



Mai 2018

DIE PATHWAYS STUDIE:

# FOSSILFREIER GÜTERVERKEHR BIS 2050



## ZUSAMMENFASSUNG

Ein fossilfreies Wirtschaftsverkehrssystem im Zeitrahmen des Pariser Abkommens zu erreichen, ist nicht nur möglich, sondern auch aus gesellschaftlicher Sicht finanziell attraktiv. Dies ist die wichtigste Schlussfolgerung der von Scania initiierten Pathways Studie. Allein durch die Optimierung von Transportsystemen, zum Beispiel durch verbesserte Routenführung und besseres Lastmanagement, können die CO<sub>2</sub>-Emissionen um über 20 Prozent gesenkt werden. Darüber hinaus gibt es mehrere Treibstoff- und Antriebstechnologien in eine fossile Zukunft. Biotreibstoffe bieten die höchste CO<sub>2</sub>-Reduktion; die Elektrifizierung ist der kostengünstigste Weg. Andere Technologien, wie Wasserstoff-Brennstoffzellen und E-Autobahnen sind auch zu berücksichtigen und können für bestimmte geografische Regionen und Anwendungen von entscheidender Bedeutung sein.

Um dieses Ziel zu erreichen, muss sich die Branche schnell und unmittelbar verändern. Es kann lange dauern, bis neue Technologien eine breite Akzeptanz erreichen, da sich der vorhandene Fahrzeugbestand nur langsam ändert. Das bedeutet, dass für das Jahr 2050 bereits bis 2025 Veränderungen in einer Größenordnung erforderlich sind, die nicht nur neue Technologien, sondern auch neue Infrastrukturen, Verhaltensweisen und Partnerschaften umfassen.



## EINFÜHRUNG IN PATHWAYS

Um die Erwärmung auf zwei Grad Celsius zu begrenzen, muss die Welt im Einklang mit den Zielen der Vereinten Nationen für nachhaltige Entwicklung und dem Pariser Abkommen bis 2050 vollständig fossilfrei sein. Dies ist eine große Herausforderung, die in allen Bereichen dramatische Veränderungen in Form neuer Technologien, neuer Infrastrukturen und völlig neuer Geschäftsmodelle erfordert. Die Studie zielt darauf ab, eine Diskussion über die Entscheidungen und Maßnahmen, die heute getroffen werden müssen, zu beginnen.

Nach der Energiewirtschaft ist der Verkehr die größte Quelle der globalen CO<sub>2</sub>-Emissionen und trägt derzeit fast ein Viertel zu den globalen Emissionen bei. Fast ein Viertel davon entfällt auf den kommerziellen Strassenverkehr. Die Forschung zeigt, dass wir bis 2050 ein fossilfreies Wirtschaftsverkehrssystem erreichen können - und dass dies die gesellschaftlichen Kosten nicht kumulativ erhöht, sondern reduziert.

Das Forschungsziel war nicht, die Entwicklung der Branche vorherzusagen, sondern von dem Endziel auszugehen, bis 2050 null CO<sub>2</sub>-Emissionen zu erreichen. Davon ausgehend legte das Forschungsteam fest, welche Maßnahmen zur Technologieentwicklung, Infrastrukturentwicklung und Markteinführung notwendig sind, um das Ziel zu erreichen. Die zu erwartenden Auswirkungen der Maßnahmen wurden quantifiziert und die Geschwindigkeit und Intensität, die erforderlich sind, um das Ziel der Pariser Vereinbarung zu erreichen, dargelegt. Es wurden mehrere Wege zu einer fossilfreien Transportzukunft identifiziert, die von der vollständigen Elektrifizierung bis hin zu einem Portfolio von Antriebsstrangtypen reichen. Der Verkehrssektor und die angrenzenden Branchen müssen sich rasch und unmittelbar verändern, um diese Ziele zu erreichen. Es kann lange dauern, bis neue Technologien eine breite Akzeptanz erreichen, da sich der vorhandene Fahrzeugbestand nur langsam ändert. Das bedeutet, dass ab dem Jahr 2025 Veränderungen in einer Größenordnung notwendig sind, die nicht nur neue Technologien, sondern auch neue Infrastrukturen, Verhaltensweisen und Partnerschaften umfassen, damit das Ziel fossilfrei bis 2050 erreicht werden kann.

Da das Tempo und der Grad der erforderlichen Veränderungen beispiellos sind, kann die Nutzfahrzeugindustrie diesen Wandel nicht allein bewältigen. Um diesen Übergang zu ermöglichen, müssen Mittel bereitgestellt werden, und die Zusammenarbeit zwischen den Wirtschaftszweigen und den angrenzenden Sektoren, einschließlich des öffentlichen Sektors, wird erforderlich sein.



## DIE PATHWAYS STUDIE - ANSATZ UND METHODE

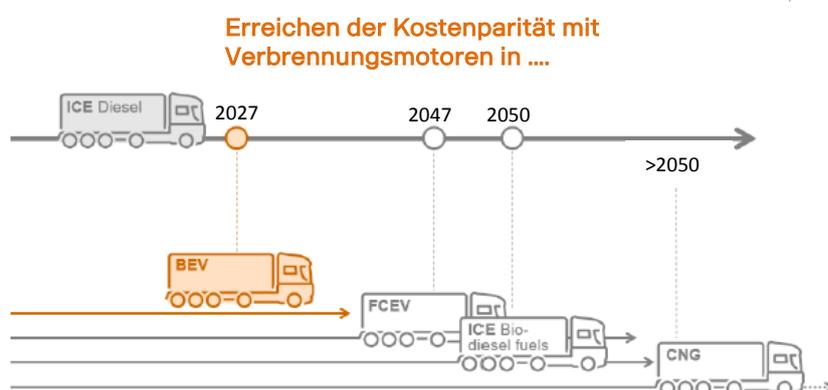
In einem "back-cast" Modellierungsansatz, berechneten die Forscher mittels verschiedener Szenarien, was benötigt wird, um bis 2050 ein fossilfreies, kommerzielles Verkehrsökosystem zu erreichen.

Zunächst wurde ein detailliertes Modell erstellt, das die Elemente Logistiksystem und Antriebs-effizienz, Technologiekosten und -durchdringung, Transport- und Transportnachfrage sowie "Well-to-Wheel" fossile Emissionen integriert.

Die Technologiekosten wurden mit Hilfe eines proprietären Total Cost of Ownership (TCO)-Modells berücksichtigt, das die Antriebsstrang-, Treibstoff- und Infrastrukturkosten berücksichtigt, um eine Metrik in Euro pro Kilometer zu erstellen, die technologieübergreifend konsistent ist. Wie das Exponat zeigt, könnten Fernverkehr-Batterie-Elektrolastwagen bereits 2027 die Kostenparität mit Dieselmotoren erreichen, während Brennstoffzellenfahrzeuge 2047 die Kostenparität erreichen könnten.

<sup>1</sup>Diese Ergebnisse gehen von einer fortgesetzten, aber konservativen Kostensenkung bei Batteriepacks und Brennstoffzellensystemen von heute bis 2050 aus, mit -4% bzw. -8% kumulierter durchschnittlicher Wachstumsrate (CAGR), die niedriger ist als die über -10% CAGR-Kosten, die die Technologien in den letzten 5 Jahren generiert haben.

Niedrige Strompreise in Schweden verschaffen BEV einen Kostenvorteil gegenüber Fernverkehrsapplikationen und Treibstoffen



Quelle: Energieeinblicke, ICCT und Teamannahmen

Die „Well-to-Wheel“ fossilen Emissionen wurden auf der Grundlage der Emissionsfaktoren der einzelnen Treibstoffe und Technologien berechnet. Dies ermöglicht ein Verständnis des Minderungspotenzials eines jeden Szenarios im Vergleich zu einem "Business-as-usual"-Szenario, bei dem der laufende Betrieb unverändert weiterläuft.

Die Emissionsberechnungen waren umfassend und reichten von der Produktion bis zum Endverbrauch von Treibstoff und Strom. Da es sich hierbei um eine Rückwärtsrechnung handelt, wurde davon ausgegangen, dass auch benachbarte Industrien das Pariser Ziel erreichen werden, so dass der Energiesektor bis 2050 auch einen Punkt fossilfreier Energie für den weltweiten Energiebedarf des kommerziellen Verkehrs erreichen wird. Es wurde davon



ausgegangen, dass sich die Kosten der Integration der erneuerbaren Energien in leicht höheren Strompreisen niederschlagen würden.

Eine Sensitivitätsanalyse für den europäischen Markt ergab, dass bei einer Dekarbonisierung des Netzes entlang der von der aktuellen Ökonomie und Regulierung vorgegebenen „Flugbahn“ eine Reduktion der kumulierten Emissionen um durchschnittlich 90 Prozent erreicht werden kann.

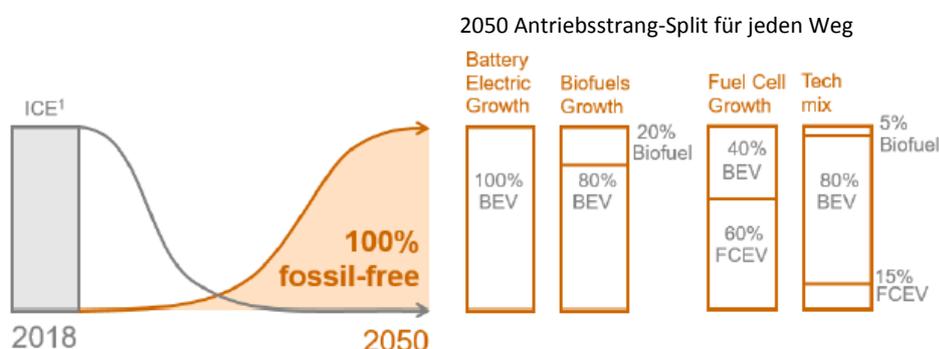
Jede dieser Eingaben wurde anhand des zu modellierenden Transportsegments, der Region und des Zeitrahmens angepasst. In der ersten Phase der Studie lag der Fokus auf den drei Segmenten des kommerziellen Verkehrs, die für 90 Prozent der CO<sub>2</sub>-Emissionen von Nutzfahrzeugen verantwortlich sind - Verteilerfahrzeuge, Fernverkehr und Stadtbusverkehr - in vier verschiedenen Regionen: Schweden, USA, Deutschland und China.



# SZENARIEN ERFORSCHT: VIER WEGE IN EINE FOSSILFREIE ZUKUNFT

Es wurden vier Szenarien bzw. "Wege" definiert, die auf der Durchdringung konkurrierender Antriebstechnologien bis 2050 basieren. Diese Technologien wurden aufgrund ihres Potenzials für ein fossilfreies Transportsystem ausgewählt. Typischerweise wurde das Wachstum in jeder Technologie so modelliert, dass es an der Kostenparität mit Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor beginnt. Diese Szenarien sollten als Eckpfeiler dienen, um zu zeigen, ob es möglich ist, auf jedem Weg einen fossilfreien Transport zu erreichen, und was dazu erforderlich ist.

Ausgehend von einem fossilenbasierten kommerziellen Transportsystem gehen wir vier Wege in eine fossilfreie Zukunft



Wir haben uns entschieden, vier Szenarien zu erforschen:

**1. Wachstum des Batterie-Elektrofahrzeugs (BEV):** In diesem Szenario ist der kommerzielle Verkehr bis 2050 vollständig elektrifiziert.

**2. Wachstum von Biotreibstoffen:** Biotreibstoffe, die in Verbrennungsmotoren verwendet werden, sind kurzfristig die erste Wahl, um den CO<sub>2</sub>-Ausstoß zu reduzieren, aber auf lange Sicht stellen batteriebetriebene Elektrofahrzeuge die Mehrheit dar, wobei die auf Biotreibstoffen basierenden Verbrennungsmotoren 20 Prozent der Fahrzeuge im Jahr 2050 auf der Grundlage der maximal möglichen Nutzung des weltweit verfügbaren Biotreibstoffangebots antreiben.

**3. Wachstum der Brennstoffzellen-Elektrofahrzeuge (FCEV):** Brennstoffzellenfahrzeuge wachsen bis 2050 sehr schnell an, wobei die Einführung aufgrund größerer Kostennachteile später beginnt als die Batterieelektrik. Der Rest des Volumens im Endzustand ist batterieelektrisch.

**4. Technologiemix:** Mehrere Antriebstechnologien und Infrastrukturen werden nebeneinander existieren, mit einem Mix aus batterie-, brennstoffzellen- und biotreibstoffbetriebenen Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor.



Für jeden Weg wurde das gesamte Treibhausgasminderungspotenzial in Form von Kohlendioxidäquivalenten (CO<sub>2</sub>e) und den Gesamtkosten für das System berechnet, einschließlich aller erforderlichen Investitionen des öffentlichen und privaten Sektors in Technologie und Infrastruktur. Jeder der vier Wege erfordert unterschiedliche Verschiebungen von Treibstoffen und Technologie, wie in der Grafik (oben) [rechts! gezeigt wird.



## STARKES KLIMA UND FINANZIELLE RENDITEN

Die Forschung weist den Weg in eine sauberere, effizientere Zukunft:

- Ein fossilfreies Güterverkehrssystem ist bis 2050 realisierbar und ermöglicht Kosteneinsparungen gegenüber dem „Business-as-usual-Betrieb“ durch eine Kombination aus verbesserter Logistik und erhöhter Fahrzeugeffizienz sowie durch fossilfreie Treibstoffe und Antriebsstränge.
- Allein durch die Optimierung von Transportsystemen und die Verringerung von Fahrwiderständen können die Emissionen um über 20 Prozent gesenkt werden.
- Mehrere Treibstoffe und Antriebswege in eine fossile Zukunft können beschritten werden:
  - Biotreibstoffe bieten die höchste CO<sub>2</sub>-Reduktion;
  - Elektrifizierung ist der effizienteste und kostengünstigste Weg;
  - Andere Technologien sind auch zu berücksichtigen und können für bestimmte geografische Regionen und Anwendungen entscheidend sein.
- Jeder Weg erfordert ein noch nie dagewesenes Tempo der Veränderung.

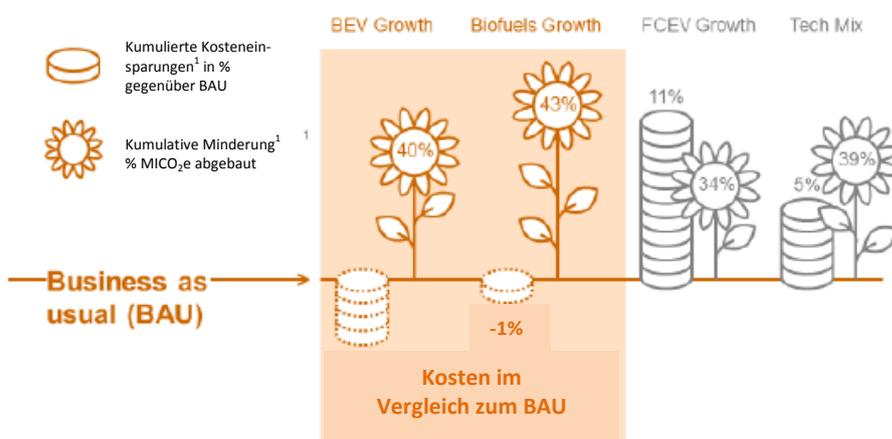
Diese Ergebnisse sind geografisch konsistent und zeigen, dass wir ein sauberes und kostengünstigeres globales Verkehrssystem aufbauen können. Allerdings wird es nicht einfach sein, in nur einer Generation ein fossilfreies Verkehrssystem aufzubauen. Die Akteure des Verkehrssektors und der angrenzenden Branchen müssen auf neue Arten – und mit dem öffentlichen Sektor – zusammenarbeiten. Die Innovation muss zusammen mit der Einführung neuer Technologien in einem noch nie dagewesenen Tempo beschleunigt werden. Deshalb müssen die Investitionen jetzt beginnen.



# DAS ERREICHEN EINES FOSSILFREIEN SYSTEMS BIS 2050 IST NICHT NUR MÖGLICH, SONDERN BRINGT AUCH KOSTENEINSPARUNGEN

Die Forschung zeigt, dass mehrere Wege zu einem fossilfreien Wirtschaftsverkehr führen können, wenn die Investitionen sofort beginnen. Neben der Verringerung der Treibhausgasemissionen könnten diese Investitionen zu erheblichen Einsparungen führen und die Gesamtkosten für die Gesellschaft für den Bau, die Instandhaltung und den Betrieb des gewerblichen Verkehrs um 20 Prozent oder mehr im Vergleich zu "Business-as-usual" (BAU) senken.

Alle Pathways Szenarien bieten attraktive Reduzierungen, aber einige erzielen sogar Kosteneinsparungen gegenüber BAU



<sup>1</sup> Durchschnitt über China, Deutschland, Schweden und USA von 2017 bis 2050

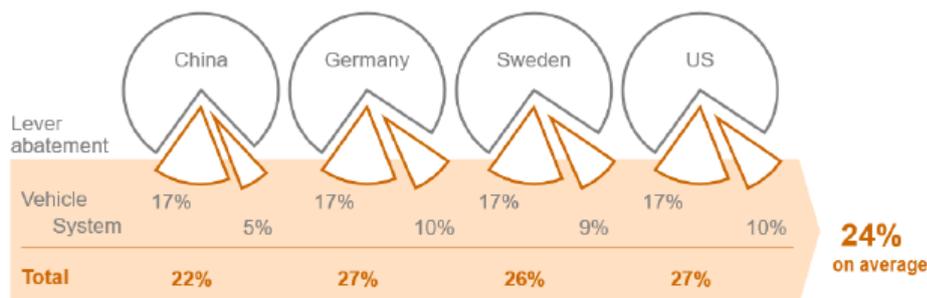
Das Ausmaß und der Zeitpunkt der Kosteneinsparungspotenziale sind je nach Weg unterschiedlich. Das kostengünstigste Szenario, der Batterie-Elektrofahrzeug-Weg, bringt bereits innerhalb des nächsten Jahrzehnts Einsparungen gegenüber der Aufrechterhaltung der „Business-as-usual-Infrastruktur“ und bringt bis 2050 Einsparungen von insgesamt rund 20 Prozent. In Schweden zum Beispiel ist eine kostengünstige Maßnahme 25 Prozent billiger als im Jahr 2050, wobei die größeren Einsparungen vor allem auf die vergleichsweise niedrigen Strompreise in Schweden zurückzuführen sind.



# EMISSIONEN KÖNNEN DURCH LOGISTIKSYSTEM UND FAHRZEUGEFFIZIENZ UM ÜBER 20 PROZENT REDUZIERT WERDEN.

Mehr als 20 Prozent der Emissionsreduktion können durch die Optimierung von System- und Fahrwiderständen erreicht werden, wie z. B. die Verbesserung der Streckenführung und des Lastmanagements, wie in der folgenden Abbildung dargestellt. Der Rest der Emissionen kann mit alternativen Antrieben und Treibstoffen reduziert werden.

Die Verbesserung der System- und Fahrzeugeffizienz könnte etwa 24 % der Emissionslücke von 2050 für den gewerblichen Verkehr schließen.



Die meisten Verbesserungen des Logistik- und Fahrzeugsystems amortisieren sich relativ schnell, so dass eine breite Akzeptanz wahrscheinlich ist. Einige Regionen haben besonders viele Möglichkeiten zur Effizienzsteigerung im Logistikmanagement und in der Fahrzeugperformance. In China zum Beispiel kann es jedoch schwieriger sein, weitreichende Effizienzgewinne zu erzielen, da die weit verbreitete Praxis der Überlastung des Güterverkehrs und unzureichende IT-Ressourcen für die Adressierung, Identifizierung und gemeinsame Nutzung von Daten zur Lastkonsolidierung eine Rolle spielen. Politische Veränderungen und Infrastrukturinvestitionen in China könnten zu Effizienzsteigerungen von mehr als 40 Prozent führen, wenn solche Hindernisse beseitigt werden.



# MEHRERE WEGE IN EINE FOSSILE ZUKUNFT

## BIOTREIBSTOFFE BIETEN DIE HÖCHSTE CO<sub>2</sub>-REDUKTION

Die Studie zeigt, dass ein Szenario mit einem hohen Einsatz von Biotreibstoffen im Endstadium bis 2050 zu einer vollständigen Verringerung führen kann, während im Verlauf des Übergangs eine maximale Reduktion im Vergleich zu anderen Wegen erreicht wird. Diese erhöhte Reduktion ist jedoch mit höheren Kosten verbunden.

Während die Investitions- und Infrastrukturkosten für diesen Weg sehr niedrig sind, weil Biotreibstoffe als Ersatz für Diesel in Verbrennungsmotoren und Infrastrukturen verwendet werden können, ist der Opex im Jahr 2050 aufgrund der hohen Kosten und Energieintensität der Biotreibstoffproduktion im Vergleich zu erneuerbarem Strom fast doppelt so hoch.

Wenn Dieseltreibstoff synthetisch durch Elektrolyse (Power-to-Fuel) hergestellt würde, wären die Kosten und die Energieintensität noch höher, und die CO<sub>2</sub>-Abscheidungstechnologie (\*) wäre erforderlich, um den Treibstoff aufgrund der anhaltenden punktuellen

Verbrennungsemissionen wirklich fossilfrei zu machen. Für Biotreibstoffe geht die Studie davon aus, dass die Bepflanzung des Rohstoffs für die Biotreibstoffproduktion die punktuellen Verbrennungsemissionen auf natürliche Weise verringern würde, ohne dass eine Kohlenstoffabscheidung (\*) erforderlich wäre.

(\*) Entzug des CO<sub>2</sub> in der Atmosphäre und dauerhafte Einlagerung in unterirdischen Lagerstätten mittels spezieller Kraftwerken.

(Quelle: Wikipedia)



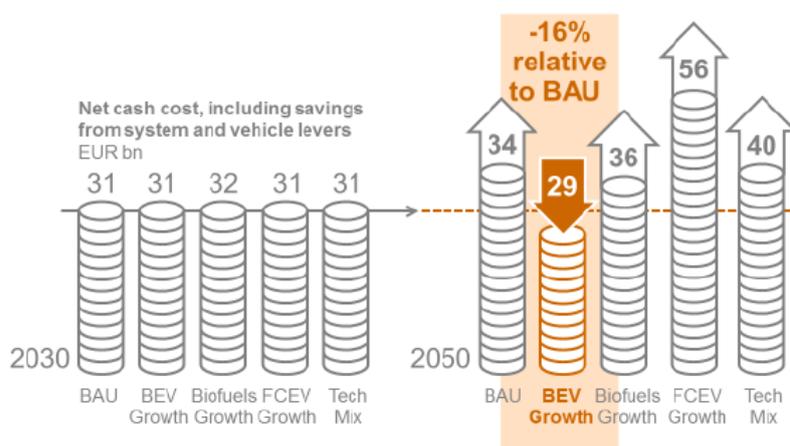
## ELEKTRIFIZIERUNG IST DER EFFIZIENTESTE UND KOSTENGÜNSTIGSTE WEG

Unter Berücksichtigung der Anforderungen an die Infrastruktur und die Batteriegröße zeigt die Studie, dass die Elektrifizierung bis 2050 bis zu 6 Prozent an kumulativen Einsparungen bringen kann, wobei die Systemkosten im Jahr 2050 um etwa 21 Prozent niedriger sind als bei Diesel.

Die TCO für batterieelektrische Fahrzeuge erreicht für alle Fahrzeugsegmente - auch für den Fernverkehr - bis zum Jahr 2031 das Niveau von Diesel. Tatsächlich ist sie derzeit für Bus- und Verteilverkehreanwendungen in Schweden und für Busse in Deutschland kostensparend.

Die Lieferung des Batterie-Elektrofahrzeug-Szenarios bis 2050 erfordert vier- bis fünfmal mehr Infrastrukturinvestitionen im Vergleich zur aktuellen Situation, senkt aber die Betriebskosten um 40 Prozent, wodurch sich das Kostenprofil deutlich vom Dieselmotell unterscheidet. Der Wachstumspfad für batterieelektrische Fahrzeuge bietet die kostengünstigste Route und bringt bis 2050 fast 20 Prozent Einsparungen bei den Gesamtsystemkosten im Vergleich zu „Business-as-usual“.

Die Wegekosten sind zunächst vergleichbar, aber das BEV-Wachstumsszenario zeigt deutliche Einsparungen bis 2050



Auch die Empfindlichkeit auf einen größeren Emissionsbereich wurde unter Berücksichtigung der Emissionen aus der Produktion aller Motoren, Batterien und Treibstoffe untersucht. Das Potenzial jedes einzelnen Weges - mit Ausnahme des Wachstums von Biotreibstoffen - zur Verringerung der Emissionen wird durch diesen erweiterten Anwendungsbereich leicht reduziert. In der Tat, auch wenn alle CO<sub>2</sub>-Emissionen der batterieelektrischen Fahrzeuge berücksichtigt werden – Rohstoffgewinnung, Synthese und Formulierung - verringert dieser Wachstumspfad immer noch den zweithöchsten Kohlenstoffgehalt. Während der Weg der batterieelektrischen Fahrzeuge bis 2050 immer noch Null-Emissionen zu den niedrigsten Kosten im Vergleich zu anderen Wegen erreicht, müssen die Akteure entlang der Batterie-Wertschöpfungskette die Energie- und Kohlenstoffintensität ihres Betriebs reduzieren, um die Attraktivität des elektrischen Antriebsstrangs zu maximieren.



## **ALTERNATIVE WEGE HABEN WICHTIGE VORTEILE, DIE ES ZU BERÜCKSICHTIGEN GILT**

Wenn das Hauptziel die Maximierung der Kohlenstoffreduzierung in den kommenden Jahrzehnten ist, werden Biotreibstoffe von entscheidender Bedeutung sein, da sie den einzigartigen Vorteil bieten, dass sie in der Lage sind, kurzfristig eine Rolle bei der Reduzierung der Emissionen zu spielen, während die dominierende Technik auf der Straße immer noch der Verbrennungsmotor ist. Ihr Einsatz kann jedoch durch hohe Kosten im Vergleich zu anderen Treibstoffen und Antriebssträngen sowie durch die Bioverfügbarkeit in Frage gestellt werden. Bei ausschließlicher Verwendung für den kommerziellen Verkehr könnten Biotreibstoffe maximal 20 Prozent der weltweiten Verkehrsnachfrage im Jahr 2050 decken. Da es jedoch eine konkurrierende Nachfrage von Anwendungen geben wird, die schwieriger zu elektrifizieren sind, wie z. B. der See- und Lufttransport, ist dieses Maximum unwahrscheinlich. Brennstoffzellenfahrzeuge sind zwar teurer im Einsatz, können aber in Märkten, in denen die regulatorische Unterstützung für die Wasserstofftechnologie hoch und die Versorgung mit Wasserstoff reichlich vorhanden und kostengünstig ist, zu attraktiven Alternativen gegenüber batterieelektrischen Antrieben werden. Darüber hinaus sind sie besser für den Fernverkehr geeignet, da sie im Vergleich zu batterieelektrischen Fahrzeugen eine höhere Reichweite aufweisen, was für diesen Einsatz von entscheidender Bedeutung ist.

Unter der Annahme einer hohen Auslastung könnten die für den Fernverkehr genutzten Elektroautobahnen vor allem in den kommenden zehn Jahren, in denen die Kosten für Akkupacks hoch bleiben und weitere Verbesserungen der Energiedichte noch nicht kommerzialisiert sind, eine kostenwirksame Möglichkeit der Elektrifizierung darstellen. Elektroautobahnen könnten durch die Reduzierung der Größe und Menge der Batterien, die für den gewerblichen Verkehr benötigt werden, eine 17-prozentige Erleichterung bringen. Auf den Wegen, auf denen im Endzustand mehrere Antriebstechnologien nebeneinander existieren, müssen die Kosten für den Aufbau und die Wartung mehrerer Infrastrukturen überwunden werden, könnten aber für bestimmte Regionen, in denen die Elektrifizierung schwierig zu implementieren ist, von entscheidender Bedeutung sein.



# **JEDER WEG ERFORDERT EIN NIE DAGEWESENES TEMPO BEI DER EINFÜHRUNG NEUER TECHNOLOGIEN IN DER MOBILITÄTSINDUSTRIE UND IN DEN ANGRENZENDEN SEKTOREN**

Der Erfolg eines jeden dieser Vermeidungswege erfordert nicht nur einen beispiellosen technologischen Wandel, sondern auch die Innovationskraft benachbarter Industrien, z. B. hohe Verfügbarkeit erneuerbarer Energien bei der Stromerzeugung und weiter sinkende Batteriepreise.

Angesichts des Umfangs unserer Ziele für das Jahr 2050 ist es von entscheidender Bedeutung, mit der Entwicklung und Kommerzialisierung neuer Technologien zu beginnen. Um das Ziel des Pariser Abkommens kosteneffizient zu erreichen, müssen wir bis 2040 einen Zuwachs an neuen fossilfreien Antriebstechnologien von durchschnittlich mindestens 5 bis 10 Prozentpunkten pro Jahr in allen Regionen erreichen und die volle Marktdurchdringung erreichen. Veränderungen mit hoher Geschwindigkeit und in großem Maßstab erfordern Zeit; historische Beispiele für andere disruptive Infrastruktur- und Technologieveränderungen, wie die Einführung der Solar-Photovoltaik-Technologie oder der 3G-Breitbandtechnologie, bewegten sich in einem Bruchteil dieses Tempos. Dieses Tempo und der Umfang der Veränderungen stellen daher einen neuen Horizont und eine große Herausforderung dar.



# ZUSAMMENARBEIT IST DER SCHLÜSSEL ZU EINER FOSSILFREIEN ZUKUNFT

Die Transformation des Verkehrs- und Logistik-Ökosystems erfordert neue Partnerschaften



Kein einzelner Spieler kann die Herausforderung allein bewältigen - kein Regulator, kein Gesetzgeber oder Unternehmen. Die Akteure des öffentlichen und privaten Sektors in allen Ländern und Regionen der Welt müssen auf neue Weise zusammenarbeiten und Ideen, finanzielle Ressourcen und Risiken austauschen. System- und Ausrüstungsanbieter müssen neue Antriebstechnologien einführen; Transportanbieter müssen neue Technologien einführen; Einzelhändler und Transportkäufer müssen die CO<sub>2</sub>-Reduktion in ihren Lieferketten vorantreiben; Energieversorger müssen die Verbreitung erneuerbarer Energien weiter vorantreiben und die Netzstabilität sicherstellen. Und die Politik muss mit der Industrie zusammenarbeiten, um die Markteinführung der fossilfreien Technologien zu beschleunigen.



## DANKSAGUNGEN

Wir danken unserem wissenschaftlichen Gutachtergremium für die Aufsicht und die Beiträge zu unserer Forschung:

Pierpaolo Cazzola - Internationale Energieagentur

Jon Creyts - Rocky Mountain Institut

Paul Hugues - Internationale Energieagentur

Shomik Mehndiratta - Weltbank

Johan Rockstrom - Stockholm Resilience Center

Philipp Rode - London School of Economics

Blake Simmons - Lawrence Berkeley National Laboratory

Charles Wang - China Entwicklungsinstitut

## REFERENZEN

Nationales Laboratorium Argonne / / Argonne National Laboratory

Bloomberg New Energy Finance (BNEF) / / Bloomberg New Energy Finance (BNEF)

Zentrum für Verkehrsstudien Stockholm / / Center for Transport Studies Stockholm

Comité de Liaison Européen des Commissionnaires et Auxiliaires de Transport du Marché

Commun (CLECAT) / / Comité de Liaison Européen des Commissionnaires et Auxiliaires de Transport du Marché Commun (CLECAT)

Ökonometrie / / Econometrica

Europäische Kommission / / European Commission

Internationaler Rat für sauberen Verkehr (ICCT) / / International Council on Clean Transportation (ICCT)

Internationale Energieagentur (IEA) / / International Energy Agency (IEA)

Internationale Agentur für Erneuerbare Energien (IRENA) / / International Renewable Energy Agency (IRENA)

McKinsey Automotive Practice

McKinsey Electric Power & Natural Gas Practice

McKinsey Energy Insights

Navigant

Nordamerikanischer Rat für Frachteffizienz (NACFE) / / North America Council for Freight Efficiency (NACFE)

Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (OECD) / / Organization for Economic Cooperation and Development (OECD)

Rocky Mountain Institut / / Rocky Mountain Institute

US-Umweltschutzbehörde / / US Environmental Protection Agency

US-Bundesbehörde für Kraftfahrzeuge / / US Federal Motor Carrier Administration