

### 3. Autos

Lassen Sie uns in unserem ersten Kapitel zum Verbrauch das Symbol für moderne Zivilisation schlechthin behandeln: Das Auto mit einer einzigen Person darin.

Wie viel Energie verbraucht ein normaler Autobenutzer? Wenn wir die Umrechnungsfaktoren kennen, ist das eine einfache Rechnung:

$$\text{Energie pro Tag} = \frac{\text{Zurückgelegte Strecke pro Tag}}{\text{Strecke pro Treibstoffeinheit}} \times \text{Energie pro Treibstoffeinheit.}$$

Für die täglich zurückgelegte Strecke wollen wir 50 km ansetzen. Für die Strecke pro Treibstoffeinheit, also die Ökonomie des Autos, verwenden wir einen Mittelwert von 8,5 Liter auf 100 km (aus einer Autowerbung für einen Mittelklassewagen), oder

$$100 \text{ km} / 8,5 \text{ l} \approx 12 \text{ km pro Liter.}$$

(Das Zeichen  $\approx$  bedeutet „ist ungefähr gleich“).

Wie steht es mit der Energie pro Treibstoffeinheit (auch als Brennwert oder Energiedichte bezeichnet)? Anstatt sie nachzuschlagen, machen wir uns den Spaß, diese Größe durch etwas laterales Denken abzuschätzen. Fahrzeugtreibstoff, ob Diesel oder Benzin, ist Kohlenwasserstoff, und Kohlenwasserstoffe finden wir auch auf unserem Frühstückstisch, mit den zugehörigen Brennwertangaben auf der Verpackung: Etwa 8 kWh pro kg (vgl. Fig.3.2).

Da wir die Ökonomie des Autos bezogen auf eine Volumeneinheit Treibstoff abgeschätzt haben, müssen wir nun auch den Brennwert als Energie pro Volumeneinheit ausdrücken. Um die „8 kWh pro kg“ (eine Energie pro Masseinheit) in eine Energie pro Volumeneinheit umzurechnen, benötigen wir einen Wert für die Dichte des Treibstoffs. Was ist die Dichte von Butter? Butter schwimmt in Wasser, Benzinflecken schwimmen ebenfalls in Wasser, also muss deren Dichte etwas geringer sein als die Dichte von Wasser, welche bei 1 kg pro Liter liegt. Wenn wir die Dichte auf 0,8 kg/l abschätzen, erhalten wir

$$8 \text{ kWh pro kg} \times 0,8 \text{ kg pro Liter} \approx 7 \text{ kWh pro Liter.}$$

Statt wissentlich mit diesem ungenauen Schätzwert weiterzurechnen, will ich auf den tatsächlichen Brennwert für Benzin übergehen, der 10 kWh pro Liter beträgt, also

$$\begin{aligned} \text{Energie pro Tag} &= \frac{\text{Zurückgelegte Strecke pro Tag}}{\text{Strecke pro Treibstoffeinheit}} \times \text{Energie pro Treibstoffeinheit.} \\ &= \frac{50 \text{ km/Tag}}{12 \text{ km/Liter}} \times 10 \text{ kWh/Liter} \\ &\approx 40 \text{ kWh/Tag.} \end{aligned}$$



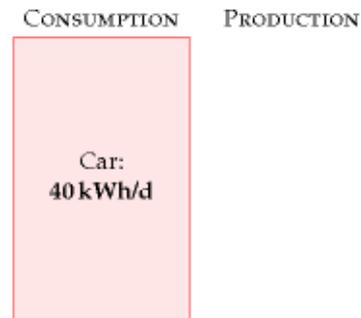
Fig.3.1: Autos. Ein roter BMW, zum Zwerg deklassiert durch ein Raumschiff vom Planeten Dorkon



Fig.3.2: Sie wollen die Energie in Fahrzeugtreibstoffen wissen? Betrachten Sie die Hinweise auf der Butter oder Margarine. Der Brennwert ist 3000 kJ je 100 g, oder 8 kWh pro Kilo.

Glückwunsch! Wir haben unsere erste Verbrauchsabschätzung gemacht. Ich habe dieses Ergebnis im linken Stapel von Fig.3.3 dargestellt. Die Höhe des roten Rechtecks repräsentiert 40 kWh pro Person pro Tag.

Fig.3.3: Das Fazit aus Kapitel 3: ein typischer Autofahrer verbraucht um die 40 kWh pro Tag.



Die Abschätzung betraf einen typischen Autofahrer, der heute ein typisches Auto fährt. Folgende Kapitel werden *Durchschnittsverbräuche* diskutieren, gemittelt über die gesamte Bevölkerung von England. Dabei muss man berücksichtigen, dass nicht jeder ein Auto fährt. In Teil II werden wir auch diskutieren, wie hoch der Verbrauch sein *könnte* unter Berücksichtigung anderer Technologien wie etwa Elektroautos.

Wieso fährt ein Auto gerade 12 km pro Liter? Wohin geht diese Energie? Können wir Autos bauen, die 1200 km pro Liter fahren? Wenn uns daran liegt, den Verbrauch von Autos zu reduzieren, müssen wir die dahinter stehende Physik verstehen. Diese Fragen sind im technischen Kapitel A des Anhangs beantwortet, das eine einfache Theorie zum Verbrauch von Autos vorstellt. Ich ermutige Sie, diese Kapitel zu lesen, wenn Formeln wie  $\frac{1}{2}mv^2$  Ihnen keine medizinischen Probleme bereiten.

Das Fazit des Kapitels 3: Ein typischer Autofahrer verbraucht um die 40 kWh täglich. Als nächstes müssen wir nun den rechten Stapel – Energieproduktion – aufbauen, damit wir etwas zum Vergleichen haben.

## Fragen

*Was ist mit den Energiekosten der Produktion von Fahrzeugtreibstoff?*

Ein guter Punkt. Wenn ich die Energie einer bestimmten Aktivität abschätze, neige ich zu einer ziemlich engen „Grenze“ um diese Aktivität. Diese Selektion macht die Abschätzung einfacher, doch gebe ich zu, dass es eine gute Idee ist, den gesamten energetischen Effekt einer Aktivität abzuschätzen. Es wurde bereits abgeschätzt, dass man, um eine Einheit Benzin zu gewinnen, einen Input von 1,4 Einheiten Öl und anderer Primärtreibstoffe benötigt (Treloar et al. 2004).

*Was ist mit den Energiekosten zur Herstellung des Autos?*

Ja, diese Kosten fallen ebenfalls nicht in die Grenzen der Betrachtung. Autoherstellung wird aber in Kapitel 15 behandelt.

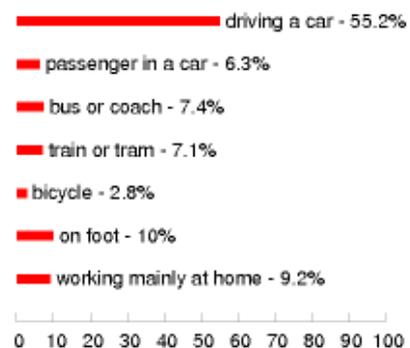


Fig.3.4: Wie die Engländer zur Arbeit fahren, nach einer Umfrage von 2001.



## Anmerkungen und Literaturhinweise

Seite

- 31 Für die täglich zurückgelegte Strecke wollen wir 50 km ansetzen. Das korrespondiert mit 18.000 km pro Jahr. Etwa die Hälfte der britischen Bevölkerung fährt zur Arbeit. Der gesamte Autoverkehr in UK ist 686 Milliarden Passagier-km jährlich, was zu einer „mittleren täglichen Autofahrt-Strecke jedes Engländers“ von 30 km pro Tag führt. Quelle: Department for Transport [5647rh]. Wie auf Seite 25 ausgeführt schätze ich den Verbrauch eines „typischen einigermaßen wohlhabenden Menschen“ ab – den Verbrauch, den viele Menschen anstreben. Einige fahren nicht viel. In diesem Kapitel will ich den Verbrauch einer Person abschätzen, die sich dazu entschlossen hat Auto zu fahren, und nicht den Landesdurchschnittswert herunterbrechen, der Autofahrer und Nicht-Autofahrer zusammenmischt. Hätte ich gesagt: „Der mittlere Energieverbrauch für Autofahren in England ist 13 kWh/d pro Person“, wette ich, dass viele Leute das missverstanden hätten und meinten: „Ich bin Autofahrer, also verbrauche ich schätzungsweise 13 kWh pro Tag“.
- 31 Mittelwert von 8,5 Liter auf 100 km: Der Mittelwert englischer Autos in 2005 [27jdc5] lag bei 33 Meilen pro Gallone (mpg), umgerechnet etwa 8,6 Liter pro 100 km. Benzinautos verbrauchen im Mittel 31 mpg (9,1 l/100km), Dieselfahrzeuge 39 mpg (7,2 l/100km), neue Benziner (unter 2 Jahren) 32 mpg (8,8 l/100km). Quelle: Dept. For Transport 2007. Honda, „die treibstoffsparendste Automarke Amerikas“, meldet, dass ihre Flotte der im Jahr 2005 verkauften Neuwagen einen mittleren Verbrauch von 35 mpg (8,1 l auf 100 km) aufweist [28abpm].
- 31 Wenn wir die Dichte auf 0,8 kg/l abschätzen: Die Dichte von Benzin ist 0,737, von Diesel 0.820–0.950 [nmn4l].

calorific values	
petrol	10 kWh per litre
diesel	11 kWh per litre

- 31 ...den tatsächlichen Brennwert für Benzin übergehen, der 10 kWh pro Liter beträgt: ORNL [2hcgdh] gibt die folgenden Brennwerte an: Diesel: 10.7 kWh/l; Flugbenzin: 10.4 kWh/l; Benzin: 9.7 kWh/l. Wenn man Brennwerte nachschlägt, findet man die Unterscheidung Brennwert (auch „oberer Heizwert“) und Heizwert (Energiegehalt oder Energiewert). Beide Werte unterscheiden sich lediglich um 6% für Motortreibstoffe, so dass für unsere Zwecke die Unterscheidung nicht erforderlich ist, doch lassen Sie es mich hier dennoch erklären: Der Brennwert ist der Wert der chemischen Energie, die bei Verbrennung des Stoffes frei wird. Eines der Verbrennungsprodukte ist Wasser und in den meisten Maschinen und Energieanlagen geht ein Teil der Energie für die Verdampfung dieses Wassers verloren. Der Heizwert gibt an, wie viel Energie nach Abzug dieser Verdampfungsenergie übrigbleibt. Wenn wir uns fragen, wie viel Energie unser Lebensstil kostet, ist der Brennwert die richtige Größe. Der Heizwert ist dagegen für einen Anlagenbetreiber interessant, um zu entscheiden, mit welchem Treibstoff er seine Anlage betreibt. In diesem Buch benutze ich durchwegs Brennwerte.
- Eine letzte Anmerkung für pedantische Spielverderber, die sagen „Butter ist kein Kohlenwasserstoff“: OK, Butter ist kein reiner Kohlenwasserstoff, aber es ist eine gute Näherung, den Hauptbestandteil von Butter als lange Kohlenwasserstoff-Ketten zu sehen, genau wie Benzin. Der Beweis für die ganze Geschichte ist: Diese Näherung brachte uns der korrekten Antwort auf 30% nahe. Willkommen in der Guerilla-Physik.