

ADAC Ecotest

Test- und Bewertungskriterien (ab 4/2021)



Ecotest

Seit 2003 hilft der ADAC Ecotest, das Umweltverhalten von Autos ganzheitlich zu bewerten. Damit ist er eine wichtige, unabhängige Bewertung für Kaufinteressenten. Wie viele (von maximal fünf) Sternen ein Auto im ADAC Ecotest erhält, hängt von folgenden Punkten ab: Ausstoß gesetzlich limitierter Schadstoffe (Kohlenmonoxid CO, Kohlenwasserstoffe HC, Stickoxide NOx und Partikel) sowie von Kohlendioxid CO₂. Alle Antriebsarten/Kraftstoffe werden im ADAC Ecotest absolut gleichbehandelt.

Um den Verbrauchern eine unabhängige, technologieneutrale Vergleichsmöglichkeit verfügbarer Fahrzeugmodelle und Antriebskonzepte bieten zu können, erfolgt die Bewertung der CO₂-Emissionen im Rahmen des ADAC Ecotest auf Basis deren "Well-to-Wheel-Bilanz". Mit der Well-to-Wheel-Betrachtung wird der gesamte Prozess des Energieverbrauchs „von der Kraftstoffquelle bis zum Rad“ berücksichtigt und somit auch die Frage nach der Energiequelle beantwortet. Damit erhält der Verbraucher eine noch bessere Bewertung der tatsächlichen CO₂-Emission eines Fahrzeugs. Nur so können serienmäßige Elektro- und Plug-In-Hybrid-Fahrzeuge direkt mit Gas, Benzin- und Dieselfahrzeugen verglichen werden.

Dabei werden die gemessenen CO₂-TTW-Emissionen (Werte vom Tank bis zum Rad = TTW, Tank-to-Wheel) zu den CO₂-WTT-Emissionen, die für die Bereitstellung des Kraftstoffs/Stroms entstehen (Wert für Quelle bis zum Tank = WTT, Well to Tank) addiert. Die Well-to-Wheel Betrachtung gilt somit nicht nur für Elektroautos, sondern für alle Antriebsarten.

Neu seit April 2021

Mit dem Ecotest 5.0 wurden zum April 2021 die Well-to-Tank-Werte für die Kraftstoffe sowie der Strommix an den aktuellen Stand angepasst.

Fahrzeugauswahl

Die Auswahl stellt einen Querschnitt der im europäischen Markt verfügbaren Fahrzeuge aller Klassen dar. Auch alternative Antriebssysteme wie Elektro-, Hybrid-, CNG- und LPG-Fahrzeuge sind mit in der Auswahl.

Messungen im ADAC Abgaslabor

Alle Fahrzeuge werden im ADAC Abgaslabor im Zwei-Achsbetrieb auf dem Rollenprüfstand gemessen. Die Messungen erfolgen im aktuellen Zulassungszyklus WLTC (Worldwide harmonized Light-Duty Vehicles Test Cycle) Version 5.3 sowie im ADAC Autobahnzyklus. Der WLTC wird als Kaltstart sowie mit warmem Motor durchgeführt. In allen drei Fahrzyklen wird mit Tagfahrlicht (oder alternativ Abblendlicht), eingeschalteter Klimaanlage und einer Zuladung von 200 kg gefahren.

Während der Testzyklen werden die Schadstoffe Kohlenmonoxid (CO), Kohlenwasserstoffe (HC), Stickoxide (NOx), Partikelmasse (PM) und Partikelzahl (PN) sowie Kohlendioxid (CO₂) gemessen. Der Kraftstoffverbrauch wird anschließend aus den Schadstoffen berechnet, die Kohlenstoff enthalten.

Für Elektrofahrzeuge und PlugIn-Hybride gibt es einen speziellen Elektrozyklus, der aus einem angepassten WLTC samt Autobahnzyklus besteht.

Bei Elektrofahrzeugen wird der Gesamtenergieverbrauch (inkl. Ladeverluste) ermittelt und daraus die CO₂-Emissionen und die Schadstoffemissionen aus der Stromerzeugung berechnet. Zusätzlich wird die Reichweite einer Akkuladung bestimmt.

Das Testverfahren für PlugIn-Hybrid-Fahrzeuge und Elektrofahrzeuge mit Reichweitenverlängerer (Range Extender) setzt sich zusammen aus einem Testlauf mit leerer Hochvoltbatterie analog zum Testablauf für Fahrzeuge mit konventionellem Verbrennungsmotor und einem Testlauf mit voller Hochvoltbatterie im Elektrozyklus.

WLTC 5.3

Der WLTC besteht aus vier Teilen (low, middle, high und extra high) und deckt somit möglichst viele Facetten des realen Fahrzeugeinsatzes ab. Im ersten Teil „low“ beträgt die zurückgelegte Strecke 3,1 km, im Teil „middle“ 4,8 km, im Teil „high“ 7,2 km und im Teil „extra high“ 8,3 km.

Die Motoröltemperatur vor dem Start des „WLTC heiß“-Tests liegt bei 90 °C. Für den „WLTC kalt“ gilt eine Konditionierdauer von mindestens 12 Stunden oder bis die Motoröltemperatur auf +/- 3 °C mit der Umgebungstemperatur (ca. 22 °C) übereinstimmt.



Abbildung 1: WLTC 5.3

ADAC Autobahnzyklus

Dieser vom ADAC entwickelte zusätzliche Test soll zeigen, ob das Abgasnachbehandlungssystem auch außerhalb des gesetzlichen Tests optimal arbeitet. Da die Höchstgeschwindigkeit auf Autobahnen in den meisten europäischen Ländern auf 130 km/h begrenzt ist, gilt dies auch im ADAC Autobahnzyklus. Zusätzlich sind Vollastbeschleunigungen enthalten.

Dieser Zyklus besteht aus einer kurzen Vorkonditionierungsphase, welche nicht in die Messung mit eingeht, und aus zwei identischen Test-Phasen. Die zwei Phasen ermöglichen es ausschließen zu können, dass sich ein Fahrzeug gerade in einer Regenerationsphase (Abbrand des Partikelfilters, Regeneration SCR-Kat) befindet. Weichen die Emissionen in den Phasen erheblich voneinander ab, wird der Test wiederholt. Die Streckenlänge einer Phase im ADAC Autobahnzyklus beträgt ca. 10 km.

Die Motoröltemperatur vor dem Start des ADAC Autobahnzyklus liegt bei 90 °C.

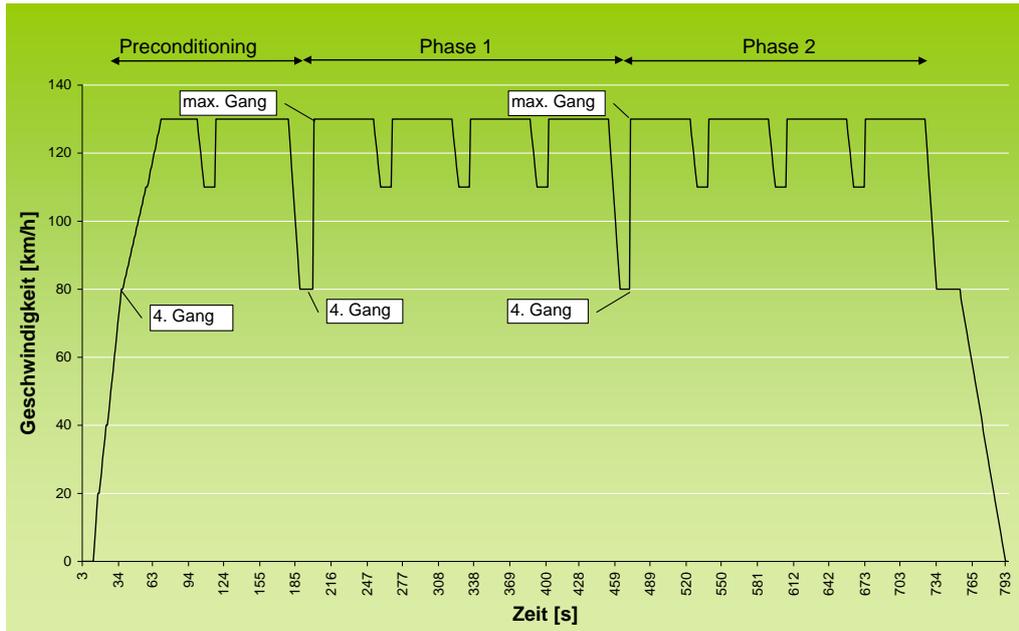


Abbildung 2: ADAC Autobahnzyklus

Elektrofahrzeug-Zyklus

Der Zyklus für die Elektrofahrzeuge ist die Aneinanderreihung von WLTC und einem angeglichenen Teil des ADAC Autobahnzyklus. Die Wegstrecken sind so angepasst, dass die rechnerischen Gewichtungen mit dem Standardzyklus übereinstimmen.

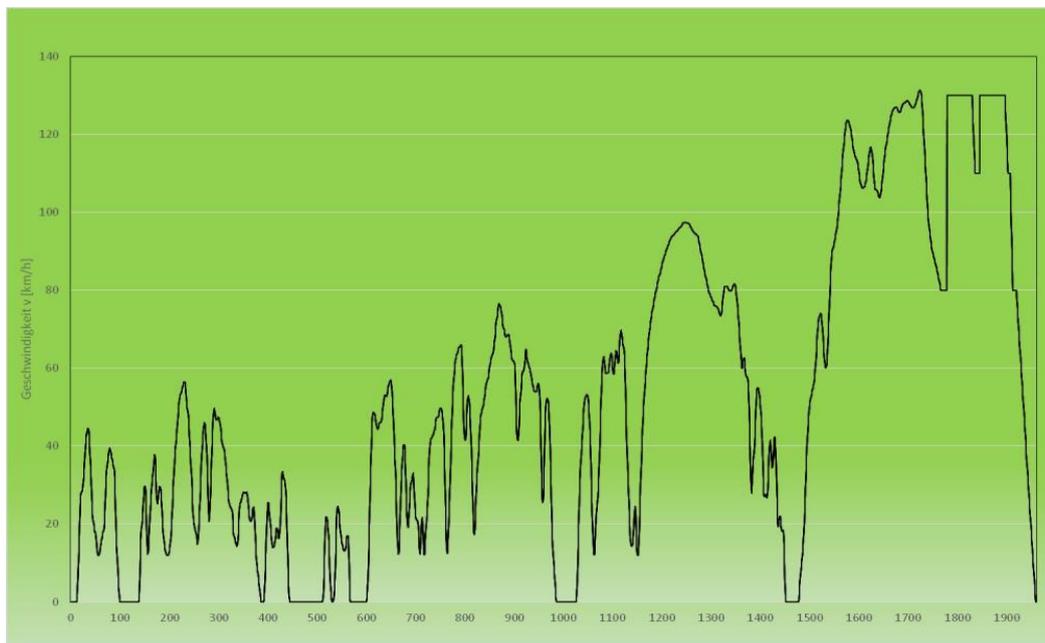


Abbildung 3: ADAC Elektrozyklus

Bewertung der Schadstoffemissionen

Die Bewertung der Schadstoffe (CO, HC, NO_x, PM und PN) basiert auf einem linearen Bewertungsmaßstab, der unabhängig von der Fahrzeugklasse und der Antriebsart ist. Abhängig vom gemessenen Wert können null Punkte für hohe Emissionen bis 50 Punkte für niedrige Emissionen erreicht werden. (siehe nachfolgende Tabelle).

Tabelle 1: Grenzwerte Schadstoffe

	WLTC kalt/warm		ADAC Autobahn	
	50 Punkte bei [g/km]	0 Punkte bei [g/km]	50 Punkte bei [g/km]	0 Punkte bei [g/km]
HC	0,1	0,2	0,1	0,2
CO	0,5	1	0,5	7
NO _x	0,06	0,126	0,06	0,26
PM	0,002	0,01	0,002	0,01
	50 Punkte bei [1/km]	0 Punkte bei [1/km]	50 Punkte bei [1/km]	0 Punkte bei [1/km]
PN	6,00 x 10 ¹⁰	6,00 x 10 ¹²	6,00 x 10 ¹⁰	6,00 x 10 ¹²

In die Schadstoff-Bewertung gehen alle drei Testzyklen (WLTC kalt, WLTC heiß und ADAC Autobahnzyklus) bzw. der Elektrozyklus als Kombination ein. Die Bewertung erfolgt mittels Worst-Case-Betrachtung. Es bestimmt immer die Schadstoffgruppe mit der schlechtesten Bewertung das Ergebnis.

Die Schadstoff-Bewertung der konventionell angetriebenen Fahrzeuge berechnet sich zu je 35 Prozent aus dem Ergebnis des WLTC kalt und WLTC heiß und zu 30 Prozent aus dem Ergebnis des ADAC Autobahnzyklus.

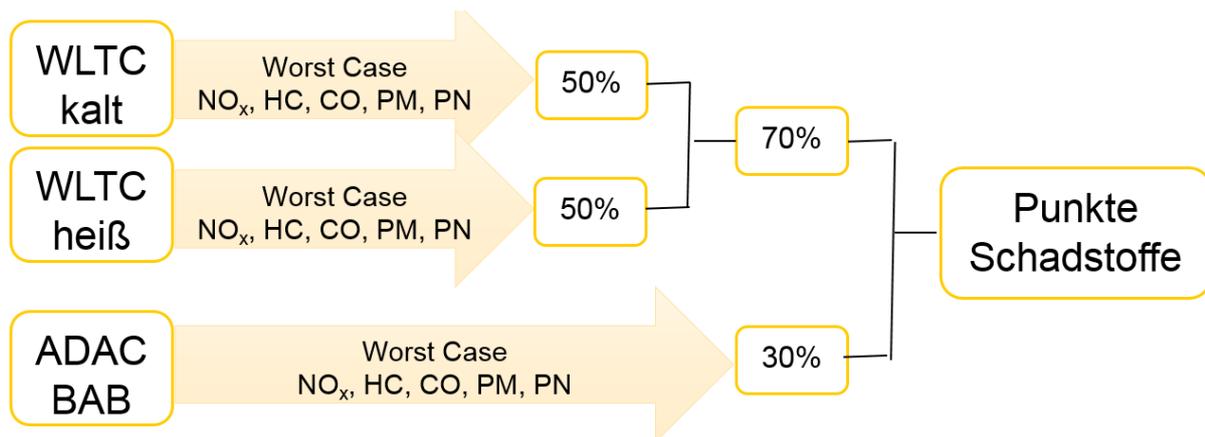


Abbildung 4: Berechnung Schadstoffpunkte

Die Berechnung der Schadstoff-Punkte erfolgt nach folgender Formel:

$$\begin{aligned}
 \text{Punkte}_{\text{Schadstoffe}} = & 0.7 \cdot (0.5 \cdot \text{Punkte}_{\text{WLTCkaltworstcase}} + 0.5 \cdot \text{Punkte}_{\text{WLTCheißworstcase}}) + \\
 & + 0.3 \cdot \text{Punkte}_{\text{Autobahnworstcase}}
 \end{aligned}$$

Die Schadstoffemissionen von Elektrofahrzeugen werden direkt über den gemessenen Stromverbrauch (inkl. Ladeverluste) ermittelt.

Elektrofahrzeuge selbst fahren zwar weitgehend ohne direkte Schadstoffemissionen, diese fallen aber bei der Produktion des geladenen Stroms an. Der im deutschen Strommix entstehende Ausstoß von Schadstoffen wird vom Umweltbundesamt (UBA) veröffentlicht. Für die Bewertung im Ecotest wird die neueste Veröffentlichung herangezogen. Diese gilt für das Bezugsjahr 2019. Der durchschnittliche Schadstoffausstoß der deutschen Stromproduktion inkl. Netzverluste (pro kWh) für die relevanten Schadstoffgruppen ist in nachfolgender Tabelle dargestellt.

Tabelle 2: Schadstoffausstoß pro Kilowattstunde in der Stromproduktion BRD inkl. Netzverluste (Quelle: UBA)

Schadstoff	g/kWh
NOx	0,406
PM	0,010
CO	0,142
HC	0,013

Als Grenzwerte für die Schadstoffbewertung werden die für PlugIn-Hybride angesetzt, siehe Tabelle 5.

Ein Beispiel: Das Elektroauto mit einem Stromverbrauch von 20 kWh/100 km sorgt somit für indirekte Emissionen von 81 mg/km NOx, für ein modernes Dieselfahrzeug ein nur mäßiges Ergebnis, das bereits zum Punktabzug im Bereich der Schadstoffbewertung führt.

Mit zunehmend sauberer Stromerzeugung werden die Ergebnisse für die Elektroautos automatisch noch besser werden. Auch mit Berücksichtigung der indirekten Schadstoffemissionen gehören die Elektroautos zu den besten Modellen im Ecotest-Ranking.

Bewertung der CO₂-Emissionen

Die Einführung eines einheitlichen Bewertungsmaßstabes der CO₂-Emissionen für alle Fahrzeugklassen wurde der aktuellen Fahrzeugentwicklung gerecht, da sich heute Fahrzeuge oftmals nicht eindeutig in bestimmte Klassen einteilen lassen. Die immer größere Anzahl an Crossover-Modellen und Nischenprodukten ermöglichen zudem kaum noch eine faire Klasseneinteilung.

Um Elektrofahrzeuge und PlugIn-Hybride (hier werden Kraftwerksemissionen berücksichtigt) gleich wie Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor zu behandeln, werden alle CO₂WTW-Emissionen von der Quelle bis zum Rad (WTW = Well-to-Wheel) zur Bewertung herangezogen. Dabei werden die gemessenen CO₂TTW-Emissionen (Werte vom Tank bis zum Rad = TTW, Tank-to-Wheel) zu den CO₂WTT-Emissionen, die für die Bereitstellung des Kraftstoffs/Stroms entstehen (Wert für Quelle bis zum Tank = WTT, Well to Tank) addiert (Quellenangabe: g/MJ; WTW-analysis of future automotive fuels and powertrains in the European context, WTT-Report Version 5 September 2020; g/kWh: Umrechnung 1 kWh = 3,6 MJ).

Diese Werte werden nach Bedarf aktualisiert. Für die jeweilig verwendete Kraftstoffart zeigt nachfolgende Tabelle die entsprechenden Werte für den Energieinhalt und die CO₂-Emissionen pro Energiegehalt. Diese CO₂-Korrektur wird für alle gemessenen CO₂-Emissionen im WLTC kalt, WLTC warm und ADAC Autobahnzyklus durchgeführt.

Tabelle 3: Energieinhalt und CO₂-Emissionen pro Energiegehalt (Quelle; WTT-Report Version 5; UBA)

Kraftstoff	CO ₂ -Emissionen WTT pro Energieinhalt [g/MJ]	Volumen-spezifischer Energiegehalt HU [MJ/l]	Gewicht-spezifischer Energiegehalt HU [MJ/kg]
Benzin E10	11,5	32,0	
Diesel B7	12,7	36,0	
LPG	7,3	24,0	
CNG Deutschland-Mix, Bio-Anteil 40 %	-12,2		12,5
Wasserstoff	99,3		120,0
Strommix BRD	138,9		

Die Berechnung der CO₂-Emissionen von der Quelle bis zum Rad (CO₂WTW) erfolgt nach folgender Formel:

$$CO_{2\text{WTW}} = CO_{2\text{TTW}} + CO_{2\text{WTT}}(\text{kraftstoff})$$

Die CO₂-Emissionen (WTT) sind abhängig vom Kraftstoffverbrauch, dem Heizwert und den CO₂-Emissionen pro Energieinhalt für den jeweiligen Kraftstoff. Für Kraftstoffe, deren Verbrauch in l/100km (Diesel, Benzin, LPG) angegeben wird, gilt folgende Formel (Beispiel: Diesel):

$$CO_{2WTT(Diesel)} = \frac{FC_{(Diesel)} [l/100km] \cdot Hu_{(Diesel)} [MJ/l] \cdot CO_{2WTTproE(Diesel)} [g/MJ]}{100}$$

Für Kraftstoffe, deren Verbrauch in kg/100km (CNG), Wasserstoff angegeben wird, gilt folgende Formel:

$$CO_{2WTT(CNG)} = \frac{FC_{(CNG)} [kg/100km] \cdot Hu_{(CNG)} [MJ/kg] \cdot CO_{2WTTproE(CNG)} [g/MJ]}{100}$$

Basis für die Ermittlung des CO₂-Ausstoßes von Elektroautos ist der vom Umweltbundesamt (UBA) ermittelte Wert der durchschnittlichen Treibhausgasemissionen (CO₂äq) pro Energieeinheit des Stroms in Deutschland, der zur Verwendung in Straßenfahrzeugen mit Elektroantrieb aus dem Netz entnommen wurde. Dieser wird am Ende eines Jahres im Bundesgesetzblatt veröffentlicht und ist für das Folgejahr anzuwenden. Die letzte Veröffentlichung erfolgte am 19.10.2020 (BANz AT 19.10.2020 B7) und gilt für das Jahr 2021. Für 2021 beträgt der Wert der durchschnittlichen Treibhausgasemissionen pro Energieeinheit des Stroms in Deutschland 147 kg/GJ CO₂äq (= 529 g/kWh CO₂äq). Der CO₂-Anteil beträgt nach Auskunft des UBA 500 g/kWh (138,9 g/MJ).

Es ergibt sich für Elektrofahrzeuge ein CO₂-Ausstoß in Abhängigkeit des gemessenen Stromverbrauchs E (Angabe in kWh/100km). Die Berechnung erfolgt entsprechend nachfolgender Formel:

$$CO_{2\text{elekt}} = \frac{CO_{2\text{strommix}} \cdot E}{100}$$

Die Bewertung der CO₂-Emissionen basiert auf einem linearen Skalensystem, das unabhängig von der Fahrzeugklasse und der Antriebsart ist. Der Maßstab zur Bewertung der CO₂-Emissionen ist folgendermaßen festgelegt.

Tabelle 4: Grenzwerte CO₂

	50 Punkte bei [g/km]	0 Punkte bei [g/km]
CO ₂ (WTW)	100	250

Für den CO₂-Ausstoß gilt eine erweiterte Punkteskala, um Fahrzeuge zu honorieren, die einen noch niedrigeren CO₂-Ausstoß haben. Es können maximal 60 Punkte erreicht werden.

Die CO₂-Bewertung der konventionell angetriebenen Fahrzeuge berücksichtigt die Ergebnisse aus den Messungen von WLTC kalt, dem WLTC heiß und dem ADAC Autobahnzyklus. Dabei werden die Werte aus WLTC kalt und WLTC heiß gemittelt. Dieser gemittelte Wert wird mit 70 Prozent und der Wert aus dem ADAC Autobahnzyklus mit 30 Prozent gewichtet.

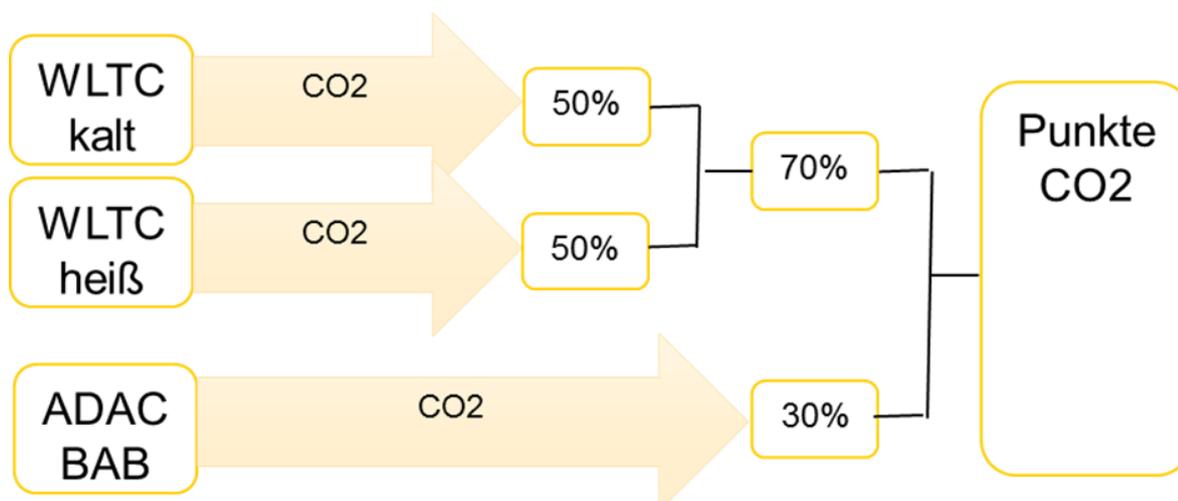


Abbildung 5: Berechnung CO₂ Bewertung

Die Berechnung der CO₂-Punkte erfolgt nach folgender Formel

$$Punkte_{CO_2} = 0.7 \cdot (0.5 \cdot Punkte_{WLTC_{hoit}} + 0.5 \cdot Punkte_{WLTC_{heij}}) + 0.3 \cdot Punkte_{ADAC_{Autobahn}}$$

Bewertung PlugIn-Hybrid-Fahrzeuge

Die Auswertung der Messergebnisse mit leerer Hochvoltbatterie (SOC min) erfolgt nach demselben Maßstab wie bei Fahrzeugen mit konventionellem Verbrennungsmotor (siehe oben).

Dadurch erhält das gemessene Fahrzeug für diesen Testabschnitt eine gewisse Punktzahl für die Schadstoff- und CO₂-Bewertung (Punkte_{Schadstoffe,SOC min} und Punkte_{CO₂,SOC min}).

Als Zusatzinformation wird eine durchschnittliche Schadstoff- und CO₂-Emission (Mi_{,SOC min} und CO_{2,WTW,SOC min}), ein durchschnittlicher Kraftstoffverbrauch (FC_{KS,SOC min}) und eine Kraftstoffreichweite (Reichweite_{KS,SOC min}) berechnet.

Für die Auswertung der Schadstoff- und CO₂-Emissionen im Elektrozyklus (mit voller Hochvoltbatterie, SOC max) werden die Grenzwerte für den WLTC zu 70 Prozent und die des Autobahnzyklus zu 30 Prozent gebildet (vgl. Tabelle 1/Abbildung 4). Somit sind Bewertungen mit denen des Standard-ECOTEST vergleichbar. In nachfolgender Tabelle sind die Grenzwerte dargestellt.

Tabelle 5: Grenzwerte Elektrozyklus PHEV SOC max

	Elektrozyklus PHEV SOC max*	
	50 Punkte bei [g/km]	0 Punkte bei [g/km]
CO ₂	100	250
HC	0,1	0,2
CO	0,5	2,8
NOx	0,06	0,166
PM	0,002	0,01
	50 Punkte bei [1/km]	0 Punkte bei [1/km]
PN	6,00 x 10 ¹⁰	6,00 x 10 ¹²

* Da der Elektrozyklus in einer Messfahrt absolviert wird, ist der Grenzwert anteilig zur Bewertungsgrundlage nach Tabelle 1/Abbildung 4 dargestellt.

Für den Streckenanteil, den das Fahrzeug mit Verbrennungsmotor gefahren ist, werden in den Modaldaten (1 Hz-Aufzeichnung) alle Streckenanteile herausgefiltert, bei denen die CO₂-Emissionen über 5 g/km liegen.

$$S_{E-Zyklus,elektrisch} = S_{E-Zyklus,gesamt} - S_{E-Zyklus,Verbrenner} [km]$$

Der reine elektrische Verbrauch ergibt sich aus der nachgeladenen Energie und der rein elektrisch gefahrenen Strecke.

$$FC_{E,100\%} = \frac{E_{Nachgeladen}}{S_{E-Zyklus,elektrisch}} \cdot 100 \left[\frac{kWh}{100 \cdot km} \right]$$

Die reine elektrische Reichweite wird aus dem errechneten Verbrauch und der Akkukapazität berechnet.

$$Reichweite_{E,100\%} = \frac{E_{Akku}}{FC_{E,100\%}} \cdot 100 [km]$$

Für die Auswertung ist auch der theoretische kombinierte elektrische Verbrauch notwendig. Dieser berechnet sich aus der nachgeladenen Energie und der Gesamtstrecke des Elektrozyklus.

$$FC_{E,SOC max} = \frac{E_{Nachgeladen}}{S_{E-Zyklus,gesamt}} \cdot 100 \left[\frac{kWh}{100 \cdot km} \right]$$

Aus dem kombinierten elektrischen Verbrauch wird die elektrische CO₂-Emission bestimmt.

$$CO_{2,E,SOC\ max} = \frac{FC_{E,SOC\ max} \cdot CO_{2,E} \left[\frac{g}{km} \right]}{100}$$

Aus dieser und der CO₂-Emission des Kraftstoffverbrauchs mit dem WTT-Anteil wird die CO₂-Gesamtemission berechnet.

$$CO_{2,WTT,SOC\ max} = CO_{2,TTW,SOC\ max} + CO_{2,WTT,KS,SOC\ max} + CO_{2,E,SOC\ max}$$

Zu den gemessenen Schadstoffen des Verbrennungsmotors werden die indirekten Schadstoffe aus der Stromproduktion in Höhe des Stromverbrauchs (siehe Tabelle 2) hinzuaddiert.

Nach den Grenzwerten in oben dargestellter Tabelle werden die Schadstoff- und CO₂-Emissionen bepunktet, jeweils auf eine Nachkommastelle gerundet (Punkte_{Schadstoffe,SOC\ max} und Punkte_{CO₂,SOC\ max}).

Das Gesamtergebnis bildet sich in Abhängigkeit der reinen elektrischen Reichweite auf 100 km gewichtet. D.h. wenn ein PlugIn-Hybrid oder Elektrofahrzeug mit Range Extender 100 km oder mehr mit einer Akkuladung rein elektrisch fahren würde, würde er wie ein Elektrofahrzeug betrachtet werden. Die Teilergebnisse mit leerer Hochvoltbatterie sind dann als Zusatzinformation enthalten.

Die folgenden Formeln stellen die Berechnungen der einzelnen Kriterien da.

Ecotest Kraftstoff-Verbrauch:

$$FC_{KS,EcoTest} = \frac{FC_{KS,SOC\ min} \cdot (100 - Reichweite_{E,100\%}) + FC_{KS,SOC\ max} \cdot Reichweite_{E,100\%}}{100} \left[\frac{l}{100 \cdot km} \right]$$

Ecotest Elektro-Verbrauch:

$$FC_{E,EcoTest} = \frac{FC_{E,SOC\ max} \cdot Reichweite_{E,100\%}}{100} \left[\frac{kWh}{100 \cdot km} \right]$$

Ecotest CO₂-Emission:

$$CO_{2,EcoTest} = \frac{CO_{2,SOC\ min} \cdot (100 - Reichweite_{E,100\%}) + CO_{2,SOC\ max} \cdot Reichweite_{E,100\%}}{100} \left[\frac{g}{km} \right]$$

Ecotest Schadstoffmix:

$$M_{i,EcoTest} = \frac{M_{i,SOC\ min} \cdot (100 - Reichweite_{E,100\%}) + M_{i,SOC\ max} \cdot Reichweite_{E,100\%}}{100} \left[\frac{g}{km} \right]$$

Ecotest Punkte Schadstoffe:

Punkte_{Schadstoffe,gesamt}

$$= \frac{Punkte_{Schadstoffe,SOC\ min} \cdot (100 - Reichweite_{E,100\%}) + Punkte_{Schadstoffe,SOC\ max} \cdot Reichweite_{E,100\%}}{100}$$

Ecotest Punkte CO₂:

Punkte_{CO₂,gesamt}

$$= \frac{Punkte_{CO_2,SOC\ min} \cdot (100 - Reichweite_{E,100\%}) + Punkte_{CO_2,SOC\ max} \cdot Reichweite_{E,100\%}}{100}$$

Messung im realen Fahrbetrieb (Real Driving Emissions, RDE)

Mit Hilfe einer mobilen Abgasanlage, abgekürzt PEMS (Portable Emission Measurement System), können Emissionen auch außerhalb des Abgaslabors realitätsnah auf der Straße gemessen werden (Real Driving Emissions, RDE). Diese Methode wurde ab 2017 zusätzlich zum Typprüfzyklus im Labor in die Gesetzgebung aufgenommen, um das Abgasverhalten auch bei „normaler Fahrt“, z.B. bei unterschiedlichen Temperaturen und Verkehrsflüssen zu überprüfen. Manipulationen z.B. durch eine Prüfstanderkennung können somit aufgedeckt werden.



Der ADAC besitzt eine PEMS-Anlage der Firma Sensors „SEMTECH LDV“. Die RDE-Messungen umfassen derzeit die Schadstoffe Kohlenmonoxid CO, Stickoxide NOx und die Partikelzahl PN.

Abbildung 6: Testfahrzeug mit eingebauter PEMS-Messanlage

Streckenbedingungen und Messablauf

Die Kriterien für eine gültige Ecotest-RDE Messrunde und die Messauswertung („EMROAD-Verfahren“) lehnen sich bis auf wenige Unterschiede an die Vorgaben der aktuellen Gesetzgebung (Verordnungen (EU) 2016/427 und (EU) 2016/646) an. In nachfolgender Abbildung ist ein beispielhaftes Messergebnis sowie alle zu erfüllenden Kriterien zu Strecken-, Geschwindigkeits- und Beschleunigungsanteilen aufgelistet (Quelle: Sensors Tech-CT LDV).

Test Validity Check	Result	Criteria	Validity
Urban Distance [km]	34.00	>16	Valid
Rural Distance [km]	28.33	>16	Valid
Motorway Distance [km]	28.45	>16	Valid
Trip Duration (min)	107	>90; <120	Valid
Distance Shares [%]			
Urban, >60 km/hr	37.45	34 ±10; ≥29	Valid
Rural, ≤90 km/hr	31.20	33 ±10	Valid
Motorway, >90 km/hr	31.34	33 ±10	Valid
Urban Driving			
Average speed [km/hr]	29.07	≥15; ≤40	Valid
%urban driving time <1 km/hr	15.74	≥6; ≤30	Valid
Low speed events >10 sec	19	>2	Valid
Motorway Driving			
Maximum Speed	133.72	≥110; ≤160	Valid
%Motorway driving >145 km/hr	0	<3	Valid
time >100 km/hr [min]	13.47	>5	Valid
Misc			
Elevation Difference [m]	10.21	<100	Valid
Cumulative Positive Alt Gain [m]	251.58	<1200m	Valid
Normal Work Day			Valid

Datasets with Acceleration >0.1 m/s ²			
Urban	1330	>150	Valid
Rural	394	>150	Valid
Motorway	199	>150	Valid
Relative Positive Acceleration (RPA)			
Urban	0.174	>0.129	Valid
Rural	0.0861	>0.0563	Valid
Motorway	0.025	>0.0567	Valid
V*A 95th Percentile			
Urban	11.06	≤18.39	Valid
Rural	12.10	≤24.57	Valid
Motorway	15.20	≤28.00	Valid
Vehicle Speed			
Urban Ave Speed [km/hr]	29.07		
Rural Ave Speed [km/hr]	74.49		
Motorway Ave Speed [km/hr]	121.80		

Abbildung 7: RDE-Streckenkriterien (Quelle: Sensors Tech-CT LDV)

Die durchschnittliche Fahrtdauer beträgt je nach Verkehrsfluss zwischen 100 min und 120 min und die kumulierte Höhe ca. 250 m. Der Verlauf der Ecotest-Messrunde ist in nachfolgender Abbildung links dargestellt.

Die Unterschiede zur gesetzlichen Vorgabe sind, dass die Ecotest-RDE Messrunde mit dem Außerortsanstatt mit dem Innerortsteil beginnt, da dies aufgrund der geografischen Lage des ADAC Technik Zent-

rum nur sehr schwer umsetzbar wäre. Anschließend wird der Innerorts- und als letztes der Autobahnteil gefahren. Des Weiteren werden ausschließlich Heißtests anstatt einem Kaltstarttest gefahren. D.h. das Fahrzeug fährt unmittelbar vor Testbeginn eine definierte ca. 14 km lange Strecke (siehe nachfolgende Abbildung rechts), um den Motor auf Betriebstemperatur zu bringen. Dadurch ist eine bessere Wiederholbarkeit gegeben, da das Fahrzeug nicht wieder abkühlen muss und außerdem der Kaltstartanteil bei der Auswertung nicht im vollen Umfang berücksichtigt wird. Der Kaltstartanteil beträgt maximal fünf Minuten nach Motorstart oder eine Kühlmitteltemperatur von mindestens 70 °C, je nachdem welcher Wert als erstes erfüllt wird. Dieser Anteil wird bei der Auswertung nicht berücksichtigt.

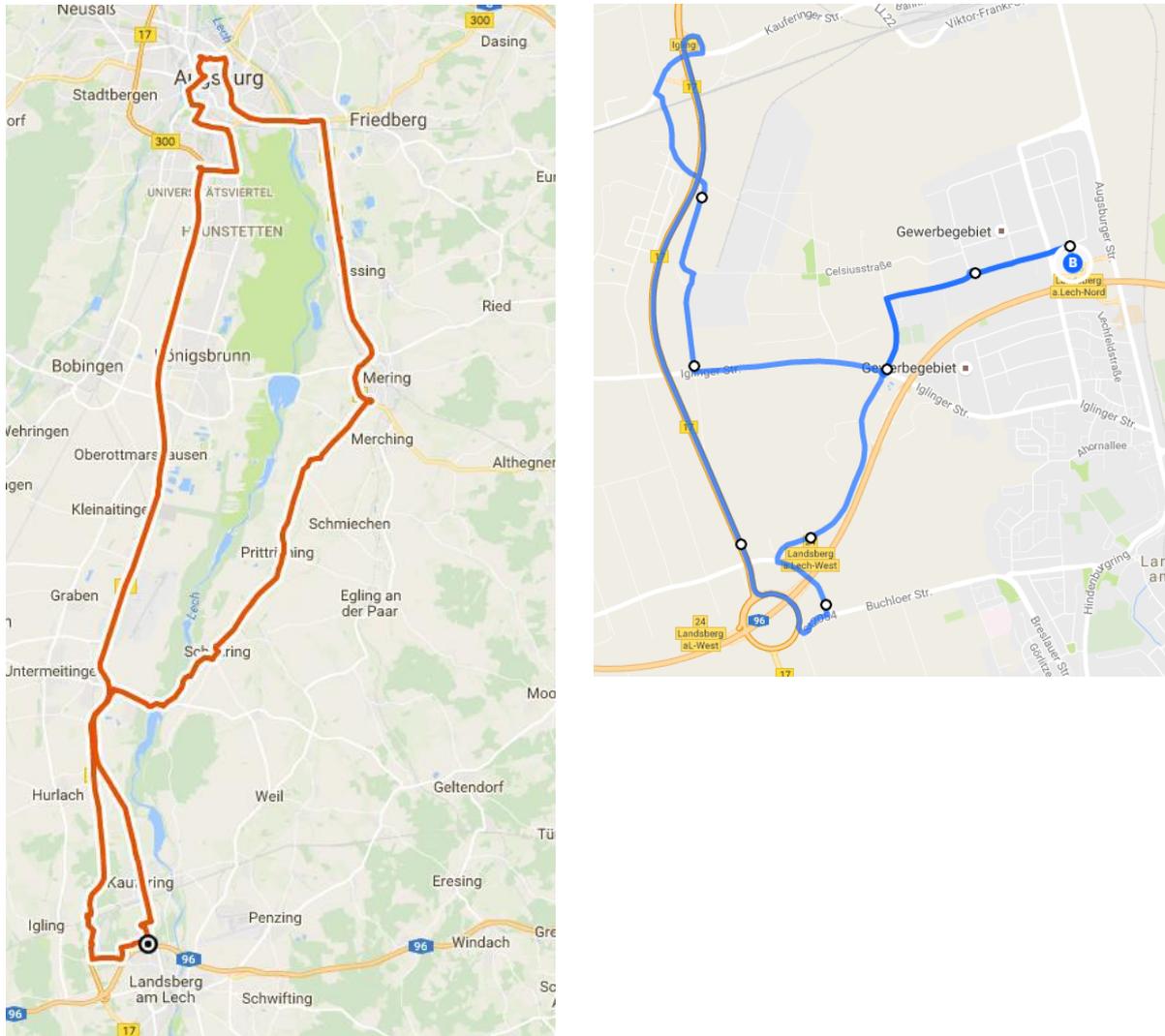


Abbildung 8: Ecotest-RDE Messrunde

Ergebnisauswertung und Bewertung im Ecotest

Ausschlaggebend für eine RDE-Messung im Ecotest ist, dass das Fahrzeug auf dem Prüfstand mindestens 4 Sterne erreicht hat (siehe auch „Gesamtbewertung“). Dann wird überprüft, ob das Fahrzeug auch unter realitätsnahen Bedingungen auf der Straße genauso sauber ist.

Für das Ergebnis der Ecotest-RDE-Messung wird ein sogenannter CF (Conformity Factor) verwendet. Dieser ergibt sich aus dem Grenzwert für den Zulassungszyklus. Er beträgt für alle Schadstoffe 1,0 (bisher 2,1). Der CF dient eigentlich dazu, die Messunsicherheit bei einer RDE-Messung abzudecken; bei den zahlreichen RDE-Messungen des ADAC hat sich jedoch gezeigt, dass gute Fahrzeuge deutlich unter den Prüfstandsgrenzwerten liegen, so dass ein CF oberhalb von 1,0 für gute Modelle nicht notwendig ist.

Wenn bei allen Schadstoffen der CF-Wert unter 1,0 liegt und die Messrunde nach allen Kriterien (Strecke, Beschleunigung, etc.) gültig ist, ist die RDE-Messung bestanden und das Fahrzeug behält den vierten bzw. fünften Stern im Ecotest. Falls ein CF-Wert überschritten wird, wird die RDE-Messung wiederholt und erneut überprüft, ob alle CF-Werte eingehalten wurden. Falls dieser erneut überschritten wird, werden der vierte oder fünfte Stern im Ecotest-Ergebnis gestrichen und das Fahrzeug erhält ein Drei-

Sterne-Ergebnis. Falls die CF-Werte nun eingehalten werden, kommt es zu einer dritten und letzten Messung. Diese Messung dient zur Entscheidung, ob das Fahrzeug das Vier- oder Fünf-Sterne-Ergebnis behält oder auf ein Drei-Sterne-Ergebnis abgewertet wird. In folgender Abbildung ist der Messablauf grafisch dargestellt.

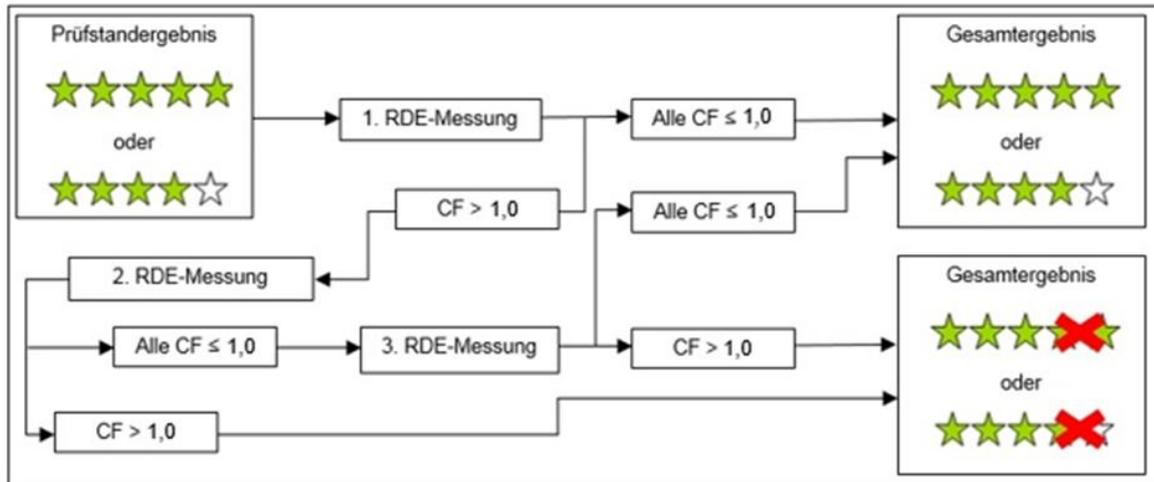


Abbildung 9: Testablauf RDE-Messung

Sonderfälle: Erdgas, Elektro- und Plug-in-Hybrid-Fahrzeuge

Bei Erdgasfahrzeugen sind aufgrund des hohen Wasseranteils im Abgas nach aktuellem Stand der Technik keine RDE-Messungen möglich, da die PEMS-Anlage den hohen Wasseranteil nicht abscheiden kann und somit die Analysatoren nicht mehr stabil messen können. Des Weiteren zeigen Fahrzeuge mit Erdgasantrieb keine Auffälligkeiten seitens der Schadstoffemissionen. Somit behalten CNG-Fahrzeuge ohne zusätzliche RDE-Messung ihr vier oder fünf Sterneergebnis im Ecotest. Sobald RDE-Messungen bei diesen Fahrzeugen technisch möglich sind, werden diese trotzdem auf der Straße unter realen Bedingungen überprüft.

Da Elektrofahrzeuge keine lokalen Emissionen haben, ist hier auch keine Messung erforderlich. Somit behalten Elektrofahrzeuge ohne zusätzliche RDE-Messung ihr vier oder fünf Sterneergebnis im Ecotest. PlugIn-Hybrid Fahrzeuge werden mit leerer Hochvoltbatterie (SOC min) bewertet. Die RDE-Messung wird analog zu Fahrzeugen mit konventionellem Verbrennungsmotor durchgeführt. Zusätzlich muss hier beachtet werden, dass die Hochvoltbatterie vor Testbeginn während der Vorkonditionierungsrunde komplett entladen wird. Dazu wird das Fahrzeug während dieser Runde solange im E-Mode, falls möglich, gefahren, bis der Verbrennungsmotor angeht.

Gesamtbewertung

Die Bewertung des Ecotest basiert auf drei Hauptkriterien: Schadstoffe und CO₂ auf dem Abgasprüfstand sowie Emissionsverhalten im realen Fahrbetrieb (RDE).



Abbildung 10: Gesamtbewertung

Aus den auf Basis der Prüfstandsmessungen ermittelten Punkten für Schadstoffe und CO₂-Emissionen werden die Ecotest Punkte nach folgender Formel ermittelt.

$$Punkte_{Ecotest} = Punkte_{Schadstoffe} + Punkte_{CO_2}$$

Die Umweltfreundlichkeit eines Fahrzeugmodells wird auf Basis der Gesamtpunktzahl mit einem bis fünf Sterne bewertet.



Abbildung 11: Sternebewertung

Fahrzeuge, die bei den Messungen im Abgaslabor vier oder fünf Sterne erreichen, müssen dieses gute Ergebnis noch im realen Fahrbetrieb bestätigen.

Wird die RDE-Messung nicht bestanden, wird das Fahrzeug auf ein Drei-Sterne-Ergebnis abgewertet. Diese Abwertung wird eindeutig durch Streichen des vierten bzw. fünften Sterns dargestellt. Zudem erhält das Ergebnis den Hinweis: „RDE-Messung: *nicht bestanden*“.

Wird das gute Prüfstandsergebnis auch im realen Fahrbetrieb bestätigt, gilt das Prüfstandsergebnis und es wird der Hinweis „RDE-Messung: *bestanden*“ angefügt.

Zusätzliche Angaben:

Kraftstoff-/Energieverbrauch, Schadstoffwerte, Reichweite

Ergänzend zur Punkte- und Sternebewertung wird der Kraftstoff- bzw. Energieverbrauch am Pkw, die durchschnittlichen Schadstoffemissionen sowie die Reichweite bei Elektroautos veröffentlicht. Diese dienen zur Information der Verbraucher und gehen nicht in die Sternebewertung mit ein.

Kraftstoffverbrauch

Der Kraftstoffverbrauch wird aus den kohlenstoffhaltigen Komponenten im Abgas berechnet.

Für den ADAC Autotest werden detaillierte Angaben für innerorts, außerorts und Autobahn gemacht.

Im ADAC Ecotest wird dagegen nur der Gesamtverbrauch angegeben und analog der CO₂-Emissionen zusammengefasst, bestehend aus 30 Prozent ADAC Autobahn Verbrauch und 70 Prozent aus der gemittelten Summe von WLTC kalt und WLTC heiß. Der gesamte Ecotest-Verbrauch entspricht dem im Test ermittelten Wert und wird nicht in Well-to-Wheel umgerechnet. Die Berechnung erfolgt nach folgender Formel:

$$FC = 0.7 \cdot (0.5 \cdot FC_{WLTC_{heiß}} + 0.5 \cdot FC_{WLTC_{kalt}}) + 0.3 \cdot FC_{ADAC_{Autobahn}}$$

Energieverbrauch (Elektrofahrzeuge)

Bei Elektrofahrzeugen wird der Energieverbrauch in kWh im ADAC Elektrozyklus gemessen.

Um das Fahrzeug bzw. den Akku bei jedem Fahrzeug unter vergleichbaren Bedingungen leer zu fahren, erfolgt der letzte Teil der Entladung (SOC ca. 10 Prozent) auf dem Prüfstand. So wird ein kontrolliertes Leerfahren mit Dokumentation von Warnstufen bis das Fahrzeug steht durchgeführt. Vor Beginn des Testzyklus wird das Elektrofahrzeug analog zu Verbrennerfahrzeugen konditioniert und der Akku vollständig geladen (SOC: max, Typ II Ladestecker 22 kW oder maximal mögliche Ladeleistung). Der Elektrozyklus wird an einem Stück durchgeführt und so oft wiederholt, bis ein SOC < 50 Prozent erreicht ist oder der Zyklus sechsmal gefahren wurde. Anschließend wird erneut mittels Typ II Ladestecker (22 kW oder maximal mögliche Ladeleistung) das Fahrzeug vollständig geladen und die benötigte elektrische Energie bestimmt. Ist eine Ladung mittels Typ II Ladestecker nicht möglich, wird das Fahrzeug alternativ mittels Schuko-Stecker (230V, 10 A, 2,3 kW) an einer handelsüblichen Haushaltssteckdose geladen. Die Energiemessung berücksichtigt dabei auch die Ladeverluste.

Schadstoffwerte

Analog zu den CO₂-Emissionen bzw. zum Kraftstoffverbrauch werden auch die einzelnen Schadstoffwerte angegeben, bestehend aus 30 Prozent ADAC Autobahn Emission und 70 Prozent aus der gemittelten Summe von WLTC kalt und WLTC heiß. Die Berechnung erfolgt nach folgender Formel:

$$M_i = 0.7 \cdot (0.5 \cdot M_{iWLTCheiß} + 0.5 \cdot M_{iWLTPkalt}) + 0.3 \cdot M_{iADACAutobahn}$$

Die Schadstoffemissionen von Elektrofahrzeugen werden aus dem Ecotest-Stromverbrauch (inkl. Ladeverluste) und den Schadstoffemissionen der Stromproduktion (Tabelle 2) ermittelt und angegeben.

Reichweite (Elektrofahrzeug)

Die Reichweite mit einer Akkuladung wird auf Basis des im Ecotest ermittelten durchschnittlichen Stromverbrauchs E_{Verb_el} und der nutzbaren Akkukapazität E_{Akku} (beides inklusive Ladeverluste) bestimmt.

Das Elektrofahrzeug wird auf dem Leistungsprüfstand so lange gefahren, bis der Akku soweit entladen ist, dass das Fahrzeug stehen bleibt. Anschließend wird der Akku komplett aufgeladen und die dafür benötigte Energie inklusive Ladeverluste ermittelt. Um erhöhte Ladeverluste aufgrund unterschiedlicher Temperaturen zu vermeiden, wird das Fahrzeug nach dem Leerfahren mindestens eine Stunde bei Raumtemperatur konditioniert.

Die elektrische Reichweite s_{el} wird gemäß nachfolgender Formel bestimmt:

$$s_{el} = \frac{E_{Akku}}{E_{Verb_el}} \cdot 100$$

Ecotest Ergebnisse

Die ADAC Ecotest-Ergebnisse stehen laufend online zur Verfügung. Unter www.adac.de/ecotest können Fahrzeugmodelle komfortabel gesucht und gegenübergestellt werden.

Hinweis: Es werden sowohl alte und aktuelle Fahrzeugmodelle aufgezeigt. Die Ergebnisse nach dem alten Verfahren werden entsprechend gekennzeichnet.

Fragen und Antworten zum ADAC Ecotest

Berücksichtigt der Ecotest die gesamte Ökobilanz eines Fahrzeuges?

Mit Änderung zum April 2012 wurden alle CO₂-Emissionen von der Quelle bis zum Rad (WTW = Well-to-Wheel) zur Bewertung herangezogen. Dabei werden die gemessenen CO₂-Emissionen (TTW, Tank-to-Wheel) zu den CO₂-Emissionen, die für die Bereitstellung des Kraftstoffs/Stroms entstehen (WTT, Well to Tank) addiert. Somit ist ein direkter Vergleich von Elektrofahrzeugen und PlugIn-Hybriden (hier werden Kraftwerksemissionen berücksichtigt) sowie Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor möglich. Natürlich gibt es außerdem sehr viele weitere interessante Aspekte (wie beispielsweise die Fahrzeugproduktion), die mit aufgenommen werden könnten, jedoch müssten hierfür Herstellerangaben verwendet werden, die seitens des ADAC nicht überprüfbar sind.

Warum ist mein Auto nicht dabei?

Da jedes Fahrzeug im Rahmen des Ecotest im ADAC Abgaslabor gemessen wird und diese Messungen sehr aufwändig sind, können leider nicht alle Motorvarianten abgedeckt werden.

Warum weichen die Ecotest Ergebnisse von den Herstellerangaben ab?

Der ADAC untersucht das Umweltverhalten der Fahrzeuge bei verschärften Anforderungen. Der Ecotest bezieht den aktuellen WLTC und den ADAC Autobahnzyklus ein. Damit liefert der Ecotest realitätsnahe Ergebnisse.

Welcher Strommix wird für die Ermittlung der CO₂-Emissionen von Elektroautos verwendet?

Basis für die Ermittlung der CO₂-Emissionen von Elektroautos im ADAC Ecotest ist der vom Umweltbundesamt (UBA) ermittelte Wert der durchschnittlichen Treibhausgasemissionen (CO₂äq) pro Energieeinheit des Stroms in Deutschland, der zur Verwendung in Straßenfahrzeugen mit Elektroantrieb aus dem Netz entnommen wurde.

Dieser wird am Ende eines Jahres im Bundesgesetzblatt veröffentlicht und ist für das Folgejahr anzuwenden. Die letzte Veröffentlichung erfolgte am 19.10.2020 (BAnz AT 19.10.2020 B7) und gilt für das Jahr 2021.

Für 2021 beträgt der Wert der durchschnittlichen Treibhausgasemissionen pro Energieeinheit des Stroms in Deutschland 147 kg/GJ CO₂äq (= 529 g/kWh CO₂äq).

Der CO₂-Anteil beträgt nach Auskunft des UBA 500 g/kWh CO₂ (138,9 g/MJ).

Wie unterscheiden sich CO₂-Äquivalents (CO₂äq) und CO₂?

Unter dem Begriff des CO₂-Äquivalents (CO₂äq) werden die treibhauswirksamen Gase Kohlendioxid (CO₂), Methan (CH₄) und Distickstoffmonoxid (N₂O), das auch als Lachgas bekannt ist, entsprechend ihrer jeweiligen Klimawirksamkeit im Vergleich zu Kohlendioxid, zusammengefasst.

Da im Rahmen des Ecotest aktuell nur der Kohlendioxid-Ausstoß (CO₂) bewertet wird (Wert vom Tank bis zum Rad = TTW, Tank-to-Wheel) wird auch für die Bereitstellung des Kraftstoffs/Stroms (Wert für Quelle bis zum Tank = WTT, Well to Tank) nur der entsprechende CO₂-Wert verwendet. Es ist geplant, künftig auch die weiteren Treibhausgase in die Ecotest-Bewertung aufzunehmen. Erst dann wird gleichzeitig auch der entsprechende CO₂-äquivalente Strommix herangezogen.

Warum wird beim angesetzten Strommix die Vorkette und der Transport bei der Stromproduktion mit berücksichtigt?

Um analog zu den Verbrennern eine komplette Well-to-Wheel-Betrachtung zu erhalten, ist es wichtig, die Vorkette sowie die Transportverluste (Netzverluste) nicht nur bei Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor zu berücksichtigen, sondern auch bei Elektroautos.

Warum wird genau dieser Wert der Treibhausgasemissionen verwendet? Das UBA veröffentlicht verschiedene Strommix-Werte?

Der vom Umweltbundesamt im Bundesgesetzblatt veröffentlichte Wert gibt zielgenau die Treibhausgasemissionen an, die bei Strom anfallen, der zum Laden von Elektroautos verwendet wird. Er bildet die Rahmenbedingungen wie z.B. Netzverluste, Strommix und Außenhandelsbilanz ab, die bei genau dieser Nutzung typischerweise bestehen. Dieser Wert ist im Jahr 2021 zur Berechnung der Treibhausgasemissionen anzusetzen, wenn Ladestrom aus dem Netz von der Mineralölwirtschaft zur Erfüllung der Treibhausgasminderungsquoten im Straßenverkehr berücksichtigt wird. Der Wert ist keine Prognose für das laufende Jahr (der aktuelle Jahresmittelwert kann noch nicht vorliegen), sondern gründet auf den jüngsten verfügbaren Daten in rechtssicherer Qualität, die dem Umweltbundesamt bei der Veröffentlichung vorlagen.

Ermittlung der CO₂-Emissionen für anderen Strommix?

Im Rahmen des ADAC Ecotest wird bei Elektrofahrzeugen auch der Stromverbrauch im ADAC Elektrozyklus gemessen. Auf dessen Basis können für jeden beliebigen Strommix dessen CO₂-Emissionen berechnet werden.

CO₂-Emissionen (g/km) = [Energieverbrauch (kWh/100 km) / 100] * CO₂-Emissionen Strommix (g/kWh)

Warum werden die Schadstoffe der Stromproduktion bei Elektroautos berücksichtigt?

Mit den neuen Bewertungskriterien ergibt sich eine bessere Differenzierung bei den Elektroautos. Der Stromverbrauch bzw. die Effizienz fällt deutlicher ins Gewicht und bewirkt eine größere Streuung der Ergebnisse. Dies erscheint gerade deshalb sehr wichtig, weil Effizienz auch bei den Elektroautos ein gewichtiger Punkt sein sollte. Immerhin müssen die Verbraucher den Strom nach Kilowattstunde bezahlen, der Verbrauch eines Elektroautos wirkt sich folglich finanziell sehr wohl aus. An dieser Stelle gibt es jedoch keinen Druck auf die Hersteller mehr, wenn man den CO₂-Wert analog zum Strommix immer weiter herunterrechnet. Die Berücksichtigung des Schadstoffausstoßes bei der Stromproduktion macht den Ecotest als gesamtheitliches Umweltbarometer zum Betrieb eines Fahrzeugs somit noch realitätsnäher.

Neben dem CO₂-Ausstoß bei der Stromproduktion fallen auch Schadstoffe bei Kraftwerken mit Rohstoffverbrennung an. Bei der Umstellung des Ecotest 2016 wurde argumentiert, dass Elektroautos keinen lokalen Schadstoffausstoß aufweisen, weshalb pauschal die volle Punktzahl für den Bereich Schadstoffe im Ecotest berechtigt wäre. Allerdings leben dort, wo Kraftwerke in Deutschland Strom und Wärme produzieren, auch Menschen. Eine Übersichtskarte des Umweltbundesamt (UBA) zu Kraftwerksstandorten in Deutschland (siehe <https://www.umweltbundesamt.de/bild/karte-standorte-von-prtr-berichtspflichtigen>) zeigt, dass mitnichten diese Anlagen nur weit abseits von Wohngebieten stehen. Angesichts des hohen Schadstoffausstoßes konventionell befeuerter Kraftwerke kann dieser Umstand nicht mehr völlig ignoriert werden.

Der im deutschen Strommix entstehende Ausstoß von Schadstoffen wird vom Umweltbundesamt (UBA) veröffentlicht. Für den Ecotest relevant, weil bei den Verbrennern ebenso limitiert, sind die Schadstoffgruppen Stickstoffdioxid (NO₂), Staub bzw. PM, Kohlenmonoxid (CO) sowie Methan und NMVOC (als HC im Ecotest bewertet). NO₂ wird mangels weiterer Angaben zu NO wie NO_x bei den Verbrennern einbezogen.

Die Schadstoffemissionen von Elektrofahrzeugen werden direkt über den gemessenen Stromverbrauch (inkl. Ladeverluste) ermittelt, der mit den Schadstoffemissionen der Stromproduktion multipliziert wird. Als Grenzwerte für die Schadstoffbewertung werden die für die PlugIn-Hybride angesetzt.

Ein Beispiel: Das Elektroauto mit einem Stromverbrauch von 20 kWh/100 km sorgt somit für indirekte Emissionen von 81 mg/km NO_x, für ein modernes Dieselfahrzeug ein nur mäßiges Ergebnis, das bereits zum Punktabzug im Bereich der Schadstoffbewertung führt.

Mit zunehmend sauberer Stromerzeugung werden die Ergebnisse für die Elektroautos automatisch noch besser werden. Auch mit Berücksichtigung der indirekten Schadstoffemissionen gehören die Elektroautos zu den besten Modellen im Ecotest-Ranking.

Herausgeber/Impressum

ADAC e.V.
Test und Technik
81360 München
E-Mail tet@adac.de
www.adac.de