

Zeitschrift: Schweizer Ingenieur und Architekt
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 105 (1987)
Heft: 39

Artikel: Lokomotiven für Hochgeschwindigkeit
Autor: Loosli, Hugo
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-76713>

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: 01.04.2025

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

Lokomotiven für Hochgeschwindigkeit

Von Hugo Loosli, Winterthur

Die Entwicklung einer neuen Lokomotive für «Bahn 2000» bietet heute Aussichten, den Rückstand gegenüber dem internationalen Entwicklungsstand der Schnellverkehrs-Lokomotiven aufzuholen. Dies ist für die Zukunft bedeutsam, wird doch die Integration unseres Landes in das europäische Schnellbahnnetz mindestens eine neue Transversale und einen Alpen-Basistunnel erfordern.

Dieser Beitrag konzentriert sich auf den mechanischen Teil der Lokomotiventwicklung für konventionelle Gleisanlagen, ohne auf andere Schienensysteme und Antriebsprinzipien wie z. B. «Maglev» einzugehen. Den neueren Entwicklungen der elektrischen Antriebe und Steuerungen werden spätere Beiträge gewidmet sein.

Ausgangslage

Ein völlig neuer Lokomotiventyp, die Ae 4/4 der BLS, brachte 1944 die schweizerische Industrie an die Weltspitze der Entwicklung im Lokomotivenbau. Ein Schnellverkehr im heutigen Sinn gehörte damals ins Reich der Utopien. Die SBB standen zu dieser Zeit erst im Begriff, mit der Einführung der Zugreihe R für erhöhte Kurvengeschwindigkeit der Züge auf 125 km/h eine Anhebung der mittleren Fahrgeschwindigkeit und damit eine Verkürzung der Fahrzeiten zu erreichen.

Eine weitere Möglichkeit zur Erhöhung der Kurven- und damit der mittleren Fahrgeschwindigkeit erkannte man in der Entwicklung von Personenwagen mit gesteuerter Querneigung. Eine beschränkte Anzahl der in den 70er Jahren zur Auslieferung gelangten Einheitswagen EW III der SBB war mit einer Querneigevorrichtung ausgerüstet und Gegenstand von Versuchen. Diese führten nicht durchwegs zu überzeugenden Resultaten, und das Kosten-Nutzen-Verhältnis dieser Einrichtung wurde als ungenügend beurteilt, so dass auf deren Einführung auf breiter Basis verzichtet wurde.

Die Verwirklichung der von der Eidgenössischen Kommission für die schweizerische Gesamtverkehrskonzeption (GVK) 1977 vorgeschlagenen neuen Haupttransversalen (NHT) für einen Schnellverkehr erwies sich aus politischen Gründen als unmöglich. An deren Stelle trat das Projekt «Bahn 2000», das u. a. durch die Erstellung von total vier Neubaustrecken zwischen Lausanne und Winterthur sowie Basel und Olten gekennzeichnet ist und neues Rollmaterial für eine betriebliche Höchstgeschwindigkeit von 200 km/h erfordert. Damit wird unserer Lokomotivindustrie der Weg zur

Entwicklung eines neuen Lokomotivtyps, der Re 4/4 VI eröffnet, aus der später eine Mehrstromlokomotive für den Einsatz im grenzüberschreitenden Verkehr hervorgehen könnte. Mit der Entwicklung und dem Bau der Re 4/4 VI erhält die schweizerische Lokomotivindustrie Gelegenheit, den Anschluss an den im Ausland erreichten Entwicklungsstand in der Produktion von Hochgeschwindigkeits-Triebfahrzeugen zu finden.

Schnellverkehr im Ausland

Bevor die speziellen Verhältnisse in unserem Land zur Diskussion kommen, soll eine kurze Übersicht den Stand der Entwicklung der Hochgeschwindigkeitsbahnen im internationalen Vergleich vergegenwärtigen.

Japan

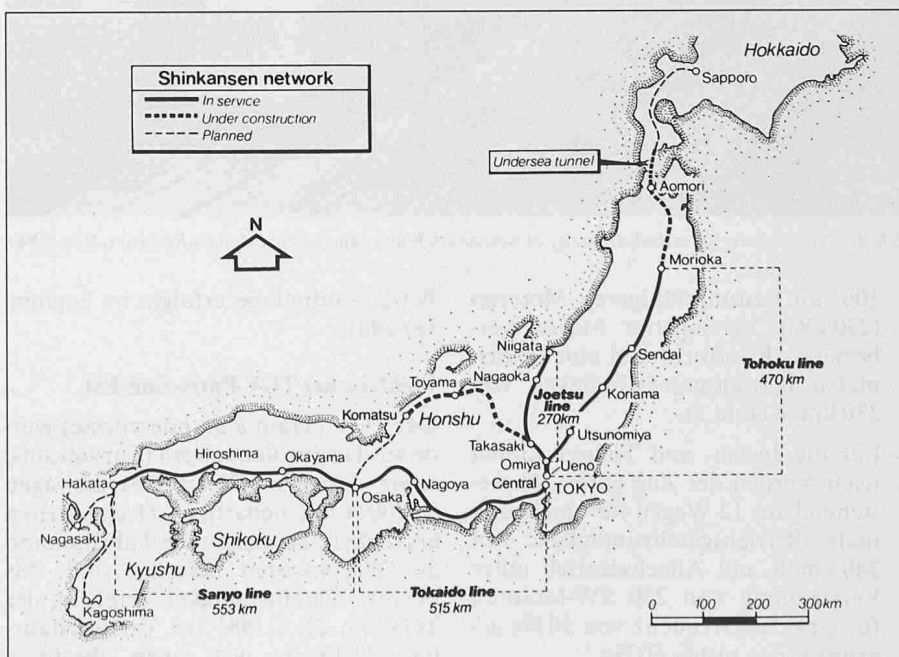
Für den Schnellverkehr hat Japan mit dem «Shinkansen» grosse Pionierarbeit geleistet. Die Betriebsaufnahme der rund 500 km langen Linie Tokio–Osaka erfolgte 1964. Diese Linie basiert auf der Normalspur (1435 mm) und ist vollständig vom übrigen Schienennetz (Kapspur 1067 mm) getrennt. Das Schnellverkehrsnetz umfasst heute etwa 1800 km (Bild 1), weitere Strecken sind im Bau oder geplant.

Das neue Rollmaterial wird sehr sorgfältig entwickelt. Benötigtes Know-how wurde einerseits von Spezialkommissionen im Ausland, u. a. auch aus Beiträgen der SBB, andererseits durch eine intensive Forschungs- und Entwicklungstätigkeit im eigenen Land gewonnen.

Als erste Prototypen wurden je ein zweiteiliger und ein vierteiliger Triebwagenzug für 250 km/h Höchstgeschwindigkeit gebaut; alle Achsen sind angetrieben (170 kW-Motoren), die maximale Achslast war auf 15 t begrenzt. Die anschliessend in Serie gebauten Züge umfassen 12 und 16 Wagen mit Allachsantrieb (185 kW-Motoren). Die zulässige höchste Betriebsgeschwindigkeit wurde mit 210 km/h angesetzt. Das verwendete Drehgestell ist konventionell aufgebaut und mit Sekundär-Luftfedern ausgerüstet.

Diese Schnellbahnlinie brachte grossen Erfolg, sie zieht bis 1 Mio. Passagiere pro Tag an. Die japanischen Bahnen ar-

Bild 1. Hochgeschwindigkeitsnetz der japanischen Eisenbahnen (Railway Gazette Intl., Sept. 1986)



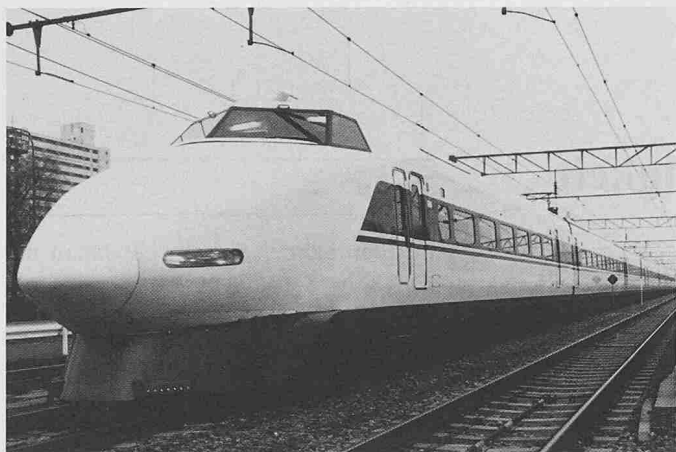


Bild 2. Triebwagenzug der Baureihe 100 der japanischen Eisenbahnen

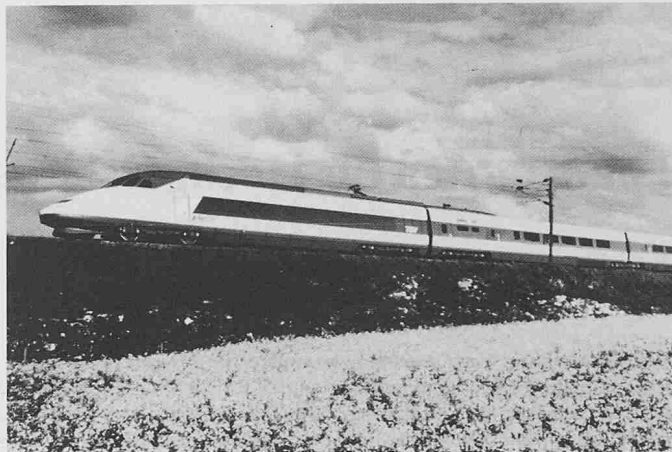


Bild 3. TGV Atlantique mit zwei Triebköpfen und zehn Zwischenwagen

beiten als Ganzes stark defizitär, die Schnellbahnstrecken werden jedoch mit Gewinn betrieben. Für den weiteren Ausbau wird eine Steigerung der Geschwindigkeit bis 300 km/h angestrebt.

Für die Netzerweiterungen stehen neue Züge zur Verfügung bzw. im Bau, so u. a.:

- Für die Linie Richtung Westen, von Tokio nach Hakata, der Zug Serie

Frankreich

Die Linienführung der ersten besonders angelegten Schnellfahrstrecke, Paris-Lyon (427 km), folgt dem Gelände. Es handelt sich um eine «Berg- und Talbahn» mit Steigungen bis 35%, wenigen Kunstbauten und nur sehr wenigen Brücken. Die Strecke ist für Geschwindigkeiten bis 270 km/h ausgelegt. Die

Weltrekord für Eisenbahnen auf konventioneller Gleisanlage bedeutet. Der Beweis, dass 260 km/h betriebsmässig gefahren werden können, wurde erbracht. Die anfängliche Ausführung des TGV als von einem Versorgungsnetz für elektrische Energie unabhängiger Gasturbinenzug erwies sich als ein guter politischer Schachzug, indem es schien, dass dadurch die Investitionskosten für die neu zu bauenden Linien entsprechend niedrig gehalten werden könnten, was sich sehr zugunsten eines raschen Baubeginns der Linie Paris-Lyon ausgewirkt hat. Die erste TGV-Strecke brachte grossen technischen und kommerziellen Erfolg. 1986 waren täglich etwa 50 000 Reisende zu verzeichnen.

Der TGV besteht aus je einem Triebkopf an den Zugsenden und acht Zwischenwagen. Der Zug weist total sechs Triebdrehgestelle auf, deren zwei sind je in einem der Triebköpfe und je ein weiteres in jedem dem Triebkopf benachbarten Wagen untergebracht. Die Laufdrehgestelle sind in der Art von Jacobsdrehgestellen zwischen den Wagen angeordnet. Die Antriebsleistung beträgt insgesamt rund 6300 kW, die maximale Betriebsgeschwindigkeit 270 km/h. Die Fahrmotoren zu je 515 kW sind in den jeweiligen Fahrzeugkästen gelagert und mit einer Gelenkwelle für «gleitende Kraftübertragung» versehen. Gebaut wurden insgesamt 110 Züge dieses Typs.



Bild 4. XPT-Zug der State Rail Authority of New South Wales (Australien) (Modern Railways, Nov. 1986)

100 mit leistungsfähigeren Motoren (230 kW), verringerter Masse, verbesserter Kopfform und einer maximalen Betriebsgeschwindigkeit von 230 km/h (Bild 2).

- Für die Joetsu- und Tohoku-Linien nach Norden der Zug Serie 200, bestehend aus 12 Wagen für eine maximale Betriebsgeschwindigkeit von 240 km/h, mit Allachsantrieb unter Verwendung von 230 kW-Motoren für eine Netzfrequenz von 50 Hz gegenüber den bisher 60 Hz.

Betriebsaufnahme erfolgte im September 1981.

Elektrischer TGV Paris-Sud-Est

Der TGV (Train à grande vitesse) wurde aus Gasturbinenzügen (Turbotrains) sowie einem Versuchstriebwagen (Z-7001) mit neuartigen Drehgestellen entwickelt, bei denen die Fahrmotoren am Wagenkasten befestigt sind. Als höchste Geschwindigkeit erreichte der TGV am 26. 2. 1981 bei Versuchsfahrten 380 km/h, was einen absoluten

TGV Atlantique

Der Bau neuer Linien nach Südwesten (280 km/h) sieht mit einem neuen Konzept nur noch Steigungen von höchstens 12 bis 15% vor; die Strecken sollen für maximal 300 km/h gebaut werden. Der Bau wurde Anfang 1985 in Angriff genommen.

Das Rollmaterial für die neuen Strecken (Bild 3) besteht aus Zügen mit zwei Triebköpfen mit je zwei Triebdrehgestellen sowie zehn Zwischenwagen,

wiederum mit Laufdrehgestellen zwischen den Wagen. Die Drehstromantriebstechnik hält Einzug mit kollektorlosen Synchronmotoren mit je 800 kW Leistung. In Frankreich wurde übrigens schon früh der Schnellbahnverkehr unter Verwendung von Lokomotiven gefördert. Bereits im März 1955 stellte eine sechsachsige Lokomotive mit 331 km/h einen absoluten Geschwindigkeitsrekord für Lokomotiven auf.

Bis zum Jahr 2000 will Frankreich ein zusammenhängendes TGV-Netz über das ganze Land aufbauen. Hierzu ist der Bau weiterer von Paris ausgehender Linien, so nach Lille, an den Ärmelkanal und Richtung Belgien (TGV Nord), Richtung Strassburg und die BRD (TGV Est) sowie eine Verlängerung der bestehenden Strecke Paris-Lyon bis nach Marseille geplant. Die an das Hochgeschwindigkeitsnetz anknüpfenden bestehenden Linien sollen durch teilweisen Ausbau zum rascheren Befahren mit TGV-Zügen hergerichtet werden.

England

Das bestehende Netz ist mit seinen vielen geraden Strecken für den Schnellverkehr geradezu prädestiniert. Neubaustrecken sind praktisch keine erforderlich.

Advanced Passenger Train (APT)

Bereits Ende der 60er Jahre wurde ein Hochgeschwindigkeitszug für 250 km/h

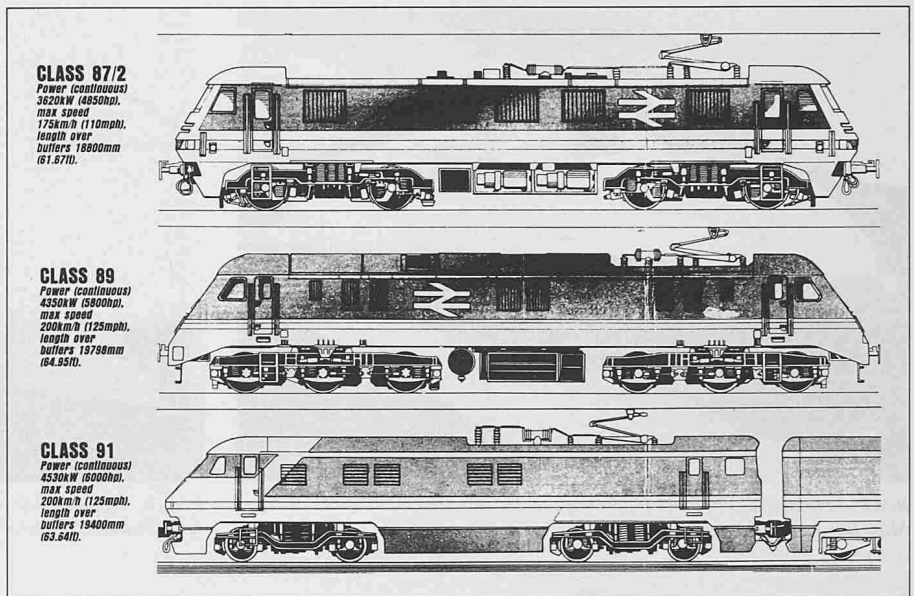


Bild 5. Neue Britische Elektrolokomotiven, Reihen 87/2, 89 und 91 «Electra» (Railnews, Dec. 1986)

mit folgenden grundsätzlichen Neuerungen entwickelt:

- Gasturbinen-Triebwagen und später rein elektrische Triebwagen
- Drehgestelle mit zahlreichen Neuerungen
- Wagen mit Neigevorrichtung

Mit dem APT konnte ein kommerzieller Betrieb nur während einer ganz kurzen Zeit von wenigen Stunden aufrechterhalten werden. Wegen der allzu zahlreichen Störungen landen diese Züge heute auf dem Schrotthaufen.

Dieser reine Dieselzug für eine Höchstgeschwindigkeit von 200 km/h besteht aus zwei Triebköpfen mit je einem Zwölfzylinder-Paxman-Motor zu 2500 PS. Mit einer Triebkopfmasse von 70 t ergibt sich eine Achslast von 17,5 t. Die Drehgestelle sind für stabiles Laufverhalten bei hohen Geschwindigkeiten sowie für gute Kurvenlaufeigenschaften optimiert. Der HST wird in Australien in einer mit XPT bezeichneten Auslegung (Bild 4) für Betriebsgeschwindigkeiten bis 160 km/h nachgebaut.

Lokomotivbauprogramm

In England wird ein ausgedehntes Lokomotivbauprogramm (Bild 5) für die elektrische Traktion realisiert.

Bild 6. Drehgestell der «Electra» (Railnews, Nov. 1986)

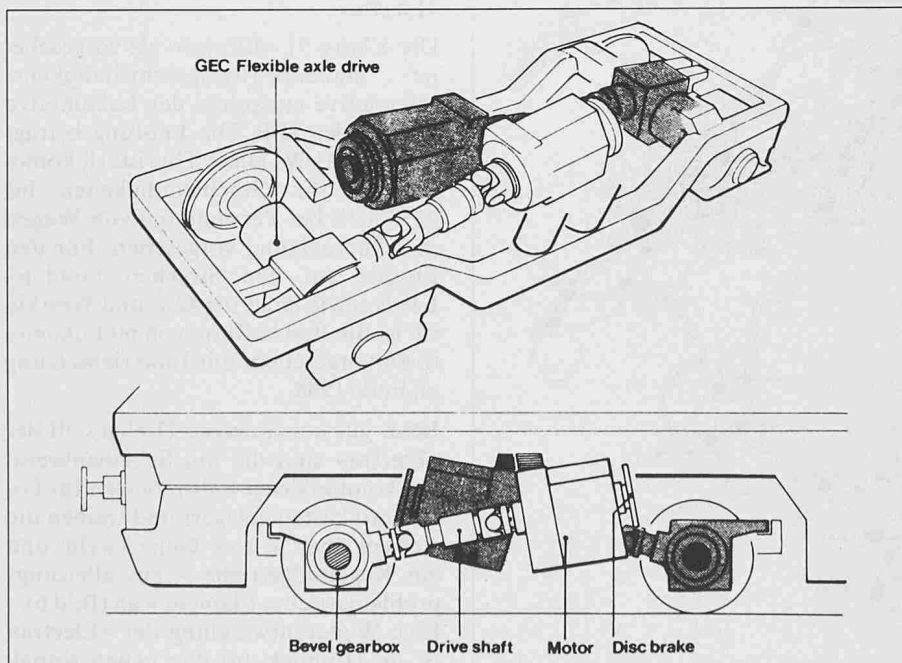
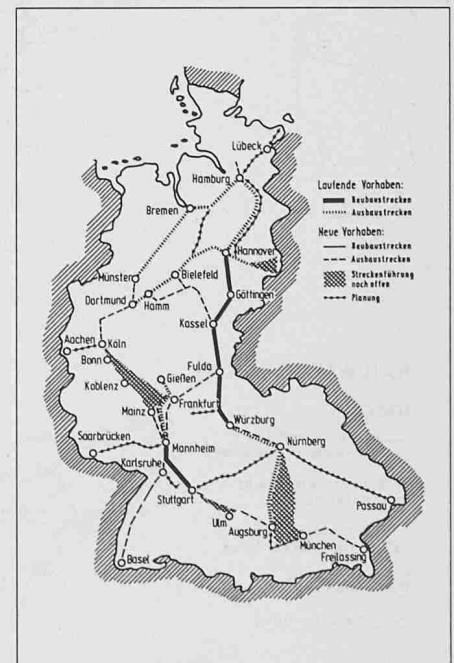


Bild 7. Neu- und Ausbaustrecken der Deutschen Bundesbahn (Eisenbahntechnische Rundschau, ETR 35 (1986), H. 10 - Oktober)



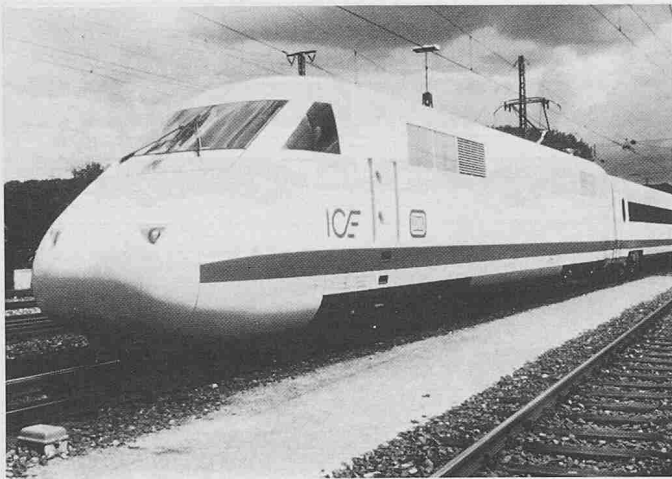


Bild 8. Prototyp des ICE der Deutschen Bundesbahn (Bundesbahn-Zentralamt München der DB, Nov. 1986)

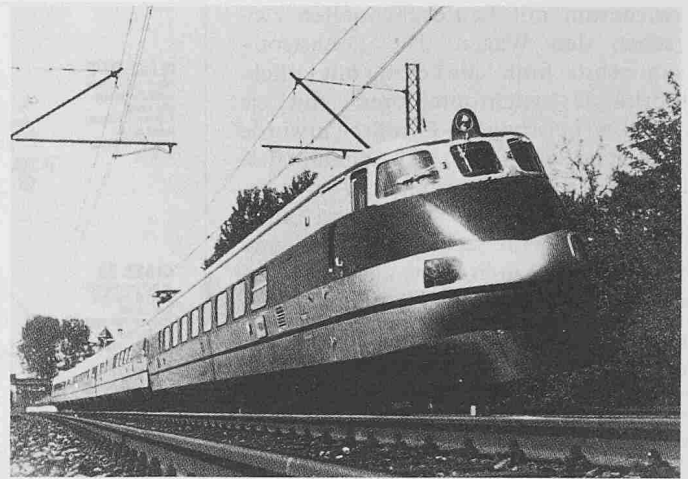
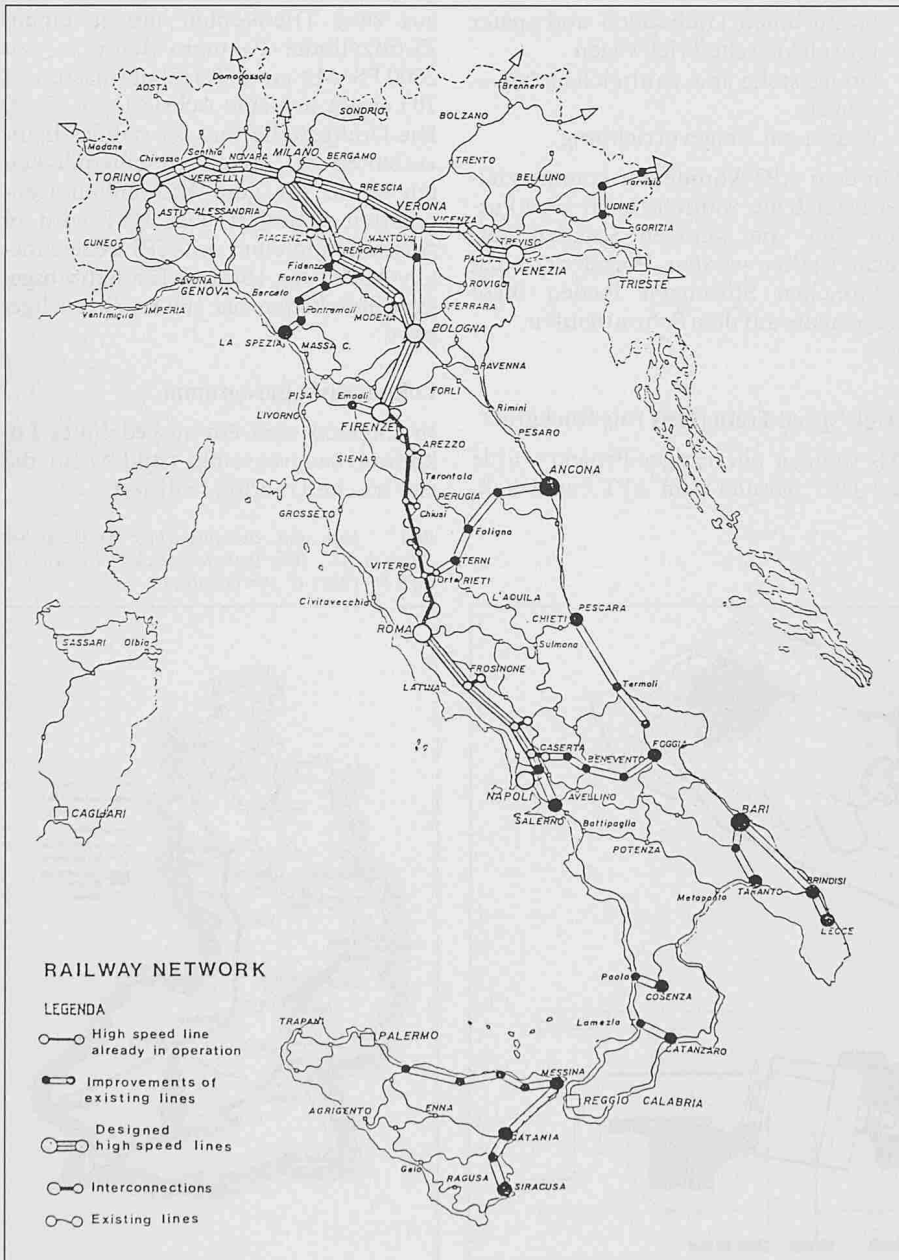


Bild 10. Italienischer 4-Wagen-Prototypzug ETR 401 mit Querneigevorrichtung (Pendolino) (Elektrische Bahnen, 84, Jahrgang 1986, Heft 8)

Bild 9. Neu- und Ausbaustrecken der italienischen Staatsbahnen (Cavagnaro, M. Concept of the System, New Rolling Stock für High-Speed Services and Consequent Benefits, Vancouver, BC, Sept. 30, 1986)



Die Lokomotive der Klasse 87/2 stellt eine Weiterentwicklung der Typen 87/0 und 87/1 aus dem Jahr 1973 dar; die Nennleistung dieser Thyristor-Lokomotive (analog der Re 4/4 IV der SBB) beträgt rund 3700 kW, die maximale Betriebsgeschwindigkeit 175 km/h. 60 Lokomotiven sollen für den Einsatz auf den grossen Linien längs der West- und der Ostküste beschafft werden. Die Betriebsaufnahme an der Westküste ist für 1987 geplant.

Der erste Prototyp der Klasse 89 kam im Oktober 1986 auf die Schiene. Diese sechsachsige Lokomotive mit zwei dreiachsigen Drehgestellen verfügt über eine Leistung von 4350 kW und ist für eine maximale Geschwindigkeit von 200 km/h ausgelegt. Dieser Lokomotivtyp ist für den Einsatz längs der Ostküste vorgesehen und bildet zugleich eine Rückfallposition für die «Electra».

Die Klasse 91 «Electra» als vorgesehene Standard-Hochgeschwindigkeitslokomotive entspricht der Lokomotive «2000» der SBB. Die Leistung beträgt rund 4500 kW. Diese Thyristorlokomotive ist für Geschwindigkeiten bis 225 km/h bei Verwendung von Wagen mit Querneigung vorgesehen. Für den Einsatz auf den Strecken London-Leeds sowie längs der Ost- und Westküste ist die Beschaffung von 60 Lokomotiven vorgesehen, mit Inbetriebsetzung ab Ende 1988.

Beim gut konzipierten Drehgestell der «Electra» sind die mit Scheibenbremsen kombinierten Fahrmotoren im Lokomotivkasten gelagert und treiben die Achsen über je eine Gelenkwelle und ein Kegelradgetriebe - ein allerdings problematisches Element - an (Bild 6). Eine Weiterentwicklung der «Electra» ist im Hinblick auf den neuen Kanal-

tunnel zwischen England und Frankreich geplant, dessen Inbetriebnahme 1993 erfolgen soll. Der dafür vorgesehene Zug umfasst 2 Lokomotiven und 13 oder 14 Zwischenwagen. In den Lokomotiven mit je etwa 5000 kW Leistung kommt erstmals die Umrichtertechnik zur Anwendung. Der Zug wird für eine Höchstgeschwindigkeit von 300 km/h ausgelegt, wobei die zulässige maximale Geschwindigkeit im Tunnel etwa 160 km/h betragen dürfte.

Deutschland

Ein ehrgeiziges Programm mit Neubausrecken in Kombination mit Ausbaustrecken steht in Realisierung (Bild 7). Die Neubausrecken, die sowohl von Personen- wie von Güterzügen befahren werden sollen, weisen einen hohen Standard auf. Der Ausbau erfolgt für eine Höchstgeschwindigkeit von 250 km/h. Die maximale Neigung beträgt 12‰, und im Gegensatz zu Frankreich ist der Anteil an Kunstbauten sehr hoch, wobei dem Umweltschutz in hohem Masse Rechnung getragen wird. So liegt beispielsweise die Neubausrecke Hannover-Würzburg (327 km) zu lediglich 5% ebenerdig, der weitaus grösste Teil der Strecke verläuft in Tunneln, auf Brücken oder in Einschnitten.

ICE Intercity Experimental

Vorderhand wurde ein fünfteiliger Versuchszug, der Intercity Experimental, gebaut. Dieser Versuchszug (Bild 8) ist in Umrichtertechnik unter Verwendung von Asynchronmotoren von total 4200 kW Leistung pro Triebkopf für eine maximale Geschwindigkeit von 350 km/h ausgelegt. Er umfasst zwei Triebköpfe sowie einen Messwagen und zwei Demonstrationswagen. Am 17. November 1986 wurden auf einer Versuchsfahrt 345 km/h erreicht. Das Drehgestell ist sehr sorgfältig konzipiert, jeder Fahrmotor ist sowohl am Lokomotivkasten als auch am Drehgestell aufgehängt. Der Raddurchmesser ist mit 1000 mm klein gewählt. Die Achslast beträgt 19,5 t. Das Drehgestell ist mit leistungsfähigen Scheibenbremsen ausgerüstet.

Die Bestellung einer ersten Tranche von rund 40 Zügen ist ausgelöst.

Italien

Der Entwicklungsstand in Italien ist nicht zu unterschätzen. Grosse Anstrengungen sind im Gang, die Ge-

schwindigkeiten auf dem ganzen Netz (Bild 9) zu steigern. Als Hochgeschwindigkeitsstrecken für 250 km/h sind die Linien Mailand-Rom-Neapel (Direttissima) und Turin-Mailand-Venedig vorgesehen. Die Strecke Florenz-Rom steht vor der Vollendung, der Ausbau der übrigen Linien soll bis zum Jahr 2000 abgeschlossen sein.

ETR 500

Für die «Direttissima» ist ein Hochgeschwindigkeitszug mit Triebköpfen, der ETR 500, in Entwicklung. Mit etwa 4000 kW Leistung soll er die Maximalgeschwindigkeit 300 km/h bzw. die höchste Betriebsgeschwindigkeit 275 km/h erreichen. Der Achsdruck beträgt 18 t. Beim neuen Antriebskonzept sind die Asynchron-Fahrmotoren am Triebkopfkasten aufgehängt. Mit 1040 mm ist ein kleiner Raddurchmesser gewählt worden.

Der ETR 500 besteht aus 2 Triebköpfen und 8 bis 14 Zwischenwagen. Geplant ist der Bau von zwei Prototypzügen, die 1989 in Erprobung gehen sollen. Der kommerzielle Betrieb soll zu Beginn der 90er Jahre aufgenommen werden.

ETR 401 (Pendolino)

Das Netz der italienischen Staatsbahnen ist - wie jenes der Schweiz - kurvenreich. Eine wesentliche Erhöhung der Kurvengeschwindigkeit ist nur mittels Wagen mit Querneigevorrichtung möglich. Ein Prototypzug bestehend aus 4 Wagen mit einer Höchstgeschwindigkeit von 250 km/h ist 1975 in Betrieb genommen worden und wurde hauptsächlich auf der kurvenreichen Strecke Rom-Ancona eingesetzt (Bild 10). Die Querneigevorrichtung ist für alle Wagen gleich ausgebildet und hat sich als ziemlich störungsanfällig erwiesen. Der ganze Zug ist mit gleichen Drehgestellen mit je einem Motor ausgerüstet.

Ein ähnlicher Zug steht in Spanien im Einsatz.

ETR 450 (Super-Pendolino)

Dieser Zug wird vom Pendolino abgeleitet. 1985/86 sind 10 Züge mit je 11 Wagen und 5 Züge mit je 5 Wagen bestellt worden. Mit dieser Weiterentwicklung soll ein Optimum an Schnellfahreigenschaften erreicht werden. Die Neigevorrichtung erlaubt eine Neigung der Wagenkasten bis 10°. Auf der «Direttissima» soll die Höchstgeschwindigkeit von 250 km/h erreicht werden.

Der Achsdruck ist mit 12,5 t sehr niedrig gehalten. Alle Drehgestelle ausser jene des Speisewagens sind mit je einem Motor von 350 kW Leistung ausgerüstet, d. h. der ganze Zug verfügt über 7000 kW Antriebsleistung. Die

Motoren sind im Wagenkasten aufgehängt und treiben die Achse über eine Kardanwelle und - wie bei der «Electra» - ein Kegelradgetriebe an. Der luftdichte Wagenkasten ist in Leichtmetall konstruiert. Dieses Jahr sollen die Probefahrten mit dem ersten Zug aufgenommen werden. Der erste Betriebseinsatz soll auf der «Direttissima» erfolgen und zwischen Mailand und Rom bei einer Fahrzeit von 4½ h eine Fahrzeitverkürzung von 38 Min. erbringen.

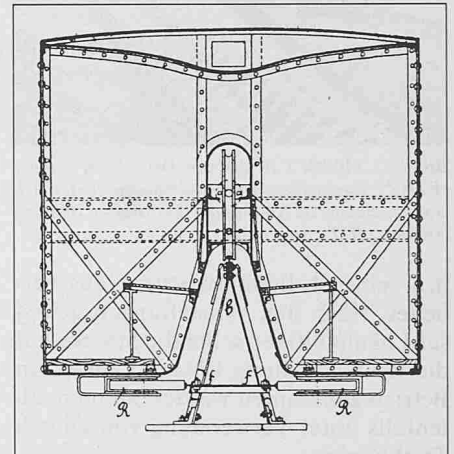


Bild 11. Prinzip der Einschiener-Reiterbahn von Lartigue (VDI-Zeitschrift, 21. 12. 1953)

Lokomotive E 402

Diese Lokomotive ist für den künftigen Einsatz auf den Ausbaustrecken mit der Höchstgeschwindigkeit von 220 km/h vorgesehen; sie bildet das Gegenstück zur Lokomotive «2000» der SBB. Bei einer Antriebsleistung von 6000 kW beträgt die Gesamtmasse 82 t. Die Asynchron-Fahrmotoren sind im Drehgestell aufgehängt. Von diesem Lokomotivtyp sind 5 Prototypfahrzeuge bestellt.

USA und Kanada

Viele Projekte sind in diesen Ländern im Studium. Die Beurteilung erfolgt nach streng wirtschaftlichen Massstäben, denn die Regierungen gewähren keine Förderung. Keine der Bahnlinien will die Erste, jede höchstens die Zweite sein.

Als Vorbilder dienen teilweise der französische TGV oder die japanischen Hochgeschwindigkeitszüge. Vereinzelt wird auch das Magnetschwebesystem («Maglev») in Betracht gezogen. Die «Swissrail», eine aus Lieferanten für Eisenbahnmaterial bestehende schweizerische Firmengruppe, hat sich wie auch verschiedene ausländische Interessenten mit den Fragen einer Schnellverbindung zwischen den Städten Detroit und Chicago befasst und

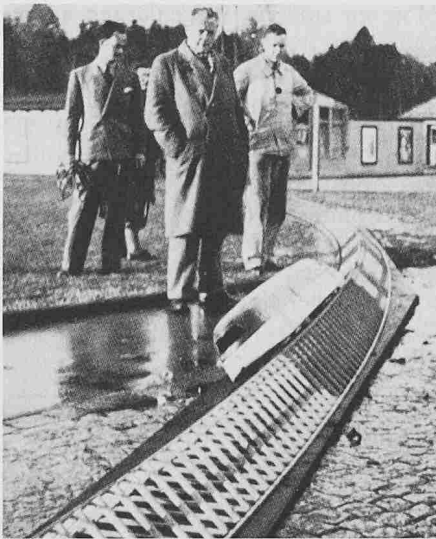


Bild 12. Modell 1:10 der von Prof. K. Wiesinger (ETHZ) vorgeschlagenen entgleisungssicheren Ultraschnellbahn im Strandbad Wollishofen (Glaser's Annalen, H. 15, 1. 8. 1939)

u. a. eine Rollmaterialstudie ausgearbeitet. Nach den Vorstellungen gewisser Lokalpolitiker sollte die Strecke auf die Weltausstellung 1992 in Chicago in Betrieb genommen werden können, allenfalls unter Verwendung von Dieseltriebköpfen.

Geschichte

Seit dem Aufkommen der Eisenbahn wurden sporadisch immer wieder Versuche unternommen, hohe Geschwindigkeiten zu erreichen. Meist fehlte dabei der Glaube, dass das herkömmliche klassische Rad-Schiene-System für hohe Fahrgeschwindigkeiten geeignet sei und die erforderliche Sicherheit gegen Entgleisung biete. Einige Beispiele seien hier kurz erwähnt:

Neue Schienensysteme

Verschiedene der vorgeschlagenen Bahnsysteme zur Erreichung hoher Geschwindigkeiten waren als sogenannte Reiterbahnen konzipiert, so z. B. diejenige vor Lartigue, die vor rund 100 Jahren in Algier wie auch in Irland auf entsprechenden Versuchsstrecken zur Erprobung gelangte. Das mit beidseitigen Spurkränzen versehene Tragrad im Fahrzeugkasten stützt sich auf die hochgestellte Tragschiene ab (Bild 11). Die beidseitig angeordneten, tief liegenden Leitrollen laufen auf Leitschienen und verhindern ein Kippen des Fahrzeugs.

Die «Alweg»-Einschienbahn des Industriellen A. L. Wennergren war ebenfalls eine Reiterbahn. Sie wurde 1952 auf einem Versuchsgelände in der Nähe von Köln in einem Modell vorgeführt. Während des Zweiten Weltkrieges entwickelte Prof. Kurt Wiesinger der ETH

Zürich ein System einer entgleisungssicheren Schnellbahn und demonstrierte diese anhand von Modellanlagen u. a. auf dem Gelände des Strandbades Wollishofen (Bild 12) in Zürich. Bei diesem System greifen die im Drehgestell schräggestellten Räder mit hohen Spurkränzen unter die Schienen (Bild 13). Als Ziel wurden Fahrgeschwindigkeiten von 400 km/h mit leichten Fahrzeugen und Luftschraubenantrieb angestrebt.

Konventionelle Gleisanlage

Schon 1903 wurden in Deutschland mit Elektrotriebwagen auf konventioneller Schiene 210 km/h erreicht.

Der «Schienenzug» von Kruckenberg mit Propellerantrieb (Bild 14) erreichte Anfang der 30er Jahre 230 km/h.

In den Jahren 1936 und 1938 erreichten Dampflokomotiven in Deutschland und England 200 bzw. 203 km/h.

1954 und 1955 führten die französischen Staatsbahnen mit elektrischen Serielokomotiven Schnellfahrversuche durch, die im März 1955 zu dem bereits erwähnten absoluten Geschwindigkeitsrekord für Lokomotiven führten.

Ein neuer gegen Ende der 60er Jahre von den belgischen Staatsbahnen (SNCB) geplanter Lokomotivtyp war für eine Höchstgeschwindigkeit von 200 km/h zu konzipieren und auf Verlangen der Bahn mit Drehgestellen in einer von der Schweizerischen Lokomotiv- und Maschinenfabrik (SLM) vorzuschlagenden Bauart auszurüsten. Diese Entwicklungschance liess sich die SLM nicht entgehen, und sie unterzog die Drehgestelle einer Ae 6/6 durch Änderung der Federungen, der Dämpfung, des Antriebs sowie der Zugkraftübertragung vom Drehgestell auf den Lokomotivkasten einem durchgreifenden Umbau (Bild 15). Vor einem internationalen Expertengremium wurden mit diesem Fahrzeug im Juni 1969 auf der Strecke Forchheim-Bamberg (BRD) mit bestem Erfolg Versuche bis 200 km/h durchgeführt. Die SBB wirkten bei den Messungen mit, die Finanzierung übernahm die SLM. Die Drehgestelle der neuen belgischen Lokomotive wurden auf Grund eines Lizenzabkommens weitestgehend gemäss den Versuchsgestellen der Ae 6/6 gebaut.

Voraussetzung

Für die Verwirklichung eines Schnellverkehrs ist kein neues Schienen- oder Trasseprinzip erforderlich. Um voranzukommen ist es primär Sache der Bahnen, die Zukunft der Eisenbahn visionshaft zu erkennen und Initialzündungen auszulösen (Beispiel: «Bahn 2000»). Technisch gesehen bringt die Hochgeschwindigkeit auf der konventionellen Schiene an sich nichts sensa-

tionell Neues. Wichtig ist eine konsequente Verwertung der im Triebfahrzeugbau erarbeiteten theoretischen Erkenntnisse und eine entsprechende Umsetzung bewährter Technik. Die Realisation eines Schnellverkehrs konzentriert sich in erster Linie auf die Lösung des Problems der Investitionen für die permanenten Anlagen und das Rollmaterial.

Schweizerische Verhältnisse

In der Schweiz mit dem sehr kurvenreichen Eisenbahnnetz bringt in erster Linie die Erhöhung der *Kurvengeschwindigkeit* eine merkliche Steigerung der durchschnittlichen Fahrgeschwindigkeiten, weit weniger eine gesteigerte Maximalgeschwindigkeit. In den 40er Jahren wurde mit dem Bau der Re 4/4 I dieses Ziel erreicht. Damals setzte eine hohe Kurvengeschwindigkeit vor allem einen kleinen Achsdruck voraus, im Fall dieser Lokomotive bloss rund 14 t.

Das Bild 16 zeigt die zulässigen Kurvengeschwindigkeiten für verschiedene Zugreihen. Nach einer gegenüber den früheren Rahmenlokomotiven um 5 km/h höher gesetzten Treppenkurve fahren die Züge der Reihe R mit 80 km/h in 300 m-Bogen. Seit einigen Jahren können alle R-Lokomotiven auf der Strecke Lausanne-Bern-St. Gallen nach der Reihe RS verkehren. Die Züge mit den Versuchswagen mit Querneigevorrichtung waren für Kurvengeschwindigkeiten nach der im Bild dünn gestrichelt gezeichneten Linie zugelassen, d. h. sie konnten ihre Maximalgeschwindigkeit von 140 km/h bereits im 530 m-Bogen erreichen.

Der maximale Achsdruck der meisten R-Lokomotiven, also der Re 4/4 II und III, der sechssachsigen Re 6/6, aber auch der 1982 in Betrieb genommenen Re 4/4 IV, ist auf 20 t begrenzt. Diese Lokomotiven beanspruchen jedoch die Schienen in den Kurven dank besonderer konstruktiver Massnahmen kaum stärker als die früher gebaute Leichtlokomotive Re 4/4 I.

Eine schweizerische Schnellverkehrslokomotive muss ausser einer grossen Höchstgeschwindigkeit auch gute Kurvenlaufeigenschaften aufweisen und ohne erhöhte Seitenkräfte zwischen Rad und Schiene höhere Kurvengeschwindigkeiten erreichen. Die Lokomotive kann diese Forderungen erfüllen, bei den Wagen ohne Querneigevorrichtung wird diese Forderung kritisch, da die zulässige freie Seitenbeschleunigung für die Passagiere beschränkt bleiben muss.

Bei der Fahrt nach Reihe R ist die freie Seitenbeschleunigung auf Schienenoberkante (SOK) 0,8 m/s², auf Fahrgast-

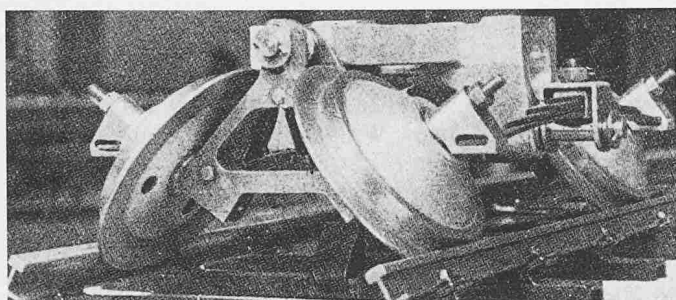


Bild 13. Drehgestell des Modellfahrzeugs von K. Wiesinger, vgl. Bild 12 (Verkehrstechnik, H. 22, 17. 11. 1938)

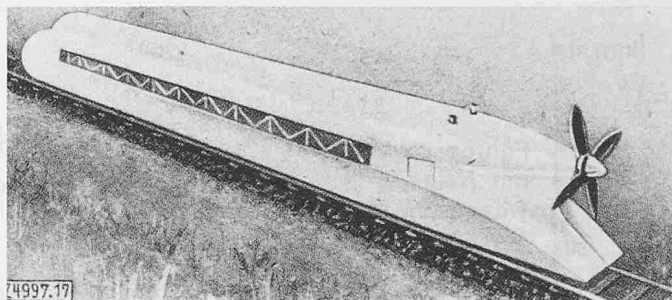


Bild 14. Propellertriebwagen «Schienenzeppelin» von F. Kruckenberg 1930 (VDI-Zeitschrift, 21. 12. 1953)

höhe 1,2 bis 1,4 m/s². Bei guter Gleisanlage und mit langen Übergangsbögen sind auf SOK noch 1,1 m/s² und im Wagen rund 1,5 m/s² zulässig. Werden aber bei entsprechend hohen Kurvengeschwindigkeiten 1,8 m/s² auf SOK gefordert, so bedingt dies Wagen mit Querneigevorrichtung.

Auf dem schweizerischen Netz wäre der Gewinn an Kurvengeschwindigkeit mit einer Querneigevorrichtung nicht unbedeutend, wie die Versuche mit dem aus Einheitswagen EW III gebildeten «Swiss Express» gezeigt haben (Bild 16). Dank der von der Schweizerischen Industrie-Gesellschaft (SIG), Neuhausen am Rheinfluss, entwickelten Querneigevorrichtung konnte auf der Strecke Zürich-Genf eine Fahrzeitersparnis von 13 bis 15 Minuten erreicht werden. Wie bereits eingangs erwähnt, wurde diese Entwicklung von den SBB fallengelassen.

Im Gegensatz zu den SBB setzt Schweden viel auf Züge mit Querneigevorrichtung. Im August 1986 wurden dort 20 sechsteilige Züge mit Triebkopf und Wagen mit Querneigevorrichtung bestellt, die mittels eines hydraulischen Systems eine maximale Querneigung (Bild 17) von 8° erlaubt; die Züge sind mit 3250 kW Antriebsleistung für eine maximale Geschwindigkeit von 200 km/h ausgelegt.

Für die Züge der «Bahn 2000» hat der VCS (Verkehrs-Club der Schweiz) das Neigesystem des spanischen «Talgo Pendular»-Zuges vorgeschlagen. Dieser Zug weist ein passives Neigesystem auf, bei dem die Aufhängepunkte des Wagenkastens sehr hoch liegen. Das System reagiert zu träge und neigt zu Überschwingungen. Der erreichbare Zeitgewinn bleibt daher klein; für die Strecke Bern-Olten errechnet sich eine Zeiteinsparung von lediglich 2 bis 3 Minuten.

Schnellverkehr in der Schweiz

Leider steht die Schweiz vorderhand weitgehend abseits. Die Eidgenössische Kommission für die schweizerische Ge-

samtverkehrskonzeption (GVK) hat 1977 in ihrer Schlussvariante SV-2 zwei Neue Haupttransversalen (NHT), Lausanne-St. Gallen und Basel-Olten, vorgeschlagen. Politisch liess sich jedoch dieses Konzept nicht durchsetzen.

Das Projekt «Bahn 2000» sieht ganz gezielt bloss vier Neubaustrecken von insgesamt 110 km Länge und vier Ausbaustrecken vor (vgl. H. 3/86. S. 27). Die Verwirklichung dieses Projektes ist dennoch eine grosse Herausforderung für unser Land. Bedauerlich ist die lokale Opposition im Kanton Bern; sie zeigt einen Mangel an Solidarität: eigene Interessen werden weit vor das Gesamtinteresse des Landes gestellt. Andere Beispiele dafür gibt es genug: Rothenturm, Waldsterben, Lagerung radioaktiver und giftiger Abfälle, Lärmbelastung durch die Flugwaffe usw.

Die Schweiz hat - international gesehen - einen grossen Nachholbedarf im Schienenschnellverkehr, sowohl für den Güter- wie für den Personenverkehr. Stand die schweizerische Industrie 1945 mit der Ae 4/4 der BLS weltweit an der Spitze des Elektrolokomotivbaus, so ist dies heute für den Schnellverkehr nicht mehr der Fall, eine Aufholjagd ist erforderlich.

Bild 15. Lokomotive Ae 6/6 Nr. 11414 der SBB, umgebaut für Schnellfahrversuche bis 200 km/h in Deutschland (Foto SLM 1968)



Lokomotive für die «Bahn 2000»

Gegenwärtig sind erst einige Hinweise möglich. Mit dem Vertrag vom 10. 12. 1985 haben die SBB ein Konsortium (BBC und SLM) mit der Entwicklung einer Schnellfahrlokomotive für die «Bahn 2000» (Re 4/4 VI) beauftragt. Der Vertrag enthält einen Katalog der durch die neue Lokomotive zu erfüllenden Anforderungen, wobei diejenigen an das Fahrwerk und an das Laufverhalten sowohl im Bereich hoher Fahrgeschwindigkeiten als auch auf den bestehenden kurvenreichen Strecken besonders anspruchsvoll sind.

Für die Entwicklung der Re 4/4 VI sind besondere Konstruktionserfahrungen und Rechenergebnisse zu berücksichtigen, wie sie in den 60er und 70er Jahren mit Hilfe von SLM-Programmen und in jüngster Zeit mit dem Programm «Medina» der Deutschen Forschungs- und Versuchsanstalt für Luft- und Raumfahrt ermittelt und zudem mittels einer konstruktiv leicht modifizierten Re 4/4 IV anhand von Fahrversuchen verifiziert worden sind.

Beide Programme lieferten übereinstimmende Resultate: Für möglichst stabilen Lauf im Hochgeschwindigkeitsbereich ist eine geringe (unabgefe-

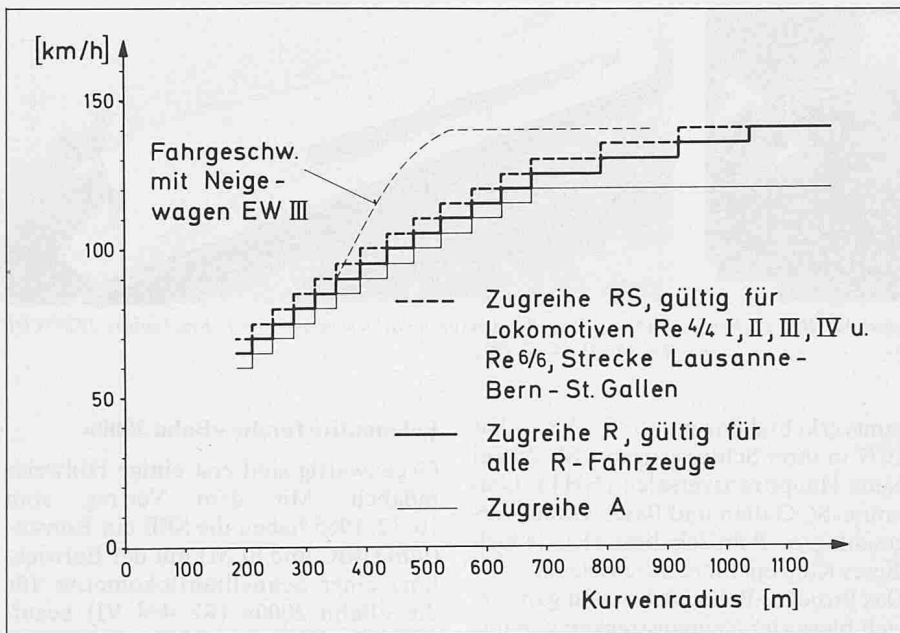


Bild 16. Verlauf der zulässigen Kurvengeschwindigkeiten (SBB)

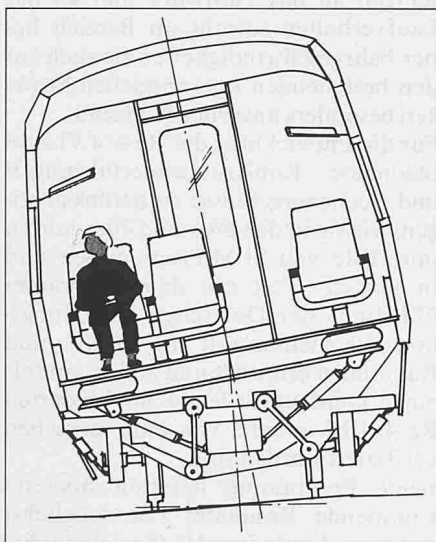
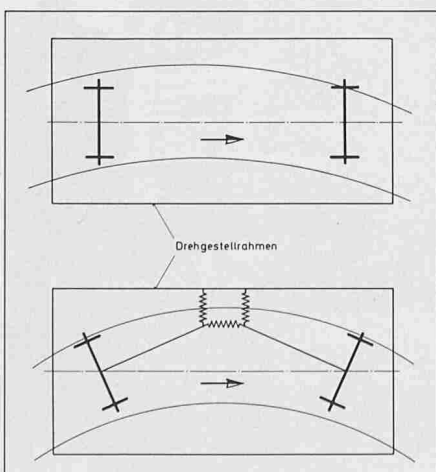


Bild 17. Querneigevorrichtung der sich im Bau befindenden Hochgeschwindigkeitszüge der schwedischen Staatsbahnen (Asea-Zeitschrift, Jahrgang 32, Nr. 2, 1987)

Bild 18. Schematische Darstellung der Achsstellungen in Drehgestellen mit parallelen und mit sich radial einstellenden Triebachsen (SLM 1986)



derte) Masse des Drehgestells anzustreben, d. h. Leichtbau aller Teile, kleine Raddurchmesser sowie ein möglichst kleines Trägheitsmoment des Drehgestells um seine Hochachse, d. h. ein leichtes und kurzes Drehgestell, dessen Masse möglichst im Zentrum konzentriert ist. Ein wesentlicher Schritt in diese Richtung ergibt sich, wenn die Fahrmotoren ganz oder teilweise am Lokomotivkasten aufgehängt werden und dank der von den SBB geforderten Ausführung des elektrischen Teils in Umrichtertechnik leichte Asynchronmotoren zur Verwendung gelangen. Für eine Antriebsleistung von 1,4 MW erreicht ein Einphasen-Kollektormotor eine Masse von 4,0t, während ein Asynchronmotor gleicher Leistung bloss 2,3t Masse aufweist.

Eine möglichst kleine, nicht abgefederte Masse bedingt Leichttradsätze mit Monoblockrädern von kleinem Durchmesser sowie volle Abfederung der massenarm auszuführenden Antriebs-elemente.

Zur Erreichung der verlangten guten Kurvenlaufeigenschaften, verbunden mit möglichst kleinen Seitenkräften zwischen Rad und Schiene und damit einem geringen Schienen- und Radverschleiss, werden die Drehgestelle so konzipiert, dass die Triebachsen bei Kurvenfahrt eine Radialeinstellung einnehmen (Bild 18).

Ein weiterer schwergewichtiger Entwicklungsbereich umfasst die Bremsanlage, wobei hierfür eine Kombination aus Klotz- und Magnetschienenbremsen in Frage kommen dürfte.

Der als Hohlträger auszubildende Kasten soll bei hoher Festigkeit möglichst leicht sein. Seine Form ist so auszubilden, dass sich ein nur geringer Luft-

widerstand und vor allem eine minimale gegenseitige aerodynamische Beeinflussung zweier sich kreuzender Züge ergeben. Für solche Entwicklungen dienen Windkanalversuche an Modellen im Massstab 1:20 beim Eidg. Flugzeugwerk Emmen. Das definitive Styling der Lokomotive wird aufgrund von Studien und Untersuchungen, mit denen die italienische Firma Pininfarina beauftragt worden ist, festgelegt.

Termine

Bis Mitte 1987 muss das Projekt der Lokomotive «2000» vorliegen. Eine Bestellung von ersten 12 Lokomotiven ist im Dezember 1987 vorgesehen, mit Auslieferungsbeginn voraussichtlich im Jahre 1990.

Ausblick

Leider ist gegenwärtig eine Vielzahl unterschiedlicher Systeme vorhanden, vorab in Europa.

- England hofft mit den projektierten «Channel Trains» bis weit nach Frankreich hinein und nach Deutschland fahren zu können.
- Frankreich plant, mit dem TGV nach Belgien, Holland und Deutschland zu fahren; die Schweiz wird bereits bedient.
- Deutschland hofft, der heutige ICE «Intercity-Experimental» werde zum «Intercity-Express» und mit der Zeit zum «Intercity-Europe».

Der grenzüberschreitende Verkehr bedingt Mehrstromfahrzeuge. Auch die SBB denken an solche, d. h. an eine entsprechende Weiterentwicklung der Re 4/4 VI.

Die Schnellfahrlinien zwischen Deutschland (Basel) und Italien (Mailand) weisen in der Schweiz eine Lücke auf, die eine eigentliche Drosselstelle darstellt. Daher wird ein Basistunnel durch die Alpen mit Zufahrtslinien für hohe Geschwindigkeiten (200 km/h) im gesamteuropäischen Interesse liegen.

Für die weitere Entwicklung der Schnellbahnen muss eine enge Zusammenarbeit aller massgebenden Stellen, nämlich der Regierungen, der Bahnen und der Industrie die Maxime sein.

Adresse des Verfassers: Vizedirektor Dr. Hugo Loosli, dipl. Masch. Ing. ETH/SIA, Schweizerische Lokomotiv- und Maschinenfabrik SLM, Zürcherstrasse 41, 8401 Winterthur.

Überarbeitete Fassung des Referates vor der SIA-Sektion Zürich anlässlich der Hauptversammlung vom 11. März 1987. Der Verfasser äussert verschiedentlich rein persönliche Ansichten, die möglicherweise in Details von offiziellen Firmenstellungen der Schweizerischen Lokomotiv- und Maschinenfabrik (SLM), Winterthur, abweichen können.