

FVV PRIMEMOVERS. TECHNOLOGIES.

Klimaneutrale
und ressourcenschonende
Mobilität
Wie wir die grüne
Transformation beschleunigen

INFORMATIONSPAPIER



Science for a
moving society



Vorwort



Bisher haben fossile Energieträger den Wohlstand in der EU geprägt. Mit dem »Green Deal« möchte die EU den Übergang zu einem weltweit führenden Industriestandort vollziehen, in dem Wohlstand durch die Nutzung regenerativer Ressourcen gestaltet wird. Vom Jahr 2050 sollen in der EU keine Netto-Treibhausgase mehr ausgestoßen werden. Für die Industrie in ihrem globalen Wettbewerb birgt diese grüne Transformation große Herausforderungen, denn viele der bisher erfolgreichen Geschäftsmodelle müssen für die Zukunft angepasst werden. Der »Green Deal« bietet aber auch vielfältige Chancen. Nur mit Innovationen lassen sich Lösungen zur Emissionsreduzierung umsetzen, die den gesellschaftlichen Wohlstand nicht schmälern, sondern stützen oder sogar steigern. Das gilt nicht nur, aber im besonderen Maße für den Verkehrssektor.

Klimaschutz ist dabei nur ein Teil von Nachhaltigkeit. Erst eine detaillierte Lebenszyklusanalyse (LCA) gibt Aufschluss über Umweltwirkung und Energiebilanz eines Produkts während seiner gesamten Lebensdauer (Cradle-to-Grave): Zur Lebenszyklusanalyse gehören sämtliche Umweltwirkungen während der Produktion, der Nutzungsphase und der Entsorgung eines Produkts sowie die damit verbundenen vor- und nachgeschalteten Prozesse, zum Beispiel die Herstellung der Roh-, Hilfs- und Betriebsstoffe.

Da Kohlendioxid (CO₂) das bei weitem bedeutendste Klimagas ist, werden wir in unserem Informationspapier an dieser Stelle die technisch-wissenschaftliche Fachsprache verlassen und wie allgemein üblich bei der Betrachtung der Transformationspfade von Kohlendioxid- bzw. CO₂-Emissionen sprechen.

In einer umfangreichen Studienreihe hat die FVV Energieträger und -wandler, die das Potenzial zur Klimaneutralität im europäischen Verkehrssektor bieten, inklusive ihres gesamten Infrastrukturbedarfs und sämtlicher CO₂-Emissionen von der Erzeugung über die Nutzung bis zum Recycling gegenübergestellt. Das überraschende Ergebnis: Alle untersuchten Lösungen bieten über diesen umfassenden Betrachtungshorizont eine vergleichbar hohe Nachhaltigkeit. Nicht die Wahl der klimaneutralen Technologie an sich, sondern die Geschwindigkeit ihrer Einführung ist entscheidend für die Zielerreichung eines defossilisierten, klimafreundlichen und ressourcenschonenden Straßenverkehrs in der EU.

Am schnellsten lässt sich die Defossilisierung durch den Mix verschiedener Energieträger und -wandler erreichen, die auf elektrochemischer oder molekularer Energiespeicherung beruhen. Damit ist sogar das ambitionierte Ziel in Deutschland umsetzbar, schon 2045 klimaneutral zu sein. Unter idealen regulatorischen Rahmenbedingungen (beschleunigte Genehmigungsverfahren, langfristig tragbare und attraktive Geschäftsmodelle) könnte das sogar bereits vor 2040 gelingen. Die Nutzung nur einer Technologie zur CO₂-Neutralität hingegen verschiebt den Zeitpunkt, an dem Netto-Null-CO₂-Emissionen erreicht sind, dramatisch nach hinten.

In ihrem neuen Leitbild »Make it new« hat die FVV die vorwettbewerbliche Forschung an nachhaltigen Energieanlagen und Antriebssystemen auf eine neue Stufe gestellt: Gesellschaftliche und sich daraus ergebende technologische Anforderungen werden von der System- bis tief in die Komponentenebene spezifiziert und in Forschungsprojekten implementiert.



Kompass für die Forschungsaktivitäten sind die Lebensdauerstudien. Ihre Ergebnisse geben die Richtung auf dem Weg zur schnellstmöglichen Klimaneutralität und zu Zero-Impact-Emissionen vor. Also dem Zeitpunkt, an dem Fahrzeugemissionen ihre Relevanz für Klima, Umwelt und Gesundheit verlieren.

Die aus den Studien abgeleitete Diversifizierungsstrategie der FVV umfasst alle Konzepte, die Potenzial zur CO₂-Reduzierung bieten, batterieelektrische Lösungen genauso wie die Wasserstoffnutzung in Brennstoffzellen oder thermischen Wandlern sowie andere alternative Energieträger. Arbeiten zu elektrischen Maschinen führt die FVV dabei in Zusammenarbeit mit VDMA und FVA durch. Mit Zukunftstechnologien, im globalen Forschungsverbund und in enger Vernetzung schafft die FVV so das Fundament für die Antriebe der Mobilität von morgen.

Wir wünschen Ihnen eine spannende Lektüre und freuen uns auf einen Gedankenaustausch mit Ihnen.

Prof. Dr.-Ing. Peter Gutzmer
VORSITZENDER DES VORSTANDS

Dipl.-Ing. Dietmar Goericke
GESCHÄFTSFÜHRER



ZIELSETZUNG

Klimaneutralität und
Netto-Null-Emissionen
im Fokus

Der Klimawandel ist eine globale Herausforderung. Er betrifft uns alle. Die FVV unterstützt die ambitionierten Klimaziele Deutschlands und der EU.

Im Rahmen des Pariser Abkommens haben sich 197 Nationen weltweit, darunter auch alle EU-Staaten, im Jahr 2015 darauf verständigt, den Temperaturanstieg durch den Treibhauseffekt im Vergleich zum vorindustriellen Zeitalter auf deutlich unter zwei Grad Celsius (Ziel: 1,5 Grad) zu beschränken und so dem Klimawandel entgegenzuwirken. Daraus ergibt sich ein festes Klimagasbudget, das heißt eine Obergrenze für Treibhausgas-Emissionen, die maximal noch freigesetzt werden dürfen. Der Weltklimarat IPCC gab in seinem 2018 veröffentlichten Sonderbericht das globale CO₂-Restbudget mit 420 bis 580 Gigatonnen an, wenn das 1,5-Grad-Ziel erreicht werden soll¹. Da der Ausstoß von CO₂ die überwiegende Mehrheit der Treibhausgasemissionen im Verkehrssektor ausmacht, wird im Folgenden nur noch von CO₂ gesprochen, wenn Treibhausgase gemeint sind. Andere Treibhausgase werden als CO₂-Äquivalente berücksichtigt.

In der EU wurde beschlossen, die jährlichen CO₂-Emissionen in allen energieverbrauchenden Sektoren sukzessive zu reduzieren und dabei das verbleibende CO₂-Budget auf die kommenden Jahre zu verteilen. Im Jahr 2050 sollen Klimaneutralität und Netto-Null-Emissionen erreicht werden, das bedeutet, nicht mehr CO₂ auszustoßen, als durch Wälder oder über andere Wege absorbiert wird. Deutschland hat sich außerdem ein Zwischenziel für 2030 gesetzt, bis dahin muss das CO₂-Jahresbudget 55% unter dem von 1990 liegen. Zudem hat sich Deutschland verpflichtet, schon im Jahr 2045 klimaneutral zu sein. Mit umfangreichen Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten an nachhaltigen Energieträgern und -wandlern leisten die Mitgliedsunternehmen der FVV einen entscheidenden Beitrag zur Erreichung der Klimaschutzziele und für Zero-Impact-Emissionen im Verkehrssektor.

¹Mit der Erstellung des Berichts »1,5 °C globale Erwärmung – Der IPCC-Sonderbericht über die Folgen einer globalen Erwärmung um 1,5 °C gegenüber vorindustriellem Niveau und die damit verbundenen globalen Treibhausgasemissionspfade im Zusammenhang mit einer Stärkung der weltweiten Reaktion auf die Bedrohung durch den Klimawandel, nachhaltiger Entwicklung und Anstrengungen zur Beseitigung von Armut« (SR1.5) im Jahr 2018 kam der Weltklimarat (IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change) einer Bitte der Konferenz der Vertragsparteien der Klimarahmenkonvention (COP 21, Paris 2015) nach. Der Sonderbericht stellt den wissenschaftlichen Kenntnisstand zu den Folgen von 1,5 °C Erwärmung gegenüber vorindustriellen Bedingungen und zu Treibhausgas-Emissionspfaden, die mit einer solchen Erwärmung konsistent sind, dar. Der Bericht untersucht außerdem konkrete Maßnahmen zur Verstärkung und Beschleunigung des Kampfes gegen den Klimawandel. Darüber hinaus geht ein gesondertes Kapitel auf Berührungspunkte zu den siebzehn UN-Zielen nachhaltiger Entwicklung (Sustainable Development Goals – SDG) ein.



SO RECHNEN WIR

Unsere Mitglieder entwickeln Zukunftstechnologien für eine klimafreundliche und ressourcenschonende Mobilität. Darum ist es der FVV besonders wichtig, dass der Umwelteinfluss aller verfügbaren technologischen Lösungen über den gesamten Lebenszyklus hinweg bewertet werden.

Das entscheidende Kriterium bei der Bewertung von Technologien zur CO₂-Reduzierung muss die höchsteffiziente Verwendung des verbleibenden globalen Restbudgets sein. Dies erfordert eine detaillierte Lebenszyklusanalyse (Life-Cycle-Assessment, LCA) auf Grundlage einer globalen sowie branchen- und sektorenübergreifenden Betrachtungsebene. Dabei müssen alle direkten und indirekten Auswirkungen auf sämtlichen vor- und nachgelagerten Stufen der Wertschöpfungskette in die CO₂-Bilanz einfließen. Dieser sogenannte Cradle-to-Grave-Ansatz berücksichtigt ausnahmslos alle CO₂-Emissionen. Bei einem Fahrzeug beinhaltet er nicht nur die Nutzung des Fahrzeugs (Tank-to-Wheel), sondern auch die Herstellung, die Bereitstellung der Antriebsenergie (Well-to-Tank), den Aufbau und den Betrieb der notwendigen Infrastruktur sowie das Recycling des Fahrzeugs nach Lebenszeit (End-of-Life).

Von Äpfeln und Birnen

Weniger umfassende Ansätze, die den CO₂-Betrachtungshorizont auf einen bestimmten Abschnitt des Lebenszyklus (z. B. die Nutzungsphase eines Fahrzeugs) beschränken, bergen die Gefahr, dass Technologien gut abschneiden, die in einer Gesamtbetrachtung keine CO₂-Einsparung haben oder sogar zu mehr CO₂-Freisetzung führen. Der überwiegende Teil der aktuellen Studien und Untersuchungen hat jedoch genau diese Begrenzungen. Die Studien fokussieren nur auf ein bestimmtes Stadium des Lebenszyklus und erfassen die Realität der CO₂-Wirkketten damit unzureichend. Auch fehlen Hochlaufsznarien mit realistischen Einführungs- geschwindigkeiten der einzelnen Technologien zur CO₂-Reduzierung. Darauf basierte Betrachtungen ähneln dem vielzitierten Vergleich von Äpfeln und Birnen. Die so gewonnenen Erkenntnisse sind nicht geeignet, daraus Strategien künftiger Transformationstechnologien für eine klimafreundliche und ressourcenschonende Mobilität abzuleiten.

Lebenszyklusanalysen (LCA)

BILANZ GEZOGEN

Unsere LCA-Studien zeigen, dass die verschiedenen Technologiepfade eine sehr ähnliche Ökobilanz aufweisen und sich gegenseitig ergänzen können: Die Diversifizierung kann unter idealen regulatorischen Rahmenbedingungen die Erreichung des 1,5-Grad-Ziels sogar beschleunigen.

Um den Vergleich der unterschiedlichen Technologien zur CO₂-Einsparung für den europäischen Verkehrssektor auf eine wissenschaftlich fundierte Basis zu stellen, hat die FVV eine umfangreiche LCA-Studienreihe in Auftrag gegeben. Eingebunden waren alle an der gesamten Energiekette beteiligten Industrien sowie Forschungseinrichtungen aus Technik und Wirtschaft. Insgesamt haben mehr als 60 Experten aus aller Welt mitgewirkt. Die entstandenen Studien stellen die derzeit umfassendste Datenbasis zur Bewertung der CO₂-Relevanz künftiger Energie- und Antriebstechnologien für den Mobilitätssektor bereit. Kern der Untersuchungen sind die Potenziale unterschiedlicher Energieträger und Energiewandler zur CO₂-Reduzierung, inklusive ihres gesamten Infrastrukturbedarfs und sämtlicher CO₂-Emissionen von der Erzeugung bis zum Endverbrauch (Cradle-to-Grave).



Effizienter Einsatz des globalen CO₂-Restbudgets

In einer initialen Metastudie hat die FVV dazu mehr als 80 vorhandene Studien mit fast 500 Szenarien ausgewertet, in denen Antriebstechnologien über alle oder ausgewählte Lebenszyklusphasen bewertet werden [1, 2]. Wie sich bei Analyse der vorhandenen Studien zeigte, werden die Emissionen für den Ausbau der Infrastruktur und das Recycling am Ende des Fahrzeug-Lebenszyklus zumeist ausgeklammert. Zudem bleiben einige Energiewandler oder -träger wie Erdgas oder regenerativ erzeugte Kraftstoffe (z. B. eWasserstoff oder flüssige eFuels) sowie die entsprechenden Antriebe unberücksichtigt, obwohl sie große technologische Potenziale zur CO₂-Reduzierung böten. Trotz dieser Einschränkungen lässt sich als Trend über alle betrachteten Studien erkennen, dass die CO₂-Emissionen für sämtliche Kombinationen von Energieträgern und -wandlern über die Lebenszeit in einem engen Korridor liegen. Der Durchschnittswert in den Studien für das gesamte Fahrzeugleben reicht von 25 bis 35 Tonnen CO₂ pro Fahrzeug mit anteiliger Nutzung fossiler Energien bzw. von 9 bis 16 Tonnen CO₂ bei ausschließlicher Nutzung regenerativer Energien. Keine Technologie kann sich beim Potenzial zur CO₂-Reduzierung von den anderen so absetzen, dass sie besonders zu präferieren ist.



Diversifizierung beschleunigt Klimaneutralität

In zwei folgenden LCA-Studien [3, 4, 5] hat die FVV zusammen mit einer breiten, interdisziplinären Arbeitsgruppe die Erkenntnisse der Metastudie mit Fokus auf den europäischen Verkehrssektor vertiefend untersucht. Dabei wurden die gesamten CO₂-Wirkketten »Cradle-to-Grave« berücksichtigt und alle Energieträger und -wandler einbezogen, die aus heutiger Sicht Potenzial zur CO₂-Reduzierung bieten und die derzeit Gegenstand von Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten bei Forschungsinstituten, Ingenieurdienstleistern oder Industrieunternehmen sind. In Übereinstimmung mit der Methodologie nationaler CO₂-Bilanzen erfolgte die Verrechnung der CO₂-Emissionen vollständig in dem Jahr, in dem sie tatsächlich anfallen. Zudem wurden ideale finanzielle (d. h. die notwendigen Investitionen werden zum Zeitpunkt des Bedarfs getätigt) und politische Rahmenbedingungen (z. B. unverzügliche Erteilung von Genehmigungen und behördlichen Zulassungen) angenommen.

Die Bewertung der Energieträger und -wandler im Hinblick auf ihr CO₂-Reduzierungspotenzial für die Zeit bis 2050 erfolgt damit ausschließlich nach technologischen Gesichtspunkten. Die Studien liefern keine Prognose der künftig eingesetzten Energieträger und -wandler.

Ziel der Untersuchungen war ein Vergleich der verschiedenen Technologien, um aufzuzeigen, in welchem Maße sie in der Zeit bis 2050 zur CO₂-Reduzierung beitragen könnten. Damit soll Politik, Gesellschaft und Industrie, aber auch Forschung und Lehre, ein Werkzeug an die Hand gegeben werden, mit dem der Technologiereifegrad richtig bewertet werden kann, sodass sich entsprechende Einführungsstrategien ableiten lassen.



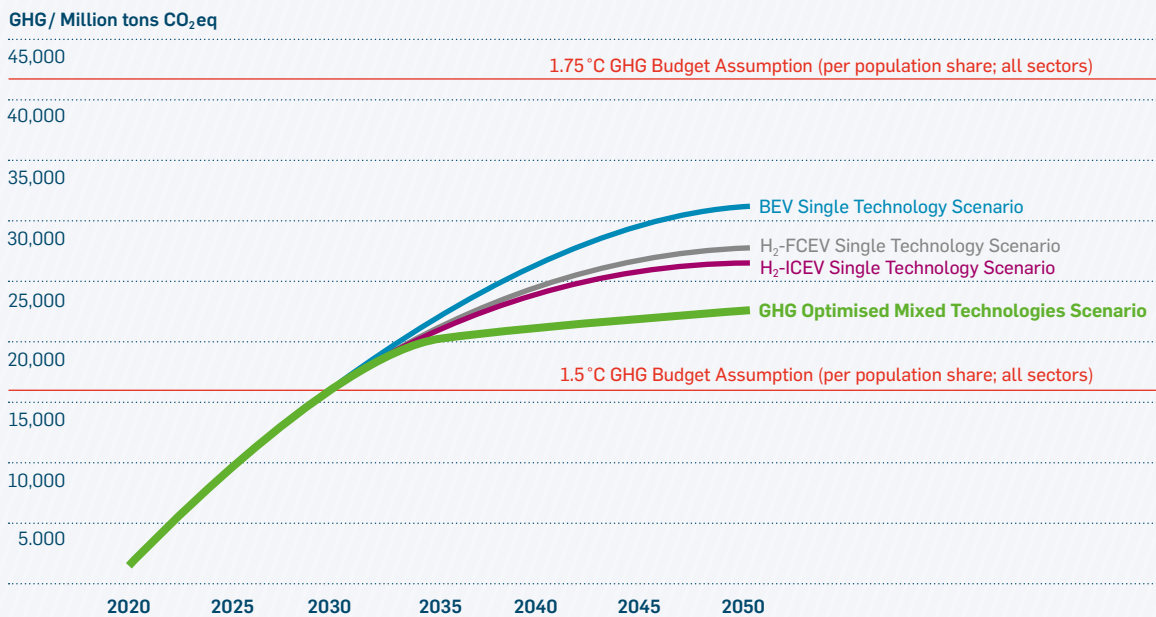
GESCHWINDIGKEIT IST TRUMPF

Wollen wir das Klima schützen, müssen wir den Verkehrssektor so schnell wie möglich auf nachhaltige Energieträger und -wandler umstellen. Klimaneutralität wäre unter idealen regulatorischen Rahmenbedingungen schon gut 10 Jahre früher erreichbar. Das funktioniert aber nur mit einem Technologiemix.

Wie schon in der Metastudie zeigte sich auch bei den zwei vertiefenden Studien, dass die kumulierten CO₂-Gesamtemissionen zwischen den verschiedenen Energieträgern und -wandlern kaum variieren, die Verwendung CO₂-neutraler Energien vorausgesetzt. Auch bietet keine Technologie einen signifikanten Wirkungsgradvorteil, wenn die vollständige Wirkkette von der Energieerzeugung über die Speicherung und den Transport bis hin zur Umwandlung in mechanische Energie eingerechnet wird. Eine wichtige neue Erkenntnis aus den Studien war, dass die Geschwindigkeit, mit der nachhaltige Lösungen eingeführt werden, erheblichen Einfluss auf die CO₂-Gesamtbilanz hat: Je schneller die Fahrzeugflotte defossilisiert ist – egal welcher Technologiepfad dafür verwendet wird –, desto geringer sind die kumulierten CO₂-Emissionen und damit die negativen Effekte auf das Klima. Damit erhält der realistisch maximal erreichbare Hochlauf (»Ramp-Up«) einer Fahrzeugtechnologie, der dafür notwendigen Energieerzeugungskapazitäten, der Infrastruktur der Wertschöpfungskette bis zum Endverbraucher sowie der Rohstoffverfügbarkeit besonderen Stellenwert.

Technologiemix

Am schnellsten lässt sich die Defossilisierung des Straßenverkehrs in der EU durch den Mix verschiedener Energieträger und -wandler erreichen. Damit ist sogar das ambitionierte Ziel in Deutschland umsetzbar, schon 2045 klimaneutral zu sein. Unter idealen regulatorischen Rahmenbedingungen (beschleunigte Genehmigungsverfahren, langfristig tragbare und attraktive Geschäftsmodelle) könnte das sogar bereits vor 2040 gelingen. Die Nutzung nur einer Technologie zur CO₂-Neutralität hingegen verschiebt den Zeitpunkt, an dem Netto-Null-CO₂-Emissionen erreicht sind, dramatisch nach hinten.



Unter idealen regulatorischen Rahmenbedingungen maximal möglicher Anteil klimaneutraler Energieträger im EU-Straßenverkehr bis 2050; unter anderem betrachtete Pfade: Batterieelektrische Fahrzeuge (Battery Electric Vehicles, BEV), Brennstoffzellenfahrzeuge (Fuel Cell Vehicles, FCEV), Fahrzeuge mit Wasserstoffdirektverbrennung (Internal Combustion Engine Vehicles, ICEV) und Technologie-mix (THG-optimal). © Frontier Economics



Technologiemix gegen Bottlenecks

Die Bewertung in der zweiten Studie umfasste insgesamt elf CO₂-neutrale Pfade, zehn Einzeltechnologieszenerarien, in denen jeweils nur ein einziger CO₂-neutraler Energieträger bzw. -wandler für alle Fahrzeuge verfügbar ist, und ein theoretisches, technologiediversifiziertes »Mix-Szenario«, in dem alle CO₂-neutralen Energieträger und -wandler berücksichtigt werden und das hinsichtlich »minimaler kumulierter CO₂-Emissionen« optimiert ist [5]. Ihre Verteilung kann über die Zeit bis 2050 sowie die verschiedenen Fahrzeugsegmente frei variieren.

Wie die Studie zeigt, haben alle CO₂-neutralen Technologiepfade Engpässe (»Bottlenecks«), die ihre Hochlaufgeschwindigkeit bremsen. Das kann beispielsweise die Verfügbarkeit notwendiger Rohstoffe, aber auch der Ausbau der Infrastruktur oder die Serienentwicklung und Einführung entsprechender Antriebe sein.

Ein Technologiemix führt daher zu einem erheblich schnelleren Hochlauf CO₂-neutraler Mobilität. Eine Kombination von Antriebstechnologien könnte somit die kumulierten CO₂-Emissionen erheblich reduzieren. Das CO₂-optimierte Technologiemix-Szenario ermöglicht unter idealen regulatorischen Rahmenbedingungen (beschleunigte Genehmigungsverfahren, langfristig tragbare und attraktive Geschäftsmodelle) und Hochlaufszenarien bereits bis zum Jahr 2039 Klimaneutralität (100% Defossilisierungsrate). Damit könnte sogar das ambitionierte Ziel in Deutschland, schon 2045 klimaneutral zu sein, im Bereich des Verkehrssektors erreicht werden.

Demgegenüber führt ein Szenario, das sich ausschließlich auf batterieelektrische Fahrzeuge (BEVs) als CO₂-neutrale Antriebstechnologie abstützt, bis 2050 zu 39% mehr CO₂-Emissionen als ein Mix aus CO₂-neutralen Antriebstechnologien. Auch würde mit einem reinen BEV-Ansatz bis 2050 nur eine Defossilisierungsrate von 76% des Fahrzeugbestands erreicht. Die Pariser Klimaziele würden damit allein durch die Bestandsflotte klar verfehlt.



ZIELERREICHUNG

Lebenszyklusanalyse und Systemeffizienz

WEGE ZUR DEKARBONISIERUNG DER MOBILITÄT

Mithilfe des »Green Deals« soll Europa bis 2050 zum ersten klimaneutralen Kontinent werden, der so viele CO₂-Emissionen beseitigt, wie er produziert. Damit die grüne Transformation deutlich an Fahrt aufnimmt, muss das Prinzip der schnellstmöglichen CO₂-Neutralität zur Grundlage politischer Entscheidungen werden.

Aus den Ergebnissen der Studien hat die FVV einen Forschungsfahrplan² abgeleitet, bei dem die Potenziale aller auf regenerativen Ressourcen basierenden Energiewandler und -träger im Zentrum der Aktivitäten stehen. Diese Diversifizierung gibt Politik und Gesellschaft sowie Industrie und Wissenschaft die Möglichkeit, neue Entwicklungen für den schnellstmöglichen Ausstieg aus der Nutzung fossiler Kraftstoffe und den Einstieg in CO₂-neutrale Technologien für die unterschiedlichen Segmente zu bewerten und auf den Markt zu bringen. Zudem schafft die Diversifizierung Redundanzen bei den Energieträgern und -wandlern, sodass das Ziel der Klimaneutralität bis 2050 gegen Unwägbarkeiten abgesichert wird. Führen beispielweise rohstoffseitige oder geopolitische Probleme zu einem verzögerten Hochlauf einer Technologie, kann das durch die Nutzung einer anderen Technologie weitestgehend aufgefangen werden.

Eine Strategie der Diversifizierung bei Energieträgern und -wandlern
> beschleunigt den Hochlauf CO₂-neutraler Technologien
> führt schneller zur Klimaneutralität im Verkehrssektor
> sichert die Klimaziele gegenüber Unwägbarkeiten ab
> ist der einzige Weg, die von der EU und Deutschland festgelegten Klimaziele im Verkehrssektor zu erreichen.

² MAKE IT NEW: Leitbild + Forschungsauftrag der FVV (Oktober 2022), im Besonderen die Forschungsfelder (Terms of References, ToR) der Expertengruppen: https://www.fvv-net.de/fileadmin/Transfer/Downloads/FVV_MakeltNew_Science_for_a_moving_society_2022_11_DE.pdf



Politik und Gesellschaft müssen schnell handeln

Die FVV appelliert daher an Politik und Gesellschaft, die Diversifizierung bei Energieträgern und -wandlern für den europäischen Verkehrssektor aktiv zu fördern. Ohne Berücksichtigung zusätzlicher regenerativer Energieträger laufen wir Gefahr, Potenziale bei der CO₂-Reduzierung ungenutzt zu lassen, die schnellstmögliche Defossilisierung der Energieträger auszubremsen und damit die kumulierten CO₂-Emissionen unnötigerweise zu erhöhen. Politische Entscheidungen und Vorgaben sollten auf Basis einer umfassenden LCA getroffen werden, bestehende Gesetze und Richtlinien müssen dahingehend überprüft und falls erforderlich modifiziert werden.

Angesichts der unkalkulierbaren aktuellen Herausforderungen (Energiekosten, Rohstoffengpässe, Lieferketten und geopolitische Situation) empfiehlt die FVV Politik und Gesellschaft, neben der Elektrifizierung des Verkehrs und der damit zusammenhängenden Infrastruktur auch einen breiten Zugang zu alternativen Energieträgern wie eWasserstoff und flüssigen eFuels zu schaffen. Das gilt umso mehr, als dass die Studien den herausragenden Stellhebel dieser Technologien für die CO₂-Reduzierung sowie den auch künftig noch großen Anteil der Fahrzeugbestandsflotte an den CO₂-Gesamtemissionen zeigen. Es ist zudem dringend erforderlich, Zwischenschritte auf dem Weg zur CO₂-Neutralität in der EU bis 2050 zu definieren und geeignete Mechanismen zur Überprüfung der Zielerreichung zu etablieren.



Produktdesign



Recycling



Entsorgung



Nutzung

Fahrzeugbetrieb
Energieversorgung

LEBENSZYKLUS-
ANALYSE

System

Entscheidend für die Ökobilanz einer Zukunftstechnologie ist das Umweltverhalten bzw. die Klimarelevanz des Gesamtsystems. Dieser sogenannte Cradle-to-Grave-Ansatz berücksichtigt alle direkten und indirekten Auswirkungen auf sämtlichen vor- und nachgelagerten Stufen der Wertschöpfungskette.



effizienz in geschlossenen Kreisläufen

Ressourcen

Energiequellen



Infrastruktur

Speicherung



Produktion

Rohstoffe
Komponenten
Fahrzeuge



Transport



Glossar

CO₂-Restbudget

Das CO₂-Restbudget ist die Menge an CO₂, die maximal noch freigesetzt werden darf, damit der globale Temperaturanstieg auf nicht mehr als 2,0 °C bzw. 1,5 °C ansteigt. Als Temperaturbezugszeitpunkt gilt dabei der Beginn der Industrialisierung. Die Angabe ist an Annahmen und Wahrscheinlichkeiten geknüpft, so gibt die IPCC in [1] das weltweite CO₂-Restbudget mit 580 Gigatonnen an, wenn die Erderwärmung mit einer Wahrscheinlichkeit von 50 % auf 1,5 °C begrenzt werden soll und mit 420 Gigatonnen bei einer Wahrscheinlichkeit von 66 % (Stand 2018). Das CO₂-Restbudget hat keine zeitliche Komponente, denn nur die akkumulierte CO₂-Gesamtkonzentration in der Atmosphäre ist für die Erderwärmung entscheidend, nicht, wann oder wo das CO₂ freigesetzt wird.

eFuels

eFuels sind synthetische Kraftstoffe, die durch chemische Prozesse mithilfe elektrischer Energie erzeugt werden (»Power-to-Fuel«). Ihr CO₂-Fußabdruck entspricht dem der genutzten Primärenergie, d. h. stammt die elektrische Energie für die Herstellung der eFuels aus regenerativen Quellen, sind eFuels CO₂-neutral. eFuels sind Flüssigkeiten oder mit vertretbarem Aufwand verflüssigbare Gase und daher relativ leicht zu transportieren. Damit bietet sich ein Import aus besonders wind- oder sonnenreichen Gegenden der Erde an, wo regenerative Energien mit hohem Wirkungsgrad erzeugt werden können. Die Kraftstoffe können in konventionellen Verbrennungsmotoren verwendet werden, entweder als alleiniger Kraftstoff oder als Zumischung. Sie bieten damit insbesondere die Möglichkeit, die CO₂-Emissionen der Fahrzeugbestandsflotte zu reduzieren.

Energieträger

Energieträger speichern Energie in chemischer, mechanischer, thermischer oder anderer physikalischer Form. Aus Energieträgern kann direkt oder durch Umwandlung Energie gewonnen werden.

Energiewandler

Der Energiewandler wandelt die im Energieträger gespeicherte Energie in eine mechanische Bewegung um, mit der z. B. ein Fahrzeug angetrieben wird.



Engpässe (»Bottlenecks«)

Kobaltverfügbarkeit für E-Fahrzeuge

Hauptengpass beim Hochlauf der Elektromobilität ist die Verfügbarkeit von Primärkobalt zur Herstellung der Fahrzeugbatterien, wobei in den Studien der FVV bereits sehr anspruchsvolle Recycling-Annahmen getroffen wurden. Die angespannte Kobalt-Versorgungssituation bei den heute marktbestimmenden NMC-Batterien (Nickel-Mangan-Cobalt) ließe sich durch einen Einsatz von LFP-Batterien (Lithium-Iron-Phosphate) deutlich entschärfen. LFP-Batterien weisen zwar eine deutlich geringere Energiedichte auf, aber auch einen signifikant reduzierten Kobaltbedarf. LFP-Batterien sind zudem serienreif für den Einsatz im anspruchsvollen automobilen Umfeld.

Infrastruktur – Stromnetz für batterieelektrische Fahrzeuge

Ein bremsender Engpass beim Hochlauf nachhaltiger Elektromobilität ist der Ausbau des europäischen Stromnetzes. Der erforderliche Aufwand, insbesondere für den Aufbau des Übertragungsnetzes, d. h. Fernleitungen, wird oft unterschätzt oder sogar komplett vernachlässigt. Diese Vereinfachung führt zu völlig unrealistischen Studienergebnissen und Schlussfolgerungen. Zwar gibt es ein bestehendes Übertragungsnetz, doch ist der Anstieg der Stromnachfrage allein durch die Elektrifizierung des Verkehrssektors so groß, dass dessen Kapazität signifikant überschritten wird. Da die vornehmlich in windigen und sonnigen Regionen erzeugte nachhaltige Energie europaweit dorthin transportiert werden muss, wo eine hohe Nachfrage besteht, ist ein großflächiger Übertragungsnetzausbau dringend erforderlich. In Deutschland kommen vorsichtigen Prognosen zufolge durch die Transformation zur CO₂-Neutralität zum heutigen elektrischen Stromverbrauch von 600 TWh/Jahr etwa 800 TWh/Jahr für Wärmepumpen und Elektrofahrzeuge hinzu, die durch das Netz transportiert werden müssen. Die FVV geht daher davon aus, dass 20% des erforderlichen Übertragungsnetzbedarfs durch freie Kapazitäten des bestehenden Übertragungsnetzes gedeckt werden können, während 80% der erforderlichen Transportkapazitäten neu gebaut werden müssen. Der Ausbau des Stromnetzes hingegen entwickelt sich nur sehr langsam. Von dem für 2010 bis 2020 in der EU geplanten Netzausbau mit einem Umfang von 42.000 km wurden weniger als 10.000 km tatsächlich fertiggestellt.

Energieverfügbarkeit und Energiebedarf

Zurzeit benötigt Deutschland ca. 3.600 TWh Primärenergie pro Jahr (EU: 19.000 TWh). Der Endenergiebedarf in Deutschland beträgt ca. 2.600 TWh pro Jahr. Die Differenz ergibt sich aus den unvermeidlichen Energieverlusten, die beim Transport und insbesondere bei der Umwandlung von einer Energieform in eine andere entstehen. Diese lassen sich nur durch eine Vermeidung von Umwandlungsprozessen und ineffizienter Transportformen reduzieren.

Möglichkeiten zur Senkung des Endenergiebedarfs ergeben sich durch eine Wirkungsgradsteigerung, wie effizientere Fahrzeuge (Hybridisierung, Elektrofahrzeuge) und Heizungen (Wärmepumpe), sowie eine bessere Wohnraumisolierung (weniger Wärmeverluste) oder einen geringeren Verbrauch durch Konsumverzicht bzw. eine schrumpfende Wirtschaftsleistung.

Die Prognose des künftigen deutschen Energiebedarfs ist Gegenstand verschiedener Studien. Veröffentlichte Werte für den Endenergiebedarf im Jahr 2050 liegen bei etwa 1.500 bis 1.800 TWh/Jahr; für den Primärenergiebedarf wird von etwa 1.800 bis 2.000 TWh/Jahr ausgegangen (EU: 13.000 bis 17.000 TWh/Jahr). Allerdings werden in diesen Studien oftmals sehr optimistische Annahmen hinsichtlich des Potenzials künftiger Energieeinsparungen getroffen, die eine robuste Planung der Energiewende gefährden könnten. Beispielsweise fehlt meist eine ausreichende Berücksichtigung erforderlicher chemischer Energiespeicher für Dunkelflauten; es wird oft entgegen der bisherigen Verkehrsentwicklung von einer signifikanten Abnahme des Individualverkehrs ausgegangen. Somit wird z. B. der Energiebedarf des Verkehrs in Deutschland (zurzeit etwa 600 TWh/ Jahr) nach vollständiger Umstellung auf batterieelektrische Fahrzeuge auf etwa 100 bis 140 TWh/Jahr abgeschätzt. Diese Zahlen sind deutlich zu niedrig, nach Berechnungen der FVV würde bei Beibehaltung der Transportleistung der Primärenergiebedarf für eine komplette Umstellung des Verkehrs auf batterieelektrische Fahrzeuge ca. 300 TWh/Jahr betragen, bei Steigerung der Verkehrsleistung gemäß des EU-Referenzszenarios 2016 sogar knapp 400 TWh/Jahr.

Die Abschätzung von Anforderungen an ein zukünftiges Energiesystem auf Grundlage zu optimistischer Annahmen ist höchst fragwürdig, da eine Unterdimensionierung der Energiesysteme die Energiesicherheit gefährden könnte. Eine robuste Abschätzung des minimalen Endenergiebedarfs für Deutschland dürfte in der Größenordnung von mindestens 2.300 TWh/Jahr liegen. Für die unvermeidlichen Umwandlungsverluste sollten mindestens 400 TWh/Jahr angenommen werden. Für eine robuste Auslegung des zukünftigen Energiesystems ergibt sich damit ein realistischer zukünftiger Primärenergiebedarf Deutschlands von 2.700 TWh/Jahr.

Das Potenzial von Solar- und Windkraft in Deutschland beträgt etwa 1.000 bis 1.200 TWh/Jahr. Ohne Berücksichtigung von Biomasse wird Deutschland daher mindestens 55 % (1.500 TWh/Jahr) und bei vollständiger Ausnutzung des nachhaltigen Biomassepotenzials mindestens 45 % (1.250 TWh/Jahr) des Energiebedarfs durch Importe decken müssen (Potenzial nachhaltige Biomasse in Deutschland: ca. 250 TWh/Jahr).

Da die Stromgewinnung aus Sonnen- und Windenergie in Deutschland im Vergleich zu den Vorzugsregionen dieser Welt deutlich teurer ist (Faktor bis zu ca. 10), wird realistisch mit deutlich höheren Importquoten zu rechnen sein. Die fehlende Energie kann praktisch nur in molekularer Form (als eWasserstoff oder als ein Derivat des eWasserstoffs, d. h. als flüssiges eFuel) importiert werden. Bei Nutzung dieser Energien sind Umwandlungsverluste unbedingt zu vermeiden. Zur Optimierung des Energiesystems ist es daher äußerst wichtig, den Wirkungsgrad des gesamten Energiesystems (Systemeffizienz) zu betrachten und nicht die Effizienz einzelner Technologien. Die Kombination bester erreichbarer Einzelwirkungsgrade führt dabei nicht automatisch zur besten Systemeffizienz.



Grenzüberschreitende Klimaemissionen versus lokale Luftschadstoffe

Stickoxide und Partikel haben eine lokale Wirksamkeit, d. h. Freisetzung (Emission) und Konzentration an einer bestimmten Messstelle zu einer bestimmten Zeit (Immission) stehen im direkten Zusammenhang. Treibhausgase wie CO₂ sind global wirksam, d. h. sie beeinflussen das Klima weltweit, egal wo und wann sie freigesetzt werden. Während bei einer zu hohen Konzentration lokaler Schadstoffe regional beschränkte Maßnahmen zielführend sein können, müssen Treibhausgase weltumfassend, d. h. über alle Landes- und Kontinentgrenzen hinweg, in der Summenbilanz betrachtet und reduziert werden.

Netto-Null-Emissionen

Für Netto-Null-Emissionen müssen sämtliche direkten und indirekten, während des Lebenszyklus eines Produkts anfallenden Treibhausgas-Emissionen auf ein Maß reduziert werden, das mit dem 1,5-Grad-Ziel des Pariser Klimaabkommens vereinbar ist. Eine Kompensation, beispielsweise durch den Erwerb von CO₂-Zertifikaten, ist nicht zulässig.

Treibhausgas-Neutralität (Klimaneutralität)

Treibhausgas-Neutralität (Klimaneutralität) ist erreicht, wenn anthropogen nicht mehr Treibhausgase ausgestoßen werden, als durch Wälder, Senken oder über andere Wege absorbiert wird. Um die Vergleichbarkeit zu gewährleisten, wird die Klimawirksamkeit der Treibhausgase dabei üblicherweise in CO₂-Äquivalente umgerechnet.

Zero-Impact-Emissionen

Zero-Impact-Emissionen sind Luftschadstoffe, deren Konzentration so gering ist, dass sie keine messbaren negativen Auswirkungen auf die Umwelt oder die Gesundheit verursachen. Dabei bezieht sich der Begriff Zero-Impact-Emissionen in der Regel auf Stickoxide.



Literaturhinweise



[1] IPCC (Hrsg.)

Global Warming of 1.5°C

Online: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2022/06/SR15_Full_Report_HR.pdf
aufgerufen am 15. März 2023



[2] FVV (Hrsg.)

Cradle-to-Grave-Lebenszyklusanalyse im Mobilitätssektor

Online: https://www.fvv-net.de/fileadmin/Transfer/Downloads/FVV_LCA_Lebenszyklusanalyse_Frontier_Economics_R595_final_2020-06_DE.pdf
aufgerufen am 27. Februar 2023



[3] FVV (Hrsg.)

Neue FVV-Metastudie zur Lebenszyklusanalyse alternativer Antriebe

Online: <https://www.fvv-net.de/science/bilanz-gezogen>
aufgerufen am 27. Februar 2023



[4] FVV (Hrsg.)

Zukünftige Kraftstoffe: FVV-Kraftstoffstudie IV

Online: https://www.fvv-net.de/fileadmin/Transfer/Downloads/Publikationen/FVV__Future_Fuels__StudyIV_The_Transformation_of_Mobility__H1269_2021-10__EN.pdf
aufgerufen am 27. Februar 2023



[5] FVV (Hrsg.)

Zukünftige Kraftstoffe: FVV-Kraftstoffstudie IVb

Online: https://www.fvv-net.de/fileadmin/Stories/Wie_schnell_geht_nachhaltig/FVV_H1313_1452_Future_Fuels_FVV_Fuel_Study_IVb_2022-12.pdf
aufgerufen am 27. Februar 2023



[6] FVV (Hrsg.)

Wie schnell geht nachhaltig?

Online: <https://www.fvv-net.de/science/wie-schnell-geht-nachhaltig>
aufgerufen am 27. Februar 2023

Studien

Studien des Weltklimarates IPCC



SYNTHESIS REPORT | 2023

AR6 Synthesis Report: Climate Change 2023

Der Synthesebericht stützt sich auf den Inhalt von drei Sachstandsberichten: »WG I – Naturwissenschaftliche Grundlagen«, »WG II – Folgen, Anpassung und Verwundbarkeit«, »WG III – Minderung des Klimawandels«, und drei Sonderberichten: »Globale Erwärmung um 1,5 °C«, »Klimawandel und Landsysteme«, »Die Ozeane und die Kryosphäre in einem sich wandelnden Klima«. Alle globalen modellierten Klimaschutzpfade, die die Erwärmung auf 1,5 °C (>50 %) ohne oder mit begrenzter Überschreitungsgefahr eindämmen, und diejenigen, die die Erwärmung auf 2 °C (>67 %) eindämmen, erfordern eine schnelle und tiefgreifende und in den meisten Fällen sofortige Reduzierung der Treibhausgasemissionen in allen Sektoren in diesem Jahrzehnt.

<https://www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-cycle/>





SONDERBERICHT | 2018

Global Warming of 1.5°C

Mit der Erstellung des Berichts

»1,5°C globale Erwärmung – Der IPCC-Sonderbericht über die Folgen einer globalen Erwärmung um 1,5°C gegenüber vorindustriellem Niveau und die damit verbundenen globalen Treibhausgasemissionspfade im Zusammenhang mit einer Stärkung der weltweiten Reaktion auf die Bedrohung durch den Klimawandel, nachhaltiger Entwicklung und Anstrengungen zur Beseitigung von Armut« (SR1.5)

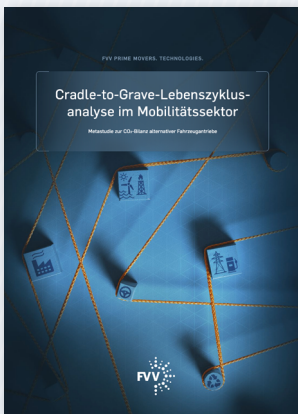
Im Jahr 2018 kam der Weltklimarat (IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change) einer Bitte der Konferenz der Vertragsparteien der Klimarahmenkonvention (COP 21, Paris 2015) nach. Der Sonderbericht stellt den wissenschaftlichen Kenntnisstand zu den Folgen von 1,5°C Erwärmung gegenüber vorindustriellen Bedingungen und zu Treibhausgas-Emissionspfaden, die mit einer solchen Erwärmung konsistent sind, dar. Der Bericht untersucht außerdem konkrete Maßnahmen zur Verstärkung und Beschleunigung des Kampfes gegen den Klimawandel. Darüber hinaus geht ein gesondertes Kapitel auf Berührungspunkte zu den siebzehn UN-Zielen nachhaltiger Entwicklung (Sustainable Development Goals – SDG) ein.

<https://www.ipcc.ch/sr15/>



Studien der FVV

Lebenszyklusanalysen im Mobilitätssektor



LCA META-STUDIE | 2020

Cradle-to-Grave-Lebenszyklusanalyse im Mobilitätssektor

Lebenszyklusanalysen (LCA) geben Aufschluss darüber, wie klimafreundlich neue Antriebssysteme wirklich sind. Eine Metastudie der FVV, durchgeführt von Frontier Economics, analysiert existierende Lebenszyklusstudien aus den letzten 15 Jahren.

https://www.fvv-net.de/fileadmin/Transfer/Downloads/FVV_LCA_Lebenszyklusanalyse_Frontier_Economics_R595_final_2020-06_DE.pdf



THESENPAPIER | 2020

Effizienter Einsatz des CO₂-Restbudgets im Mobilitätssektor

Ein ergänzendes Thesenpapier leitet zentrale Anforderungen an künftige Gesetze und Richtlinien zum Klimaschutz ab. Dabei zeigt sich, dass in einem globalen Energie- und Kohlenstoffsystem unter Klimagesichtspunkten verschiedene Technologie-Alternativen zur Verfügung stehen. Eine klar überlegene Antriebstechnologie gibt es nicht. Der Schlüssel zu nachhaltiger Mobilität liegt in einem fairen Technologiewettbewerb und der Defossilisierung der Energieerzeugung.

https://www.fvv-net.de/fileadmin/Transfer/Downloads/FVV_LCA_Lebenszyklusanalyse_Thesenpapier_2020-06_DE.pdf





Grüne Transformation



KRAFTSTOFFSTUDIE IVb | 2022

Transformation der Mobilität im klimaneutralen und postfossilen Zeitalter

Ergänzungsstudie

Die Ergänzungsstudie zu Teil IV der FVV-Kraftstoffstudien geht der Frage nach, wie man so früh wie möglich Klimaneutralität im europäischen Verkehrssektor erreichen und dabei Hochlaufpotenziale einzelner Technologiepfade berücksichtigen kann.

https://www.fvv-net.de/fileadmin/Stories/Wie_schnell_geht_nachhaltig/FVV_H1313_1452_Future_Fuels_FVV_Fuel_Study_IVb_2022-12.pdf



KRAFTSTOFFSTUDIE IV | 2021

Transformation der Mobilität im klimaneutralen und postfossilen Zeitalter

Teil IV der FVV-Kraftstoffstudien, durchgeführt von Frontier Economics und ifeu, betrachtet die CO₂-Wirkketten aller Energieträger und -wandler, denen derzeit ein Klimaschutzpotenzial zugeschrieben wird, über ihre gesamte Lebensdauer (»cradle-to-grave«). Ziel der Studie ist, Technologiepfade zu entwickeln, die es dem europäischen Verkehrssektor ermöglichen, die Ziele des Pariser Abkommens sicher zu erreichen. Wie bei der Berechnung nationaler CO₂-Fußabdrücke wurden alle Emissionen in dem Jahr bilanziert, in dem sie tatsächlich emittiert wurden.

https://www.fvv-net.de/fileadmin/Transfer/Downloads/Publikationen/FVV_Future_Fuels_StudyIV_The_Transformation_of_Mobility_H1269_2021-10_EN.pdf





THESENPAPIER | 2021

Sechs Thesen zur Klimaneutralität des europäischen Verkehrssektors

Ein Thesenpapier zu Teil IV der FVV-Kraftstoffstudien fasst die Randbedingungen klimafreundlicher und ressourcenschonender Mobilität in Europa zusammen. Neben den gesellschaftlichen Kosten und verschiedenen Umweltfaktoren werden die kumulierten CO₂-Emissionen für 42 mögliche Transformationspfade verglichen und es wird aufgezeigt, wie sich diese Emissionen gegenüber dem für Europa festgelegten CO₂-Restbudget verhalten. Die Analyse zeigt, dass es nicht möglich sein wird, das 1,5 °C-Ziel zu erreichen, ohne den Fahrzeugbestand zu berücksichtigen.

https://www.fvv-net.de/fileadmin/Transfer/Downloads/Publikationen/FVV_1378_Kraftstoffe_Studie_IV_Thesenpapier_R600_2021-10_DE.pdf



KRAFTSTOFFSTUDIE III | 2018

Defossilisierung des Transportsektors – Optionen und Voraussetzungen in Deutschland

Der Straßenverkehr soll bis 2050 klimaneutral sein. Dieses Ziel kann jedoch nur erreicht werden, wenn im Verkehrssektor Energie aus erneuerbaren Quellen eingesetzt wird. Die FVV hat daher verschiedene Mobilitätsszenarien für Deutschland mit Blick auf Klimaneutralität im Jahr 2050 analysiert: Elektromobilität, Wasserstoff und synthetische Kraftstoffe. Die Ergebnisse der Studie sollen einen faktenbasierten Dialog über die Energiequellen und Antriebe der Zukunft ermöglichen.

https://www.fvv-net.de/fileadmin/Transfer/Downloads/FVV_Kraftstoffe_Studie_Defossilisierung_R586_final_v.3_2019-06-14_DE.pdf





THESENPAPIER | 2018

Energiepfade für den Straßenverkehr der Zukunft – Optionen für eine klimaneutrale Mobilität im Jahr 2050

100% erneuerbar – nur wie? Ein Ziel mehrere Pfade. Das Thesenpapier fasst die Ergebnisse der drei in der FVV-Kraftstoffstudie III betrachteten Transformationspfade – Elektromobilität, Wasserstoff, synthetische Kraftstoffe - zusammen, analysiert den daraus entstehenden Investitionsbedarf und benennt Forschungsaufgaben für die Zukunft. Außerdem werden weitere Umsetzungskriterien wie z. B. Fragen zur Sicherheit oder zur erwarteten Marktakzeptanz behandelt.

https://www.fvv-net.de/fileadmin/Transfer/Downloads/FVV__Kraftstoffe__Studie_Energiepfade_final_v.3_2018-10-01_DE.pdf



Klimaindikator Treibhausgase (THG)

Treibhausgase werden überwiegend durch die Nutzung fossiler Energieträger wie Kohle oder Erdöl freigesetzt. Sie entstehen aber auch bei allen vor- und nachgelagerten Stufen der industriellen Wertschöpfungskette. Wenn der Gehalt von Treibhausgasen in der Atmosphäre ansteigt, führt dies zur Erwärmung der Erdatmosphäre und somit zum Klimawandel.

Die internationale Staatengemeinschaft hat sich deshalb im Jahr 2015 auf dem Klimagipfel in Paris darauf geeinigt, dass der globale Anstieg der Temperatur die Schwelle von 1,5 Grad nach Möglichkeit nicht überschreiten soll. Maximal soll der Anstieg 2 Grad betragen. Dies kann nur gelingen, wenn der weltweite Ausstoß von Treibhausgasen schnell und drastisch reduziert wird.

Dabei werden die Emissionen aller Treibhausgase (zum Beispiel Kohlendioxid, Methan) zusammengefasst. Da die verschiedenen Gase das Klima unterschiedlich beeinflussen, wird ihr Effekt auf die Wirkung von Kohlendioxid normiert: Ein Kohlendioxid-Äquivalent beschreibt, wie viel eine genau definierte Masse eines Treibhausgases über einen festgelegten Zeitraum im Vergleich zu Kohlendioxid (CO₂) zum Treibhauseffekt beiträgt. **Alle FVV-Studien rechnen mit THG-Emissionen bzw. Kohlendioxid-Äquivalenten.**

Das Informationspapier »Klimaneutrale und ressourcenschonende Mobilität: Wie wir die grüne Transformation beschleunigen« wurde zur allgemeinen Orientierung erstellt. Der Inhalt dieses Angebots kann und soll eine spezifische fachliche Beratung nicht ersetzen. Die FVV übernimmt keine Gewähr für die Richtigkeit, Genauigkeit und Vollständigkeit der Angaben und haftet nicht für Schäden, die sich aus der Verwendung der in dieser Studie enthaltenen Informationen ergeben.

Die Science Story »**Wie wir die grüne Transformation beschleunigen**« ist online abrufbar:

→ www.fvv-net.de/science/wie-wir-die-gruene-transformation-beschleunigen





Science for a
moving society

HERAUSGEBER

FVV e.V.
Lyoner Straße 18
60528 Frankfurt am Main
www.fvv-net.de

AUSGABE

R605 | 2023

AUTOREN

Richard Backhaus, Wiesbaden

REDAKTION

Petra Tutsch, Dietmar Goericke
und Martin Nitsche, FVV

GRAFISCHE KONZEPTION
UND UMSETZUNG

Lindner & Steffen GmbH, Nastätten

Transfer// Industrielle Gemeinschaftsforschung (IGF) ermöglicht Unternehmen, gemeinsame Forschungs- und Technologieprobleme wissenschaftlich fundiert zu lösen. Sie bietet Zugang zu einem kontinuierlichen Strom von neuem Wissen, das für die Entwicklung eigener Produkte, Verfahren und Dienstleistungen genutzt werden kann. Industrielle Forschung und Entwicklung profitiert vom erkenntnis-/ praxisorientierten Austausch mit der Wissenschaft – Hochschulen und gemeinnützigen außeruniversitären Forschungseinrichtungen – zu technologiebezogenen Zukunftsfragen. So entsteht Innovationskraft in den Unternehmen und Exzellenz in Forschung und Lehre.

Orientierung // Industrielle Gemeinschaftsforschung (IGF) schafft wissensbasierte Erkenntnisse, die jedem unserer Netzwerkpartner und der interessierten Öffentlichkeit zur Verfügung stehen. Neben den Grundlagenthemen initiiert die Forschungsvereinigung Orientierungsstudien, die eine klimaneutrale, ressourcenschonende und wettbewerbsfähige Wirtschaft unterstützen.

FVV e.V.

Lyoner Straße 18 | 60528 Frankfurt am Main
+49 69 6603 1345 | info@fvv-net.de

www.fvv-net.de