

# **Drittes WKM Positionspapier**

## März 2021

---

Technische, regulatorische und gesellschaftliche Herausforderungen bei der Realisierung einer CO<sub>2</sub>-neutralen Antriebstechnik für PKW und Nutzfahrzeuge in den nächsten Jahrzehnten

**WKM**

Wissenschaftliche Gesellschaft  
für Kraftfahrzeug- und Motorentechnik e.V.

## Einleitung

---

Die WKM e.V. ist die Vereinigung von Professor\*innen deutscher, österreichischer und schweizerischer Universitäten, die als Institutsleiter\*in oder als Leiter\*in von Fachgebieten oder Lehrstühlen auf dem Gebiet der Kraftfahrzeug- und/oder Motorentechnik tätig sind oder waren.

Zweck der WKM ist die Förderung von Wissenschaft und Forschung, von wissenschaftlicher Lehre, Studium und Heranbildung des wissenschaftlichen Nachwuchses auf dem Gebiet der Kraftfahrzeug- und Motorentechnik.

Die Mitglieder der Wissenschaftlichen Gesellschaft für Kraftfahrzeug- und Motorentechnik WKM erforschen und entwickeln innovative Fahrzeugkonzepte und -systeme sowie verschiedene nachhaltige Antriebstechnologien (Batterieelektrische Fahrzeuge, Brennstoffzellenfahrzeuge und Motorentechnologie für synthetische Kraftstoffe, eFuels und biogene Kraftstoffe bioFuels unter dem Überbegriff reFuels) und setzen sich mit Nachdruck für ein CO<sub>2</sub>-neutrales Mobilitätssystem der Zukunft ohne fossile Energieträger oder fossile Energiebereitstellung ein. Das gilt gleichermaßen für das batterieelektrische Fahren wie auch für Brennstoffzellenfahrzeuge oder Verbrennungskraftmaschinen.

Nach den öffentlichen Diskussionen über dieselmotorische Emissionen hat die WKM im Jahr 2017 unter anderem darauf hingewiesen, dass zwischen den Emissionen der Gesamtfahrzeugflotte und den geringen Emissionen modernster Verbrennungsmotoren unterschieden werden muss. So kann der Einfluss ausschließlich modernster Motoren auf die NO<sub>2</sub>-Immission als vernachlässigbar eingestuft werden.

In einem zweiten Positionspapier des Jahres 2018 hat die WKM im Rahmen der allgemeinen Bestrebungen zur Erarbeitung einer neuen „CO<sub>2</sub>-Gesetzgebung im Verkehrssektor“ vor allem eine ganzheitliche Betrachtung der CO<sub>2</sub>-Fahrzeugbeiträge aus Produktion, Nutzungsdauer und Recycling (cradle-to-grave Analyse) angeregt.

Mit diesem dritten Positionspapier thematisiert die WKM nun im Jahr 2021 die dringende Notwendigkeit der Technologieoffenheit bei der Antriebstechnik, um die CO<sub>2</sub>-Emissionen durch fossile Energieträger auch weltweit und schnell reduzieren zu können. Dieses Positionspapier ist wiederum an politische Entscheidungsträger\*innen, an Investor\*innen aber auch an interessierte Bürger\*innen gerichtet.

## Zusammenfassung

---

Aufgrund der aktuellen Diskussion der Mobilitätsstrategie der Zukunft formuliert die WKM dieses Positionspapier zu technischen, regulatorischen und gesellschaftlichen Herausforderungen der PKW- und Nutzfahrzeug-Antriebstechnik in den nächsten Jahrzehnten, getrieben von dem Ziel der Realisierung einer langfristig CO<sub>2</sub>-neutralen nachhaltigen Mobilität.

### Folgende Kernbotschaften und Schlussfolgerungen können zusammengefasst werden:

1. Die Antriebstechnologie der nahen Zukunft muss sich an einem zügig umsetzbaren CO<sub>2</sub>-Reduzierungspotential orientieren, damit die Vorgaben des Pariser Klimaabkommens [1] eingehalten werden können. Das Energiesystem wird sich gleichzeitig kontinuierlich weiterentwickeln, so dass die Antriebstechnologie der Zukunft darauf abgestimmt sein muss. Nur ein geeigneter Mix an Technologien, angepasst an die jeweilige Anwendung, wird diese Herausforderungen optimal erfüllen können [2].
2. Die Förderung der batteriebasierten elektrischen Mobilität vor allem für urbane Mobilitätssysteme ist ein wichtiger Baustein. Weitere wertvolle Technologiepotentiale dieser Antriebstechnologie müssen erschlossen werden.
3. Die Brennstoffzellentechnologie wird weltweit und derzeit insbesondere in Asien intensiv weiterentwickelt. Auch hier wird eine weiterführende Förderung von Forschung und Entwicklung in Europa notwendig sein. Die weltweiten Hürden bis zu einer erfolgreichen Großserienetablierung der Technologie werden weiterhin als anspruchsvoll eingeschätzt.
4. Der Verbrennungsmotor ist ein effizienter, kostenseitig attraktiver und bewährter Energiewandler mit deutlichem Weiterentwicklungspotential, der in einem nachhaltigen Energiesystem durch CO<sub>2</sub>-neutrale Kraftstoffe („reFuels“) neben seiner Funktionalität auch großes Potenzial für einen schnell umsetzbaren, niedrigen CO<sub>2</sub>-Fußabdruck aufweist [3–12].
5. Mit dem aktuellen deutschen Bundesklimaschutzgesetz wird das Reduzierungspotenzial nicht ausgeschöpft. Die Empfehlungen des IPCC (intergovernmental panel of climate change) nach einer raschen CO<sub>2</sub>-Emissionsreduzierung werden nicht bestmöglich umgesetzt, und eine unnötige Belastung des CO<sub>2</sub>-Restbudgets ist die Folge [12–15].
6. Wesentlich begründet ist dies in der bislang vorliegenden CO<sub>2</sub>-Regulierung des Transportsektors, die verbrennungsmotorische Lösungen auf Basis von Kohlenwasserstoff-Kraftstoffen für die Zukunft de facto nicht toleriert<sup>1</sup>, obwohl der verbrennungsmotorische Antrieb beim Betrieb mit CO<sub>2</sub>-neutralen Kohlenwasserstoffen, reFuels, in der Zukunft faktisch CO<sub>2</sub>-neutral wird.

---

<sup>1</sup> Der Verkauf von BEV/PHEV wird bei den anvisierten CO<sub>2</sub>-Fahrzeugemissionszielen ohne Strafzahlungen toleriert, indem die Batterieladeenergie als CO<sub>2</sub>-neutral definiert wird. Einen verbesserten CO<sub>2</sub>-Beitrag haben PHEV/BEV durch die Speicherfähigkeit der Batterie nach dem Jahr 2030, wenn über 10% der Zeit ausreichend regenerative elektrische Energie (grüner Stromüberschuss) in Deutschland verfügbar ist.

7. Diese Regulierung führt zum unweigerlichen Einsatz von PHEV oder BEV auch dort, wo diese weder CO<sub>2</sub>- noch Kundenvorteile bewirken. Zentrale Forderung dieses Positionspapiers ist es daher, politische Rahmenbedingungen unvoreingenommen und technologieoffen zu formulieren und alle Technologiepfade zu fördern, die zu einer effektiven gesamthaft bewerteten CO<sub>2</sub>-Reduzierung und damit einer minimalen Belastung des CO<sub>2</sub>-Restbudgets beitragen können [2, 16, 17].
8. Mobilität, Transport und Energieversorgung sind essentielle Eckpfeiler einer prosperierenden, offenen und resilienten Gesellschaft. Technologiewettbewerb und eine sektorenübergreifende ganzheitliche Systembetrachtung sind entscheidende Kriterien für die Entwicklung eines optimalen Gesamtsystems [18].

## Randbedingungen für die nachhaltige Mobilität in den nächsten Jahrzehnten

---

Die Energie- und Mobilitätswende sind untrennbar miteinander verknüpft und erfordern große Anstrengungen.

Das Energiesystem der Zukunft wird sich verändern. Mit dem deutlichen Ausbau von Windenergie und Photovoltaik wird die zeitlich und örtlich bedarfsgerechte Verfügbarkeit von elektrischer Energie anspruchsvoller. Leistungsfähige Energiespeichertechnologien müssen installiert werden [19]. Der heutige Anteil von Photovoltaik und Windenergie in Deutschland von ca. 5% des Primärenergiebedarfs wird langfristig deutlich steigen. Im Jahr 2030 werden ca. 70% der elektrischen Energie aus erneuerbaren Quellen stammen [20–22].

Heute werden rund 70% der Primärenergie importiert. Auch in Zukunft wird Europa und insbesondere Deutschland von Energieimporten abhängig sein, allerdings muss die importierte Energie aus erneuerbaren Quellen stammen [23]. Somit wird eine der größten weltweiten Herausforderungen der nächsten 30 Jahre der deutliche Ausbau der regenerativen Energiebereitstellung (z.B. Photovoltaik, Windkraft, ...) sein. Dies ermöglicht die Produktion von und den Handel mit CO<sub>2</sub>-neutralen Energieträgern<sup>2</sup>. Ein CO<sub>2</sub>-neutraler Betrieb aller Verbraucher muss also das gesellschaftliche Ziel sein, wobei volkswirtschaftlich vernünftige Lösungen anzustreben sind. Unterstützt wird das Energiesystem zudem durch den Ausbau von Batteriespeichern. Diese Randbedingungen setzen einen physikalisch realisierbaren und auch bezahlbaren Energietransport entscheidend voraus.

Während der Transfer in Form von elektrischer Energie auf kurzen und mittleren Strecken möglich ist, ist ein Transport aus wind- oder sonnenreichen Gebieten in vielen Fällen nicht realisierbar, wie, z.B. aus Südamerika, Australien, Afrika oder von der arabischen Halbinsel. Hier ist deshalb ein Import in Form von chemischen Energieträgern sinnvoll. Dies kann Wasserstoff sein mit volumetrischen Energiedichten zwischen 1,4-2,4 kWh/l. Eine deutlich höhere Energiedichte von 4 bis 9 kWh/l erlauben Methanol oder Fischer-Tropsch-Produkte. Chemische Energieträger sind aufgrund dieser Energiedichten nicht nur für Fahrzeuganwendungen, sondern auch für den Energietransport bevorzugt. Auch wenn der Herstellungsprozess mit CO<sub>2</sub>-neutralen Verfahren größere Verluste aufweist, als dies bei der Stromerzeugung der Fall ist, bietet diese Entkopplung zwischen Herstellungsort und Nutzung sowie die sehr gute Speicherefähigkeit entscheidende Vorteile. Dieser wichtige Aspekt wird sowohl in der gegenwärtigen öffentlichen Diskussion als auch bei den Regulierungsaktivitäten zu wenig beachtet.

Insgesamt sind im Verkehrssektor neben dem Fokus auf Antriebsenergiebedarf und Emissionen weitere Anforderungen entscheidend, nämlich Nutzlast, Fahrzeuggewicht, Handhabung des Energieträgers, Sicherheitsaspekte, Einsatzbereitschaft, Komfort und Kosten. Je nach Anwendungsfall sind unterschiedliche Energieträger für unterschiedliche Mobilitätsanforderungen zielführend.

---

<sup>2</sup> CO<sub>2</sub>-Neutralität bezieht sich auf den Kohlenstoffkreislauf. CO<sub>2</sub> wird aus der Luft entnommen, der Kohlenstoff C im Kraftstoff gespeichert und bei der Energieumsetzung wieder als CO<sub>2</sub> bilanziell neutral emittiert.

Elektrische Energie, Wasserstoff oder CO<sub>2</sub>-neutrale synthetische Kraftstoffe, reFuels, werden abhängig vom Anwendungsfall unterschiedliche Mobilitäts- und Transportanforderungen CO<sub>2</sub>-neutral jeweils optimal erfüllen können.

Sämtliche Wege der Defossilisierung werden in Zukunft sektorübergreifend genutzt werden müssen, um in der Energiewende erfolgreich zu sein. Der Begriff Dekarbonisierung ist hierbei irreführend, denn Kohlenstoff wird auch in der Zukunft aus chemisch-physikalischen Gründen eine große Rolle vor allem in der Energiewirtschaft und chemischen Industrie spielen müssen. Für eine CO<sub>2</sub>-neutrale Energiebereitstellung ist langfristig auf fossilen Kohlenstoff zu verzichten!

Nachfolgend sind nun wesentliche Grundsätze formuliert, die bei den technischen, regulatorischen und gesellschaftlichen Herausforderungen eines nachhaltigen Mobilitätssystems beachtet werden müssen.

# Technische und regulatorische Herausforderungen der nachhaltigen Mobilität in den nächsten Jahrzehnten

---

Die Analyse des Energiesystems und weiterführende Randbedingungen führen bei der Bewertung der technischen und regulatorischen Herausforderungen zu nachfolgenden Kernaussagen:

1. Die politischen Anstrengungen zur Entwicklung einer CO<sub>2</sub>-neutralen Zukunft des Mobilitätssektors und deren schnelle Umsetzung werden von der WKM ausdrücklich unterstützt [24]. Eine signifikante CO<sub>2</sub>-Emissionsreduzierung der PKW-Flotte ist bis 2030 zu erzielen und eine CO<sub>2</sub>-neutrale Mobilität bis spätestens 2050 zu erreichen.
2. Die Frage der ganzjährigen Bereitstellung CO<sub>2</sub>-schonender elektrischer Energie verbleibt über Jahrzehnte eine große Herausforderung.
  - a. Daher wird die Umstellung auf batterieelektrische Fahrzeuge im PKW-Markt frühestens 2035 einen entscheidenden Anteil an der CO<sub>2</sub>-Emissionsreduzierung tragen [13].
  - b. Die Realisierung von Speichermöglichkeiten ist auch innerhalb Deutschlands notwendig, da im Jahr 2035 eine Stromüberschussleistung von zeitweise bis über 60 GW prognostiziert wird [25]. Dafür kommen sowohl Batteriespeicher als auch chemische Speicher in Frage, in Form von H<sub>2</sub>, Methanol oder Fischer-Tropsch-Produkten.
3. Die WKM kritisiert allerdings, dass durch die derzeit getrennte Betrachtung der Sektoren keine ganzheitlich optimale Absenkung der CO<sub>2</sub>-Emissionen erreicht wird [26]. Vielmehr führt die Regulierung zu einer singulären Optimierung der einzelnen Sektoremissionen. Dadurch werden große ganzheitliche CO<sub>2</sub>-Potentiale nicht genutzt, falsche Stoppsignale für die Technologieentwicklung gesetzt und wichtige Technologien nicht betrachtet. So ist auf der Basis der geplanten Regulierung zukünftig nur das batterieunterstützte (BEV/PHEV) oder das H<sub>2</sub>-getriebene Fahrzeug (FCV, VM) ohne CO<sub>2</sub>-Strafzahlungen verkäuflich, obwohl mit reFuels betriebene Fahrzeuge vergleichbare Umweltvorteile aufweisen [27].
4. Die batteriegestützte Mobilität bietet ein wichtiges Potential zur ganzheitlichen CO<sub>2</sub>-Reduzierung [14]. Wichtige Technologiefortschritte bei Batterie, Leistungselektronik, Elektromotoren und Produktion untermauern die Bedeutung dieser Technologiesäule. Allerdings führt eine mittlere zehnjährige BEV-Verkaufsquote von beispielsweise 20% nach einer Dekade nur zu rund 5 Millionen BEV Fahrzeugen bei einem Bestand von rund 40 Millionen Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor. Es sollte daher für Kraftstoffe eine verpflichtende CO<sub>2</sub>-Quote mit einem tatsächlichen CO<sub>2</sub>-Minderungspotential von mindestens 25% im Jahr 2030 eingeführt werden. Die Verfügbarkeit von reFuels wird solch eine Quote anfänglich begrenzen, jedoch sind 30-40% reFuels-Zumischung zum fossilen Kraftstoff im Jahr 2030 nicht unrealis-

tisch. Dies würde für Deutschland einen reFuels Mengenbedarf von 13-17 Millionen t/a bedeuten [28–32]. Die Beimischung führt zu einer erheblichen Reduzierung des tatsächlichen CO<sub>2</sub>-Ausstoßes bei Bestandsfahrzeugen und kann ohne technische Bedenken vollzogen werden.

5. Die bislang vorliegende CO<sub>2</sub>-Regulierung des Transportsektors führt zu einer höheren Umweltbelastung als notwendig, da diese inhaltlich nicht stimmig ist. So wird die Nutzung von Wasserstoff in Fahrzeugen als CO<sub>2</sub>-neutral bewertet. Hingegen wird der Betrieb eines Fahrzeugs mit CO<sub>2</sub>-neutralen reFuels aus einem CO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>-Kreislauf in vollem Umfang in CO<sub>2</sub>-Anrechnung gebracht. Die Rückverstromung eines CO<sub>2</sub>-neutralen reFuels und der Betrieb eines Batteriefahrzeugs mit diesem Strom wird im Gegensatz dazu wiederum als CO<sub>2</sub>-frei bewertet. Diese Regelungen sind physikalisch nicht zu begründen und führen zu CO<sub>2</sub>-Mehremissionen zu Lasten des CO<sub>2</sub>-Restbudgets gemäß den Empfehlungen des IPCC [33]. Eine zügigere und bessere CO<sub>2</sub>-Reduzierung wird durch einen technologieneutralen Ansatz erreicht.
6. Die weitere Elektrifizierung des verbrennungsmotorischen Antriebsstranges führt zu wichtigen CO<sub>2</sub>-Reduzierungen [34–38]. Diese Hybridtechnologie ermöglicht Verbrauchs- und Betriebsvorteile im Vergleich mit einer rein verbrennungsmotorischen Antriebsquelle. Etwa 50% CO<sub>2</sub>-Einsparung in Kombination mit einem R33- oder G40-Kraftstoff<sup>3</sup> sind so darstellbar, gleichwohl kann diese Technologie nicht die heute geplante regulatorische CO<sub>2</sub>-Reduzierung erfüllen [4]. Die CO<sub>2</sub>-Regulierung berücksichtigt dieses Potential nicht, so dass besonders sparsame und kostengünstige Kleinwagen die gegenwärtigen Zielvorgaben der Zukunft nicht erreichen können.
7. Bei der Umsetzung der CO<sub>2</sub>-Regulierung in deutsches Recht stellt der aktuelle, im zweiten Referentenentwurf vorliegende Vorschlag zur Umsetzung der RED2 einen ersten Schritt in die richtige Richtung dar, jedoch weist der Entwurf kaum verbindliche Schritte für die Einführung von reFuels auf [39]. Die Summe der vorliegenden regulatorischen Vorgaben erfüllt nicht den Anspruch der Technologieoffenheit und wirkt weiterhin einseitig. Die zügige Einführung der reFuels ist vor dem Hintergrund der zukünftigen Energiesituation unabdingbar. Die flächendeckende Verfügbarkeit von CO<sub>2</sub>-neutralen Kraftstoffen ist nur im Einklang mit der benötigten Investitionssicherheit für die benötigten Anlagen darstellbar.

---

<sup>3</sup> R33 und G40-Kraftstoff sind Diesel- und Benzin-Kraftstoffe mit reduziertem fossilen Kraftstoffanteil: siehe Kapitel „Anmerkungen und Literaturhinweise“



# Gesellschaftliche Herausforderungen hinsichtlich des Antriebsportfolios für die Mobilität der Zukunft

---

Durch die Energie- und Mobilitätswende entstehen wesentliche gesellschaftliche Herausforderungen. Die verschiedenen Energieträger, Batterie, Wasserstoff und reFuels werden jeweils einen wichtigen Beitrag zur CO<sub>2</sub>-Reduzierung leisten.

Mit der aktuell einseitig ausgerichteten Zukunftsstrategie ergeben sich nachfolgende Herausforderungen:

1. Eine ganzheitliche Betrachtung des Energiesystems und die Kenntnis der Wechselwirkungen sind wichtig. Der Vorteil der BEV-Mobilität liegt in der günstigen Energiebilanz vom Elektron bis zum Rad. Dieser Vorteil gegenüber synthetischen PtX-Kraftstoffen (eFuels), bei deren Produktionsprozess durch Umwandlungsverluste [40, 41] Nachteile entstehen, bedeutet im Mittel unter Berücksichtigung von Leitungsverlusten, Ladeverlusten, Thermomanagementbetrieb und kundentypischer durchschnittlicher Fahrzeugnutzung eine etwa 2-3-fach bessere Energienutzung beim Betrieb eines Batteriefahrzeuges im Vergleich mit einem modernen Hybridfahrzeug mit synthetischem Kraftstoff aus elektrischer Energie [42, 43].

Dieser Wirkungsgradvorteil ist insbesondere dann voll nutzbar, wenn die Verfügbarkeit von regenerativ erzeugtem Strom zum Laden von Fahrzeugen tatsächlich gegeben ist [44]. Da dies auch langfristig nur teilweise umsetzbar ist, ist parallel die Verfolgung des Technologiepfads der reFuels, also der Energiespeicherung in chemischer Form, erforderlich [18].

Zur Erreichung der Klimaziele werden heutige Importe fossiler Energie nach Deutschland durch CO<sub>2</sub>-neutrale chemische Energieträger, reFuels, ersetzt werden müssen.

- a. Große Chancen bestehen mittelfristig darin, weltweit von vielen verschiedenen Standorten chemisch gespeicherte Energie zu importieren [45, 46]. Die technische Expertise deutscher und europäischer Unternehmen ermöglicht für Europa, eine führende Rolle bei der Produktion und dem Vertrieb von chemischen Energieträgern in einem weltweiten Verbund einzunehmen [47]. Dies führt zu langfristig attraktiven wirtschaftlichen Möglichkeiten für europäische Länder und Unternehmen.
- b. Besonders wind- und sonnenreiche Regionen liegen teilweise innerhalb, überwiegend jedoch außerhalb Europas. Der Energieimport über chemische Energieträger ist die wirtschaftlichste Möglichkeit, um diese entlegenen Energiequellen wiederum in Europa zu nutzen. Die verfügbare elektrische Energie aus Windkraft- und Photovoltaikanlagen ist in geeigneten Regionen ca. 2-3 mal höher als in Deutschland [46, 48–51].
- c. Weltweit wichtige Automobilmärkte wie China verfolgen auch den Pfad der chemischen Energieträger reFuels. Daraus ergibt sich ein wirtschaftliches Umfeld, an dem Europa unbedingt teilhaben sollte. [52, 53]

2. Für das zukünftige Mobilitätssystem ergeben sich Randbedingungen, die frühzeitig beachtet werden müssen:
  - a. Heute ist die individuelle Mobilität klassenlos und über Ländergrenzen europaweit für nahezu alle Teile unserer Gesellschaft verfügbar.
  - b. Eine größere Fahrzeugreichweite ist im preiswerten Marktsegment auch mittelfristig mit Batterien nicht ersichtlich<sup>4</sup>, da die Batteriegröße den Produktpreis maßgeblich bestimmt. Individuelle Mobilität durch preiswerte Fahrzeuge mit größerer Reichweite ist mit BEVs alleine nicht darstellbar.
  - c. Die Wertschöpfungsketten unterschiedlicher Antriebssysteme unterscheiden sich. Es gilt daher, die mittelfristigen Auswirkungen verschiedener Antriebssysteme bei einer Produktion an Industriestandorten in Europa hinsichtlich Lohnstruktur, Steuereinnahmen und der Finanzierung des Sozialsystems umfassend zu bewerten.
  - d. Die Einführung und weitere Erforschung eines H<sub>2</sub>-getriebenen Mobilitätssystems bietet für ausgewählte Fahrzeugsegmente eine große Chance. Die gesellschaftliche Akzeptanz, die resultierenden Kosten und technische Herausforderungen insbesondere der BSZ erlauben zum heutigen Zeitpunkt noch keine eindeutige Vorhersage, wann mit einer Großserienproduktion zu rechnen ist und welche Fahrzeugkosten sich in der Großserie ergeben werden.
3. Die batterieelektrische Mobilität lässt sich durch den intelligenten Ausbau von Lademöglichkeiten am Arbeitsplatz auf neue Kreise der Bevölkerung erweitern. Gleichwohl wird es auch langfristig nicht überall adäquate Lademöglichkeiten für alle Fahrzeuge geben, insbesondere in den Städten. Die Verfügbarkeit einer Lademöglichkeit beeinflusst maßgeblich die Marktakzeptanz von BEV-Fahrzeugen sowie einen bestimmungsgemäßen Betrieb von PHEV-Fahrzeugen.
4. Der große Vorteil der reFuels ergibt sich neben der Energiedichte aus der Lagerfähigkeit der Energieträger, weshalb sich eine zeitliche Unabhängigkeit der reFuels Nutzung vom Zeitpunkt des Energiebedarfs für die Herstellung dieser reFuels ergibt. Gerade in seltenen, jedoch wichtigen Not- und Katastrophensituationen (Kälte, Krieg, Stromausfall) ist die Lagerfähigkeit von reFuels ein wertvoller Vorteil.
5. Die Kosten unseres zukünftigen Mobilitätssystems sind stärker zu beleuchten, auch vor dem Hintergrund der zusätzlichen Belastungen durch die Covid-19 Pandemie. Zahlreiche betriebswirtschaftliche Analysen zeigen, dass Herstellungskosten CO<sub>2</sub>-neutraler reFuels deutlich unter 2 €/l bis unterhalb von 1 €/l bei Nutzung von günstigen Standorten langfristig realistisch sind [6, 45, 50, 61–66], insbesondere wenn die Stromgestehungskosten deutlich unterhalb von 2 €-Cent/kWh liegen. Diese Kraftstoffkosten beinhalten bereits die Investitionskosten der Anlagen, so dass reFuels einen sinnvollen Baustein eines ökonomisch nachhaltigen Mobilitätssystems darstellen.
6. Die aktuelle Pandemie hat insbesondere die mangelnde Widerstandsfähigkeit der Lieferketten für wichtige Industrieprozesse und Volkswirtschaften aufgezeigt [67]. Bei der Bewertung des zukünftigen Antriebsportfolios sollten die Auswirkungen der Resilienz von Lieferketten im internationalen Verbund von relevanter Bedeutung sein. Darüber hinaus ist die hohe Bedeutung von jederzeit verfügbarer Mobilität und Transportkapazität in systemrelevanten Bereichen für die Gesellschaft deutlich geworden.

---

<sup>4</sup> Eine Einschätzung der Mobilitätsbedarfsabdeckung findet sich beispielsweise bei [54]; eine Einschätzung der Batteriekostenentwicklung mit Batteriekostenzenarien bis unter 80 €/kWh findet sich bei [55–60].

## Anmerkungen

---

<b>BEV</b>	Battery electrical Vehicle; Elektrofahrzeug mit Batteriespeicher ohne weiteren Energiespeicher
<b>bioFuels</b>	biogene Kraftstoffe; aus pflanzlichen oder tierischen Rohstoffen hergestellte Kraftstoffe: die biogene Ressource ist begrenzt, jedoch sind 20-30% als wertvoller Energieteilbeitrag zur CO <sub>2</sub> -Reduzierung darstellbar.
<b>BSZ</b>	Brennstoffzelle; ermöglicht eine Wandlung von beispielsweise Wasserstoff in elektrische Energie.
<b>BtX</b>	Biomass to X, alternative Bezeichnung für bioFuels
<b>B7</b>	Fachbegriff für Dieselkraftstoff mit 7% Biodieselanteil. Der Biodiesel besteht aus pflanzlichen und tierischen Ölen und Fetten, welche in einem Produktionsprozess durch Veresterung aufbereitet werden. Der Fachbegriff lautet Fettsäuremethylester.
<b>CO<sub>2</sub></b>	Kohlendioxid; entsteht bei der Energiefreisetzung durch Oxydation von Energieträgern mit Kohlenstoffanteil.
<b>DIN</b>	Deutsche Industrie Norm
<b>eFuels</b>	synthetische Kraftstoffe; aus elektrischer Energie hergestellte Kraftstoffe ermöglichen die Speicherung und den wirtschaftlichen Transport von Sonnen-, Wasser- und Windenergie aus fernen Regionen, z.B. Südamerika, Afrika, Arabien, Australien
<b>EN228</b>	Kurzform der EuroNorm EN228; definiert die Zusammensetzung von Ottokraftstoff
<b>EN590</b>	Kurzform der EuroNorm EN590; definiert die Zusammensetzung von Dieselmotorkraftstoff
<b>FCV</b>	Fuel Cell Vehicle; Elektrofahrzeug mit Brennstoffzelle als Lieferant elektrischer Energie
<b>G40</b>	Benzin, das die heutige Kraftstoffspezifikation erfüllt (EN228) und deshalb für alle Fahrzeuge zum Einsatz kommen kann. G40 enthält 60% fossile Bestandteile, 10% Ethanol und 30% MtG.
<b>H<sub>2</sub></b>	Wasserstoff; ist als kleinstes chemisches Element ein möglicher flächendeckender Kraftstoff der Zukunft für BSZ oder VM-Anwendung.
<b>Hybrid</b>	Hybridantriebe beinhalten neben dem VM einen Elektromotor und ermöglichen die elektrische Rekuperation (Bremsenergieerückgewinnung) sowie eine Gesamtsystemverbesserung durch eine optimale Regelung von Elektro- und Verbrennungsmotorantrieb.
<b>MtG</b>	Methanol to Gasoline; aus dem Zwischenprodukt Methanol kann Benzin erzeugt werden
<b>NH<sub>3</sub></b>	Ammoniak; Beispiel eines möglichen Kraftstoffes etwa für Schiffanwendungen mit CO <sub>2</sub> -freier Energieumsetzung aufgrund des fehlenden Kohlenstoffanteils des NH <sub>3</sub>
<b>PHEV</b>	Plugin Hybrid Vehicle; Hybridfahrzeuge mit einer großen Batteriespeicherkapazität und einer zusätzlichen elektrischen Lademöglichkeit der Batterie

<b>PtX</b>	Power to X, alternative Bezeichnung für eFuels
<b>reFuels</b>	Überbegriff über synthetische eFuels und biogene bioFuels Eine Beimischung beispielsweise von 26% reFuel zuzüglich B7 zuzüglich 67% fossilem Diesel führt zu einem Dieselmotorkraftstoff R33 innerhalb der heutigen Spezifikation der EN590 mit einem CO <sub>2</sub> Reduzierungspotential >20% Für Ottomotorkraftstoff Benzin ermöglichen ein Ethanolanteil von 20% zuzüglich einem weiteren MtG Anteil von 20% ebenfalls ein CO <sub>2</sub> Reduzierungsgesamtpotential >20%
<b>RED 2</b>	Renewable Energy Directive 2; Umsetzung von Vorgaben der Richtlinie (EU) 2018/2001 des Europäischen Parlaments und des Europäischen Rates vom 11. Dezember 2018 zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen für Genehmigungsverfahren im Immissionsschutzrecht des Bundes
<b>R33</b>	Dieselmotorkraftstoff, der die heutige Kraftstoffspezifikation erfüllt (EN590) und deshalb für alle Fahrzeuge zum Einsatz kommen kann. R33 enthält 67% fossile Bestandteile, 7% Biodieselanteil und 26% paraffinischer Dieselanteil reFuel.
<b>Sektoren</b>	Im Rahmen des Bundes-Klimaschutzgesetzes werden die CO <sub>2</sub> -Emissionen getrennt nach den einzelnen Sektoren Energiewirtschaft, Industrie, Gebäude, Verkehr, Landwirtschaft sowie Abfallwirtschaft und Sonstiges erfasst und bewertet. Gekoppelte Prozesse (Produktion eines Fahrzeugs, energiewirtschaftlicher Einfluss auf den Betrieb und Verkehrsbeitrag) werden künstlich regulatorisch getrennt, was eine ganzheitliche Optimierung nicht mehr ermöglicht.
<b>VM</b>	Verbrennungsmotor; ohne oder mit zusätzlichem Elektromotor (Hybrid) kombinierbar, kann mit fossilen Kraftstoffen oder mit reFuels betrieben werden. Der Betrieb mit reFuels erlaubt niedrige ganzheitliche CO <sub>2</sub> Emissionen, je nach reFuels-Kraftstoffanteil und reFuels-Produktionsart. VM gelten sowohl mit fossilem als auch mit reFuels Kraftstoff in der neuesten Technologiestufe durch sehr niedrige Emissionen als quasi immissionsneutral. Durch die laufende EURO7 Gesetzgebungsinitiative wird sichergestellt, dass auch strengste Luftqualitätsanforderungen erfüllt werden.

## Literaturhinweise

---

1. VEREINTE NATIONEN. Pariser Klimaschutzabkommen, 2015.
2. COURVOISIER, T.J. Decarbonisation of transport. Options and challenges. Halle (Saale): EASAC Secretariat, Deutsche Akademie der Naturforscher Leopoldina, German National Academy of Sciences, March 2019. Science advice for the benefit of Europe. 37. ISBN 978-3-8047-3977-2.
3. ZHANG, G. Geely Hybridmotor: Weltklasse-Effizienz für Hybridfahrzeuge. Aachen, 2020. 29th Aachen Colloquium Automobile and Engine Technology 2020.
4. MORIK, A., C. HEIMERMANN, M. SCHÜTTENHELM, M. FRAMBOURG, M. HENN und T. LÖSCHETER HORST. CO<sub>2</sub>-Lighthouse Diesel Engine from Volkswagen Group Research. Aachen, 2018. 27th Aachen Colloquium Automobile and Engine Technology 2018.
5. JOHNSON, T. und A. JOSHI. Review of Vehicle Engine Efficiency and Emissions [online]. SAE International Journal of Engines, 2018, 11(6), 1307-1330. ISSN 1946-3944. Verfügbar unter: doi:10.4271/2018-01-0329
6. KRAMER, U. FVV-Kraftstoffstudie III: Defossilisierung des Transportsektors. Frankfurt, 2018.
7. KISHI, A. Natural gas vehicle development in Japan: the utilization of natural gas as an alternative fuel. Baden-Baden, 2020. 7th international engine congress.
8. O'CONNOR, J., M. BORZ, D. RUTH, J. HAN, C. PAUL, A. IMREN, D. HAWORTH, J. MARTIN, A. BOEHMAN, J. LI, K. HEFFELFINGER, S. MCLAUGHLIN, R. MORTON, A. ANDERSSON und A. KARLSSON. Optimization of an Advanced Combustion Strategy Towards 55% BTE for the Volvo SuperTruck Program [online]. SAE International Journal of Engines, 2017, 10(3), 1217-1227. ISSN 1946-3944. Verfügbar unter: doi:10.4271/2017-01-0723
9. GRAVEL, R. Freight Mobility and SuperTruck [online]. Transportation and Mobility Emerging Trends and Promising Technologies, 2016 [Zugriff am: 4. März 2021]. Verfügbar unter: <https://euagenda.eu/upload/publications/untitled-60389-ea.pdf>
10. MOHR, D., T. SHIPP und X. LU. The Thermodynamic Design, Analysis and Test of Cummins' Supertruck 2 50% Brake Thermal Efficiency Engine System. In: SAE Technical Paper Series: SAE International 400 Commonwealth Drive, Warrendale, PA, United States, 2019.
11. IIDA, N., T. ISHIYAMA, S. KANEKO und D. YASUHIRO. Achieving thermal efficiency of over 50% in passenger car engines [online], 2019. Verfügbar unter: <https://www.jst.go.jp/EN/achievements/research/bt2019-04.html>
12. KÜNG, L. Exploration of Systemic Strategies to Decarbonize Swiss Passenger Cars with a Focus on Vehicle Real-World Energy Demand, 2020.
13. WILLNER, T. Climate Protection in the Transport Sector – The Key Role of Alternative Fuels. In: J. WERNER, N. BIETHAHN, R. KOLKE, E. SUCKY und W. HONEKAMP, Hg. Mobility in a Globalised World 2019. Bamberg: University of Bamberg Press, 2020, S. 261-289. ISBN 978-3-86309-731-8.
14. FRONTIER ECONOMICS. CO<sub>2</sub>-Effekte aus der Stromnachfrage durch die zunehmende Elektrifizierung des Mobilitätssektors. Studie für die FVV eV, 01.2021.
15. KOCH, T. und C. BÖHMEKE. The Remaining CO<sub>2</sub> Budget. in Veröffentlichung. Automotive and Engine Technology, Springer Verlag, Heidelberg, 2021.
16. FRONTIER ECONOMICS. Cradle-to-Grave-Lebenszyklus-analyse im Mobilitätssektor. Studie im Auftrag der FVV. Frankfurt, 2020.
17. JOANNEUM RESEARCH. Geschätzte Treibhausgasemissionen und Primärenergieverbrauch in der Lebenszyklusanalyse von Pkw-basierten Verkehrssystemen [online]. Studie für ÖAMTC (Österreichischer Automobil-, Motorrad- und Touring Club), FiA (Fédération Internationale de l'Automobile) und ADAC (Allgemeiner Deutscher Automobil-Club), 2019 [Zugriff am: 14. März 2021]. Verfügbar unter: <https://www.adac.de/-/media/pdf/tet/lca-tool---joanneum-research.pdf?la=de-de&hash=F06DD4E9DF0845BC95BA22BCA76C4206>
18. HELMHOLTZ-GEMEINSCHAFT. Definition des Programms „Energiesystemdesign“, Forschungsbereich Energie, Onlinestellung in 2021, 2021.
19. KLAABEN, L. Energie System 2050: Open-Source-Modelle für das künftige Energiesystem [online]. Ein Gespräch mit Holger Hanselka, 2020 [Zugriff am: 5. März 2021]. Verfügbar unter: <https://www.helmholtz.de/energie/open-source-modelle-fuer-das-kuenftige-energiesystem/>

20. ARBEITSGEMEINSCHAFT ENERGIEBILANZEN. Auswertungstabellen 1990 - 2019 (Datenstand September 2020) [online], 2020. Verfügbar unter: [www.ag-energiebilanzen.de](http://www.ag-energiebilanzen.de)
21. DESTATIS. Umweltökonomische Gesamtrechnungen. Berichtszeitraum 2000 - 2018, 2020.
22. BUNDESNETZAGENTUR FÜR ELEKTRIZITÄT, GAS, TELEKOMMUNIKATION, POST UND EISENBAHNEN. Genehmigung des Szenariorahmens 2019-2030. Bonn, 2018.
23. DREIZLER, A., J. JANICKA, H. PITSCH und C. SCHULZ. Energiewende: verlässlich, machbar, technologieoffen [online]. 2020 [Zugriff am: 3. März 2021]. Verfügbar unter: [https://www.rsm.tu-darmstadt.de/media/rsm/news\\_rsm/Positionspapier\\_Energiewende\\_Dreizler\\_et\\_al~1.pdf](https://www.rsm.tu-darmstadt.de/media/rsm/news_rsm/Positionspapier_Energiewende_Dreizler_et_al~1.pdf)
24. EUROPÄISCHE KOMMISSION. Der europäische grüne Deal; Mitteilung der Kommission an das europäische Parlament, den europäischen Rat, den Rat, den europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen. Brüssel, 2019.
25. BUNDESNETZAGENTUR FÜR ELEKTRIZITÄT, GAS, TELEKOMMUNIKATION, POST UND EISENBAHNEN. Genehmigung des Szenariorahmens 2021-2035. Bonn, 2020.
26. BUNDES-KLIMASCHUTZGESETZ. Gesetz zur Einführung eines Bundes-Klimaschutzgesetzes und zur Änderung weiterer Vorschriften [online], 2019 [Zugriff am: 3. März 2021]. Verfügbar unter: [https://www.bgbl.de/xaver/bgbl/start.xav?startbk=Bundesanzeiger\\_BGBl&start=//\\*\[@attr\\_id='bgbl119s2513.pdf'\]#\\_\\_bgbl\\_\\_%2F%2F%5B%40attr\\_id%3D%27bgbl119s2513.pdf%27%5D\\_\\_1613825455897](https://www.bgbl.de/xaver/bgbl/start.xav?startbk=Bundesanzeiger_BGBl&start=//*[@attr_id='bgbl119s2513.pdf']#__bgbl__%2F%2F%5B%40attr_id%3D%27bgbl119s2513.pdf%27%5D__1613825455897)
27. ANDERSSON, Ö. und P. BÖRJESSON. The greenhouse gas emissions of an electrified vehicle combined with renewable fuels: Life cycle assessment and policy implications [online]. Applied Energy, 2021, (Volume 289). ISSN 03062619. Verfügbar unter: doi:10.1016/j.apenergy.2021.116621
28. DBFZ. Schlussbericht zum Vorhaben Arbeitsgruppe Biomassereststoffmonitoring (AG Bio-RestMon) [online]. DBFZ Deutsches Biomasseforschungszentrum gemeinnützige GmbH, 2019 [Zugriff am: 22. März 2021]. Verfügbar unter: <https://www.fnr-server.de/ftp/pdf/berichte/22019215.pdf>
29. BROSOWSKI, A., T. KRAUSE, U. MANTAU, B. MAHRO, A. NOKE, F. RICHTER, T. RAUSSEN, R. BISCHOF, T. HERING, C. BLANKE, P. MÜLLER und D. THRÄN. How to measure the impact of biogenic residues, wastes and by-products: Development of a national resource monitoring based on the example of Germany [online]. Biomass and Bioenergy, 2019, 127, 105275. ISSN 09619534. Verfügbar unter: doi:10.1016/j.biombioe.2019.105275
30. BROSOWSKI, A., D. THRÄN, U. MANTAU, B. MAHRO, G. ERDMANN, P. ADLER, W. STINNER, G. REINHOLD, T. HERING und C. BLANKE. A review of biomass potential and current utilisation – Status quo for 93 biogenic wastes and residues in Germany [online]. Biomass and Bioenergy, 2016, 95, 257-272. ISSN 09619534. Verfügbar unter: doi:10.1016/j.biombioe.2016.10.017
31. BROSOWSKI, A., R. BILL und D. THRÄN. Temporal and Spatial Availability of Cereal Straw in Germany - Case Study: Biomethane for the Transport Sector, 2020.
32. PORSCHE AG. Porsche und Siemens Energy treiben mit Partnern die Entwicklung klimaneutraler eFuels voran [online], 2020 [Zugriff am: 22. März 2021]. Verfügbar unter: <https://newsroom.porsche.com/de/2020/unternehmen/porsche-siemens-energy-pilotprojekt-chile-forschung-entwicklung-synthetische-kraftstoffe-efuels-23020.html>
33. IPCC. 1,5 °C Globale Erwärmung, Zusammenfassung für politische Entscheidungsträger. Bonn, 2018.
34. SCHÖFFMANN, W., M. HOWLETT, B. ENZI, S. KRAPF, C. SAMS, H. WANCURA, M. WEIßBÄCK und H. SORGER. Future diesel powertrain in LCV and SUV – electrified, modular platform with focus on emission, efficiency and cost. In: J. LIEBL, C. BEIDL und W. MAUS, Hg. Internationaler Motorenkongress 2020. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH; Springer Vieweg, 2020, S. 41-60. ISBN 978-3-658-30499-7.
35. SCHAUB, J., M. PIEPER, S. KLOPSTEIN, M. ÜBBING, P. KNAPPE, P. MUTHYALA und T. SCHMIDT. Electrified efficiency – diesel hybrid powertrain concepts for light commercial vehicles. In: J. LIEBL, C. BEIDL und W. MAUS, Hg. Internationaler Motorenkongress 2020. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH; Springer Vieweg, 2020, S. 335-352. ISBN 978-3-658-30499-7.
36. MELAIKA, M., S. MAMIKOGLU und P. DAHLANDER. 48V Mild-Hybrid Architecture Types, Fuels and Power Levels Needed to Achieve 75g CO<sub>2</sub>/km. In: SAE Technical Paper Series: SAE International 400 Commonwealth Drive, Warrendale, PA, United States, 2019.

37. HOMM, M. The drivetrain for tomorrow – an optimization with many parameters. In: J. LIEBL, Hg. Der Antrieb von morgen 2019. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, 2019, S. 1-12. ISBN 978-3-658-26055-2.
38. FRITZ, M., T. HILLENBRAND und T. PFUND. 48-V-Technologien im Fahrzeug [online]. ATZextra, 2017, 22(S1), 28-33. ISSN 2195-1454. Verfügbar unter: doi:10.1007/s35778-017-0006-3
39. BMU. Verordnung zur Umsetzung von Vorgaben der Richtlinie (EU) 2018/2001 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 11. Dezember 2018 zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen (Neufassung) für Genehmigungsverfahren im Immissionschutzrecht des Bundes [online], 2020 [Zugriff am: 3. März 2021]. Verfügbar unter: [https://www.bmu.de/fileadmin/Daten\\_BMU/Download\\_PDF/Glaeserne\\_Gesetze/19.\\_Lp/red\\_ii\\_vo/Entwurf/red\\_ii\\_vo\\_refe\\_bf.pdf](https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Glaeserne_Gesetze/19._Lp/red_ii_vo/Entwurf/red_ii_vo_refe_bf.pdf)
40. PREGGER, T., G. SCHILLER, F. CEBULLA, R.-U. DIETRICH, S. MAIER, A. THESS, A. LISCHKE, N. MONNERIE, C. SATTLER, P. LE CLERCQ, B. RAUCH, M. KÖHLER, M. SEVERIN, P. KUTNE, C. VOIGT, H. SCHLAGER, S. EHRENBERGER, M. FEINAUER, L. WERLING, V.P. ZHUKOV, C. KIRCHBERGER, H.K. CIEZKI, F. LINKE, T. METHLING, U. RIEDEL und M. AIGNER. Future Fuels—Analyses of the Future Prospects of Renewable Synthetic Fuels [online]. Energies, 2020, 13(1), 138. Verfügbar unter: doi:10.3390/en13010138
41. DIETRICH, R.-U., F. ALBRECHT und T. PREGGER. Erzeugung alternativer flüssiger Kraftstoffe im zukünftigen Energiesystem [online]. Chemie Ingenieur Technik, 2018, 90(1-2), 179-192. ISSN 0009286X. Verfügbar unter: doi:10.1002/cite.201700090
42. FRONTIER ECONOMICS. Der Effizienzbegriff in der klimapolitischen Debatte zum Straßenverkehr. Studie im Auftrag UNITI Bundesverband mittelständischer Mineralölunternehmen e. V. & Mineralölwirtschaftsverband e.V. Berlin, 2020.
43. KOCH, T. und ET. AL. CO<sub>2</sub> und refuels, regenerative Kraftstoffe reFuels als wichtiger Beitrag zur Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen, Bericht aus Vorhaben reFuels – Kraftstoffe neu denken. beteiligte Ministerien VM, WM, UM, MWK,. Stuttgart, 2020.
44. FRAUNHOFER ISE. Treibhausgas-Emissionen für Batterie- und Brennstoffzellenfahrzeuge mit Reichweiten über 300 km. [online]. Studie im Auftrag der H2 Mobility, 2019. Verfügbar unter: [https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/documents/news/2019/ISE\\_Ergebnisse\\_Studie\\_Treibhausgasemissionen.pdf](https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/documents/news/2019/ISE_Ergebnisse_Studie_Treibhausgasemissionen.pdf)
45. DENA. dena-Leitstudie Integrierte Energiewende. Berlin, 2018.
46. FASIHI, M., D. BOGDANOV und C. BREYER. Overview on PTX options studied in NCE and their global potential based on hybrid PV-Wind power plants. Lappeenranta, 2017. Neo-Carbon Energy 9th Researchers' Seminar.
47. Förderprogramm "BW-Elektrolyse" [online], 2020. Verfügbar unter: <https://www.bw-elektrolyse.de/>
48. WORLD BANK GROUP. Global Solar Atlas [online], 2020 [Zugriff am: 3. März 2021]. Verfügbar unter: <https://olc.worldbank.org/content/global-solar-atlas>
49. FASIHI, M. und C. BREYER. Synthetic fuels and chemicals: Options and Systemic Impact. Berlin, 2018. Strommarkttreffen Power-to-gas und power-to-fuel.
50. FASIHI, M., D. BOGDANOV und C. BREYER. Techno-Economic Assessment of Power-to-Liquids (PtL) Fuels Production and Global Trading Based on Hybrid PV-Wind Power Plants [online]. Energy Procedia, 2016, 99, 243-268. ISSN 18766102. Verfügbar unter: doi:10.1016/j.egypro.2016.10.115
51. FASIHI, M. und C. BREYER. Baseload electricity and hydrogen supply based on hybrid PV-wind power plants [online]. Journal of Cleaner Production, 2020, 243, 118466. ISSN 09596526. Verfügbar unter: doi:10.1016/j.jclepro.2019.118466
52. WISSENSCHAFTLICHER DIENST DES BUNDESTAGS. WD 8 - 3000 - 079/20 Einzelfragen zu synthetischen Kraftstoffen (E-Fuels). Berlin, 2020.
53. ENERGY RESEARCH INSTITUTE OF ACADEMY OF MACROECONOMIC RESEARCH. China Renewable Energy Outlook. Peking, 2019.
54. WEISS, C., B. CHLOND, M. HEILIG und P. VORTISCH. Capturing the Usage of the German Car Fleet for a One Year Period to Evaluate the Suitability of Battery Electric Vehicles – A Model based Approach [online]. Transportation Research Procedia, 2014, 1(1), 133-141. ISSN 23521465. Verfügbar unter: doi:10.1016/j.trpro.2014.07.014
55. FUNKE, S.Á., P. PLÖTZ und M. WIETSCHEL. Invest in fast-charging infrastructure or in longer

- battery ranges? A cost-efficiency comparison for Germany [online]. *Applied Energy*, 2019, 235, 888-899. ISSN 03062619. Verfügbar unter: doi:10.1016/j.apenergy.2018.10.134
56. BERCKMANS, G., M. MESSAGIE, J. SMEKENS, N. OMAR, L. VANHAVERBEKE und J. VAN MIERLO. Cost Projection of State of the Art Lithium-Ion Batteries for Electric Vehicles Up to 2030 [online]. *Energies*, 2017, 10(9), 1314. Verfügbar unter: doi:10.3390/en10091314
  57. EDELENBOSCH, O.Y., A.F. HOF, B. NYKVIST, B. GIROD und D.P. VAN VUUREN. Transport electrification: the effect of recent battery cost reduction on future emission scenarios [online]. *Climatic Change*, 2018, 151(2), 95-108. ISSN 0165-0009. Verfügbar unter: doi:10.1007/s10584-018-2250-y
  58. FRIES, M., M. KERLER, S. ROHR, M. SINNING, S. SCHICKRAM, M. LIENKAMP, R. KOCHHAN, S. FUCHS, B. REUTER, P. BURDA und S. MATZ. An Overview of Costs for Vehicle Components, Fuels, Greenhouse Gas Emissions and Total Cost of Ownership - Update 2017 [online]. 2017. Verfügbar unter: <https://doi.org/10.13140/rg.2.2.11685.40164>
  59. KÖNIG, A., L. NICOLETTI, D. SCHRÖDER, S. WOLFF, A. WACLAW und M. LIENKAMP. An Overview of Parameter and Cost for Battery Electric Vehicles [online]. *World Electric Vehicle Journal*, 2021, 12(1), 21. Verfügbar unter: doi:10.3390/wevj12010021
  60. WENTKER, M., M. GREENWOOD und J. LEKER. A Bottom-Up Approach to Lithium-Ion Battery Cost Modeling with a Focus on Cathode Active Materials [online]. *Energies*, 2019, 12(3), 504. Verfügbar unter: doi:10.3390/en12030504
  61. PROGNOSE, FRAUNHOFER-UMSICHT und DBFZ. Status und Perspektiven flüssiger Energieträger in der Energiewende. Berlin, 2018.
  62. EWI. dena-Leitstudie Integrierte Energiewende. Gutachterbericht. Köln, 2018.
  63. HEINZMANN ET AL. Techno-ökonomische Bewertung von Herstellungsrouten zur Produktion regenerativer synthetischer Kraftstoffe. Working Paper Series in Production and Energy (in Publication). Karlsruhe, 2021.
  64. DENA und LBST. E FUELS STUDY. The potential of electricity based fuels for low emission transport in the EU. Berlin, 2017.
  65. BCG und PROGNOSE. Klimapfade für Deutschland, 2018.
  66. AGORA VERKEHRSWENDE, AGORA ENERGIEWENDE und FRONTIER ECONOMICS. Die zukünftigen Kosten strombasierter synthetischer Brennstoffe, 2018.
  67. BUNDE, N. Covid-19 und die Industrie: Führt die Krise zum Rückbau globaler Lieferketten? ifo Schnelldienst, 2021, 74(1).



Herausgegeben wird dieses Positionspapier der Wissenschaftlichen Gesellschaft für Kraftfahrzeug- und Motorentechnik e.V. (WKM) vom geschäftsführenden Vorstand im März 2021:

**Vorsitzender des Vorstandes**



Univ.-Prof. Dr. sc. techn. Thomas Koch  
Karlsruher Institut für Technologie  
Institut für Kolbenmaschinen  
Rintheimer Querallee 2  
76131 **Karlsruhe**

**Stellvertretender Vorstand**



Univ.-Prof. Dr. techn. Peter Fischer  
Technische Universität Graz  
Institut für Fahrzeugtechnik  
Inffeldgasse 11/II  
8010 **Graz**

**Schatzmeister des Vorstandes**



Univ.-Prof. Dr.-Ing. Xiangfan Fang  
Universität Siegen  
Lehrstuhl für Fahrzeugleichtbau  
Breite Straße 11  
Gebäude 70.04  
57076 **Siegen**

**Schriftführer des Vorstandes**



Univ.-Prof. Dr.-Ing. H. Rottengruber  
Otto-von-Guericke Universität Magdeburg  
Institut für Mobile Systeme  
Postfach 4120  
39016 **Magdeburg**


Für den fachlichen Inhalt dieses Positionspapiers zeichnen nachfolgende Mitglieder der Wissenschaftlichen Gesellschaft für Kraftfahrzeug- und Motorentechnik e.V. verantwortlich:



Univ.-Prof. Dr.-Ing. Lutz Eckstein  
RWTH Aachen Universität  
Institut für Kraftfahrzeuge  
Steinbachstraße 7  
52074 **Aachen**



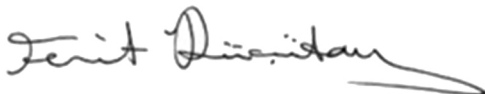
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Steffen Müller  
Technische Universität Berlin  
Fachgebiet Kraftfahrzeuge  
Sekretariat TIB 13  
Gustav-Meyer-Allee 25  
13355 **Berlin**



Univ.-Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Eifler  
Ruhr-Universität Bochum  
Lehrstuhl für Verbrennungsmotoren  
Gebäude IC 2/129  
Universitätstraße 150  
44801 **Bochum**



Univ.-Prof. Dr.-Ing. Peter Eilts  
Technische Universität Braunschweig  
Institut für Verbrennungskraftmaschinen  
Hermann-Blenk-Straße 42  
38108 **Braunschweig**



Univ.-Prof. Dr.-Ing. Ferit Küçükay  
Technische Universität Braunschweig  
Institut für Fahrzeugtechnik  
Hans-Sommer-Str. 4  
38106 **Braunschweig**



Univ.-Prof. Dr.-Ing. Karl-Ludwig Krieger  
Universität Bremen  
Fachbereich 1 - Elektro- und  
Informationstechnik  
ITEM - Elektronische Fahrzeugsysteme  
Otto-Hahn-Allee  
28359 **Bremen**



Univ.-Prof. Dr.-Ing. Ralph Mayer  
Technische Universität Chemnitz  
Professur Fahrzeugsystemdesign  
09107 **Chemnitz**



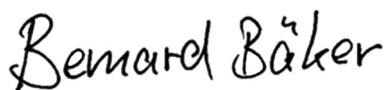
Univ.-Prof. Dr.-Ing. techn. Christian Beidl  
Technische Universität Darmstadt  
Institut für Verbrennungskraftmaschinen  
und Fahrzeugantriebe  
Otto-Berndt-Straße 2  
64287 **Darmstadt**



Univ.-Prof. Dr. rer. nat. H. Winner  
Technische Universität Darmstadt  
Fachgebiet Fahrzeugtechnik  
Otto-Berndt-Straße 2  
64287 **Darmstadt**



Univ.-Prof. Dr.-Ing. Frank Atzler  
Technische Universität Dresden  
Institut für Automobiltechnik Dresden IAD  
Lehrstuhl Verbrennungsmotoren und  
Antriebssysteme / Jante-Bau  
George-Bähr-Str. 1b  
01062 **Dresden**



Univ.-Prof. Dr.-Ing. Bernard Bäker  
Technische Universität Dresden  
Dekan Fakultät Verkehrswissenschaften  
Institut für Automobiltechnik Dresden – IAD  
Lehrstuhl Fahrzeugmechatronik  
George-Bähr-Straße 1c  
01062 **Dresden**



Univ.-Prof. Dr.-Ing. Günther Prokop  
Technische Universität Dresden  
Institut für Automobiltechnik Dresden-IAD  
Lehrstuhl Kraftfahrzeugtechnik  
Jante-Bau, 1. OG Zi 21  
George-Bähr-Straße 1c  
01069 **Dresden**



Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn.  
Helmut Eichseder  
Technische Universität Graz  
Institut für Verbrennungskraftmaschinen  
und Thermodynamik  
Inffeldgasse 19  
8010 **Graz**



Univ.- Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Thiemann  
Helmut-Schmidt-Universität/  
Universität der Bundeswehr Hamburg  
Institut für Fahrzeugtechnik und Antriebssys-  
temtechnik (IFAS)  
Holstenhofweg 85  
22043 **Hamburg**



Univ.-Prof. Dr. Friedrich Dinkelacker  
Leibniz Universität Hannover  
Institut für Technische Verbrennung  
Welfengarten 1A  
30167 **Hannover**



Univ.-Prof. Dr.-Ing. Michael Günthner  
Technische Universität Kaiserslautern  
Lehrstuhl für Antriebe in der Fahrzeugtechnik  
Fachbereich Maschinenbau und  
Verfahrenstechnik  
Gottlieb-Daimler-Str. 44/568  
67663 **Kaiserslautern**



Univ.-Prof. Dr. rer. nat. F. Gauterin  
Karlsruher Institut für Technologie  
Institut für Fahrzeugsystemtechnik  
Rintheimer Querallee 2  
Gebäude 70.04  
76131 **Karlsruhe**



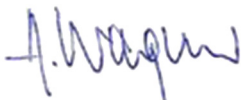
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Georg Wachtmeister  
Technische Universität München  
Fakultät für Maschinenwesen  
Lehrstuhl für Verbrennungskraftmaschinen  
Schragenhofstraße 31  
80992 **München**



Univ.-Prof. Dr.-Ing. Bert Buchholz  
Universität Rostock  
Fakultät für Maschinenbau und  
Schiffstechnik  
Lehrstuhl für Kolbenmaschinen und  
Verbrennungsmotoren  
Albert-Einstein-Straße 2  
18059 **Rostock**



Univ.-Prof. Dr.-Ing. Michael Bargende  
Universität Stuttgart  
Institut für Verbrennungsmotoren  
und Kraftfahrwesen (IVK)  
Pfaffenwaldring 12  
70569 **Stuttgart**



Univ.-Prof. Dr. Andreas Wagner  
Universität Stuttgart  
Institut für Fahrzeugtechnik Stuttgart  
Pfaffenwaldring 12  
70569 **Stuttgart**



Univ.-Prof. Dr. techn. Bernhard Geringer  
Technische Universität Wien  
Institut für Fahrzeugantriebe  
und Automobiltechnik  
Getreidemarkt 9  
1060 **Wien**, Austria



Prof. Dr. sc. techn.  
Konstantinos Boulouchos  
ETH Zürich  
Laboratorium für Aerothermochemie und  
Verbrennungssysteme  
Institut für Energietechnik  
8092 **Zürich**, Schweiz