# **ENERGIE-BRISANZ**

Mit den alternativen Antrieben verschiebt sich der Emissions-Fokus vom Auto zur Energieherstellung. Ein cleveres Computerprogramm hilft beim fairen Vergleich.



missionsfrei fahren:

■ Dieser Traum scheint inzwischen greif-■bar nahe. Weder das batterie- noch das brennstoffversorgte Elektroauto stößt schließlich ungesunde oder klimawirksame Stoffe aus. So mancher Sportfahrer träumt schon davon, in einem Tesla Roadster ohne Umweltreue loszuflitzen. Doch das Schadstoffproblem sitzt hier nicht im Auto, sondern Kilometer entfernt im Kraftwerk oder in der Chemie-Fabrik. Das Auto ist nur Teil einer großen Energiekette, und dem Klima ist es bekanntlich egal, wo auf der Erde das CO<sub>2</sub> entsteht – Hauptsache, es entwickelt sich wenig davon. Wissenschaftler unterscheiden daher zwischen drei Messgrößen: Well-to-wheel, Well-to-tank und den Autoabgasen selbst.

Unter Well-to-wheel, was wörtlich übersetzt "von der Quelle bis zum Rad" bedeutet, verstehen sie den kompletten Energiegang von der Erzeugung oder Erschließung über den Transport bis zur Nutzung im Straßenverkehr. Bei Well-tounterschiedlichen Antriebsformen und

Screenshots der Well-to-wheel-Simulation: Der Nutzer hat die Wahl zwischen **Auto, Kraftstoff und Energiequelle** 

tank wird nur der Energieverbrauch und damit auch der CO<sub>2</sub>-Ausstoß bis zum Tankvorgang gemessen. Die Datenlage dahinter ist extrem komplex und kann hochgradig differieren, je nachdem, welche Kraftwerke eingesetzt oder welche Methoden zum Beispiel zur Wasserstoffherstellung genutzt werden. Trotzdem haben sich drei europäische Institutionen (Concawe, EUCAR, JRC) zusammengetan, um den Wust an Energiewegen aufzudröseln. Im aktuellen Well-to-wheel-Report 2c sind über 100 verschiedene auf 2010 hochgerechnete Energiewege aufgezeigt.

Allein bei der Wasserstoffherstellung vergleichen die Wissenschaftler 37 verschiedene Szenarien. So stoßen zum Beispiel die drei besonders klimafreundlichen

Herstellungsmethoden mit der Nutzung von Biomasse, Wind und Nuklearenergie über 50 Mal weniger CO2 aus als die Wasserstoff-Elektrolyse mit Kohleenergie.

Aus dieser Datenbasis entwickelte der Software-Spezialist Protoscar in Zusammenarbeit mit Daimler das Programm Optiresource (www2.daimlerchrysler.com/sustainability/ optiresource/index.html), in dem auch Laien mit ein paar Mausklicks bis zu 851 verschiedene Energie-Antriebs-Kombinationen ausprobieren können. Übersichtlich und grafisch gelungen stehen jeweils zwei Antriebsszenarien gegenüber. Als Referenzbasis für die ermittelten Verbrauchsund CO<sub>2</sub>-Werte dient ein üblicher Ottomotor. Zur fairen Vergleichbarkeit müssen alle verglichenen Antriebsformen gewisse Mindestangaben erfüllen, wie zum Beispiel eine Beschleunigung von unter 13 Sekunden von null auf 100 km/h für einen typischen Kompaktwagen.

## CO<sub>2</sub>-BILANZ 2010: VON DER QUELLE BIS ZUM RAD

sen sich auf Basis eines europäischen Well-to-wheel-Reports verschiedene Energie- und Antriebsformen einfach vergleichen. Der Benutzer kann via Mausklick unter anderem zwischen 27

Mit dem Programm Optiresource las- 16 Kraftstoffvarianten wählen. Insgesamt lassen sich bis zu 851 verschiedene Kombinationen bilden. Ganz vorne in der CO<sub>2</sub>-Bilanz stehen dabei zum Beispiel Atom- und Windenergie, während fossile Energien weit hinten

Kraftstoff	Energieherstellung	Antrieb	CO <sub>2</sub> -Ausstoß in g/km	
			gesamte Energiekette	nur Auto
Strom	Atomenergie	Elektromotor mit Li-Ion-Batterie	2,9	0
Wasserstoff	Windkraft, Elektrolyse	Brennstoffzelle mit Li-Ion-Batterie	7,6	0
Strom	EU-Strommix	Elektromotor mit Li-Ion-Batterie	87	0
Wasserstoff	aus Erdgas	Brennstoffzelle mit Li-Ion-Batterie	88	0
Diesel	Erdöl, Raffinierung	Hybrid-Diesel mit DPF	129	108
Benzin	Erdöl, Raffinierung	Hybrid-Ottomotor mit Direkteinsprit- zung	141	121
Diesel	Erdöl, Raffinierung	Diesel mit DPF	156	131
Benzin	Erdöl, Raffinierung	konventioneller Ottomotor	164	140
Strom	Kohlekraftwerk	Elektromotor mit Li-Ion-Batterie	181	0
Wasserstoff	EU-Strommix, Elektrolyse	Brennstoffzelle ohne Pufferbatterie	196	0

Die Ergebnisse wurden mit der Well-to-wheel-Simulations-Software Optiresource auf Basis eines typischen Kompaktwagens für die Situation im Jahr 2010 hochgerechnet.

### KOHLENDIOXID-AUSSTOSS IN DER ENERGIEKETTE



gering bis hoch

keiner

Die Emissionen der Stromherstellung differieren je nach Kraftwerkstyp gewaltig Elektroautos fahren dagegen vollkommen schadstofffrei



gering

mittel bis sehr hoch

Bei der Raffinierung von Erdöl fällt wenig CO<sub>2</sub> an (bei Diesel etwas mehr als bei Benzin). Für die Emissionen sorgt vor allem der Verbrennungsmotor



gering bis sehr hoch

extrem gering

Bei der Wasserstoffherstellung für die Brennstoffzelle schwanken die Emissionen zwischen sehr hoch (Elektrolyse mit Kohlestrom) und gering (Windkraft)

Besonders im derzeit stark favorisierten Elektromotorbereich zeigt das Programm erstaunliche Ergebnisse. Nimmt man den durchschnittlichen Strommix für Deutschland (siehe Grafik links unten), so schneidet das E-Auto mit 87 g CO<sub>2</sub>/km immer noch hervorragend ab, wenn es auch weit davon entfernt ist, emissionsfrei zu sein. Würde nur Strom aus Kohle genutzt, fielen 181 g pro Kilometer an. Ein miserabler Wert, der weit über dem Ausstoß eines modernen Dieselmotors liegt.

Der Grund liegt in der Energiekette: Aktuelle Kohlekraftwerke arbeiten nur mit einer Effizienz von 30 bis 35 Prozent, in den Überlandleitungen und beim Laden der Batterie (siehe Grafik unten) geht weitere Energie verloren. Ein moderner asynchroner Elektromotor wie der im Elektro-Mini eingesetzte AC 150 von AC Propulsion läuft je nach Leistungsabgabe mit 81 bis 92 Prozent Wirkungsgrad. Am Schluss holt das E-Auto in diesem ungünstigen Szenario nur etwas mehr als 20 Prozent aus der eingesetzten fossilen Energie. Diesel-Direkteinspritzer liegen hier (auch mit Raffinierung) über 30 Prozent.

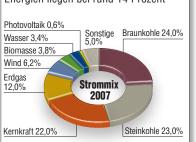
Immerhin hat der Energiehersteller EON für 2014 ein modernes Kohlekraftwerk in Wilhelmshaven mit über 50 Prozent Wirkungsgrad angekündigt. Auch an der teuren Kohlendioxid-Speicherung wird noch gearbeitet. Die reine Effizienz ist jedoch nur die eine Seite. Viele Stromerzeuger sitzen besonders in der Nacht auf großen Stromreserven. "Wenn man die Kapazitäten richtig nutzen würde, bräuchte man auch bei einem Elektroauto-Boom kein einziges neues Kraftwerk", sagt Netzbetreiber RWE. Ein zügiger Ausbau des derzeit bei rund 14 Prozent liegenden Anteils erneuerbarer Energien würde die CO<sub>2</sub>-Bilanz zudem ebenfalls spür-

Auch im Wasserstoffbereich entsteht nach Mercedes-Angaben in Deutschland pro Jahr jetzt schon genug H<sub>2</sub> als Abfallprodukt, um 100 000 Brennstoffzellen-Autos zu versorgen. Damit fiele kein zusätzliches Kohlendioxid an. Doch der Chemie-Riese Linde bremst die positiven Aussichten: Der Abfall-Wasserstoff sei nicht rein genug und würde daher zur vorzeitigen Alterung der sensiblen Zellen führen.

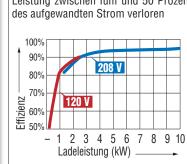
Fest steht: Im Zuge der alternativen Antriebsformen verschiebt sich der Optimierungsbedarf beim Schadstoffausstoß eindeutig vom Auto zur Energieherstellung.

Text: Alexander Bloch. Fotos: Panthermedia, Keystone

#### Strommix Deutschland Kohlekraftwerke sind in Deutschland die dominanten Stromerzeuger. Erneuerbare Energien liegen bei rund 14 Prozent Sonstige 5.0% Wasser 3.4% Biomasse 3,8%



#### **Effizienz beim Akkuladen** Beim üblichen Ladevorgang gehen je nach Leistung zwischen fünf und 50 Prozent



# **Welche Perspektiven?**

Die Welt der Mobilität steht Kopf: Der Erdölpreis wurde 2008 zum Spekulationsobjekt, Biokraftstoffe gerieten als Konkurrenz zur Nahrungsmittelproduktion in Verruf. Die Autoin-



dustrie hat das Elektrofahrzeug wieder neu entdeckt. Das siebte World Mobility Forum, das am 28. Januar 2009 in Stuttgart stattfindet, greift diese Themen auf. Experten gehen der Frage nach, ob Biokraftstoffe Alternativen sind und ob wir elektrisch in die Zukunft fahren.