

# ANTRIEBSFORMEN IM WETTBEWERB

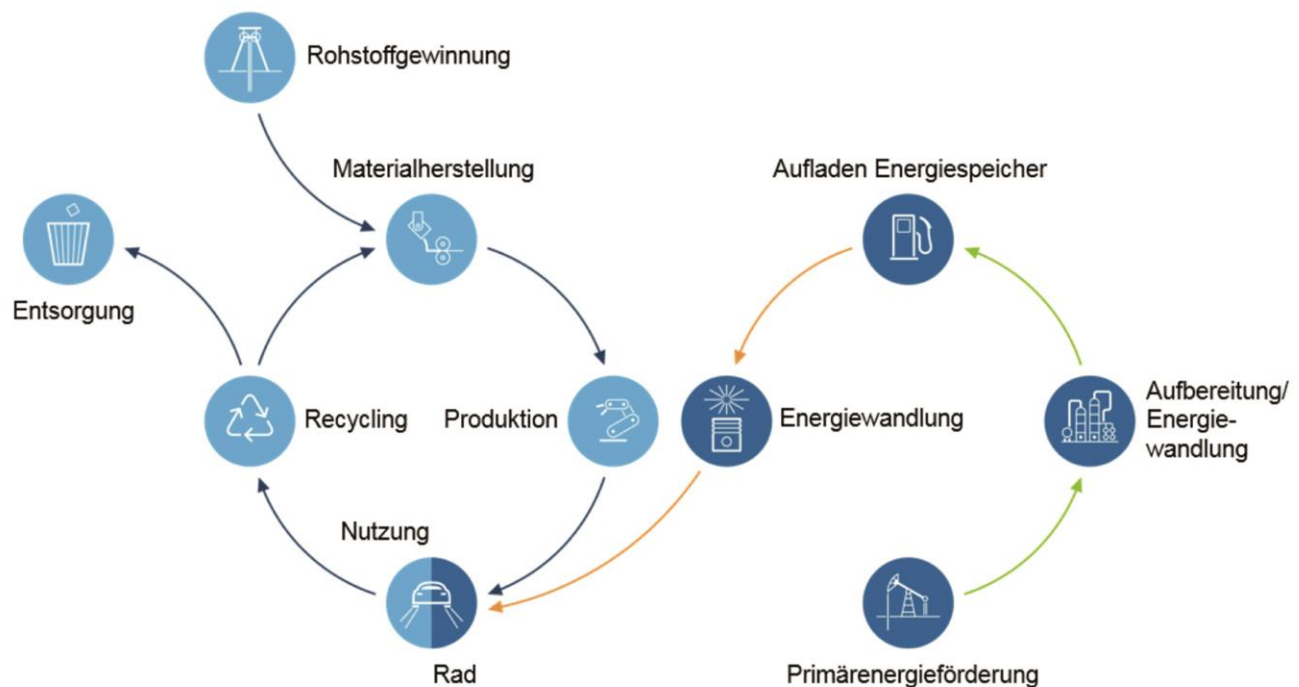
faktenbasiert – sachorientiert – technologieoffen

Welchen Einfluss hat ein Fahrzeug mit einem bestimmten Antriebsstrang auf die Umwelt? Bisher betrachtet man dazu meist nur die Emissionen, die während des Fahrbetriebs entstehen. Dieser Ansatz greift aber zu kurz: Das Life Cycle Assessment (LCA) zeigt, dass innerhalb der Nutzungsphase auch die Energiebereitstellung und im Weiteren auch die Fahrzeugherstellung und das Recycling betrachtet werden müssen. Dadurch kann ein faktenbasierter und somit fairer Vergleich der Antriebsvarianten erfolgen.

Um die Umweltauswirkungen eines Fahrzeugs mit Verbrennungsmotor zu bewerten, betrachtete man in der Vergangenheit meist nur den Kraftstoffverbrauch bzw. die CO<sub>2</sub>-Emissionen und den Schadstoffausstoß während des Fahrbetriebs. Eine Schwäche dieser „Tank-to-Wheel“-Betrachtung (TtW) besteht darin, dass unter anderem die Herstellung der Kraftstoffe oder – wie im Falle eines E-Fahrzeuges – die Erzeugung der elektrischen Energie im Kraftwerk nicht berücksichtigt werden. Dabei spielt es für die ökologischen Folgen des Verkehrs sehr wohl eine Rolle, wo und wie die Energieträger hergestellt werden.

### Für objektive Vergleiche Erweiterung des Betrachtungsraums erforderlich

Bei der „Well-to-Tank“-Betrachtung (WtT) stehen die ökologischen Auswirkungen der Kraftstoff- und Energiebereitstellung für den Fahrbetrieb im Mittelpunkt. Wenn WtT und TtW miteinander kombiniert werden, erhält man die „Well-to-Wheel“-Sichtweise (WtW). Sie erfasst alle Umweltfolgen von der Primärenergiequelle (Well) bis zum Rad (Wheel) innerhalb der Nutzungsphase. Somit wird auch die Produktion der elektrischen Energie für extern aufladbare Hybrid- und Elektrofahrzeuge berücksichtigt – dennoch ist diese Betrachtungsweise noch nicht vollständig. Denn auch hier bleibt unberücksichtigt, welche Auswirkungen die Herstellung und das Recycling auf die Ökobilanz von Fahrzeugen haben. Um einen möglichst objektiven Vergleich aller Antriebskonzepte zu erhalten, muss somit der Betrachtungsraum erweitert werden. Diese ganzheitliche Betrachtungsweise wird als **Ökobilanzierung** oder **Life Cycle Assessment (LCA)** bezeichnet. Sie bewertet den gesamten Fahrzeuglebenszyklus.



Damit eine Abschätzung der Umweltwirkungen durch die Einzelemissionen (z.B. CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>) im gesamten Lebenszyklus erfolgen kann, kommen wissenschaftlich etablierte Methoden zum Einsatz. Zu den bewertbaren Umweltwirkungen gehören beispielsweise das Treibhausgaswirkungspotenzial (globale Temperaturerhöhung), das Versauerungspotenzial (z.B. Versauerung der Wälder), das Sommersmogbildungspotenzial (z.B. Smogalarm in Innenstädten) und das Eutrophierungspotenzial (z.B. Überdüngung von Seen). Des Weiteren besteht die Möglichkeit weitere umweltrelevante Kriterien, wie z.B. den Primärenergiebedarf oder den Verbrauch von Land und Wasser, für die Bewertung heranzuziehen.

Um nun verschiedene Antriebskonzepte fair miteinander vergleichen zu können, erfolgt eine Bewertung eines exemplarischen Kompaktklassefahrzeugs mit verschiedenen Antriebsvarianten mit Hilfe der LCA-Methodik. In der nachfolgenden Tabelle sind die wesentlichen Merkmale der untersuchten Antriebskonzepte dargestellt.

Fahrzeug	Antrieb	Leistung in kW (Primär-antrieb)	Getriebe	Traktions-batterie in kWh	Leermasse in kg
Ottomotorisches Fahrzeug (Benzin)	Ottomotor, turboaufgeladen, DI	80	Doppelkupplung, automatisch	-	1250
Ottomotorisches Fahrzeug (CNG)	Ottomotor, turboaufgeladen, DI	80	Doppelkupplung, automatisch	-	1350
Dieselmotorisches Fahrzeug	Dieselmotor, turboaufgeladen, DI	80	Doppelkupplung, automatisch	-	1350
Plug-in-Hybrid	Ottomotor, turboaufgeladen, DI	100	Doppelkupplung, automatisch	10	1600
Batterieelektrisches Fahrzeug	Permanenterregte Synchronmaschine	100	1-stufig	35	1600

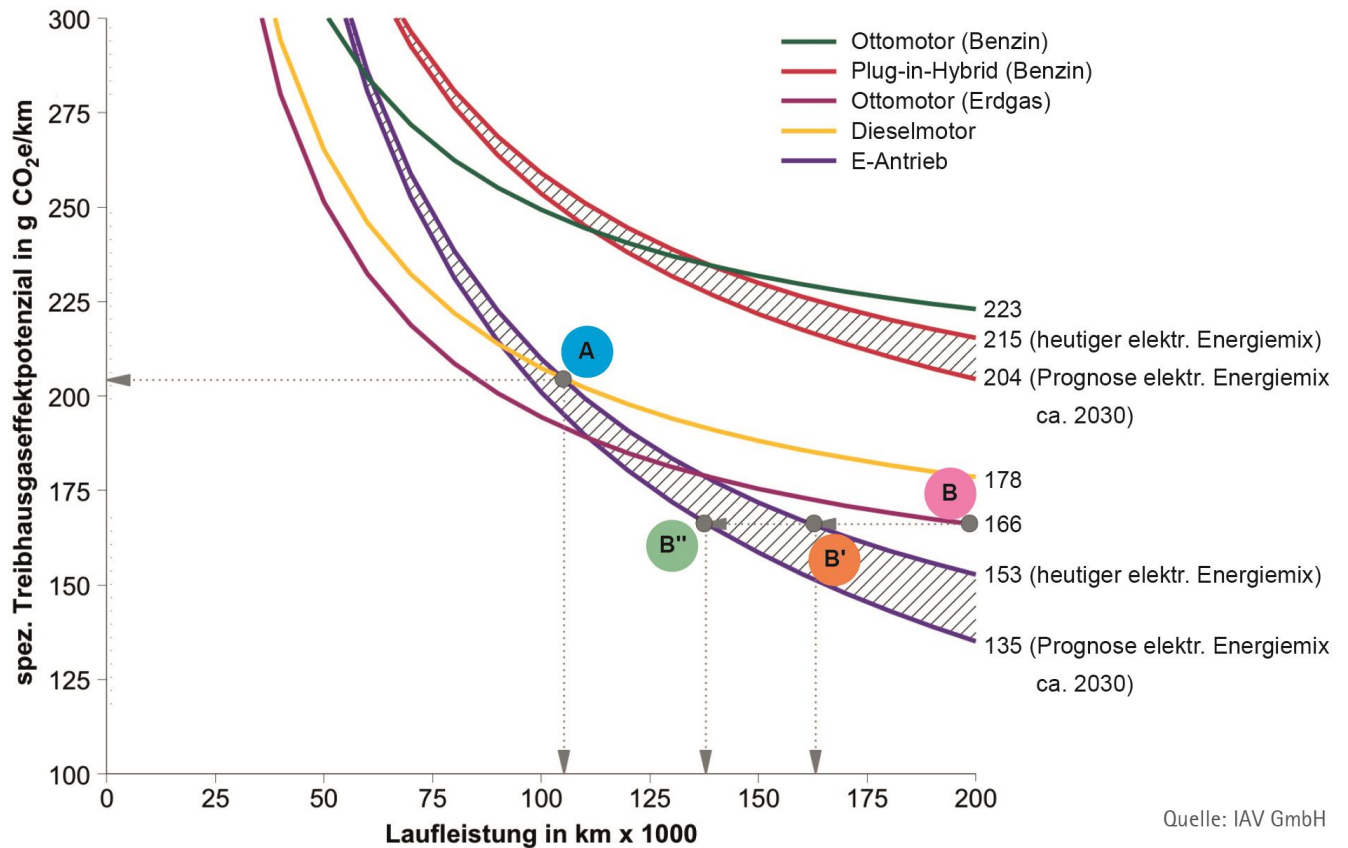
Für eine realitätsnahe Berücksichtigung der Nutzungsphase wurde der reale Energieverbrauch der Fahrzeuge im Kundenbetrieb einschließlich des Energiebedarfs für die Innenraumklimatisierung durch Auswertung von öffentlichen Daten herangezogen.<sup>1</sup> Zusammen mit den Informationen zu Stoff- und Energieflüssen bei der Herstellung von Kraftstoffen und elektrischer Energie in Deutschland sowie bei der Herstellung und beim Recycling der Fahrzeuge können dann die Umweltwirkungen des jeweiligen Antriebskonzepts ermittelt werden.

### Realer Energieverbrauch der Fahrzeuge als Grundlage für Nutzungsphase

Interessant ist, wenn die Gesamtergebnisse für die Treibhausgasemissionen in Abhängigkeit von der Laufleistung dargestellt werden. Alle Fahrzeuge weisen sehr hohe Emissionen auf, wenn diese nur mit einer geringen Laufleistung betrieben werden, da die Emissionen von Produktion und Recycling der Fahrzeuge, welche laufleistungsunabhängig sind, auf eine vergleichsweise geringe Anzahl von Kilometern bezogen werden. Mit steigender Laufleistung treten diese Treibhausgasemissionen gegenüber den Emissionen aus der Nutzung der Fahrzeuge in den Hintergrund.

Sehen wir uns die Ergebnisse am Beispiel des E-Fahrzeugs etwas genauer an. Am Punkt A schneiden sich die Kurven des „Stromers“ und des „Diesels“. Wenn diese Fahrzeuge nach einer Laufleistung von 106.000 Kilometern verschrottet werden würden, hätten beide Fahrzeuge 204 gCO<sub>2</sub>e/km emittiert. Im Fall des Weiterbetriebs der Fahrzeuge würde erst ab diesem Punkt das E-Fahrzeug einen Vorteil gegenüber dem dieselmotorischen Fahrzeug erzielen.

<sup>1</sup> [www.spritmonitor.de](http://www.spritmonitor.de)



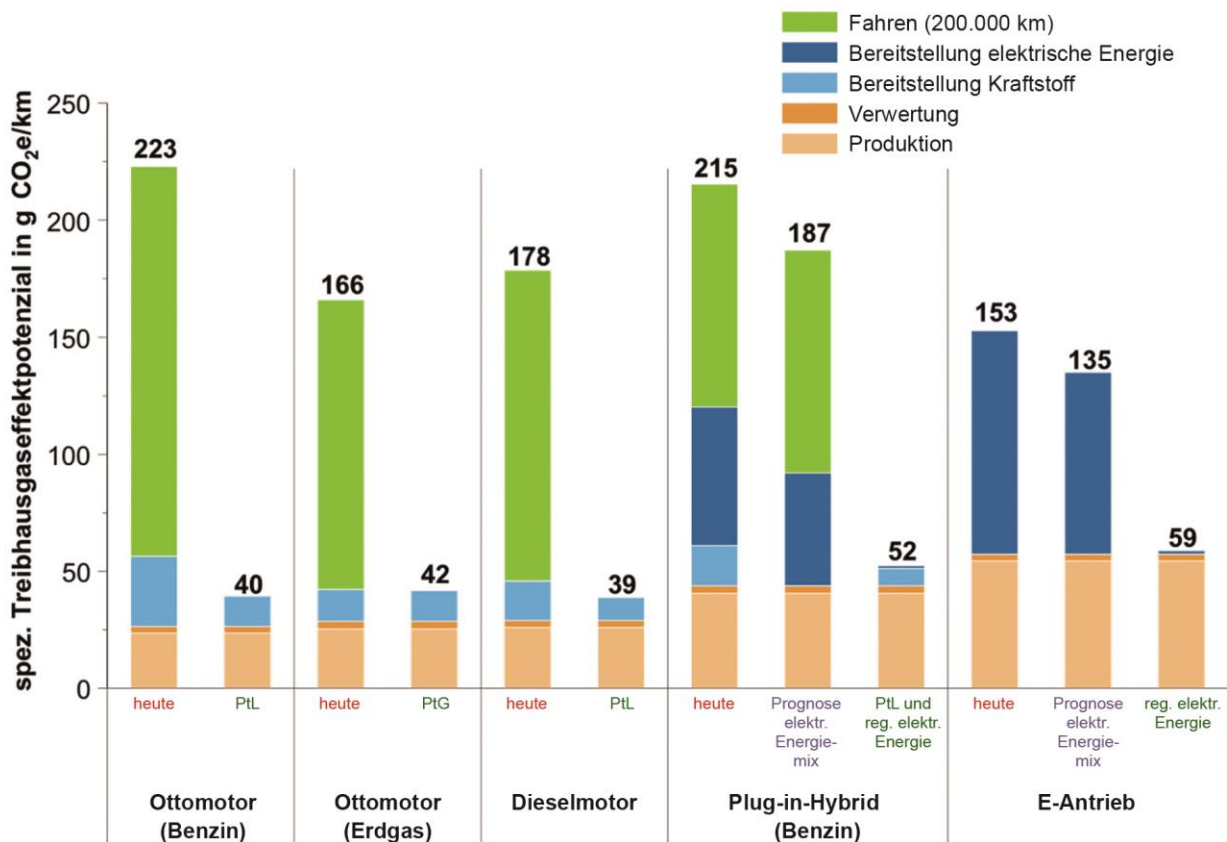
Beim exemplarischen Vergleich mit einem Erdgasfahrzeug (ottomotorisches Fahrzeug, betrieben mit CNG) ergeben sich folgende Erkenntnisse. Am Lebensende des Erdgasfahrzeugs, bei 200.000 Kilometern, hätte dieses Fahrzeug 166 gCO<sub>2</sub>e/km emittiert (Punkt B). Um diesen Wert zu erreichen, müsste das E-Fahrzeug mindestens 163.000 Kilometer betrieben werden (Punkt B'). In diesem Fall würde das Aufladen der Traktionsbatterie immer mit dem heutigen elektrischen Energiemix erfolgen. Unter Berücksichtigung des fortschreitenden Ausbaus regenerativer Energiequellen innerhalb der Betriebszeit des E-Fahrzeugs würde dieser Punkt (B'') aber schon eher, nämlich bei 138.000 Kilometern, erreicht werden.

### Das Paradoxon: Das E-Fahrzeug müsste ein Langstreckenfahrzeug sein

Was ist nun die Grunderkenntnis? Das heutige E-Fahrzeug müsste unter ökobilanzieller Sichtweise paradoxerweise ein Langstreckenfahrzeug mit einer langen Betriebszeit sein, damit die erforderlichen hohen Laufleistungen erreicht werden können. Erst dann hat es gegenüber den klassischen, mit Verbrennungsmotor angetriebenen Fahrzeugen, einen Vorteil. In der Praxis werden diese hohen Laufleistungen derzeit wahrscheinlich aber nur sehr selten erreicht, denn die heutigen funktionalen Nutzungseinschränkungen der batterieelektrischen Fahrzeuge sind leider immer noch groß (hohe Ladezeit, geringe Reichweite). Der Plug-in-Hybrid, mit einer Kombination aus elektrischem- und ottomotorischem Antrieb, kann innerhalb üblicher Laufleistungen nur gegenüber dem „Benziner“ einen Vorteil erzielen.

## Wesentliche Verbesserung durch Einsatz von regenerativen Energieträgern

Aber woher kommen diese Unterschiede eigentlich? Dazu erfolgt eine detaillierte Analyse der Treibhausgasemissionen bei der beispielhaften Laufleistung von 200.000 Kilometern. Dabei zeigt sich, dass das Benzin-Fahrzeug mit Ottomotor die größten Emissionen während der Fahrt verursacht, gefolgt von der Diesel-, Erdgas- und der Hybridvariante. Naturgemäß schneidet hier das batterieelektrische Fahrzeug am besten ab – mit null Emissionen. Das Bild verändert sich, wenn man auch die Emissionen für die Bereitstellung von elektrischer Energie bzw. Kraftstoff wie Benzin, Diesel und CNG miteinbezieht: Dann machen die konventionellen Antriebe deutlich an Boden gut – erst recht, wenn die Emissionen für die Produktion und die Verwertung mit einbezogen werden. Hier zeigt sich, dass bei der Produktion von teil- und vollelektrischen Antrieben erheblich mehr Treibhausgase emittiert werden. Trotzdem schneidet bei dem Vergleich unter Nutzung heutiger Energieträger das batterieelektrische Fahrzeug am besten ab. Erst recht, wenn in einem weiteren Schritt berücksichtigt wird, dass der erneuerbare Energieanteil während der Betriebszeit des E-Fahrzeuges ansteigen wird (Prognose elektrischer Energiemix). Allerdings wäre bei einem erforderlichen Traktionsbatteriewechsel die gute Bilanz hinfällig.



Quelle: IAV GmbH

Beim Einsatz von Windenergie als energetische Basis für alle Energieträger werden die Treibhausgasemissionen in der Nutzungsphase für alle Varianten signifikant reduziert. Auch hier wird klar, dass der Anteil von Produktion und Verwertung an den Gesamtemissionen durch den vermehrten Einsatz regenerativer Energieträger in der Nutzungsphase zukünftig steigen wird. In diesem Fall gewinnen sogar die verbrennungsmotorisch angetriebenen Fahrzeuge durch ihre vergleichsweise geringen Emissionen in der Produktionsphase.



## Differenziertes Bild bei Betrachtung weiterer Umweltwirkungen

Allerdings liefert die ausschließliche Betrachtung der Treibhausgasemissionen nicht das gesamte Bild. Bezieht man auch andere Umweltkategorien bzw. umweltrelevante Kriterien mit ein, zeigen die verschiedenen Antriebskonzepte unterschiedliche Stärken und Schwächen: Das batterieelektrische Fahrzeug schneidet bei der Sommersmoglobinbildung am besten ab, jedoch hat es wiederum bei der Versauerung besondere Schwächen.

Um das diskutierte Treibhausgaswirkungspotenzial in ein Gesamtbild einzufügen, sind einige weitere wesentliche Eigenschaften der verschiedenen Antriebsvarianten in der nachfolgenden Tabelle aufgeführt. Auffallend ist, dass das batterieelektrische Fahrzeug, insbesondere bei den für den Endkunden wichtigen Transporteigenschaften, wesentliche Nachteile gegenüber den Vergleichsfahrzeugen aufweist. Diese Nachteile gilt es in Zukunft durch konsequente Weiterentwicklung der Antriebstechnologie auf ein akzeptables Maß zu verringern. Nur dann werden E-Antriebe von den Endkunden in der Zukunft akzeptiert werden.

Kriterium	Ottomotor (Benzin)	Ottomotor (Erdgas)	Dieselmotor	Plug-in-Hybrid (Benzin)	E-Antrieb
<b>Umwelteigenschaften</b>					
Treibhausgaswirkungspotenzial (aus LCA, Nutzung 200.000 km)	**	****	****	***	*****
Lokaler Schadstoffausstoß	**	**	*	****	*****
<b>Transporteigenschaften</b>					
Reichweite	****	*** (ausschl. Berücksichtigung im CNG-Betrieb)	*****	*** (Berücksichtigung der Gesamtreichweite)	*
Tank- bzw. Ladedauer	*****	*****	*****	*** (Abwertung durch teilweises elektr. Laden)	*
Zuladung	*****	*****	*****	***	***
<b>Kosten</b>					
Zusätzliche Infrastrukturaufwendungen	*****	**	*****	*** (Berücksichtigung einer Basisladeinfrastruktur)	*
Herstellungskosten	*****	****	****	***	**
Total Cost of Ownership (Kauf, Versicherung, Steuern, Wartung, Betrieb über 200.000 km)	****	*****	****	***	****

\*\*\*\*\* positiv

\* negativ

Quelle: IAV GmbH

Für die erforderliche Weiterentwicklung sowohl des batterieelektrischen Antriebs als auch der konventionellen Antriebe ist ein Wettbewerb der Technologien erforderlich, der ergebnisoffen und nach fairen Regeln geführt werden sollte. Wesentliche Eckpunkte solcher Regeln sind durch die Lebenszyklusbetrachtung definiert. Die Untersuchung zeigt, dass für die Betrachtung der Umweltbelastung durch unterschiedliche Antriebskonzepte nicht ausschließlich, wie heute gesetzlich vorgeschrieben, der Fahrbetrieb berücksichtigt werden darf. Nur ein komplettes Life Cycle Assessment liefert einen fairen Vergleich der Varianten.

---

## Impressum

Copyright: Alle Rechte liegen beim Herausgeber und Kooperationspartner.  
Ein Nachdruck – auch auszugsweise – ist nur mit ausdrücklicher schriftlicher Genehmigung gestattet.

Herausgeber: Industrie- und Handelskammer Schwarzwald-Baar-Heuberg  
Romäusring 4 | 78050 Villingen-Schwenningen  
Telefon: 07721/922-0 | E-Mail: [info@vs.ihk.de](mailto:info@vs.ihk.de)

Kooperationspartner: IAV GmbH Ingenieurgesellschaft Auto und Verkehr  
Carnotstraße 1 | 10587 Berlin

Stand: 30. November 2017