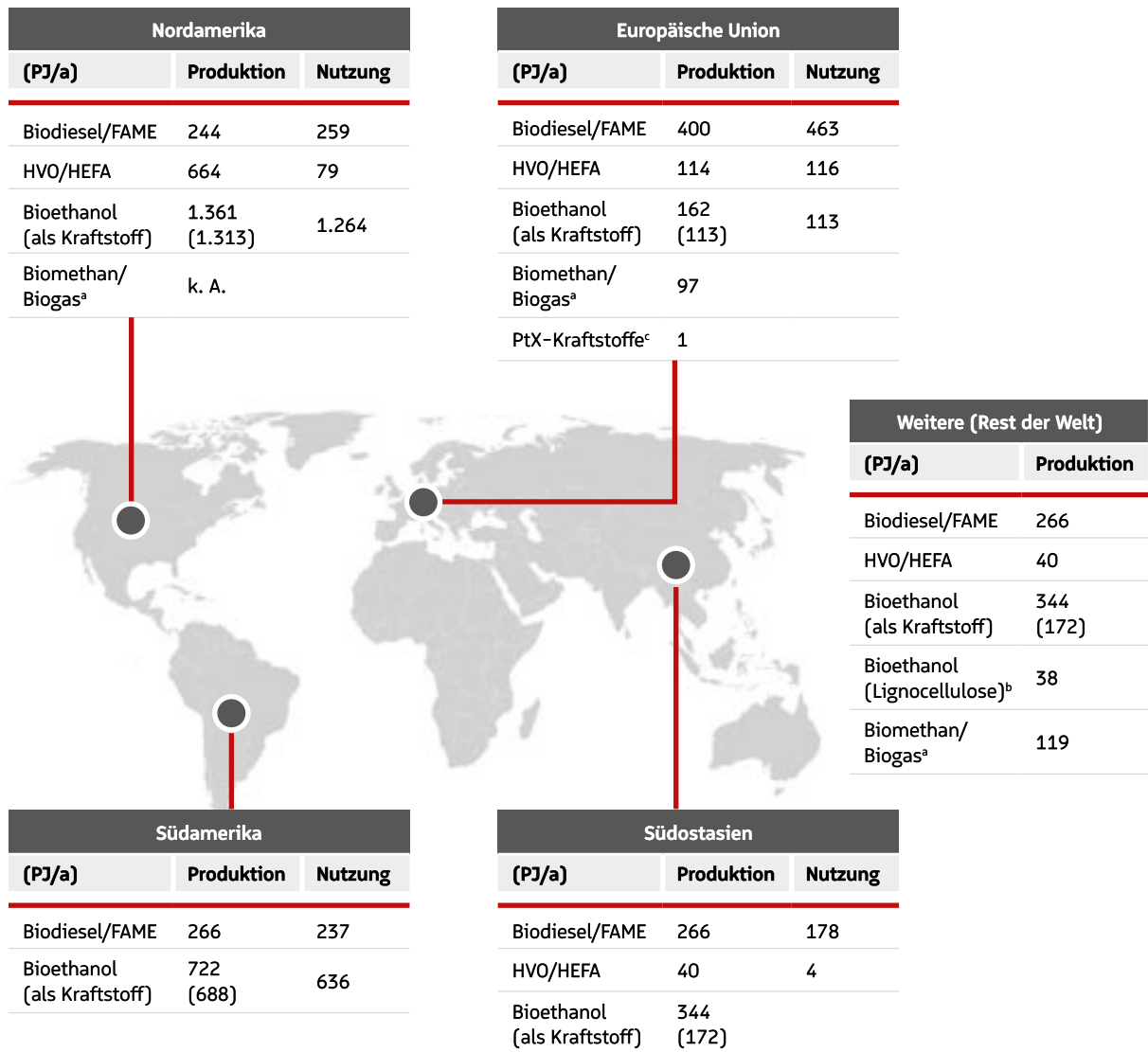


Abbildung 2: Aktuelle Produktionskapazitäten unterschiedlicher biomassebasierter Kraftstoffe in Deutschland, Europa und weltweit (eigene Erstellung nach Naumann, Karin. et al., Monitoring Biokraftstoffsektor (2019))

Verfügbarkeit strombasierter Kraftstoffe:

Für strombasierte Kraftstoffe existieren zwei Hauptherstellungswege: Power-to-Gas (PtG, Herstellung von Wasserstoff, Methan oder Syngas) und Power-to-Liquid (Fischer-Tropsch, Methanol, DME/OME). Die Herstellung von Wasserstoff weist eine hohe technische Reife auf, jedoch sind momentan keine großen Anlagenkapazitäten für PtX verfügbar. Für Methan besteht über das Erdgasnetz eine nahezu flächendeckende Verteilinfrastruktur.

Wasserstoffmotoren wurden in der Vergangenheit bereits erprobt und stellen ebenfalls eine Alternative dar, sowohl für Fahrzeugantriebe⁵³ als auch für stationäre Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen.⁵⁴

⁵³ <https://www.keyou.de/technologie/>

⁵⁴ <https://www.iwr.de/news.php?id=35473>

Über den Fischer-Tropsch-Prozess können strombasierte flüssige Kraftstoffe wie Benzin, Diesel oder Kerosin erzeugt werden, die vollständig mit der bestehenden Infrastruktur (Fahrzeugantriebe, Tankstellen) kompatibel sind. Für strombasierte flüssige Kraftstoffe existieren noch keine großen Anlagen. Die Verfügbarkeit von PtL im Jahr 2030 wird von den Mitgliedern der AG 2 stark unterschiedlich gewertet (vgl. Seite 21). Hersteller von Elektrolyseuren gehen davon aus, dass bis 2030 20 GW Elektrolysekapazität erreicht werden können.

Neben der Fischer-Tropsch-Route können strombasierte Kraftstoffe auch über die sogenannte Methanolroute⁵⁵ hergestellt werden. Für diesen Prozess sind bereits heute, gerade auch von deutschen Herstellern, Anlagenkonzepte mit großen Kapazitäten auf dem Markt erhältlich^{56,57}. Methanol kann auch als Zwischenprodukt zukünftiger Kraftstofflogistik-Ketten dienen. Generell können strombasierte Kraftstoffe in Ländern mit großen Potentialen für Wind- und Solarenergie erzeugt und dann nach Deutschland transportiert werden.

Kosten strombasierter Kraftstoffe:

Die Kosten für eine Anlage mit 100 MW_{th} Kapazität liegen, inklusive Synthese und Elektrolyseur, bei circa 280 Millionen Euro. Die Kosten für die notwendige Erneuerbare Energien (EE)-Erzeugung liegen etwa um den Faktor 2,5 höher. Es ist von einer nominalen Verteuerung der Kraftstoffe (durch Beimischung strombasierter Kraftstoffe) auszugehen.⁵⁸

Für die Herstellung von „grünem“ Wasserstoff sind Anlagenkapazitäten für die Wasserstoffelektrolyse mit 100 MW Stromleistung in Planung, was entlang der Prozesskette einer Kapazität von etwa 1 PJ/a flüssigem Kraftstoff entspricht. Für synthetische Kraftstoffe wird teilweise die gleiche Wasserstoff-Infrastruktur wie für Brennstoffzellen-Fahrzeuge benötigt. Während Brennstoffzellen den Wasserstoff direkt nutzen, muss für die Nutzung in vorhandenen Verbrennungsmotoren und Flugzeugtriebwerken vorher der Wasserstoff zu Kohlenwasserstoffen synthetisiert werden.

Weitere Optionen:

In Waste-to-Liquid (WtL)-Verfahren können auch kohlenstoffhaltige Abfälle als Grundstoff verwendet werden (zum Beispiel Plastikabfälle). Das Kohlenstoffpotential von kohlenstoffhaltigen Abfällen liegt bei circa 15,5 Millionen t/a für Deutschland⁵⁹. Die Verarbeitung kann perspektivisch in den gleichen Anlagen wie die Verarbeitung von Biomasse erfolgen.

Durch Einspeisung von Wasserstoff in die BtL- oder WtL-Prozessketten kann die Kohlenstoffausnutzung und damit das Mengenpotential weiter erhöht werden. Für BtL ist eine Erhöhung des Mengenpotentials durch die Wasserstoffeinspeisung (PBtL) bis zum Faktor 4 möglich.⁶⁰

⁵⁵ Unter der Methanolroute versteht man die Erzeugung von flüssigen Kraftstoffen mit einer Methanolsynthese als Prozessschritt; Methanol kann hier entweder direkt genutzt oder zu anderen Kraftstoffen weiterverarbeitet werden.

⁵⁶ <https://www.chemietechnik.de>

⁵⁷ Günther, Armin 2019: EU-India Conference on Advanced Biofuels.

⁵⁸ Timmerberg, Sebastian 2019: Import von Stromkraftstoffen für den Verkehr – Lkw, Binnen-/Seeschiffe, Flugzeuge.

⁵⁹ Berechnung des KIT anhand von Statistisches Bundesamt (Destatis) 2015: Abfallbilanz (Abfallaufkommen/-verbleib, Abfallintensität, Abfallaufkommen nach Wirtschaftszweigen); Meinfelder, Tobias; Richers, Ulf 2008: Wissenschaftliche Berichte FZKA 7422 – Entsorgung der Schlacke aus der thermischen Restabfallbehandlung, Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse.; König, Katrin 2012: Abfallaufkommen in Industrie und Gewerbe in Baden-Württemberg. Diskrepanz zwischen erzeugter und im Land entsorgter Abfallmenge. In: Statistisches Monatsheft Baden-Württemberg 06/2012.; Scholz, Reinhard 2001: Abfallbehandlung in thermischen Verfahren. Verbrennung, Vergasung, Pyrolyse, Verfahrens- und Anlagenkonzepte.

⁶⁰ Albrecht, Friedemann Georg et al. 2017, Seite 511-526: A standardized methodology for the techno-economic evaluation of alternative fuels – A case study, Fuel 194. Dietrich, Ralph-Uwe et al. 2018, Seite 179-192: Erzeugung alternativer flüssiger Kraftstoffe im zukünftigen Energiesystem, Chemie Ingenieur Technik 90.

Auch können Öle und flüssige Zwischenprodukte, die über BtX- oder PtX-Routen gewonnen werden, über das sogenannte Co-Processing in konventionellen Mineralö Raffinerien zu Kraftstoffen und weiteren Produkten verarbeitet werden (zum Beispiel Pflanzenöle und Altspeisefette, thermo-chemisch erzeugte Öle oder Zwischenprodukte aus der Fischer-Tropsch-Route). Gleiches gilt sinngemäß für feste Biomasse. Der Vorteil besteht in der Nutzung bestehender Strukturen und Anlagen.

Rohstoffverfügbarkeit / Nachhaltigkeit:

Für strombasierte Kraftstoffe werden aktuell keine kritischen Rohstoffe gesehen, die eine Nutzung von PtX beeinflussen könnten. Jedoch ist bei der Herstellung von strombasierten Kraftstoffen auf die Verwendung von zusätzlichem EE-Strom zu achten. Dies ist ein wesentliches Nachhaltigkeitskriterium bei der PtX-Produktion, um negative indirekte Effekte auszuschließen.

Für biomassebasierte Kraftstoffe, insbesondere bei Kraftstoffen aus Anbaubiomasse, ist darauf zu achten, dass die Nachhaltigkeit der Biomasseherkunft jederzeit gewährleistet ist. Die RED II sieht hierbei auch Mindest-THG-Minderungen vor, die für jeden Kraftstoff nachgewiesen werden müssen. Ebenso ist für Biokraftstoffe auf indirekte Effekte durch Landnutzungsänderungen zu achten, da diese die THG-Emissionen stark negativ beeinflussen können. Detailliert werden die Nachhaltigkeitsaspekte alternativer Kraftstoffe im dritten Kurzbericht der AG 2 behandelt.

Tankinfrastruktur:

Für alternative flüssige Kraftstoffe im Straßenverkehr kann die bestehende Tankinfrastruktur genutzt werden, ggf. müssen Anpassungen vorgenommen werden, wenn größere Zumischungen von zum Beispiel DME/OME oder Methanol erfolgen sollen. Für weitere Kraftstoffe (zum Beispiel LNG) ist die Infrastruktur im Aufbau. Im nationalen Strategierahmen sind Ausbauziele festgelegt worden. Je nach Umfang der Einführung bestimmter Technologien (zum Beispiel LNG) ist jedoch der Ausbau der Tankinfrastruktur noch zu realisieren. Aktuell existieren in Deutschland für circa 860 öffentliche Tankstellen und für LNG sieben öffentliche Tankstellen für schwere Nutzfahrzeuge, stationäre Bunkerstellen für Schiffe gibt es derzeit nicht. Für LNG existieren Planungen, in den kommenden Jahren die Anzahl auf mindestens 20 Tankstellen zu erhöhen und eine flächendeckende Verfügbarkeit zu realisieren. Aufgrund von Vorgaben durch die EU-Richtlinie zur Schaffung einer Infrastruktur für alternative Kraftstoffe (EU/94/2014) wird für das transeuropäische Verkehrsnetz TEN-V-Kernnetz der Ausbau einer LNG-Infrastruktur bis 2025 für schwere Nutzfahrzeuge sowie Binnen- und Seeschiffe in Seehäfen gefordert sowie bis 2030 ebenfalls für Binnenhäfen.

5 AUSBLICK

Aus technologischer Sicht bieten alle drei Optionen – Elektromobilität, Wasserstoff-Brennstoffzelle sowie Bio- und synthetische Kraftstoffe – ein Potential zur Verringerung von CO₂-Emissionen im Verkehr. Die Arbeit der AG 2 und ihrer Fokusgruppen hat allerdings deutlich gemacht, dass sowohl technologische Fragestellungen als auch Fragestellungen, die im Zusammenhang mit der Herstellung der betrachteten Technologieoptionen stehen, nach wie vor offen sind und dringend einer Lösung bedürfen. Die notwendigen Lösungsansätze müssen teils aus Forschung und Entwicklung kommen, teils aus der Politik durch Setzung von Regeln und Standards.

In der künftigen Arbeit der AG 2 wird betrachtet, wie die drei Optionen in einem technologieoffenen Ansatz weiterverfolgt werden sollten und wo die Einsatzfelder liegen, die eine zügige Realisierung bei gleichzeitig größtmöglicher Wirkung zur Reduzierung von Treibhausgas-Emissionen versprechen. Bis zum Jahr 2030 gibt es aus heutiger Sicht keine Einzeltechnologie, die die angestrebten Ziele für die Emissionsminderung allein durch eine beschleunigte Einführung erreichen wird. Es sind verschiedene Kraftstoff- und Antriebsoptionen für unterschiedliche Anwendungen im Verkehr erforderlich – abhängig auch von Nutzungsintensität und Reichweitenanforderungen und der im betrachteten Zeitrahmen möglichen Fahrzeugflotten-Erneuerung. Alle betrachteten Optionen sind nicht nur perspektivisch für das Jahr 2030 zu sehen, sondern auf einen darüber hinausgehenden zeitlichen Rahmen mit noch deutlich stringenteren Energie- und Klimazielen auszurichten. Nicht alle Verkehrsträger können antriebsseitig elektrifiziert werden, das gilt etwa für Binnen- und Seeschiffe, Flugzeuge und (teilweise) den schweren Straßengüterverkehr. Bei allen Optionen sind gleichfalls die Effizienzsteigerungspotentiale der fahrzeugseitigen Antriebsstränge in der weiteren Arbeit zu berücksichtigen. Im Ausblick bis 2030 streuen diese aktuell zwischen den Herstellern und verschiedenen Forschungseinrichtungen noch sehr stark, sodass eine Plausibilisierung in der weiteren Arbeit der AG 2 erfolgt. Die Nutzung erneuerbarer Ressourcen im Verkehr muss während der nächsten Dekade technologisch weiterentwickelt und der Markthochlauf begonnen werden. In einem signifikanten Umfang werden neuartige alternative Kraftstoffe jedoch erst nach dem Jahr 2030 im Verkehr etabliert sein.

Die AG 2 wird basierend auf diesem ersten Kurzbericht in einem nächsten, zweiten Kurzbericht die alternativen Antriebe und Kraftstoffe angesichts der Voraussetzungen und Rahmenbedingungen betrachten, die einerseits für die Umsetzung zu erwarten und andererseits dafür notwendig sind. Gegenstand des dritten Kurzberichts werden die Auswirkungen alternativer Antriebe und Kraftstoffe für Umwelt und Klima, Wirtschaft und Gesellschaft sein. Am Ende der Arbeit der AG 2 stehen Handlungsempfehlungen an die Politik, um die Einsparpotentiale für CO₂-Emissionen durch alternative Kraftstoffe und Antriebe zu heben.

Abkürzungen

AtJ	Alcohol-to-Jet
BEV	Batterie Electric Vehicle
BtG	Biomass-to-Gas
BtL	Biomass-to-Liquid
BtX	Biokraftstoffe sind Kraftstoffe, die aus Biomasse hergestellt werden. Beispiele sind Bioethanol, Biogas und Biodiesel. BtX steht hier für biomassebasierte Kraftstoffe.
CNG	Compressed Natural Gas
DME	Dimethylether
EE	Erneuerbare Energien
FAME	Fatty acid methyl ester
GtL	Gas to Liquid
HEFA	Hydroprozessierte Esther und Fettsäuren (hydrotreated esters and fatty acids)
HVO	Hydrogeniertes Pflanzenöl (hydrotreated vegetable oils)
LNG	Liquefied Natural Gas
NEFZ	Neuer Europäischer Fahrzyklus
OEM	Original Equipment Manufacturer / Originalausrüstungshersteller
OME	Oxymethylenether
PBtL	Power-and-Biomass-to-Liquid
PHEV	Plug-In Hybrid Electric Vehicle
PtX	Strombasierte gasförmige und flüssige Energieträger bieten die Möglichkeit, über verschiedene Umwandlungsschritte Strom in Form von Wasserstoff und Kohlenwasserstoffen (Benzin, Diesel, Gas) für den Verkehrssektor nutzbar zu machen. PtX steht für Kraftstoffe, die unter Einsatz von (erneuerbarem) elektrischem Strom zu Wasserstoff und weiterführend mit CO oder CO ₂ synthetisch zu gasförmigen und flüssigen Kohlenwasserstoffen umgewandelt werden.
RED	Renewable Energy Directive 2018/2001/EU on the promotion of the use of energy from renewable sources (recast), in: Official Journal of the European Union, Brussels, Dec. 12th 2018, L328/82-209
SoC	State of Charge
SPNV	Schienenpersonennahverkehr
THG	Treibhausgase
WLTP	Worldwide harmonized Light vehicles Test Procedure
WtL	Waste-to-Liquid
zGG	zulässiges Gesamtgewicht eines Kraftfahrzeugs

6 ANHANG

Aussagen aus dem Zwischenbericht der AG 1 vom März 2019

Ergänzend zum ersten Kurzbericht der AG 2 wird im Folgenden in einem Überblick dargestellt, welchen Input die AG 2 aus dem Zwischenbericht 03/2019 der AG 1 aufgenommen hat. Der Zwischenbericht benennt insgesamt sechs Handlungsfelder zur Reduktion der sogenannten CO₂-Lücke im Verkehr in Deutschland bis zum Jahr 2030. Unmittelbar relevant für die Aufgabenstellung in der AG 2 sind die Handlungsfelder (1) Antriebswechsel: Pkw und Lkw, (2) Effizienzsteigerungen: Pkw und Lkw sowie (3) regenerative Kraftstoffe.

Die nachfolgenden Angaben in den Tabellen 10 bis 12 basieren auf dem Zwischenbericht 03/2019 *Klimaschutz im Verkehr* der AG 1.

Tabelle 10: Handlungsfeld 1 Antriebswechsel: Pkw und Lkw (aus dem Zwischenbericht der AG 1)

Fahrzeugsegment	Zielkorridore im Jahr 2030 nach Antrieb	Neuzulassungen (NZL)	Bedingungen/ Anmerkungen
Pkw	7–10,5 Mio. BEV und PHEV	Jahre 202–2025 > 100.000 ab Jahr 2025 Anteil 40–45% (für 7 Mio.); 55–60% (für 10,5 Mio.)	ab 2020 starker Anstieg der NZL-Anteils von BEV und PHEV; keine genauere Unterteilung in Fahrzeugsegmente (Kleinwagen, Kompakt-, Mittel-, Oberklasse-Pkw, SUV und Sportwagen)
Pkw	0,4–3 Mio. CNG-Pkw	k .A.	Spanne ergibt sich aus Sicht unterschiedlicher Akteure aus der AG 1
Pkw	0–1,8 Mio. FCEV	k. A.	Maximalwert unter optimistischen Rahmenbedingungen (im AG 1-Zwischenbericht nicht weiter ausgeführt)

mittlere und schwere Lkw	90.000–170.000 Lkw (< 20 t zGG) 20.000–130.000 Lkw (> 20 t zGG) mit elektr. Antrieb mit Batterie- und/oder Oberleitungs- Hybrid-Lkw	k. A.	hoher Wirkungsgrad bei elektrischem Antrieb ist gegeben für Lkw mit hoher Tagesfahrleistung – relevante Herausforderungen (k. A.) bzw. Unsicherheiten (k. A.) sind zu berücksichtigen; frühzeitiger Einstieg in die Elektrifizierung der Infrastruktur (Oberleitung/Ladesäulen) stark befahrener BAB-Strecken; 50 % Anteil elektrifizierter Fahrzeuge im Bestand möglich; Investition: 2–2,5 Mio. EUR/km (beidseitig) für Oberleitungen
LNG/CNG-Lkw	70.000–130.000 Lkw (< 20t zGG)	Einsatz dort, wo Elektrifizierung des Antriebs schlecht möglich, z. B. im Fern- und Schwerlastverkehr; derzeit drei Serienfahrzeughersteller im Markt;	
LNG/CNG- Busse	12.000–125.000 Lkw (> 20 t zGG)	Technologie für Übergangszeitraum; Aufbau einer Tankstelleninfrastruktur ist notwendig	
Batterie-Lkw (3,5–20 t zGG)	90.000–170.000 (3,5–20 t zGG)	k. A.	Nutzbarkeit in allen Lkw-Klassen (LNF, 3,5–12 t zGG und > 12 t zGG); Ladeinfrastrukturaufbau ist notwendige Voraussetzung; Einschränkung beim max. Ladegewicht durch hohes Eigengewicht der Batterien und ggf. reduzierte Ladevolumina
BZ-Lkw	k. A.	k. A.	für Lkw interessant aufgrund langer Lebensdauer der BZ
batteriebetriebene leichte Nutzfahrzeuge (LNF)	800.000	k. A.	
Busse (0-Busse, Batterie- und H2-Busse)	5.000–16.000	k. A.	Einsatz im städtischen Umfeld: Umgestaltung der Betriebshöfe notwendig



Tabelle 11: Handlungsfeld 2 Effizienzsteigerung: Pkw und Lkw (aus dem Zwischenbericht der AG 1)

Fahrzeugsegment	Spezifische, technologie- und systembedingte Effizienzverbesserung ⁶⁴ im Jahr 2030 im Vergleich zu 2015 bei neu zugelassenen Fahrzeugen	Bedingungen / Anmerkungen
Pkw	0-30 %	hierbei sind EU-Regulierungen bis 2021 (NEFZ) und 2030 (WLTP) berücksichtigt
Lkw	1-28 %	unter anderem durch aerodynamische Verbesserungen; Lkw mit Automatisierungsfunktionen und Vernetzung; Lkw mit Automatisierungsfunktionen und Vernetzung; KV-Fähigkeit durch aerodynamische Komponenten nicht einschränken
Lang-Lkw	k. A.	Einsatz bei Akteuren der AG 1 umstritten wegen möglicher Verlagerungen von Gütertransporten von Schiene und Binnenschiff auf die Straße

⁶⁴ Effizienzverbesserungen beziehen sich laut EU auf die Neufahrzeugflotte. Dabei werden über Anrechnungsverfahren emissionsfreie Fahrzeuge besonders berücksichtigt.

Tabelle 12: Handlungsfeld 3 regenerative Kraftstoffe (aus dem Zwischenbericht der AG 1)

Kraftstoff	Anteil im Jahr 2030 (in PJ)	Bedingungen/ Anmerkungen
Biokraftstoffe	0,9–8 Mrd. l oder 30–270 PJ (beide Werte sind Maximalwerte je nach Akteurssicht aus der AG 1)	Zuwachs durch Biokraftstoffe der zweiten Generation; notwendig aus Sicht der Industrie, um CO ₂ -Minderungsziele zu erreichen; Potentiale werden von Akteuren der AG 1 unterschiedlich beurteilt (siehe hierzu Seiten 31 f des AG 1-Zwischenberichtes); EU-Vorgaben nach RED II sind zu erfüllen
strombasierte Kraftstoffe	1–4,2 Mrd. l oder 35–140 PJ	Strom in Form von Wasserstoff und Kohlenwasserstoffen (Benzin, Diesel, Kerosin, Gas) im Verkehr nutzen; Technik muss dafür noch schrittweise skaliert werden, um erfolgreichen Hochlauf zu erreichen; Importe aus dem Ausland aufgrund dort günstiger Bedingungen zur Erzeugung von erneuerbarem Strom; es wird davon ausgegangen, dass es global praktisch unlimitierte, wirtschaftlich günstig zu erschließende Potentiale für die Installation erneuerbarer Stromerzeugungsanlagen und entsprechende PtX-Infrastruktur gibt, somit Energieeffizienzaspekte strombasierter Kraftstoffe nicht relevant sind

Explizit formulierter Auftrag der AG 1 an die AG 2 im Zwischenbericht (siehe Seite 35):

„Daher sollte insbesondere die AG 2 prüfen, welchen Beitrag der Hochlauf von regenerativen Kraftstoffen (synthetische und Biokraftstoffe der zweiten Generation) neben den anderen Antriebsoptionen (batterieelektrisch oder Brennstoffzelle) leisten kann und welche Rahmenbedingungen für die notwendigen Produktionskapazitäten aufgebaut werden müssten.“

Dabei ist zumindest für synthetische Kraftstoffe zu konkretisieren, welche Art von Produktionskapazitäten zu realisieren sind (Elektrolyseure/Katalyse/Transport- und Verteilinfrastruktur?) und in welchen Regionen diese stehen (Rahmenbedingungen für PtX-Anlagen in Deutschland und im Ausland?).

Weitere Aussagen der AG 1 mit möglicher Relevanz für die Arbeit der AG 2

- Die Steuereinnahmen aus der Mobilität werden bei Elektrifizierung der Antriebe signifikant sinken (siehe Seite 24).
- Dies gilt unter der Annahme, dass die heutige Systematik der Abgaben (vor allem Energie- und Stromsteuern) beibehalten wird. Allerdings werden derzeit verschiedene Reformvorschläge bereits intensiv diskutiert⁶².

⁶²Siehe zum Beispiel folgende Übersicht: Dertinger, Andrea; Schill, Wolf-Peter 2019: https://www.diw.de/sixcms/detail.php?id=diw_01.c.617621.de

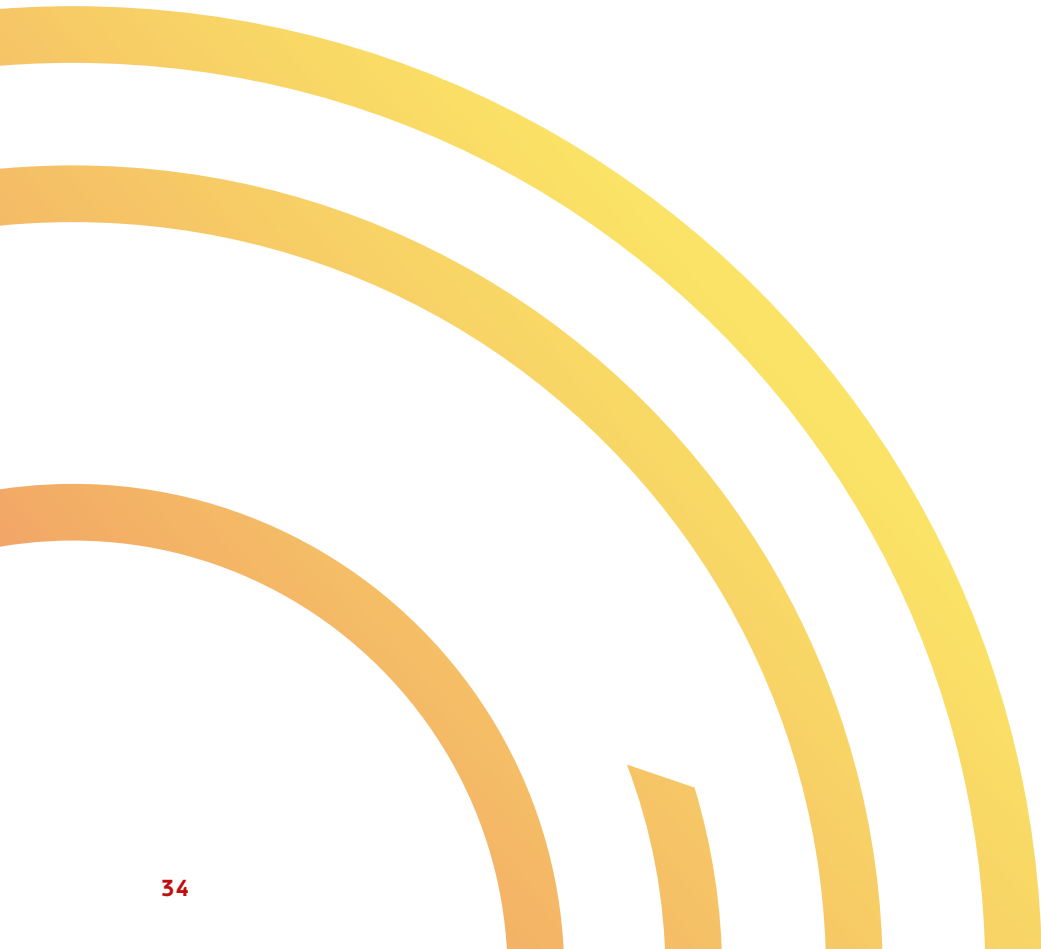
- Sicherstellung des Bedarfs an Rohstoffen für alternative Antriebe und von deren nachhaltiger Gewinnung (siehe Seite 24)
- Weiterentwicklung und Sicherstellung des Recyclings als Innovationschance (siehe Seite 24)
- Abkehr vom All-in-one-Pkw (siehe Seite 25)
- Nutzungsangebote von BEV an Nutzerinnen und Nutzer, die nur gelegentlich und auf kürzeren Strecken einen Pkw benötigen (siehe Seite 25)
- Nutzfahrzeug- und Transportbranche ist sensitiv bezogen auf Total Cost of Ownership (TCO-Parität) (siehe Seite 25).

Stellungnahme von WWF und VCD zum Kapitel „Perspektiven Alternativer Kraftstoffe“

Der World Wide Fund For Nature Deutschland (WWF) und der Verkehrsclub Deutschland e. V. (VCD) nehmen gesondert zum Kapitel „Perspektiven alternativer Kraftstoffe“ Stellung, um ihre Sicht zu einzelnen Punkten in diesem Kapitel darzulegen. Eine umfassende Diskussion dieser Punkte wird im zweiten Kurzbericht der AG 2 erfolgen.

Im Kapitel „Alternative Kraftstoffe“ sind Grundaussagen und Potenzialabschätzungen enthalten, die wir aus folgenden Gründen nicht mittragen können.

- Die Potentialaussagen für alternative Kraftstoffe erscheinen uns zu hoch, in Teilen auch widersprüchlich. Wir stellen fest, dass die hier getroffenen Potentialabschätzungen teilweise deutlich von denen der AG 1 abweichen.
- Wir haben den Eindruck, dass die derzeitigen Anteile von Anbaubiomasse, tierischen und pflanzlichen Fetten sowie fortschrittlichen Biokraftstoffen nicht in die Potentialberechnungen eingegangen sind. Insbesondere für Anbaubiomasse (aktueller Anteil 3,4 %) ergibt sich nach RED II ab 2020 ein maximal möglicher Anteil von rund 4,5 %. Dieser Umstand müsste bei den Berechnungen zur Anrechenbarkeit von Anbaubiomasse nach RED II berücksichtigt werden. Die aktuellen Anteile sind auch wichtig, um das weitere Potential der einzelnen Biokraftstoffoptionen zu bewerten.
- Aus Sicht von VCD und WWF sollte die Nutzung von Kraftstoffen aus Anbaubiomasse auslaufen. Für einzelne Biomassebestandteile mit hohem ILUC-Risiko ist laut RED II ohnehin ein Phase-out bis 2030 vorgesehen. Dies betrifft insbesondere Palmöl, das derzeit rund ein Viertel aller in Deutschland in den Verkehr gebrachten Kraftstoffe aus Anbaubiomasse ausmacht. Weiterhin sind aus Sicht von VCD und WWF bei fortschrittlichen Biokraftstoffen neben Nachhaltigkeitskriterien auch der mögliche Vorrang der stofflichen Verwertung zu berücksichtigen, was einen Einfluss auf die tatsächlich nutzbaren Potentiale hat.
- Im Bericht heißt es, der Rahmen der RED II sei nicht ausreichend, um die Klimaschutzziele im Verkehr zu erreichen. Wir weisen mit Nachdruck darauf hin, dass es generell keine einzelne Maßnahme gibt, mit der die Klimaschutzziele im Verkehr erreichbar wären. Benötigt wird vielmehr ein Maßnahmen- und Instrumentenmix. Klar ist aber auch: Je stärker der Endenergiebedarf im Verkehr gesenkt wird, desto höher sind auch die Minderungspotentiale durch den Einsatz klimaschonender Antriebe und nachhaltiger Kraftstoffoptionen. Dieser Aspekt sollte im zweiten Kurzbericht ausführlich betrachtet werden.
- Die Nachhaltigkeitsbezüge im Kapitel zu alternativen Kraftstoffen müssen nach unserer Ansicht erweitert werden. Nicht nur bei Biokraftstoffen, auch bei der PtX-Produktion sind Nachhaltigkeitskriterien der Produktion, insbesondere in den jeweiligen Herstellungsländern, zu berücksichtigen (Wasserbedarf in vielleicht trockenen Gegenden, soziale Aspekte, Vorrang der regenerativen Stromversorgung für die dortige Bevölkerung etc.). Die Verwendung von 100 % erneuerbarem Strom aus neuen bzw. zusätzlichen Anlagen ist dabei für uns generell eine Voraussetzung.





IMPRESSUM

Verfasser

Nationale Plattform Zukunft der Mobilität
Arbeitsgruppe 2 „Alternative Antriebe und Kraftstoffe für nachhaltige Mobilität“

Berlin, November 2019

Herausgeber

Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur

Redaktionelle Unterstützung

acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften e. V.
IFOK GmbH

Satz und Gestaltung

IFOK GmbH

Lektorat

Wort für Wort GmbH & Co. KG

Die Nationale Plattform Zukunft der Mobilität (NPM) ist per Kabinettsbeschluss von der Bundesregierung eingesetzt und wird vom Bundesministerium für Verkehr und Digitale Infrastruktur federführend koordiniert.

Sie arbeitet unabhängig, überparteilich und neutral. Alle Berichte spiegeln ausschließlich die Meinungen der in der NPM beteiligten Expertinnen und Experten wider.

NPM

**Nationale Plattform
Zukunft der Mobilität**

