

## Position VDI-Expertengremium Antriebe

### Nachhaltige und klimagerechte Antriebstechnologien im Straßenverkehr

- Kriterien zur Erfüllung des Pariser Klimaabkommens
- Randbedingungen zur aktuellen Situation mit Herausforderungen und offenen Fragen
- Plädoyer für eine technologieoffene Herangehensweise

Weitere Informationen zum Thema Antriebstechnologien finden Sie hier:

<https://www.vdi.de/themen/mobilitaet/antriebstechnik>

## Kriterien zur Erfüllung des Pariser Klimaabkommens

Das deutliche politische Engagement der Bundesrepublik Deutschland und die eingeleiteten regulatorischen Bemühungen werden begrüßt. Es besteht jedoch die Sorge, dass die COP21-Ziele nur teilweise erreicht werden. Über die bestehenden Regularien hinaus wird weiterer Handlungsbedarf gesehen.

## Randbedingungen auf die aktuelle Situation

Die **Vielfalt der Ingenieurinnen und Ingenieure** ermöglicht ebenso **vielfältige Ansätze**, die auf unterschiedlichen Wegen zur Begrenzung der CO<sub>2</sub>-Emission beitragen. Um das volle Potenzial von Gesellschaft, Wissenschaft und Industrie nutzen zu können, werden klare, technologieoffene Zielvorgaben benötigt.

Folgende **Herausforderungen** werden gesehen:

- (1) Die Einhaltung des 1,5-Grad-Ziels bedeutet, dass der CO<sub>2</sub>-Anteil in der Luft von heute 420 ppm nicht über 480 ppm steigen darf. Dies bedeutet, dass bis 2050 (analog 2030) nur noch ein begrenztes CO<sub>2</sub>-Budget von 60 ppm zur Verfügung steht.<sup>1)</sup> Nachdem dieses Budget aufgebraucht ist, würde jede weitere Treibhausgasemission (CO<sub>2</sub>-Äquivalente, in der Folge unter CO<sub>2</sub> zusammengefasst) das Erreichen des 1,5-Grad-Ziels unmöglich machen.
- (2) Mit Blick auf die CO<sub>2</sub>-Emission gibt es kein „Return-on-Investment“ im Betrachtungszeitraum von 100 Jahren. So lange verbleibt das CO<sub>2</sub> mindestens in der Atmosphäre.
- (3) Die CO<sub>2</sub>-Emissionen aller Sektoren kumulieren sich, was bedingt, dass sämtliche mobilitätsbedingten CO<sub>2</sub>-Fußabdrücke als CtC<sup>2)</sup> zu bilanzieren<sup>3)</sup> sind. Die EU-Vorgabe<sup>4)</sup> der Tank-to-Wheel-Bilanzierung beschreibt daher nur Teile der tatsächlichen CO<sub>2</sub>-Emissionen (VDI<sup>3)</sup>, FVV<sup>5)</sup>).
- (4) Die in den Sektoren Haushalte, Industrie und Mobilität notwendigen Energien werden heute zu >70% und voraussichtlich auch in Zukunft weiterhin zu einem hohen Anteil importiert.
- (5) Derartige Energieflüsse lassen sich nicht durch zeitliche und örtliche Mittelwertbildungen realistisch beschreiben oder in dieser Größenordnung in Form von elektrischem Strom importieren – nachhaltig erzeugte chemische Energieträger sind notwendig.
- (6) Selbst ohne Neverkäufe von Fahrzeugen mit konventionellen Antrieben würden nach Analyse der Daten des Kraftfahrtbundesamts von dem aktuellen Bestand (48 Millionen Pkw, 5,5 Millionen Lkw) noch >35 Millionen Fahrzeuge im Jahr 2030 mit verbrennungsmotorischem Antrieb fahren, deren Nutzung umso mehr CO<sub>2</sub>-Emissionen reduziert, je schneller die Einführung von nachhaltig erzeugten Kraftstoffen (e-Fuels) gelingt.
- (7) Die Anwendungen (use cases) im Personen- und Güterverkehr sind sehr vielfältig und lassen sich nicht mit einer Antriebslösung pauschal erfüllen. Der gesamte Lebenszyklus aus Herstellung, Nutzung und Entsorgung der Antriebe hat einen deutlichen Einfluss auf die damit verbundenen Emissionen<sup>6)</sup>.
- (8) Wesentliche Wirkung auf den Verlauf des verbleibenden CO<sub>2</sub>-Budgets hat, was wir in den nächsten drei, fünf und acht Jahren erzielen können. Unter der Randbedingung von CO<sub>2</sub>-neutralem Ladestrom, grünem Wasserstoff und e-Fuels (und unter der Voraussetzung der jeweiligen 24h-Verfügbarkeit), wäre der Betrieb aller Optionen CO<sub>2</sub>-neutral. Die Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen in der Produktion und das Etablieren nachhaltiger Material-Kreisprozesse sind entscheidende Bedingungen, damit die vielfältigen Antriebstechnologien im Jahr 2030 signifikant zur Erreichung der Paris-Ziele beitragen könne<sup>3)7)</sup>.
- (9) Die Sektoren Energie, Industrie und Mobilität werden derzeit separiert betrachtet, sodass das Gesamt-Optimum hinsichtlich CO<sub>2</sub>-Reduktion und Nachhaltigkeit weder erkannt noch angestrebt werden kann. Dies führt dazu, dass heute CO<sub>2</sub>-Emissionen aus dem Sektor Mobilität in die Sektoren Industrie und Energie verlagert werden, da beispielsweise die CO<sub>2</sub>-Emissionen der Stromerzeugung für die energieintensive Produktion von Batterien und das Laden von Elektrofahrzeugen nicht berücksichtigt werden. Nur auf Basis einer sektorenübergreifenden Lebenszyklusanalyse kann das Ziel geschlossener CO<sub>2</sub>-Kreisläufe erreicht werden.

<sup>1)</sup> Effizienter Einsatz des CO<sub>2</sub>- Restbudgets im Mobilitätssektor, FVV 2020, <https://www.primemovers.de/de/denken/bilanz-gezogen>

<sup>2)</sup> CtC = Cradle to Cradle als vollständig kumulierte CO<sub>2</sub><sub>äq</sub>-Fußabdrücke inkl. Herstellung, Nutzung, Recycling und geschlossenem Stoffkreislauf, s.a. <https://www.vdi.de/news/detail/life-cycle-assessment-und-mobilitaet>

<sup>3)</sup> VDI-Studie Ökobilanz von Pkws mit verschiedenen Antriebssystemen, 2020, <https://www.vdi.de/ueber-uns/presse/publikationen/details/vdi-studie-oekobilanz-von-pkws-mit-verschiedenen-antriebssystemen>

<sup>4)</sup> VERORDNUNG (EU) 2019/631 DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTES UND DES RATES vom 17. April 2019

<sup>5)</sup> Cradle-to-Grave-Lebenszyklusanalyse im Mobilitätssektor, FVV 2020, <https://www.primemovers.de/de/denken/bilanz-gezogen>

<sup>6)</sup> Toedter, O. et al., LCA – additional requirement for engineers. 2021. Internationaler Motorenkongress 2021, Springer Verlag  
Toedter, O. et al., Life Cycle Analysis - Base for Decision or Object for Discussion? 2021. Ingenieurs de l'auto, 869, 30–35

<sup>7)</sup> Status und Perspektiven flüssiger Energieträger in der Energiewende, Prognos 2018

Folgende **offene Fragen** werden formuliert:

- a) Wie gestalten wir die nachhaltige Energieversorgung Deutschlands<sup>7)8)9)</sup> zu global wettbewerbsfähigen Energiekosten (€/kWh) unterschiedlicher Energieträger bis zum Jahr 2030 und darüber hinaus?
- b) Verschiedene Länder streben unterschiedliche Ansätze auf ihrem Weg in eine CO<sub>2</sub>-neutrale Zukunft an und sind im wirtschaftlichen Wettbewerb zur deutschen Industrie. Im Gegensatz zu China, das auf moderne Atomkraftwerke mit <2ct/kWh setzt oder Saudi-Arabien, wo aufgrund günstigerer klimatischer Voraussetzungen Solarstrom schon heute zu 1,04ct/kWh erzeugt wird, haben erneuerbare Energien in Deutschland eine schlechtere wirtschaftliche Ausgangslage (darstellbar als geringer „Erntefaktor“<sup>10)</sup>). Wie generieren wir hier wirtschaftlich und ökologisch dauerhaft tragfähige Lösungen?
- c) Wie sichern wir den Energieimport ab? Auf Basis welcher Infrastruktur importieren wir statt fossiler Energieträger Wasserstoff oder e-Fuels z.B. aus wind- und/oder sonnenreichen Regionen, z.B. in der MENA-Region (ggü. Europa signifikant günstigerer Erntefaktor<sup>11)</sup>), mit strukturierten Verteilungsmechanismen zwischen Regionen und Branchen, um alle relevanten Mobilitätsformen zu ermöglichen und wie sichern wir die 24h-Verfügbarkeit ab?
- d) Wie berücksichtigen und allokatieren wir Infrastrukturaufwendungen, Recyclingfragestellungen und Nachhaltigkeitskompatibilität für z.B. Material-, Land- und Wasserverbrauch in Zusammenhang mit der Energie- und Mobilitätswende?

## Plädoyer für eine technologieoffene Herangehensweise

Es wurden mehrere Lösungen für eine CO<sub>2</sub>-neutrale Mobilität entwickelt, die vom technischen Prinzip her bewiesen sind. Die Einführung und der Hochlauf erfordert ausgewogene regulatorische Randbedingungen, die derzeit nicht gegeben sind (vergleichbare Betrachtung lebenszyklusbasierter CO<sub>2</sub>-Bilanzen über alle betroffenen Sektoren).

**Sowohl batterieelektrische Fahrzeuge, Brennstoffzellen-basierte Fahrzeuge, als auch Wasserstoff- und e-Fuels-basierte verbrennungsmotorische Fahrzeuge ermöglichen technisch eine CO<sub>2</sub>-neutrale Mobilität. Die unterschiedlichen Eigenschaften, z.B. hinsichtlich Ressourcenbedarf, Energieeffizienz, Reichweite, Kosten und Infrastrukturverfügbarkeit, ermöglichen einen differenzierten Einsatz für die Vielfalt der Mobilitätsbedarfe und Transportaufgaben.**

Es wird empfohlen, im Rahmen einer konzertierten und neutral orchestrierten Forschungs- und Entwicklungsaktivität eine wissenschaftlich belastbare und gesellschaftlich akzeptierte Grundlage zur Ableitung von Maßnahmen und Handlungsempfehlungen auf nationaler und europäischer Ebene zu schaffen, welche eine Berücksichtigung lokaler Restriktionen und Potenziale erlaubt.

Diese Systematik sollte eine neutrale und sektorübergreifende CtC-Bilanz aller Lösungen inkl. Produktion, Nutzung, Recycling und v.a. Transport, Speicherung und Infrastruktur bereitstellen. Ist eine solche Systematik z.B. in Form eines IT-gestützten Werkzeugs parametrisierbar, können aktuelle technische und regulatorische Entwicklungen hinsichtlich ihrer ökologischen und ökonomischen Effekte ebenso abgebildet werden, wie auch die Effekte auf das CO<sub>2</sub>-Restbudget. Dieses Werkzeug sollte „open access“ sein und damit eine effiziente und sektorübergreifende Diskussion ermöglichen.

---

<sup>8)</sup> Klimapfade für Deutschland, Boston Consulting Group, Prognos, 2018

<sup>9)</sup> Sektorkopplung – Optionen für die nächste Phase der Energiewende, Leopoldina 2017

<sup>10)</sup> Erntefaktor: Es wird z.B. 1 kWh investiert und man erhält ein Mehrfaches aus der Anlage zurück (Energy Return of Investment EROI); s.a. Energy intensities, EROIs, and energy payback times of electricity generating power plants, Weißbach et al., 2013

<sup>11)</sup> Der Effizienzbegriff in der klimapolitischen Debatte zum Straßenverkehr, Bothe et al. 2020