

15.06.2020

Neue FVV-Metastudie zur Lebenszyklusanalyse alternativer Antriebe

Bilanz gezogen



Lebenszyklusanalysen (LCA) geben Aufschluss darüber, wie klimafreundlich neue Antriebstechnologien wirklich sind. Eine neue Metastudie der Forschungsvereinigung Verbrennungskraftmaschinen (FVV), durchgeführt von Frontier Economics, analysiert existierende Lebenszyklusstudien aus den letzten 15 Jahren. Ein ergänzendes Thesenpapier leitet zentrale Anforderungen an künftige Gesetze und Richtlinien zum Klimaschutz ab: Sie sollten wirtschaftlich effizient, sektorübergreifend, technologieoffen, global und möglichst langfristig gestaltet werden.

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.

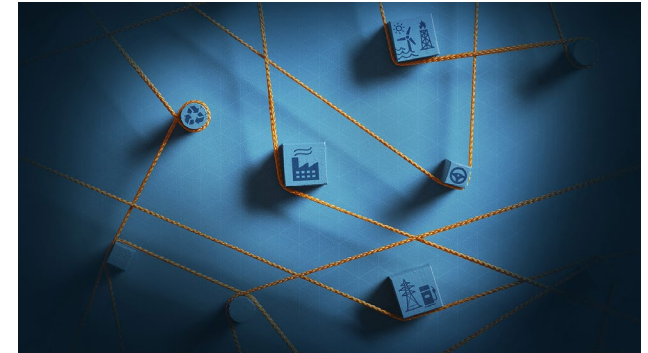
Text: Petra Tutsch & Johannes Winterhagen

Abbildungen: Frontier Economics

CO₂-Ziele müssen den gesamten Lebenszyklus berücksichtigen

Elektroantriebe (BEV), mit Wasserstoff betriebene Brennstoffzellen (FCEV) und der Einsatz synthetischer Kraftstoffe in Verbrennungsmotoren (ICEV): Derzeit werden verschiedene Technologien und Kraftstoffe diskutiert, um die klimaschädlichen CO₂-Emissionen aus dem Straßenverkehr deutlich abzusenken. Aus wissenschaftlicher Sicht sind dabei nicht nur die direkten Emissionen im **Betrieb** zu berücksichtigen, sondern auch jene Treibhausgase, die durch die **Produktion der Fahrzeuge, der Herstellung der Energieträger/Kraftstoffe**, deren **Verteilung** und nicht zuletzt das **Recycling** am Ende des Fahrzeuglebens entstehen. Um eine aussagefähige Gesamtbilanz zu erstellen, hat sich das Verfahren der Lebenszyklusanalyse etabliert, in der Regel als LCA („Life-cycle analysis“) abgekürzt. Eine Herausforderung ist dabei, dass die Ergebnisse von LCA-Studien stark von den getroffenen Annahmen abhängen.

In einer **Metastudie** hat das Beratungsunternehmen **Frontier Economics im Auftrag der FVV** nun erstmals **mehr als 80 Einzelstudien aus den vergangenen 15 Jahren ausgewertet**, die insgesamt 110 verschiedene Szenarien und 430 Einzelanalysen berücksichtigen. Um Vergleichbarkeit herzustellen, wurden dabei die Ergebnisse aller Studien auf einen



Pkw mit einer Gesamt-Laufleistung von 150.000 Kilometer normiert.

FAZIT: So gerechnet, ergibt sich für alle Kombinationen von Antrieben und Energieträgern/Kraftstoffen ein relativ enges Band der Gesamtemission während der Lebenszeit. Der Durchschnittswert über alle Studien reicht von 25 bis 35 Tonnen CO₂ pro Fahrzeug, sofern fossile Energieträger noch anteilig für die Herstellung von **Strom, Wasserstoff** oder **synthetischen Kraftstoffen** eingesetzt werden. Kommen im Betrieb hingegen ausschließlich regenerativ erzeugte Energie-träger zum Einsatz, ergibt sich ein Durchschnittswert von neun bis 16 Tonnen CO₂ für das gesamte Fahrzeugleben. Die verbleibenden Emissionen resultieren dann im Wesentlichen aus der Produktion der Fahrzeuge, den Anlagen für die Herstellung sowie der Infrastruktur für die Distribution der Energieträger.

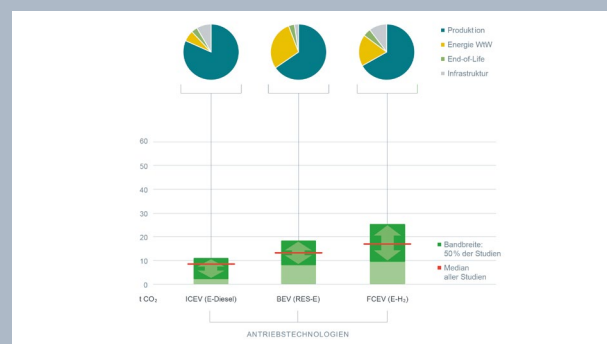
Neue FVV-Metastudie zur Lebenszyklusanalyse alternativer Antriebe Bilanz gezogen

Lebenszyklusemissionen mit aktuellen Energieträgern



Werden Pkw mit fossilen Kraftstoffen, mit Strom aus aktuellem Energiemix oder konventionell erzeugtem Wasserstoff betrieben, weisen batterieelektrische Fahrzeuge und Pkw mit Verbrennungsmotor etwa gleiche Lebenszyklusemissionen auf.

Lebenszyklusemissionen mit 100 % regenerativ erzeugter Betriebsenergie



Werden Pkw mit fossilen Kraftstoffen, mit Strom aus aktuellem Energiemix oder konventionell erzeugtem Wasserstoff betrieben, weisen batterieelektrische Fahrzeuge und Pkw mit Verbrennungsmotor etwa gleiche Lebenszyklusemissionen auf.

satz synthetischer Kraftstoffe fehlen fast vollständig. „Zudem wurde von niemandem bislang untersucht, wo Mobilität heute trotz Emissionen auch zum Klimaschutz beiträgt“, sagt Bothe. „So werden die Rotorblätter einer Windkraftanlage von fossil betriebenen Schwertransporten überregional zu Ihrem Standort transportiert. Im Stromsektor vermeiden diese Anlagen dann Emissionen. Solche sektorübergreifenden Wirkungen finden wir an ganz vielen Stellen in der Wirtschaft.“

FAZIT: Trotz der erheblichen Unsicherheiten lässt sich eine generelle Aussage treffen: **Nur eine valide Lebenszyklusanalyse erlaubt eine objektive Beurteilung technologischer Alternativen. Alle Technologieoptionen, die einen vergleichbaren CO₂-Nutzen erbringen, sollten gleichwertig unterstützt und gefördert werden.**

Es gibt keine klare Gewinnertechnologie

„Es gibt keine klare Gewinnertechnologie“, fasst Dr. David Bothe, Stellvertretender Direktor bei Frontier Economics und Autor der Studie, zusammen.

Beispielsweise wurden in keiner der Studien die aus dem Aufbau der Energie-Infrastruktur resultierenden Treibhausgas-Emissionen auf einzelne Fahrzeuge heruntergerechnet. Auch zum Einfluss des Recyclings – das die CO₂-Emission etwa einer Akkuproduktion

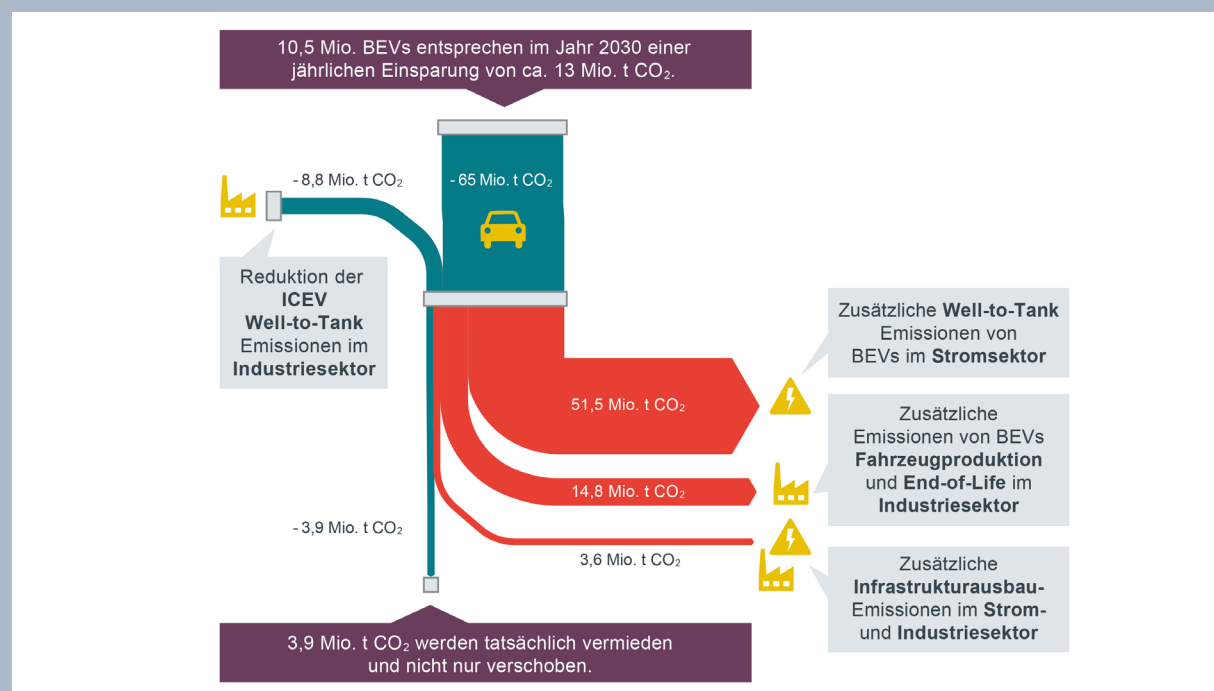
durchaus verbessern kann – liegen unterdurchschnittlich wenige Ergebnisse vor, die zudem stark streuen. Während Fahrzeuge mit reinem Elektroantrieb und mit konventionellen Verbrennungsmotoren in fast allen Studien betrachtet wurden, trifft nur ein Viertel aller Untersuchungen Aussagen zur Gesamtbilanz von Plug-in-Hybridfahrzeugen, die in den 2020er-Jahren voraussichtlich einen nennenswerten Marktanteil erreichen. Auch Brennstoffzellen-Pkw sind nur in 22 Studien berücksichtigt. Valide Ergebnisse für den Ein-

Die Mobilität der Zukunft braucht Vielfalt: Auf den intelligenten Mix alternativer Antriebe und Kraftstoffe kommt es an

Insbesondere gilt es zu vermeiden, dass die dem Verkehrssektor zugewiesenen Emissionen aus dem Betrieb verringert werden, indem man Mehrmissionen dem Energie- oder Industriesektor zu-rechnet. So weist die Studie anhand einer Beispielrechnung darauf hin, dass bei einer ohne flankierende

Neue FVV-Metastudie zur Lebenszyklusanalyse alternativer Antriebe Bilanz gezogen

Einfluss von Elektrofahrzeugen auf das sektorübergreifende CO₂-Restbudget



Unterstellt man einen gleichmäßigen Hochlauf der Elektromobilität in den 2020er-Jahren, so beträgt die Gesamteinsparung im Fahrzeugbetrieb 65 Millionen Tonnen CO₂. Hinzu kommen Einsparungen von 8,8 Millionen Tonnen CO₂, die bei Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor durch die Produktion von Otto- und Dieselmotorkraftstoff entstanden wären. Selbst bei wachsendem Grünstrom-Anteil stiegen die Emissionen im Energiesektor dadurch um 51,1 Millionen Tonnen. Der höhere Energieaufwand in der Fahrzeugproduktion schlägt mit zusätzlichen CO₂-Emissionen von 14,8 Millionen Tonnen im Industriesektor zu Buche. Der erhöhte Strombedarf zieht zudem weitere Investitionen in die Infrastruktur im Energie- und Industriesektor nach sich. Eine höhere CO₂-Einsparung pro Fahrzeug ist möglich, sofern die Randbedingungen geändert werden, beispielsweise indem ausschließlich Grünstrom für den Betrieb genutzt wird.

Maßnahmen breit eingeführten Elektromobilität 90 Prozent der kumulierten CO₂-Einsparung aus dem Pkw-Verkehr bis zum Jahr 2030 in anderen Sektoren und Regionen wieder auftreten könnten und damit für den Klimaschutz nur wenig gewonnen wäre.

Das Ziel ist eindeutig: Bis zum Jahr 2050 soll der Straßenverkehr klimaneutral werden. Bei der Klärung der Frage, welche Wege zum Ziel führen, sollte man außerdem die zeitliche Dimension punktueller Ereignisse, wie z. B. die enge Fokussierung auf ein sektorspezifisches Jahresziel, im Blick behalten: Große Einmalemissionen könnten dazu führen, dass die Emissionen in anderen Jahren und/oder Sektoren steigen und das CO₂-Gesamtbudget des Weltklimarats IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) überschritten wird.

Technologieoffenheit auch in der Forschung

FVV-Geschäftsführer **Dietmar Goericke** resümiert: „Aus Sicht der Wissenschaft bedeuten die Ergebnisse der Metastudie zunächst nur: **Wir brauchen mehr Daten und detailliertere Forschung als Grundlage für valide politische Entscheidungen. Dafür müssen wir die Forschung technologieoffen gestalten.**“ CO₂-neutrale und nahezu emissionsfreie Mobilität und Energiewandlung sind Schwerpunktthemen der vorwettbewerblichen Industriellen Gemeinschaftsforschung in der FVV.

Neue FVV-Metastudie zur Lebenszyklusanalyse alternativer Antriebe Bilanz gezogen

Technologieoffenheit ist der zentrale Faktor für einen kosteneffizienten und effektiven Einsatz derzeitiger Technologieoptionen. Zu diesem Schluß kommt auch der zweite Kurzbericht der Arbeitsgruppe 2 Alternative Antriebe und Kraftstoffe für nachhaltige Mobilität der Nationalen Plattform Mobilität der Zukunft (NPM), der am 8. Juni in Berlin vorgestellt wurde. Im Vordergrund der Untersuchungen der AG 2, deren Kovorsitzender der **FVV-Vorsitzende Prof. Dr. Peter Gutzmer** ist, stand die umfassende Bewertung der CO₂-Wirkung von Elektromobilitätskonzepten, Wasserstoff und Brennstoffzellen sowie biomasse- und strombasierter Kraftstoffe für den Klimaschutz unter den gegenwärtigen Rahmenbedingungen. Passend genutzt, könnten diese technologischen Optionen spezifisch zur CO₂-Reduzierung beitragen. Voraussetzung für eine CO₂-neutrale Mobilität seien Technologieoffenheit und der beschleunigte Ausbau von erneuerbaren Energien in Deutschland.

Lebenszyklusemissionen in einem globalen Energie- und Kohlenstoffsystem

Eine **Lebenszyklusanalyse** (englisch: Life-Cycle Assessment, LCA) berücksichtigt alle Umweltwirkungen während des Produktlebenszyklus. Dazu gehören insbesondere die Produktion einschließlich Materialien und Zulieferteilen, die Nutzungsphase sowie Entsorgung und Wiederverwertung. Bei einer Beschränkung auf einen bestimmten Abschnitt des Lebenszyklus, wie z. B. die Nutzungsphase eines Fahrzeugs, kann es dazu kommen, dass auch Technologien eine gute Bilanz aufweisen, die in einer Gesamtbetrachtung keine Emissionseinsparungen bewirken. Darum führt kein Weg an einer umfassenden Analyse vorbei, die alle Emissionen über den gesamten Lebenszyklus einer Technologie erfasst.

Neben

- der reinen Nutzung eines Fahrzeugs (Tank-to-Wheel)

gehören hierzu insbesondere

- die Herstellung eines Fahrzeugs (Cradle-to-Gate)
- die Erzeugung und Bereitstellung der Antriebsenergie (Well-to-Tank)
- der Aufbau und Betrieb der benötigten Verkehrsnetze (Straßen, Schienen- und Wasserwege) und Ver- und Entsorgungseinrichtungen (Infrastruktur)

- das Recycling zur Rohstoffrückgewinnung (End-of-Life).

Das **CO₂-Gesamtbudget** des Weltklimarats IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), auch Kohlenstoff- oder Emissionsbudget, bezeichnet die Menge der CO₂-Emissionen aus anthropogenen Quellen, die seit Beginn der Industrialisierung freigesetzt wurde bzw. noch freigesetzt werden kann, um mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit eine globale Erwärmung über eine definierte Grenze hinaus zu vermeiden.

Das CO₂-Budget im Sinn einer **Restmenge** noch emittierbarer Emissionen umfasst die kumulierte Gesamtmenge aller weltweit emittierten Treibhausgase. Für einen wirksamen Klimaschutz muss die kumulierte Menge an ausgestoßenen Treibhausgasen limitiert werden. Um dies zu erreichen, muss die gesamte Energiewirtschaft vollständig dekarbonisiert werden (geschlossener Kohlenstoffkreislauf mit Netto-Nullmissionen). Entscheidend für das Ausmaß des Klimawandels ist also nicht der gegenwärtige Ausstoß an Treibhausgasen, wie oft fälschlich angenommen wird, sondern die Gesamtmenge an Emissionen, die über die Zeit anfällt.

Auf der Grundlage des Pariser Klimaschutzabkommens haben sich Deutschland und die Europäische Union das ehrgeizige Ziel gesetzt, die Treibhausga-

Neue FVV-Metastudie zur Lebenszyklusanalyse alternativer Antriebe

Bilanz gezogen

emissionen (CO₂-Aq, CO₂) bis 2050 um 80-95 % gegenüber 1990 zu reduzieren. Dementsprechend sieht der Klimaschutzplan 2050 der Bundesregierung ein **Zwischenziel für 2030** vor. Bis dahin sollen die CO₂-Emissionen mindestens 55 % unter dem Niveau von 1990 liegen. Dieses Ziel wurde in Einzelziele für die Sektoren Energie, Gebäude, Verkehr, Industrie, Land- und Forstwirtschaft sowie Landnutzung aufgeschlüsselt.

FAZIT:

- **Alle Maßnahmen, die getroffen werden, um die CO₂-Emissionen der einzelnen Sektoren zu reduzieren, müssen sich daran orientieren, wie wirksam sie für einen effizienten Einsatz des CO₂-Restbudgets sind.**
- **Um Technologien im Hinblick auf Klima- und Nachhaltigkeitsaspekte sinnvoll bewerten zu können, müssen alle direkten und indirekten Auswirkungen aus allen vor- und nachgelagerten Stufen der Wertschöpfungskette berücksichtigt werden.**
- **Für eine nachhaltige Technologieauswahl braucht es eine umfassende branchenübergreifende, globale und intertemporale Lebenszyklusanalyse.**

Frontier Economics | Die Autoren der Studie

Dr. David Bothe | Stellvertretender Direktor bei Frontier Economics mit über 15 Jahren Erfahrung im Energie- und Transportsektor. Mitbegründer der Automobil-Expertengruppe von Frontier. Berät europäische Unternehmen, Verbände und Behörden in wirtschaftlichen, regulatorischen, strategischen und wettbewerbspolitischen Fragen.

Hat sich in letzter Zeit intensiv mit den Auswirkungen des Übergangs zu grüner Energie und den Klimazielen auf die Energie- und Mobilitätsmärkte beschäftigt - einschließlich der Frage, wie die deutschen Klimaziele erreicht werden können und wie dies das wirtschaftliche Umfeld für individuelle Mobilität verändern wird.

Hat verschiedene Projekte zu möglichen Technologieoptionen für die Sektorkopplung geleitet, darunter die Verwendung von Wasserstoff und CO₂-neutralen Gasen im Wärme- und Verkehrssektor oder der Import von synthetischen Kraftstoffen, die durch Power-to-X-Technologien gewonnen werden.

Seit 2009 Mitglied von Frontier Economics. Davor war er als Forscher und Berater am Institut für Energiewirtschaft (EWI) in Köln tätig. Hielt Vorlesungen über Energie- und Umweltökonomie und promovierte in Volkswirtschaftslehre an der Universität zu Köln.

Theresa Steinfort | Beraterin bei Frontier Economics. Berät in strategischen, regulatorischen und politischen Fragen in den Bereichen Energie und Verkehr. Hat sich in letzter Zeit auf Lebenszyklusanalysen, die Integration erneuerbarer Energien, Sektorkopplungstechnologien und Klimaschutzinstrumente konzentriert.

Seit 2015 bei Frontier Economics tätig. Zuvor studierte sie Wirtschaftswissenschaften an der Universität Mannheim (MSc) und internationale Wirtschaft an der Universität Maastricht (BSc).

Frontier Economics Limited ist ein Beratungsunternehmen, das ökonomische Prinzipien und Instrumente einsetzt, um praktische Lösungen für komplexe Probleme anzubieten. Frontier wurde 1999 gegründet und ist heute mit mehr als 250 ständigen Beratern in London, Berlin, Brüssel, Köln, Dublin, Madrid und Paris eines der größten spezialisierten Wirtschaftsberatungsunternehmen in Europa und arbeitet für viele große Unternehmen und wichtige politische Entscheidungsträger in der ganzen Welt.

Frontier ist ein unabhängiges Unternehmen, das vollständig im Besitz seiner Mitarbeiter ist.

Neue FVV-Metastudie zur Lebenszyklusanalyse alternativer Antriebe Bilanz gezogen

Zero-Impact-Emission-Mobilität & Energiewandlung | FVV-Orientierungsstudien

1 | Forschungsvereinigung Verbrennungskraftmaschinen (FVV): Effizienter Einsatz des CO₂-Restbudgets im Mobilitätssektor - 4 Thesen auf Basis einer Metastudie zu Lebenszyklusanalysen (Kurzfassung | Thesenpapier). Frankfurt am Main, 2020

2 | Forschungsvereinigung Verbrennungskraftmaschinen (FVV): Cradle-to-Grave-Lebenszyklusanalyse im Mobilitätssektor - Metastudie zur CO₂-Bilanz alternativer Fahrzeugantriebe (Langfassung | Expertenpapier). Heft R595 | Frankfurt am Main, 2020

Klimaschutz im Mobilitätssektor verlangt einen nachhaltigen Ansatz. Zu diesem Schluss kommt die neue Metaanalyse zur »Cradle-to-Grave«-Lebenszyklusbewertung alternativer Antriebstechnologien«, die gemeinsam von FVV und Frontier Economics durchgeführt wurde. Politische Entscheidungsträger, Industrie und Verbraucher benötigen für eine objektive Beurteilung alternativer Antriebslösungen, robustes und zuverlässiges Datenmaterial. Für diese neue Analyse wurden mehr als 80 Studien zur Ökobilanzierung von Fahrzeugen und alternativen Antrieben aus den letzten 15 Jahren ausgewertet. Aus Sicht des Klimaschutzes steht keine der Technologien klar an der Spitze. Null-Emissionen und Klimaneutralität bis 2050 erfor-

dern einen technologieoffenen, sektorübergreifenden, globalen und möglichst langfristigen Ansatz.

3 | Forschungsvereinigung Verbrennungskraftmaschinen (FVV): Energiepfade für den Straßenverkehr der Zukunft: Optionen für eine klimaneutrale Mobilität im Jahr 2050 (Kurzfassung | Informationspapier). Frankfurt am Main, 2018

4 | Forschungsvereinigung Verbrennungskraftmaschinen (FVV): Defossilisierung des Transportsektors - Optionen und Voraussetzungen in Deutschland (Langfassung | Expertenpapier). Heft R586, Frankfurt am Main, 2018

Bis zum Jahr 2050 soll der Straßenverkehr nahezu klimaneutral werden. Dies kann nur gelingen, wenn erneuerbare Energie im Verkehrssektor eingesetzt wird. Vor diesem Hintergrund hat ein Arbeitskreis der Forschungsvereinigung Verbrennungskraftmaschinen (FVV) verschiedene Energiepfade analysiert. In der so entstandenen Studie wird der Einsatz von Elektrizität, Wasserstoff und synthetischen E-Kraftstoffen als Energieträger im Straßenverkehr sowohl unter technischen als auch wirtschaftlichen Gesichtspunkten betrachtet.

Weitere Studien zu Zero-Impact-Emission-Mobilität und alternativen Kraftstoffen sowie zur gesamtgesellschaftlichen Technologie-Akzeptanz sind derzeit in Arbeit.

[Neue FVV-Metastudie zur Lebenszyklusanalyse alternativer Antriebe | Bilanz gezogen](#)

Forschungsvereinigung Verbrennungskraftmaschinen (FVV) e. V.
Lyoner Straße 18
60528 Frankfurt am Main
T +49 69 6603 1457
F +49 69 6603 2457
tutsch@fvv-net.de

→ www.primemovers.de | Denken

→ www.fvv-net.de | Medien | Materialien

→ Copyright: FVV