

**Zeitschrift:** Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses

**Herausgeber:** Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen

**Band:** 84 (1993)

**Heft:** 23

**Artikel:** Die Bedeutung der elektrischen Energie im Verkehr heute und morgen

**Autor:** Roffler, Markus

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-902754>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **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. [Voir Informations légales.](#)

### **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. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 04.04.2025

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

Ein Drittel der Bruttoenergie verbrauchen wir mit dem Verkehr, und dies fast ausschliesslich mit Verbrennungsmotoren auf unseren Strassen. Dabei bringen unsere elektrischen Bahnen 12% des gesamten Personenverkehrs und gar 42% des Güterverkehrs auf und verbrauchen nur gerade 1% der Bruttoenergie. Ein technischer Generationswechsel bei den Bahnen bringt weitere beträchtliche Energieeinsparungen. Was aber not tut, ist ein Umdenkprozess, welcher Einsparungen beim Mammutanteil des Energieverbrauchs im Strassenverkehr einläutet.

# Die Bedeutung der elektrischen Energie im Verkehr heute und morgen

■ Markus Roffler

## Ausgangslage

Die Verkehrsnachfrage in der Schweiz hat sich in den letzten 20 Jahren verdoppelt (Bild 1) [1]. Dafür gibt es eine Reihe von Ursachen, eine bedeutende ist sicher die gewaltige Verbesserung des Verkehrsangebotes, das heisst die verbesserten Infrastrukturen für den Verkehr zu Wasser, auf der Strasse, auf der Schiene und in der Luft. Eine weitere wichtige Ursache ist aber auch die Tatsache, dass das Auto für breite Bevölkerungsschichten erschwinglich geworden ist. Dies wiederum hat zu einer entsprechenden Besiedlung geführt, bei der das Bedürfnis nach zwei Autos pro Familie zum Standard geworden ist.

Der gesamte Bruttoenergieverbrauch in der Schweiz ist in dieser Periode um 41% gestiegen, derjenige für den Verkehr aber um 58%. Heute beträgt der Anteil des Verkehrs am Endverbrauch 31,3%, vor 20 Jahren waren es noch 23,7%. Der Anteil von Treibstoffen – Benzin und Dieselöl – beträgt dabei 96,6% und derjenige der elektrischen Energie nur gerade 3,4% (Bild 2). Mit diesem Energieanteil von 3,4% bringt die Bahn aber 12% des gesamten Personenverkehrs und gar 42% des gesamten Güterverkehrs auf. Der Anteil unserer Bahnen am gesamten Endverbrauch beträgt nur gerade 1% [2].

In absoluten Zahlen ist der Energieverbrauch der Verbrennungsmotoren für den Verkehr 24mal grösser als derjenige von elektrischen Motoren (Bild 3). Bezogen auf die jeweilige gesamte Transportleistung ist

der Energieverbrauch von Verbrennungsmotoren heute immer noch rund 10mal grösser.

Interessant ist aber nicht nur der Vergleich Schiene zu Strasse, sondern auch ein Blick über die Grenzen. Im internationalen Vergleich ist die Schweiz das Land der Eisenbahnen. Anzahl Zugreisen pro Einwohner, gereiste Eisenbahnkilometer pro Einwohner, beförderte Tonnenkilometer pro Einwohner oder Schienenkilometer pro Landesfläche – in allen Vergleichen ist die Schweiz Spitzenreiter (Bild 4).

Gerade dem Eisenbahnland Schweiz steht die Pionierrolle, etwas gegen die Energieverschwendung im Verkehr zu unternehmen, sehr gut an. Der Umdenkprozess in der Bevölkerung ist eingeleitet, die Abstimmungsergebnisse über die Bahn 2000, die Zürcher S-Bahn und die Neat sind gute Beispiele dafür. Diese Werke sind allerdings nur flankierende Massnahmen der Bahn. Sie bewirken primär eine weitere Verbesserung der Infrastrukturen für den Verkehr und damit einen weiteren Anstieg der Mobilität. Auch wenn sie einmal fertiggestellt sein werden, wird deswegen alleine noch kein einziger Liter Benzin weniger verbrannt.

Eine echte Verlagerung oder gar Einschränkung des energieverschwendenden Verkehrs wird erst eingeleitet, wenn der Verkehrskonsument einmal für die gesamten verursachten Kosten aufzukommen hat. Dafür wäre aber ein politischer Prozess notwendig, um diese Kosten anstatt mit allgemeinen Steuereinnahmen zu decken durch den direkten Verursacher, nämlich den Verkehrskonsumenten, bezahlen zu lassen. Selbstverständlich gilt dies nicht nur für den Strassenverkehr, sondern für alle Verkehrsträger, welche immer noch mit allgemeinen Steuergeldern subventioniert werden. Eine solche

### Adresse des Autors:

Markus Roffler, Dipl. El.-Ing. ETH,  
ABB Verkehrssysteme AG, 8050 Zürich.

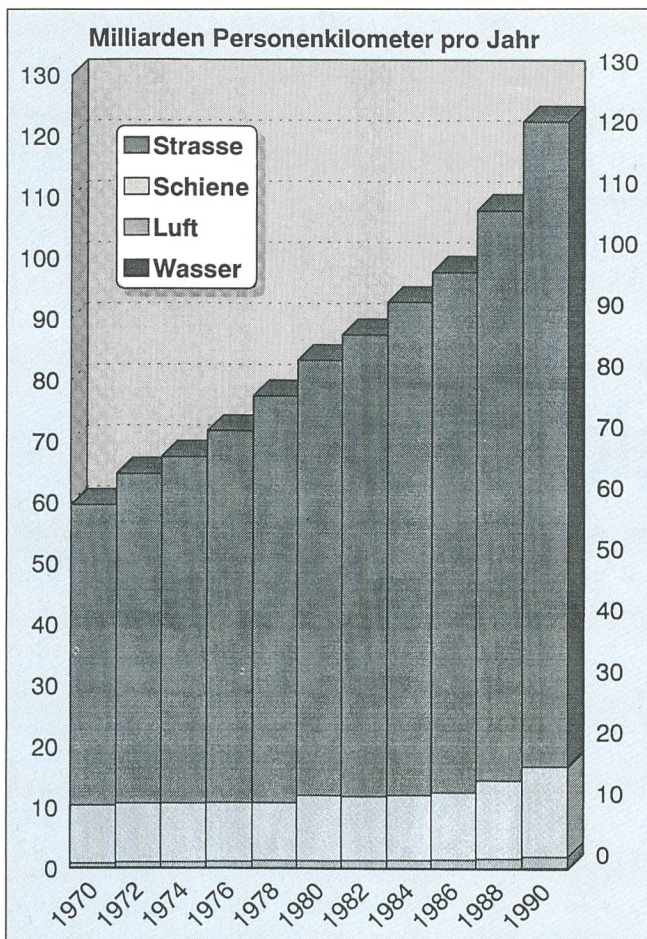


Bild 1 Verkehrsnachfrage in der Schweiz

Pro Stunde werden in der Schweiz 4000 m<sup>2</sup> Kulturland nur für Strassen verbaut. Auch dieser ungeheure Verbrauch unserer beschränkten Kulturlfläche für neue Verkehrswege, die allgegenwärtige Lärmbelästigung durch den Verkehr und die Luftemissionen sollten Anlass dazu sein, ein Umdenken in der Bevölkerung einzuleiten.

In der Annahme, dieses Umdenken finde statt, betrachten wir, mit welchen technischen Massnahmen die Bahn die zukünftigen Forderungen nach ökonomischem Umgang mit der Energie erfüllt.

## Einfluss der Umformung elektrischer in mechanische Energie

99,9% der Schweizer Bahnen sind elektrifiziert. Prinzipiell müssen wir zwischen der Bahnstromversorgung mit Wechselspannung (in der Schweiz generell mit 16<sup>2</sup>/<sub>3</sub> Hz) und mit Gleichspannung unterscheiden und diese getrennt betrachten.

### Wechselstrombahnen

Betrachtet man die Umformung der elektrischen Energie in mechanische Arbeit sind die folgenden drei Aspekte massgebend: der Wirkungsgrad, der Leistungsfaktor und die Rekuperation (beim Bremsen zurückgewonnene Energie).

Der Wirkungsgrad ist definiert als mechanische Leistung an den Triebädern, dividiert durch die über den Pantograph und die Schiene eingespeiste Wirkleistung. Bei elektrischen Triebfahrzeugen ist dieser Wirkungsgrad in der Regel um 0,8. Verantwortlich für die rund 20% Verluste sind im wesentlichen die Komponenten der Energieumformung (Transformator, elektronischer Umrichter und die Fahrmotoren sowie die Aggregate für deren Kühlung).

Der grösste Anteil an den Verlusten haben immer noch die elektrischen Leiter. Das Optimum zwischen den widersprüchlichen Anforderungen nach geringem Gewicht und geringen Verlusten liesse sich ohne weiteres verschieben: mehr Kupfer ergibt geringere Verluste, aber höheres Gewicht. Gerade mit Rücksicht auf die Energiefrage wird sich zukünftig der Schwerpunkt dieser Optimierung in Richtung der Verlustreduktion verschieben müssen. Ein möglicher Ansatz dazu wäre, bei zukünftigen Ausschreibungen für Triebfahrzeuge eine Wirkungsgradpönale oder einen Bonus festzulegen, wie das im Kraftwerkssektor schon seit langem üblich ist.

Mit einer gezielten Optimierung in Richtung der Verlustminimierung dürfte eine Erhöhung des Gesamtwirkungsgrades von heute 0,8 auf 0,85 erreichbar sein. Allerdings muss damit eine Erhöhung des Gewichtes der

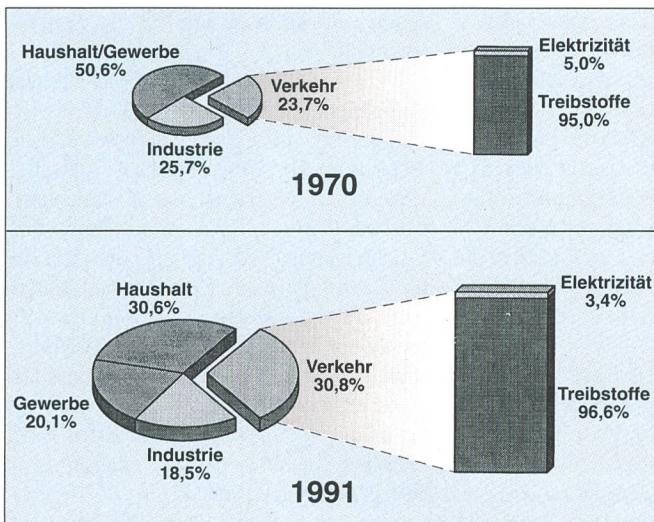


Bild 2 Bruttoenergieverbrauch in der Schweiz

Anpassung der Preise für den Verkehr an dessen effektiven Kosten hätte mit Sicherheit positive Auswirkungen auf den gesamten Energieverbrauch.

Laut Unfallstatistiken sind auf den Schweizer Strassen 270mal mehr Unfallopfer zu beklagen als bei der Bahn. Bezogen auf die gefahrenen Personenkilometer sind es immer noch 40mal mehr. In den letzten Jahren sind die Unfallzahlen zwar trotz des weiteren Anstieges des Verkehrs zurückgegangen.

Sicherheitseinrichtungen wie Airbags werden diesen Trend weiter unterstützen. Die schwächeren Verkehrsteilnehmer – Kinder, ältere Leute, Fussgänger, Velofahrer – profitieren davon aber nicht und sind durch die beobachtete Risikokompensation (die zusätzliche Sicherheit wird durch grössere Risikobereitschaft kompensiert) eher noch mehr gefährdet. Auch ein Zebrastrifen ermöglicht einem Fussgänger keineswegs ein sicheres Überqueren der Strasse.

elektrischen Ausrüstung des Triebfahrzeuges in Kauf genommen werden.

Der *Leistungsfaktor* ist definiert als Wirkleistung dividiert durch die gesamte Scheinleistung einschliesslich der Oberwellenscheinleistung. Er setzt sich also zusammen aus dem  $\cos \varphi$  der Grundwelle und dem  $\cos \varphi$  aller Oberwellen, entsprechend den Fourieranalysen von Spannung und Strom. Während der Leistungsfaktor bei den früheren Triebfahrzeugen mit Stufenschaltersteuerung bei 0,8 bis 0,9 lag, konnte mit der Einführung der Anschnittsteuerung mit Thyristoren nur noch 0,7 bis 0,8 erreicht werden (Bild 5). Dies führte zu einer massiven Erhöhung des Blindstromkonsums dieser Fahrzeuge. Bei einem Leistungsfaktor von 0,8 beträgt der Blindstrom 60% des Wirkstroms, bei 0,7 wird er bereits gleich gross.

Die moderne Leistungselektronik mit GTO-Thyristoren (Gate Turn Off-Thyristoren) hat gerade beim Leistungsfaktor gewaltige Verbesserungen gebracht. Mit der Markteinführung der GTO-Thyristoren konnte nämlich eine Schaltung realisiert werden, mit welcher ein Betrieb des Fahrzeuges mit einem Leistungsfaktor von nahezu 1 möglich ist. Es ist der sogenannte Vierquadrantensteller (4QS). Die daraus resultierende starke Reduktion des Blindstrombedarfs hat grosse direkte und indirekte Auswirkungen auf den gesamten Energiebedarf der mit Wechselstrom betriebenen Eisenbahnen. Diese Auswirkungen lassen sich am besten mit Hilfe eines Vektordiagrammes erläutern (Bild 6).

Das Diagramm zeigt die Spannungs- und Stromzeiger eines Triebfahrzeuges sowie die resultierenden Spannungsabfälle in der Fahrleitung. Daraus ergeben sich die Verhältnisse am speisenden Unterwerk. Da ein grosser Anteil der Fahrleitungsimpedanz induktiv ist, verursacht der grössere Phasenwinkel zwischen Spannung und Strom bei einem schlechteren  $\cos \varphi$  ein Drehen des Spannungsabfalls in Richtung der Phasenlage der speisenden Spannung. Ein schlechter  $\cos \varphi$  bewirkt also nicht nur ein Ansteigen des Primärstromes bei gleicher Wirkleistung, sondern dessen Phasenlage auch ein starkes Ansteigen des Spannungsabfalles in der Fahrleitung. Dieser Spannungsabfall muss durch Anheben der Unterwerksspannung kompensiert werden, wenn den Triebfahrzeugen trotzdem die volle Leistung zur Verfügung stehen soll. Dies bedeutet eine starke Anhebung der Scheinleistung in der elektrischen Energieversorgung der Bahn. Bei einem typischen Betriebsfall mit zum Beispiel  $\cos \varphi = 0,7$  beträgt diese notwendige Anhebung der Scheinleistung 19%. Bei gleichem Wirkleistungsbezug beträgt die Anhebung der speisenden Scheinleistung nur 5%, wenn das Fahrzeug mit  $\cos \varphi = 1$  betrieben werden kann, weil es mit einem 4QS ausgerüstet ist.

Bild 3 Aufteilung des Energieverbrauchs für den Verkehr

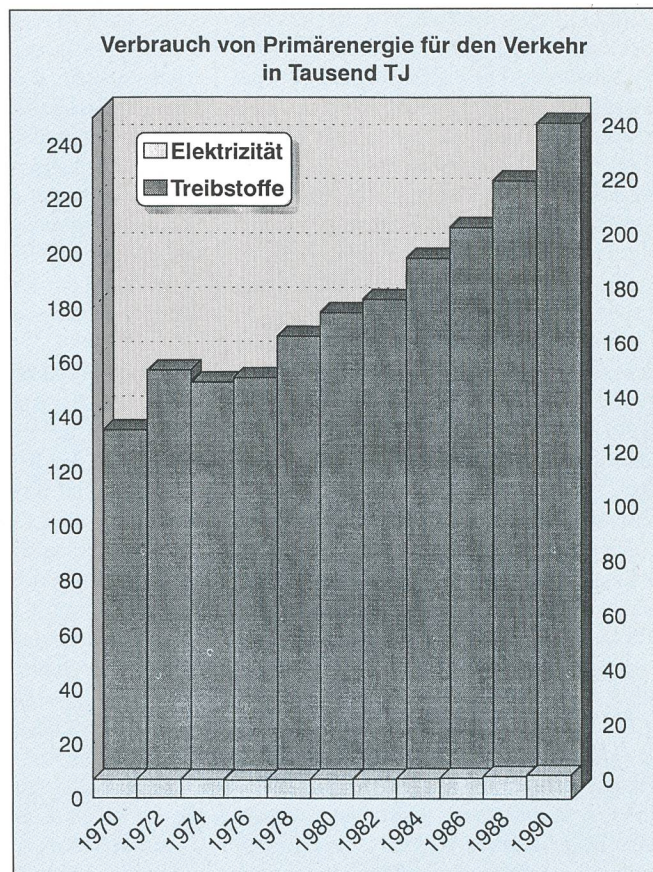
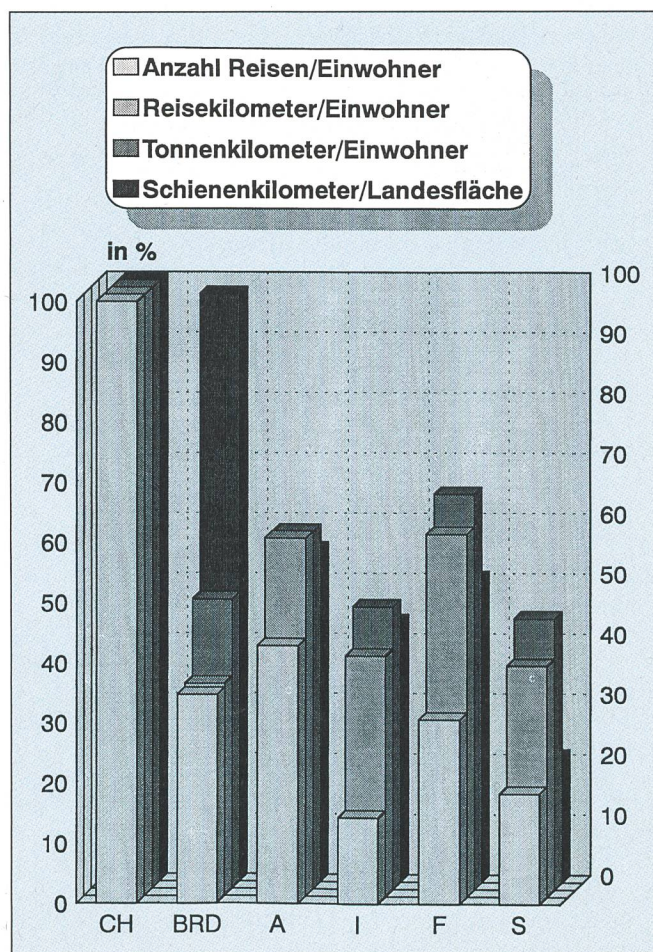


Bild 4 Bahntransporte im internationalen Vergleich



Rekuperation bedeutet das Rückspeisen elektrischer Energie in das Fahrleitungsnetz beim Bremsen. Diese Rückspeisung hat eine bedeutende Wirkung bei einem dichten Vortragsnetz, zum Beispiel bei einem S-Bahn-Betrieb oder bei langen Gefällsstrecken, wie beispielsweise am Gotthard. Die Rückspeisungsrate kann bis zu 30% der aufgenommenen Energie betragen. Beim Fernverkehr ist die Energierückgewinnung naturgemäss wesentlich geringer.

Sehr wichtig ist auch bei der Rekuperation der Leistungsfaktor. Arbeitet nämlich die Rekuperationsschaltung mit einem schlechten Leistungsfaktor, wie dies mit älteren Triebfahrzeugen der Fall ist ( $\cos \varphi = 0,5$  und kleiner), erhöht sich dadurch der Blindleistungsenergiebezug massiv. Dies hat zur Folge, dass der Spannungsabfall in der Fahrleitung und im Unterwerk noch mehr steigt, was wiederum zur scheinbar paradoxen Situation führt, dass beim Rekuperieren die Spannung am Fahrzeug sinkt, anstatt ansteigt, wie man es eigentlich erwarten dürfte (Bild 7). Energetisch hat dieser Effekt den gewichtigen Nachteil, dass die rekuperierte Energie nur über relativ geringe Distanzen zu anderen Verbrauchern transportiert werden kann oder, anders ausgedrückt, dass sozusagen die Fahrleitung als Bremswiderstand missbraucht wird.

Ganz anders sind die Verhältnisse, wenn das Fahrzeug mit einem Leistungsfaktor von 1 rekuperiert. Durch die Reduktion des Fahrleitungsstromes und durch dessen Phasenlage gegenüber der Spannung wird der Span-

nungsabfall sehr gering. Die Spannung am Fahrzeug steigt beim Rekuperieren effektiv leicht an, und die rekuperierte Energie kann über sehr grosse Distanzen transportiert werden. Die Wahrscheinlichkeit, dass auf diesem Netzabschnitt andere Triebfahrzeuge verkehren, welche diese rekuperierte Energie aufnehmen, steigt erheblich. Dies hat zur Folge, dass die gesamte Einspeiseleistung um einen bedeutenden Prozentsatz absinkt, eben zum Beispiel um die oben erwähnten 30%.

### Gleichstrombahnen

Bei Gleichstrombahnen fällt naturgemäss der Aspekt des Leistungsfaktors weg, so dass sich unsere Betrachtungen auf den Wirkungsgrad und den Einfluss der Rekuperation beschränken können. Dieweil die Verhältnisse bezüglich des Wirkungsgrades grundsätzlich gleich sind wie bei Wechselstromfahrzeugen, müssen hingegen beim Aspekt der Rekuperation die unterschiedlichen Betriebseinsätze dieser Fahrzeuge berücksichtigt werden. Die für eine Energiebetrachtung bedeutendsten Gleichstrombahnen in der Schweiz sind städtische Verkehrsbetriebe. Diese zeichnen sich dadurch aus, dass sie auf einem bestimmten Netz eine relativ grosse Verkehrsdichte haben. Obwohl die elektrische Energie wegen der viel tieferen Spannung nur über geringe Distanzen transportiert werden kann, wird dank der grossen Verkehrsdichte mit der Verbreitung der Rekuperation doch eine beträchtliche Energieeinsparung möglich sein. Diese Einsparung kann bis zu 20% betragen.

Leider hat aber die Rekuperation in der Schweiz bei Gleichstrombahnen im Gegensatz zu den Wechselstrombahnen noch keine grosse Verbreitung gefunden. Einer der Gründe dafür dürfte sein, dass bisher für die Rekuperation ein zusätzlicher Schaltungsaufwand notwendig war. Mit der Einführung der GTO-Umrichtertechnik auch bei den Gleichstrombahnen fällt dieser Nachteil weg. Die Rekuperation ist nun inhärent enthalten. Da aber die Einführung der Drehstromtechnik nur mit der Erneuerung des Fahrzeugparks einhergehen kann, wird es noch viele Jahre dauern, bis sich aus dem Einsatz der Rekuperation signifikante Energieeinsparungen ergeben werden.

### Einfluss der Energiespeicherung

Der Wirkleistungsbedarf der Bahn unterliegt extremen Schwankungen, die der Energieversorgung erhebliche Mühe bereiten (Bild 8) [3]. Wenn es nun die Möglichkeit gäbe, am Unterwerk elektrische Energie in der Grössenordnung von 200 kWh kurzfristig, das heisst innerhalb von Sekunden, zu speichern und wieder abzugeben, würde dies die Energieversorgung von diesen Leistungsspitzen entlasten. Die im Unterwerk zur Verfügung zu stellende Nennleistung könnte dadurch beinahe halbiert werden. Ausserdem würden sich die Übertragungsverluste der Energieversorgung entsprechend reduzieren, da heute die grossen Energieschwankungen vom Landesnetz über  $16\frac{2}{3}$  Hz-/50 Hz-Frequenzumformer (Netzkupplungen) und von den bahneigenen Kraftwerken aufgefangen werden müssen.

Solche Speicherlösungen werden zurzeit erforscht, zum Beispiel in Form von supraleitenden magnetischen Energiespeichern (Smes). Eine andere Lösung für die Speicherung von elektrischer Energie, die immer wieder auftaucht, ist der Kreisell. Leider gibt es aber zurzeit noch keine technisch ausgereifte Lösung dieses Problems, es ist also eine Herausforderung für Forscher und Entwickler.

### Einfluss des Fahrzeugdesigns

Unter Fahrzeugdesign verstehen wir die gesamte Auslegung und Konstruktion eines Fahrzeugs hinsichtlich bestimmter Optimierungsziele, zum Beispiel optimiert auf seinen Energieverbrauch. Nebst den zuvor betrachteten Aspekten der Umwandlung von elektrischer in mechanische Energie sind auch die beiden folgenden Gesichtspunkte für den Energieverbrauch ausschlaggebend: das Fahrzeuggewicht oder das Verhältnis von Tara zu Nettogewicht und der Fahrwiderstand.

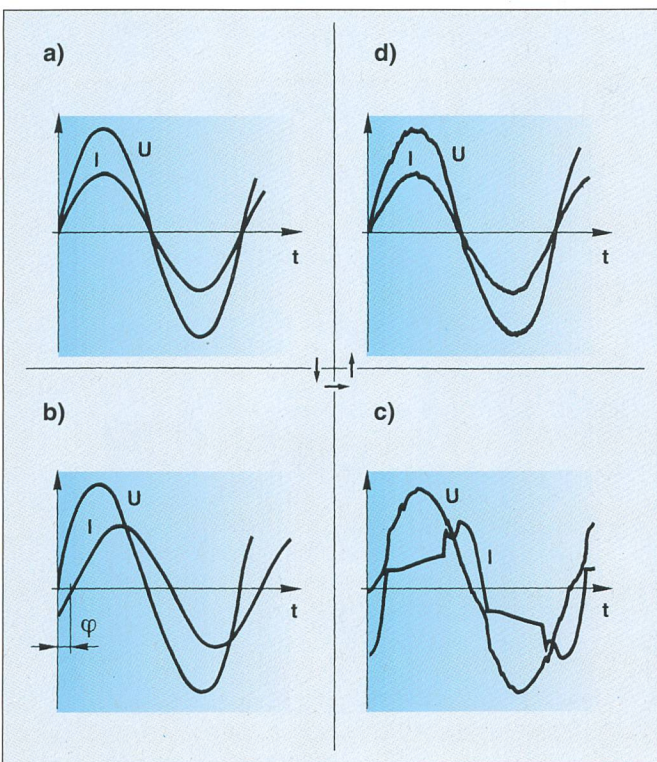


Bild 5 Blindstromkonsum von Fahrzeugen verschiedener Generationen

- a idealer Fall:  
 $\lambda = \cos \varphi = 1$
- b Fahrzeug mit Leistungselektronik,  
bei  $\lambda = \cos \varphi < 1$
- c Fahrzeug mit Leistungselektronik,  
bei  $\lambda < \cos \varphi < 1$
- d Fahrzeug mit 4QS

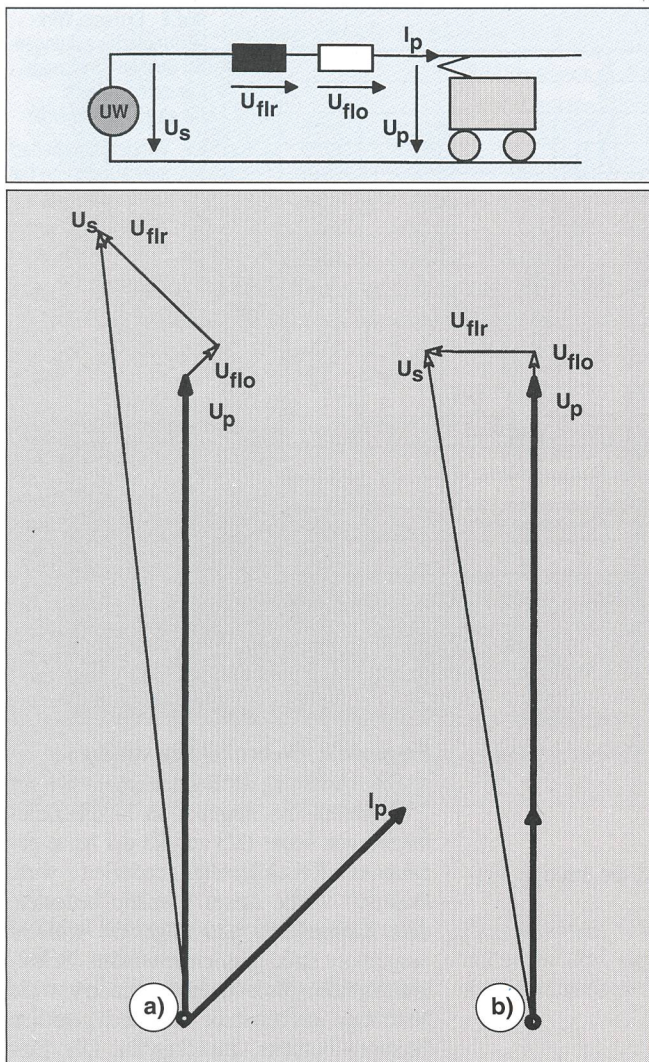


Bild 6 Vektordiagramm für Fahrzeuge mit 4QS und mit Anschnittsteuerung

- $U_s$  Fahrleitungsspannung am Unterwerk
- $U_p$  Fahrleitungsspannung beim Fahrzeug
- $U_{flr}$  induktiver Spannungsabfall
- $U_{flo}$  ohmscher Spannungsabfall
- $I_p$  Fahrleitungsstrom
- $\underline{UW}$  Unterwerk

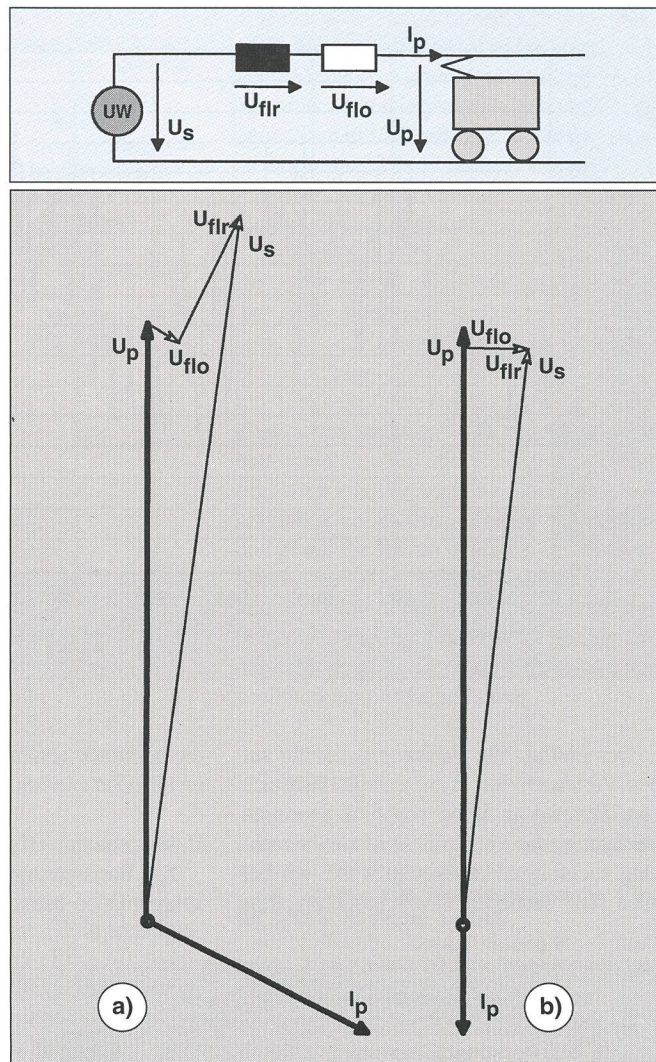


Bild 7 Vektordiagramm für Fahrzeuge bei Rekuperation mit schlechtem Leistungsfaktor und mit  $\lambda = 1$

- $U_s$  Fahrleitungsspannung am Unterwerk
- $U_p$  Fahrleitungsspannung beim Fahrzeug
- $U_{flr}$  induktiver Spannungsabfall
- $U_{flo}$  ohmscher Spannungsabfall
- $I_p$  Fahrleitungsstrom
- $\underline{UW}$  Unterwerk

Das *Fahrzeuggewicht* des modernen Rollmaterials ist wegen dem gestiegenen Komfortangebot, wie zum Beispiel Klimaanlage, gegenüber früher grösser geworden. Trotzdem zeigt der spezifische Energieverbrauch aber eine sinkende Tendenz. Der Grund liegt darin, dass die Energie für das Beschleunigen der schwereren Züge zum Teil beim Bremsen mit der Rekuperation wieder zurückgewonnen werden kann. Die oben beschriebenen Effekte der Leistungsfaktorerhöhung haben den Einfluss der Gewichtszunahme des Fahrzeugparks wettmachen können. Anders ausgedrückt, die Energieeinsparung wäre durch die Rekuperation und die Leistungsverbesserung ohne diese Gewichtserhöhung noch bedeutender.

Ähnlich wie beim Wirkungsgrad sind auch beim Fahrzeuggewicht Verbesserungen

möglich, zum Beispiel indem extensiv neue Materialien für den Fahrzeugbau verwendet werden. Ein solches neuartiges Design hat natürlich seinen Preis. Eine bei Fahrzeugauschreibungen definierte Gewichtspönale dürfte aber sicher auf das resultierende Fahrzeuggewicht seine Auswirkung haben.

Der Anteil des *Fahrwiderstandes* am Energieverbrauch nimmt mit steigender Geschwindigkeit zu und ist ab ungefähr 50 km/h dominierend. Ausschlaggebend für den gesamten Fahrwiderstand eines Zuges ist hauptsächlich die Gestaltung der Seitenwände, des Daches, der Teile unter dem Chassis und der Wagenübergänge. Die Front- und Heckpartien haben dagegen nur einen relativ geringen Einfluss. Auf diesem Gebiet liegt noch ein weites Tätigkeitsfeld für moderne Industriedesigner. Auch die De-

finition einer Fahrwiderstandspönale in den Fahrzeugauschreibungen würde selbstverständlich Auswirkungen auf den Energieverbrauch der Bahnen haben.

### Einfluss der Auslastung des Rollmaterials

Alle bisher diskutierten Aspekte sind für die Ingenieure interessante Herausforderungen, ihr Einfluss auf den gesamten Verbrauch der Primärenergie liegt aber nur im Promillebereich, ganz im Gegensatz zum letzten hier betrachteten Faktor, der Auslastung der Fahrzeuge. Diese beträgt bei den Schweizer Bahnen durchschnittlich nur 25% und ist tendenziell sogar noch rückläufig (Bild 9).

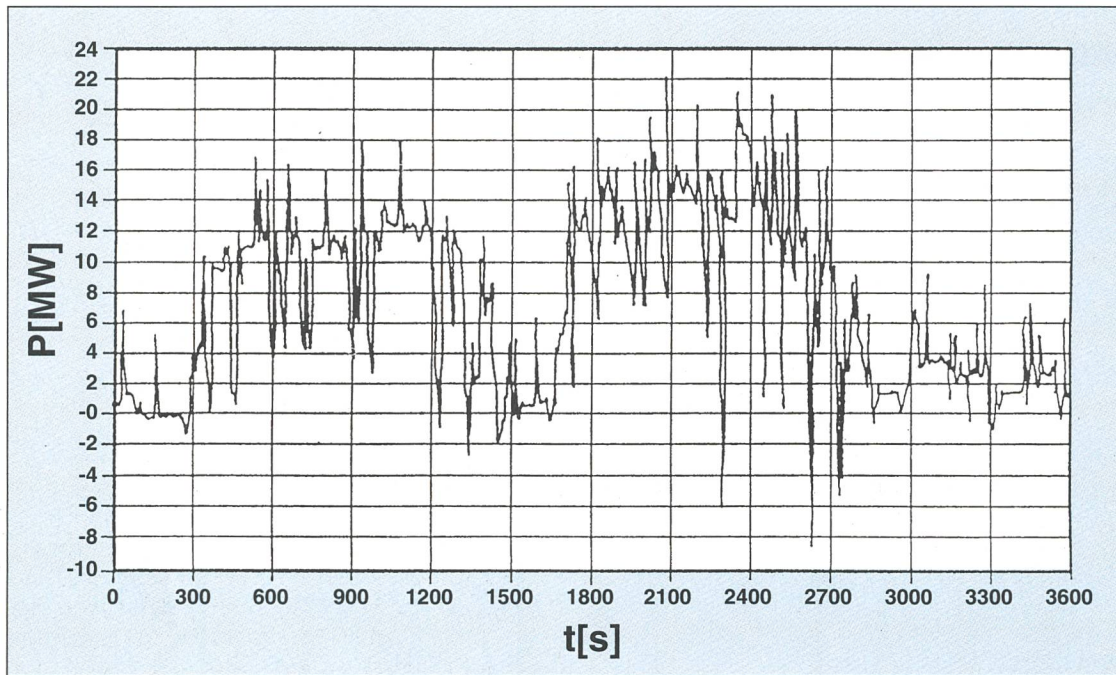


Bild 8 Extreme Wirkleistungsschwankungen bei Bahnen rufen nach Kurzzeitspeichern für elektrische Energie

$P$  Wirkleistungsbedarf aller auf der Strecke fahrenden Züge während einer Stunde  
 $t$  Zeit

Der Einfluss der Fahrzeugauslastung auf den Verbrauch von Primärenergie lässt sich zum Beispiel an Hand von fünf Szenarien beleuchten, die wir für diese Modellbetrachtung nachfolgend definieren, wobei wir bei allen fünf Szenarien davon ausgehen, dass

die gesamten gefahrenen Personenkilometer unverändert bleiben.

**Basisszenario: «Heute»**

Als Basisszenario wird die heutige Verkehrssituation betrachtet.

**Szenario I: «Nebenbahnen stilllegen»**

Die Auslastung der Bahnen erhöht sich auf 75%, indem das Angebot an Sitzplatzkilometern von heute 12/3 auf 4/3 der heute gefahrenen Reisekilometer reduziert wird. Praktisch würde dieses Szenario bedeuten, dass Bahnstrecken und Züge, die schlecht ausgelastet sind, gestrichen werden. Selbstverständlich würde dadurch wiederum die Nachfrage, das heisst die tatsächlich gereisten Personenkilometer, zurückgehen. Der Einfachheit halber lassen wir aber in dieser Modellbetrachtung die Personenkilometer unverändert stehen.

**Szenario II: «Umsteigen»**

Die Personenkilometer der Bahn erhöhen sich auf 75% der heute angebotenen Sitzplatzkilometer. Um die entsprechende Summe reduzieren sich die Personenkilometer auf der Strasse. Proportional dazu reduzieren sich ebenfalls die gefahrenen Sitzplatzkilometer auf der Strasse, so dass die Auslastung auf der Strasse unverändert bleibt (25%). Oder anders formuliert: 27% der Autofahrer steigen auf die Bahn um. Ein solches Szenario wäre nur mit einer ganzen Reihe von Lenkungsmaßnahmen realisierbar wie zum Beispiel:

- massive Erhöhung der Brennstoffpreise (z.B. CO<sub>2</sub>-Steuer)
- starke Einschränkungen für den Individualverkehr, zum Beispiel weniger Parkplätze, Sperren von Strassen usw.
- Anpassung des Angebotes von Sitzplatzkilometern der Bahn an die Nachfrage, das heisst starke Einschränkung des Angebotes auf Nebenlinien, dafür Ausbau des Angebotes für Pendler und den Intercity-Verkehr

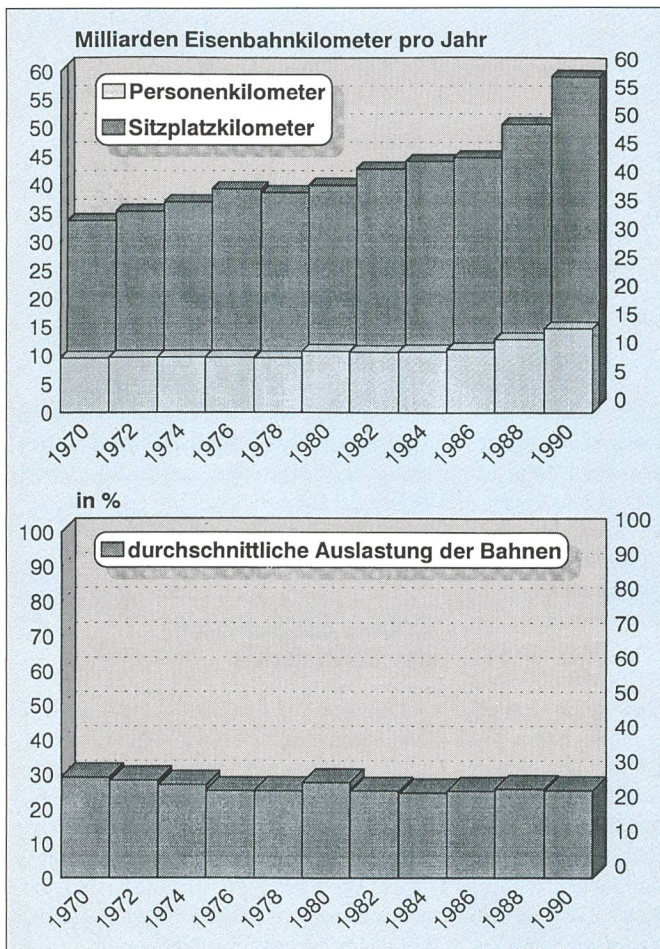
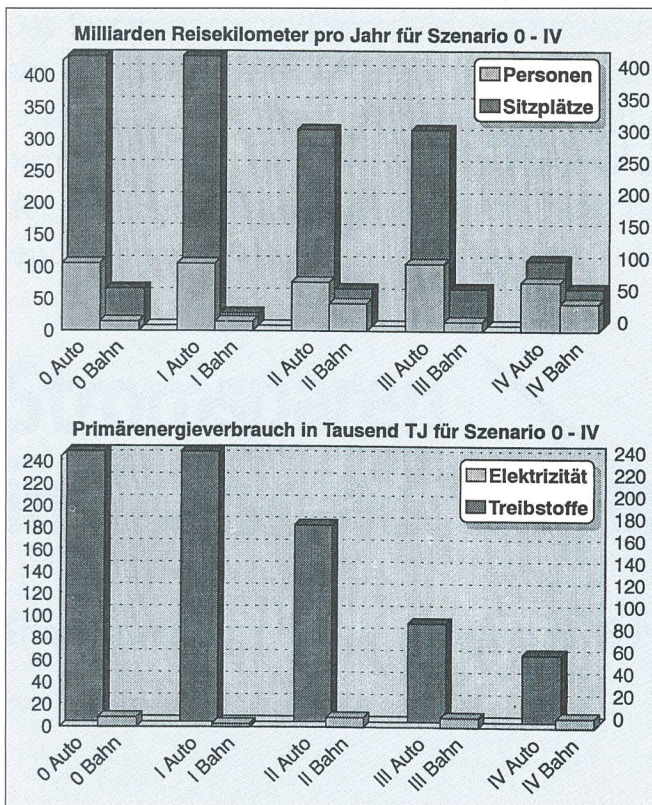


Bild 9 Transportleistung der Bahnen und Auslastung der Fahrzeuge



**Bild 10** Geschätzter Primärenergieverbrauch verschiedener Szenarien

0 Grundszenario «Heute»  
 I Szenario «Nebenbahnen stilllegen»  
 II Szenario «Umsteigen»  
 III Szenario «Energiesparauto»  
 IV Szenario «Umsteigen + Autos auslasten»

«Heute» und «Nebenbahnen stilllegen» praktisch unverändert bleibt, reduziert er sich beim Szenario «Umsteigen» um 26%, beim Szenario «Energiesparauto» um 61% und beim Szenario «Umsteigen + Autos auslasten» gar um 72%.

**Realisierbares Szenario**

Ein politisch effektiv realisierbares Szenario dürfte eine Kombination aus Elementen der oben modellhaft skizzierten Szenarien sein. Die im Extremfall mögliche Reduktion des Primärenergieverbrauchs des Verkehrs um 72% würde eine Reduktion des gesamten Energieverbrauchs um 22% bedeuten. Wenn man bedenkt, dass die Realisierung dieser Szenarien eine Verlagerung, aber keine wesentlichen zusätzlichen Kosten verursachen und gewaltige Kosten allein bei der Gesundheit (40mal mehr Unfälle bezogen auf die Personenkilometer auf der Strasse als auf der Schiene!) einsparen würde, ist es erstaunlich, dass der dazu notwendige Umdenkprozess noch in seinen Anfängen steckt.

**Literatur**

[1] Verkehr gestern, heute, morgen. Eidgenössisches Verkehrs- und Energiedepartement, Generalsekretariat, GV-Bericht 1/91.  
 [2] Schweizerische Gesamtenergiestatistik 1991. Bull. SEV/VSE 83(1992)12, S. 11-68.  
 [3] E. Halder, J. Rauch, D. Salathé und C. Damschen: Energiespeicher in Energieversorgungssystemen. Bull. SEV/VSE 84(1993)7, S. 29-33.

- starker Ausbau der Infrastrukturen für das «Park and Ride»
- generell intensiviertes Marketing der Bahn.

Auswirkungen auf den Primärenergieverbrauch sind signifikant (Bild 10). Während der Energieverbrauch bei den Szenarien

**Szenario III: «Energiesparauto»**

Ein massives Verteuern der Brennstoffpreise bewirkt das Umsteigen auf Energiesparautos. Der Brennstoffverbrauch reduziert sich auf die Hälfte. Die Auslastung der Autos steigt ebenfalls, indem für den Stadt- und Pendlerverkehr nicht nur sparsamere, sondern auch kleinere Autos eingesetzt werden.

**Szenario IV: «Umsteigen + Autos auslasten»**

Gleiche Annahmen für die Bahn und die Personenkilometer auf der Strasse wie beim Szenario II: «Umsteigen». Zusätzlich wird aber auch die Auslastung auf der Strasse auf 75% erhöht, indem sich die gefahrenen Sitzplatzkilometer von heute 12/3 auf 4/3 der Personenkilometer reduzieren. Dieses Szenario könnte erreicht werden, indem zusätzlich zu den Massnahmen für das Szenario II: «Umsteigen» per Dekret nur noch Autos in unseren Strassen verkehren dürfen, die mit mindestens drei Personen besetzt sind.

Gegen solche dirigistische Massnahmen gibt es natürlich viele Argumente. Es gibt aber auch ein gewichtiges Argument dafür, nämlich die Sorge, wie wir unsere Umwelt unseren Kindern hinterlassen wollen. Die

**La place de l'énergie électrique dans le trafic aujourd'hui et demain**

Nous consommons un tiers de l'énergie brute pour le trafic, et ce presque uniquement par les moteurs à combustion circulant sur nos routes. Là-dedans nos chemins de fer électriques assurent 12% de tout le trafic des voyageurs et même 42% du transport des marchandises, mais ne consomment tout juste que 1% de l'énergie brute (figures 1-4). De nouvelles et considérables économies d'énergie vont être réalisées grâce au changement technique en cours (figures 5-8), cependant, rapportées à la consommation totale d'énergie primaire, elles vont se traduire tout juste en pour mille.

Une nouvelle orientation est nécessaire pour réduire la part gigantesque que prend la circulation routière dans la consommation d'énergie, associée à une utilisation améliorée des véhicules. Concernant les chemins de fer suisses cette utilisation n'est que de 25% et elle tend même à reculer (fig. 9). L'influence du taux d'utilisation des véhicules sur la consommation d'énergie primaire est mise en évidence par cinq scénarios présentés dans le présent article (fig 10). Dans le cas extrême la réduction possible de la consommation d'énergie primaire de la circulation de 72% se traduirait par une réduction de la consommation totale d'énergie de 22%. La réalisation de ces scénarios, qui tout au plus causerait des déplacements de coûts, mais sans apporter fondamentalement des charges financières supplémentaires, permettrait de réaliser, rien que pour la santé, d'énormes économies (40 fois plus d'accidents, rapportés sur les personnes-kilomètres, de la rue par rapport au rail!).



# Stabsstelle.



So jedenfalls könnte man die Stelle bezeichnen, die SYNCHROTACT 4 einnimmt. Nämlich überall dort, wo sich in einem Wechselstromsystem ein Leistungsschalter befindet.

Für die Funktion des Synchronisierens und Parallelschaltens benötigt es zudem eine gehörige Portion Taktgefühl. Vergleichbar mit der Führung eines Symphonieorchesters, wo erst das perfekte Zusammenspiel zum wunderbaren Ergebnis führt, reichen die präzisen Anforderungen von einfacher Parallelschalt-Überwachung bis zu komplexen Doppelkanal-Einrichtungen mit Fernbedienung.

Das Überwachungssystem in Mikroprozessortechnik macht's möglich. Ein System, das auf minimale Spannungs- und

Frequenzschwankungen reagiert. Die Vorteile sprechen für sich: Die Genauigkeit auf Lebenszeit. Die zuverlässige Funktion dank Selbstüberwachung. Die kompakten Abmessungen von nur 112 mal 172 mal 250 mm. Und nicht zuletzt, die einfache Inbetriebnahme und Bedienung. Durch die Erweiterung auf die Steuerung von maximal fünf Schaltstellen ist ein grosser Anwendungsbereich gewährleistet. Und alles inklusive hoher Wirtschaftlichkeit.

Zur Synchronisation näherer Informationen mit Ihren Bedürfnissen ist es am einfachsten, wenn Sie die Leitung selbst in die Hand nehmen:

0 5 6 / 7 9 4 4 2 2 .

**ABB Drives AG**  
**5300 Turgi**

**ABB**