

Vergleich verschiedener Technologien

Der Vergleich der Antriebssysteme erfolgt sowohl durch die „Tank to Wheel“ als auch durch die „Well to Wheel“-Analyse, siehe [Abbildung 1](#).

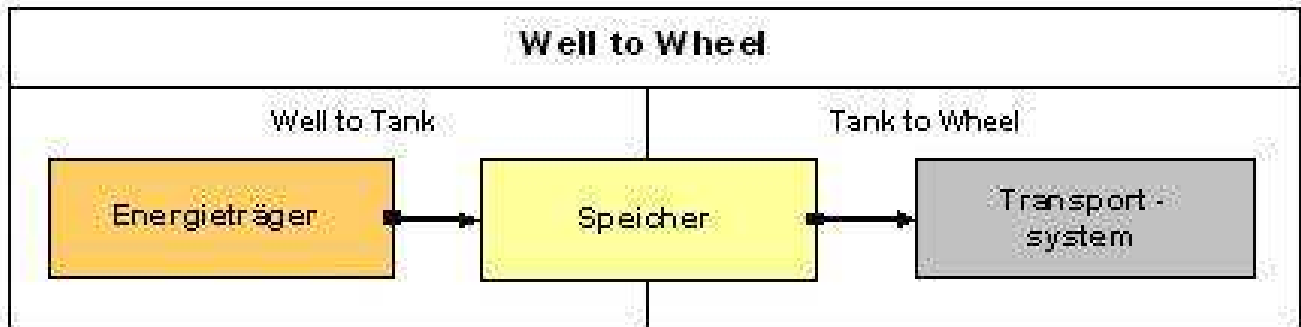


Abbildung 1: Grenzen der Energiebilanzen

Die folgenden Darstellungen beziehen sich auf eine Studie der Europäischen Union im Rahmen des „EU“-Projektes „Well-to-Wheels analysis of future automotive fuels and powertrains in the European context“. In dieser Studie werden verschiedene konventionelle und alternative Fahrzeugkonzepte bezüglich Energieverbrauch und CO₂-Emissionen bewertet. Aus der großen Anzahl von dargestellten Fahrzeugkonzepten werden im weiteren Verlauf dieses Kapitels folgende Fahrzeugvarianten genauer beschrieben und untersucht:

- Konventionelles Fahrzeug mit Ottomotor
- Konventionelles Fahrzeug mit modernem Otto- und Dieselmotor
- Hybridfahrzeug mit modernem Otto- und Dieselmotor
- Hybrid-Brennstoffzellenfahrzeug mit Druckwasserstoff-Speicher (Erdgas/Stromnetz)
- Hybrid-Brennstoffzellenfahrzeug mit Flüssigwasserstoff-Speicher (Stromnetz)
- Hybrid-Brennstoffzellenfahrzeug mit Onboard-Reformierung (Methanol)
- Batteriebetriebenes Elektrofahrzeug (Stromnetz)

Zum Vergleich der Verbrauchsergebnisse wird ein Fahrzeug der Kompaktklasse im europäischen Verbrauchszyklus „NEDC“ herangezogen. Zur einfacheren Orientierung werden die wesentlichen Kenndaten der Fahrzeuge in [Abbildung 2](#) kurz zusammengefasst.

Ausgehend von dem Referenzfahrzeug ermöglichen zukünftige konventionelle Maßnahmen am Ottomotor bereits eine Verbrauchreduzierung von circa 16 %, siehe [Abbildung 3](#). Zu diesen Maßnahmen zählen insbesondere eine Verkleinerung des Hubraums („Downsizing“) in Kombination mit einem Aufladungskonzept und die Benzin-Direkteinspritzung. Die Hybridisierung dieses Konzepts führt zu einer weiteren Reduzierung des Energieverbrauches, so dass die Reduzierung des Energieverbrauches des benzinbetriebenen Hybridfahrzeug bei circa 26 % liegt.

Der Energieverbrauch wird einheitlich in streckenspezifischen Energieeinheiten (kJ/km) angegeben, da es sich um verschiedene Kraftstoffarten handelt.

Fahrzeugvariante	konventionelles Fahrzeug mit Verbrennungsmotor				Verbrennungsmotor + Elektromotor (Parallelhybrid)		Brennstoffzelle + Batterie		
	Ottomotor	moderner Ottomotor	Dieselmotor	moderner Dieselmotor (DPF)	moderner Ottomotor	moderner Dieselmotor (DPF)	Druckspeicher	Flüssigspeicher	Reformer
Fahrzeugmasse [kg]	1181		1248		1261	1328	1370	1365	1478
Leistung Verbrennungsmotor [kW]	77	70	74		70	74	-	-	-
Hubvolumen [l]	1.8	1.3	1.9		1.3	1.9	-	-	-
Motormasse [kg]	120		145		120	145	-	-	-
Leistung Elektromotor [kW]	-	-	-	-	14		75		
Batteriegröße [kWh]	-	-	-	-	6				
Leistung BZ-Stack [kW]	-	-	-	-	-	-	80		
Wasserstoffspeicherkapazität [kg]	-	-	-	-	-	-	4.2		-

Abbildung 2: Kenndaten der Fahrzeugvarianten

Grundsätzlich sind die zu erwartenden Verbrauchsreduzierungen des weiterentwickelten Fahrzeugs mit Dieselmotor aufgrund der bereits heutzutage ausgereiften Dieselmotorentechnologie eher gering. Gegenüber dem modernen Ottomotor-Fahrzeug kann der Dieselmotor auch in Zukunft Vorteile bezüglich Energieeffizienz geltend machen, jedoch beläuft sich dieser Vorteil auf lediglich 5 %. Analog zu dem Ottomotor-Fahrzeug kann die Hybridtechnologie einen weiteren Beitrag zur Verbrauchsreduzierung leisten, so dass der zukünftige Diesel-Hybrid in diesem Vergleich den geringsten streckenbezogenen Energieverbrauch sowohl in Bezug auf die „TTW“- als auch die „WTW“-Betrachtung aufweist. Dieses Antriebskonzept bietet gegenüber dem Otto-Hybrid eine Reduzierung des Energieverbrauchs um 12 %.

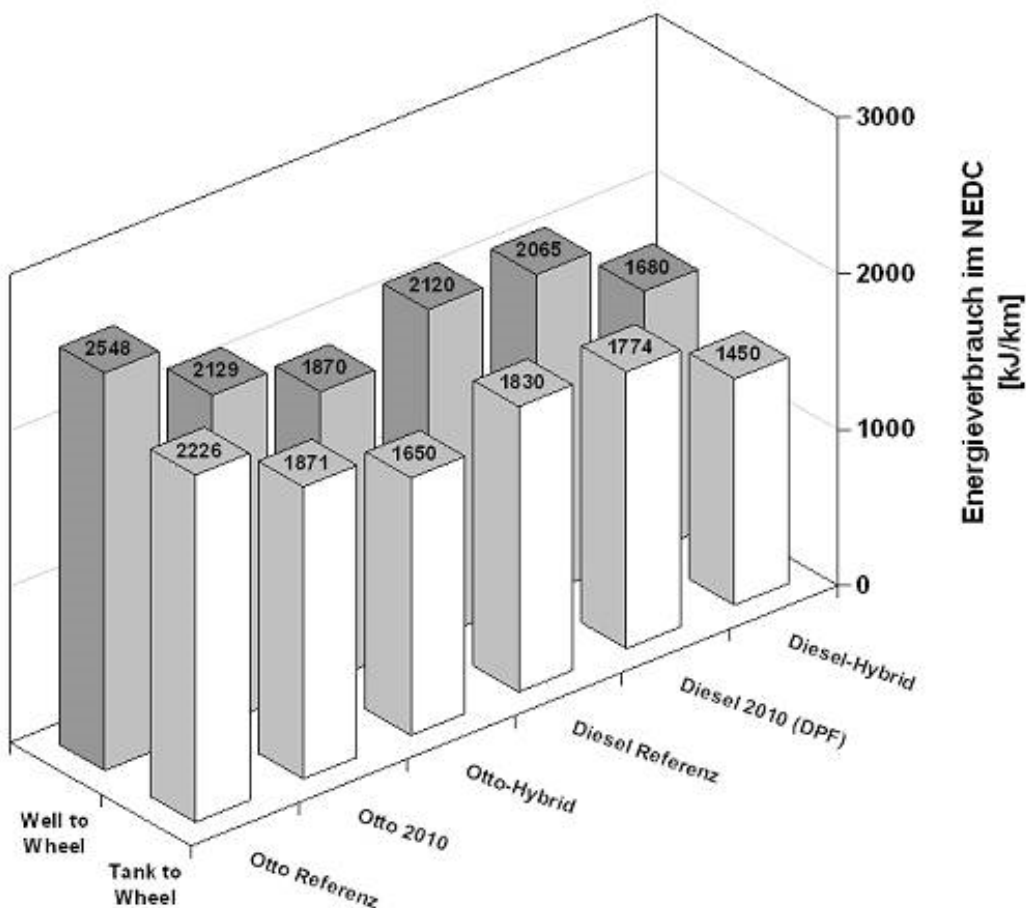


Abbildung 3: Übersicht des Energieverbrauchs verschiedener konventioneller und hybrider Fahrzeuge

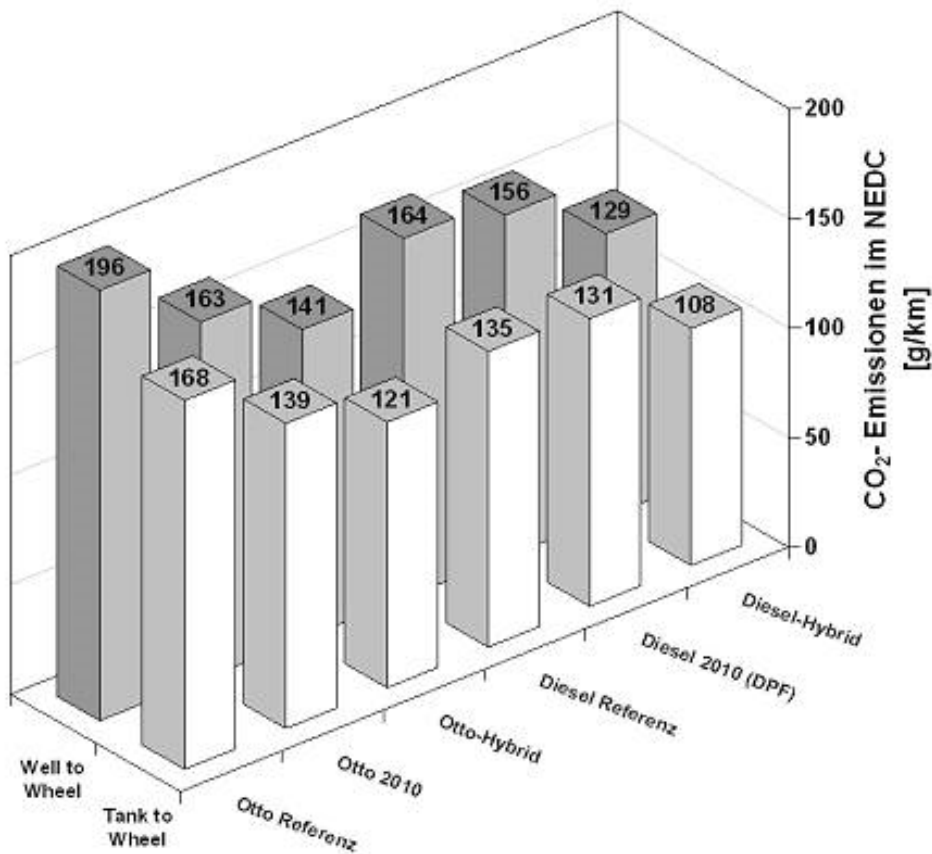


Abbildung 4:
Übersicht der CO₂-Emissionen verschiedener konventioneller und hybrider Fahrzeuge

In Wettbewerb um das Antriebskonzept der Zukunft steht neben dem Brennstoffzellenfahrzeug das batteriebetriebene Elektrofahrzeug. Beide Konzepte ermöglichen einen emissionsfreien Betrieb, jedoch muss die gesamte Energiekette betrachtet werden, so dass die CO₂-Bilanz in Abhängigkeit des verwendeten Energiemix durchaus variieren kann. Um den Energieverbrauch der Elektroantriebe mit dem konventionellen Antrieb zu vergleichen ist zunächst der Energieverbrauch für verschiedene Varianten des Brennstoffzellenfahrzeugs und für ein batteriebetriebenes Elektrofahrzeug dargestellt, siehe Abbildung 5.

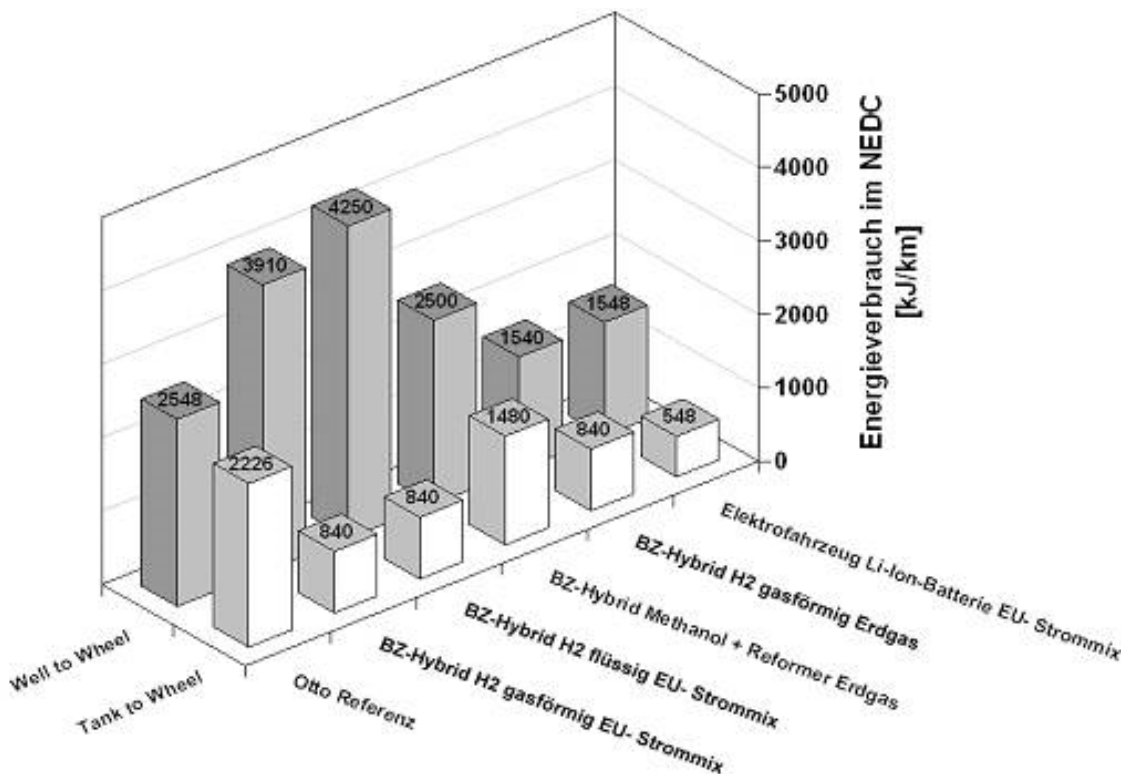


Abbildung 5:
Übersicht zum Energieverbrauch verschiedener E-Fahrzeuge

Alle dargestellten E-Fahrzeuge weisen in Bezug auf die „TTW“-Betrachtung einen deutlich niedrigeren Energieverbrauch im Vergleich zu dem konventionellen Antrieb auf. Dies ist im Falle der Brennstoffzellenfahrzeuge auf den besseren Wirkungsgrad des Energiewandlers (Brennstoffzelle) gegenüber dem Verbrennungsmotors zurückzuführen. Die Variante mit Onboard-Reformierung verbraucht etwa 60 % mehr Energie als die BZ-Fahrzeuge mit Wasserstoff-Speicher, weshalb diese Technologie heute kaum noch verfolgt wird. Auf-grund der Energiewandlung in der BZ liegt der Energieverbrauch der Brennstoffzellenfahrzeuge deutlich über dem „reinen“ Elektrofahrzeug mit (Li-Ion) Batterie.

Um eine Aussage über den Wirkungsgrad bei der Umsetzung der elektrischen Energie in mechanische Antriebsenergie und um einen Vergleich zwischen Brennstoffzellenfahrzeug und Batteriefahrzeug treffen zu können, wird die Wirkungsgradkette von der „Schnittstelle“ elektrische Energie bis hin zum Rad für die beiden E-Fahrzeugvarianten „Hybrid-Brennstoffzellenfahrzeug mit Druckwasserstoff-Speicher“ und „Batteriebetriebenes Elektrofahrzeug“ betrachtet, siehe Abbildung 6.

Beim batteriebetriebenen Elektrofahrzeug ergeben sich Verluste durch den Wirkungsgrad des Elektromotors und der Batterie beim Antreiben des Fahrzeuges. Die Energie aus dem Speicher (Batterie) wird somit mit einem Gesamtwirkungsgrad von circa 63 % in mechanische Energie gewandelt („Tank to Wheel“). Berücksichtigt man weiterhin den Wirkungsgrad beim Laden der Batterie aus dem Stromnetz (circa 90 %), ergibt sich ein Wirkungsgrad von circa 57 % für den Energiepfad „elektrische Energie“ zu „Radenergie“.

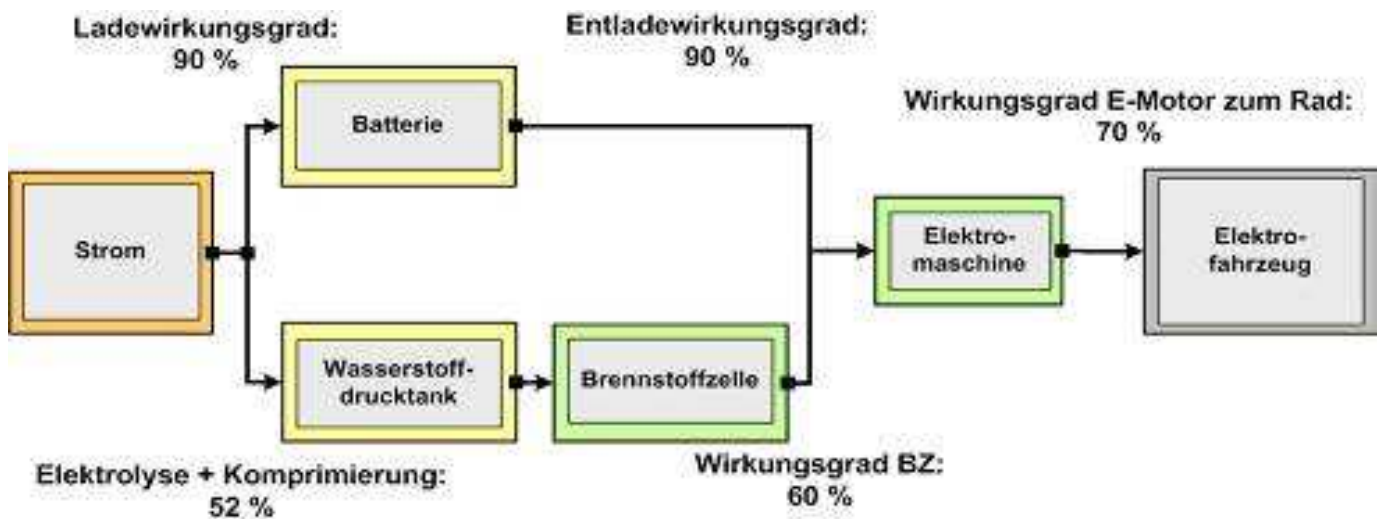


Abbildung 6: Energiebilanz Elektrofahrzeuge im NEDC

Beim Brennstoffzellenfahrzeug muss neben den Verlusten beim Betrieb des Fahrzeuges über Brennstoffzelle und Elektromotor zusätzlich die Bereitstellung des Energieträgers Wasserstoff in die Energiebilanz einfließen. Die Umwandlung des mitgeführten Wasserstoff in mechanische Energie erfolgt mit einem Wirkungsgrad von circa 42 %, wobei insbesondere der Wirkungsgrad der Brennstoffzelle noch Potential zur Optimierung bietet. Neben den Verlusten im Fahrzeug, entstehen auch bei der Bereitstellung des Wasserstoffs über die Elektrolyse und die Komprimierung hohe Verluste, so dass das Brennstoffzellenfahrzeug einen Gesamtwirkungsgrad „Strom zu Rad“ von lediglich 22 % aufweist.

Im Vergleich zum batteriebetriebenen Elektrofahrzeug benötigt das Hybrid-Brennstoffzellenfahrzeug somit circa die dreifache Energiemenge für das Antreiben des Fahrzeuges im NEDC. Für das BZ-Fahrzeug mit Flüssigwasserstoff-Speicher ist der Energieaufwand zur Bereitstellung des flüssigen Wasserstoff sogar noch höher, so dass beide Varianten bezüglich der „WTW“-Analyse im Vergleich zum konventionellen Antrieb 70% bzw. 90 % mehr Energie benötigen. Lediglich die Bereitstellung des (gasförmigen) Wasserstoffs über die stationäre Erdgasreformierung oder aus regenerativen Stromquellen kann die Gesamtenergiebilanz verbessern und ermöglicht einen Betrieb des BZ-Fahrzeugs mit einem deutlich reduzierten Energieverbrauch.

Bis auf die Variante mit Onboard-Reformierung ermöglichen die E-Fahrzeuge typischerweise einen Fahrzeugbetrieb ohne CO₂-Emissionen, siehe Abbildung 7. In Bezug auf die gesamte Energiebilanz fallen jedoch auch bei diesen Fahrzeugen CO₂-Emissionen an. Diese Emissionen entstehen bei der Produktion bzw. Umwandlung des Primärenergieträgers in den Energieträger, welcher im Fahrzeug transportiert werden kann. Abhängig vom Energieverbrauch und der verwendeten Primärenergiequelle folgen für die verschiedenen Konzepte unterschiedliche CO₂-Bilanzen. Legt man für die Bereitstellung des Wasserstoffs den europäischen Energie-mix zugrunde, liegen die CO₂-Emissionen der beiden Brennstoffzellenfahrzeuge über den Emissionen des konventionellen Antriebs. Wird der Wasserstoff jedoch über die Erdgasreformierung bereitgestellt, kann eine Reduzierung der Emissionen von circa 22 % realisiert werden.

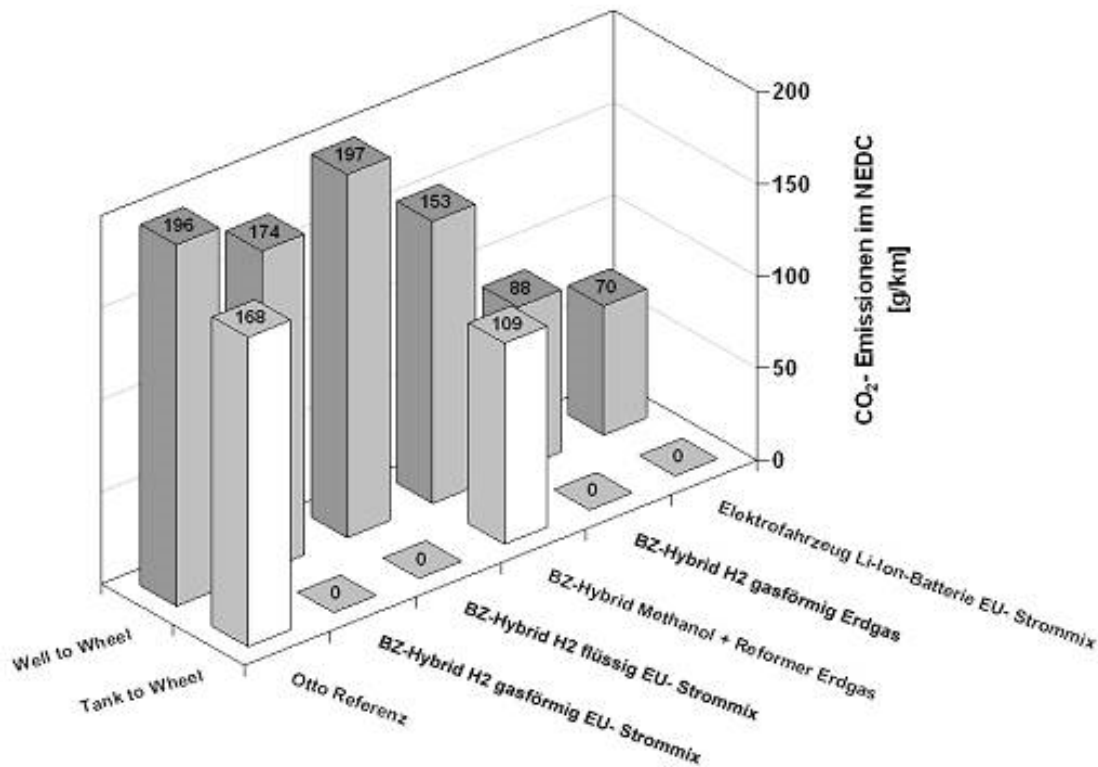


Abbildung 7:
Übersicht der CO₂-Emissionen verschiedener E-Fahrzeuge

Die CO₂-Bilanz für das batteriebetriebene Elektrofahrzeug fällt ebenfalls positiv aus. Unter der Annahme, dass die elektrische Energie gemäß des EU-Strommixes bereitgestellt wird, ermöglicht diese Antriebsstruktur eine Reduzierung der CO₂-Emissionen gegenüber dem Referenzfahrzeug von circa 65%. Eine nahezu vollständige Vermeidung der CO₂-Emissionen kann nur über den Einsatz von regenerativen Energiequellen (z.B.: Sonne, Wind und Wasser) erfolgen. Gleiches gilt für das Brennstoffzellenfahrzeug, wobei der gesamte Energieaufwand in beiden Fällen weiterhin höher liegt.

Weitere Wirkungsgradbetrachtungen: Daimler hat die Ergebnisse der CONCAWE-Studie, die auch die Basis für die obigen Ausführungen bildet, in einem interaktiven Well-to-Wheel-Rechner umgesetzt. Mit diesem Werkzeug lassen sich die verschiedensten Energiewandlungspfade vom Primärenergieträger bis zu Fahrzeugkonzept hin betrachten und bewerten.

Zu finden ist dieses Tool unter www.daimler.com/go/optiresource.

Quelle: DGES, Deutsche Gesellschaft für elektrische Straßenfahrzeuge

URL: <http://www.dges.de/alternative-antriebe/1.html>