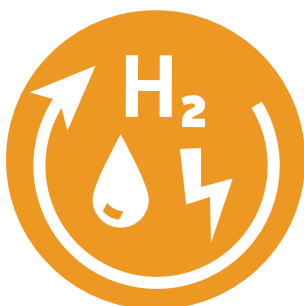


AG 2 - BERICHT

Roadmap – Markthochläufe alternativer Antriebe und Kraftstoffe aus technologischer Perspektive





AG 1

Klimaschutz im Verkehr



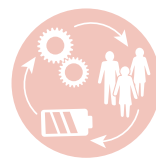
AG 2

Alternative Antriebe und Kraftstoffe für nachhaltige Mobilität



AG 3

Digitalisierung für den Mobilitätssektor



AG 4

Sicherung des Mobilitäts- und Produktionsstandortes, Batteriezellproduktion, Rohstoffe und Recycling, Bildung und Qualifizierung



AG 5

Verknüpfung der Verkehrs- und Energienetze, Sektorkopplung



AG 6

Standardisierung, Normung, Zertifizierung und Typgenehmigung

INHALT

KURZFASSUNG	6
EXECUTIVE SUMMARY	7
1 EINLEITUNG	9
2 ANTRIEBSWECHSEL PKW UND LEICHTE NUTZFAHRZEUGE	10
2.1 Allgemeine Ausgangssituation	10
2.2 Beschreibung des erwarteten Markthochlaufs	10
2.3 Handlungsempfehlungen zur Erreichung des erwarteten Markthochlaufs	13
Handlungsempfehlung 2.I: THG-Minderung im Verkehrssektor durch Hochlauf der E-Mobilität	13
Handlungsempfehlung 2.II: Langfristige Perspektive ökonomischer Anreize für xEV	14
Handlungsempfehlung 2.III: Anreizsystem zur Steigerung der Attraktivität gebrauchter xEV	15
Handlungsempfehlung 2.IV: Anreizsystem zur Markteinführung von wasserstoffbasierten Mobilitätstechnologien	16
Handlungsempfehlung 2.V: Definition des Zielzustands für N1-Fahrzeuge in Form von Checkpoints und Maßnahmen zur Erleichterung des Betriebs elektrischer N1-Fahrzeuge	17
Handlungsempfehlung 2.VI: Besseres Verständnis für die Bedürfnisse der Verbraucherinnen und Verbraucher und ihrer Verhaltensweisen und Förderung von Initiativen und F&E zur Verbesserung des Betriebs von N1-Fahrzeugen	19
Handlungsempfehlung 2.VII: Technologiebewertung durch TCO-Betrachtungen ergänzen	20
Handlungsempfehlung 2.VIII: Sektorübergreifende Lebenszyklusanalyse der betrachteten Technologien	21
3 ANTRIEBSWECHSEL SCHWERE NUTZFAHRZEUGE	22
3.1 Allgemeine Ausgangssituation	22
3.2 Beschreibung des erwarteten Markthochlaufs	23
3.3 Handlungsempfehlungen zur Erreichung des erwarteten Markthochlaufs	24
Handlungsempfehlung 3.I: Markthochlauf von batterieelektrischen schweren Nutzfahrzeugen	24
Handlungsempfehlung 3.II: Lkw mit CNG/LNG und regenerativen Kraftstoffen	26
Handlungsempfehlung 3.III: Bau von Oberleitungen mit Ziel 4.000 km bis 2030	27
Handlungsempfehlung 3.IV: Markthochlauf von Brennstoffzellen-Nutzfahrzeugen	28
Handlungsempfehlung 3.V: Unterstützung für den Aufbau von Wasserstoffinfrastruktur für schwere Nutzfahrzeuge	29
Handlungsempfehlung 3.VI: Unterstützung für verschiedene Arten von Ladeinfrastruktur	31

4 ALTERNATIVE KRAFTSTOFFE: BIODIESEL UND E-FUELS	32
Straßenverkehr	32
4.1 Beschreibung des erwarteten Markthochlaufs	32
4.2 Handlungsempfehlungen zur Erreichung des erwarteten Markthochlaufs	35
Handlungsempfehlung 4.I: Förderung großindustrieller Anlagen für Biodiesel	35
Handlungsempfehlung 4.II: Förderung großindustrieller Anlagen für E-Fuels	36
Handlungsempfehlung 4.III: Kompatibilität von Verbrennungsmotoren mit alternativen Kraftstoffen	37
Handlungsempfehlung 4.IV: Schaffung von Wasserstoff-Infrastruktur	38
Luftverkehr	39
4.3 Beschreibung des erwarteten Markthochlaufs	39
4.4 Handlungsempfehlungen zur Erreichung des erwarteten Markthochlaufs	40
Handlungsempfehlung 4.V: Aufbau von Demonstrationsanlagen	40
Handlungsempfehlung 4.VI: Schaffen von Rahmenbedingungen für den Markthochlauf	41
Schifffahrt	42
Handlungsempfehlung 4.VII: Marktanreize, technologieoffene Förderung und einheitliche Regularien	43
ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	45
QUELLEN	47
MITGLIEDER DER AG 2	49
REDAKTION	49
IMPRESSUM	50



KURZFASSUNG

Die Roadmap „Markthochläufe alternativer Antriebe und Kraftstoffe aus technologischer Perspektive“ der AG 2 basiert auf einem technologieoffenen Ansatz und betrachtet die Markthochläufe verkehrsträgerspezifisch. Dabei ist entscheidend, dass nicht jede Technologieoption in gleicher Weise für unterschiedliche Anwendungen geeignet ist. Daher werden in der Roadmap am Verkehrsträger ausgerichtete Handlungsempfehlungen für den notwendigen Antriebs- oder Kraftstoffwechsel abgeleitet. Es ergibt sich ein klares Bild hinsichtlich der technologischen Entwicklungspfade für Pkw, leichte und schwere Nutzfahrzeuge und für alternative Kraftstoffe, insbesondere in der Luft- und Schifffahrt, aber auch im Straßenverkehr.

Für den Markthochlauf von xEV (BEV und PHEV) definiert die AG 2 Zielkorridore. So kann der Fortschritt beim Antriebswechsel kontinuierlich überwacht und bestehende Maßnahmen können bei Bedarf frühzeitig angepasst werden. Für 2024 ergibt sich ein Korridor von 2,8 bis 3,2 Mio. kumulierten Neuzulassungen von xEV, für 2028 sind 6,5 bis 7,8 Mio. xEV notwendig und für das Jahr 2030 hat die AG 2 10,5 bis 11,8 Mio. kumulierte Neuzulassungen berechnet. Bestehende Maßnahmen wie der Umweltbonus oder die Innovationsprämie für Elektrofahrzeuge müssen im Rahmen von „Checkpoints“ fortlaufend geprüft und gegebenenfalls ergänzt werden, um den Hochlauf angesichts der Zielmarke für 2030 sicherzustellen. Zentrale Prüfkriterien sind der Bestand von xEV, der Aufbau und Betrieb der Ladeinfrastruktur, die Verfügbarkeit von FCEV und die H₂-Infrastruktur. Auch für leichte Nutzfahrzeuge ist es notwendig, Checkpoints zu entwickeln und den xEV-Hochlauf in diesem Segment regulatorisch und über Anreize zu begleiten. Darüber hinaus geht mit dem Hochlauf von Elektrofahrzeugen ein xEV-Gebrauchtwagenmarkt einher,

für dessen erfolgreiche Etablierung im deutschen Markt wirksame Maßnahmen entwickelt werden müssen.

Im Nutzfahrzeugbereich stehen zum Erreichen der Klimaziele kurz- und mittelfristig batterieelektrische Nfz, Brennstoffzellen-Nutzfahrzeuge, Oberleitungs-Lkw sowie alternative Kraftstoffe, darunter LNG/CNG und weitere nachhaltige Kraftstoffe, zur Verfügung. Anders als im Pkw-Bereich, in dem batterieelektrische Fahrzeuge den am weitesten entwickelten technologischen Entwicklungsstand aufweisen, gibt es unterschiedliche Einschätzungen zur weiteren Entwicklung von Antriebs- und Kraftstoffoptionen für schwere Nutzfahrzeuge. Für rein batterieelektrische Lkw sind ökonomische Anreize und die Schaffung einer betrieblichen Ladeinfrastruktur und gegebenenfalls einer öffentlichen Schnellladeinfrastruktur notwendig. Dafür sollten Kaufprämien zur Senkung der Anschaffungskosten oder Förderquoten zur Senkung der Investitionsmehrkosten umgesetzt werden. Für den Hochlauf von Brennstoffzellen-Lkw muss deren technologische Weiterentwicklung zur Serienreife vorangetrieben werden. Analog zu anderen Antriebsalternativen für Lkw sind Kaufprämien sowie zusätzlich eine an den Fahrzeughochlaufzahlen ausgerichtete parallele Förderung des Aufbaus einer Wasserstoffinfrastruktur für Lkw neben der für Pkw notwendig. Die AG 2 betont dabei die Notwendigkeit zur Nutzung von grünem Wasserstoff. Dieser ist Grundlage für die Handlungsempfehlungen für Wasserstoffmobilität und für synthetische Kraftstoffe.

Der Einsatz von schweren Nutzfahrzeugen, die mit Biomethan, synthetischem Methan sowie reinem Biodiesel oder synthetischem Diesel fahren, sollte ebenfalls unterstützt werden (zum Beispiel durch eine Besserstellung bei der Lkw-Maut), da diese zum Erreichen der CO₂-Min-

derungsziele bis 2030 im Straßengüterverkehr beitragen. Oberleitungssysteme für Lkw befinden sich derzeit in mehreren Forschungsprojekten in Feldtests. Auch für ein potenzielles Oberleitungssystem gilt, dass es in einem europäischen Rahmen gesetzt werden muss.

Für E-Fuels und Biokraftstoffe wurden unterschiedliche Szenarien entwickelt. Dabei sind alle Szenarien, auch das ambitionierte Szenario, bei Realisierung der entsprechenden Maßnahmen erreichbar. Bis 2030 spielen insbesondere fortschrittliche Biokraftstoffe eine Rolle. E-Fuels bieten langfristig ein bedeutsames CO₂-Einsparpotenzial. Für fortschrittliche Biokraftstoffe sollten großindustrielle Anlagen gefördert und aufgebaut sowie Nachhaltigkeitszertifizierungen überarbeitet werden. Dies gilt ebenso für E-Fuels, wobei erneuerbare Stromquellen für die Elektrolyse

des für die Produktion von E-Fuels benötigten Wasserstoffs ausgebaut werden müssen. Um höhere Beimischquoten zu erreichen, sollte die Kompatibilität der Antriebssysteme von Verbrennungsmotoren mit alternativen Kraftstoffen genutzt und erhöht werden.

In der Luft- und Schifffahrt tragen alternative Kraftstoffe zur Emissionsminderung bei. Dafür bedarf es weiterer Demonstrationsanlagen sowie politischer Rahmensetzung, um alternative Kraftstoffe für die Luft- und Schifffahrt gezielt skalieren zu können.

Innerhalb der AG 2 wird nicht jede Handlungsempfehlung von allen Mitgliedern mitgetragen. Dort, wo dies der Fall ist, wird der Dissens im Text explizit ausgewiesen.

EXECUTIVE SUMMARY

The roadmap “Market ramp-up of alternative powertrain and fuels from a technological perspective”, drawn up by WG 2, does not give preference to one technology over another, but looks at the ramp-up of each mode of transport individually. It is important to understand that all technological options are not equally suited to the different applications. Hence, the roadmap provides recommendations for action specific to the various modes of transport in order to implement the necessary shift in drives and fuels. A clear picture is emerging with regard to the technological development paths of cars, light and heavy commercial vehicles, and alternative fuels, especially in aviation and shipping, but also in road transport.

WG 2 has defined target ranges for the ramp-up of xEV (BEV and PHEV). In this way, progress in switching drives can be continuously monitored, and existing measures can be adjusted in a timely manner if necessary. For 2024, there is a corridor of 2.8 to 3.2 million cumulative new registrations of xEV, for 2028, 6.5 to 7.8 million xEV are required, and for 2030, WG 2 arrived at a figure of 10.5 to 11.8 million cumulative new registrations. Existing measures, such as the environmental bonus or the innovation premium for electric vehicles, need to be continuously reviewed against checkpoints and amended if necessary, in order to realise the ramp-up in light of the targets for 2030. The number of xEV on the roads, the development and operation of the charging infrastructure and the availability of FCEV and an H₂ infrastructure are

all key criteria for these checks. It is also necessary to develop checkpoints for light commercial vehicles and to support the xEV ramp-up in this segment by regulatory means and via incentives. Additionally, the ramp-up of electric vehicles goes hand in hand with a second-hand market for xEV; effective measures need to be developed for the successful establishment of second-hand xEV in the German market.

In the commercial vehicle segment, battery electric commercial vehicles, fuel cell commercial vehicles, catenary trucks as well as alternative fuels including LNG/CNG and other sustainable fuels, are available in the short and medium term to help achieve the climate targets. In contrast to cars where battery electric vehicles are the most technologically-advanced alternative, there are different assessments as to the further development of drive and fuel options for heavy commercial vehicles. For battery electric trucks, economic incentives and the creation of a company charging infrastructure as well as possibly a public fast-charging infrastructure are needed. This requires the implementation of buyers' incentives to lower asset costs or a funding quota to lower extra investment costs. In order to ramp up fuel cell trucks, the technology of these trucks will need to be developed to the stage of series production. Similarly to other alternative drives, buyers' incentives as well as – according to the actual vehicle numbers – funding of the development of a hydrogen infrastructure for trucks (in addition to that of cars) are necessary. In this context,

WG 2 is pointing out the importance for green hydrogen to be used which is the basis for the recommendations for actions for hydrogen mobility and for synthetic fuels.

The use of heavy commercial vehicles that run on biomethane, synthetic methane as well as pure biodiesel or synthetic diesel should also be funded (e.g. via a lower HGV toll) because they help achieve the target of lowering CO₂ emissions from road transport by 2030. Overhead line systems for lorries are currently undergoing field tests in several research projects. A potential overhead line system will also need to be integrated into a European framework.

Different scenarios were developed for e-fuels and biofuels, all of which, even the most ambitious one, are achievable provided the relevant measures are implemented. Advanced biofuels will be playing a particularly important role until 2030. E-fuels offer a significant potential for lowering CO₂ in the long run. In

terms of advanced biofuels, large industrial plants should be funded and developed, and sustainability certification should be revised. The same applies to e-fuels whereby renewable electricity sources for the electrolysis of hydrogen – which is necessary for the production of e-fuels – need to be expanded. In order to achieve higher mixing ratios, the compatibility of combustion engine drive systems with alternative fuels should be made use of and increased.

In aviation and shipping, alternative fuels contribute to lowering emissions. This also requires demonstration plants as well as a political framework in order to scale up alternative fuels in aviation and shipping in a targeted way.

Within WG 2, the individual recommendations for action are not supported by every single member. When there is disagreement, it will be pointed out explicitly.

1 EINLEITUNG

Das ambitionierte Ziel einer CO₂-Äq.-Minderung auf 95 Mio. Tonnen im Verkehrssektor bis 2030 fordert den Einsatz aller technologischen Alternativen.

Aus diesem Grund wurde in der nachfolgenden Roadmap ein technologieoffener Ansatz zugrunde gelegt. Zu beachten ist, dass nicht jede alternative Antriebstechnologie beziehungsweise Kraftstoffoption sich in gleicher Weise für verschiedene Verkehrsträger beziehungsweise für Fahrzeuge, Schiffe oder Flugzeuge in jeder Anwendung gleichermaßen eignet. Zudem sind die Entwicklungsstände der einzelnen Technologien in Bezug auf deren Marktreife noch unterschiedlich. Außerdem bestehen Unsicherheiten bei einzelnen Alternativen bezüglich der Verfügbarkeit, der Kosten und der tatsächlich erreichbaren CO₂-Äq.-Minderung.

Die beiden erstellten Kurzberichte der Arbeitsgruppe 2 (AG 2)¹ der NPM sind der Ausgangspunkt der nachfolgenden Roadmap. Bei der Erarbeitung der Roadmap wurden sowohl die Ziele aus dem Klimaschutzgesetz der Bundesregierung für den Sektor Verkehr² als auch die von der EU verabschiedeten Richtlinien zur Entwicklung der Flottenemissionen bis 2030³ berücksichtigt. Ziel der Roadmap ist es, kein beliebiges Bündel an Handlungsempfehlungen aufzuzeigen, sondern Maßnahmen, die sich gegenseitig verstärken. Dabei richten sich die Empfehlungen grundsätzlich an die Politik. Wo weitere oder andere Empfänger adressiert werden, ist dies in der Beschreibung der Handlungsempfehlung verdeutlicht.

Da in allen genannten Technologien Potenziale zur zukünftigen

Minderung der THG-Emissionen im Verkehrssektor antizipiert werden, sind Schritte zur weiteren Förderung der Technologien entsprechend ihrem spezifischen Entwicklungsstand (beispielsweise hinsichtlich der Schaffung von Infrastruktur) von der Politik einzuleiten beziehungsweise durch entsprechende Rahmenbedingungen zu ermöglichen. Auf diese Weise können jeweils möglichst hohe Beiträge zur CO₂-Äq.-Minderung im Verkehrssektor bis 2030 und darüber hinaus geleistet werden. Batterieelektrische Fahrzeuge weisen den am weitesten entwickelten technologischen Entwicklungsstand auf, sodass sie eine Schlüsselrolle beim Antriebswechsel im Pkw-Bereich einnehmen werden.

Die Forschungs- und Innovationsförderung sollte entlang der als grundsätzlich geeigneten und vorgeschlagenen Antriebe und Energieträger unabhängig von der Produkt- und Infrastruktur-Marktreife ausgebaut werden. Dabei geht es sowohl um technologische als auch um umsetzungs- und marktbezogene Forschung. Darüber hinaus sollten die CO₂-freie Wasserstoffherzeugung und der Infrastrukturausbau gefördert werden. Es ist davon auszugehen, dass grüner Wasserstoff langfristig eine wichtige Rolle in der Energieversorgung spielen wird. Dafür sollten die in Deutschland in Forschung und Industrie vorhandenen global führenden Kompetenzfelder genutzt werden. Außerdem darf der Verkehrssektor für eine zielgerichtete und nachhaltige CO₂-Emissionsreduktion nicht losgelöst vom Energiesektor und unter Beachtung der Wechselwirkungen mit dem Industrie- und Wärmesektor betrachtet werden. Die Verfügbarkeit von Energieträgern, die eine CO₂-freie Mobilität ermöglichen, muss dabei ausgebaut werden.

¹ NPM AG 2 (2019): 1. Kurzbericht der AG 2. Elektromobilität. Brennstoffzelle. Alternative Kraftstoffe – Einsatzmöglichkeiten aus technologischer Sicht; NPM AG 2 (2020): 2. Kurzbericht der AG 2. Einsatzmöglichkeiten unter realen Rahmenbedingungen.

² Unter anderem im Jahr 2020: 150 Mio. t CO₂-Äq., im Jahr 2025: 123 Mio. t CO₂-Äq. und im Jahr 2030: 95 Mio. t CO₂-Äq.

³ EU-Verordnung für Pkw 2019/631; EU-Verordnung für Lkw 2019/1242

2 ANTRIEBSWECHSEL PKW UND LEICHTE NUTZFAHRZEUGE

2.1 ALLGEMEINE AUSGANGSSITUATION

Zum Erreichen der Minderungsziele des Verkehrssektors ist es notwendig, dass die Pkw-Flotte als größter CO₂-Emittent im Jahr 2030 mindestens 40 Mio. t CO₂-Äq. weniger verursacht als im Jahr 2019.

Dafür stehen für Pkw und leichte Nutzfahrzeuge aus heutiger Sicht folgende Technologieoptionen zur Verfügung:

- Batterieelektrische Fahrzeuge (BEV)
- Plug-in-Hybridfahrzeuge (PHEV)

- Optimierung von Verbrennungsmotoren (inklusive Hybridisierung) und Nutzung alternativer Kraftstoffe
- Zeitnahe Entwicklung einer serienreifen Wasserstoff-/Brennstoffzellentechnologie

Der Fokus in diesem Roadmap-Kapitel liegt auf Pkw und leichten Nfz, da sie den größten Beitrag in den verkehrsbedingten CO₂-Äq.-Emissionen darstellen. Für den Individualverkehr stehen noch Krafträder zur Verfügung, für die eine Elektrifizierung empfohlen wird. Diese sind allerdings nicht Gegenstand der Betrachtung.

2.2 BESCHREIBUNG DES ERWARTETEN MARKTHOCHLAUFS

Die Erneuerung der Pkw-Bestandsflotte wird in den kommenden Jahren aufgrund verschiedenartiger Fördermaßnahmen von Politik und Industrie im Wesentlichen durch xEV⁴ geprägt sein. Ihr Anteil muss kontinuierlich von circa 13,5 % (2020) auf über 50 % der jährlichen Neuzulassungen im Jahr 2030 wachsen.⁵

Um den Hochlauf der einzelnen Technologiepfade bis 2030 überprüfbar zu gestalten, wurden für 2024 und 2028 Checkpoints mit einem Satz von vordefinierten Zwischenzielen eingeführt. Bei Unterschreitung der vordefinierten Para-

meter wie beispielsweise der Anzahl der elektrischen Fahrzeuge in der Bestandsflotte, der Kostenentwicklung der Batterien oder des Aufbaus der Wasserstoff- und E-Fuel-Infrastruktur, aber auch der sektorübergreifenden gesamthaften Reduktion der THG-Emissionen können somit frühzeitig korrigierende Eingriffe und Maßnahmen getroffen werden, um die anspruchsvolle 2030-Ziel-erreichung abzusichern. Bezüglich des Markthochlaufs werden die kumulierten Neuzulassungen im Szenario Pkw betrachtet:

⁴ Im Rahmen der Darstellung wird die Abkürzung „xEV“ stellvertretend für BEV und PHEV verwendet.

⁵ Kraftfahrt-Bundesamt - Pressemitteilungen - Pressemitteilung Nr. 01/2021 - Elektromobilität in Deutschland auf der Überholspur (kba.de)

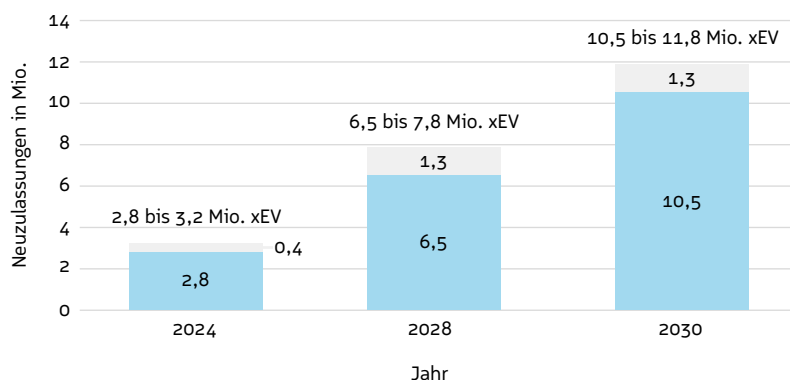


Abbildung 1: Szenario Pkw – Neuzulassungen BEV und PHEV an den Checkpoints
(Quelle: eigene Darstellung)

Zur Berechnung der erwarteten Zielkorridore für die kumulierten Neuzulassungen von elektrischen Fahrzeugen wurden folgende Annahmen getroffen: Der CO₂-Ausstoß von Neuwagen eines Herstellers darf ab 2021 laut EU-Verordnung 2019/631 im Mittel 95 gCO₂/km im NEFZ betragen. Hierbei wird allerdings noch ein Korrekturfaktor für die Fahrzeugmasse sowie eine höhere Gewichtung von Elektrofahrzeugen berücksichtigt. Die Realwerte der Pkw-Flotte liegen deutlich höher.⁶ Es wird im vorliegenden Fall angenommen, dass die nationale Flotte der jährlichen Neuzulassungen in Deutschland ebenfalls diesen Regeln unterläge und die Grenzwerte zu den durchschnittlichen CO₂-Ausstößen in der EU einhalten wird. Hierbei wird auch die, im Vergleich zum EU-Durchschnitt, höhere Masse der in Deutschland zugelassenen Fahrzeuge berücksichtigt. Für die Umrechnung von WLTP- auf NEFZ-Verbrauch wird der angegebene Durchschnittswert von 21 % Mehrverbrauch im WLTP verwendet.⁷

Basierend auf den realen Zulassungen bis zum 31.01.2021 (Anzahl gesamt, Anzahl xEV, Anteil BEV, CO₂-Flottenausstoß) wurden Szenarien entwickelt, welche sich hinsichtlich folgender Punkte unterscheiden:

- Absolute Anzahl jährlicher Neuzulassungen
- BEV-Anteil an den xEV-Neuzulassungen (BEV tragen in höherem Maße zur Minderung des CO₂-Flottenausstoßes bei als PHEV und senken dadurch die notwendige Anzahl xEV)

Hierdurch ergeben sich Zielkorridore bezüglich der kumulierten Neuzulassungen von xEV an den jeweiligen Checkpoints. Die Dynamik des xEV-Hochlaufs wird bis 2023 durch die jährlich abnehmende Gewichtung von Fahrzeugen mit CO₂-Emissionen unter 50 g CO₂/km sowie in 2025 durch die Minderung des CO₂-Flottenausstoßes um 15 % getrieben. In 2024 sowie ab 2026 wird die Dynamik fortgeschrieben und der CO₂-Flottenausstoß sinkt unter den vorgegebenen Durchschnittswert.

Für den Markthochlauf der Batterie- und Fahrzeugproduktion und für die Schaffung der erforderlichen Infrastruktur bedarf es politischer Unterstützung.⁸ Dazu müssen verschiedene Maßnahmen ergriffen werden. Diese sind in der folgenden Übersicht zusammengestellt und werden im nachfolgenden Kapitel ausführlich erläutert:

⁶ ICCT (2018): From laboratory to road: A 2018 update.

⁷ Europäische Kommission (2017): From NEDC to WLTP: effect on the type-approval CO₂ emissions of light-duty vehicles.

⁸ NPM AG 2 (2020): 2. Kurzbericht der AG 2. Einsatzmöglichkeiten unter realen Rahmenbedingungen.



ZIEL	HANDLUNGSEMPFEHLUNG	KONKRETISIERUNG
Neuzulassungen BEV, PHEV erhöhen 	Überprüfbare Checkpoints einführen Gebrauchtwagenmarkt entwickeln Ökonomische Anreize bewerten und ggf. anpassen TCO-Betrachtung vornehmen Lebensdauerbewertung erstellen	<ul style="list-style-type: none"> • Herstellergarantie für Batterien erweitern • Restwertgarantie (Beispiel) • Höhere CO₂-Abgabe für fossile Kraftstoffe
Neuzulassungen N1 erhöhen (BEV, PHEV) 	Überprüfbare Checkpoints einführen Regulatorische Maßnahmen für N1 einführen	<ul style="list-style-type: none"> • Einfahrbestimmungen erweitern (räumlich, zeitlich) • Liefer- und Ladezonen für elektrische Fahrzeuge schaffen
Neuzulassungen FCEV erhöhen 	Anreizsystem für H ₂ -basierte Mobilität einführen	<ul style="list-style-type: none"> • H₂-Kosten senken + Mengen erhöhen • Regularien anpassen • Befreiung Kfz-Steuer • Infrastruktur aufbauen

Abbildung 2: Übersicht Handlungsempfehlungen Antriebswechsel Pkw und leichte Nfz (Quelle: eigene Darstellung)

Einige Mitglieder der AG 2 weisen darauf hin, dass PHEV nur bei einer hohen elektrischen Fahrleistung signifikante CO₂eq-Einsparungen leisten können.⁹

⁹ NPM (2020): Empfehlungen zum optimierten Nutzungsgrad von Plug-in-Hybridfahrzeugen.

2.3 HANDLUNGSEMPFEHLUNGEN ZUR ERREICHUNG DES ERWARTETEN MARKTHOCHLAUFS

HANDLUNGSEMPFEHLUNG 2.I: THG-MINDERUNG IM VERKEHRSEKTOR DURCH HOCHLAUF DER E-MOBILITÄT

Um die Klimaschutzziele zu erreichen, müssen die THG-Emissionen im Verkehrssektor auf 95 Mio. t CO₂-Äq. in 2030 gemindert werden. Das bedeutet, im Straßenverkehr müssen die CO₂-Äq.-Emissionen im Vergleich zu 2015 um 60 Mio. t gesenkt werden, wovon mindestens 40 Mio. t auf Pkw entfallen. Das heißt, die CO₂-Äq.-Emissionen des Pkw-Verkehrs in Deutschland dürfen im Jahr 2030 maximal 65 Mio. t CO₂-Äq. betragen.

Um dieses Ziel zu erreichen, ist der Einsatz von xEV unabdingbar. In Bezug auf den erwarteten Markthochlauf beim

Antriebswechsel Pkw (Elektrifizierung) wird ein Zielwert von 10,5 bis 11,8 Mio. kumulierte Neuzulassungen xEV (Pkw) bis 31.12.2030 erwartet und wurde entsprechend im Szenario Pkw quantifiziert.

Die Batteriezellfertigung erfolgt derzeit hauptsächlich in Asien.¹⁰ In Europa befindet sie sich im Aufbau. Wie umweltfreundlich die Batteriezellfertigung erfolgt, hängt vorwiegend von den eingesetzten Rohstoffen und dem bei der Produktion verwendeten Strommix ab.

BESCHREIBUNG HANDLUNGSEMPFEHLUNG 2.I

Der Hochlauf der kumulierten Neuzulassungen xEV (Pkw) soll mithilfe von quantitativen und qualitativen Zwischenzielen („Checkpoints“) überprüft werden (im Rahmen der Überprüfungen des Klimaschutzgesetzes). Folgende Checkpoints werden vorgeschlagen:

- **Checkpoint 2024: 2,8 bis 3,2 Mio. kumulierte Neuzulassungen xEV**
- **Checkpoint 2028: 6,5 bis 7,8 Mio. kumulierte Neuzulassungen xEV**
- **Checkpoint 2030: 10,5 bis 11,8 Mio. kumulierte Neuzulassungen xEV**

Die Zielkorridore der Checkpoints 2028 und 2030 müssen im Rahmen des Checkpoints 2024 überprüft und gegebenenfalls angepasst werden.

Im Rahmen der Checkpoints zur Zielerreichung beim Antriebswechsel xEV werden bei den Neuzulassungen im Bereich Pkw und LNfz folgende Kriterien überprüft:

- Entwicklung des Bestands an xEV
- Aufbau und Betrieb Ladeinfrastruktur
- Verfügbarkeit von Brennstoffzellenfahrzeugen und Wasserstoffinfrastruktur
- Fragestellungen bezüglich des Recyclings
- Neubewertung von Hochlaufszenarien, Total Costs of Ownership (TCO) und Life-Cycle-Analysen (LCA)
- Bewertung der erreichten THG-Minderung

Daraus werden bedarfsbezogen weitere Maßnahmen abgeleitet.

¹⁰ NPM AG 4 (2019): 1. Zwischenbericht zur Wertschöpfung.

CHANCEN

- Signifikantes Einsparpotenzial liegt in der Steigerung des Anteils von BEV.
- Deutliches CO₂-Einsparpotenzial bei optimierter Nutzung von PHEV¹¹
- Durch eine steigende Hybridisierung der verbrennungs-motorisch betriebenen Fahrzeuge lässt sich die Gesamtsystemeffizienz (bspw. durch regeneratives Bremsen) steigern, was wiederum den Kraftstoffverbrauch reduziert.
- Maßnahmen zur beschleunigten Elektrifizierung unterstützen deutsche OEM beim Erreichen der EU-Abgas-Grenzwerte der Neuwagenflotte.
- Sinkende Herstellkosten aufgrund technologischen Fortschritts und Skaleneffekten
- Eine höhere Dynamik des Markthochlaufs von xEV (bspw. 5,5 Mio. xEV in 2025, 14,4 Mio. xEV in 2030) ist laut der Nationalen Leitstelle Ladeinfrastruktur möglich.¹² In der Studie wird ebenfalls die Wichtigkeit einer regelmäßigen Überprüfung und Neubewertung des Markthochlaufs betont, da langfristige Szenarien mit einer hohen Unsicherheit behaftet sind.
- Die Skalierung der Produktion von xEV führt zu Kostenvorteilen und damit zu einem Break-even zu Pkw mit Verbrennungsmotor und somit kann der Umweltbonus perspektivisch entfallen.

HERAUSFORDERUNGEN/RISIKEN

- Die Kundenakzeptanz bezüglich elektrischer Fahrzeuge ist noch nicht vollständig ausgeprägt, auch wegen technologiebedingten Nachteilen, z. B. im Vergleich zu konventionellen Fahrzeugen geringen Reichweiten und langer Ladedauer.
- Der Aufbau der erforderlichen öffentlichen und nicht-öffentlichen Ladeinfrastruktur bis 2030 ist mit einem Investitionsbedarf von etwa 22 bis 30 Mrd. Euro verbunden (s. Bericht der AG 5).¹³
- Es kommt zu Lieferengpässen/-verzögerungen bei Batteriezellen und -systemen (s. Bericht der AG 4).¹⁴
- Wertschöpfung und Personalbedarf bei der Produktion von BEV ist geringer als bei ICEV/PHEV (s. Bericht der AG 4).¹⁵

HANDLUNGSEMPFEHLUNG 2.II: LANGFRISTIGE PERSPEKTIVE ÖKONOMISCHER ANREIZE FÜR XEV

Zum Erreichen der Klimaziele sind zahlreiche Förderinstrumente etabliert worden. Der Umweltbonus sowie die Innovationsprämie fördern den Kauf eines Elektrofahrzeugs (BEV und PHEV) mit 9.000 Euro für BEV und 6.750 Euro für PHEV bis zu einem Nettolistenpreis von 40.000 Euro. Fahrzeuge zwischen 40.000 Euro und 60.000 Euro Netto-

listenpreis erhalten 7.500 Euro für einen BEV und 5.625 Euro für einen PHEV. Damit erhalten Elektrofahrzeuge derzeit eine breite Unterstützung zum Markthochlauf. Die Förderung ist allerdings begrenzt, sodass eine langfristige Strategie mit unterschiedlichen Fördermaßnahmen notwendig wird.

BESCHREIBUNG HANDLUNGSEMPFEHLUNG 2.II

Die aktuell geltenden ökonomischen Anreize zur Steigerung der Attraktivität von xEV für Kundinnen und Kunden für einen beschleunigten Markthochlauf müssen zeitnah entsprechend den Kriterien aus der Handlungsempfehlung 2.I bewertet und bei Bedarf angepasst werden.

¹¹ NPM (2020): Empfehlungen zum optimierten Nutzungsgrad von Plug-in-Hybridfahrzeugen.

¹² Nationale Leitstelle Ladeinfrastruktur (2020): Ladeinfrastruktur nach 2025/2030: Szenarien für den Markthochlauf. Studie im Auftrag des BMVI.

¹³ NPM AG 5 (2020): Bedarfsgerechte und wirtschaftliche öffentliche Ladeinfrastruktur – Plädoyer für ein dynamisches NPM-Modell.

¹⁴ Thielmann, A. et al. (2020): Batterien für Elektroautos: Faktencheck und Handlungsbedarf.

¹⁵ NPM (2020): Empfehlungen zum optimierten Nutzungsgrad von Plug-in-Hybridfahrzeugen; NPM AG 4 (2020): 1. Zwischenbericht zur strategischen Personalplanung und Entwicklung im Mobilitätssektor.

CHANCEN	HERAUSFORDERUNGEN/RISIKEN
<ul style="list-style-type: none"> • Durch wirtschaftliche Anreize entscheiden sich mehr Kundinnen und Kunden für die Anschaffung und den Betrieb eines oder mehrerer xEV. • Durch eine schnellere Marktdurchdringung und der dadurch induzierten größeren Menge an Erfahrungen mit xEV können Vorbehalte hinsichtlich des Betriebs ausgeräumt und die Attraktivität von xEV auf emotionaler Ebene gesteigert werden. • Durch eine Verteuerung des Betriebs von Fahrzeugen mit hohen CO₂-Emissionen aufgrund eines hohen Verbrauchs fossiler Kraftstoffe wird die Marktposition von verbrauchsärmeren Fahrzeugen mit geringeren CO₂-Emissionen gestärkt und bspw. auch Kaufentscheidungen im Gebrauchtwagenmarkt beeinflusst. • Maßnahmen zur beschleunigten Elektrifizierung unterstützen deutsche OEM beim Erreichen der CO₂-Flottengrenzwerte der Neuwagenflotte. • Durch die erhöhten Kosten des Betriebs von Fahrzeugen mit fossilen Kraftstoffen werden mehr Wege im elektrischen Betrieb zurückgelegt. 	<ul style="list-style-type: none"> • Die derzeitigen Förderungen von xEV würden im Szenario Pkw zu Kosten i. H. v. etwa 15 Mrd. Euro bis Ende 2024 führen. Der Förderpool ist aber begrenzt. Wenn die Fördermittel ausgeschöpft sind, besteht die Gefahr, dass die Neuzulassungen von xEV sinken. • Die Priorität von Kostensenkungen bei den Herstellern von xEV könnte reduziert werden, wenn der derzeitige wettbewerbliche Nachteil ggü. konventionellen Fahrzeugen durch Subventionen langfristig aufgefangen wird. • Der Verkauf von subventionierten xEV ins Ausland nach der vorgeschriebenen Mindesthaltedauer von sechs Monaten verursacht Kosten, ohne die CO₂-Äq.-Emissionen des deutschen Verkehrssektors langfristig zu senken. • Durch eine Förderung von Neuwagen sinkt der Preisunterschied zwischen Neuwagen und Gebrauchtwagen, sodass ein Wertverlust bei Gebrauchtwagenverkäufen entsteht.

HANDLUNGSEMPFEHLUNG 2.III: ANREIZSYSTEM ZUR STEIGERUNG DER ATTRAKTIVITÄT GEBRAUCHTER XEV

Damit sich xEV erfolgreich am Fahrzeugmarkt etablieren, ist neben der Schaffung der Ladeinfrastruktur (LIS) ein Anreizsystem zur Steigerung der Attraktivität gebrauchter xEV zu schaffen. Dies ist von hoher Bedeutung, um xEV aus Flottenbeständen möglichst in Deutschland zu halten und für Flottenbetreiber positive Geschäftsmodelle zu ermöglichen. Regulierungen und Förderinstrumente zielen

derzeit jedoch mehrheitlich auf Neufahrzeuge und junge Gebrauchtwagen (CO₂-Regulierung, Umweltprämie, Firmenwagenbesteuerung, etc.). Für ältere Gebrauchtfahrzeuge stehen nur wenige Förderinstrumente, z. B. Kfz-Steuerbefreiung, Förderung Ladeinfrastruktur zur Verfügung.

BESCHREIBUNG HANDLUNGSEMPFEHLUNG 2.III

Durch gezielte, noch auf ihre zu erwartende Marktwirkung hin zu untersuchende Maßnahmen (bspw. kostenloses Laden, erweiterte Herstellergarantie für die Batteriekapazität, eine Restwertgarantie über die Zeitachse etc.) wird die Entwicklung des Gebrauchtwagenmarkts elektrischer Fahrzeuge unterstützt. Hierbei ist ein Augenmerk auf die Themen Wertentwicklung von Batterielebensdauern, Gewährleistung und Batterie-State-of-Health zu legen. Dadurch wird der Verbleib von elektrischen Fahrzeugen im deutschen Bestand gefördert.

CHANCEN	HERAUSFORDERUNGEN/RISIKEN
<ul style="list-style-type: none"> • Batterieelektrische Gebrauchtwagen sind für unterdurchschnittliche Haushaltseinkommen erschwinglicher. Bereits jetzt wechseln doppelt so viele Gebrauchtwagen den Besitzer oder die Besitzerin, wie Neuwagen gekauft werden. • Derzeit kaufen eher Haushalte mit höherem Einkommen ein xEV.¹⁶ • Eine Reduzierung des Restwertrisikos bei der Anschaffung von xEV erhöht deren Attraktivität. • Eine zuverlässige Angabe/Zertifizierung des Batterie-State-of-Health gibt Gebrauchtwagenkäufern Sicherheit. • Gebrauchte xEV verbleiben länger im deutschen Bestand und tragen langfristig zur THG-Minderung des deutschen Verkehrssektors bei. • Nach Auslaufen der derzeitigen Neuwagenförderung stabilisiert sich der Gebrauchtwagenmarkt. 	<ul style="list-style-type: none"> • Das Restwertrisiko wird nur verschoben, nicht gemindert. • Solange Neuwagen bei der Anschaffung finanziell gefördert werden, bleiben sie wirtschaftlich attraktiver als Gebrauchtwagen. • Eine zu hohe Attraktivität von Gebrauchtwagen kann den Neuwagenabsatz beeinträchtigen. • Rasche Innovationssprünge senken die Attraktivität (und eventuell auch Kompatibilität mit LIS) von Gebrauchtfahrzeugen.

HANDLUNGSEMPFEHLUNG 2.IV: ANREIZSYSTEM ZUR MARKTEINFÜHRUNG VON WASSERSTOFFBASIERTE MOBILITÄTSTECHNOLOGIEN

Um eine Markteinführung von Wasserstoff-Brennstoffzellenfahrzeugen (FCEV, Pkw und N1-Fahrzeuge) zu erreichen, wird neben den bestehenden Instrumenten ein Anreizsystem zur Markteinführung von wasserstoffbasierten Mobilitätstechnologien benötigt. Dafür ist neben der bereits teilweise vorhandenen und weiterhin in Planung befindlichen Wasserstofftankstellen-Infrastruktur der Absatz von Fahrzeugen zu fördern und es sind die TCO zu senken. Die Einführung von Wasserstoff als speicherbarem Energieträger in allen relevanten Sektoren, also auch im Verkehr, soll ermöglicht werden. Strategien zum Senken der

Wasserstoffkosten sind elementare Randbedingungen, um zunächst Flottenbetreiber und später auch Privatpersonen von der Anschaffung und dem Betrieb von FCEV zu überzeugen.

Einige AG-2-Mitglieder unterstützen die Anwendung und Förderung von Wasserstoff-Brennstoffzellen in Pkw nicht: Ein Teil der AG-2-Mitglieder lehnt FCEV aufgrund der höheren Technologiekosten ab. Andere argumentieren, dass die Energieeffizienz im Vergleich zu BEV zu gering und der Einsatz von Wasserstoff in anderen Sektoren sinnvoller sei.

BESCHREIBUNG HANDLUNGSEMPFEHLUNG 2.IV

Es müssen Voraussetzungen geschaffen werden, um den Einsatz von Wasserstoff im Pkw bis 2030 zu ermöglichen. Hierzu gehören:

- Eine ausreichende und möglichst vorseilende Infrastruktur
- Ausreichende Mengen an verfügbarem, grünem und preiswertem Wasserstoff (Schnittstelle zu AG 5)
- Die Entwicklung angepasster und beschleunigter Regularien zur Abnahme und zum In-Verkehr-Bringen von Wasserstoff bzw. wasserstoffnutzender Infrastrukturen
- Präferierte Einführung einer großtechnischen, grünen Wasserstoffherstellung, die für FCEV erst später gebraucht wird

¹⁶ Nationale Leitstelle Ladeinfrastruktur (2020): Ladeinfrastruktur nach 2025/2030: Szenarien für den Markthochlauf. Studie im Auftrag des BMVI.

CHANCEN	HERAUSFORDERUNGEN/RISIKEN
<ul style="list-style-type: none"> • Mit dieser Handlungsempfehlung kann eine Serienproduktion in Deutschland entstehen, die zu einer Kostensenkung in der Produktion führt (s. positive Erfahrungen mit den japanischen und koreanischen Fahrzeugen in Kundenhand). • Sicherung von Arbeitsplätzen, z. B. durch den Aufbau von Elektrolyseanlagen • In Asien, insbesondere China, liegt ein größerer Entwicklungsfokus als in Deutschland auf FCEV. Anbieter wasserstoffbasierter Technologien können durch die dortigen Entwicklungen aufgrund von Export, etc. profitieren. • Wasserstoff als speicherbarer Energieträger vereinfacht den Transport erneuerbarer Energien. • Die Verwendung von Wasserstoff in Nfz (und auch anderen Industriezweigen) führt zu Synergieeffekten durch den Aufbau von Großinfrastruktur und Distributionsnetzwerken. • Beschleunigung der Einführung der Wasserstofftechnologie allgemein 	<ul style="list-style-type: none"> • Der Aufbau von Elektrolyseuren zur Herstellung von grünem Wasserstoff kann sich aufgrund widriger Rahmenbedingungen verzögern. Die erforderlichen Wasserstoffspeicher- und -verteilungs-Infrastrukturen entstehen nicht schnell genug (AG 5). • Andere Sektoren (z. B. zentrale Großabnehmer wie Mineralöl- oder Stahlindustrie) benötigen die verfügbare Menge grünen Wasserstoffs, um ihre CO₂-Ziele zu erreichen. Die Zahlungsbereitschaft im Verkehr ist aktuell jedoch höher als in anderen Sektoren. • Derzeit ist das Modellangebot von FCEV-Fahrzeugen noch gering.

HANDLUNGSEMPFEHLUNG 2.V: DEFINITION DES ZIELZUSTANDS FÜR N1-FAHRZEUGE IN FORM VON CHECKPOINTS UND MASSNAHMEN ZUR ERLEICHTERUNG DES BETRIEBS ELEKTRISCHER N1-FAHRZEUGE

Analog zum Förderprogramm zu xEV bei Pkw ist ein Rahmen zur Messung der Wirksamkeit der angewandten Maßnahmen zur Elektrifizierung von leichten Nutzfahrzeugen (Fahrzeugklasse N1 bis 3,5 t zulässigem Gesamtgewicht (zGG)) erforderlich. Damit kann ein Ziel für N1-Fahrzeuge in Form von Checkpoints festgelegt werden.

Weiterhin ist ein besseres Verständnis für die Bedürfnisse der Fahrzeugnutzerinnen und Fahrzeugnutzer notwendig, um den Markt für leichte Nutzfahrzeuge und seine Dynamik zu verstehen, eine anwendergerechte Elektrifizierung der Fahrzeugflotten zu empfehlen und voranzutreiben sowie um den LIS-Ausbau bedarfsgerecht zu gestalten (Schnittstelle zu AG 5).

Die N1-Flottenbetreiberinnen und -betreiber sollten, sofern sie Elektrofahrzeuge für ihre Flotte anschaffen, angemessen auf die geänderten Bedingungen beim Flottenbetrieb reagieren können und keine Wettbewerbsnachteile haben. Regulatorische Rahmenbedingungen können die Hindernisse für Flottenbetreiberinnen und -betreiber minimieren. Flankierende, regulatorische Maßnahmen zur Erleichterung des Betriebs elektrischer N1-Fahrzeuge tragen

dazu bei, umweltbedingte Vorteile von N1-Elektrofahrzeugen in der betrieblichen Logistik zu nutzen (zum Beispiel durch die Verringerung von Kosten durch Lieferungen auch außerhalb der Öffnungszeiten). Nordrhein-Westfalen ist derzeit jedoch das einzige Bundesland, das neben Privatpersonen auch Unternehmen beim Aufbau eigener, intelligenter, nicht öffentlich zugänglicher Ladepunkte finanziell unterstützt.

Elektrifizierte leichte Nutzfahrzeuge eignen sich insbesondere für den Verteilerverkehr oder für kurze Strecken und entsprechen somit den Anforderungen beispielsweise von Handwerksbetrieben oder kommunalen Flotten. Hohe Anschaffungskosten (in der Regel 50% höher als bei den Varianten mit Verbrennungsmotor) sind das Hauptargument gegen elektrische N1-Fahrzeuge. Zudem gibt es immer noch eine geringe Verfügbarkeit von elektrischen N1-Fahrzeugen, insbesondere im Niedrigpreisbereich. Daher setzen derzeit im Regelfall, trotz Subventionen, nur ausgewählte mittlere und große Unternehmen elektrische N1-Fahrzeuge ein.

Die Ladeinfrastruktur ist immer noch begrenzt. Im Jahr

2018 waren nur 12 bis 13 % der für 2025 geschätzten erforderlichen Infrastruktur installiert.¹⁷

Anfang 2020 gab es im Bestand 2,7 Mio. N1-Fahrzeuge. Jährliche Neuzulassungen fanden im Umfang von circa

297.000 (2019) statt. Der Einsatz von elektrifizierten leichten Nutzfahrzeugen ist von fahrzeugtechnischer Seite unproblematisch. Der Aufbau der benötigten Ladeinfrastruktur ist jedoch nicht so zügig, wie angesichts der prognostizierten und benötigten Kapazitäten notwendig wäre.

BESCHREIBUNG HANDLUNGSEMPFEHLUNG 2.V

Der Hochlauf der E-Mobilität für leichte Nutzfahrzeuge (N1) soll über die Definition von Checkpoints mit quantitativen und qualitativen Zielen abgesichert werden:

- Checkpoint 2024: 12 % xEV Anteil (BEV, PHEV) prozentualer Anteil an der gesamten N1-Flotte
- Checkpoint 2028: 26 % xEV Anteil (BEV, PHEV)
- Checkpoint 2030: 35 % xEV Anteil (BEV, PHEV)

Zur Verbesserung der Akzeptanz von xEV bei N1 sollen die nachfolgenden regulatorischen Maßnahmen auf ihre Eignung geprüft werden:

- Einfahrbestimmungen erweitern, z. B. Fußgängerzonen, damit Elektrofahrzeuge in längeren Zeitfenstern liefern können.
- Förderung und Erlaubnis des Einsatzes von Elektrofahrzeugen für nächtliche Lieferungen in städtischen Gebieten.
- Parkplätze für Elektrofahrzeuge (xEV) in Zonen einrichten, in denen logistische Operationen notwendig sind.

Es sollen Aufwände für Prozessumstellungen gefördert werden, die die Einführung von E-Mobilität zum Ziel haben.

CHANCEN

- Die Zielvorgaben können flexibel auf veränderte Kundenanforderungen angepasst werden.
- Die Checkpoints erleichtern die Aufgabe, die Bemühungen von Interessengruppen wie Batterie- und Fahrzeugherstellern zu koordinieren, indem sie einen klaren Maßstab für den Erfolg anderer Maßnahmen liefern.
- Regulatorische Maßnahmen verbessern die logistischen Abläufe durch den Einsatz von Elektrofahrzeugen, ohne dass erhebliche Investitionen dafür erforderlich sind.
- Erhöhung der Attraktivität von Unternehmen, die Elektrofahrzeuge an potenzielle Fahrerinnen und Fahrer anpassen. Diese könnten von einer einfacheren Lieferabwicklung profitieren (z. B. mit reservierten Parkzonen).
- Verbesserung der Verkehrs-, Luftqualitäts- und Lärmbedingungen in städtischen Gebieten, in denen die Maßnahmen durchgeführt werden.
- Möglichkeit zur Verkürzung der Lieferzeiten (speziell für die Lieferung von Lebensmitteln). Damit die Chance auf eine Erhöhung der Kundenzufriedenheit und der Gewinne für Unternehmen schaffen, die Elektrofahrzeuge einsetzen.

HERAUSFORDERUNGEN/RISIKEN

- Es werden die gleichen Risiken wie die in Handlungsempfehlung 2.I identifiziert.
- Der Zielzustand spiegelt keine Marktprognose wider, sodass seine Machbarkeit bewertet werden muss (Schnittstelle zur AG 1).
- Die derzeitigen Finanzierungsprogramme für die Anschaffung von elektrifizierten Nutzfahrzeugen könnten allein nicht ausreichen, um die Ziele zu erreichen (Budget von ca. 50 Mio. Euro).
- Die Gewährleistung einer frühzeitigen Einführung der Elektromobilität in allen Sektoren kann umfangreiche mehrstufige Anreize erfordern.
- Eine schnelle lokale Erhöhung der Anzahl an xEV kann auf zu langsamen LIS-Ausbau oder unzulängliche Stromversorgung treffen.
- Ggf. entstehen erhöhte Betriebskosten durch Lieferung in Abend- und Nachtstunden; zudem könnte die Belegschaft dies ablehnen.
- Der Zeithorizont für die Verabschiedung regulatorischer Maßnahmen hängt stark vom politischen Klima in den einzelnen Regionen des Landes bzw. der jeweiligen Städte ab.

¹⁷ ICCT (2020): Regional charging infrastructure requirements in Germany through 2030.

HANDLUNGSEMPFEHLUNG 2.VI: BESSERES VERSTÄNDNIS FÜR DIE BEDÜRFNISSE DER VERBRAUCHERINNEN UND VERBRAUCHER UND IHRER VERHALTENSWEISEN UND FÖRDERUNG VON INITIATIVEN UND F&E ZUR VERBESSERUNG DES BETRIEBS VON N1-Fahrzeugen

Es existieren zahlreiche Untersuchungen zu nicht gewerblichen Kundinnen und Kunden beziehungsweise zur Nutzung von Pkw.¹⁸ Für den Bereich der N1-Fahrzeuge sind hingegen nur begrenzt Daten verfügbar. Durch eine Analyse der vor-

handenen Benutzergruppen von leichten Nfz sowie deren Nutzungsmustern können typische Anwendungsfälle erkannt werden. Dadurch kann ein breiteres Verständnis für die Nutzung von N1-Fahrzeugen entstehen.

BESCHREIBUNG HANDLUNGSEMPFEHLUNG 2.VI

Auf der Grundlage von Studien sollen alle wichtigen Benutzergruppen von N1-Fahrzeugen identifiziert und ihre Anwendungsfälle charakterisiert werden. Bestehende Studien sollen neu aufgelegt werden. Diese Markt- und Nutzungsstudien sind regional durchzuführen und auf logistische Prozesse auszurichten.

Auf Basis dieser Studien sollen die Planungen für die notwendige Ladeinfrastruktur angepasst und ggf. Finanzierungsprogramme ausgeweitet werden, die den Kauf von Elektro-N1-Fahrzeugen für kleine und mittlere Unternehmen unterstützen.

Den Aufbau von öffentlichen Datenbanken für Flottenmanagement und Nutzung bzw. Betreiben von LIS soll in Form von Forschungsprojekten gefördert werden.

Eine Förderung von Forschungsprojekten in den Bereichen der städtischen Vernetzung (z. B. Standardisierung, Kommunikationstechnologie) soll kontinuierlich erfolgen.

¹⁸ DLR, IVT und infas 360 (2018): Mobilität in Deutschland (im Auftrag des BMVI);

KIT (2020): Deutsches Mobilitätspanel (MOP) – Wissenschaftliche Begleitung und Auswertungen Bericht 2019/2020: Alltagsmobilität und Fahrleistung.

CHANCEN	HERAUSFORDERUNGEN/RISIKEN
<ul style="list-style-type: none"> • Ein Verständnis des Marktes führt zur einfachen Identifizierung der genauen Zielgruppe. • Durch gezielte Kampagnen kann den Nutzerinnen und Nutzern der Vorteil der Elektrifizierung der Fahrzeugflotte aufgezeigt werden, wodurch die Nachfrage nach N1 xEV erhöht werden kann. • OEM können durch das gewonnene Wissen über die Nutzung der N1 ihre Produktpalette an die Kundinnen und Kunden anpassen. • Verbesserte Methoden zur Einholung von Feedback von Nutzerinnen und Nutzern können entwickelt und zur Erreichung anderer Ziele angewandt werden. • Die Zusammenarbeit mit Handelskammern kann zu einer besseren Kommunikation mit den Anwenderinnen und Anwendern und einer schnelleren Übernahme von Technologien führen. • Tools zum Flottenmanagement helfen, optimale Ladestrategien zu implementieren und Anforderungen an das Stromnetz zu glätten. • Öffentlich aufgebaute und breit genutzte Datenbanken der LIS führen zu einer erhöhten Versorgungssicherheit und besserer Nutzung der Netzkapazität und außerdem zur Erkennung von Engpässen und dadurch dem Ausbaubedarf. • Für die Nutzerinnen und Nutzer bringt eine Datenbank Verbesserungen im Betrieb ihrer Elektroflotte, z. B. die Möglichkeit, Ladestellen zu reservieren, was die Qualität ihrer Planung erhöht. • Verbesserung des logistischen Betriebs durch Cloud-Computing-Lösungen für „große Datenmengen“ (z. B. Kartierung der städtischen Infrastruktur für eine effektivere Logistik). 	<ul style="list-style-type: none"> • Für kleinere Entitäten können die Fahrzyklen (Gewohnheiten) zu zersplittert sein, um gebündelt zu werden. • Durch Betreiben einer N1-E-Fahrzeugflotte kann das Errichten einer eigenen LIS notwendig werden. Dieses Investment darf kein Ausschluss-kriterium für die Elektrifizierung sein. • Sollte keine bundesweite Förderung für nicht-öffentliche Ladepunkte eingeführt werden, wird die öffentliche Ladeinfrastruktur zusätzlich belastet.

HANDLUNGSEMPFEHLUNG 2.VII: TECHNOLOGIEBEWERTUNG DURCH TCO-BETRACHTUNGEN ERGÄNZEN

Wirtschaftliche Überlegungen (Kaufpreis, TCO – Total Cost of Ownership) spielen bei der Anschaffung von neuen Fahrzeugen, insbesondere im gewerblichen Bereich, bei einer Kaufentscheidung eine sehr wichtige Rolle. Elektrofahrzeuge werden derzeit als zu teuer empfunden. Aus

diesem Grund sind von der Politik Unterstützungsmaßnahmen für den Kauf eines Elektrofahrzeugs eingeführt worden. Derzeit ist allerdings noch nicht konkret abschätzbar, wann und in welchem Maß die produktseitigen Kosten eine solche Kaufprämie kompensieren.

BESCHREIBUNG HANDLUNGSEMPFEHLUNG 2.VII

Die im Rahmen der NPM erarbeiteten Technologiebewertungen der Fahrzeugantriebe sollen durch regelmäßige TCO-Betrachtungen ergänzt werden.

CHANCEN	HERAUSFORDERUNGEN/RISIKEN
<ul style="list-style-type: none"> • TCO-Betrachtungen ermöglichen die Abschätzung eines nutzerorientierten Förderungsbedarfs bzw. ermöglichen eine Bewertung der Effizienz verschiedener Förderungsoptionen. • TCO-Betrachtungen ermöglichen eine ganzheitliche Sicht und unterstützen Entscheidungsprozesse 	<ul style="list-style-type: none"> • Validität der Ergebnisse kann durch variable Faktoren beeinflusst werden, z. B. künftige Strompreise.

HANDLUNGSEMPFEHLUNG 2.VIII: SEKTORÜBERGREIFENDE LEBENSZYKLUSANALYSE DER BETRACHTETEN TECHNOLOGIEN

Im Klimaschutzplan und Klimaschutzgesetz liegt der Fokus auf THG-Minderungen in den einzelnen Sektoren. Eine ganzheitliche Betrachtung und vor allem Bewertung findet somit nur bedingt statt. Studien zur Lebenszyklusanalyse, die auch die CO₂-Äq.-Emissionen bei der Produktion, beim Recycling sowie zur Schaffung der erforderlichen Infrastruktur und bei der Bereitstellung von Kraftstoffen und elektrischer Energie berücksichtigten, sind komplex. Die Ergebnisse sind stark von den getroffenen Annahmen ab-

hängig. Hierdurch ergibt sich aktuell eine breite Streuung der Ergebnisse von verschiedenen Studien zu Lebensdauerbewertungen – teils sogar innerhalb einzelner Studien, wenn darin verschiedene Szenarien betrachtet werden.

Die ganzheitlichen THG-Auswirkungen durch die Elektrifizierung sind von weiteren Faktoren, die außerhalb des Verkehrssektors liegen, abhängig.¹⁹

BESCHREIBUNG HANDLUNGSEMPFEHLUNG 2.VIII

Es sollen sektorübergreifende Lebensdauerbewertungen der betrachteten Technologien erstellt werden, um durch deren Berücksichtigung weniger ein Verschieben als vielmehr eine ganzheitliche Minderung von THG-Emissionen zu unterstützen.

CHANCEN	HERAUSFORDERUNGEN/RISIKEN
<ul style="list-style-type: none"> • Durch eine ganzheitliche Betrachtung wird eine höhere gesamte THG-Minderung ermöglicht als bei einer rein sektorspezifischen Betrachtung. Das Risiko einer Verschiebung anstelle einer Minderung der THG-Emissionen wird reduziert. 	<ul style="list-style-type: none"> • Die Gesetzeslage erfordert derzeit eine sektorspezifische Minimierung der THG-Emissionen, sodass THG-Minderungsziele von der Politik sektorenspezifisch vorgegeben werden. • Systemgrenzen sind sehr weit und die Berechnungen entsprechend komplex.

¹⁹ Europäische Kommission (2020): Determining the environmental impacts of conventional and alternatively fuelled vehicles through LCA. Final Report for the European Commission, DG Climate Action.

3 ANTRIEBSWECHSEL SCHWERE NUTZFAHRZEUGE

3.1 ALLGEMEINE AUSGANGSSITUATION

Im Jahr 2019 hat die Europäische Union erstmals eine Verordnung zur Reduktion der CO₂-Emissionen für den Straßengüterverkehr erlassen. Daher müssen bestehende Antriebskonzepte durch Null-Emissionen-Technologien bis 2030 in großem Umfang ergänzt werden. Die Regulierung setzt dabei Schwerpunkte auf das in Europa dominante Sattelzug-Segment, sodass Technologien insbesondere auf dessen Nutzungsprofil (Fernverkehr, hohe Nutzlast, hohe Reichweite etc.) abgestellt sein müssen. Hierbei ist sowohl auf die Anwendung im Fahrzeug als auch auf die notwendige Infrastruktur zu achten. Ein gesamteuropäischer Ansatz für diese flächendeckende Infrastruktur vergrößert die Potenziale für die zu entwickelnden Technologien für Lkw und Busse.

Eine Erhöhung der Reichweiten wird durch kombinierte alternative Technologien möglich. Die Initialisierung unterstützender, regulatorischer Rahmenbedingungen ist daher eine notwendige Voraussetzung, um die CO₂-Reduktion im

Straßengüterverkehr zu erreichen. Dazu zählt zum Beispiel eine Unterstützung bei weiteren Maßnahmen zum Betrieb von Nutzfahrzeugen mit alternativen Antrieben und Kraftstoffen (zum Beispiel bezüglich Schulungen, Erstellung von Regelwerken, Test- und Genehmigungsverfahren).

Das auf dem Nutzfahrzeuggipfel am 10. November 2020 vorgestellte Konzept des BMVI²⁰, in dem alle von der AG 2 als machbar erachteten alternativen Technologien und die Kombination dieser dargestellt sind, bildet eine wichtige Grundlage bei der Formulierung der nachfolgenden Handlungsempfehlungen. Dieses Konzept vertieft die Untersuchung der drei wesentlichen Technologien (batterie-, brennstoffzellen- und oberleitungselektrisch) und sieht vor, um 2024 eine Pfadentscheidung herbeizuführen.

Der Erdgas-Antriebstechnologie im Lkw/Bus wird in dem vom Verkehrsministerium verfolgten Ansatz eine Brückentechnologie zugeschrieben, die Mitte der Dekade ausläuft.

FAHRPLAN MAßNAHMEN DES BMVI

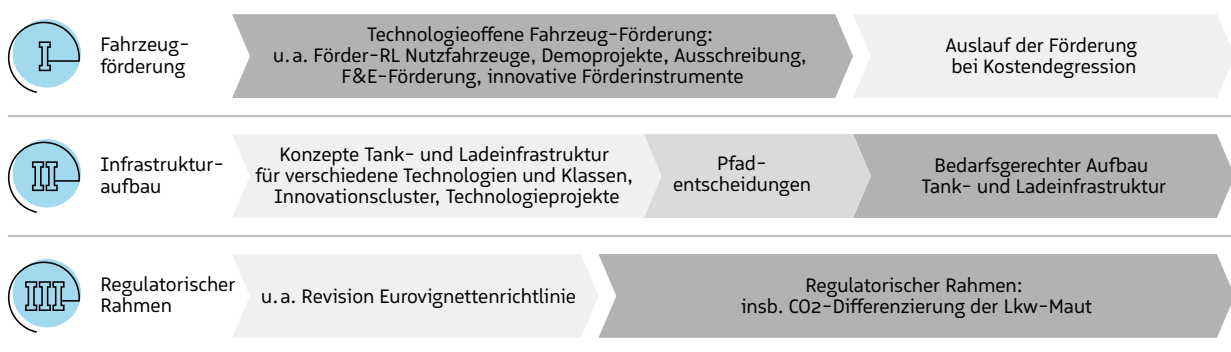


Abbildung 2: Das Zusammenspiel der Fahrpläne der Antriebstechnologie und Maßnahmen (Quelle: BMVI (2020): Gesamtkonzept klimafreundliche Nutzfahrzeuge; Mit alternativen Antrieben auf dem Weg zur Nullemissionslogistik auf der Straße²¹)

²⁰ BMVI (2020) Gesamtkonzept klimafreundliche Nutzfahrzeuge. Mit alternativen Antrieben auf dem Weg zur Nullemissionslogistik auf der Straße.

²¹ BMVI (2020) Gesamtkonzept klimafreundliche Nutzfahrzeuge. Mit alternativen Antrieben auf dem Weg zur Nullemissionslogistik auf der Straße.

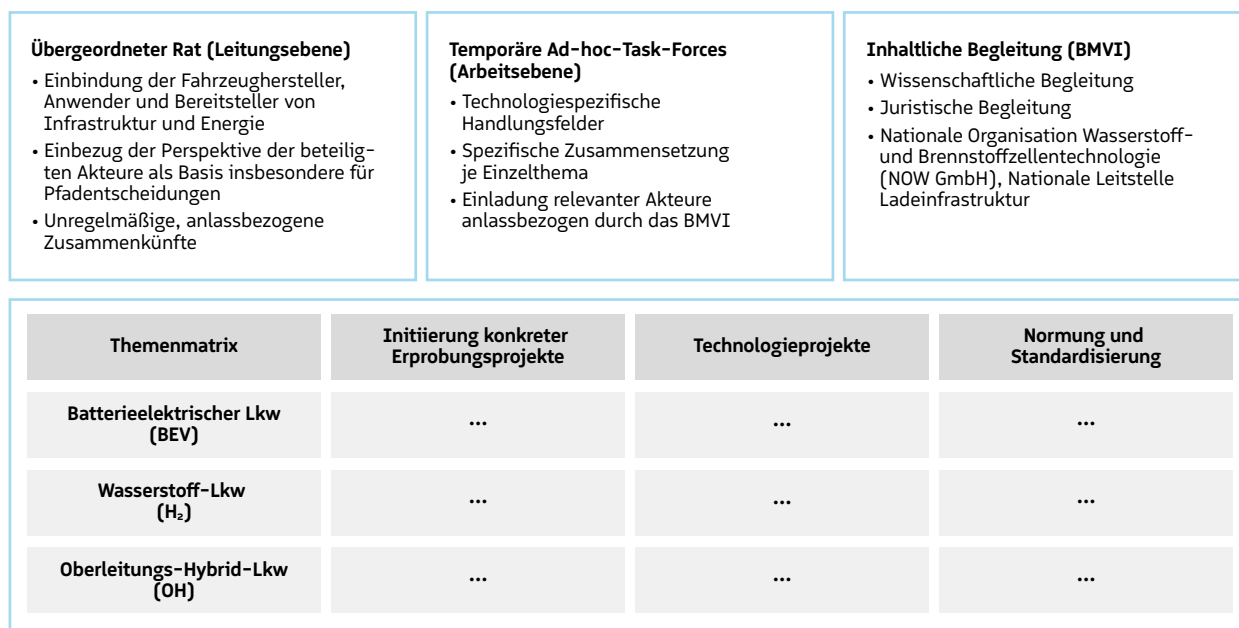


Abbildung 3: Die Organisationsstruktur der gemeinsamen Umsetzung (Quelle: BMVI (2020): Gesamtkonzept klimafreundliche Nutzfahrzeuge; Mit alternativen Antrieben auf dem Weg zur Nullemissionslogistik auf der Straße²²)

Der Fokus dieses Kapitels der Roadmap liegt auf schweren Nfz im Straßenverkehr. Für Off-Highway-Anwendungen (Flurförderzeuge, mobile Arbeitsmaschinen etc.) gibt es ebenfalls Forschungen zum Einsatz alternativer Antriebe





und Kraftstoffe. Eine tiefergehende Betrachtung der Off-Highway-Anwendungen kann in der vorliegenden Roadmap allerdings nicht umgesetzt werden.

3.2 BESCHREIBUNG DES ERWARTETEN MARKTHOCHLAUFS

Der Nutzfahrzeugbereich zeichnet sich durch unterschiedliche Technologiebewertungen der Nutzfahrzeughersteller aus. Aufgrund der divergierenden Perspektiven kann ein Markthochlaufszenario nicht dargestellt werden.

Die erarbeiteten Handlungsempfehlungen sind im Folgenden in einer Übersicht zusammengestellt und werden im darauffolgenden Kapitel ausführlich erläutert:

²² BMVI (2020) Gesamtkonzept klimafreundliche Nutzfahrzeuge. Mit alternativen Antrieben auf dem Weg zur Nullemissionslogistik auf der Straße.

ZIEL	HANDLUNGSEMPFEHLUNG	KONKRETISIERUNG
Neuzulassungen BEV-, PHEV-, FCEV-, Oberleitungs-Lkw erhöhen 	Ökonomische Anreize für BEV schaffen	<ul style="list-style-type: none"> • Kaufprämien einführen • Flexible Förderung einrichten • Steuerreduktion für grünen Ladestrom einführen • Nutzungsspezifische, individuelle Einsatzkonzepte und Consulting fördern
	Ökonomische Anreize für FCEV schaffen*	<ul style="list-style-type: none"> • Kaufprämien einführen • Flexible Förderung einrichten
	Oberleitungsinfrastruktur ausbauen*	<ul style="list-style-type: none"> • Infrastruktur auf Pendelstrecken ausschreiben • Basisnetz schaffen • Grenzüberschreitende Strecken umsetzen • Anreize durch CO₂-Komponente in Lkw-Maut schaffen
	Wasserstoffinfrastruktur aufbauen	<ul style="list-style-type: none"> • Co-Finanzierung der Investitionskosten • Genehmigung von Anlagen vereinfachen
LNG/CNG-Lkw fördern 	LNG/CNG-Lkw von Lkw-Maut befreien*	

* Diese Handlungsempfehlung wird nicht von allen Mitgliedern der AG 2 mitgetragen.

Abbildung 5: Übersicht Handlungsempfehlungen Antriebswechsel bei schweren Nutzfahrzeugen (Quelle: eigene Darstellung)

3.3 HANDLUNGSEMPFEHLUNGEN ZUR ERREICHUNG DES ERWARTETEN MARKTHOCHLAUFS

HANDLUNGSEMPFEHLUNG 3.I: MARKTHOCHLAUF VON BATTERIEELEKTRISCHEN SCHWEREN NUTZFAHRZEUGEN

Batterieelektrische Lkw weisen aufgrund der noch relativ kostenintensiven Batterien höhere Anschaffungskosten auf als konventionelle Lkw. Lkw im Verteilereinsatz lassen sich dabei aufgrund der geringeren Anforderungen an die Reichweite leichter mit Batterien elektrifizieren.

Für die Langstrecke hingegen müssen sehr große Batterien zum Einsatz kommen, um die täglichen Distanzen von 400 bis 500 km abdecken zu können. Sollte diese Reichweite nicht genügen, so können die Batterien der Fahrzeuge auf Langstrecken zwischengeladen oder die tägliche Distanz der Reichweite bei der Einsatzplanung entsprechend be-

rücksichtigt werden. Für rein batterieelektrisch betriebene Lkw mit hohen täglichen Fahrleistungen ist eine Schnelllade- oder Oberleitungsinfrastruktur erforderlich.

Ziel der vorgeschlagenen Maßnahmen ist es, den Markthochlauf in der aktuellen Phase zu unterstützen und somit das Erreichen der technischen und wirtschaftlichen Tragfähigkeit von batterieelektrischen Fahrzeugen in einem breiten Anwendungsfeld zu beschleunigen.

Dazu bedarf es einer Senkung der Produktions- und Betriebskosten für die Fahrzeuge sowie einer Erhöhung der Reichweite durch die Entwicklung von Batterien mit höherer Energiedichte. Dies muss im Wesentlichen dadurch geschehen, dass frühzeitig eine breite Anwendung gelingt, die zu hohen Stückzahlen führt.

BESCHREIBUNG HANDLUNGSEMPFEHLUNG 3.I

Es sollen ökonomische Anreize zur Förderung von rein batterieelektrischen Nutzfahrzeugen geschaffen werden, um die TCO zu senken:

- Senkung der Anschaffungskosten mittels effektiver Kaufprämien sowie durch Fördermechanismen, die auch auf Fahrzeugleasing anwendbar sind (bis ca. 2030).
 - Berücksichtigung der unterschiedlichen Fahrzeugsegmente durch flexible Förderung (z. B. Quote auf die Mehrkosten ggü. konventionellen Fahrzeugen; dabei ist ein effektiver Förderhebel, 80 % der Investitionsmehrkosten, wie bei Elektrobussen im ÖPNV, zu erstatten).
 - Steuerreduktion für den Ladestrom, sofern dieser zu 100 % aus erneuerbaren Quellen kommt.
 - Förderung der Erstellung von nutzungsspezifischen, individuellen Einsatzkonzepten und Consulting (Beispiel: Förderprogramm „Emissionsarme Mobilität“ über PROGRES.NRW).
-

CHANCEN

- Verhältnismäßig leichte Lkw (3,5 t bis 7,5 t als Teil der Fahrzeugklasse N2), aber auch das Segment der (mittel-)schweren Lkw (z. B. bis zu 26 t zGG) werden häufig für mittlere Reichweiten eingesetzt, was einen batterieelektrischen Antrieb realistischer macht. Seriennahe Umrüstungen ermöglichen eine Etablierung des BEV-Nutzfahrzeugmarktes.
- Ein fallender Preis für Batterien (€/kWh) senkt die Anschaffungskosten für moderne Fahrzeuge und erleichtert den Markteintritt. Neue Batterietechnologien mit hoher Energiedichte ermöglichen mit geeigneter Ladeinfrastruktur ausreichende Reichweiten für den Fernverkehr mit täglichen Distanzen bis zu 500 km ohne nachzuladen.
- Batterien weisen auf Pack- wie auf Zellebene noch signifikantes Potenzial zur Steigerung der Energiedichte und Gewichtsreduktion auf. Wenn ausreichend Infrastruktur bereitgestellt und auf Langstrecken regelmäßig genutzt wird, besteht in vielen Fällen großes Potenzial, günstige Energiekosten zu erreichen.
- Eine Berücksichtigung und Elektrifizierung von Trailern als entkoppelbare Antriebsmaschine könnte zur Erhöhung der Gesamteffizienz beitragen.
- Alternative Antriebskombinationen von Batterien und Stromabnehmern bzw. Brennstoffzellen profitieren zusätzlich von Verbesserungen der Batterietechnologie.

HERAUSFORDERUNGEN/RISIKEN

- Bei sehr schweren Lkw werden hohe Reichweiten benötigt, was sich aufgrund der begrenzten Energiedichte von Batterien ohne Schnelllade- oder Oberleitungsinfrastruktur (Schnittstelle zur AG 5) kaum realisieren lässt.
 - Aktuell sind die Kosten für Importe, z. B. für Zellen und/oder Rohstoffe, noch sehr hoch und stammen zum Teil aus Ländern mit kritischen Arbeitsbedingungen. Zudem trägt vor allem die erste Batteriegeneration zur Ressourcenverknappung bei (Bedarf an Recycling).
 - Eine begrenzte Auswahl an Serienfahrzeugen kann die Marktdurchdringung bis 2030 erschweren.
 - Die Verfügbarkeit von Batterie(herstell)kapazitäten (Schnittstelle zur AG 4) kann ein limitierender Faktor beim Markthochlauf werden.
-

HANDLUNGSEMPFEHLUNG 3.II: LKW MIT CNG/LNG UND REGENERATIVEN KRAFTSTOFFEN

Derzeit sind CNG- und vor allem LNG-Lkw die einzigen am Markt verfügbaren Alternativen zum Dieselantrieb im Schwerlastverkehr, die täglich hohe Fahrleistungen erbringen können. Mit dieser Technologie lassen sich schon heute CO₂-Äq.-Einsparungen realisieren, speziell mit dem Einsatz von Biomethan anstelle von fossilem Kraftstoff. Die Mischungsoptionen von fossilem Methan, Biomethan und/oder erneuerbarem, synthetischem Methan (SNG) stellen einen bedeutenden Vorteil und wesentlichen Entwicklungspfad für die Betankung von CNG- und LNG-Lkw dar.

Einige AG-2-Mitglieder lehnen die Nutzung von CNG und LNG für schwere Lkw generell ab und weisen darauf hin, dass die derzeit geltende Lkw-Mautbefreiung für diese Fahrzeuge nach EU-Recht strittig ist. Zudem wird darauf hingewiesen, dass die verfügbaren Mengen von Biomethan begrenzt sind.

Alle alternativen Antriebe und Kraftstoffe stehen vor der Herausforderung, ihren gesamtgesellschaftlichen Umweltvorteil bisher nicht in einen betriebswirtschaftlichen Vorteil für die Nutzerinnen und Nutzer der Technologien übersetzen

zu können. Wesentliche Gründe dafür liegen zum einen in den noch geringen Marktmengen, zum anderen in den politischen und steuerpolitischen Rahmenbedingungen.

Um eine langfristige Planungssicherheit (fünf bis zehn Jahre) für alle Marktakteure zu schaffen, braucht es zuverlässige Rahmenbedingungen und Anreizsysteme für Investitionen, die langfristige Unternehmensentscheidungen und Marktentwicklungen ermöglichen.

Zur geplanten Revision der europäischen CO₂-Regulierung von Lkw im Jahr 2022 gibt es unterschiedliche Positionen: Ein OEM will die Anrechenbarkeit von nachhaltigen, regenerativen Kraftstoffen auf die Flottengrenzwerte ermöglichen, alle in ACEA organisierten OEM haben sich zur Beibehaltung des derzeitigen Regulierungsdesigns (Tank to Wheel) ausgesprochen, um den Fokus auf echte Zero-Emission-Fahrzeuge zu richten (vollständige Elektrifizierungsstrategie).

Die Eurovignetten-Richtlinie erlaubt derzeit keine Mautbefreiung für lokal nicht CO₂-freie Lkw.

BESCHREIBUNG HANDLUNGSEMPFEHLUNG 3.II

Lkw, die mit Biomethan oder synthetischem Methan fahren (in Form von Druck- und verflüssigtem Methan) sollen als Zero-Emission-Vehicle gelten und von der Lkw-Maut befreit werden. Dies soll auch für schwere Lkw gelten, die mit reinem Biodiesel bzw. reinem synthetischen Diesel fahren.

CHANCEN

- Aus Sicht der Marktteilnehmerinnen und -teilnehmer im Vergleich zu den anderen Technologien sofort umsetzbar, wirtschaftlich, klimafreundlich bis hin zu klimaneutral (bei der Verwendung von Biokraftstoffen), kostengünstig und ressourcenschonend bei der Nutzung von Abfall- und biogenen Reststoffen. Das Potenzial für diese „Grünstellung“ von Biomethan und HVO muss jedoch ermittelt werden.

HERAUSFORDERUNGEN/RISIKEN

- Da die Eurovignette echte Zero-Emission-Lkw fordert, besteht dadurch die Gefahr einer Doppelanrechnung – CO₂-Kredite werden vermieden.
- Aufbau der Infrastruktur notwendig, um die Verbreitung der Nutzung zu ermöglichen.
- Steuernachteil bei Biokraftstoffen im Vergleich zu fossilem Diesel.
- CO₂-neutrales Gas muss zügig zum Einsatz kommen, um zumindest die Ziele der RED I/II zu erfüllen, insbesondere vor dem Hintergrund der Anforderungen der RED II.
- Die Zeitachse zur Einführung von strombasiertem Methan ist unklar. Die Wasserstofftechnologie ist Voraussetzung. Importe von synthetisch hergestelltem Methan sind erst zu organisieren.
- Der Gesamtwirkungsgrad einer PtG/PtL-Anlage ist schlechter als die Produktion von Wasserstoff durch Elektrolyse. Dafür sind synthetische Kraftstoffe leichter transportierbar. Synthetische Kraftstoffe sind in der Produktion kostenintensiver als grüner Wasserstoff.

HANDLUNGSEMPFEHLUNG 3.III: BAU VON OBERLEITUNGEN MIT ZIEL 4.000 KM BIS 2030

Der Oberleitungs-Lkw befindet sich derzeit im Rahmen von mehreren Forschungsprojekten in Feldtests. Das System läuft auf deutschen Autobahnen zurzeit in zwei Demonstrationseinsätzen; eine dritte Strecke auf einer vierspurigen Landstraße befindet sich im Aufbau und soll ab 2021 den Fahrbetrieb aufnehmen. Für anspruchsvolle Topografien oder hohe Fahrzeugdichten liegen Simulationen vor.

Der Nachweis der Kombinierbarkeit mit unterschiedlichen Antriebssystemen wurde erbracht²³.

In Studien wird das System auf elektrifizierungswürdigen Strecken sowohl aus einer betriebs- als auch volkswirtschaftlichen Perspektive als wirtschaftlich vorteilhaft bewertet; eine breite Nutzerakzeptanz, geringe Stromkosten, eine Finanzierung des Systems als integraler Bestandteil der Straßeninfrastruktur und eine entsprechende Fahrzeugverfügbarkeit vorausgesetzt.²⁴

Das CO₂-Einsparpotenzial beträgt bis zu 100 % bei einer Fahrt unter der Oberleitung, außerhalb der Oberleitung

steht die Einsparung in Abhängigkeit des jeweiligen hybriden Antriebskonzepts. Die Verwendung mehrerer Antriebssysteme treibt jedoch sowohl Entwicklungs- als auch variable Kosten der Fahrzeuge. Entscheidend dürfte jedoch sein, wie hoch der Gesamtabsatz dieser Fahrzeugtechnologie sein wird. Im Nutzfahrzeugbereich gelten fünfstellige Produktionsmengen jährlich als Minimumvoraussetzung für eine Wirtschaftlichkeit.

Ein markthochlaufbegleitendes Finanzierungs- und Abrechnungskonzept liegt vor. Es wurde eine sehr hohe Gesamtsystemeffizienz in Verbindung mit der Erreichung der Klimaschutzziele im Straßengüterverkehr festgestellt.²⁵

Einige AG-2-Mitglieder unterstützen die Einführung von Oberleitungs-Lkw nicht.

Das BMVI wird sich bei der Novellierung der Eurovignettenrichtlinie auf europäischer Ebene für eine CO₂-Differenzierung der Lkw-Maut einsetzen. Ziel ist die Einführung dieser Maßnahme ab 2023.

BESCHREIBUNG HANDLUNGSEMPFEHLUNG 3.III

Es sollen ca. 500 km Oberleitungsinfrastrukturprojekte u. a. auf geeigneten Pendelstrecken ausgeschrieben und vergeben werden, um die Umsetzbarkeit in anspruchsvollen Einsätzen (u. a. Aufbau einer Teststrecke mit anspruchsvoller Topografie und Test mit hohen Fahrzeugdichten) nachzuweisen. Es soll darauf aufbauend eine Verbindung der Pendelstrecken zu einem elektrifizierten Basisnetz von 3.000 bis 4.000 km bis 2030 geschaffen werden.

- Grenzüberschreitende Strecken (auf dem TEN-T-Autobahnnetz) sollen frühzeitig umgesetzt werden.
 - Der Oberleitungs-Lkw soll in die Fortschreibung relevanter EU-Direktiven (z. B. RED, AFID) aufgenommen werden.
-

²³ Siemens (2018): eHighway SoCal Final Report, Construction of a 1 Mile Catenary System and Develop & Demonstrate Catenary Electric Trucks.

²⁴ Fraunhofer ISI/Fraunhofer IML/PTV/M-Five/TU HH (2017): Machbarkeitsstudie zur Ermittlung der Potenziale des Hybrid-Oberleitungs-LKW. BDI (2018): Klimapfade für Deutschland; Umweltbundesamt (2017): Erarbeitung einer fachlichen Strategie zur Energieversorgung des Verkehrs bis zum Jahr 2050 Endbericht. ICCT (2017): Transitioning to Zero-Emission Heavy-Duty Freight Vehicles.

²⁵ Fraunhofer IIS/PTV Group/ifeu (2018): Roadmap OH-Lkw: Potentialanalyse 2020–2030

CHANCEN	HERAUSFORDERUNGEN/RISIKEN
<ul style="list-style-type: none"> • Hoher Klimaschutzbeitrag für schwere Nutzfahrzeuge durch hohen Wirkungsgrad im Oberleitungsbetrieb • Wertschöpfung in Deutschland: <ul style="list-style-type: none"> › Aufbau der Infrastruktur/Baumaßnahmen (KMU) › Potenziale für Fahrzeugindustrie (OEM und Zulieferer) › Geschäftsmodelle für Betreiber/Hersteller/Energieversorger • Eine schnelle Umsetzung auf Basis vorhandener Lieferketten ist möglich. • Planungssicherheit für die deutsche Industrie mit Signalwirkung für europäischen/internationalen Markt. • Kombinierbar als hybride Antriebsalternative, da nachweislich kompatibel mit anderen Antriebssystemen/Entwicklungen im Straßengütertransport und somit flexibel nutzbar. • Technische Standardisierung erfolgt bereits auf europäischer Ebene. • Hohes Exportpotenzial für deutsche Unternehmen im Weltmarkt. • Ein Teil der AG-2-Mitglieder meint, dass die volkswirtschaftlichen Kosten im Vergleich bezogen auf die CO₂-Vermeidungskosten zu anderen Technologien am niedrigsten seien.²⁶ 	<ul style="list-style-type: none"> • Technologisch: <ul style="list-style-type: none"> › Energieversorgung unter hoher Last (z. B. Anfahren von 50 Lkw bergauf in einem kurzen Streckenabschnitt) muss sichergestellt werden • Umsetzung: <ul style="list-style-type: none"> › Erreichung der Ziele erfordert schnelles Handeln (politische Entscheidung, Vergabe, Planung) › Kapazitäten bei den beteiligten Gewerken • Sollte gegen einen Aufbau von Oberleitungsinfrastruktur im Rahmen von Planfeststellungsverfahren geklagt werden, so droht lokal/abschnittsweise Zeitverzug um viele Jahre. • Gesellschaftliche Akzeptanz muss gestärkt werden. • Europäische Anschlussfähigkeit muss gegeben sein. • Verfügbarkeit der Lkw • Zeitliche Verzögerung der Erstellung und damit Verfehlung der 2030 Ziele • Umweltrisiken wurden noch nicht vollständig erfasst. • Ein anderer Teil der AG-2-Mitglieder vertritt die Meinung, dass die volkswirtschaftlichen Kosten des Oberleitungs-Lkw im Vergleich bezogen auf die CO₂-Vermeidungskosten zu anderen Technologien höher seien.²⁷

HANDLUNGSEMPFEHLUNG 3.IV: MARKTHOCHLAUF VON BRENNSTOFFZELLEN-NUTZFAHRZEUGEN

In den letzten beiden Dekaden haben umfangreiche Entwicklungen, vor allem im Pkw-Bereich, in der Brennstoffzellentechnik alle prinzipiell kritischen Themen wie zum Beispiel Kaltstartfähigkeit bei -20°C, Massenproduktion etc. gelöst. Nutzfahrzeuge bringen zwar neue Herausforderungen wie die Lebensdauer etc. mit sich, doch hierfür wurden ebenso Lösungsansätze erarbeitet. Auf der Basis dieser Fortschritte und den allgemeinen Fortschritten im Wasserstoffbereich weltweit, haben einige Hersteller angekündigt, in dieser Dekade noch Serienfahrzeuge mit Brennstoffzelle und Wasserstoff auf den Markt zu bringen. Dies geht einher mit neuen Entwicklungen in der Wasserstoff-Speichertechnik. So könnten nach Erwartung einiger Hersteller mit flüssigem Wasserstoff oder Hochdruckspeichern hohe Reichweiten von über 700 km erreicht werden. Dabei sind schnelle Tankprozesse für flüssigen Wasserstoff generell möglich und für Busse (350 bar) sowie für Pkw

(700 bar) bereits realisiert. Allen elektrischen Antriebskonzepten wie auch den Wasserstoff-Brennstoffzellen-Nutzfahrzeugen (H₂-BZ-Nfz) ist gemein, dass sie aufgrund der relativ kostenintensiven Antriebsbestandteile und Wasserstofftanks höhere Anschaffungskosten aufweisen als konventionelle Fahrzeuge. Um eine Erhöhung des Flottenanteils von H₂-BZ-Nfz zu erreichen, ist es erforderlich:

- Produktions- und Betriebskosten von Brennstoffzellenfahrzeugen zu senken,
- eine (deutsche) Wasserstoffenergiewirtschaft zu etablieren.

Die bereits heute schon existierenden H₂-Tankstellen sind überwiegend nur für die Pkw-Betankung geeignet. Eine H₂-Tankinfrastruktur für Lkw, die sich an den Erfordernissen

²⁶ BDI (2018): Klimapfade für Deutschland.

²⁷ FCH/Roland Berger (2020): Fuel Cells Hydrogen Trucks. Heavy-Duty's High Performance Green Solution.

des Straßengüterverkehrs orientiert (Tankstellen für flüssigen Wasserstoff und für Druckwasserstoff mit 700 bar und 350 bar), muss erst errichtet werden.

Einige Mitglieder der AG 2 sind der Meinung, dass aufgrund

der um ein Vielfaches höheren TCO-Kosten im Vergleich zu Fahrzeugen mit direkter Nutzung der elektrischen Energie auf eine flächendeckende Einführung von Brennstoffzellenfahrzeugen im Bereich der schweren Nutzfahrzeuge verzichtet werden sollte.

BESCHREIBUNG HANDLUNGSEMPFEHLUNG 3.IV

Es sollen ökonomische Anreize zur Förderung von brennstoffzellenelektrischen Nutzfahrzeugen geschaffen werden, um die TCO zu senken:

- Senkung der Akquisitionskosten mittels effektiver Kaufprämien sowie durch Fördermechanismen, die auch auf Fahrzeugleasing anwendbar sind, z. B. 80 % der Investitionsmehrkosten förderfähig (wie bei Elektrobussen im ÖPNV) – perspektivisch bis 2030
 - Berücksichtigung der unterschiedlichen Fahrzeugsegmente durch flexible Förderung,
 - z. B. durch Quote auf die Mehrkosten gegenüber einem konventionellen Fahrzeug
-

CHANCEN

- Unter der Voraussetzung der ausreichenden Verfügbarkeit von nachhaltig erzeugtem Wasserstoff für den Transportsektor (ggf. aus internationaler H₂-Versorgung) ist bereits 2030 ein vollständig klimaneutraler Betrieb von schweren Nfz möglich.
- Brennstoffzellenfahrzeuge sind besonders für den Schwerlastverkehr (Lkw 40/44to zGG) mit hohen Reichweitenanforderungen geeignet.
- Deutschland und Europa verfügen über ein hohes Know-how im Bereich der Brennstoffzellen und Elektrolyse. Ein Markthochlauf wird regionale Wertschöpfung sichern und damit Arbeitsplätze schaffen.
- Wasserstoff ist ein Schlüsselement im zukünftigen Energiesystem und kann durch den Einsatz im Verkehrssektor Synergien durch den Aufbau eines globalen H₂-Versorgungssystem schaffen und so eine Leitfunktion übernehmen. Im Straßengüterverkehr kann durch seine hohe zu erwartende Abnahmemenge eine kontinuierliche Nachfrage initiiert werden.
- Es besteht hohes Exportpotenzial für deutsche Unternehmen im Weltmarkt, da beispielsweise die EU, China, Südkorea oder Japan in ihren Wasserstoffstrategien die Etablierung von Wasserstoff als zentralen Energieträger festgehalten haben.

HERAUSFORDERUNGEN/RISIKEN

- Eine Kostenreduktion von H₂-BZ-Nfz erfolgt zu langsam, zudem sinken die Wasserstoffkosten nicht schnell genug.
 - Nationale wie internationale Versorgungsketten für grünen Wasserstoff werden nicht schnell genug aufgebaut und es besteht somit eine Konkurrenz der Sektoren um grünen Wasserstoff, die erst nach und nach durch Schaffung weltweit zusätzlicher Herstellungs- und Transportkapazitäten verringert werden kann.
-

HANDLUNGSEMPFEHLUNG 3.V: UNTERSTÜTZUNG FÜR DEN AUFBAU VON WASSERSTOFFINFRASTRUKTUR FÜR SCHWERE NUTZFAHRZEUGE

Mit Bekanntgabe der Wasserstoffstrategie im Sommer 2020 sowie dem Einsetzen des Nationalen Wasserstoffrates (NWR) hat die Bundesregierung einen langfristigen Weg zur Implementierung einer Wasserstoffwirtschaft eingeschlagen. Die Stellungnahme des NWR zur Umset-

zung der RED II in bundesdeutsches Recht zeigt bereits, welche Bedeutung dem Lkw im Wasserstoffbereich zugeordnet wird. Die finanziellen Aufwände zum Aufbau von Wasserstoffinfrastruktur sind zwar aktuell noch relativ hoch, insbesondere wenn die Herstellung der Strombe-

reitstellung und die logistische Verteilung von H₂ einbezogen wird. Auf der Infrastrukturseite sind aber bereits jetzt erhebliche Investitionen in Anlagen zur Wasserstoff-erzeugung, -transport und -betankung angekündigt. Entlang der Bereitstellungskette von Wasserstoff bis zu den Endkundinnen und Endkunden sind je nach Konstellation verschiedene Stakeholder zu integrieren (Schnittstelle zu AG 5). Die Standardisierung bei der Nutzung von H₂ im Lkw muss vorangetrieben werden (Schnittstelle mit AG 6).

Speziell bei der künftigen Nutzung in schweren Lkw ist es von höchster Relevanz, dass zeitnah eine einheitliche Linie hinsichtlich der angestrebten Transport- und Speicherform des Wasserstoffs eingeschlagen wird (gasförmig oder flüssig, Drucklevel), um die Kosten zu begrenzen und die Verfügbarkeit zu maximieren sowie hohe tägliche

Fahrleistungen zu ermöglichen. Die Nutzung von flüssigem Wasserstoff wird von der AG 5 skeptisch gesehen, da sie sehr teuer und technisch aufwendig ist.

Die Erzeugung, der Transport und der Verbrauch finden zum Teil in unterschiedlichen Kontinenten und Ländern statt. Politische Initiativen können privatwirtschaftliche Investitionen sinnvoll flankieren.

Skaleneffekte sind von hoher Bedeutung für den Wasserstoffpreis und die Umlage der Infrastrukturkosten. Neuere Studien gehen davon aus, dass um 2030 das Preisniveau von grünem Wasserstoff im günstigsten Fall bei vier bis fünf Euro je kg an der Tankstelle liegen kann.²⁸ Infrastrukturbetreibern kommen dabei die bei Lkw typischen hohen Fahrleistungen und somit Abnahmemengen entgegen – nur 15.000 H₂-BZ-Fernverkehrs-Lkw haben den gleichen Wasserstoffbedarf wie eine Million BZ-Pkw. Ziel der Maßnahme ist somit, den Aufbau von entsprechender Erzeugungs-, Logistik- und Tankinfrastruktur zu unterstützen und zu beschleunigen.

BESCHREIBUNG HANDLUNGSEMPFEHLUNG 3.V

- Förderung der Investitionskosten unterschiedlicher Infrastrukturkomponenten unter Berücksichtigung aller damit zusammenhängenden Kosten (bauliche Maßnahmen, Kosten für Großanlagen etc.)
 - Die Genehmigung von Anlagen und technisches Regelwerk hinsichtlich der Infrastruktur für H₂-Lkw sollte vereinfacht bzw. zeitnah entwickelt werden, u. a. sollte Transport- und Speicherform des Wasserstoffs vereinheitlicht werden
-

CHANCEN

- Durch Anreize von Investitionen in Großanlagen und Betankungsinfrastruktur sinken durch Skaleneffekte die Kosten pro kg Wasserstoff, was wiederum den Markthochlauf positiv beeinflusst.
- Wasserstoff unterstützt als Speichermedium die Sektorkopplung und kann helfen, die Schwankungen bei erneuerbaren Energien auszugleichen.
- Insbesondere flüssiger Wasserstoff bietet als molekularer Energieträger hoher Dichte und ähnliche Energieimportmöglichkeiten, wie das heutige Energiesystem. Eine entsprechende Infrastruktur kann die erneuerbare, nationale Energieversorgung absichern.

HERAUSFORDERUNGEN/RISIKEN

- Wichtige Aspekte hinsichtlich der Standardisierung und technischen Reife zur Nutzung von H₂ im Lkw sind noch zu erarbeiten (u. a. flüssig, gasförmig, Druck).
 - Die Rentabilität der Investitionen in die Wasserstoffinfrastruktur hängt davon ab, ob sich die Technologie durchsetzen wird. Dies wiederum ist abhängig u. a. von der Verfügbarkeit von grünem Wasserstoff.
 - Für einen flächendeckenden Transport großer Mengen H₂ gibt es schon technische Lösungen. Für den Transport über das bestehende Erdgasnetz bzw. Tankschiffe sind noch technische Lösungen zu entwickeln.
-

²⁸ König, A./Nicoletti, L./Schröder, D./Wolff, S./Waclaw, A./Lienkamp, M. (2021): An Overview of Parameter and Cost for Battery Electric Vehicles, in: World Electric Vehicle Journal, 12, 21; Hydrogen Council/McKinsey (2021): Hydrogen Insights. A perspective on hydrogen investment, market development and cost competitiveness.

HANDLUNGSEMPFEHLUNG 3.VI: UNTERSTÜTZUNG FÜR VERSCHIEDENE ARTEN VON LADEINFRASTRUKTUR

Prinzipiell gibt es verschiedene Ansätze, wie das Laden von batterieelektrischen Nutzfahrzeugen gestaltet werden kann, die alle je nach Fahrzeugnutzung von großer Wichtigkeit sind:

- das Laden an nicht-öffentlicher Ladeinfrastruktur, häufig über Nacht im eigenen Depot.
- das Laden während des Be- und Entladens des Fahrzeugs, zum Beispiel am Tor eines zu beliefernden Unternehmens (Gelegenheitsladen an ggf. öffentlicher Ladeinfrastruktur).
- das Laden an öffentlicher Ladeinfrastruktur (öffentliches Laden), zum Beispiel an einer öffentlichen Schnellladestation bei langen Fahrstrecken (vorzugsweise während der Lenkzeitpause) oder während der Fahrt an einer ausreichend langen Oberleitungsstrecke.

Das ideale Ladeverhalten hängt sehr vom individuellen Anwendungsfall ab, zum Beispiel der Route mit Fahr- und Standzeiten, der Kundenkonstellation, den örtlichen Gegebenheiten am Ziel und entlang des Weges sowie den Kosten für verschiedene Ladeoptionen etc. Beim Einsatz von BEV-Lkw und BEV-Bussen besteht eine starke Abhängigkeit zum Vorhandensein beziehungsweise zu den Nutzungskosten einer LIS. Die finanziellen Aufwände zum Aufbau von Ladeinfrastruktur (LIS) sind aktuell noch relativ hoch, insbesondere wenn umfangreiche Maßnahmen in Verbindung mit dem Netzanschluss notwendig sind.

Mit Blick auf die Nutzung von BEV-Lkw und deren Anwendungsfall ist es zunächst wichtig, das Laden in den Depots voranzubringen und eine öffentliche LIS für BEV-Lkw im Kontext mit den Erstanwendungen aufzubauen. Aus dieser Situation heraus ergibt sich aus Sicht der AG 2 eine Handlungsempfehlung mit Bezug auf die Themenstellung der AG 5 der NPM.²⁹

BESCHREIBUNG HANDLUNGSEMPFEHLUNG 3.VI

Der Aufbau von öffentlicher Schnellladeinfrastruktur in Rückkopplung mit dem geplanten Fahrzeughochlauf (z. B. auf Basis von Clean-Room-Gesprächen) sowie eine weitere Erhöhung der Ladeleistung von Ultra High Power Chargern (z. B. 700 kW, solange CCS genutzt wird, max. 500 kW möglich; wenn MCS da ist, dann 750 kW–1 MW) soll mittels staatlicher Anschubfinanzierung gewährleistet werden.

- Förderung der Investitionskosten von unterschiedlicher Ladeinfrastruktur (privat, öffentlich) unter Berücksichtigung aller damit zusammenhängender Kosten (bauliche Maßnahmen, Ausbau des Netzanschlusses etc.), Unterstützung bei den laufenden Kosten durch Ladeinfrastruktur (z. B. Charge-Management-Systeme, ggf. mittels Ausschreibungsmodell), um die Kopplung mit dem Energiesystem zu verbessern.
 - Erprobung und Feldversuche zum Potenzial des bidirektionalen Ladens und dessen Rückwirkungen mit dem Energiesystem (Schnittstelle AG 6 – Standardisierung)
 - In Bezug auf die Netzanforderungen/geplante Leistungen ist eine frühzeitige Einbindung der Netzbetreiberinnen und -betreiber eine zentrale Aufgabe, um Standorte zu realisieren bzw. für eine zügige und bedarfsgerechte Umsetzung.
-

²⁹ NPM AG 5 (2020): Ladeinfrastruktur für batterieelektrische Lkw.

CHANCEN	HERAUSFORDERUNGEN/RISIKEN
<ul style="list-style-type: none"> • Durch die Berücksichtigung und Bereitstellung der verschiedenen Arten von Ladeinfrastruktur kann sich das Nutzungsverhalten entsprechend den gesetzten Randbedingungen optimieren. • Realisierung von BEV für den Fernverkehr durch öffentliche Schnellladeinfrastruktur und/oder Oberleitungen. 	<ul style="list-style-type: none"> • Wirtschaftlichkeit der Ladeinfrastruktur bzgl. Aufbau und Betrieb bei nicht bedarfsgerechtem Aufbau • Strategien für Nutzung von erneuerbarem Strom sind zu entwickeln. • Netzanschlusskosten sowie die Koordination des LIS-Aufbaus mit den jeweiligen Stromnetzbetreibern • Dauer der Umsetzung bzw. geringer zeitlicher Vorlauf für behördliche Genehmigungsprozesse, Netzanschluss, LIS-Aufbau, d. h. Koordinierungsbedarf mit Energieversorgern, Netzinfrastruktur und Kommunen • Flächenverfügbarkeit, z. B. für den Aufbau von LIS • Ein sich nicht wie erwartet entwickelnder Fahrzeughochlauf aufgrund eines parallel erfolgenden Hochlaufs einer anderen Technologie (z. B. H₂)

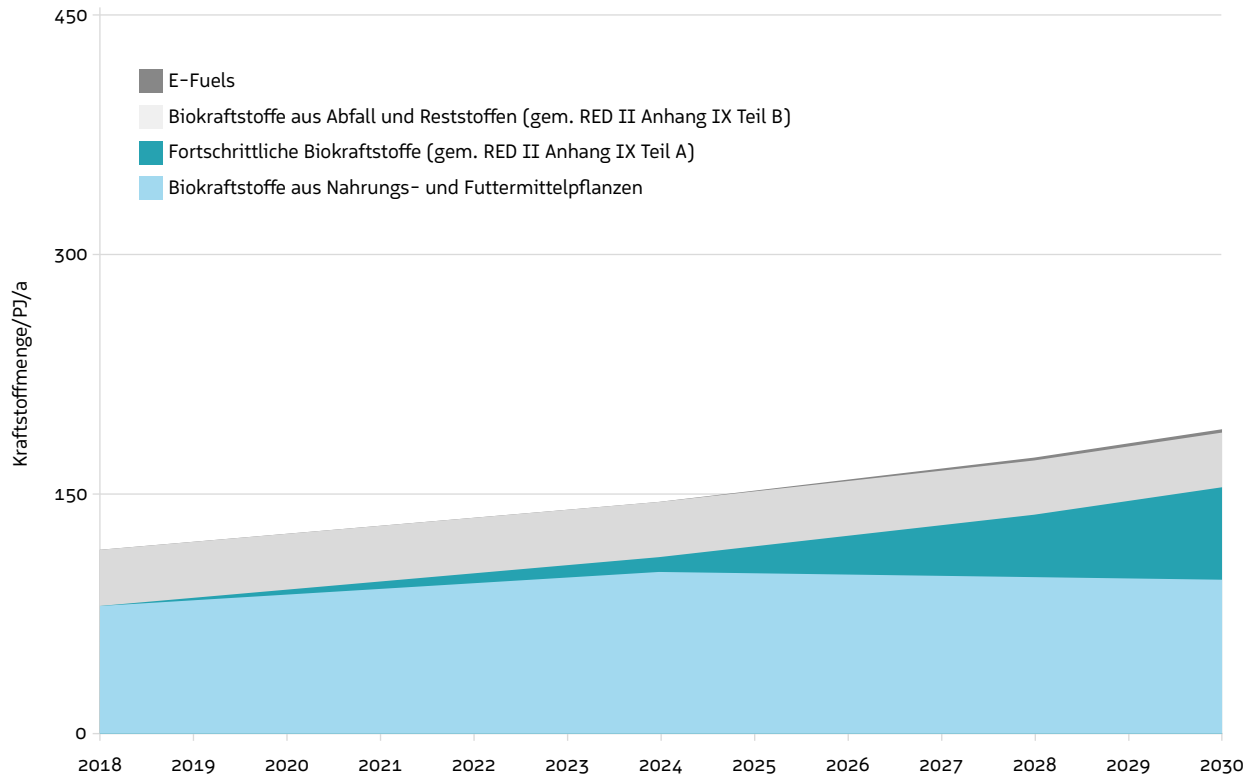
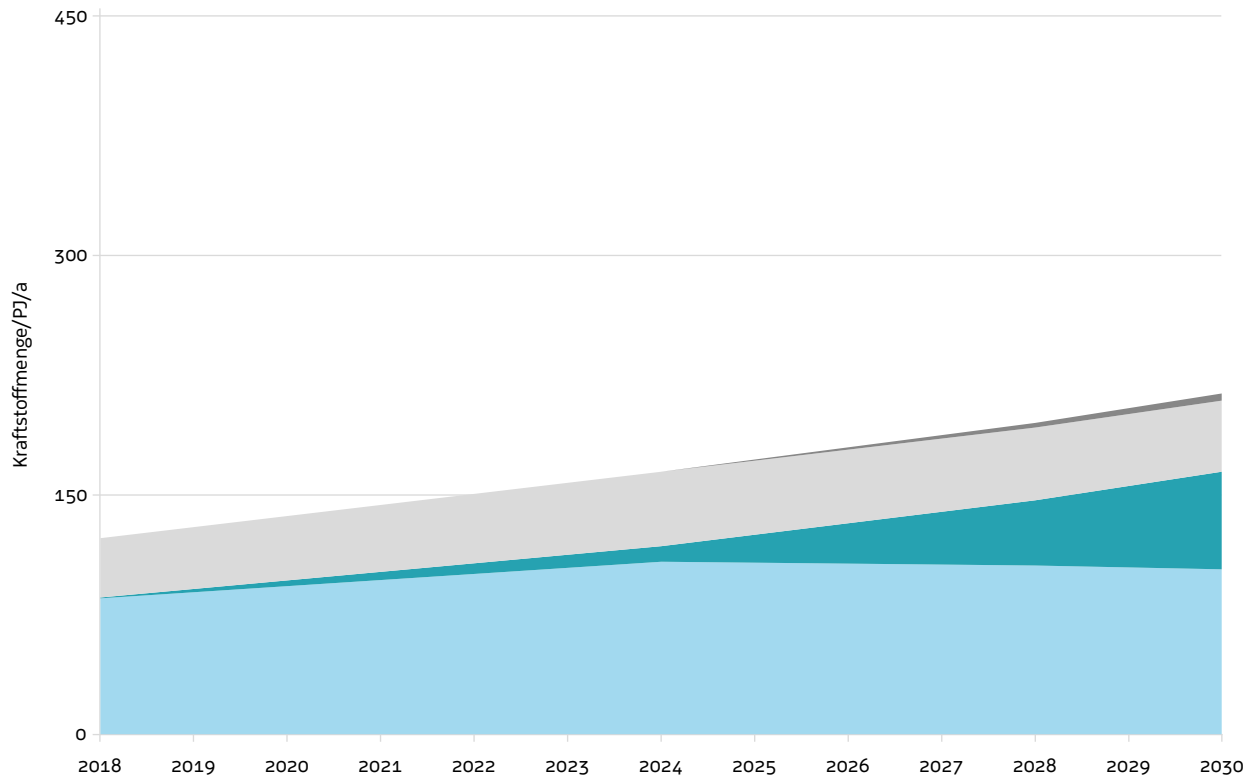
4 ALTERNATIVE KRAFTSTOFFE: BIOKRAFTSTOFFE UND E-FUELS

STRASSENVERKEHR

4.1 BESCHREIBUNG DES ERWARTETEN MARKTHOCHLAUFS

Biokraftstoffe sind bereits seit vielen Jahren im Rahmen von Beimischquoten integraler Bestandteil des Kraftstoffabsatzes in Deutschland. Im Jahr 2019 waren knapp fünf Prozent der im Verkehrssektor eingesetzten Kraftstoffe biogenen Ursprungs und tragen damit aktuell zu einem wichtigen Teil zur CO₂-Minderung im Verkehrssektor bei. Neben Biokraftstoffen aus Nahrungs- und Futtermittelrohstoffen sowie aus Abfall- und Reststoffen können in

den nächsten Jahren vermehrt sogenannte fortschrittliche Biokraftstoffe, die bislang nicht verwertete Biomasse als Rohstoffe nutzen (zum Beispiel Stroh oder Holzabfälle) und strombasierte Kraftstoffe auf Basis erneuerbarer Energien beziehungsweise solarbasierte Kraftstoffe (sogenannte E-Fuels) einen Anteil leisten. Die AG 2 der NPM hat für den Markthochlauf von Biokraftstoffen und von E-Fuels die folgenden drei Szenarien betrachtet (Abbildung 6):

SZENARIO 1: UMSETZUNG BEREITS BESCHLOSSENER MAßNAHMEN**SZENARIO 2: UMSETZUNG ZUSÄTZLICHER MAßNAHMEN**

SCENARIO 3: AMBITIONIERTE UMSETZUNG ALLER VERFÜGBAREN OPTIONEN

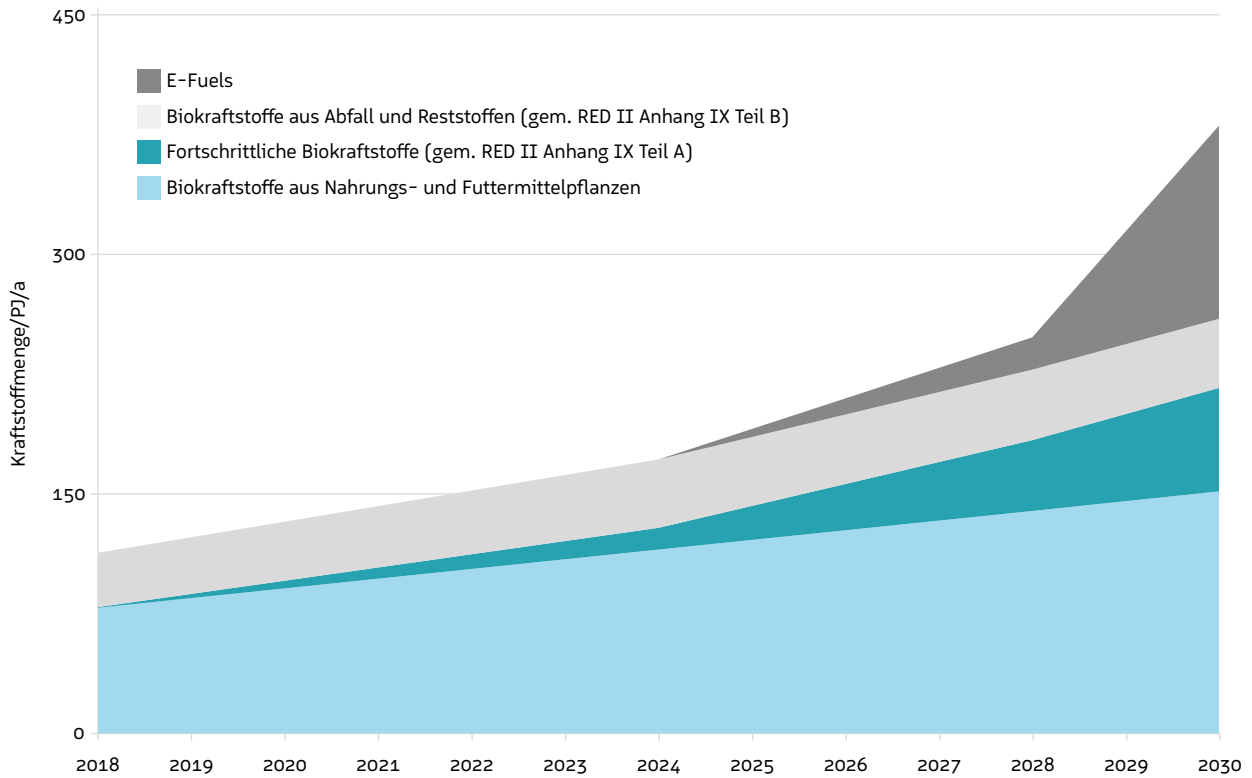


Abbildung 6: Szenarien für den möglichen Markthochlauf alternativer Kraftstoffe (Stand: Februar 2021, basierend auf dem Kabinettsbeschluss zu BImSchG und BImSchV) (Quelle: eigene Darstellung)

Im Szenario 1 (Umsetzung bereits beschlossener Maßnahmen) werden für Biokraftstoffe lediglich der aktuelle Status quo beziehungsweise die Mindest- und Obergrenzen der aktuell diskutierten nationalen Umsetzung der RED II angenommen. Die leichte Steigerung der zur Verfügung stehenden Menge alternativer Kraftstoffe ist in diesem Szenario vor allem auf die Mindestquote für fortschrittliche Biokraftstoffe gemäß Annex IX Teil A der RED II zurückzuführen. E-Fuels werden nur als Koppelprodukte der PtL-Quote aus der Luftfahrt betrachtet.³⁰ In Szenario 2 (Umsetzung weiterer Maßnahmen) werden die Maxima der RED II ausgenutzt (vor allem in Hinblick auf Kraftstoffe aus Abfall- und Reststoffen gemäß Annex IX Teil B) beziehungsweise der Status quo von Kraftstoffen aus Anbau-biomasse erhalten. In diesem Szenario werden außerdem

E-Fuels für die Luftfahrt über die PtL-Quote hinausgehend bereitgestellt³¹ und es fallen in entsprechend höherer Menge Koppelprodukte an, die im Straßenverkehr und in der Schifffahrt verwendet werden könnten. Erst in Szenario 3 (Ambitionierte Umsetzung aller verfügbarer Optionen) würden eigene Erzeugungskapazitäten von E-Fuels für den Straßenverkehr aufgebaut werden.³² In diesem Szenario finden Biokraftstoffe über die Werte aus der RED II hinaus Anwendung.

Einige Mitglieder der AG 2 sind der Auffassung, dass es nur mit dem Ziel des ambitionierten Szenarios gelingen wird, die CO₂-Emissionsminderung des Verkehrs bis 2030 der Bundesregierung umzusetzen. Andere Mitglieder teilen diese Auffassung nicht und lehnen den Einsatz zusätzlicher



³⁰ Annahme: Herstellung von PtL-Kerosin über die Fischer-Tropsch-Route, Kerosin-Ausbeute 60 bis 80%, 20 bis 40% Diesel (Verwendung bspw. im Güterfernverkehr oder in der Schifffahrt), Benzin (Verwendung bspw. in Pkw) und sonstige Stoffe als Koppelprodukte.

³¹ Annahme: Aufbau von drei Anlagen mit 100.000 t/a Erzeugungskapazität bis 2028, fünf Anlagen mit Erzeugungskapazität von 100.000 t/a bis 2030 (vgl. Werkstattbericht Alternative Kraftstoffe der NPM AG 1).

³² Annahme: Je fünf Anlagen mit Schwerpunkt Verkehrskraftstoffe bzw. Luftfahrttreibstoffe in 2028 (Kapazität 100.000 t/a), je 10 Anlagen mit Schwerpunkt Verkehrskraftstoffe bzw. Luftfahrttreibstoffe in 2030 (Kapazität 250.000 t/a)

erneuerbarer Kraftstoffe ab. Sie befürchten, dass bei dem weiteren Auf- und Ausbau von Kapazitäten zur Produktion von Biokraftstoffen und E-Fuels die Gefahr von unerwünschten Lock-in-Effekten wächst, die wiederum den notwendigen beschleunigten Markthochlauf der Elektromobilität bei Pkw sowie bei leichten Nutzfahrzeugen, Lkw für den Verteilverkehr und bei Bussen verlangsamen und

zudem die knappen verfügbaren erneuerbaren Strommengen nicht effizient nutzen. Somit sind einige der nachfolgenden Ziele und Handlungsempfehlungen unter den Mitgliedern der AG 2 umstritten. Einen Überblick über die erarbeiteten Handlungsempfehlungen für den Straßenverkehr gibt folgende Grafik:

ZIEL	HANDLUNGSEMPFEHLUNG	KONKRETISIERUNG
Fortschrittliche Biokraftstoffe und E-Fuels fördern, Nutzerakzeptanz unterstützen 	Großindustrielle Anlagen für fortschrittliche Biokraftstoffe für alle Verkehrsträger fördern*	<ul style="list-style-type: none"> • Forschung und Aufbau fördern • Nachhaltigkeitszertifizierung von Biokraftstoffen weiterentwickeln
	Großindustrielle Anlagen für E-Fuels für den Straßenverkehr*, für die Luftfahrt und für die Schifffahrt fördern	<ul style="list-style-type: none"> • Forschung und Aufbau fördern • Zertifizierungsverfahren und Nachhaltigkeitskriterien entwickeln
	Wasserstoffinfrastruktur aufbauen	
Bestehende Flotte klimafreundlich betreiben 	Kompatibilität von Verbrennungsmotoren mit alternativen Kraftstoffen nutzen und erhöhen*	

* Diese Handlungsempfehlung wird nicht von allen Mitgliedern der AG 2 mitgetragen.

Abbildung 7: Alternative Kraftstoffe im Straßenverkehr – Übersicht über die Handlungsempfehlungen (Quelle: eigene Darstellung)

4.1 HANDLUNGSEMPFEHLUNGEN ZUR ERREICHUNG DES ERWARTETEN MARKTHOCHLAUFS

HANDLUNGSEMPFEHLUNG 4.I: FÖRDERUNG GROSSINDUSTRIELLER ANLAGEN FÜR BOKRAFTSTOFFE

Um die CO₂-Minderungsziele zu erreichen, soll der heutige Anteil von Kraftstoffen aus Anbaubiomasse mindestens fortgeführt werden. Dies kann im Rahmen der RED II-Umsetzung erfolgen. Einige Mitglieder sehen auch weitere Potenziale, durch die der Anteil von Kraftstoffen

aus Biomasse erhöht werden kann, sofern sich diese nicht nachteilig in Bezug auf Landnutzung und Produktion von Nahrungs- und Futtermitteln auswirken. Im Rahmen der RED II Umsetzung soll ein Mindestbeitrag für fortschrittliche Biokraftstoffe gemäß Anhang IX Teil A sowie für

abfallbasierte Biokraftstoffe gemäß Anhang IX Teil B so gestaltet werden, dass die technische Entwicklung gefördert und der Aufbau von großindustriellen Anlagen angereizt wird. Eine Ausphasung von Biokraftstoffen mit hohem Risiko für indirekte Landnutzungsänderungen (iLUC), wie

zum Beispiel Palmöl, soll schnellstmöglich, spätestens jedoch gemäß RED II bis 2030 erfolgen. Unterschiedliche Erfüllungsoptionen der THG-Quote sollen nicht zu einem Verdrängungswettbewerb führen, sondern sich sinnvoll ergänzen.

BESCHREIBUNG HANDLUNGSEMPFEHLUNG 4.I

- Die Forschung zu und der Aufbau von großindustriellen Anlagen für fortschrittliche Biokraftstoffe soll gefördert werden.
 - Existierende Nachhaltigkeitszertifizierungen von Biokraftstoffen, inkl. Kontrollen, sollen weiterentwickelt werden, um die Nutzerakzeptanz zu unterstützen.
-

CHANCEN

- Weiterführung und ggf. Ausbau der Nutzung vorhandener Biomasse-potenziale und Produktionsanlagen für Biokraftstoffe aus Anbaubiomasse, um sie als Sockel für die weitere Entwicklung erneuerbarer Kraftstoffe zu nutzen

HERAUSFORDERUNGEN/RISIKEN

- Verträglichkeit von Kraftstoffen mit Verbrennungskraftmaschinen und Abgasnachbehandlungsanlagen in Kraftfahrzeugen, v. a. bei hohen Blend-Anteilen von Biokraftstoffen (>B7, >E20)
 - Herstellkosten und/oder die Verfügbarkeit geeigneter Biomasse
 - Nutzerakzeptanz (Herkunftsnachweis, Einhaltung überprüfbarer Kriterien sicherstellen)
 - Sicherstellung einer flächendeckenden Verfügbarkeit
 - Negative Einflüsse durch Anbaubiomasse auf die Einhaltung von Nachhaltigkeitsaspekten (bspw. auf Naturschutz, Menschenrechte, Wasserversorgung, Kostengerechtigkeit)
 - Verbrennungsmotoren sollen nur dann mit alternativen Kraftstoffen betrieben werden, wenn diese Kraftstoffe nachweislich insgesamt (well-to-wheel) nachhaltiger und treibhausgasärmer sind als fossile Kraftstoffe.
-

HANDLUNGSEMPFEHLUNG 4.II: FÖRDERUNG GROSSINDUSTRIELLER ANLAGEN FÜR E-FUELS

Die Technologie zur Herstellung von E-Fuels soll weiterentwickelt werden, damit das hierfür notwendige Know-how und die Anlagentechnik für hohe Produktionsmengen entwickelt und exportiert werden können.

Ein wichtiger Aspekt ist die Etablierung von CO₂-Quellen zum Beispiel aus nachhaltiger Biomasse oder Direct-Air-Capture-Verfahren. Welche CO₂-Quellen im Rahmen der RED II angerechnet werden können, wird zurzeit auf europäischer Ebene geprüft.

BESCHREIBUNG HANDLUNGSEMPFEHLUNG 4.II

- Die Forschung zu und der Aufbau von großindustriellen Produktionsanlagen soll gefördert werden. Für den Markthochlauf werden erneuerbare Stromquellen für die Elektrolyse benötigt. Diese sind zusätzlich zu realisieren und verursachergerecht zu finanzieren.
 - Es sollen Zertifizierungsverfahren und Nachhaltigkeitskriterien (inkl. Strombezugs-kriterien und Kriterien für CO₂ bzw. C-Quellen) für E-Fuels entwickelt werden, um die Nutzerakzeptanz zu unterstützen.
-

CHANCEN	HERAUSFORDERUNGEN/RISIKEN
<ul style="list-style-type: none"> • Erschließen von Kostensenkungs-potenzialen durch effizientere Produktionsanlagen und verbesserte Produktionsprozesse • Export von Anlagentechnik zur Produktion dieser Kraftstoffe in Gebiete mit kostengünstigen Erzeugungsbedingungen für erneuerbaren Strom • Import dieser E-Fuels zur Senkung der CO₂-Emissionen im Verkehr 	<ul style="list-style-type: none"> • Wettbewerbsfähigkeit infolge hoher Herstellkosten und langfristige Nachfrage nach E-Fuels im Vergleich zu fossilen und zu Biokraftstoffen sowie im Vergleich zu anderen Antriebstechnologien im Zeitrahmen 2030 bis 2050, da der Bedarf an flüssigen Kraftstoffen im Straßenverkehr langfristig abnehmen könnte. Die Fahrzeugflotten können alternative Antriebe zunehmend adaptieren. • Umweltrisiken und Risiken in Bezug auf die Verfügbarkeit – abhängig von Zero-Emission-Pfaden im Verkehr in anderen Ländern – wenn Produktionsanlagen außerhalb der EU errichtet werden • Wettbewerb zwischen Verkehrsträgern und mit anderen Sektoren könnten zu Knappheit von E-Fuels führen. • Einhaltung von Nachhaltigkeitsaspekten wie Naturschutz, Menschenrechte, Wasserversorgung, Kostengerechtigkeit, sowie Verfügbarkeit nachhaltiger C-Quellen • Nutzerakzeptanz beachten: Herkunftsnachweis und Einhaltung überprüfbarer Kriterien sicherstellen

HANDLUNGSEMPFEHLUNG 4.III: KOMPATIBILITÄT VON VERBRENNUNGSMOTOREN MIT ALTERNATIVEN KRAFTSTOFFEN

Die Kompatibilität von Verbrennungsmotoren mit alternativen Kraftstoffen schafft die technische Möglichkeit zur Minderung der CO₂-Emissionen im Betrieb von Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor. Dies kann unter anderem durch die Kompatibilität von Verbrennungsmotoren mit erhöhten Beimischungsquoten von biomassebasierten und strombasierten Anteilen in allen Kraftstoffarten erreicht werden.

Derzeit befinden sich etwa 48 Millionen Pkw mit Verbrennungsmotor im Bestand.³³ Setzt sich der Trend der derzeitigen jährlichen Neuzulassungen fort und werden keine weiteren politischen Maßnahmen, zum Beispiel zur Verkehrsvermeidung, getroffen, werden im Jahr 2030 circa 50 bis 52 Mio. Pkw im Bestand sein. Hiervon werden, unter Berücksichtigung von 10,5 bis 11,8 Mio. kumulierten Neu-

zulassungen von xEV (siehe Kapitel Antriebswechsel Pkw und leichte Nfz), bis zu 40 Mio. Pkw verbrennungsmotorisch angetrieben sein. Deren CO₂-Emissionen (well-to-wheel) lassen sich im Betrieb durch den Einsatz alternativer Kraftstoffe reduzieren. Ein sehr großer Anteil des derzeitigen Bestands an Fahrzeugen mit Ottomotor ist E10-kompatibel (Fahrzeuge ab 2015 mit höherer Kompatibilität). Der Marktanteil von Super E10 in 2019 betrug allerdings lediglich 13,7 %, wodurch sich 2019 ein durchschnittlicher Bioethanol-Anteil von 6,1 % in Ottokraftstoffen ergab (Absatz 1,07 Mio. t, inländische Produktion 0,65 Mio. t). Die resultierende THG-Minderung im Verkehrssektor im Jahr 2019 betrug somit etwa 2,2 Mio. t CO₂-Äq. Die Biodiesel-Beimischung B7 führten zu einer CO₂-Minderung im Verkehrssektor in Höhe von etwa 6 Mio. t CO₂-Äq. (inkl. Nfz) in 2019.

BESCHREIBUNG HANDLUNGSEMPFEHLUNG 4.III

Um höhere Beimischungsquoten zu erreichen, soll die Kompatibilität von Antriebssystemen mit Verbrennungsmotoren mit alternativen Kraftstoffen genutzt (ausgewählte E-Fuels) bzw. erhöht (Biokraftstoffe, oder E-Fuels wie Methanol oder OME) werden.

³³ KBA (2020): Bestand an Kraftfahrzeugen und Kraftfahrzeuganhängern nach Bundesländern, Fahrzeugklassen und ausgewählten Merkmalen, 1. Oktober 2020 (FZ 27)

CHANCEN	HERAUSFORDERUNGEN/RISIKEN
<ul style="list-style-type: none"> • THG-Minderung in der Bestandsflotte mit Verbrennungsmotor (bis zu 40 Mio. in 2030 bei konstantem Bestand, inkl. PHEV). • Flüssige Energieträger haben eine hohe gravimetrische Energiedichte und lassen sich über bestehende Transportnetzwerke verteilen. • Verwendung in Bereichen, die nicht elektrifiziert werden können, bspw. Luftfahrt und Schifffahrt. • Benziner-Flotte zu großem Teil bereits E10-kompatibel; Beimischung von bis zu 20 % biomassebasierten Kraftstoffen in Ottomotoren kann technisch ermöglicht werden. • Reduzierte Emissionen weiterer Luftschadstoffe durch biogene und synthetische Kraftstoffe.³⁴ • Ein Anrechnungssystem nachhaltiger Kraftstoffe auf Flottengrenzwerte kann die Investitionsbereitschaft in Infrastruktur zur Herstellung alternativer Kraftstoffe steigern. Einige AG-2-Mitglieder lehnen ein solches Anrechnungssystem grundsätzlich ab. 	<ul style="list-style-type: none"> • Einige AG-2-Mitglieder lehnen den Einsatz von erhöhten HEFA-Anteilen (>B7) ab. • Investitionsbedarf: THG-Minderung von Verbrennungsmotoren durch alternative Kraftstoffe benötigt Investitionen in den Aufbau von Produktionskapazitäten, welche langfristig (nach vollständiger Elektrifizierung) möglicherweise nicht mehr benötigt werden oder die diese verlangsamen. • Menge ist unzureichend, um THG-Minderungslücke zu schließen (Konkurrenzsituation mit Luftfahrt, Schifffahrt etc. möglich). • Falls nachhaltige Kraftstoffe auf die Flottengrenzwerte anrechenbar wären, könnten die Hersteller ihre Anstrengungen zur Effizienzsteigerung/Elektrifizierung mindern.

HANDLUNGSEMPFEHLUNG 4.IV: SCHAFFUNG VON WASSERSTOFF-INFRASTRUKTUR

Für grünen Wasserstoff auf Basis von Elektrolyse sollen Erzeugungskapazitäten (gemäß den Planungen in der Wasserstoffstrategie der Bundesregierung) aufgebaut werden. Gleichzeitig soll so die Wasserstofftechnologie im Verkehrssektor weiterentwickelt werden, um die aktuell

hohen Technologiekosten zu reduzieren (Serienfertigung von BZ und BZ-Stacks, Technik für Wasserstofftankstellen). Eine ausführliche Betrachtung der Infrastruktur für Wasserstoff liefert der geplante Bericht der AG 5 der NPM Infrastruktur für Wasserstoffmobilität.

BESCHREIBUNG HANDLUNGSEMPFEHLUNG 4.IV

Es soll eine Transport- und Tankstelleninfrastruktur für Wasserstoffmobilität geschaffen werden; diese soll zuerst für Erstnutzerinnen und Erstnutzer aufgebaut werden, z. B. Kommunen, Schienenpersonennah- und Regionalverkehr sowie Transportunternehmen. Später ist die Wasserstoff-Infrastruktur für alle Verkehrsträger zu errichten.

CHANCEN	HERAUSFORDERUNGEN/RISIKEN
<ul style="list-style-type: none"> • Erschließen von Kostensenkungspotenzialen durch Lernkurven bei Produktion, Wartung und Einsatzoptionen sowie verbesserte Produktionsprozesse und -anlagen • Langfristige Investition in eine Infrastruktur für Wasserstoff, der zum Erreichen der Klimaschutzziele im Verkehr bis 2050 bei bestimmten Fahrzeugen notwendig ist – u. a. Nahverkehrszüge, Nutzfahrzeuge, Pkw mit hoher Laufleistung 	<ul style="list-style-type: none"> • Hohe Technik- und Fahrzeugkosten • Frühzeitiger Aufbau der Wasserstoff-Infrastruktur

³⁴ TU Wien (2017): Weniger Feinstaub durch Bio-Ethanol im Tank.

LUFTVERKEHR

4.2 BESCHREIBUNG DES ERWARTETEN MARKTHOCHLAUFS

In der Luftfahrt ist der Einsatz nachhaltiger Treibstoffe zum Erreichen der Klimaschutzziele weitgehend unstrittig. Batterieelektrische Flugzeuge werden auch langfristig nicht die nötige Reichweite erzielen, um einen größeren Anteil der Flugstrecken bewältigen zu können. Selbiges gilt nach aktuellem Kenntnisstand auch für die Verwendung von Wasserstoff als Energieträger, entweder in Kombination mit einer Brennstoffzelle oder mit einer Gasturbine. Hier ist das Potenzial jedoch insgesamt größer zu bewerten als für Batterieelektrik.

Co-Raffination³⁵, technologischer Fortschritt, Lerneffekte und, insbesondere bei E-Fuels, Skaleneffekte lassen eine Kostendegression bei alternativen Kraftstoffen erwarten. Rohstoff- und Energieträgerverfügbarkeit sind von entscheidender Bedeutung für die Skalierbarkeit. Während Anbaubiomasse nur begrenztes Potenzial besitzt, könnten Reststoffe oder Lignocellulose große Bedarfe decken. Strombasierten Treibstoffen auf Basis erneuerbarer Energien (E-Fuels) wird das größte THG-Minderungspotenzial beimessen. Jedoch bedarf es größerer Demonstrationsan-

lagen, um vorhandene Technologien im Industriemaßstab zu erproben beziehungsweise neue Technologien zu integrieren. Nachhaltige Treibstoffe werden auf absehbare Zeit teurer bleiben als fossile Treibstoffe. Deutschland wird auf Importe, ob als Zwischen- oder Endprodukt, angewiesen bleiben. Dies gilt für Biotreibstoffe und für strombasiertes Kerosin. Einige europäische Länder haben in den letzten Jahren Quoten für nachhaltige Treibstoffe festgeschrieben beziehungsweise geplant. So wird auch in Deutschland eine Quote von strombasiertem Kerosin von zwei Prozent des deutschen Kerosinabsatzes bis 2030 im Rahmen der nationalen Wasserstoffstrategie und im Rahmen der nationalen Umsetzung der RED II diskutiert. Zu beachten ist beim Flugverkehr jedoch, dass nur Flugstrecken innerhalb Deutschlands in das deutsche THG-Budget, beziehungsweise innerhalb Europas in das europäische THG-Budget, eingehen.

Basierend auf diesen Randbedingungen wurden in der AG 2 drei verschiedene Szenarien zum Markthochlauf von nachhaltigen Treibstoffen in der Luftfahrt diskutiert:

	2018 (PJ/A)	2024 (PJ/A)	2028 (PJ/A)	2030 (PJ/A)
SZENARIO 1 – UMSETZUNG BEREITS BESCHLOSSENER MASSNAHMEN¹	0	0	4,5	9
Nur E-Fuels (gem. PtL-Quote BImSchG)				
SZENARIO 2 – UMSETZUNG WEITERER MASSNAHMEN^{1,2}	0	4	15	21,5
5 % des deutschen Kerosinabsatzes in 2030 mit erneuerbarem Kerosin (E-Fuels und Biotreibstoffe)				
SZENARIO 3 – AMBITIONIERTE UMSETZUNG ALLER ZUR VERFÜGBARKEIT STEHENDEN OPTIONEN¹	0	15,0	120,0	215,0
50 % des deutschen Kerosinabsatzes in 2030 mit erneuerbarem Kerosin (E-Fuels und Biotreibstoffe)				

Es werden verschiedene Handlungsempfehlungen vorgeschlagen, um den Markthochlauf zu fördern. Diese sind in

der folgenden Abbildung dargestellt, bevor sie im folgenden Kapitel erläutert werden:

³⁵ Co-Raffination bezeichnet die Mitverarbeitung von Ölen und flüssigen Zwischenprodukten, die über BtX- oder PtX-Routen gewonnen werden, in konventionellen Mineralö Raffinerien (z. B. Pflanzenöle und Altspeisefette, oder Zwischenprodukte aus der Fischer-Tropsch-Route). Zielprodukt sind Kraftstoffe und weitere Produkte.


ZIEL	HANDLUNGSEMPFEHLUNG	KONKRETISIERUNG
Skalierung und Markteinführung alternativer Treibstoffe 	Demonstrationsanlagen zur Erzeugung nachhaltiger Treibstoffe aufbauen	<ul style="list-style-type: none"> • Gezielte Förderung des Aufbaus • Fortschrittliche Verfahren zur Verarbeitung biogener Rohstoffe und Power-to-Liquid-Technologien demonstrieren
	Weitere Herstellungspfade von strombasiertem Kerosin zeitnah entwickeln und zertifizieren	
	Besondere Bedeutung von Wasserstoff in der Luftfahrt bei der Umsetzung der Wasserstoffstrategie berücksichtigen	
	Politische Rahmenbedingungen für den Markthochlauf nachhaltiger Treibstoffe unter Sicherstellung der Wettbewerbsneutralität schaffen	<ul style="list-style-type: none"> • FuE-Förderung, Innovations-, Investitions- und Marktanreize • Einsatzgrenzen für Biokraftstoffe aus Anbaumasse und aus pflanzlichen und tierischen Abfällen in der Gesetzgebung berücksichtigen • Realisierung von Konzepten mit großem Potenzial begünstigen • Bekannte Herausforderungen der fortschrittlichen Konzepte gezielt adressieren

Abbildung 8: Alternative Kraftstoffe im Luftverkehr – Übersicht über die Handlungsempfehlungen (Quelle: eigene Darstellung)

4.3 HANDLUNGSEMPFEHLUNGEN ZUR ERREICHUNG DES ERWARTETEN MARKTHOCHLAUFS

HANDLUNGSEMPFEHLUNG 4.V: AUFBAU VON DEMONSTRATIONSANLAGEN

Es sind bereits sieben Verfahren zur Herstellung von nachhaltigem Treibstoff (plus Co-Raffination) zertifiziert. Weitere Verfahren befinden sich im Qualifizierungsprozess beziehungsweise in der Entwicklung. Nicht zuletzt wegen der hohen Produktionskosten und teilweise begrenzten Rohstoffverfügbarkeit sind heute jedoch nur geringe Mengen am Markt verfügbar. Die einzelnen verfügbaren Optionen sollen anhand von techno-ökonomischen und ökologischen Kriterien bewertet werden. Die geeignetsten Verfahren sollen in der Folge skaliert werden und ein entsprechender Produktionshochlauf soll sichergestellt werden.

Bei der Umsetzung der Wasserstoff-Strategie der Bundesregierung muss die besondere Bedeutung von Wasserstoff in der Luftfahrt – als Zwischenprodukt für die Herstellung von synthetischen Treibstoffen oder als Endprodukt zur direkten Nutzung – berücksichtigt werden.

BESCHREIBUNG HANDLUNGSEMPFEHLUNG 4.V

Zur Vorbereitung der Skalierung müssen Demonstrationsanlagen realisiert werden, um die techno-ökonomische Leistung zu bewerten und zukünftige Kostendegressionspotenziale abschätzen zu können. Eine rein theoretische Analyse oder Laborerprobung der Herstellungsverfahren reicht nicht (mehr) aus.

- Der Aufbau von Demonstrationsanlagen zur Erzeugung nachhaltiger Treibstoffe, die auf unterschiedlichen fortschrittlichen Herstellungsverfahren³⁶ beruhen, soll gezielt gefördert werden.
- Es sollen sowohl fortschrittliche Verfahren zur Verarbeitung biogener Rohstoffe (speziell Lignocellulose und Reststoffe) als auch Power-to-Liquid-Technologien (und Kombinationen) demonstriert werden.
- Zeitnahe Entwicklung und Zertifizierung von weiteren Herstellungspfaden von strombasiertem Kerosin, z. B. über die Methanol-Route (Methanol-to-Jet)

CHANCEN

- Erhebung von Realdaten zur Abschätzung des zukünftigen Entwicklungspotenzials von Rohstoffen und Verfahren
- Gezielte Erhöhung des Technologiereifegrads vielversprechender Konzepte
- Minderung des Investitionsrisikos
- Aufmerksamkeit etablierter Treibstoffhersteller auf neue Technologien lenken
- Verzahnung von Informationsaustausch und Finanzierung durch Private-Public-Partnerships
- Bündelung der Nachfrage durch Treibstoffnutzerallianzen (über Fluggesellschaften hinaus)

HERAUSFORDERUNGEN/RISIKEN

- Notwendigkeit großer Investitionen, denen nur geringe Produktionsmengen gegenüberstehen
- Sicherstellung, dass auch Ansätze in frühen Entwicklungsstadien Berücksichtigung finden (beispielsweise durch stufenweises Vorgehen)
- Koordination sämtlicher Vorhaben miteinander und Sicherstellung des Informationsaustauschs zur Vermeidung von Zeitverlust, Doppelarbeit und unnötigen Kosten

HANDLUNGSEMPFEHLUNG 4.VI: SCHAFFEN VON RAHMENBEDINGUNGEN FÜR DEN MARKTHOCHLAUF

Anreize zum Aufbau von Produktionsanlagen für alternative Luftfahrt-Treibstoffe benötigen langfristig stabile Rahmenbedingungen zur Skalierung und zur Markteinführung.

Hierbei soll eine zusätzliche Wettbewerbsverzerrung vermieden werden.

BESCHREIBUNG HANDLUNGSEMPFEHLUNG 4.VI

Es sollen politische Rahmenbedingungen zur Skalierung und Markteinführung fortschrittlicher nachhaltiger Treibstoffe unter Sicherstellung der Wettbewerbsneutralität geschaffen werden. Dies soll auf Grundlage gezielter Mechanismen wie FuE-Förderung, Innovations-, Investitions- und Marktanzweihen geschehen.

Die Realisierung von Konzepten mit großem Potenzial – technisch, ökologisch und ökonomisch – muss begünstigt werden.

Die Forschungs- und Entwicklungsförderung soll bekannte Herausforderungen der fortschrittlichen Konzepte gezielt adressieren.

Es sollen verbindliche Nachhaltigkeitskriterien für E-Fuels definiert werden.

³⁶ Mit fortschrittlichen Herstellungsverfahren sind Konzepte gemeint, die Lignocellulose und biogene Reststoffe verarbeiten können, sowie PtL und sonstige RFNBs.

CHANCEN	HERAUSFORDERUNGEN/RISIKEN
<ul style="list-style-type: none"> • Rechtssicherheit (beispielsweise hinsichtlich der Anrechenbarkeit von Rohstoffen und Energieträgern) • Minderung des Investitionsrisikos • Förderung von Technologien, die sowohl in biogenen Konzepten als auch in E-Fuel-Konzepten zum Einsatz kommen können. 	<ul style="list-style-type: none"> • Koordination nationaler und internationaler Gesetzgebung • Wahrung der Wettbewerbsneutralität • Verfügbarkeit von nachhaltigen C-Quellen • Laut einiger AG-2-Mitglieder führt die aktuelle EU-Gesetzgebung zu einseitigen Nachteilen europäischer Fluggesellschaften – beispielsweise durch die Ausgestaltung des EU-ETS3. • Begrenzung der Mehrkosten für Treibstoffnutzende

SCHIFFFAHRT

Absehbar können in der Schifffahrt die CO₂-Minderungsziele für 2030 und 2050 nur durch die Entwicklung und den Einsatz erneuerbarer Kraftstoffe realisiert werden. Da nachhaltige Kraftstoffe in der Seeschifffahrt langfristig eine Rolle spielen werden, hat die AG 2 diese aus technologischer Perspektive betrachtet. Zu beachten ist, dass aufgrund der vorhandenen Expertise in der AG 2 der Fokus der vorliegenden Roadmap auf der Seeschifffahrt liegt. Die Binnenschifffahrt wurde – auch wenn dort Potenziale für den Einsatz alternativer Antriebe und Kraftstoffe vorhanden sind – nicht betrachtet.

Die CO₂- und Schadstoff-Emissionen der internationalen Seeschifffahrt werden durch die International Maritime Organization (IMO) reguliert. Der internationale Seeverkehr unterliegt daher nicht den nationalen Klimazielen. Neben dem europäischen Klimagesetz, das für Mitte 2021 erwartet wird, hat die Europäische Kommission im Rahmen des Europäischen Green Deals für 2021 mehrere Vorschläge angekündigt, die Auswirkungen auf den Schifffahrtsbereich haben werden. So soll etwa die Fuel EU Maritime Initiative die für die Seeschifffahrt am besten geeigneten alternativen Kraftstoffe identifizieren und Maßnahmen zur Unterstützung ihrer Produktion und zur Erhöhung ihrer Wettbewerbsfähigkeit entwickeln. Damit soll die Nachfrage nach diesen Alternativen erhöht und ein Anreiz für ihren Einsatz geschaffen werden.

Zudem beginnen auf IMO-Ebene nunmehr im Rahmen der

Umsetzung der IMO-Auftaktstrategie die Verhandlungen mittel- und langfristiger, international rechtsverbindlicher Maßnahmen zur Reduktion von Treibhausgasemissionen in der Seeschifffahrt. Für eine erfolgreiche Umsetzung der IMO-Strategie wird auch die Nutzung nachhaltiger Kraftstoffe essenziell sein.

Außerdem ergeben sich einzelne Vorgaben aus verschiedenen Regelungen der IMO, so etwa aus dem „International Code of Safety for Ship Using Gases or Other Low-flashpoint Fuels“. Seit dem 1. Januar 2021 existiert zudem auf nationaler Ebene die Förderrichtlinie zur nachhaltigen Modernisierung der Küstenschifffahrt.

Auch existieren auf EU-Ebene Forschungsaktivitäten, zum Beispiel im Rahmen von Horizon 2020, sowie Infrastrukturprogramme für Häfen. Für einige innereuropäische Fährlinien werden bereits alternative Kraftstoffe wie Methanol, LNG oder auch Wasserstoff eingesetzt oder sind in Planung. Auf nationaler Ebene existiert die „Richtlinie über Zuwendungen für die Aus- und Umrüstung von Seeschiffen zur Nutzung von LNG als Schiffs-kraftstoff“; seit Ende 2020 gibt es die Förderrichtlinie „Nachhaltige Modernisierung von Küstenschiffen“.

Mit welchen Maßnahmen die Markteinführung alternativer Treibstoffe in der Schifffahrt gefördert werden könnte, wird in der folgenden Abbildung dargestellt:


ZIEL	HANDLUNGSEMPFEHLUNG
Entwicklung und Markteinführung alternativer Kraftstoffe 	Marktanreize für den Einsatz alternativer Kraftstoffe schaffen
	Wirtschaftsstandorte Deutschland und Europa als Technologieexporteur für Antriebe und Anlagenbau stärken
	Technologieoffene Förderung zur THG-Minderung schaffen
	Einheitliche Regularien und Genehmigungsmanagement zur Bebungung mit alternativen Treibstoffen einführen
	Alternative Kraftstoffe wie E-Fuels, Wasserstoff, Ammoniak oder Methanol zur Marktreife bringen
	Lebenszyklusanalyse für Schiffstreibstoffe durchführen

Abbildung 9: Alternative Kraftstoffe in der Schifffahrt – Übersicht über die Handlungsempfehlungen (Quelle: eigene Darstellung)

HANDLUNGSEMPFEHLUNG 4.VII: MARKTANREIZE, TECHNOLOGIEOFFENE FÖRDERUNG UND EINHEITLICHE REGULARIEN

Um die Klimaschutzziele zu erreichen, soll ein ambitionierter europäischer und internationaler Rahmen zum Einsatz nachhaltiger, alternativer Kraftstoffe und der Nutzung der jeweiligen aktuellen technologischen Möglichkeiten (Motorenteknologie und Infrastruktur) in der Schifffahrt

angestrebt werden. Die politischen Rahmenbedingungen für nachhaltige Antriebe und Kraftstoffe sollten technologieoffen sein und auf der Einhaltung von Nachhaltigkeitskriterien basieren. Diese sind für E-Fuels entsprechend den spezifischen Bedingungen noch zu definieren.

BESCHREIBUNG HANDLUNGSEMPFEHLUNG 4.VII

- Für die Schifffahrt sollen Marktanreize für den Einsatz alternativer Treibstoffe geschaffen werden. Aufgrund der einfacheren Logistik-Struktur bietet sich insbesondere der innereuropäische Verkehr dafür an (z. B. Punkt-Punkt-Verkehre, Fähren). Die Wirtschaftsstandorte Deutschland und Europa sollen durch Innovationsschritte bei der Entwicklung und Markteinführung erneuerbarer Kraftstoffe als Technologieexporteur für Antriebe und Anlagenbau nachhaltig gestärkt werden (für E-Fuels über die Methanol-Route oder die Fischer-Tropsch-Synthese). Es ist eine technologieoffene Förderung zur THG-Minderung in der Schifffahrt zu schaffen.
- Es sollen einheitliche Regularien und ein einheitliches Genehmigungsmanagement zur Bebungung mit alternativen Treibstoffen, z. B. flüssige und gasförmige alternative Kraftstoffe, eingeführt werden.
- Es sollte ein weltweit harmonisierter Standard für den Gebrauch alternativer Kraftstoffe in der Seeschifffahrt entwickelt werden, z. B. sollte die bestehende ISO-Norm hinsichtlich der Spezifikation und des Potenzials zur CO₂-Minderung ergänzt werden.
- Alternative Kraftstoffe wie E-Fuels, Wasserstoff, Ammoniak oder Methanol sollen zur Marktreife gebracht werden und in der Schifffahrt Anwendung finden.
- Die Nachhaltigkeit alternativer Kraftstoffe in der Schifffahrt sollte über eine Lebenszyklusanalyse bewertet werden.

CHANCEN	HERAUSFORDERUNGEN/RISIKEN
<ul style="list-style-type: none">• Reduzierung der direkten Klimawirkung durch Verminderung von CO₂-Emissionen	<ul style="list-style-type: none">• Derzeitige IMO-Pläne zur CO₂-Reduzierung liegen deutlich unterhalb der EU-Ziele aus dem Green Deal (Klimaneutralität bis 2050)• Rohstoffverfügbarkeit, auch in Konkurrenz zu anderen Sektoren• Weltweit harmonisierter Standard für den Gebrauch alternativer Treibstoffe in der Seeschifffahrt• Schaffung einer Lieferinfrastruktur für alternative Treibstoffe in allen Teilen der Welt, auch in den Nebenhäfen

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

AFA	Absetzung für Abnutzung
AFID	Alternative Fuel Infrastructure Directive der Europäischen Kommission und des Europäischen Rates
BEHG	Brennstoffemissionshandelsgesetz
BEV-LKW	Lkw mit batterieelektrischem Antrieb (BEV: Battery Electric Vehicle)
BMU	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit
BMVI	Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur
BMWI	Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
BZ	Brennstoffzelle
CCS	Combined Charging System
CH₄	Methan
CNG	Compressed Natural Gas
CO₂	Kohlenstoffdioxid
EE	Erneuerbare Energien
EEG	Erneuerbare-Energien-Gesetz
FCEV	Fuel Cell Electric Vehicle – Brennstoffzellenfahrzeug
F&E	Forschung und Entwicklung
H₂	Wasserstoff
H₂-BZ-LKW	Lkw mit Wasserstoff-Brennstoffzellen-Antrieb
KBA	Kraftfahrt-Bundesamt
KFZ	Kraftfahrzeug
KG	Kilogramm
KM	Kilometer
KM/H	Kilometer pro Stunde
KSPR 2030	Klimaschutzprogramm 2030
KW	Kilowatt
KWH	Kilowattstunde
L	Liter
LCA	Life Cycle Analyse, Lebenszyklusanalyse

LIS	Ladeinfrastruktur
LKW	Lastkraftwagen
LNF	Leichte Nutzfahrzeuge
LNG	Liquefied Natural Gas
MIO.	Million
MRD.	Milliarde
NFZ	Nutzfahrzeug
NPM	Nationale Plattform Zukunft der Mobilität
OEM	Original Equipment Manufacturer, Originalausrüstungshersteller bzw. Automobilhersteller
OH-LKW	Lkw mit Oberleitungs-Hybrid-Antrieb
PHEV	Plug-in-Hybrid Electric Vehicle
PKW	Personenkraftwagen
PTG	Power-to-Gas
RED	Renewable Energy Directive der Europäischen Kommission und des Europäischen Rates
RIP	Abkürzung steht für Reichweite, Infrastruktur, Preis und adressiert dominierende Gründe gegen die Anschaffung von BEV
SNF	Schweres Nutzfahrzeug
T	Tonne
TCO	Total Cost of Ownership
THG	Treibhausgasemissionen
TTW	Tank-to-Wheel
UBA	Umweltbundesamt
XEV	Im Rahmen der Darstellung wird die Abkürzung „xEV“ stellvertretend für BEV & PHEV verwendet.
ZGG	zulässiges Gesamtgewicht

QUELLENVERZEICHNIS

BDI (2018): Klimapfade für Deutschland.

BMVI (2020): Gesamtkonzept klimafreundliche Nutzfahrzeuge. Mit alternativen Antrieben auf dem Weg zur Nullemission Logistik auf der Straße.

Europäische Kommission (2017): From NEDC to WLTP: effect on the type-approval CO₂emissions of light-duty vehicles.

Europäische Kommission (2020): Determining the environmental impacts of conventional and alternatively fuelled vehicles through LCA. Final Report for the European Commission, DG Climate Action.

DLR, IVT und infas 360 (2018): Mobilität in Deutschland (im Auftrag des BMVI);

FCH/Roland Berger (2020): Fuel Cells Hydrogen Trucks. Heavy-Duty's High Performance Green Solution.

Fraunhofer ISI/Fraunhofer IML/PTV/M-Five/TU HH (2017): Machbarkeitsstudie zur Ermittlung der Potenziale des Hybrid-Oberleitungs-LKW.

Fraunhofer IIS/PTV Group/ifeu (2018): Roadmap OH-Lkw: Potentialanalyse 2020–2030.

Fries, M. et al. (2017): An Overview of Costs for Vehicle Components, Fuels, Greenhouse Gas Emissions and Total Cost of Ownership, München.

ICCT (2017): Transitioning to Zero-Emission Heavy-Duty Freight Vehicles.

ICCT (2018): From laboratory to road: A 2018 update.

ICCT (2019): Update on electric vehicle costs in the United States through 2030.

ICCT (2020): Regional charging infrastructure requirements in Germany through 2030.

Hydrogen Council/McKinsey (2021): Hydrogen Insights. A perspective on hydrogen investment, market development and cost competitiveness.

KIT (2020): Deutsches Mobilitätspanel (MOP) – Wissenschaftliche Begleitung und Auswertungen Bericht 2019/2020: Alltagsmobilität und Fahrleistung.

KBA (2020): Bestand an Kraftfahrzeugen und Kraftfahrzeuganhängern nach Bundesländern, Fahrzeugklassen und ausgewählten Merkmalen, 1. Oktober 2020 (FZ 27).

KBA (2021): Pressemitteilung Nr. 01/2021 – Elektromobilität in Deutschland auf der Überholspur.

König, A./Nicoletti, L./Schröder, D./Wolff, S./Waclaw, A./Lienkamp, M. (2021): An Overview of Parameter and Cost for Battery Electric Vehicles, in: World Electric Vehicle Journal, 12, 21

Nationale Leitstelle Ladeinfrastruktur (2020): Ladeinfrastruktur nach 2025/2030: Szenarien für den Markthochlauf. Studie im Auftrag des BMVI.

NPM (2020): Empfehlungen zum optimierten Nutzungsgrad von Plug-In-Hybridfahrzeugen.

NPM AG 1 (2020): Werkstattbericht Alternative Kraftstoffe.

NPM AG 2 (2019): 1. Kurzbericht der AG 2. Elektromobilität. Brennstoffzelle. Alternative Kraftstoffe – Einsatzmöglichkeiten aus Technologischer Sicht;

NPM AG 2 (2020): 2. Kurzbericht der AG 2. Einsatzmöglichkeiten unter realen Rahmenbedingungen.

NPM AG 4 (2019): 1. Zwischenbericht zur Wertschöpfung.

NPM AG 5 (2020): Bedarfsgerechte und wirtschaftliche öffentliche Ladeinfrastruktur – Plädoyer für ein dynamisches NPM- Modell.

NPM AG 5 (2021): Ladeinfrastruktur für batterieelektrische Lkw.

NPM AG 4 (2020): 1. Zwischenbericht zur strategischen Personalplanung und Entwicklung im Mobilitätssektor.

Siemens (2018): eHighway SoCal Final Report, Construction of a 1 Mile Catenary System and Develop & Demonstrate Catenary Electric Trucks.

Thielmann, A. et al. (2020): „Batterien für Elektroautos: Faktencheck und Handlungsbedarf.“

TU Wien (2017): Weniger Feinstaub durch Bio-Ethanol im Tank.

Umweltbundesamt (2017): Erarbeitung einer fachlichen Strategie zur Energieversorgung des Verkehrs bis zum Jahr 2050, Endbericht.

MITGLIEDER DER AG 2

- AG-Leiterin: Prof. Dr. Barbara Lenz, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e. V. (DLR)
- Stellv. AG-Leiter: Prof. Dr. Peter Gutzmer, pegumobility consult
- Prof. Dr. Manfred Aigner, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e. V. (DLR)
- Prof. Dr. Dr. Albert Albers, Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
- Marten Bosselmann, Bundesverband Paket- und Expresslogistik e.V. (BIEK)
- Roland Edel, Siemens Mobility GmbH
- Andreas Friedrich/Dr. Manfred Schuckert, Daimler AG
- Timm Fuchs, Deutscher Städte- und Gemeindebund (DStGB)
- Prof. Dr. Horst Harndorf, Universität Rostock
- Prof. Dr. Angelika Heinzl, Zentrum für BrennstoffzellenTechnik ZBT GmbH
- Kerstin Hurek, ACE Auto Club Europa e.V. (ACE)
- Prof. Dr. Achim Kampker, RWTH Aachen University
- Dr. Urban Keussen, EWE Aktiengesellschaft
- Siegfried Knecht, Airbus Group
- Dr. Martin Kröger, Verband Deutscher Reeder
- Prof. Dr. Markus Lienkamp, Technische Universität München
- Michael Lohmeier, Deutsche Post AG
- Dr. Frank Meyer, E.ON Solutions GmbH
- Michael Müller-Görner, VCD Verkehrsclub Deutschland e.V.
- Uta Maria Pfeiffer, Bundesverband der Deutschen Luftverkehrswirtschaft (BDL)
- Matthias Pippert, Eisenbahn- und Verkehrsgewerkschaft (EVG)
- Matthias Plötzke, Mittelständische Energiewirtschaft Deutschland e.V. (MEW)
- Prof. Dr. Rom Rabe, Hochschule Wismar
- Viviane Raddatz, WWF Deutschland
- Dr. Wolf Peter Schill, Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung e.V.
- Jörn Schwarze, Kölner Verkehrs-Betriebe AG
- Christian Specht, Stadt Mannheim
- Peter Westenberger, Netzwerk Europäischer Eisenbahnen e.V. (NEE)
- Stefan Ziegert, Scania AB

REDAKTION

- Dr. Christoph Arndt, DLR
- Andreas Lischke, DLR
- Johannes Thiele, acatech
- Catharina Wolf, ifok

IMPRESSUM

VERFASSER

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

Berlin, April 2021

HERAUSGEBER

Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI)

REDAKTIONELLE UNTERSTÜTZUNG

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.
acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften e. V.
ifok GmbH

SATZ UND GESTALTUNG

ifok GmbH

LEKTORAT

Nikola Klein – e-squid text konzept lektorat

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.



