

Fachhochschule Braunschweig/Wolfenbüttel  
Standort Wolfenbüttel  
Fachbereich Informatik

**Vergleich verschiedener Antriebsarten im Bereich des Kraftfahrzeugverkehrs  
unter Berücksichtigung des Verbrauchs an Energie**

**Hausarbeit**

Name: Stefan Franke  
Matrikelnummer: 20862260  
Adresse: Oststraße 17, 33604 Bielefeld  
Telefon: +49 (0) 521 91513494  
Mobil: +49 (0) 163 7181823  
E-Mail: sfranke@aimtec.de

Themenvergabe: 09.05.2009  
Abgabe: 12:06.2009

## Erklärung von Hilfsmitteln

- OpenOffice 3.0: Als Tool zur Erstellung der schriftlichen Ausarbeitung sowie zum Schreiben der Mathematischen Formeln. Ferner ist diese Software auch zum Einsatz zur Erstellung der PDF Daten genutzt worden.
- Microsoft Excel 2007: Als Tools zur Erstellung der Tabellen sowie der auf Tabellen basierenden Diagramme.
- Hardcopy: Als Tool zum Erstellen von Screenshots.

## Inhaltsverzeichnis

Erklärung von Hilfsmitteln.....	2
Aufgabenstellung.....	4
Vergleich verschiedener Antriebsarten im Bereich des Kraftfahrzeugverkehrs unter Berücksichtigung des Verbrauchs an Energie.....	5
Einleitung.....	5
1.1 Grundlegende Funktionsweisen der im Vergleich eingesetzten Motorentechniken.....	6
1.2 Physikalische Grundlagen der Umrechnung des Kraftstoffverbrauchs zur Ermittlung des Brennwertes als vergleichbaren Energiewert.....	7
1.2.1 Ermittlung des Verbrauchs an Energie in Megajoule pro 100 km bei Verwendung eines Kraftstoffs, welcher in Litern bemessen wird.....	7
1.2.2 Ermittlung des Verbrauchs an Energie in Megajoule pro 100 km bei Verwendung eines Kraftstoffs, welcher in Kilogramm bemessen wird.....	7
1.2.3 Ermittlung des Verbrauchs an Energie in Megajoule pro 100 km bei Verwendung von elektrischem Strom.....	8
1.3 Ermittlung des Fahrzeugs mit dem geringsten Verbrauch an Energie unter Berücksichtigung des Brennwertes des eingesetzten Kraftstoffs.....	8
Fazit.....	11
Verzeichnisse.....	12
Literaturverzeichnis.....	12
Abbildungsverzeichnis.....	14
Anhang.....	15

## Aufgabenstellung

Welches Auto hat aktuell den geringsten Kraftstoffverbrauch und erreicht trotzdem eine Dauer-Höchstgeschwindigkeit von über 160 km/h?

Recherchieren Sie den Stand der Technik.

# Vergleich verschiedener Antriebsarten im Bereich des Kraftfahrzeugverkehrs unter Berücksichtigung des Verbrauchs an Energie

## Einleitung

In Anbetracht immer schneller steigender Preise für Kraftstoffe (vgl. Florian Baumann, Centrum für angewandte Politikforschung: *Teure Energie? Die gegenwärtigen Energiepreise und die Debatte um verschiedene Lösungsansätze*, 2008) stellt sich vielen Menschen bei der Wahl ihres Kraftfahrzeugs nicht mehr nur die Frage nach dem Design, der Ausstattung, dem Preis oder einem namenhaften Hersteller, sondern auch immer öfter Faktoren wie die Energiebilanz oder dem allgemeinen Verbrauch an Kraftstoff (vgl. Stephanie von Ahsen: *Effizienz on Tour* – Interview durch Volkswagen, 2007).

In der Annahme, dass außer bei einem Elektromotor sehr viel Energie nicht genutzt werden kann und z.B. als Wärme verloren geht, liegt die Vermutung nahe, dass der Elektromotor unter dem Gesichtspunkt der benötigten Energie pro 100 km den günstigsten Verbrauch besitzt. Unter dieser Annahme gehe ich davon aus, dass das Referenzfahrzeug mit einem Elektromotor den geringsten Verbrauch an Energie haben wird.

Beginnend mit einer kurzen Einführung in die verschiedenen Motorentechniken im Kapitel „*Grundlegende Funktionsweisen der im Vergleich eingesetzten Motorentechniken*“, in welchem auf die einzelnen Motorsysteme innerhalb der Vergleichsanalyse Bezug genommen wird, soll ein Grundverständnis für die Funktionsweise heute eingesetzter Motorsysteme geschaffen werden.

Um den Vergleich der einzelnen Fahrzeuge und Motorenarten möglichst objektiv vornehmen zu können, wird im Kapitel „*Physikalische Grundlagen der Umrechnung vom Kraftstoffverbrauch zur Ermittlung des Brennwertes als vergleichbaren Energiewert*“ die Grundlage für einen vergleichbaren Wert geschaffen. Hierbei werden zuerst die physikalischen Werte und Formeln definiert, welche für den späteren Vergleich herangezogen werden.

Anschließend werden die einzelnen Kraftstoffarten in Relation gesetzt, um so das sparsamste Fahrzeug zu ermitteln. Dies wird im Kapitel „*Ermittlung des Fahrzeugs mit dem geringsten Verbrauch an Energie unter Berücksichtigung des Brennwertes des eingesetzten Kraftstoffs*“ erläutert.

Im abschließenden Fazit wird sowohl die Eingangsthese bzgl. des Elektromotors als möglichen Favoriten reflektiert, als auch ein Ausblick auf die mögliche Entwicklung in diesem Sektor geliefert.

## 1.1 Grundlegende Funktionsweisen der im Vergleich eingesetzten Motorentechniken

In der Kraftfahrzeugkonstruktion kommen verschiedene Motorentechniken zum Einsatz. Damit diese Systeme objektiv miteinander verglichen werden können, bietet sich eine kurze Einführung in die genutzten Techniken an.

In dieser Betrachtung werden primär zwei Motorensysteme einbezogen: der Verbrennungsmotor, wie er als selbstzündender Motor in Dieselmotoren betrieben wird bzw. als fremdzündender Motor, auch Ottomotor genannt, bei Benzin betriebenen Motoren zum Einsatz kommt, sowie der Elektromotor.

In einem Dieselmotor wird der Kraftstoff mit Luft gemischt und anschließend durch die Verdichtung dieses Gemisches zur Zündung gebracht (vgl. Wikimedia Foundation (Hrsg.): *Motor*, Abruf 11.06.2009).

Anders verhält sich die Zündung bei einem Benzinmotor. Bei Benzinmotoren reicht der entstehende Druck nicht für eine Selbstzündung aus, so dass dieses Gemisch durch eine Zündkerze als Fremdzünder entzündet werden muss (vgl. Wikimedia Foundation (Hrsg.): *Motor*, Abruf 11.06.2009).

Bei einem Elektromotor wird der zugeführte elektrische Strom in Rotationsbewegung oder in lineare Bewegung umgesetzt (vgl. Wikimedia Foundation (Hrsg.): *Motor*, Abruf 11.06.2009).

In Hybridfahrzeugen werden sich die Vorteile beider Systeme zu nutze gemacht. Diese Fahrzeuge besitzen in der Regel einen Verbrennungsmotor und sind zusätzlich in der Lage mit Hilfe eines Elektromotoren angetrieben zu werden. Der elektrische Strom wird hierbei entweder direkt über eine normale Steckdose oder über spezielle Ladestationen zugeführt. Einige Fahrzeuge wie z.B. der Toyota Prius sind zusätzlich in der Lage einen Teil der Energie zurück zu gewinnen, welche beispielsweise bei dem Einsatz der Bremsanlage verloren ging. Diese von Toyota eingesetzte Technik heißt Hybrid Synergy Drive (vgl. Toyota Deutschland GmbH: *Internetpräsenz*, 2009).

Um eine objektive Beurteilung über den Verbrauch der einzelnen Fahrzeuge zu erreichen müssen die genutzten Kraftstoffe in einen vergleichbaren Wert umgerechnet werden. Da alle Kraftstoffe einen Brennwert besitzen bzw. eine vergleichbare Menge Energie zur Verfügung stellen, wird in der folgenden Betrachtung dieser Wert zur Analyse herangezogen, um so das Fahrzeug mit dem sparsamsten Verbrauch zu ermitteln.

## 1.2 Physikalische Grundlagen der Umrechnung des Kraftstoffverbrauchs zur Ermittlung des Brennwertes als vergleichbaren Energiewert

Bei der Betrachtung der verschiedenen Kraftstoffe unter dem Gesichtspunkt der Vergleichbarkeit stellt sich das Problem, dass sich ein Vergleich zwischen verschiedenen Verbräuchen von Kraftstoffen zur Ermittlung des geringsten Verbrauchs nicht direkt ermitteln lässt. Der Vergleich muss indirekt über eine vergleichbare Angabe erfolgen. Hierfür bietet sich ein Vergleich über einen Verbrauch in MJ pro 100 km. Da eine entsprechende Angabe nicht durch die Hersteller bereit gestellt wird, ist es dazu notwendig sich der nachfolgenden Formeln zu bedienen.

### 1.2.1 Ermittlung des Verbrauchs an Energie in Megajoule pro 100 km bei Verwendung eines Kraftstoffs, welcher in Litern bemessen wird

Bei der Verwendung von flüssigen Kraftstoffen, welche über ihr Volumen bemessen werden, muss anhand der Dichte eine Umrechnung in die Entsprechung in Kilogramm vorgenommen werden. Dieser Wert kann über den Brennwert in den Energiewert des jeweiligen Kraftstoffs umgerechnet werden (vgl. Wikimedia Foundation: Einträge über *Motorenbenzin*, *Dieselmotorenkraftstoff*, *Biodiesel*, *Autogas* und *Liquefied petroleum gas* sowie *Heizwert*, *Brennwert* und *Internationale Maßeinheiten*, 2009).

Zur Berechnung kommt hierbei folgende Formel zum Einsatz:

$$\frac{\text{Brennwert}}{\text{Strecke}} = \frac{\left(\frac{\text{Verbrauch}}{\text{Dichte}}\right) * \left(\frac{\text{Brennwert}}{\text{Menge}}\right)}{\text{Strecke}}$$

Formel 1a: Berechnung des Verbrauchs in Megajoule beim Einsatz von Kraftstoffen in l

$$\frac{\text{MJ}}{\text{km}} = \frac{\left(\frac{\text{l}}{\text{l}}\right) * \left(\frac{\text{MJ}}{\text{kg}}\right)}{\text{km}}$$

Formel 1b: physikalische Einheiten zu Formel 1a

### 1.2.2 Ermittlung des Verbrauchs an Energie in Megajoule pro 100 km bei Verwendung eines Kraftstoffs, welcher in Kilogramm bemessen wird

Für Kraftstoffe wie z.B. Erdgas entfällt der Schritt die Menge in Liter in ihre Entsprechung pro Kilogramm um zu rechnen, da diese bereits mit einem Verbrauch von kg pro 100 km angegeben werden (vgl. Wikimedia Foundation: Einträge über *Erdgas* sowie *Heizwert*, *Brennwert* und *Internationale Maßeinheiten*, 2009).

Zur Berechnung kommt daraus resultierend folgende Formel zum Einsatz:

$$\frac{\text{Brennwert}}{\text{Strecke}} = \frac{\text{Verbrauch}}{\text{Strecke}} * \left( \frac{\text{Brennwert}}{\text{Menge}} \right)$$

Formel 2a: Berechnung des Verbrauchs in Megajoule beim Einsatz von Kraftstoffen in kg

$$\frac{\text{MJ}}{\text{km}} = \frac{\text{kg}}{\text{km}} * \left( \frac{\text{MJ}}{\text{kg}} \right)$$

Formel 2b: physikalische Einheiten zu Formel 2a

### 1.2.3 Ermittlung des Verbrauchs an Energie in Megajoule pro 100 km bei Verwendung von elektrischem Strom

Bei der Berechnung des Verbrauchs pro 100 km für Elektrofahrzeuge kommt eine vereinfachte Umrechnung vom Verbrauch in Wh pro 1 km, wie er von den Herstellern angegeben wird (vgl. Tesla Motors, Inc., Internetpräsenz der Firma Tesla Motors, Inc., 2009) in den Verbrauch in MJ pro 100 km zum Tragen (vgl. Wikimedia Foundation: Einträge über *Elektrischer Strom*, *Wattstunde* sowie *Heizwert*, *Brennwert* und *Internationale Maßeinheiten*, 2009):

$$\frac{\text{Brennwert}}{\text{Strecke}} = \frac{\text{Verbrauch} * 3600}{\text{Strecke} * 100}$$

Formel 3a: Berechnung des Verbrauchs in Megajoule beim Einsatz von elektrischem Strom

$$\frac{\text{MJ}}{\text{km}} = \frac{\text{Wh}}{\text{km}}$$

Formel 3b: physikalische Einheiten zu Formel 3a

### 1.3 Ermittlung des Fahrzeugs mit dem geringsten Verbrauch an Energie unter Berücksichtigung des Brennwertes des eingesetzten Kraftstoffs

Nachdem die mathematischen bzw. physikalischen Voraussetzungen für einen Vergleich geschaffen sind, müssen die eruierten Daten noch in Relation gesetzt werden.

Entsprechend der Angaben des ADAC EcoTest ergeben sich folgende Fahrzeugmodelle als relevant für den Vergleich ihrer benötigten Energie pro 100 km.

- Toyota Yaris 1.33 Sol
- Ford Fiesta 1.6 TDCi DPF ECONetic
- Toyota Prius 1.5 Hybrid
- Volkswagen Passat 1.4 TSI EcoFuel Trendline
- Lada Priora 2172 1.6 16V
- Tesla Roadstar

Die einzelnen Fahrzeuge sind die verbrauchsärmsten Fahrzeugmodelle ihrer Kraftstoffart (vgl. ADAC e.V.: *ADAC EcoTest*, 2009). So verbraucht der Toyota Yaris 1.33 Sol 5,68 l Motorbenzin pro 100 km (vgl. ADAC e.V.: *ADAC EcoTest*, 2009), der Ford Fiesta 1.6 TDCi DPF ECONetic 3,7 l Dieselkraftstoff bzw. Biodiesel (vgl. ADAC e.V.: *ADAC EcoTest*, 2009), der Toyota Prius 1.5 Hybrid 5,02 l Motorbenzin pro 100 km (vgl. ADAC e.V.: *ADAC EcoTest*, 2009), der Volkswagen Passat 1.4 TSI EcoFuel Trendline 4,89 kg Erdgas pro 100 km (vgl. ADAC e.V.: *ADAC EcoTest*, 2009) und der Lada Priora 2172 1.6 16V 8,2 l Autogas pro 100 km (vgl. ADAC e.V.: *ADAC EcoTest*, 2009) sowie der Tesla Roadstar 110 Wh pro km.

Exemplarisch für alle Fahrzeuge im Vergleichstest wird die Berechnung der benötigten Energie anhand des Toyota Yaris 1.33 Sol im Folgenden dargelegt.

Der Toyota Yaris 1.33 Sol hat einen Kraftstoffverbrauch von 5,68 l / 100 km (vgl. ADAC e.V.: *ADAC EcoTest*, 2009) bzw. 5,1 l / 100 km (vgl. Toyota Deutschland GmbH: *Internetpräsenz der Firma Toyota Deutschland GmbH*). Die Verbrauchswerte der Hersteller werden entsprechend des Europäischen Fahrzyklus (NEFZ) ermittelt (vgl. Rat der Europäischen Gemeinschaft: *Richtlinie des Rates zur Angleichung der Rechtsvorschriften der Mitgliedsstaaten über die Maßnahmen gegen die Verunreinigung der Luft durch Emissionen von Kraftfahrzeugen*, 20.03.1970).

Da die Daten der Hersteller oft nicht in der realen Fahrpraxis erreicht werden können (vgl. n-tv Nachrichtenfernsehen GmbH: *Reportage Ärger an der Zapfsäule*, 2009 und AP/jw; sueddeutsche.de GmbH; Süddeutsche Zeitung GmbH: *Motorisierte Mogelpackung*, 06.08.2008) wird ausschließlich der ermittelte Wert im ADAC EcoTest referenziert.

Der Brennwert für Motorbenzin beträgt zwischen 42,7 und 44,2 Megajoule pro Kilogramm Kraftstoff (vgl. Wikimedia Foundation (Hrsg.): *Motorenbenzin*, Abruf 11.06.2009). Dieser Wertebereich resultiert aus verschiedenen Volumina bei unterschiedlichen Temperaturen bzw. Druckverhältnissen.

Um diesen Wert, der abweichend in Kilogramm und nicht in Liter bemessen ist, errechnen zu können, muss über die Dichte von Motorenbenzin, welche zwischen 0,72 und 0,775 Liter pro Kilogramm liegt (vgl. Wikimedia Foundation (Hrsg.): *Motorenbenzin*, Abruf 11.06.2009), errechnet werden.

Es ergibt sich aus diesen Faktoren folgende Formel:

$$\text{Brennwert} \frac{MJ}{100 km} = \frac{\left(\frac{5,68 l}{0,72 \frac{l}{kg}}\right) * \left(\frac{42,7 MJ}{1 kg}\right)}{100 km}$$

Formell 4: Berechnung des Verbrauchs in Megajoule für den Toyota Yaris 1.33 Sol

Die so errechneten Werte bzw. die physikalischen Daten der einzelnen Fahrzeuge bzw. Kraftstoffarten sind für eine bessere Vergleichbarkeit tabellarisch aufbearbeitet (siehe Tabelle 1).

Hersteller Modell	Toyota Yaris 1.33 Sol	Ford Fiesta 1.6 TDCi DPF ECONetic	Toyota Prius 1.5 Hybrid	Volkswagen Passat 1.4 TSI EcoFuel Trendline	Lada Priora 2172 1.6 16V	Ford Fiesta 1.6 TDCi DPF ECONetic	Tesla Roadstar
Kraftstoff	Benzin	Diesel	Benzin / Elektro	Erdgas	Autogas	Biodiesel	Elektro Wh
Kraftstoffeinheit	l	l	l	kg	l	l	
Verbrauch	5,68	3,7	5,02	4,89	8,2	3,7	110
min. Verbrauch pro 100 km (in MJ)	312,95	198,79	276,59	176,04	700,04	155,11	39,6
max. Verbrauch pro 100 km (in MJ)	348,69	204,85	308,17	244,5	700,04	156,88	39,6
min. Brennwert (in MJ/kg)	42,7	45,4	42,7	36	46,1	37,1	-
max. Brennwert (in MJ/kg)	44,2	45,4	44,2	50	46,1	37,1	-
min. Dichte (in l/kg)	0,72	0,82	0,72	0,7	0,54	0,885	-
max. Dichte (in l/kg)	0,775	0,845	0,775	0,84	0,54	0,875	-

Tabelle 1: Verbrauchsdaten der sparsamsten Fahrzeuge ihrer Kraftstoffklasse <sup>1</sup>

Wie an dieser Tabelle zu sehen ist, liegen die Fahrzeuge mit zwei Ausnahmen sehr nah beieinander. Der Lada Priora 2172 1.6 16V jedoch ist als Autogasfahrzeug durch den schlechten Brennwert des Autogases (vgl. Wikimedia Foundation (Hrsg.): *Liquefied petroleum gas*, Abruf 11.06.2009) in der reinen Betrachtung der genutzten Energie pro 100 km wesentlich ungünstiger als alle anderen im Vergleich verwendeten Fahrzeuge. Positiv wiederum tritt der Tesla Roadstar hervor, der kaum einen Energieverlust besitzt, wie er bei einem Verbrennungsmotor in Form von Wärme auftritt (vgl. Wikimedia Foundation (Hrsg.): *Verbrennungsmotor*, Abruf 12.06.2009). Dies wird durch die Nutzung von Elektrischem Strom und einem Elektromotor realisiert.

Diese Ergebnisse sind in Diagramm 1 zum besseren Verständnis noch einmal als Balkendiagramm dargestellt. Hier läßt sich besonders gut erkennen, dass die normalen Verbrennungsmotoren relativ ähnliche Werte in Bezug auf den Energieverbrauch pro 100 Kilometern vorweisen. So liegen die verbrauchswerte der einzelnen Fahrzeuge zwischen dem Ford Fiesta 1.6 TDCi DPF ECONetic mit einem Verbrauch von 155,11 Megajoule pro 100 Kilometern und dem Toyota Yaris 1.33 Sol mit 312,95 Megajoule pro 100 Kilometern. Einzig die Systeme auf Autogasbasis weichen hier mit 700,04 Megajoule pro 100 Kilometern deutlich ab. Der Tesla Roadstar als Fahrzeug mit Elektromotor erreicht hierbei mit 39,6 Megajoule pro 100 Kilometern den energetisch geringsten Verbrauch.

<sup>1</sup> Es gilt folgende Legende: rot = schlechteste Wert, grün = beste Wert und blau = diskrete Werte  
Die Daten basieren auf Herstellerangaben, Wikipediaartikel und entsprechend der Formeln 1-3 errechneten Werten.

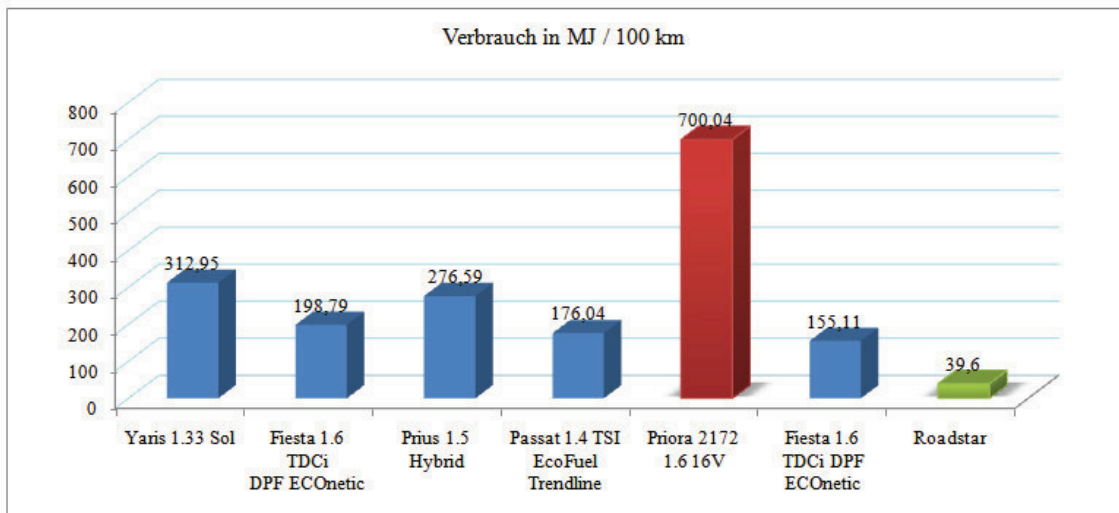


Diagramm 1: Verbrauchsdaten in Megajoule der sparsamsten Fahrzeuge ihrer Kraftstoffklasse

## Fazit

Anhand des Vergleichs auf Basis des Brennwertes in Megajoule für jeden der gängigen Kraftstoffe ist es möglich eine objektive Aussage über vergleichbare Werte zu treffen. Dieser Vergleich hat gezeigt, dass günstige Kraftstoffe wie das Autogas unter dem Gesichtspunkt der benötigten Energie in Megajoule deutlich mehr Energie für die gleich Strecke benötigt, als alle anderen im Vergleich referenzierten Kraftstoffe.

Bezugnehmend auf die Eingangsthese, dass der Elektromotor der mögliche Favorit in dieser Betrachtungsweise ist, konnte die Analyse über den Brennwert der einzelnen Kraftstoffarten dieses nicht nur belegen, sondern auch anschaulich darstellen, dass ein augenscheinlich sparsames Fahrzeug, zwar weniger Kraftstoff aber ggf. mehr Energie für die selbst Strecke benötigt (siehe Tabelle 1 bzw. Diagramm 1).

Abließend ist in der Effizienz des Tesla Roadstar die technische Überlegenheit von reinen Elektromotoren Motoren für das Kriterium Verbrauch gegenüber allen gängigen Verbrennungsmotoren so deutlich, dass diese Technik wohl in Zukunft nach und nach die Verbrennungsmotoren ersetzen wird, wie dies bereits in den Antriebsmotoren Hybridfahrzeugen oder einigen wenigen Modellen mit reinem Elektromotor geschieht.

Eine weitere positive Entwicklung wäre nicht nur der Einsatz von elektrischem Strom zum Antrieb von Kraftfahrzeugen, sondern auch die direkte Gewinnung von Energie aus erneuerbaren Energiequellen, wie z.B. durch Nutzung von Solartechnik um die Energie aus der Sonnenstrahlung nutzbar zu machen. Leider existiert bisher noch kein Serienmodell, welches die gestellten Kriterien (min. 160 km Dauerhöchstgeschwindigkeit) erfüllen könnte.

## Verzeichnisse

### Literaturverzeichnis

Florian Baumann; Centrum für angewandte Politikforschung: *Teure Energie? Die gegenwärtigen Energiepreise und die Debatte um verschiedene Lösungsansätze* – 2008

Stephanie von Ahsen: *Effizienz on Tour* – Interview mit Volkswagen - 2007

Wikimedia Foundation (Hrsg.): *Motor* - *Wikipedia*. - URL <http://de.wikipedia.org/wiki/Motor>. - Abruf 11.06.2009

Wikimedia Foundation (Hrsg.): *Internationale Maßeinheiten* - *Wikipedia*. - URL [http://de.wikipedia.org/wiki/Internationale\\_Ma%C3%9Fheit](http://de.wikipedia.org/wiki/Internationale_Ma%C3%9Fheit). - Abruf 11.06.2009

Wikimedia Foundation (Hrsg.): *Motorenbenzin* - *Wikipedia*. - URL <http://de.wikipedia.org/wiki/Motorenbenzin>. - Abruf 11.06.2009

Wikimedia Foundation (Hrsg.): *Erdgas* - *Wikipedia*. - URL <http://de.wikipedia.org/wiki/Erdgas>. - Abruf 11.06.2009

Wikimedia Foundation (Hrsg.): *Autogas* - *Wikipedia*. - URL <http://de.wikipedia.org/wiki/Autogas>. - Abruf 11.06.2009

Wikimedia Foundation (Hrsg.): *Dieselmotoren* - *Wikipedia*. - URL <http://de.wikipedia.org/wiki/Dieselmotoren>. - Abruf 11.06.2009

Wikimedia Foundation (Hrsg.): *Biodiesel* - *Wikipedia*. - URL <http://de.wikipedia.org/wiki/Biodiesel>. - Abruf 11.06.2009

Wikimedia Foundation (Hrsg.): *Elektrischer Strom* - *Wikipedia*. - URL [http://de.wikipedia.org/wiki/Elektrischer\\_Strom](http://de.wikipedia.org/wiki/Elektrischer_Strom). - Abruf 11.06.2009

Wikimedia Foundation (Hrsg.): *Wattstunde* - *Wikipedia*. - URL <http://de.wikipedia.org/wiki/Wattstunde>. - Abruf 11.06.2009

Wikimedia Foundation (Hrsg.): *Heizwert* - *Wikipedia*. - URL <http://de.wikipedia.org/wiki/Heizwert>. - Abruf 11.06.2009

Wikimedia Foundation (Hrsg.): *Brennwert* - *Wikipedia*. - URL  
<http://de.wikipedia.org/wiki/Brennwert>. - Abruf 11.06.2009

Wikimedia Foundation (Hrsg.): *Verbrennungsmotor* - *Wikipedia*. - URL  
<http://de.wikipedia.org/wiki/Verbrennungsmotor>. - Abruf 12.06.2009

Wikimedia Foundation (Hrsg.): Liquefied petroleum gas - *Wikipedia*. - URL  
[http://en.wikipedia.org/wiki/Liquefied\\_petroleum\\_gas](http://en.wikipedia.org/wiki/Liquefied_petroleum_gas). - Abruf 11.06.2009

ADAC e.V.: ADAC EcoTest – URL <http://www.adac.de/Tests/Autotest/Ecotest/> - Abruf  
10.06.2009

Tesla Motors, Inc.: Internetpräsenz der Firma Tesla Motors, Inc. – URL  
<http://www.teslamotors.com> - Abruf 10.06.2009

Toyota Deutschland GmbH: Internetpräsenz der Firma Toyota Deutschland GmbH –  
URL <http://www.toyota.de> - Abruf 11.06.2009

Ford-Werke GmbH: Internetpräsenz der Firma Ford-Werke GmbH – URL  
<http://www.ford.de> - Abruf 11.06.2009

Volkswagen AG: Internetpräsenz der Firma Volkswagen AG – URL  
<http://www.volkswagen.de> - Abruf 11.06.2009

Lada Automobile GmbH: Internetpräsenz der Firma Lada Automobile GmbH – URL  
<http://www.lada.de> - Abruf 11.06.2009

n-tv Nachrichtenfernsehen GmbH: Reportage *Ärger an der Zapfsäule*, 2009

AP/jw; sueddeutsche.de GmbH; Süddeutsch Zeitung GmbH: *Motorisierte  
Mogelpackung*, 06.08.2008

Rat der Europäischen Gemeinschaft: *Richtlinie des Rates zur Angleichung der  
Rechtsvorschriften der Mitgliedsstaaten über die Maßnahmen gegen die Verunreinigung  
der Luft durch Emissionen von Kraftfahrzeugen*, 20.03.1970

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Zusammenfassung aller relevanten Daten zur Ermittlung des Verbrauchs in Megajoule entsprechend der Brennwertangaben und der Dichte. (vgl. Wikimedia Foundation: Artikel über Motorenbenzin, Erdgas, Dieselkraftstoff, Biodiesel, Autogas, Liquefied petroleum gas, Heizwert, Brennwert, Elektrischer Strom, Wattstunde, 2009 sowie ADAC e.V.: ADAC EcoTest, 2009 und den Angaben der Hersteller entsprechend des Literaturverzeichnisses)

Diagramm 1: Grafische Auswertung von Tabelle 1, wobei die min. Daten der Berechnungen aus Tabelle 1 verwendet werden.

## Abbildungsverzeichnis

Formel 1a: Berechnung des Brennwertes in Megajoule pro 100 km bei der Verwendung von Kraftstoffen, welche über ihr Volumen bemessen werden.

Formel 1b: Ergänzung der genutzten Maßeinheiten zu Formel 1a

Formel 2a: Berechnung des Brennwertes in Megajoule pro 100 km bei der Verwendung von Kraftstoffen, welche über ihre Masse bemessen werden.

Formel 2b: Ergänzung der genutzten Maßeinheiten zu Formel 2a

Formel 3a: Berechnung des Äquivalents an Energie zum Brennwert, welche bei der Nutzung von elektrischem Strom verbraucht wird.

Formel 3b: Ergänzung der genutzten Maßeinheiten zu Formel 3a