Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 95 (1977)
Heft: 49

Artikel: Verkehr - Energie - Forschung
Autor: Speiser, Ambros P.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-73498

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 25.12.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

tiv geregelte Koordination der Energieversorgung mit der Besiedlung sichergestellt werden. Eine siedlungsplanerische Konsequenz des Einsatzes der Fernwärmeversorgung beispielsweise ist die Ausscheidung von Fernwärmeversorgungsperimetern, innerhalb welcher weniger und ausserhalb welcher mehr wärmedämmende Massnahmen vorzuschreiben sind, innerhalb welcher jedoch ein Anschlusszwang und ein Konkurrenzverbot durch andere Energieträger erlassen werden müsste.

Eingriffe in die individuelle Verfügungsfreiheit?

Sowohl die quantitative Bezugsetzung der energiewirtschaftlichen und der Besiedlungsplanung wie auch die gesetzliche Regelung der Durchsetzung koordinierter Konzepte ist in allen europäischen Ländern vorderhand erst ein Postulat, nicht eine Tatsache. An sich nicht eben wünschenswerte planungsgesetzliche und technische Eingriffe in die individuelle Verfügungsfreiheit, wie die freie Wahl der Energieträger, sind um so notwendiger, je grösser die Wachstumsraten des Energieverbrauchs sind, weil diese die primäre Ursache von ökologischen und technischen Gleichgewichtsstörungen sind.

Literaturverzeichnis

[1] *Hohl, R.:* «Einwirkungen der Energieerzeugung auf die Umwelt, Betrachtungen zur Gesamtenergiekonzeption der Schweiz», Schweiz. Bauzeitung, Heft 17, 1974.

[2] *Rittel, H. W.* «Gesellschaftliche Alternativen im Berufsverkehr»: in: Aufgabe Zukunft. Qualität des Lebens. Band 3: Verkehr, Frankfurt a.M., 1973.

[3] Real Estate Research Corporation z.H. des Council of Environment Quality etc.: «The Cost of Sprawl», Washington, 1974.

[4] *Dietrich, G., Kaier, U., Solfian, W.:* «Fernwärmeversorgung mit Kernkraftwerken», in: Fernwärme international – FWI, Heft 5, 1975.

[5] Bundesdeutsches Ministerium für Forschung und Technologie: «Auf dem Wege zu neuen Energiesystemen», Teil V; Bonn, 1975.

[6] Fachkommission für regionale Energieversorgung und Energiekonzeption Basel-Stadt und Basel-Landschaft/GRUNEKO AG, hektographierter Zwischenbericht, unveröffentlicht; Basel, 1975.

[7] Zitiert nach *Winkens:* Österreichisches Institut für Bauforschung: «Reduzierung des Energieverbrauchs in Wohnungen», Forschungsbericht 117/1.

[8] Siehe diverse Arbeiten im Rahmen der Gesamtverkehrskonzeption Schweiz (GVK CH).

[9] *Mühlhäuser, H., Helbling, W.:* «Heizwärme aus Kernenergie – technische und wirtschaftliche Aspekte», Technische Rundschau Nr. 15, 1975.

[10] Gruppe für Raumplanung, Energiewirtschaft und Ökologie «ur», Zürich: «Auswirkungen von Entwicklungen im Energiesektor auf die Raum- und Siedlungsstruktur»; Schriftenreihe «Raumordnung» des Bundesministers für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau, Nr. 06.011, Bonn-Bad Godesberg, 1977.

[11] *Winkens, H. P.:* «Vergleichende Betrachtung von energiesparenden Massnahmen» in: Fernwärme international – FWI, 1976.

[12] Österreichisches Institut für Bauforschung: «Reduzierung des Energieverbrauchs in Wohnungen»; Forschungsbericht 117/1.

[13] *Winkens, H. P.,* u.a.: «Die wirtschaftlichen und technischen Ausbaumöglichkeiten der Fernwärmeversorgung in der Bundesrepublik Deutschland – Bericht über die Ergebnisse der Gesamtstudie» in: Fernwärme international – FWI, Heft 5, 1976.

[14] Der Rat der Sachverständigen für Umweltfragen: «Auto und Umwelt»; Gutachten vom September 1973.

Adresse des Verfassers: *Ueli Roth,* dipl. Arch. ETH/SIA, Turnerstrasse 24, 8006 Zürich.

Verkehr — Energie — Forschung

Von **Ambros P. Speiser,** Baden*)

Vor einiger Zeit las ich die Rezension, die ein Zuhörer über einen Fachvortrag an einer Abendveranstaltung einer technischen Gesellschaft geschrieben hatte – ein Vortrag, der offenbar bei den Zuhörern nicht besonders gut angekommen war. Folgendes war zu lesen: «Der Referent sagte viel Neues und viel Wahres. Aber das Wahre war nicht neu, und das Neue war nicht wahr.»

Bedenken

Ich muss ehrlich gestehen, dass ich ein wenig Bedenken habe, der Leser könnte am Schluss dieses Beitrages ein ähnliches Urteil abgeben. Über Verkehr, Energie und Forschung ist nämlich so gut wie alles gesagt worden, was wirklich hörenswert ist. Was allenfalls noch übriggeblieben sein mag, ist durch die Gesamtverkehrskommission (GVK), die Gesamtenergiekommission (GEK) und die forschungspolitischen Instanzen nachgeholt worden, sowie natürlich durch die Kritiker dieser drei Organe, und dazu gehören immerhin sechs Millionen Schweizer...

Wer also jetzt noch etwas Neues sagen wollte, müsste sich etwas derart Ausgefallenes ausdenken, dass sein Gedanke eher ins Reich der Utopie als der Realität fallen müsste.

Im Gegensatz zu Computer und Weltraumfahrt ist eben der Verkehr etwas sehr Altes: Eisenbahnen gibt es seit 155 Jahren, Autos seit etwa 100 und Flugzeuge seit 75 Jahren. Alle diese Verkehrsarten haben also einen erheblichen Grad der technischen Reife erreicht: Die Zeit der sensationellen Neuerungen ist vorbei. Ähnliches gilt für die Energieformen, die man im Verkehr braucht, nämlich Erdöl und Elektrizität.

Die «Energiediskussion»

Neu ist hingegen die «Energiediskussion» als solche. Sie nahm ihren Anfang im Oktober 1973 während der Nahostkrise. Die meisten Menschen sind sich einig, dass diese Ereignisse einen Wendepunkt von weitreichender Bedeutung markierten. Was war eigentlich geschehen – worin bestand die «Energiekrise»? Wir wissen jetzt, dass die Energie zu keinem Zeitpunkt wirklich knapp war. Aber zwei bleibende Effekte lassen sich konkret nennen: Erstens sind die *Erdölpreise sprunghaft gestiegen,* und zweitens ist die Erkenntnis durchgedrungen, dass *zwischen den verschiedenen Energieformen mancherlei Wechselbeziehungen* bestehen und dass die *Voraussetzungen für den Nachschub nicht auf alle Zeit gesichert* sind.

Man kann die Erfindung der Dampfmaschine im Jahr 1765 als den Zeitpunkt bezeichnen, in dem die Menschen begonnen haben, sich die Energie im grossen Umfang zunutze zu machen, um ihr eigenes Schicksal zu verbessern. Die Nahostkrise markiert nicht unbedingt die beginnende Energieknappheit, wohl aber das Ende des Zeitalters der billigen und sorglosen Energie; das Zeitalter hat 208 Jahre gedauert.

*) Vortrag, gehalten an der Generalversammlung der LITRA (Informationsdienst für den öffentlichen Verkehr) am 3. November 1977 in Bern.

Verkehr und Energie

Wenden wir uns jetzt dem Hauptthema zu: Verkehr und Energie. Wir kommen nicht darum herum, zur Einführung einige Zahlen zu betrachten. Aus den Tausenden und aber Tausenden von Daten, die die GVK und die GEK produziert und gewälzt haben, will ich einige ganz wenige herausgreifen.

Die folgenden Tabellen sind sehr stark vereinfacht – so stark, dass ein Kritiker bereits sagen könnte, sie seien verfälscht. Die wirklichen Verhältnisse sind eben wesentlich komplizierter; sie lassen sich im Grunde nicht in so wenigen Zahlen darstellen.

Für den Verkehr wenden wir also einen Viertel unserer Energie (Tabelle 1) auf. Wie verteilt sich dieser Anteil (Tabelle 2)? Hier müssen wir nun sogleich fragen: An welcher Stelle sind diese Energieflüsse gemessen? Die Antwort lautet: Für die Autos und Flugzeuge am Einfüllstutzen des Brennstofftankes, für die Bahnen bei der Einspeisung in die Fahrleitung. *Nicht eingerechnet* sind also die *Wärmeverluste in den Verbrennungsmaschinen und in den elektrischen Fahrleitungen.* Hätten wir dieselelektrische Bahnen, so würde die Energie auch bei den Lokomotiven am Einfüllstutzen gemessen, und es ergäben sich für die Eisenbahnen mindestens dreimal so hohe Zahlen!

Eines ist hier sofort ersichtlich: Die *Bahnen* sind *ein sehr bescheidener Energieverbraucher;* sie werden daher auch nicht als Verschwender eingestuft. Selbst die radikalsten Sparvorschläge, die ich gesehen habe, lassen die Bahnen vollständig ungeschoren!

Nun interessiert aber nicht nur der totale Energieverbrauch, sondern auch der Verbrauch pro erbrachte Transportleistung. Unter den vielen Schätzungen, die ich gefunden habe und die untereinander stark variieren, zeigt Tabelle 3 eine Zusammenstellung von mittleren Werten.

Offensichtlich bleibt die elektrische Bahn mit grossem Abstand Sieger. Sie lässt selbst den Überlandbus, eine sehr energiegünstige Transportart, hinter sich. Die dieselelektrische Bahn ist ungünstiger als die rein elektrische, nimmt aber trotzdem noch den zweiten Platz ein. Am ungünstigsten ist der Flugverkehr; er braucht doppelt so viel Energie wie der PW.

In diesen Zahlen wird die Tatsache eindrücklich vor Augen geführt, dass der *Rollwiderstand zwischen Stahlrad und Stahlschiene ausserordentlich klein* ist – viel kleiner als jener zwischen Pneu und Strasse. Im Flugzeug anderseits ist das dominierende Merkmal der *Luftwiderstand.* Er lässt sich grundsätzlich nicht vermindern, weil er der unzertrennliche Partner des Auftriebes ist, den es braucht, um den Apparat in der Luft zu halten: Ohne Luftwiderstand kein Auftrieb!

Aber nicht nur die Energie bereitet Sorgen; wir müssen auch den *Materialverschleiss* betrachten. Denn nicht nur das Erdöl, sondern auch die übrigen Rohstoffe der Erde werden einmal erschöpft sein. Der Verkehr verbraucht Material, weil Schienen, Räder, Pneus und Strassen abgenützt werden und weil das Roll- und Flugmaterial am Ende seiner Lebensdauer verschrottet wird. Eine diesbezügliche Abschätzung findet sich in Tabelle 4. Der Materialverschleiss bei der Bahn beträgt nur rund ein Zehntel und beim Jumbo sogar nur ein Hundertstel der Zahl für das Auto! Das geliebte Auto schneidet hier ganz besonders schlecht ab. Es zeigt sich, dass in diesen Zahlen praktisch nur die *Endverschrottung* des Verkehrsmittels enthalten ist. Die Abnützung an Pneus, Schienen und dergleichen fällt kaum ins Gewicht.

Im übrigen lässt sich sagen, dass der Materialverschleiss, den der Verkehr verursacht, nicht eine Sorge erster Ordnung darstellt, zumindest was die Ressourcen der Erde betrifft. Verkehrsmittel bestehen hauptsächlich aus *Eisen* und *Aluminium.* Tabelle 5 zeigt, wie gut Mutter Natur für den modernen Menschen vorgesorgt hat: Sauerstoff für die Lebewesen zum Atmen, Eisen für die Autos und Bahnen, Aluminium für die Flugzeuge, Silizium für die Transistoren!

Gedanken zum Personenauto

In den folgenden Abschnitten wird versucht, einiges über die *Wechselwirkung zwischen Verkehr und Forschung* zu sagen. Was kann der Verkehr von der Forschung erwarten? Welche Impulse gehen von den Bedürfnissen des Verkehrs auf die Forschung aus?

Beginnen wir mit einem der Lieblingskinder des heutigen Schweizers, dem Personenwagen. Es fällt schwer, das Verhältnis der Zeitgenossen zu ihrem Auto richtig zu verstehen. Die durchschnittliche Schweizerfamilie ist bereit, einen geradezu unwahrscheinlich grossen Teil ihres frei verfügbaren Einkommens für Anschaffung und Betrieb ihres Autos (oder sogar ihrer Autos) zu opfern, und die Rechtfertigung dafür lässt sich sicher nur teilweise in betriebswirtschaftlichen Überlegungen finden; weitere, wichtige Komponenten müssten in den Tiefen des menschlichen Gefühlslebens gesucht werden.

Zweifellos vermittelt das Wissen, über einen kräftigen Motor und über eine Masse von 1000 oder mehr Kilogramm vollständig zu verfügen und sich im Strassenverkehr mit andern messen zu können, eine persönliche Befriedigung, die grosses Gewicht hat. Einige objektive Zahlen mögen als Ergänzung dienen (Tabelle 6).

Man beachte in Tabelle 6 besonders die Zahl 2,6 Sekunden für die Beschleunigung im Stadtverkehr. Das ist der «Anriss», den manche Fahrer so sehr schätzen; wirklich sportliche Wagen haben eine noch niedrigere Zahl. Öffentliche Verkehrsmittel haben Beschleunigungswerte, die um vieles weniger

Tabelle 1. Gesamtenergieverbrauch der Schweiz 1977

Heizung und Warmwasser	45 %
Verkehr	25 %
Übriges	30 %
Total	100 %

Tabelle 2. Energieverbrauch für den Verkehr

Strassenverkehr	78 %
Bahnen	4 %
Flugzeuge	18 %
Total	100 %

Tabelle 3. Energieverbrauch in kWh pro Passagier-km (bei durchschnittlicher Auslastung)

Personenwagen	0,9
Überlandbus	0,23
Elektrische Bahn	0,04
Dieselelektrische Bahn	0,12
Flugzeug (Jumbo)	2,0

Tabelle 4. Materialverschleiss in Gramm pro Passagier-km

Personenwagen	4
Überlandbus	0,5
Bahn	0,3
Flugzeug (Jumbo)	0,03

Tabelle 5. Wichtigste Elemente der Erdkruste

Sauerstoff	47 %
Eisen	5 %
Aluminium	8 %
Silizium	28 %
	88 %
Alle übrigen	12 %
Total	100 %

Tabelle 6. Beschleunigungszahlen

	PW	*Überlandbus*	*U-Bahn*	*Schnellzug*
0–40 km/h	2,6 s	11	9,3	28
100–120 km/h	4,3 s	–	–	26

«rassig» sind. Betrachten wir dazu noch, dass sich der Autofahrer, ohne jemanden zu stören, das Radioprogramm seiner Wahl einstellen oder seine Unterhaltung aus einem unermesslichen Angebot von Musikkassetten zusammenstellen kann, so haben wir wohl die wichtigsten Gründe für die Beliebtheit des Autos beisammen.

Demgegenüber werden die *Mängel* mit erstaunlicher Gelassenheit in Kauf genommen, die in ihrer Gesamtheit wirklich gravierend sind. Die *Unfallgefahr* ist sehr gross – jeder Fabrikbetrieb mit einer Unfallrate, die mit dem Strassenverkehr vergleichbar wäre, würde von den SUVA-Inspektoren wohl sofort geschlossen werden. An die *Bequemlichkeiten* müssen die Benützer grosse Konzessionen machen: Wer mit seiner Familie in einem mit Personen und Gepäck vollgestopften Auto ans Mittelmeer in die Ferien fährt, unternimmt diese Reise auf einer Komfortstufe, die er, würde sie ihm von der Eisenbahn zugemutet, mit energischem Protest quittierte.

Besonders gravierend sind die *«externen Kosten»* – das heisst die Nachteile, die andern zugefügt werden, für die der Autofahrer aber keine Entschädigung leistet. Die Autobahnen zahlt nicht der Automobilist, sondern das Schweizervolk als Ganzes. Am schlimmsten ist die *Belastung der Umwelt durch Abgase*. Kohlenmonoxid und die Stickoxide sind eigentliche Gifte, und es ist unbestritten, dass in grossen Städten bei extremen Wetterlagen viele Todesfälle auf die Bereicherung der Luft an diesen Substanzen zurückzuführen sind. Die neue Gesetzgebung zielt darauf hin, diese Immissionen stark zu verringern. Was sich aber nicht verringern lässt, ist das Kohlendioxid – es ist das notwendige Endprodukt jeder Verbrennung von flüssigem Treibstoff. Die weltweite Anreicherung der Atmosphäre mit diesem Gas muss zu schweren Bedenken Anlass geben, und es bestehen Anhaltspunkte, dass in einigen Jahrzehnten infolge veränderter Absorption der Sonnenstrahlen auf der ganzen Erde tiefgreifende klimatische Verschiebungen eintreten könnten.

Aber auch vom Standpunkt des Maschinenbauers ist ein Auto nicht so vollkommen wie es uns oft dargestellt wird. Der *Kolbenmotor* ist im Grund eine *enorm komplizierte Maschine* und ist – bei aller Entwicklungsarbeit, die aufgewendet wurde – *wartungsbedürftig und störungsanfällig*. Seine *Lebensdauer* beträgt *nur etwa 3000 Stunden*. Das sind alles Eigenschaften, die bei einem Elektromotor niemals akzeptiert würden!

Auch vom *Energiestandpunkt* ist unser Personenauto ungünstig. Es lässt sich errechnen, dass vom Energieinhalt des Benzins nur etwa 12% als mechanische Arbeit an die Radnabe weitergegeben werden; der Rest geht in die verschiedenen Hilfsbetriebe wie elektrische Anlage und Pumpen und als Abwärme in die Umgebung. Aber alle diese Nachteile werden offenbar gerne in Kauf genommen.

Eine Frage, die im Zusammenhang mit der technischen Neuerung im Automobilbau immer wieder auftaucht, betrifft die *Zukunft des Elektroautos*. Wird der Elektromotor den Benzinmotor ersetzen? Die Antwort lautet: Mit grosser Wahrscheinlichkeit nicht – zumindest nicht in grösserem Umfang bis zum Ende dieses Jahrhunderts. Der Grund liegt nicht etwa im Ungenügen des Elektromotors – der Elektromotor ist in jeder Hinsicht ein hervorragender Energiewandler: Er ist betriebssicher und wartungsfreundlich, hat einen hohen Wirkungsgrad und lässt sich über einen weiten Drehzahlbereich regeln, weswegen er kein Getriebe braucht. Der Grund liegt vielmehr im *Fehlen eines guten Elektrizitätsspeichers*. Heute speichern wir Elektrizität in Bleibatterien – sie haben sich seit Jahrzehnten kaum verbessert; offenbar ist man mit den 0,03 kWh, die man in einem Kilogramm Batterie speichern kann, an der Grenze des Möglichen angekommen.

Die Forschung arbeitet intensiv an neuen Batterietypen, eine der aussichtsreichsten ist die Natrium-Schwefel-Batterie. Mit ihr hofft man, bei gleichem Gewicht auf den dreifachen Energieinhalt zu kommen. Das würde etliche weitere Anwendungen erschliessen. Wie weit wir uns aber trotzdem noch von gewohnten Vorstellungen entfernen müssten, zeigt die dritte Zahl in Tabelle 7: Der *beste Energiespeicher ist und bleibt ein voller Benzintank*. Er enthält je kg Gewicht fast 100mal mehr Energie als die erhoffte Na-S-Batterie. Nun ist freilich einzuräumen, dass der Elektromotor einen viel besseren Wirkungsgrad hat als der Benzinmotor. Aber selbst wenn man das einrechnet, müssten wir, um 50 Liter Benzin in unserem Auto zu ersetzen, eine Batterie von etwa zwei Tonnen Gewicht einsetzen! Natürlich ist das total unrealistisch.

Tabelle 7. Energiemengen in kWh pro kg Gewicht

Blei-Batterie	0,03
Na-S-Batterie	0,1
Benzintank	9

Wir müssten also, wollten wir das Elektroauto akzeptieren, unsere Vorstellungen darüber, was ein PW leistet, gewaltig nach unten korrigieren: Der Aktionsradius muss stark vermindert werden; die Vorstellung von «Anriss» (siehe 2,6 Sekunden von 0 bis 40 km/h) bedarf einer totalen Revision. Wir müssten uns mit einem Fahrzeug von ganz bescheidenen Fahreigenschaften begnügen. Das Wiederaufladen dauert mehrere Stunden und nicht, wie bisher, 60 Sekunden für das Füllen des Tanks; eine unerwartet notwendig werdende Fahrt kann also, wenn die Batterie entladen ist, gar nicht ausgeführt werden. Für das Heizen des Innenraumes im Winter steht nicht, wie heute, beliebig viel Abwärme zur Verfügung; vielmehr müsste man dafür wertvolle Nutzenergie aus der Batterie beanspruchen, mit der entsprechend sparsam umzugehen wäre.

Wir dürfen daher davon ausgehen, dass das Elektroauto für den Rest dieses Jahrhunderts auf einige besondere Anwendungen begrenzt bleiben wird, wie zum Beispiel Lieferautos im Stadtrayon. In der Funktion als Privatauto müssten so grosse betriebliche Nachteile, Komforteinbussen und Mehrkosten in Kauf genommen werden, dass man sich eine freiwillige Umstellung nicht vorstellen kann.

Und noch ein letzter Aspekt sollte nicht vergessen werden: Vieles deutet darauf hin, dass wir in den nächsten 10–15 Jahren keine überschüssige Elektrizität für die Aufladung von Batterien haben werden, sondern im Gegenteil zu wenig. Also sind auch von dieser Seite her enge Grenzen gesetzt!

Das Privatauto des Jahres 2000 wird also kein Elektroauto sein. Wie wird es denn aussehen? – Prognosen zu machen ist riskant; man kann sich irren und wird dann kritisiert. Es ist immer leichter, etwas Richtiges über die Vergangenheit zu sagen als über die Zukunft! Trotzdem will ich versuchen, ein Bild des Autos des Jahres 2000 zu zeichnen – auf die Gefahr hin, dannzumal von meinen Söhnen und Enkeln belächelt zu werden.

Ich betrachte es als sehr wahrscheinlich, dass die kommenden 23 Jahre im Autobau ungefähr gleich viel Änderungen bringen werden wie die vergangenen 23 Jahre. Das bedeutet, dass sich die Grundkonstruktion nicht ändert: Ein 4- oder 6-Zylinder-4-Takt-Benzinmotor, längs- oder querstehend, ein handgeschaltetes oder automatisches Getriebe. An der Karosserie gibt es höchstens kosmetische Veränderungen. Grosse

Änderungen erfährt hingegen die elektrische und elektronische Ausrüstung. Die strengen Abgasbestimmungen zwingen vermutlich zur Benzineinspritzung; Sonden im Abgas bilden Bestandteil einer Regelvorrichtung für eine genaue Dosierung der Benzin- und Luftmengen. Der kostenmässige Druck in Richtung auf geringeren Benzinverbrauch wird die Konstrukteure zwingen, das Äusserste an Wirkungsgrad herauszuholen, doch wird die Brennstoffersparnis kaum 30% überschreiten können. Alle diese Massnahmen werden eine erhebliche Verteuerung des Autos zur Folge haben.

Zusammenfassend lässt sich sagen: trotz viel Forschung und Entwicklung, wird das Auto des Jahres 2000 seinem Besitzer ungefähr die gleichen Freuden und Leiden bescheren wie das heutige. Es wird ein *teures, verschwenderisches, nicht sehr umweltfreundliches, aber geliebtes Kind* des Schweizers sein.

Die Eisenbahn

Vom Standpunkt des Ingenieurs ist die Bahn in jeder Hinsicht ein viel besseres Verkehrsmittel als das Auto. Die Zahlen über Energieverbrauch und Materialverschleiss (Tabellen 3 und 4) sprechen eine deutliche Sprache. Einer der Gründe liegt in den überragend *günstigen Eigenschaften des Systems Stahlschiene – Stahlrad,* das unsere Vorväter in den 1810er und 20er Jahren gefunden haben. Es gibt in der Physik der Bewegungen kaum etwas so Günstiges wie das Rollen von Stahl auf Stahl: Sowohl Reibung als auch Abnützung sind nicht mehr zu unterbieten. (Damit hängt ja auch der Siegeszug des Kugellagers zusammen, das sich den gleichen Vorgang zunutze macht. Die Eisenbahn fährt gewissermassen auf einem abgewickelten Kugellager!) Daher hat sich dieses System über anderthalb Jahrhunderte praktisch unverändert gehalten. Weiter bringt es die äussere Form des Eisenbahnzuges mit sich, dass der Luftwiderstand (bezogen auf den Sitzplatz oder die Frachttonne) ausserordentlich niedrig ist. Dem Passagier bietet die Eisenbahn eine Stufe des Komforts und der Bewegungsfreiheit, die er weder im Auto noch im Bus noch im Flugzeug findet.

Was wird die Zukunft bringen und was hat die Bahn von der Forschung zu erwarten? Auch hier können wir wohl sagen, dass die verbleibenden 23 Jahre dieses Jahrhunderts vielleicht etwa gleich viel Änderungen bringen werden wie die vergangenen 23 Jahre. Unbestritten ist, dass das bewährte System Stahlschiene – Stahlrad bleiben wird, und zwar weit über die Jahrhundertwende hinaus. Es lässt sich für Geschwindigkeiten bis 250 oder 300 km/h verwenden, und vereinzelte Strecken werden in dieser Weise ausgebaut werden.

Magnetkissen und Luftkissenbahn werden ausgiebig erforscht und immer wieder als zukunftsweisend beschrieben. Sie sind aber *kompliziert, teuer* und *brauchen viel Energie.* Ihre Vorteile kommen erst bei Geschwindigkeiten über etwa 300 km/h zum Tragen, und man muss sich ernsthaft fragen, ob in europäischen Verhältnissen dieser Geschwindigkeitsbereich nicht viel eher dem Flugzeug zuzuweisen ist. (Ich möchte nur darauf hinweisen, dass ein Fahrzeug bei dieser Geschwindigkeit einen enormen Lärm erzeugt!) Im Jahr 2000 wird es die Magnetkissen- und Luftkissenbahnen höchstens als Versuchsstrecken geben, und auch für eine spätere Zeit setze ich zu diesen Systemen ein grosses Fragezeichen.

Grosse *Fortschritte* können hingegen aus allen jenen Bereichen kommen, die auf der *Elektronik* und der *Nachrichtentechnik* beruhen, wozu das ganze Gebiet der *Steuerung,* der *Signalisierung* und der *Sicherheit* gehört. Viel Interessantes in dieser Richtung kann man an der Stadt- und Vorortbahn in der *Region San Francisco* beobachten; sie trägt den Namen «Bay Area Rapid Transit», abgekürzt BART. Dort sind auf den Gebieten Steuerung und Regelung viele der modernsten Gedanken aus der Computer- und Weltraumtechnik übernommen und ans Eisenbahnwesen angepasst worden. Dass daneben auch grobe, zum Teil unverzeihliche Fehler vorgekommen sind, ändert nichts an der Tatsache, dass es sich hier um ein äusserst lehrreiches (wenn auch kostspieliges) Experiment handelt.

In der *Schweiz* stellt die *Linienzugbeeinflussung* einen ersten Schritt in Richtung einer viel weitergehenden *Automatisierung* des Bahnverkehrs dar. Das System stellt eine Datenverarbeitungsanlage mit hoher signaltechnischer Sicherheit dar. Es unterhält eine kontinuierliche Sprech- und Datenverbindung mit den Zügen und vermittelt eine ständige Geschwindigkeitsüberwachung.

Weitere Stichworte sind: *Kollektorlose Fahrmotoren, Drehstromlokomotive, Choppersteuerung.* Diese Neuerungen setzen elektronische Geräte an Stelle der Apparateteile, die dem Verschleiss unterworfen sind, und erhöhen so die Betriebssicherheit und die Verfügbarkeit.

Das Flugzeug

Neben dem Auto und der Bahn wird selbstverständlich auch das Flugzeug seinen Platz behalten und behaupten. Wie wird das Verkehrsflugzeug des Jahres 2000 aussehen? Auch hier kann man mit ziemlicher Sicherheit sagen: Im Grundkonzept nicht sehr verschieden vom heutigen. Neuerungen wie seinerzeit die Einführung der Druckkabine und des Strahltriebwerks sind nicht in Sicht. Ob sich das Überschall-Verkehrsflugzeug weiter verbreitet, ist fraglich; denn bekanntlich müssen seine relativ bescheidenen betrieblichen Vorteile mit hohen Mehrkosten erkauft werden, und das gute Sprichwort «Wo niemand zahlt, wird nichts» hat auch hier seine Gültigkeit.

Auch im Flugverkehr wird der grosse Fortschritt von der Elektronik und Nachrichtentechnik herkommen. Wir dürfen ruhig annehmen, dass für Blindlandung und Navigation im Jahr 2000 Systeme in Betrieb sein werden, die wir uns heute kaum vorstellen können.

Was wird die weitere Zukunft bringen? Hier sind einige Worte zum Thema *«Wasserstoff als Energieträger»* am Platz; von dieser Energieform wird ja im Zusammenhang mit den alternativen Energien viel gesprochen. – Ich glaube nicht, dass in diesem Jahrhundert der Wasserstoff im Energiehaushalt der Menschen eine grosse Rolle spielen wird – er eignet sich als Energieträger höchstens in Sonderfällen. Er hat aber eine wichtige Eigenschaft: Sein Energieinhalt je Kilogramm Gewicht ist etwa dreimal so gross wie jener des Flugbenzins. Da nun das Gewicht mit hohem Multiplikator in die Kostenrechnung des Flugbetriebs eingeht, ist ein Flugzeug, das als Treibstoff verflüssigten Wasserstoff mitführt, nicht total von der Hand zu weisen. Die Triebwerke könnten praktisch unverändert übernommen werden; nicht aber die Treibstofftanks: Flüssiger Wasserstoff hat zwar je Kilogramm einen höheren Energieinhalt als Flugbenzin, nicht aber je Liter. Es müssten grosse Zusatztanks vorgesehen werden – Alles das könnte die Technik des 21., aber sicher nicht des 20. Jahrhunderts sein!

Technische Neuerung und Energie

An dieser Stelle seien einige Betrachtungen über die *Natur des technischen Fortschrittes* eingeflochten, und besonders über dessen *Geschwindigkeit.* Es wird oft gesagt, die Überführung eines wissenschaftlichen Ergebnisses in die Technik gehe heute viel schneller vor sich als früher. In dieser allgemeinen Form stimmt diese Aussage sicher nicht: Zwischen der Erfindung der Dampfturbine und dem ersten dampfturbinenbetriebenen Schiff verstrichen nur 13 Jahre (das war um die Jahrhundert-

wende), während es vom Nachweis der nuklearen Kettenreaktion im Dezember 1941 bis zum ersten kommerziell kalkulierten Kernkraftwerk 28 Jahre dauerte. Andere wieder sagen, diese Zeitspanne habe sich generell vergrössert, und weisen als Beispiel auf die unendlich langen Prozeduren für die Prüfungen der Nebenwirkungen eines neuen Heilmittels hin. Aber hier kann man als Gegenbeispiel die Taschenrechner und die elektronischen Armbanduhren nennen, die den Weg vom Laboratorium zur weltweiten Verbreitung in ganz wenigen Jahren zurückgelegt haben.

Ich glaube, die Zeitspanne hat sich im Lauf der Jahrzehnte weder verlängert noch verkürzt. Aber die folgende Beobachtung ist sicher richtig: Der *technische Fortschritt war schon immer auf den Gebieten Elektronik, Nachrichten- und Computertechnik viel schneller als auf den Gebieten Energie und Verkehr,* wo die Zeitspanne zwischen wissenschaftlicher Bestätigung eines neuen Systems und kommerzieller Realisierung im grösseren Umfang 30–50 Jahre beträgt; das wird auch so bleiben. Dafür gibt es zwei Gründe. Erstens sind wir auf den *Gebieten Energie und Verkehr schon sehr nahe bei den Grenzen angekommen, die durch die Grundgesetze der Natur gegeben sind;* der Wirkungsgrad eines grossen Generators beispielsweise ist 99%, und 100% kann man bekanntlich nicht erreichen. In der *Elektronik hingegen sind wir von den fundamentalen Grenzen noch weit entfernt.* Und zweitens stützen wir uns in Verkehr und Energie auf Anlagen, die enorme Investitionen darstellen und die eine Gebrauchszeit von vielen Jahrzehnten haben: Das Netz der SBB oder die Elektrizitätswerke der Schweiz lassen sich nicht in einigen Jahren durch etwas Neues ersetzen. Demgegenüber verursacht der Ersatz eines Taschenrechners durch ein neues Modell nicht einmal so viel Mühe wie der Kauf von einem Paar neuer Schuhe! Aus den gleichen Gründen lässt sich die technische Zukunft auf den einen Gebieten viel leichter voraussagen als auf den andern: Von Verkehr und Energie im Jahr 2000 haben wir heute eine klare Vorstellung, in der Elektronik und ihren Auswirkungen kann uns hingegen die Zwischenzeit total unerwartete Dinge bringen.

Weiter spielen auf den Gebieten Energie und Verkehr *politische und wirtschaftspolitische Gesichtspunkte* eine besonders starke Rolle. Der Fortschritt im amerikanischen Automobilbau wird weitgehend durch das Spannungsfeld zwischen *Detroit* und *Washington* bestimmt – richtiger wäre es wohl, «gehemmt» zu sagen. Das Einvernehmen zwischen Gesetzgebern und Konstrukteuren ist dort recht unerfreulich. Dementsprechend werden, wie in der Vergangenheit, die wichtigen Neuerungen aus Europa kommen und nicht aus den USA. Präsident *Carters* Energieprogramm ist vorwiegend ein politischer und wirtschaftspolitischer, nicht ein technisch-wissenschaftlicher Massnahmenkatalog, obwohl natürlich die Forschung darin auch vorkommt. Es enthält etliche Elemente, die wir in der *Schweiz* schon längst verwirklicht haben, so die kräftige Besteuerung des Benzins, die Besteuerung der Autos nach Motorenstärke und die Unterscheidung der Elektrizitätstarife nach Spitzen- und Schwachlastzeiten.

Die Frage, ob auf den Gebieten Verkehr und Energie der Fortschritt vorwiegend von den USA oder von Europa herkommen wird, lässt sich nicht allgemein und schlüssig beantworten. Der Flugzeugbau ist auch heute noch eine ausgesprochene Stärke der Amerikaner, während auf dem Gebiet der Bahnen ein unverkennbarer «Technological Gap» zugunsten Europas besteht. In der elektrischen Energieversorgung liegen die Stärken wohl ungefähr gleichmässig verteilt.

Die Elektrizitätsversorgung

Die Zukunft der elektrischen Energie hängt aber nicht nur vom technischen Stand der Forschung und der Industrie ab. Das dominierende Problem des Tages ist vielmehr die Frage nach den Kernkraftwerken oder, präziser gesagt, die *öffentliche Meinung über Kernkraftwerke.* Und weil der öffentliche Verkehr in der Schweiz fast vollständig elektrisch ist, bestehen zwischen den beiden Fragen wichtige Wechselbeziehungen: Das Schicksal der Kernkraftwerke kann dem Verkehr nicht gleichgültig sein.

Was soll man darüber sagen? Ich berichte nichts Neues, wenn ich feststelle, dass breite Kreise unserer Bevölkerung gegenüber dem Kernkraftwerk-Bauprogramm skeptisch eingestellt sind. Die Ursache ist nicht leicht zu ergründen. Stellt man Angehörigen der verschiedensten Bevölkerungsschichten die Frage «Warum sind Sie gegen Kernkraftwerke?» so erhält man ganz unterschiedliche und zumeist sehr unklare Antworten. Sicher ist, die Furcht vor der nuklearen Gefährdung macht nur einen Teil des Spannungsfeldes aus. Mindestens ebenso wichtig ist die Antipathie gegen grosse Produktionseinheiten und gegen die Auswirkungen der Kühltürme. Ebenso sicher ist, dass die Gesellschaftsveränderer aus dem revolutionären Lager, die aufs Trittbrett dieser Bewegung aufgesprungen sind, dieselbe zwar anheizen, aber nicht als die eigentlichen Verursacher anzusehen sind.

Tatsache ist, dass das Schweizervolk verlangt, dass an die Kernkraftwerke Sicherheitsanforderungen gestellt werden, die um vieles höher sind als im Fall anderer Einrichtungen, mit denen wir leben. Wollte man an alle wirtschaftlichen Tätigkeiten so strenge Sicherheitsanforderungen anlegen wie es für die nukleare Stromerzeugung verlangt wird, so müsste die gesamte Elektrizitätsversorgung, die chemische Industrie und die Maschinenindustrie stillgelegt werden – vom Strassenverkehr gar nicht zu reden. Die Ursache für diese einseitige Haltung ist schwer zu ergründen.

Sollte das verlangte vierjährige Moratorium für die Bewilligungen von Kernkraftwerken zustandekommen, so würden wir einem schlimmen Engpass in unserer Elektrizitätsversorgung entgegengehen, wovon selbstverständlich auch der öffentliche Verkehr betroffen würde. Aber schon jetzt stehen wir vor der Situation, dass durch zahlreiche legale und illegale Aktionen der Gang der Arbeiten um mehrere Jahre verzögert worden ist. Die GEK hat den Auftrag, ein Energieversorgungskonzept vorzulegen, das den Forderungen «Umweltschutz – Versorgungssicherheit – Wirtschaftlichkeit» gerecht wird. *Es könnte sein, dass das Schweizervolk die Rahmenbedingung in dieser Form nicht mehr akzeptiert;* dass, unter dem Druck der Verhältnisse, die These lautet: «In erster Linie keine Kernkraftwerke mehr – und erst in zweiter Linie den Forderungen Umweltschutz – Versorgungssicherheit – Wirtschaftlichkeit gerecht werden.» Fragt man, was denn der Sinn dieser veränderten Rangfolge sei, so kann die Antwort nur sein: *Der Souverän will es – mit andern Worten: Der Kaiser hat es befohlen, und der Kaiser pflegt seine Erlasse nicht mit einer Begründung zu versehen.*

Ich bin zuversichtlich, dass wir letzten Endes diese Klippe umschiffen werden, aber der Weg könnte schwierig und zeitraubend sein, und sicher auch kostspielig. Und die Rechnung wird das Schweizervolk zu berappen haben!

Ein Trost verbleibt – um jetzt zum Hauptthema zurückzukehren – inmitten dieser Situation voller Fragezeichen: Selbst der überzeugteste Gegner der Kernenergie bestreitet die Aussage nicht, die ich jetzt an den Schluss stellen will: Die elektrische Beförderung von Last auf der Schiene ist in jeder Hinsicht etwas sehr Gutes!

Adresse des Verfassers: Prof. Dr. *A. P. Speiser*, Chef der Konzernforschung, BBC Aktiengesellschaft Brown, Boveri & Cie, 5405 Baden-Dättwil.