Eine sichere Bahnstromversorgung hat hohe Priorität : der Energiebedarf der SBB zur Lösung ihrer heutigen und zukünftigen Transportaufgaben

Autor(en): **Pfander, Jean-Pierre**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association Suisse des Electriciens, de l'Association des Entreprises électriques suisses**

Band (Jahr): **84 (1993)**

Heft 7

PDF erstellt am: **23.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-902675

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Ein sicherer und pünktlicher Bahnverkehr hängt wesentlich von einer zuverlässigen Stromversorgung ab. Aus diesem Grunde verfügen die SBB seit Beginn ihrer Elektrifizierung über eigene Kraftwerke und betreiben ein eigenes, landesweites Transport- und Verteilnetz; den zusätzlichen Energie- und Leistungsbedarf decken sie mittels Beteiligungen an fremden Kraftwerken, Bezugsrechten und Austauschenergie ab. Der Aufsatz beschreibt, wie die SBB heute ihre Energieversorgung sicherstellen, und er zeigt auf, dass weiterhin grosse Anstrengungen nötig sein werden, um auch in Zukunft den wachsenden Bedarf decken zu können.

Eine sichere Bahnstromversorgung hat hohe Priorität

Der Energiebedarf der SBB zur Lösung ihrer heutigen und zukünftigen Transportaufgaben

■ Jean-Pierre Pfander

Trotz grosser Energiesparanstrengungen bei allen Verbrauchergruppen weist der Trend des Gesamtenergieverbrauches kontinuierlich nach oben. Zunehmender Lebensstandard, den man meistens mit Begriffen wie Wohlstand, Komfort und Mobilität gleichsetzt, bedeutet fast immer Mehrbedarf an Energie. Andererseits lässt sich nicht mehr verleugnen, dass der Energieverbrauch oder andere Begleiterscheinungen eines hohen Lebensstandards die Umwelt belasten. Wahllos herausgegriffene Schlagworte wie Smog, Ozonloch, Überdüngung der Böden und Gewässer, Tankerunfälle, Zersiedelung der Landschaft, Bodenvergiftung oder Sondermülldeponien weisen auf diese Zusammenhänge hin.

Auch der Verkehr, ob auf der Strasse oder auf der Schiene, kann sich dieser Problematik und Widersprüchlichkeit nicht entziehen. Energieverbrauch, Landbedarf, Lärmemissionen, Luftverschmutzung auf der einen Seite, Komfort- und Mobilitätsansprüche, Transport von Rohstoffen, Halbfabrikaten und fertigen Produkten auf der anderen Seite, sind hier die Stichworte. Im Brennpunkt dieser Spannungsfelder Energie, Verkehr und Umwelt stehen auch die Eisenbahnen. Sie geben daher, nicht zuletzt im Hinblick auf die Neubauprojekte Transitkorridor, Bahn 2000 und Neat, immer wieder Anlass zu Diskussionen. Es ist das Ziel dieses Aufsatzes, die energiewirtschaftlichen Aspekte dieser Problematik zu beleuchten. In den folgenden Kapiteln werden vorerst die heutigen Mittel der Bahnstromversorgung vorgestellt, anschliessend wird die Energiebilanz der SBB erläutert sowie auf die spezifischen Energieverbrauchszahlen eingegangen, und schliesslich werden die Auswirkungen der neuen Projekte aus energiewirtschaftlicher Sicht diskutiert.

Mittel der Bahnstromversorgung

Bahnstromerzeugung

Zur Abdeckung der durch den Eisenbahnverkehr benötigten Energie betreiben die SBB ein eigenständiges, von der übrigen Stromversorgung isoliertes Versorgungsnetz mit einer Betriebsfrequenz von $16^2/_3$ Hz. Dieses Kuriosum ist historisch bedingt und würde heute, könnte man die Eisenbahn von Grund auf neu elektrifizieren, kaum mehr zur Anwendung gelangen. Technisch allerdings besitzt das Bahnstrom-Versorgungsnetz, abgesehen von einigen Spezialitäten, sämtliche Merkmale einer öffentlichen Stromversorgung. Die Energie wird mit speziellen Bahnstromgeneratoren erzeugt, mit separaten Übertragungsleitungen transportiert und über Unterwerke an das Fahrleitungsnetz, dem eigentlichen Verteilnetz, an die Verbraucher, das heisst insbesondere an die Lokomotiven, weitergeleitet. Es besteht auch ein Verbundbetrieb mit der Deutschen Bundesbahn, der die Möglichkeiten für Energieaustausch und gegenseitige Hilfestellung bietet. Insgesamt verfügen die SBB über eine installierte Generatorleistung von rund 860 MW, wovon 310 in Frequenzumformerwerken untergebracht sind. Diese dienen dem Energietransfer mit dem öffentlichen Netz. Das Fahrleitungsnetz wird schliesslich mit etwa 50 Unterwer-

Dieser Aufsatz ging hervor aus einem Vortrag des Autors an der ETG-Tagung vom 10. November 1992 in Zürich-Airport zum Thema «Die Zukunft des Schienenverkehrs».

Adresse des Autors
Jean-Pierre Pfander, Dipl. Ing. ETHZ,
Schweizerische Bundesbahnen, Direktion Kraftwerke,
Abteilung Energiewirtschaft, Postfach, 3052 Zollikofen.

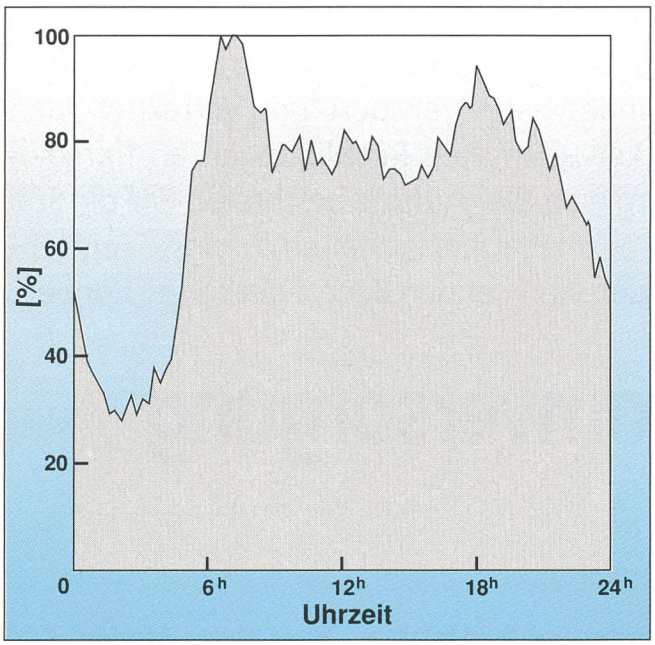

Bild 1 Leistungsbedarf der SBB

Aufgetragen sind die 1/4-h-Mittelwerte für Donnerstag, 5. Oktober 1989; 100% entsprechen 371 MW; der totale Energiebedarf betrug an diesem Tag 6272,5 MWh

ken gespeist, in denen eine Leistung von 1660 MVA installiert ist.

Der Leistungsverlauf über 24 Stunden wird hauptsächlich durch den Fahrplan bestimmt (Bild 1). Durch die in den Reisezügen installierte Heizung und Klimatisierung sowie die an verschiedenen Orten montierten elektrischen Weichenheizungen hat aber auch das Klima, allerdings in einem relativ bescheidenen Ausmass, einen Einfluss auf den Stromverbrauch. Während der Reiseverkehr mit Ausnahme der Pendlerzüge, die an den Wochenenden nicht verkehren, praktisch konstant bleibt, ist der Güterverkehr vom Transportbedürfnis der Wirtschaft abhängig und somit täglichen und saisonalen Wechseln unterworfen. Die Jahresspitzenbelastung liegt bei etwas über 500 MW. Auffallend ist auch das sog. Nachtloch, bedingt durch eine absichtliche Verkehrsreduktion in den Nachtstunden, die es erlaubt, die Unterhaltsarbeiten an Geleisen, Fahrleitungen, Signalanlagen und sonstiger Infrastruktur durchzuführen. Was aus der Tagesgangkurve nicht ersichtlich ist, da es sich hier um 1/4-h-Mittelwerte handelt, sind die relativ kurzzeitigen, zusätzlichen Spitzen, herrührend von Anfahrphasen schwerer Züge, deren installierte Lokleistung bis gegen 21 MW beträgt. Diese relativ unruhige Charakteristik des Bahnstrombedarfes unterscheidet das Bahnnetz wesentlich vom öffentlichen Verbundnetz, da hier das Verhältnis von einzelnen Verbraucherleistungen zur gesamten installierten Leistung ganz andere Grössenordnungen erreicht.

Netzkonfiguration

Die Schwerpunkte der hydraulischen Energieerzeugung in *SBB-eigenen Anlagen* für den Antrieb der Bahnen befindet sich einerseits im Gotthardgebiet mit den Werken Ritom, Amsteg, Wassen und Göschenen und andererseits im Unterwallis mit den Werken Châtelard-Barberine und Vernayaz. Einen weiteren Stützpunkt der Bahnstromversorgung bildet das Etzelwerk, Rupperswil-Auenstein sowie verschiedene andere Bahnstromgeneratoren, die mit Wasserkraft angetrieben werden.

Bei der Verwertung der verschiedenen Energieguthaben aus dem 50-Hz-Netz, die durch die Beteiligung der SBB an Partnerwerken wie zum Beispiel den Kernkraftwerken Gösgen und Leibstadt, aber auch an der ölthermischen Centrale de Vouvry gesichert wurden, spielen die *Frequenzumformer* eine entscheidende Rolle. Diese werden vorzugsweise dort erstellt, wo sich zugleich ein Knotenpunkt der öffentlichen Energieversorgung mit einem Verbrauchsschwerpunkt der Bahnstromversorgung deckt. Die wichtigsten Anlagen befinden sich in Seebach, Rupperswil, Kerzers, Massaboden und Giubiasco.

Die verschiedenen Energiequellen können nur dann vernünftig bewirtschaftet werden, wenn die Energie von einem beliebigen Erzeugungsstandort zu den verschiedenen Einspeisestellen möglichst freizügig und verlustarm transportiert werden kann. Das *Übertragungsleitungsnetz* wird heute vorwiegend mit 132 kV betrieben, wobei wichtige Versorgungsgebiete wie zum Beispiel das ganze Tessin noch mit 66 kV gespeist werden. Im Raum Genf und Rheintal bestehen noch kleinere Abschnitte mit 33 kV, die jedoch mit der Zeit verschwinden werden. Langfristiges Ziel ist es, das ganze Netz auf 132 kV umzuschalten, was jedoch, mit den heute gültigen, sehr zeitintensiven Bewilligungsverfahren noch Jahrzehnte dauern wird.

Je nach Art und Belastung der Eisenbahnlinie, ob es eine dichtbefahrene Bergstrecke oder eine Nebenlinie ist, vermag ein *Unterwerk* einen Streckenabschnitt von rund 20 bis 40 km zu speisen. Die Unterwerke sind je nach Bedeutung in der Regel mit 20- oder 2x20-MW-Transformatoren bestückt. Immer mehr werden diese Stationen ferngesteuert und sind nur in Ausnahmefällen lokal bedient.

Das *Fahrleitungsnetz*, dessen Aufgabe analog zum Verteilnetz der öffentlichen Versorgung die direkte Speisung der einzelnen Verbraucher ist, wird mit einer Spannung von 16 kV und in der Regel vermascht betrieben. Wegen der besonderen Eigenschaften der Last, die nicht ortsfest ist, sondern sich heute mit bis zu 160 km/h und künftig sogar bis 240 km/h bewegen kann, sind zum Teil heikle Probleme bezüglich Stromübergänge und Schutz zu meistern.

Energiebilanz der Bahnstromversorgung

Grundsätze zur Stromversorgung der SBB

Nach einem geschäftspolitischen Grundsatz sind die SBB in Sachen Bahnstrom Selbstversorger. Im entsprechenden Bericht vom 9. August 1913 an den damaligen Verwaltungsrat heisst es: «... weil nur auf diese Weise die Sicherheit für die Aufrechterhaltung des Betriebes unter allen Verhältnissen und die Sicherheit der Deckung des Energiebedarfs in der Zukunft erlangt wird, und weil ein finanzieller Vorteil weder für die Bundesbahn noch für die Allgemeinheit durch Übertragung der Krafterzeugung an die Privatindustrie zu erreichen wäre.» Eine beachtenswerte Aussage, die heute noch weitgehend ihre Gültigkeit hat.

Das heisst natürlich nicht, dass die SBB aus elektrischer Sicht auf einer einsamen Insel leben. Vielmehr stehen sie in sehr enger Wechselbeziehung zur übrigen Elektrizitätswirtschaft; der weitsichtige Grundsatz der Eigenständigkeit wird jedoch auch heute noch aufrechterhalten. Man muss allerdings einräumen, dass die gesamte schweizerische Elektrizitätsversorgung in dieser Beziehung einen bedenklichen und höchst gefährlichen Kurs eingeschlagen hat. Dem allgemeinen Trend, mangels Alternativen Energie in grösseren Mengen im Ausland, hauptsächlich in Frankreich, einzukaufen, konnten sich die SBB auch nicht ganz entziehen. So beträgt heute der Anteil französischer Kernenergie am gesamten Energie-Umsatz der SBB etwa 13%. Da der Grundsatz der Betriebssicherheit bei einem Dienstleistungsbetrieb, wie es die Eisenbahn ist, ein besonders wichtiges

Ziel bildet, muss, um einen möglichst unterbruchslosen Verkehr gewährleisten zu können, auch im Energie-Sektor eine angemessene Vorsorge getroffen werden. Nur dank diesen Prinzipien ist es möglich, trotz der in der Kraftwerksbranche üblichen langen Realisierungszeiten von ohne weiteres 10 und mehr Jahren die dynamische Verkehrspolitik, wie sie vor einigen Jahren abgesteckt wurde, durchzusetzen. Dem Grundsatz der Wirtschaftlichkeit kann, nicht zuletzt dank dem durch die Umformerwerke garantierten flexiblen Betrieb, Folge geleistet werden. Mit diesen Installationen ist es möglich, allfällige Überschüsse aus dem Bahnnetz ins 50 Hz abzusetzen oder zum Beispiel, je nach Marktsituation, günstige Energie für den Bahnbetrieb auf dem Spotmarkt einzukaufen. Zusätzlich wird es durch ein zurzeit im Aufbau begriffenes Energiemanagement-System auch unter erschwerten Bedingungen möglich sein, eine sichere und wirtschaftliche Versorgung der Bahnen zu gewährleisten.

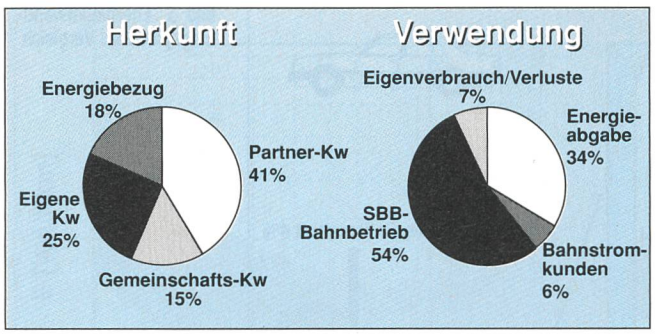

Bild 2 Energieumsatz der SBB

Bilanzsumme 1991: 3,498 TWh (100%)

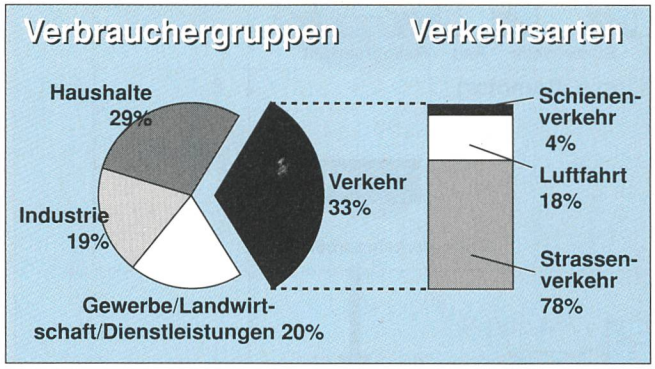

Bild 3 Schweizerische Gesamtenergiestatistik 1990

Aufteilung des schweizerischen Gesamtenergieverbrauchs (778930 TJ = 100%) nach Verbrauchergruppen und Verkehrsarten

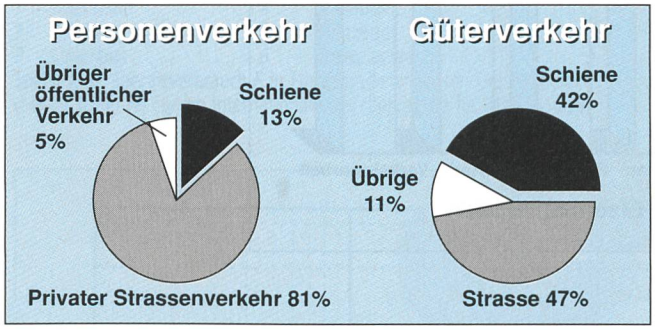

Bild 4 Schweizerische Verkehrsstatistik 1990

Personenverkehr: total 106924 Mio. Pkm (100%); Güterverkehr: total 20977 Mio. tkm (100%)

Herkunft und Verwendung der Energie

Über die Herkunft der Energie für die SBB gibt Bild 2 Auskunft. Wie oben erwähnt betreiben die *SBB eigene Kraftwerke* im Gotthardgebiet (Amsteg, Ritom) und im Wallis (Vernayaz, Châtelard, Massaboden) und erzeugen damit rund 25% ihres Energieumsatzes. In sogenannten Gemeinschaftskraftwerken sind ferner neben Maschinen für die allgemeine Landesversorgung auch Bahnstrommaschinen eingebaut. Damit eröffnen sich auch Möglichkeiten, Energiegeschäfte über den *Abtausch oder Verkauf von Wasser* der gemeinschaftlichen Stauanlagen abzuwickeln (ungefähr 15% des Energieumsatzes der SBB). Als Beispiel sei hier das Kraftwerk Göschenen erwähnt. Rund 41% der Energie beziehen die SBB im weiteren aus *Partnerwerken*, an welchen neben den SBB auch andere Partner beteiligt sind. Die wichtigsten Anlagen dieser Kategorie sind die beiden Kernkraftwerke Gösgen und Leibstadt. Aus verschiedenen Quellen schliesslich stammen weitere 18% des Energiebedarfs der SBB (Energiebezug). In diesen Bilanzposten fällt der Bezug von Austauschenergie. Diese durch Vertragspartner veredelte Bandenergie ist den Bedürfnissen des Bahnbetriebes besser angepasst und vormoduliert worden. Hier sind auch die Beiträge der SBB-fremden Bahnstromgeneratoren und die durch die SBB erworbenen Energie-Bezugsrechte miteinberechnet.

Der Hauptanteil der durch die SBB umgesetzten Energie (54%) wird für den Betrieb der SBB, namentlich für die Versorgung der Lokomotiven, beansprucht (Bild 2). Daneben werden aus dem Fahrleitungsnetz auch stationäre Verbraucher gespeist. Es sind dies vor allem Zugvorheizanlagen, Stellwerke, Beleuchtungsanlagen (diese sind unschwer am Flimmern zu erkennen) und vor allem auch Heizvorrichtungen für Weichen, die erst damit wintersicher betrieben werden können. Separat aufgeführt ist in Bild 2 die Abgabe von Energie an Bahnstromkunden (6%). Damit sind die etwa 25 Privatbahnen gemeint, welche mit $16^2/_3$-Hz-Strom betrieben werden. Eine Sonderstellung nehmen hier die RhB und teilweise auch die BLS ein, die nicht oder nur zum Teil durch die SBB gespeist werden. Indirekt dem Bahnverkehr dient rund ein Drittel des Energieumsatzes der SBB (Energieabgabe: 34%). Es ist im wesentlichen diejenige Energiemenge, welche einerseits für den Tausch von Bandenergie in bedarfsangepasste Energie zur Verfügung steht und andererseits als sogenannte freie Disponibilität verkauft wird. Darin sind aber auch die Restitutionsenergie, Energie, die zu Vorzugsbedingungen an die konzessionsgebenden Kantone oder Gemeinden abgegeben werden muss sowie die für den Pumpenantrieb verwendete Energie enthalten. Unter Eigenverbrauch und Verluste schliesslich ist das Total aller im Netz auftretenden Verluste subsummiert (ungefähr 7%). Diese setzen sich zusammen aus Transportverlusten in den Übertragungsleitungen, Generatorverlusten und Eigenverbrauch in Kraftwerken sowie Umwandlungsverlusten in Frequenzumformerwerken und Unterwerken mit ihrem Eigenbedarf.

Spezifischer Energieverbrauch der Verkehrsträger

Endenergieverbrauch und Verkehrsleistungen der Bahnen

Um die Bedeutung des Verkehrs und die Rolle der Eisenbahnen aus energetischer Sicht abschätzen zu können, ist es nützlich, die schweizerische Energiestatistik zu analysieren (Bild 3). Rund ein Drittel der totalen Endenergie wird verwendet zur Abdeckung der Reise- und Transportbedürfnisse. Davon nimmt der Strassenverkehr 78% in Anspruch,

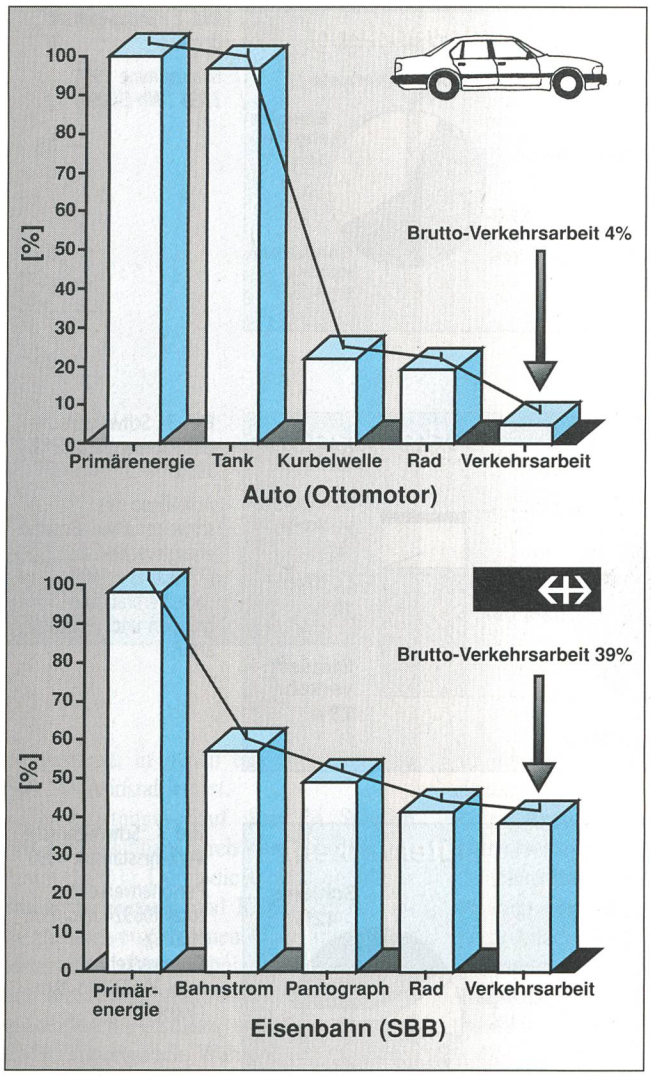

Bild 5 Energieumwandlungsgrade im Vergleich

die Luftfahrt 18%, und die restlichen 4% werden zum Antrieb der Bahnen benötigt.

Auf der anderen Seite gibt die Verkehrsstatistik Auskunft über die Verkehrsarbeit, die mit dieser Energie geleistet wird (Bild 4). Hier erkennt man, dass die Bahn 13% des Reiseverkehrs und 42% der Gütertransporte ausführt. Diese Gegenüberstellung der Energiestatistik mit der Verkehrsstatistik zeigt offensichtlich und in eindrücklicher Weise die Energieeffizienz des Systems Schiene: Für 13 bzw. 42% der Transportarbeit wird nur gerade 4% der Transportenergie benötigt!

Strassenverkehr und Schienenverkehr im Vergleich

Die grossen Unterschiede in der Energieeffizienz zwischen Strassen- und Schienenverkehr werden auch sichtbar, wenn man die Energieumwandlungsgrade in den beiden Systemen näher untersucht (Bild 5). Welches sind die Gründe für diese markanten Unterschiede in der *Energieeffizienz*? Ohne Zweifel ist es in erster Linie der Wirkungsgrad des Antriebs, welcher dafür verantwortlich ist. Ausgehend von den Primärenergien sind in Bild 5 die beiden Systeme einander gegenübergestellt. Als Ergebnis resultiert eine rund zehnmal bessere Ausnützung der Energie durch die Eisenbahn. Leider standen für diese Analyse nur relativ alte Werte für den Ottomotor zur Verfügung; ohne Zweifel sind mit modernen Aggregaten bessere Ergebnisse erreichbar. Auch muss hier erwähnt werden, dass die Zahlen bezüglich Primärenergiemix der Eisenbahn für SBB-Verhältnisse gelten und bei anderen Bahnunternehmen verschieden ausfallen würden.

Bezüglich der *Umweltbeeinflussung* der einzelnen Verkehrsträger seien hier nur stichwortartig einige qualitative Aussagen bezüglich der Vorteile des Systems Schiene gemacht: Der Schienenverkehr zeichnet sich aus durch einen – zumindest bei den SBB – weitgehend CO_2-freien Antrieb und eine CO_2-freie Energie-Bereitstellung, die Transporttrassen werden dank stets verbesserter Verkehrsleitsysteme durch eine hohe Transportdichte effizient ausgenützt und die Tatsache, dass verhältnismässig selten Unfälle zu beklagen sind, spricht für eine grosse Sicherheit dieser Transportmittel.

Vergleich über sämtliche Verkehrsträger

Um einen möglichst objektiven Vergleich über alle wichtigen Verkehrsträger zu erreichen, muss er für vergleichbare *Transportgeschwindigkeiten* erfolgen. Das Bild 6 zeigt daher den spezifischen Primärenergieverbrauch der einzelnen Verkehrsträger in Funktion der mittleren Beförderungsgeschwindigkeit. Diese Faktoren wurden aufgrund von Statistiken verschiedener europäischer Länder ermittelt. Es erstaunt daher nicht, dass sich – wenn auch von einer bestimmten mittleren Auslastung ausgegangen wird – für jede Transportart ein relativ grosser Streubereich ergibt. Dieser ist vor allem auf die Vielfalt der Fahrzeugtypen, Fahrwegbeschaffenheiten, der klimatischen Verhältnisse usw. zurückzuführen. Im weiteren muss gerade in bezug auf Eisenbahnen der bereits zitierte Primärenergie-Mix berücksichtigt werden, gibt es doch Eisenbahnunternehmen, die teilweise oder ausschliesslich mit thermischer Traktion – vor allem mit Diesellokomotiven – ihre Züge bewegen und andere, wie zum Beispiel die SBB, die nur mit Elektrizität betrieben werden. Auch bei der Elektro-Traktion kann die Primärenergie entweder fossil oder nuklear sein und einen relativ schlechten Wirkungsgrad aufweisen (thermische Kraftwerke) oder aber mittels Wasserkraftwerken verlustarm bereitgestellt werden. Hier geniessen die SBB im Vergleich zu den andern Bahnen eine Vorzugsstellung, da sie ihre Energie zu 53% mit Hydrozentralen selber produzieren. Sie müssten daher am unteren Rand des Streubereichs dargestellt werden. Beim Vergleich nach Bild 6 muss auch auf eine realistische Auslastung der Verkehrsmittel geachtet werden. Das ausgezeichnete Abschneiden der Reisebusse ist hier auf die mit 80% angenommene, sehr starke Auslastung zurückzuführen. Auch beim Flugverkehr wird mit einer mittleren Besetzung von 60% gerechnet. Er weist daher, relativ zu der hohen Beförderungsgeschwindigkeit, einen recht niedrigen spezifischen Verbrauch aus. Beim Auto- und Eisenbahnverkehr wurde eine Auslastung von rund 30% zugrunde gelegt.

Analog dazu das Bild vom Güterverkehr. Auch hier wurde mit einer realistischen, mittleren Auslastung gerechnet. Dargestellt sind hier (Bild 7) die Schiffahrt, die Eisenbahnen, die Lastwagen und an der Spitze der Kombi- oder Huckepack-Verkehr. Dass dieser Verkehr aus energetischer Sicht ungünstige Daten aufweist, ist verständlich: Hier wird ein Fahrzeug auf ein anderes aufgeladen, was praktisch zu einer Verdoppelung des Verpakkungsgewichtes und -volumens führt. Der Vorteil dieses Verkehrs ist eher auf der ökologischen Seite zu suchen. Nebst der Entlastung der Strassen und der sauberen Beförderung auf der Schiene werden gemäss einer

Überschlagsrechnung mit einem Huckepackzug von Basel nach Chiasso rund 3000 Liter Dieselöl eingespart, was etwa dem Jahreswärmeverbrauch eines Einfamilienhauses entspricht.

Als Ergebnis kann festgehalten werden, dass der öffentliche Verkehr sowohl beim Personentransport als auch beim Gütertransport bezüglich Energieeffizienz und Beförderungsgeschwindigkeit ausgezeichnete Ergebnisse erbringt. Er ist in dieser Beziehung gegenüber dem privaten Strassenverkehr durchaus konkurrenzfähig, und zwar bei einem deutlich geringeren Energieverbrauch.

Entwicklungstendenzen

Die Frage der Ursachen und der Verbesserungsmöglichkeiten kann anhand der Darstellung der Entwicklung des spezifischen Energieverbrauchs der SBB im Verlauf der letzten 30 Jahren erörtert werden (Bild 8). Auf dieser Graphik ist die total konsumierte Energie, bezogen auf die total erbrachte Transportarbeit, dargestellt. Erfreulicherweise stellt man einen deutlichen Abwärtstrend fest, dies obschon der Komfort für die Reisenden stark verbessert wurde, denkt man bloss an die klimatisierten Wagen, die mittlerweile nun auf fast allen Hauptverbindungen verkehren. Auch die Transportgeschwindigkeit für Personen und Güter ist in dieser Zeitspanne merklich erhöht worden. Trotzdem hat sich der Energiebedarf pro beförderte Tonne in den letzten 30 Jahren um rund 10% vermindert.

Die Kurve in Bild 8 sicher zu interpretieren ist indes nicht einfach, da es sich hier um eine Kumulation von vielfältigen Phänomenen handelt. Einige Aussagen sind dennoch möglich. In diesen Zeitabschnitt fällt die Beschaffung neuer Lokomotiven mit stets zunehmender Zugkraft bei gleichbleibendem Lokomotivgewicht. Dabei wurde die sogenannte Nutzbremse von Modell zu Modell weiter entwickelt und verbessert; sie erlaubt, die Bremsenergie ins Energieversorgungsnetz zurückzuspeisen, statt diese in Form von Wärme an die Umwelt abzugeben. Den vorläufigen Höhepunkt dieser Entwicklung bildet die Lok 2000, deren erste Serie zurzeit in Betrieb genommen wird. Dank modernster Halbleitertechnologie ist diese Maschine in der Lage, sowohl beim Beschleunigen als auch beim Bremsen mit einem Leistungsfaktor von nahezu 1 zu fahren, was einer optimalen Ausnutzung der Infrastruktur gleichkommt. Dass sich in Bild 8 noch ganz andere Erscheinungen bemerkbar machen, zeigt der Spitzenverbrauch im Jahr 1962. Dieser fällt mit dem damals ausserordentlich strengen Winter zusammen und muss auf die dannzumal extrem hohe Heizleistung zurückgeführt werden. Im weiteren ist auch der Mix der Zugsgattungen massgebend, da zum Beispiel ein S-Bahn-Zug durch ständiges Beschleuni-

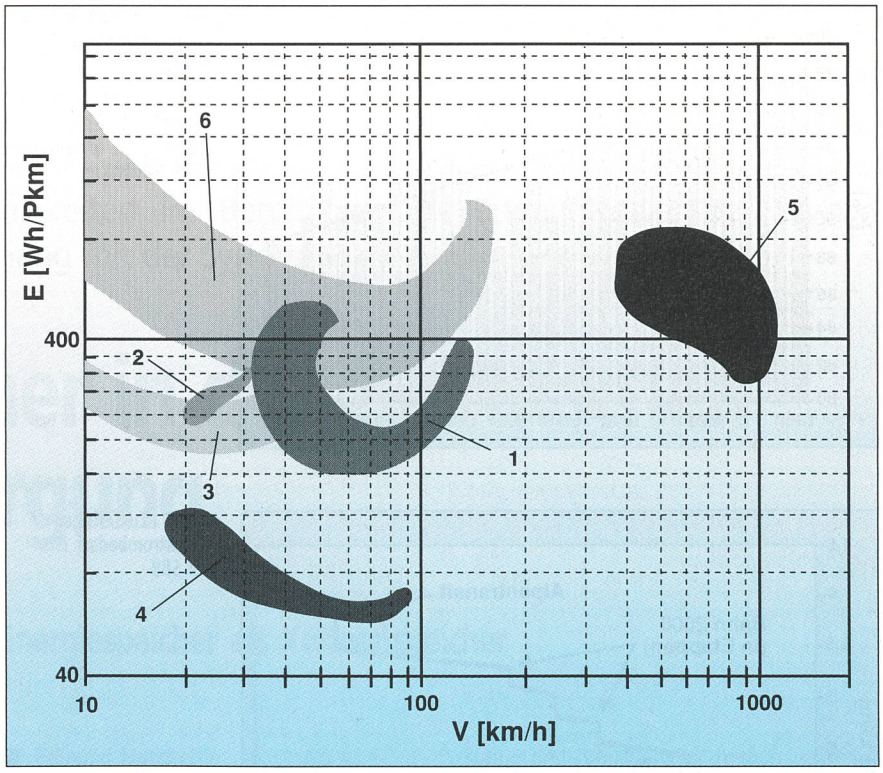

Bild 6 Spezifischer Primärenergiebedarf im Personenverkehr

1 Eisenbahn
2 S-Bahn
3 Linienbus
4 Reisebus
5 Flugzeug
6 Personenwagen

Spezifischer Energieverbrauch *E* in Funktion der mittleren Geschwindigkeit *v* [Quelle: Office de recherches et d'essais (ORE) de l'union internationale des chemins de fer (UIC), A168/6]

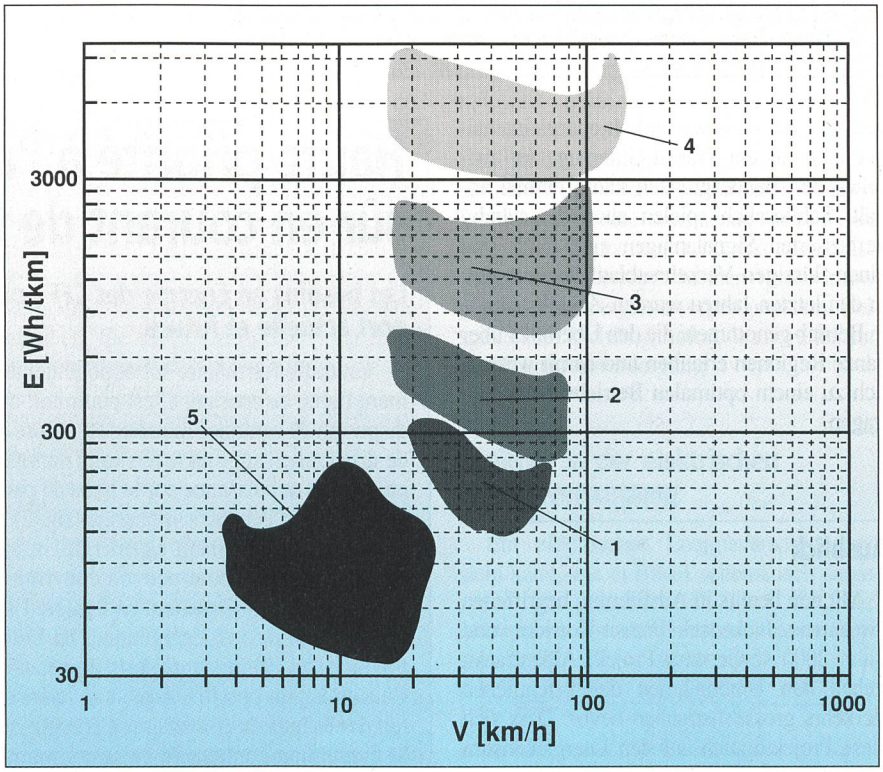

Bild 7 Spezifischer Primärenergiebedarf im Güterverkehr

1 Eisenbahn
2 Lastwagen
3 Lastwagen <3,5 t
4 kombinierter Verkehr
5 Schiff

Spezifischer Energieverbrauch *E* in Funktion der mittleren Geschwindigkeit *v* [Quelle: Office de recherches et d'essais (ORE) de l'union internationale des chemins de fer (UIC), A168/6]

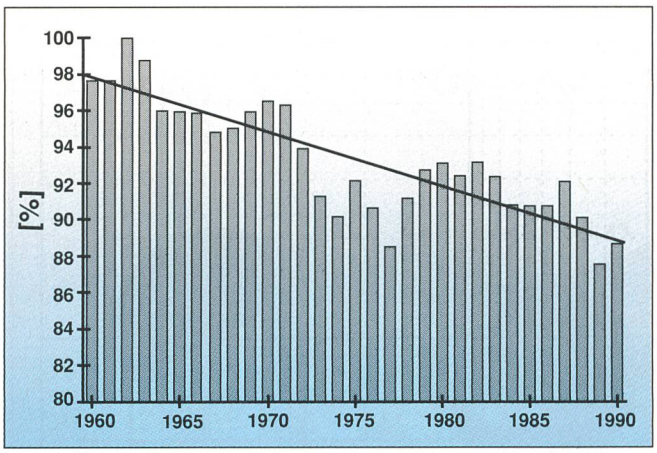

Bild 8 Spezifischer Energieverbrauch der SBB

Aufgetragen ist Energieverbrauch/Transportarbeit; 100% entsprechen 47,96 Wh/Brtkm

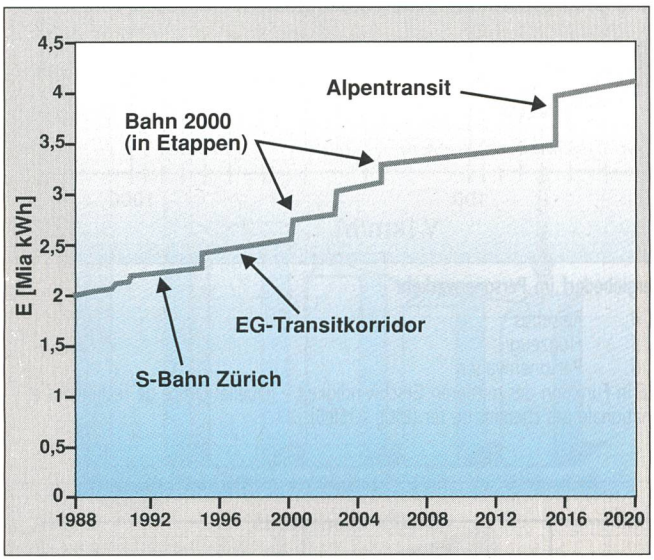

Bild 9 Zukünftiger Bahnstrombedarf *E* der SBB

gen und Bremsen wesentlich energieintensiver fährt als ein Transit-Güterzug, der zwischen den Landesgrenzen kaum einmal anhält. Schliesslich spielen auch die ständig verbesserten Signalanlagen eine Rolle, die einen flüssigen Verkehrsablauf begünstigen; in den letzten Jahren wurden Zugleitsysteme in Betrieb genommen, die den Überblick über ganze Regionen erlauben und damit wesentlich zu einem optimalen Betriebsablauf beitragen.

Ausblick

Mit den bereits in Ausführung begriffenen Projekten Huckepack-Transit-Korridor und Bahn 2000 sowie dem Projekt Alpentransit stehen den Unternehmen des öffentlichen Verkehrs grosse Aufgaben bevor. Dass sich diese Projekte auch auf den Energiekonsum auswirken werden, braucht dabei nicht speziell erwähnt zu werden. Die SBB prognostizieren einen zukünftigen Energiebedarf nach Bild 9 und erwarten in den nächsten 30 Jahren ein Anwachsen des Energieverbrauchs von heute rund 2 TWh/a auf 4,3 TWh/a. Obwohl in Anbetracht der langen Zeitspanne noch einige Unsicherheiten bestehen, stellt diese Prognose, nach heutiger Erkenntnis, eine realistische Sicht der Dinge dar und wird die Investitionspolitik der nächsten Jahren bestimmen. Im ersten Augenblick mag eine Verdoppelung des Energiebedarfs in den nächsten 30 Jahren erstaunen. Umgerechnet entspricht dies jedoch einem Jahreszuwachs von 2 bis 3%, und dies entspricht ziemlich genau dem heutigen Zuwachs des Stromverbrauchs der schweizerischen Bevölkerung und kann aus dieser Perspektive relativiert werden.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass der öffentliche Verkehr wohl Energie konsumiert, aber sicherlich als sparsamer Konsument bezeichnet werden kann. Er benötigt insgesamt etwa 1% des totalen schweizerischen Energiebedarfs und bewältigt damit respektable Anteile des Personen- und Güterverkehrs. Trotz dieser bereits heute erreichten Effizienz sind die Bahnen stets bemüht, ihre Energieintensität zu senken, gleichzeitig aber auch ihren Verkehrsanteil zu vergrössern und ihre Leistungen entscheidend zu verbessern. Dass dies unter dem Strich nicht ohne Energieverbrauchszunahme möglich ist, liegt auf der Hand. Es kann aber bekräftigt werden, dass der öffentliche Verkehr mit dem Rohstoff Energie vernünftig und sparsam umgeht. Er leistet heute schon einen wesentlichen Beitrag zur Schonung der Ressourcen und zum Schutz der Umwelt und wird es in Zukunft noch im vermehrten Masse tun.

Haute priorité à l'approvisionnement sûr en courant de traction

Les besoins en énergie des CFF pour accomplir leur mission de transport actuelle et future

Un trafic ferroviaire sûr et ponctuel dépend considérablement d'un approvisionnement fiable en courant. C'est pourquoi, depuis le début de leur électrification, les CFF disposent de centrales motrices en propre et exploitent leur propre réseau de transport et de distribution sur tout le territoire national; ils couvrent leurs besoins supplémentaires en énergie et puissance par le biais de participations à des centrales tierces, de droits à livraison et d'échanges d'énergie (fig. 2). L'article décrit comment les CFF s'assurent leur approvisionnement en énergie, et met en évidence la nécessité d'efforts considérables soutenus pour pouvoir couvrir à l'avenir le besoin en croissance.

Les figures 3–7 mettent en lumière l'importance du trafic et le rôle des chemins de fer du point de vue énergétique; en Suisse, 4% seulement de l'énergie de transport produisent 13% des transports de personnes et 42% des transports de marchandises. Cela est rendu possible grâce à la haute efficacité énergétique du trafic ferroviaire du fait de ses taux de conversion d'énergie comparativement élevés (fig. 5–7). En dépit de la diminution continuelle de la consommation spécifique d'énergie (fig. 8), les CFF s'attendent pour les 30 prochaines années – du fait des projets en voie de réalisation du corridor de transit Huckepack et de Rail 2000 ainsi que du projet de transit alpin – à une croissance de la consommation totale d'énergie d'après la figure 9 de 2 TWh/a à 4,3 TWh/a; dans la politique d'investissement des CFF des années à venir, la garantie de fourniture de cette énergie va revêtir une très haute priorité.