

Kurvendiskussion zum Energieverbrauch für den Verkehrssektor

Dipl.-Ing. Univ. Michael Klotsche

Datum: 18.04.23

Rudolf-Breitscheid-Straße 6
02727 Ebersbach-Neugersdorf
mk@ib-klotsche.de

230418_Kurvendiskussion-Verkehr_003.odt

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung.....	3
2. Kurvendiskussion.....	3
2.1 Einschränkung der Betrachtung.....	3
2.2 Aufstellen der Gleichungen.....	3
2.3 Beispielrechnung.....	6
Fazit.....	7

1. Einleitung

Der Verkehrssektor hat in der Bundesrepublik Deutschland (BRD) einen Energieverbrauch ¹ an mechanischer Energie von 745,5 TWh/a. Dem gegenüber steht in Deutschland ein Energiepotential ² an Erneuerbaren Energien von 369 TWh/a an elektrischer Energie, wenn man die erforderliche Speicherung der Energie berücksichtigt. Wenn in der BRD eine Energiewende ernsthaft durchgeführt werden soll, ist es nötig, auch den Energieverbrauch im Verkehrssektor um Größenordnungen zu reduzieren. In diesem Text soll der Energieverbrauch im Verkehrssektor genauer untersucht werden.

Diese Betrachtung soll hier kein Aufruf zu einer radikalen Umsetzung einer Energiewende sein. Sie soll nur zeigen, was es bedeutet, eine Energiewende zu realisieren.

2. Kurvendiskussion

2.1 Einschränkung der Betrachtung

Die vorliegende Betrachtung soll eine qualitative Schätzung zum Energieverbrauch eines Kraftfahrzeugs (KFZ) sein. Es soll sichtbar werden, wie der Energiebedarf eines KFZ physikalisch entsteht. Auf diese Weise wird dann sichtbar, wo man genau ansetzen müsste, um den Energieverbrauch zu reduzieren und welche Maßnahmen vielleicht gut gemeint erscheinen, aber nichts bringen.

In Folgenden soll der Kraftstoffverbrauch in Abhängigkeit von der zurückgelegten Strecke erfasst werden, die **in einer Stunde** zurückgelegt wird.

2.2 Aufstellen der Gleichungen

Formelzeichen:

ρ : Dichte der Luft in kg/m^3

A : Projizierte Fläche des KFZ senkrecht zur Bewegungsrichtung in m^2

t : Fahrtzeit in s

v : Geschwindigkeit in m/s

m : Masse des Kraftfahrzeugs (KFZ) in kg

g : Erdbeschleunigung in m/s^2

μ : Reibungszahl

H : Überwundener Höhenunterschied in m

D : Horizontal zurückgelegte Strecke in m

¹ Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz: Zahlen und Fakten. Energiedaten. Nationale – und internationale Entwicklung. Berlin, 2022

² Klotsche, M: Fermi-Schätzung zur Ermittlung des Potentials für erneuerbare Energien in Deutschland. Version 20. Selbstverlag. Neugersdorf, 2023. Seite 17

- G : Gradiente (Steigung) in %
 α : Anstiegswinkel der Strecke in °
 c_w : Widerstandsbeiwert
 H_o : Oberer Brennwert des Kraftstoffs in J/Liter
 η : Wirkungsgrad von Motor und Getriebe
s : Zurückgelegter Weg in m
 W_w : Arbeit zur Überwindung des Luftwiderstandes in J
 W_R : Arbeit zur Überwindung der Rollreibung in J
 W_L : Arbeit zur Überwindung der Lageenergie in J
W : Arbeit zur Fortbewegung in J

Für die Berechnung der Geschwindigkeit und für die Straßenverhältnisse gilt:

$$v = \frac{s}{t}$$

$$\alpha = \arctan\left(\frac{H}{D}\right) = \arctan(G)$$

Folgende Kräfte sollen an Fahrzeugen betrachtet werden:

$$F = F_w + F_R + F_L$$

$$F_w = \frac{\rho}{2} \cdot v^2 \cdot c_w \cdot A$$

$$F_R = m \cdot g \cdot \mu$$

$$F_L = m \cdot g \cdot \sin \alpha$$

Die Arbeit für die Fortbewegung ergibt sich aus folgenden Gleichungen:

$$W = F \cdot s$$

$$W = W_w + W_R + W_L$$

$$W = \frac{\rho}{2} \cdot \frac{s^2}{t^2} \cdot c_w \cdot A \cdot s + m \cdot g \cdot \mu \cdot s + m \cdot g \cdot \sin \alpha \cdot s$$

$$W = \left(\frac{\rho}{2} \cdot \frac{s^2}{t^2} \cdot c_w \cdot A + m \cdot g \cdot \mu + m \cdot g \cdot \sin \alpha \right) \cdot s$$

$$W = \frac{\rho}{2} \cdot \frac{s^3}{t^2} \cdot c_w \cdot A + s \cdot m \cdot g \cdot (\mu + \sin \alpha)$$

Die Gleichung, mit der die Arbeit für die Fortbewegung eines Fahrzeugs berechnet wird, ist eine kubische Gleichung. Das lässt vermuten, dass die Verringerung der Wegstrecke unter Beibehaltung der Fahrzeit den größten Effekt erzielen wird.

Bezüglich der Zeit, die für eine Wegstrecke benötigt wird, ist diese Gleichung eine Potenzfunktion mit der Zahl -2 als Exponenten. Auch das lässt vermuten, dass sich die Verlängerung der Zeit einen starken Effekt erreichen könnte. Das ist allerdings nur dann der Fall, wenn der Luftwiderstand zu den stärkeren Effekten zählt. Um die Stärke der physikalischen Effekte zu bestimmen, soll eine Beispielaufgabe berechnet werden.

Der Energieverbrauch soll dabei in Form des Kraftstoffverbrauchs angegeben werden, weil sich die meisten Leute darunter etwas vorstellen können. Für den Brennstoffverbrauch gilt:

$$V_{Br} = \eta \cdot W$$

2.3 Beispielrechnung

Folgende Zahlenwerte werden für die Beispielrechnung verwendet:

$$\rho = 1,2 \text{ kg/m}^3$$

$$A = 1,8 \times 1,5 \text{ m}^2$$

$$t = 1 \text{ h}$$

$$m = 600 \text{ kg}$$

$$g = 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$\mu = 0,1 \quad [\text{Stöcker}^3, \text{ Seite 224}]$$

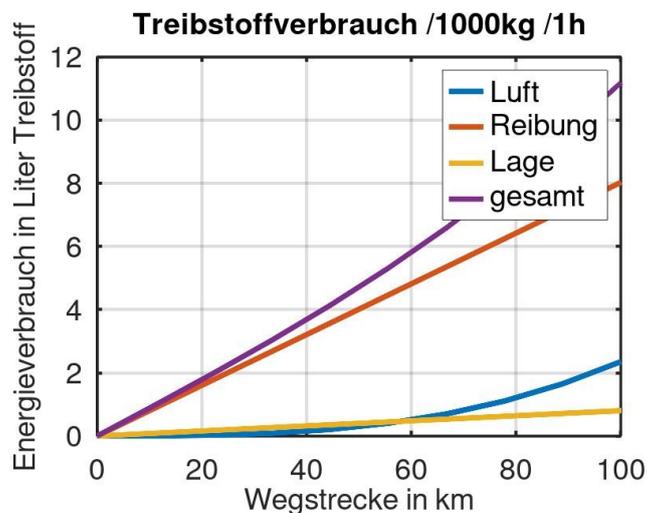
$$G = 1\%$$

$$c_w = 0,23 \quad [\text{Stöcker, Seite 232}]$$

$$H_o = 34,9 \text{ MJ/Liter}$$

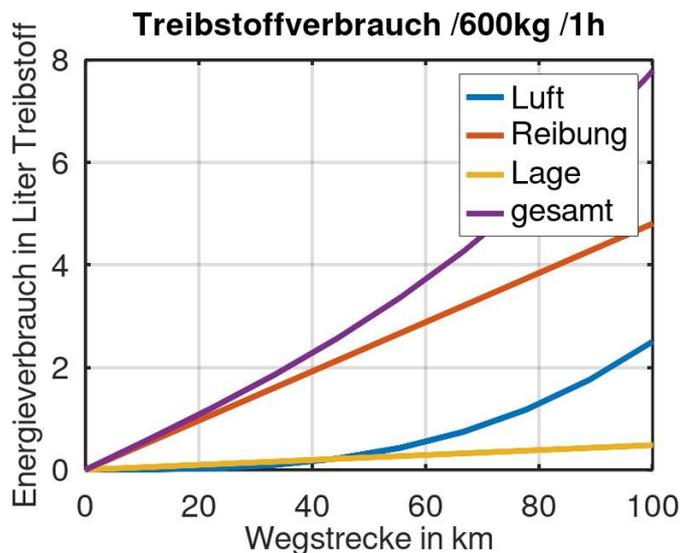
$$\eta = 0,35$$

Die Ergebnisse der Beispielrechnung sind in folgenden Diagrammen Zusammengefasst:



Bei einem KFZ mit einer Masse von 1000 kg und einer Fahrzeit von einer Stunde wird sichtbar, dass die Rollreibung der Reifen auf dem Asphalt die meiste Arbeit erfordert. Erst an zweiter Stelle steht die Arbeit zur Überwindung des Luftwiderstandes.

3 Stöcker, H: Taschenbuch der Physik. Verlag Harry Deutsch. Frankfurt am Main, 2010



Bei einem KFZ mit einer Masse von 600 kg und einer Fahrzeit von einer Stunde ist die Rollreibung der Reifen auf dem Asphalt immer noch der größte Energieverlust. Erst an zweiter Stelle steht die Arbeit zur Überwindung des Luftwiderstandes, der aber bereits einen größeren Anteil an der erforderlichen Arbeit ausmacht.

In beiden Fällen ist aber die zurückgelegte Wegstrecke der stärkste Möglichkeit, den Kraftstoffverbrauch zu verringern.

Fazit

Wenn eine Energiewende ernsthaft umgesetzt werden soll, sind die Verringerung der zurückgelegten Wegstrecke und die Verringerung der Fahrzeugmasse die effektivsten Maßnahmen. Auch die Verringerung der Geschwindigkeit ist unter Umständen eine effektive Maßnahme, aber nur dann, wenn der Luftwiderstand eine relevante Stärke hat.

Der Umbau der gesamten Fahrzeugflotte hin zu Elektromobilität ist nicht der Weg, der alle Probleme löst. Die Akkus in den Elektrofahrzeugen erhöhen die Fahrzeugmasse und erfordern somit einen höheren Energieverbrauch. Elektromobilität ist aber nicht in jedem Fall schlecht. In manchen Fällen kann aber die Verwendung von Elektrofahrzeugen günstig sein, und zwar dann, wenn Bremsenergie zurückgewonnen werden muss.

Eines lässt sich aber sicher sagen: Ein gewaltsames Durchsetzen aufgrund von Ideologien ist in jedem Fall der falsche Weg.