

# Lieben Sie Abgas?

von Hans- Ulrich Ottensmeyer, Hamburg

- Gegen Energieverschwendung im Verkehr
- Erste Solareisenbahn
- Unbegrenzter Betrieb eines Elektroautos

Seit kurzem erweist sich eine Gruppe als Umweltschützer ersten Ranges, der man das eigentlich nicht zugetraut hätte: die Opec. Die Vertreter der Ölstaaten haben wohl festgestellt, dass es viel netter ist, etwa 30 Dollar für die 159-Liter- Einheit (Barrel) zu verlangen, anstatt nur zehn wie vor einiger Zeit, und dass sich das auch durchsetzen lässt.

Weil die Menschheit fast die Hälfte des Öls verbraucht hat und die Autokonzerne große Anstrengungen unternehmen, aus dem „unterentwickelten“ Rest der Artgenossen endlich Autofahrer zu machen, ist der Weg des Ölpreises vorgezeichnet: Drastisch nach oben. Kurze Preissenkungen haben keinen Einfluss auf diese Tendenz. Viele Autofahrer meinen, sie hätten ein Recht auf beliebigen Spritverbrauch bei moderaten Preisen und einige Politiker biedern sich in verantwortungsloser Kurzsichtigkeit bei ihnen an. Dabei schreiben die Marktgesetze ganz anderes Verhalten vor: Wenn eine Sache zu teuer wird, lässt man den Verkäufer drauf sitzen. Es muß also dringend Öl gespart werden.

Während Industrie und Wohnungsheizungen teilweise beachtliche Fortschritte in der Verbrauchsreduzierung vorweisen können, nimmt der Energieverbrauch im Verkehr drastisch zu. Etwa ein Drittel des Klimagases Kohlendioxid wird im Verkehrswesen erzeugt. In den Städten stammen davon rund zwei Drittel der Luftschadstoffe.

## Lässt sich die Tendenz umkehren?

Warum braucht eigentlich ein Auto im Stadtverkehr etwa hundertmal so viel Energie wie ein Radfahrer?

Warum braucht ein Auto im Stadtverkehr eigentlich am meisten, obwohl die Durchschnittsgeschwindigkeit sehr niedrig ist?

### Wer anfängt zu rechnen, kommt sehr schnell ins Grübeln:

In der Stadt liegt die Durchschnittsgeschwindigkeit bei 20 km/h. Dafür sind an Roll- und Luftwiderstand nur ca. 600 Watt oder 0,6 kW nötig- weniger als 1 PS (Fahrzeugdaten etwa VW Golf). In 5 Stunden (h) sind dann 100 km erreicht. Notwendiger Verbrauch:  $0,6 \text{ kW} \times 5 \text{ h} = 3 \text{ kWh}$ . Normalerweise fließen aber 10 Liter aus dem Tank. Das entspricht energetisch etwa 100 Kilowattstunden. Drei kWh zu 100 kWh ergibt den stolzen Wirkungsgrad von 3 %. Das bedeutet: Für 100 Mark getankt, für drei Mark gefahren - so bewegen wir uns mit unseren Benzinautos im Stadtverkehr.

### Überspitzt gesagt:

Wir fahren Auto, wie wenn wir eine Armbanduhr mit einem Rasenmähermotor betreiben würden, einschließlich Lärm und Gestank.

### Wie kommt das?

Wenn das Auto betriebsbereit steht, dreht der Motor im Leerlauf. Dabei fließen pro Stunde etwa 1 bis 1,5 Liter aus dem Tank.

Wenn das Auto beschleunigt, erreicht ein Benzinmotor höchstens einen Wirkungsgrad von 35%. Bei 50 kW Leistung fließt also fast das dreifache aus dem Tank: 150 kW oder 15 Liter pro Stunde. Wenn das Auto fährt, ist bei 50 km/h nur eine Leistung um 2,5 kW oder 3 bis 4 PS nötig. Ein sparsames Benzinauto braucht im höchsten Gang aber noch ca. 4 l/100km, das sind ca. 40 kWh in 2 Stunden oder ein Kraftstofffluss von 20 kW (ein Liter entspricht ca. 10kWh).

Bei 100 km/h ist am Rad eine Leistung von ca. 12 kW notwendig, bei 200 km/h ca. 80 kW. Wenn das Auto bremst, werden die Bremscheiben geheizt und die Energie ist verloren, aus 50 km/h so viel, wie wenn man es aus 10 Meter Höhe fallen lassen würde, 100 km/h entsprechen 40 m Fallhöhe.

Was tun dagegen? Schimpfen? Nein, rechnen und konstruieren, dabei alles aus dem Antrieb entfernen, was größere Verluste bringt.

So entstand ELSE, die möglicherweise erste elektrische Solareisenbahn der Welt, mit bestem Wirkungsgrad, Energierückgewinnung beim Bremsen und Gefälle-Fahren.

ELSE fuhr am 22.9.2000, am "autofreien" Freitag in Hamburg auf dem Jungfernstieg, und hat auch bei anderen Veranstaltungen bis zu 300 Fahrten mit bis zu 25 Personen absolviert. (z.B. bei der Solar Energy Messe 2001 in Berlin, siehe auch unter [www.solarmobil.net](http://www.solarmobil.net)).

Obwohl ELSE eine kleine Eisenbahn ist, verkörpert sie ein Antriebssystem, womit auch unsere Autos viel effizienter und damit sparsamer fahren können.

Wenn ELSE morgens auf Reisen geht, hat sie im Akku soviel Energie gespeichert, wie in 0,2 Liter Benzin enthalten ist, ein Weinglas voll. Damit würde ein üblicher Automotor nach wenigen Minuten stehen bleiben. Die ELSE übersteht damit bis zu 2 Betriebstage, und wenn die Sonne richtig scheint, ist ihr Akku danach so voll wie vorher. Dann fährt sie beliebig weiter.

Bei trübem Wetter oder Nachtbetrieb darf ELSE auch ein wenig Strom aus der Steckdose laden. Dabei liebt sie am meisten Ökostrom, die Vollauffüllung kostet dann etwa 70 Pfennig.



ELSE fährt Shuttle- und Demodienste auf der „Solar Energy“ Messe, Anfang Juni 2001 in Berlin



## Was hat ELSE, was unsere Autos nicht haben?

ELSE hat einen Elektromotor, eine Motorsteuerung und einen Akku, und dazu Sonnenkollektoren auf dem Dach, die die Akkus fit halten.

Wenn ELSE steht, steht auch der Motor - da gibt es keinen Leerlauf mit überflüssigem Lärm und Abgaswolken. Wenn ELSE in der Sonne steht, wird Energie kostenlos nachgetankt. Wenn ELSE beschleunigt, muß man sich schon festhalten, sonst fällt man vom Stuhl. Dabei nimmt sie nur wenig Energie aus dem Akku.

Wenn beim Fahren der Strom von den Sonnenkollektoren direkt in den Motor fließt, 'ruht' der Akku, die geringen Lade- und Entladeverluste treten gar nicht auf. Wenn ELSE bremst, fließt viel Strom. Aber dahin, wo er hin gehört, nämlich zurück in den Akku. Das nennt man Nutzbremmung.

Taugt das Antriebskonzept von ELSE auch für ein Auto - ein Elektroauto mit generator-gestützter Batterie?

Wenn dieses Auto herumsteht wie so oft an Tag und Nacht, dann kann es auch laden, und zwar am Windrad oder am Solarstromerzeuger, den es auch auf dem Dach mit sich führen kann. Bei sehr effektiven Antrieben bringt das bis zu 15 Gratis-Kilometer am Tage.

Und wenn die Reichweite ungenügend ist? Da darf dann vielleicht ein kleiner, hocheffizienter Verbrennungsmotor mit bester Abgasreinigung seinen Dienst tun: Er muss nur die durchschnittliche Leistung erbringen, im Stadtverkehr also ca. 600 Watt. Er kennt keinen Leerlauf, nicht den ungünstigen Teillastbetrieb (Vergleich: Armbanduhr mit Rasenmäher), da gibt es nur Stillstand oder volle Leistung mit bestem Wirkungsgrad. Im Gegensatz zu Akku-Fahrzeugen ist die Reichweite unbegrenzt, wenn gelegentlich etwas Kraftstoff, z.B. Diesel, nachgetankt wird. Bei voll geöffneter Drosselklappe ist auch der Wirkungsgrad von Benzin- und Gasmotoren optimal, aber nicht so hoch wie beim Diesel. Abgasreinigung nach letztem Stand der Technik ist dabei Ehrensache.



Hier erkennt man das Solardach, das den Strom für ELSE liefert

## Taxi a la ELSE

Wie sieht dann ein Taxi aus: Man nehme zum Beispiel ein möglichst leichtes Modell des Fabrikats, was ohnehin am liebsten als Taxi genutzt wird, und schraube den Motor aus. Stattdessen wird ein Elektromotor der 50 kW-Klasse eingebaut. Das Getriebe kann drin bleiben oder durch ein automatisches Drei-

gang-Planetengetriebe ersetzt werden- auch für Elektromotoren gilt: Leistung ist das Produkt aus Drehmoment und Drehzahl.

Dazu garniert man einen Akku der 10 kWh- Klasse und eine Motorsteuerung mit Rückspeisung. Damit würde das Fahrzeug allein schon 40 bis 80 km weit fahren. Zum Stützen des Akkus wird ein „Kleindiesel“ z.B. aus dem SMART verwendet, gedrittelt (als Einzylinder leistet er noch mehr als genug) und irgendwo im Auto mit einem 15 kW-Generator eingebaut. Seine Abwärme geht in die Heizung (im Sommer nach draußen), zusätzlich ist eine Standheizung vonnöten. Außerdem ein Anschluss fürs Laden aus dem (solaren) Netzverbund. Damit können nachts Windräder ihre Energie speichern, was sonst Probleme aufwirft.

Mit diesem Konzept kann ein Taxi gut 500 km am Tag zurücklegen.

Vertreter-Auto? Hier reicht ein 2-Zyl- Smart-Diesel, auch ein Vertreter macht mal Pausen für Geschäftsverhandlungen.

## Nur für technisch- physikalisch Interessierte

Das Leistungs - Zeit Diagramm zeigt den physikalisch notwendigen Mindestverbrauch eines Pkw im Vergleich zum Elektroantrieb und zum Antrieb mit Benzinmotor.

Peinlich: Beim durchgerechneten Fahrzyklus über 500 m liegt der Energieverbrauch des Benzinautos zwanzig mal so hoch wie notwendig- beim Schleichen im Stadtverkehr wird das noch schlimmer.

Die wilden Zacken beim Beschleunigen zeigen das Hochdrehen in den unteren Gängen. Bedingt durch den miesen Wirkungsgrad des Benzinmotors liegt die Kraftstoffdurchflussleistung 3 bis 4 mal so hoch wie die mechanische. Dabei ist dieses die einzige Phase, in der der Wirkungsgrad bei 25 bis 30 % und damit noch einigermaßen gut liegt.

Beim Fahren mit 50 km/h im 5. Gang sind 4 Liter auf 100 km gerechnet- ein niedriger Wert. Das entspricht 2 Liter pro Stunde oder 20 kW. Notwendig wären nur 2,5 kW am Rad- Wirkungsgrad ca. 13 %. Ursache ist der hohe Drehwiderstand der Verbrennungsmotoren, sogenannte Pumpverluste. Das sind Drosselverluste schon beim Ansaugen, Kompression des Luft-Benzingemischs, Thermische Verluste ins Kühlwasser, Abgas, Reibungsverluste und vieles mehr.

Beim **Bremsen** verbraucht ein Benzinauto immer noch Treibstoff. Ein Elektroauto speist die Energie in den Akku zurück. Moderne Elektromotoren wie in ELSE erreichen Wirkungsgrade bis 97 %. Überschlüssig kann durch Elektroantrieb der Verbrauch der Pkw auf etwa ein Drittel reduziert werden.

In jedem Fall ist ein effizienter Akku erforderlich, für Pkw sollte er ca. 10 kWh speichern. Mit einer Kilowattstunde kann man - ohne Verluste- die Masse einer Tonne (1000 kg) 360 m hochheben.

## Nur für Eisenbahnfreunde

Was kann ELSE besser als andere Eisenbahnfahrzeuge?

Sie braucht weder Fahrdrabt noch Stromschiene. Im Gegensatz zu Dieseltriebwagen kann sie beim Bremsen und Gefälle- Fahren die Bewegungsenergie zurückladen. Wenn die Leistung der Solarkollektoren auf dem Dach nicht ausreicht, kann an Streckenabschnitten, an denen problemlos eine Stromschiene oder



ein Fahrrad montiert werden kann, der Akku vom allgemeinen Stromnetz nachgeladen werden, besonders bei Betriebspausen in der Nacht. Dann kann auch Windenergie optimal gespeichert werden.

#### Technische Daten des kleinen Triebwagens:

Länge 4,2 m, Breite 1,45 m, Höhe 2,1 m, 6 bis 8 Sitzplätze  
Spurweite 600 mm (Feldbahngleise)  
Antrieb auf 2 Achsen eines Drehgestells  
Betriebsbremse elektrisch  
Not- u. Feststellbremse auf 4 Achsen  
Leistung max. 3 kW bei 24 V  
max. 8 kW bei 48 V  
Bordspannung 24 V  
Akkus: 2 x 88 Ah Pkw- Starterbatterien  
Kollektor- Nennleistung 360 W  
Leermasse ca. 700 kg

Die Geschwindigkeit ist aus Sicherheitsgründen (Gleislage bei Feldbahnen) auf 15 km/h gedrosselt. Theoretische Geschwindigkeit bei 3 kW: ca. 50 km/h.

Für diesen Triebwagen wäre im Dauerbetrieb ein Generator mit 200 Watt Leistung ausreichend, was von einem Dieselmotor von 10 Kubikzentimeter Hubraum bei einem Verbrauch von 50 Gramm Diesel pro Stunde geleistet werden könnte. Der Motor arbeitet dann im besten Betriebspunkt, Leerlauf und ungünstiger Teillastbetrieb entfallen.

#### Viele Systemvorteile

Wahrscheinlich ist dieses System auch besser als die Wasserstofftechnologie, weil Wasserstoff aus Strom erzeugt wird, anschließend aus Wasserstoff wieder Strom gewonnen werden muss. Dabei und beim Speichern und Transport von Wasserstoff treten diverse Verluste auf. Bisher können die Wasserstoff-Autos Bremsenergie und die Energie beim Gefälle-Fahren nicht zurückspeisen. Damit sind sie weit unterlegen.

Entsprechendes gilt für die Energiespeicherung durch chemische Auftrennung von Sand in Silizium und Tetramethylsilan. Das Verbrennen in Kolbenmotoren macht große Probleme, es müsste also wieder Strom erzeugt und damit ein Auto betrieben werden. Dann kann man den Wind- und Solarstrom aber gleich in Akkus speichern.

Notwendig ist die Entwicklung besserer Akkus, als sie in Deutschland bisher eingesetzt werden, z. B. die Lithium Typen oder eine Neuentwicklung auf Magnesiumbasis. Leider sind hier viele Entwicklungen versäumt worden. Mit guten Akkus kann man auch Häuser beleuchten, sogar heizen: Mit einer Wärmepumpe kann aus einer kWh Strom 4 kWh Wärme erzeugt werden, ausreichend fürs Warmhalten wenigstens eines gut gedämmten Raumes im Haus, andere Solar-Warmwassersysteme unterstützend.

Verteilt wird die Energie ganz normal über das Stromnetz.

Nur für meteorologisch Interessierte: Wie dick ist eigentlich unser Himmel?

Hat das Abgas denn überhaupt einen Einfluss?

Wenn man sich die Dicke unseres „Himmels“ vorstellen will- unserer Atmosphäre- dann fehlt ein Vergleichsmaßstab, weil die Luft nach oben immer dünner wird. Bei einem bar Bodendruck hat unsere Atmosphäre man gerade die Masse einer zehn Meter dicken Wasserschicht. Da kann man sich gut vorstellen,

dass der Eintrag von Milliarden Tonnen Schadstoffe unser Klima schon verändertert.

Auch macht das Abgas in den Städten Probleme: Dort, wo die meisten Menschen wohnen, fahren unsere Autos mit dem miesesten Wirkungsgrad. Die Abgase blasen sich die Autofahrer gegenseitig in die Lüftungsschlitze. Auch moderne Kats können bei Kurzstreckenfahrten die Abgase nicht optimal reinigen, erst recht nicht das Kohlendioxid ausfiltern. Das sorgt dann für Erderwärmung, Stürme, Fluten.

Fazit: Unsere Automotoren sind Kolbenpumpen, die Atemluft in Abgas verwandeln, jedenfalls zu ca. 90 %.

#### Zum Autor:

Hans- Ulrich Ottensmeyer, Hamburg,  
Abitur 1966, Studium an der TU Hannover mit Schwerpunkt Kolbenmaschinen und Fahrzeugtechnik, Autoentwickler bei Ford in Köln, während der ersten Ölkrise zusammen mit allen anderen Jungingenieuren entlassen, seit 25 Jahren Sachverständiger für Unfallrekonstruktion, hauptsächlich beauftragt von der Hamburger Justiz.

Seit über 10 Jahren engagiert in der Solarfahrzeugszene, zeitweise Vorsitzender des Hamburger Vereins „Mit Sonne fahren“. Der Vorsitz wurde aus Zeitmangel abgegeben um den anliegend beschriebenen Solartriebwagen zu konzipieren und fertig zu stellen. Im neunten Jahr Fahrer eines Elektroautos und mit dessen Grenzen wohl vertraut.

Anzeige

## SOLARMOBIL - Literatur

### Konstruktion eines Solarrennfahrzeuges

von Thomas Jeltsch, 160 S., zahlr. Abbild.,  
nur noch wenige Bücher vorrätig Euro 13,30

### SOLARSOFT Programm, V.3.1

PC Programm zur Berechnung von Leistung, Verbrauch, Drehmoment etc., jetzt mit Grafik und mit Fahrzyklen,  
3 1/2" Diskette mit schriftl. Anleitung Euro 30,00  
Lauffähig unter DOS bzw. in der Windows DOS-Box  
Jetzt auf Wunsch und Anfrage als „Open Source“ mit  
Quellcode in Turbo Pascal 6.0, zur Weiterentwicklung

### Energie der Zukunft

### Die Ballard Brennstoffzelle und der Weg zum sauberen Elektroauto

von Tom Koppel

Hard-Cover, Fadenheftung, 255 Seiten,  
EURO 19,94 - ISBN 3-926388-58-7

### G. Reichel Verlag, Reifenberg 85

D-91365 Weilersbach,  
Tel. 09194-8900, FAX 09194-4262  
e-mail: info@reichel-verlag.de  
Internet: www.reichel-verlag.de