

**Zeitschrift:** Ferrum : Nachrichten aus der Eisenbibliothek, Stiftung der Georg Fischer AG  
**Herausgeber:** Eisenbibliothek  
**Band:** 62 (1990)

**Artikel:** Zur Entwicklung konkurrierender Antriebssysteme schienengebundener Fahrzeuge in Deutschland  
**Autor:** Knittel, Hartmut H.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-378256>

### **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:** 02.02.2025

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

# Zur Entwicklung konkurrierender Antriebssysteme schienengebundener Fahrzeuge in Deutschland

**Dr. Hartmut H. Knittel**  
Landesmuseum  
für Technik und Arbeit  
Am Ullrichsberg 16  
D-6800 Mannheim 31

An der Entwicklung der schienengebundenen Kolbendampfmaschine, des Diesel- und Elektroantriebes in Deutschland soll die These belegt werden, «... dass sogenannte «alte», schon überwunden geglaubte Technologien aufgrund der Herausforderung durch «neue», zukunftsweisende Technologien noch einmal so weit verbessert werden könnten, dass sie eine Zeitlang zu ernstesten Rivalen für die «neuen» Technologien würden.»<sup>1</sup>

Obwohl in diesem Beitrag die historische Entwicklung schienengebundener Triebfahrzeuge im Vordergrund steht, soll ihre Einbindung in das Verkehrswesen vorab angedeutet werden. In Anlehnung an die Theorie des Staatswissenschaftlers Fritz Voigt über das Wesen der Verkehrswirtschaft lassen sich Ortsveränderungen von Gütern, Personen und Nachrichten aus drei Gründen angeben:

1. Dienstleistung zur Befriedigung von Konsumbedürfnissen;
2. Verkehrsleistungen als immanenter Bestandteil jeder Arbeitsteilung und jedes Marktes;
3. Integration des Staates und der Gesellschaft.<sup>2</sup>

Seit Beginn der frühen Hochkulturen bestand das Transportwesen aus einem Ensemble von Transportträgern. In vorindustrieller Zeit boten sich je nach Ziel, Zweck und Vermögensverhältnissen der Fussmarsch, der Transport mit Wagen und Kutsche sowie die Schifffahrt an. Deshalb ist es angebracht, das Transportwesen seit jeher als System zu begreifen. Der Systemcharakter im Transportwesen wird um so deutlicher, je stärker die Pünktlichkeit und die durchorganisierte Transportabwicklung insbesondere bei sich ergänzenden Transportträgern in den Vordergrund rücken. Liegt eine gewisse Organisationsstufe vor und sind die Voraussetzungen zu einer regelmässigen Kommunikation geschaffen, sollte der Begriff «Transportwesen» durch den Begriff «Verkehrswesen» ersetzt werden.

Ab etwa 1200 n. Chr. zeigt sich erstmalig innerhalb des oberitalienischen Städteverbundes ein Verkehrswesen, bei dem durch Handelsbeziehungen neben dem Personen- und dem Warentransport ein Nachrichten- und Geldverkehr abgewickelt wurde.

## I.

Der Eisenbahnbau stand in engem Zusammenhang mit der Industrialisierung. Die Herausbildung des Schienennetzes einschliesslich der Klein- und Lokalbahnen war um 1910 in Deutschland grundsätzlich abgeschlossen.

Die Rad-Schiene-Technologie bewährte sich bereits bei der Pferdebahn zu Beginn des 19. Jahrhunderts im innerstädtischen Verkehr, bevor die Dampflokomotive als Traktionsmittel für Fernbahntransporte in Erscheinung trat. Kutschen und Wagen von Pferden gezogen in ländlichen Gebieten und die Pferdebahn im innerstädtischen Verkehr ergänzten sich als Fortbewegungsmittel mit der Eisenbahn. Das Pferdefuhrwerk hatte noch bis in die 1930er und 1940er Jahre in abseits gelegenen ländlichen Regionen – vor allem in Ostdeutschland – trotz einsetzender Motorisierung in der Landwirtschaft eine gewisse Bedeutung.

Der Dampflokomotive als schienengebundenem Traktionsmittel erwuchs bereits mit der einsetzenden Hochindustrialisierung in den sich bildenden Ballungsräumen ernst zu nehmende Konkurrenz. Die Anwendung des elektrodynamischen Prinzips durch Werner v. Siemens in der Strassenbahn seit 1879 bedeutete das Ende der Pferdebahn, die die

anfallenden innerstädtischen Transportleistungen und die des aufkommenden Pendlerwesens nicht mehr bewältigen konnte.

Der schienengebundene Elektroantrieb besass aber auch gegenüber der «Kolbendampf-Lokomotive» entscheidende Vorteile, wodurch er schliesslich auch zum Konkurrenten der Dampftraktion wurde:

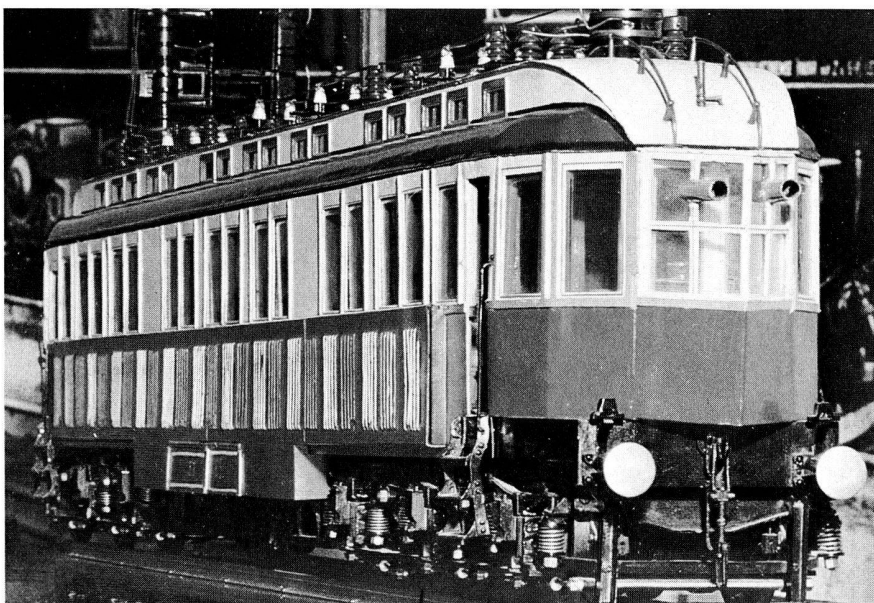
- höherer Energie-Wirkungsgrad,
- Eignung zum Durchfahren engerer Radien,
- höheres Beschleunigungsvermögen,
- problemloses Vorwärts- und Rückwärtsfahren,
- hohe Zugfolge und schnelle Anpassung an den Transportbedarf,
- saubere Beförderungsart,
- Möglichkeit, unterirdisch zu fahren.

Diese Vorzüge wurden noch vor der Jahrhundertwende erkannt und zuerst beim U-Bahn-Bau in London und Budapest realisiert.

Bereits in den 1890er Jahren, als sich die erste elektrische Kraftübertragung per Fernleitung von Lauffen am Neckar nach Frankfurt am Main erfolgreich bewährt hatte, forderten vor allem Vertreter der Elektroindustrie als neuer Wirtschafts- und innovativer Wachstumsbranche, den Elektroantrieb nicht nur im innerstädtischen Verkehr, sondern vor allem im Eisenbahnfernverkehr einzusetzen. In Deutschland waren dies vornehmlich AEG und Siemens, in Ungarn das Unternehmen Ganz & Co. und in der Schweiz die Firmen Oerlikon, Sulzer und BBC.

Das Unternehmen Ganz & Co. stellte bereits 1891 durch Oberingenieur Zipernowsky den Plan einer Eisenbahnschnellverbindung zwischen Wien und Budapest mit Höchstgeschwindigkeiten von 250 km/h vor.<sup>3</sup> Wegen der innenpolitischen Instabilität der Donaumonarchie wurde dieses Projekt abgelehnt. Man fürchtete – nicht unberechtigt – Anschläge. Die Folgen wären bei Dampfbetrieb mit 100 km/h nicht so verheerend wie bei 250 km/h. Dieser projektierte Hochgeschwindigkeitsbereich war keineswegs Utopie. Schon 1903 fuhr auf der preussischen Militäreisenbahnstrecke Marienfelde–Zossen bei Berlin ein drehstromangetriebener Schnelltriebwagen mit 10000 Volt bei variabler Frequenz real eine Geschwindigkeit von 210 km/h (Bild 1).

Bereits 1895 wurden für die bayerische Strecke Meckenbeuren–Tettingen 650-Volt-Gleichstrom-Triebwagen von der MAN eingesetzt, bei denen die elektrische Ausrüstung von Oerlikon und Siemens stammte. Im gleichen Jahr unternahm Charles E. L. Brown, Sohn des Gründers der schweizerischen Lokomotiv- und Maschinenfabrik Winterthur, zusammen mit Walter Boveri die ersten Versuchsfahrten mit einem Drehstrom-



*Bild 1: Drehstrom-Schnelltriebwagen, gebaut von AEG und Siemens, für dreipolige Fahrleitung mit 10000 V und variabler Frequenz bis zu 50 Hz; Geschwindigkeits-Weltrekord von 210 km/h auf der Militäreisenbahnstrecke Marienfelde–Zossen bei Berlin, 1903.*

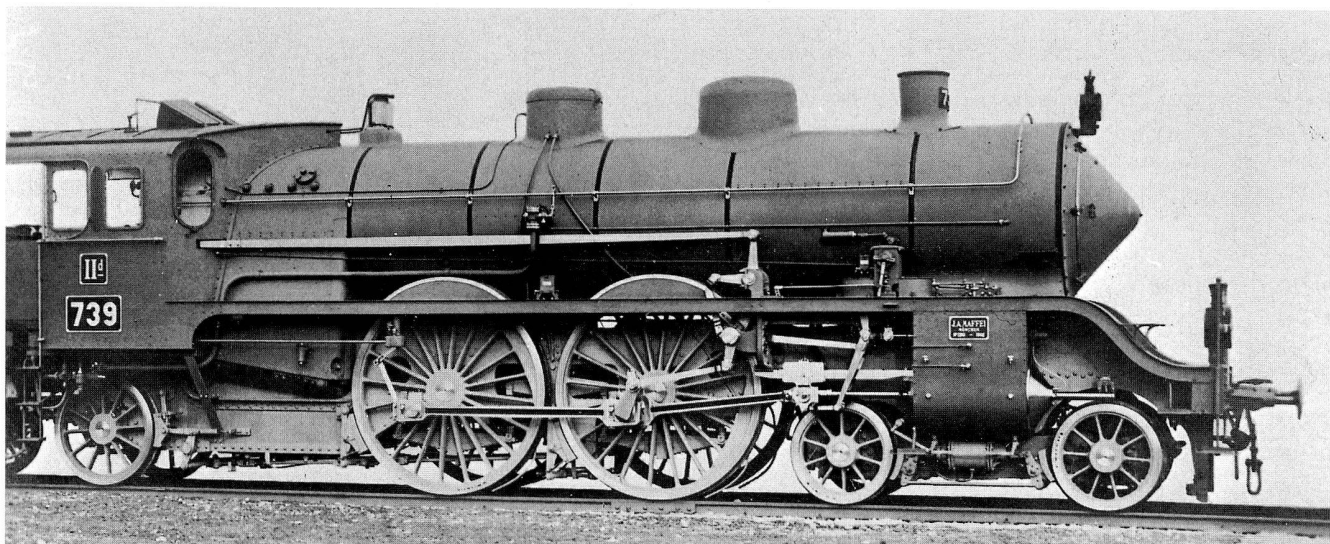


Bild 2: 2'B1'n4v-Schnellzuglokomotive (Gattung II d) der Grossh. Bad. Staats-eisenbahn. Erbauer J. A. Maffei, München 1902.

wagen. 1899 erhielt die schweizerische Burgdorf–Thun-Bahn Lokomotiven und Triebwagen für 750-Volt-Drehstrom und 40 Hz, gebaut von BBC und Sulzer. Mit der Eröffnung der Valtellina-Bahn in Oberitalien 1902 verbreitete sich der Drehstromantrieb mit 3300 V Hochspannung und  $16\frac{2}{3}$  Hz.

Die meisten Elektrifizierungsprojekte waren ein Ausdruck des Schnellfahr-gedankens, der sich bereits vor der Jahrhundertwende in Europa und Nordamerika ausbreitete. Die beginnende Luftschiffahrt, die Verbreitung der Strassenmotorisierung und der Wettbewerb zum Erringen des Blauen Bandes für die schnellste Nordatlantiküberquerung per Schiff sind weitere Merkmale des Wunsches nach höherer Mobilität. Für die Konzeption hoher Geschwindigkeiten im schienengebundenen Verkeh-rwesen erwies sich die Technik des Elektroantriebes gegenüber der Kolbendampfmaschine als günstiger.

Länder mit reichlich vorhandener Energie aus Wasserkraft wie Schweden, die Schweiz und Österreich schlossen bis um 1940 die Elektrifizierung wichtigster Hauptstrecken ab. Oberitalien hatte bereits um 1910 ein leistungsfähiges Drehstromnetz.

## II.

Wie reagierte die Lobby des Kolbendampftriebes auf den Schnell-fahrgedanken im allgemeinen und auf die Verbreitung des Elektromotors im besonderen?

1895 wurde eine Schnellfahr-Dampflokomotive von Baldwin in Philadel-phia gebaut und von der Atlantic City Railroad Company in Dienst ge-stellt.<sup>4</sup> Sie beförderte im hochwertigen Reisezugverkehr Fahrgäste – vornehmlich Kurzurlauber, Wochenendbadegäste und Tagesurlauber – von New York nach Atlantic-City. Diese 2'B1'n4v-Konstruktion kann als Ausgangspunkt eines Technologietransfers nach Deutschland gelten. Die Bayrische Staatsbahn bestellte im Jahre 1900 bei Baldwin in Philadel-phia zwei 2'B1'n4v-Schnellzuglokomotiven.<sup>5</sup> Anton Hammel als Chef-konstrukteur des Lokomotivbauunternehmens Joseph Anton Maffei entwik-kelte die rezipierte amerikanische Konstruktion weiter und lieferte 1902 eine hochwertige Schnellzugslokomotive, Gattung II d, an die Badischen Staatsbahnen (Bild 2). Die II d, eine 2'B1'n4v-Konstruktion, wurde im hochwertigen Reisezugverkehr in der Oberrheinebene von Basel nach Mannheim eingesetzt, wo sie 1904 die Rekordgeschwindigkeit von 144 km/h erreichte. Mit den Erweiterungen vom Zwei- zum Dreikuppler und den Weiterentwicklungen zum Dreizylinder-Heissdampf-Triebwerk, konnte sich das Kolbendampfmaschinen-Prinzip in der Bundesrepublik Deutschland bis 1975 und in der DDR sogar bis Anfang der 80er Jahre behaupten.

Dieses Phänomen liefert – wie zu Beginn des Aufsatzes angesprochen – einen Beleg für die Theorie Nathan Rosenbergs, wonach eine bestehende Technologie durch das Aufkommen neuer Technologien noch derart weiterentwickelt wird, dass sie den technischen Neuerungen eine Zeitlang ernsthaft Konkurrenz bieten kann. Es ist somit nach den Ursachen der verspäteten Elektrifizierung des Fernbahnnetzes in Deutschland zu fragen, wo doch das Deutsche Reich um 1900/1910 Grossbritannien in der Kohle- und Stahlproduktion übertroffen hatte und allgemein den höchsten Industrialisierungsgrad, abgesehen von den USA, aufwies. Im Deutschen Reich war die Lobby der traditionellen Lokomotivbauanstalten und der Kohleförderer zu stark, zumal der Staat direkt oder indirekt an der Kohleindustrie beteiligt war. Für die AEG, Siemens oder BBC bedeutete dies, sich bei der Elektrifizierung von Eisenbahnnetzen vornehmlich auf Auslandsgeschäfte zu stützen.

### III.

Der Eintritt in völlig neue Hochgeschwindigkeitsbereiche, wie die gefahrenen 210 km/h des Drehstrom-Triebwagens im Jahre 1903, erfuhr von Vertretern aus Militärkreisen eine äusserst zurückhaltende Bewertung. Die Ablehnung des preussischen Kriegsministeriums wurde nach dem Ersten Weltkrieg von Vertretern des Reichswehrministeriums übernommen. Das Aufkommen der Luftwaffe im Ersten Weltkrieg führte bei Vertretern der Reichswehr zu der Auffassung, dass Dampflokomotiven als autarke Kraftwerke besser den militärischen Zwecken, insbesondere zur Aufrechterhaltung von Nachschublinien, dienen könnten als oberleitungsabhängige E-Lokomotiven. Dieser militärstrategische Aspekt galt auch im Dritten Reich.

Bis 1945 dominierte stückzahlmässig eindeutig die Kolbendampftraktion bei Fernbahnen.<sup>6</sup>

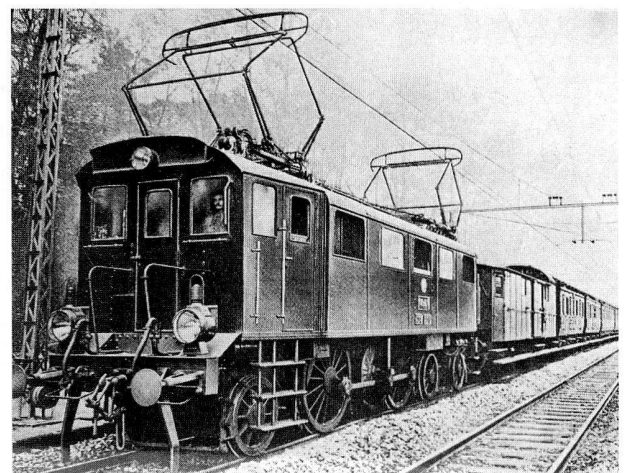
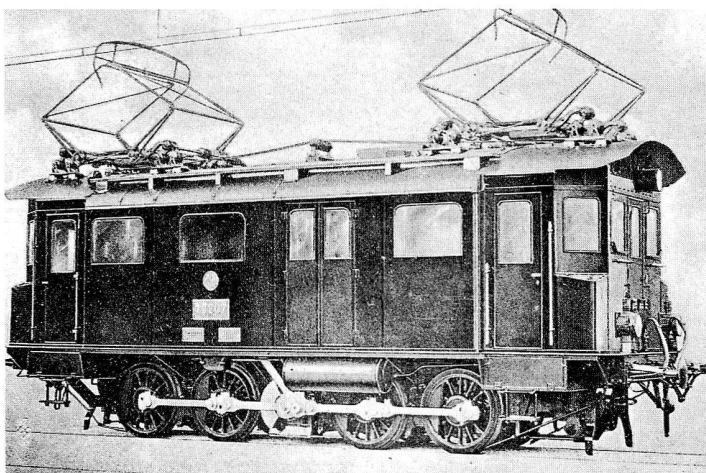
### IV.

Dennoch konnte im Deutschen Reich 1913 ein bedeutsames Abkommen zwischen den preussisch-hessischen, den bayrischen und den badischen Staatseisenbahnen geschlossen werden. Man entschied sich für Einphasenwechselstrom mit 15000 Volt und 16⅔ Hertz im Bahnstromsystem. Dieses «Übereinkommen betreffend die Ausführung elektrischer Zugförderung» wurde von der Schweiz, von Österreich, Schweden und Norwegen übernommen, so dass ein grosser Schritt in Richtung eines einheitlichen Netzes in Mittel- und Nordeuropa getan wurde.

In Oberbayern, in den schlesischen Bergen und in Sachsen – militärstrategisch nach damaligen Überlegungen nicht luftgefährdet – entstanden kleine Netze, die sich in den 20er und 30er Jahren allmählich ausdehnten. 1940/42 konnte das bayrische Netz in Leipzig an das mitteldeutsche angeschlossen werden. So befuhr die Deutsche Reichsbahn von

*Bild 3 (links): Elektrische Güterzugslokomotive für die Preussische Staatsbahn. Erbauer Siemens-Schuckert, Berlin 1911.*

*Bild 4: Elektrisch geführter Reisezug der Preussischen Staatsbahn.*



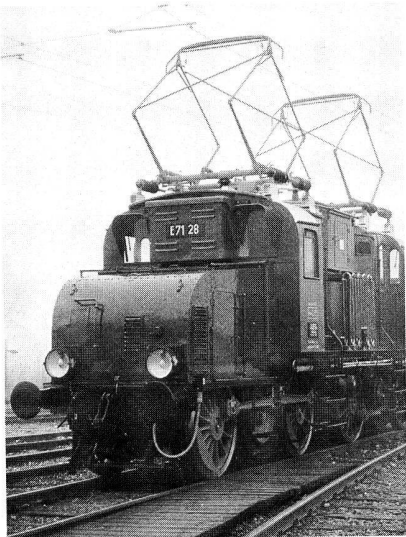
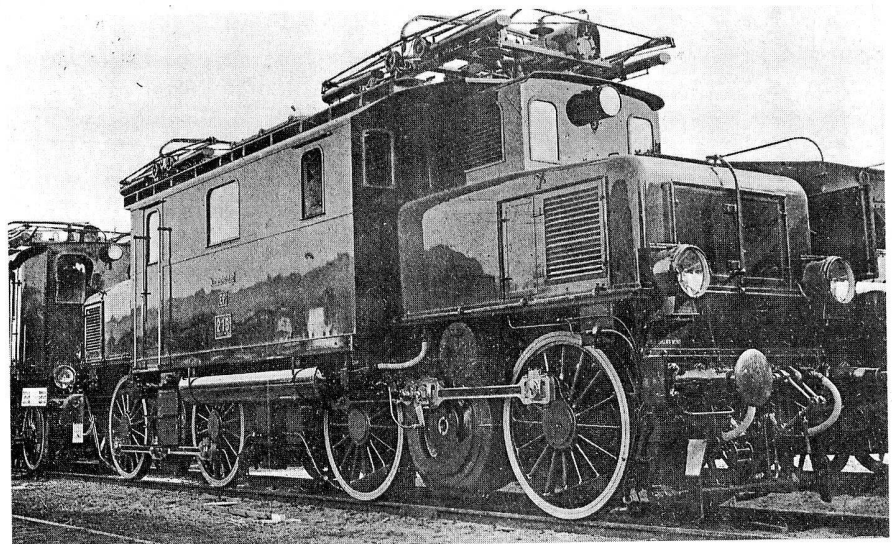


Bild 5: Elektrische Lokomotive Baureihe E 71.

Bild 6 (rechts): Einphasen-Wechselstrom-Lokomotive der Deutschen Reichsbahn, Erbauer AEG, Berlin 1924.



60 000 km Streckennetzlänge etwa 3500 mit Einphasenwechselstrom. Dies entspricht einer Elektrifizierungsquote von 5,8% aller Strecken. Durch einen überproportional hohen Anteil an Hauptstrecken lag der prozentuale Anteil der Personen- und Tonnenkilometer in der elektrischen Beförderung höher. Die regionalen elektrischen Streckennetze in Oberbayern, in den schlesischen Bergen und in Sachsen verhinderten, dass Deutschland im Forschungs- und Entwicklungsbereich elektrischer Triebfahrzeuge vor allem gegenüber der Schweiz zurückfiel. Mit den Lokomotiven der späteren Gattung E 71.1 erhielt 1914 die Preussisch-Hessische Staatsbahn die Prototypen der ersten in grösseren Stückzahlen gebauten E-Lokomotiven (Bild 5). Sie besaßen die Achsfolge B' B', zwei Motoren und Stangenantrieb und entwickelten eine Leistung von 780 kW.

1922 beschloss die Reichsbahn ein Typenprogramm elektrischer Lokomotiven in acht Gattungen und bestellte insgesamt 138 Maschinen verschiedener Baureihen – überwiegend ausgerüstet mit schnelllaufenden Motoren, paarweise arbeitenden Zwischengetrieben und Schrägstangenantrieb mit Blindwellen.

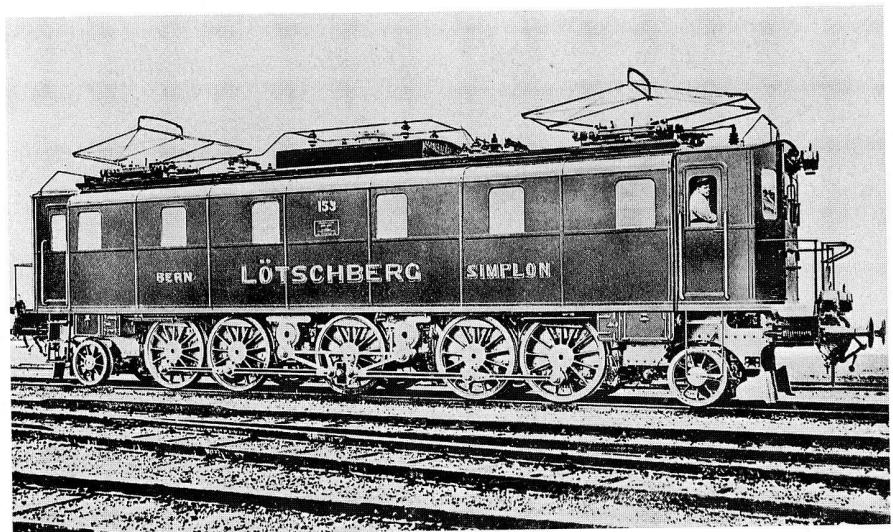
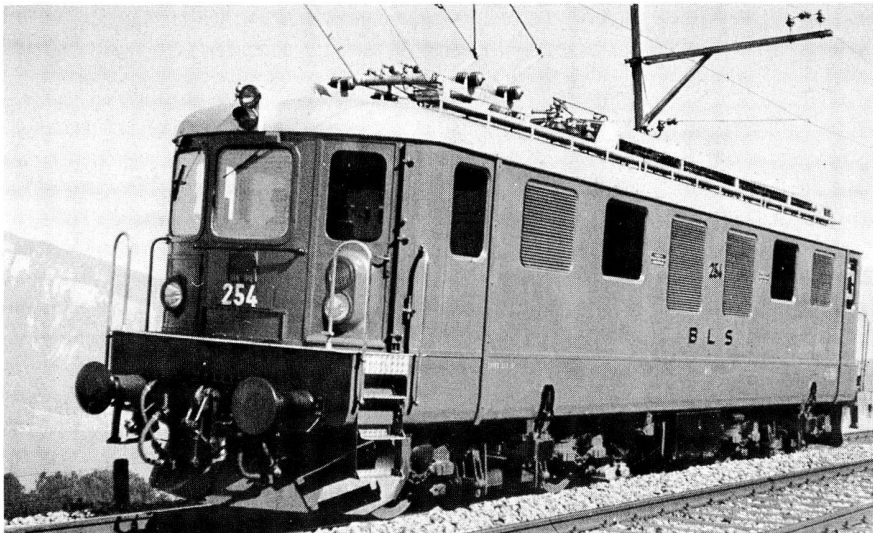


Bild 7: 1'E1'-Wechselstromlokomotive der Lötschbergbahn, Erbauer Maschinenfabrik Oerlikon.

Der technische Fortschritt im E-Lokomotivbau, der Übergang vom Stangen- zum Einzelachsantrieb, wurde in Europa erstmalig bei den Maschinen Ae 3/5 und Be 4/7 der Schweizerischen Bundesbahnen verwandt. Der in den USA entwickelte Westinghouse-Einzelachs-Federtopftrieb, auch Tatzlagerantrieb genannt, ist unübertroffen einfach und anspruchslos. Er ruht ohne Zwischenschaltung von federnden Elementen mit angegossenen Tätzen direkt auf den Triebradsätzen, so dass sich die Masse ungefähr je zur Hälfte auf den Rahmen und die Triebachse verteilt.



*Bild 8: Lokomotive Ae 4/4 der Bern-Lötschberg-Simplon-Bahn, 1943 in der Schweiz entwickelt; Vorbild für die Einheitsbaureihen E 10, E 40 und E 41 der Deutschen Bundesbahn.*

Nachdem sich der Einzelachsantrieb in der Schweiz seit 1922 bewährt hatte, begann die Deutsche Reichsbahn in den Jahren 1927/28 elektrische Güterzuglokomotiven (E 95) und elektrische Schnellzuglokomotiven (E 17) mit Tatzlagerantrieb auszurüsten. Mit der Serienfertigung der ersten deutschen laufachslosen Drehgestell-Lokomotiven (E 44.0), die seit 1932 bis zum Beginn des Zweiten Weltkrieges in 175 Exemplaren gebaut wurde, ist, nach Stückzahlen betrachtet, ein Output erreicht, der erst in den 60er Jahren mit der Fertigung der Gattungen E 10, 40 und 41 wieder realisiert werden konnte. In diesem Kontext besass das 1933 aufgelegte zweite Typen-Programm der Reichsbahn zur Beschaffung von E-Lokomotiven nur eine nachgeordnete Bedeutung.

## V.

Die Wiederaufbauphase der Bundesrepublik Deutschland nach dem Zweiten Weltkrieg bildete eine Zäsur in der Verbreitung neuer Antriebssysteme bei Fernbahnen. Deshalb scheint an dieser Stelle eine Betrachtung unter Einbeziehung des bisher bewusst nicht angesprochenen Dieselantriebes sinnvoll.

Gab es überhaupt noch ein Aufgabenfeld, in dem sich der Verbrennungsmotor verbreiten konnte? Die Frage nach dem Wirkungsgrad löste – ähnlich wie zuvor beim Elektroantrieb – Aktivitäten in der Weiterentwicklung der Verbrennungsmaschinen aus. Die direkte Umsetzung der chemischen Energie des Kraftstoffes in mechanische Arbeit lag auch den schon früher konstruierten Verbrennungskraftmaschinen zugrunde. Der Antrieb durch Verbrennungsmotoren allgemein hatte den Vorteil, dass die Antriebsmaschine ohne besondere Vorbereitung starten und bei längerem Aufenthalt sofort abgeschaltet werden konnte. Erste Verbrennungsmotorlokomotiven fuhren versuchsweise mit Gas, Petroleum, Benzin oder Benzol. Die Entscheidung für den Dieselmotor fiel mit den niedrigen Herstellungskosten des Schweröls, eines Nebenproduktes, das bei der Destillation von Erdöl und von Steinkohlenteer anfällt.

Der Dieselmotor ist gegenüber anderen Verbrennungsmotoren durch sein verhältnismässig hohes Gewicht im Nachteil. Darüber hinaus gab es Schwierigkeiten – ähnlich wie beim Elektroantrieb – bei der Kraftübertragung. Zusätzliche Probleme warf das ungünstige Betriebsverhalten der Verbrennungsmotoren unter den Bedingungen des Eisenbahnbetriebes auf. Sie können unter Last nicht anlaufen, nur in einem schmalen Drehzahlbereich ein hinreichendes Drehmoment abgeben, zur Rückwärtsfahrt ihre Drehrichtung nicht ohne weiteres ändern und über den gesamten Drehzahlbereich nur ein gleichbleibendes Drehmoment erzeugen, während im Bahnbetrieb bei niedrigen Geschwindigkeiten ein höheres Drehmoment erforderlich ist als bei grösseren Geschwindig-

keiten. Diese technischen Faktoren sind eine Erklärung für das späte Eindringen des Dieselantriebes in den Lokomotivpark der Länderbahnen bzw. der Reichsbahn.

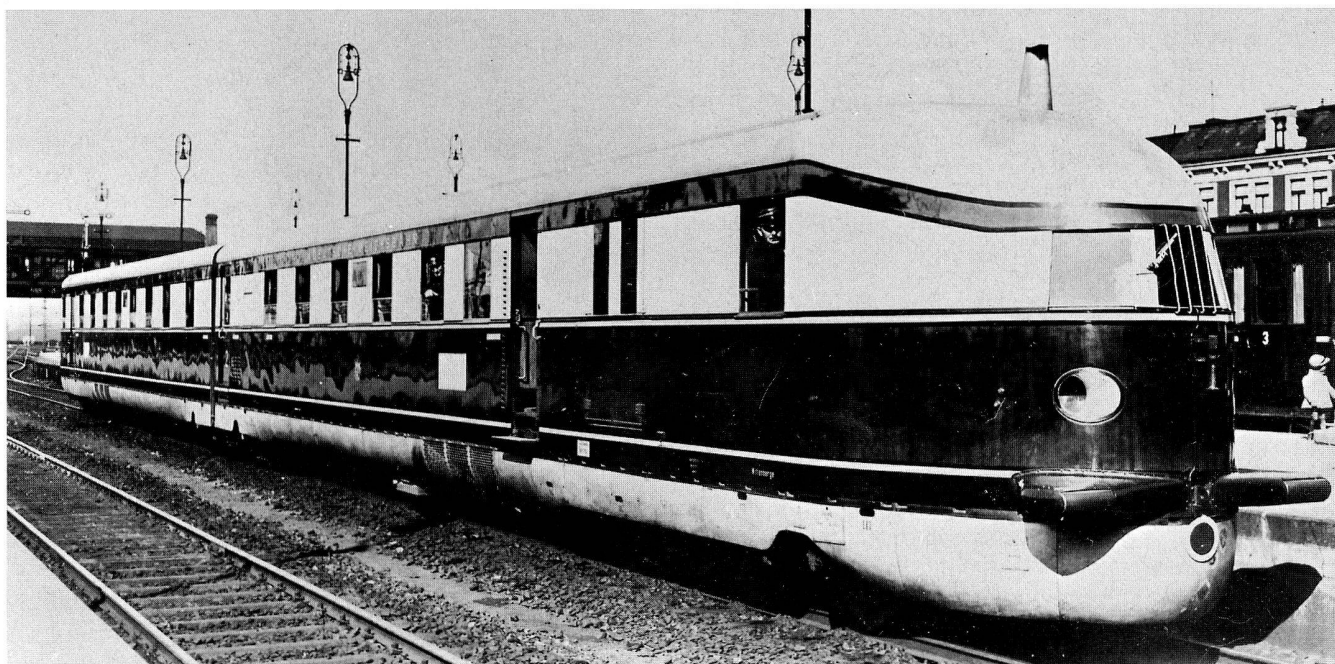
Es gab in den Bahnverwaltungen keine Lücke in der Zugförderungsart, in der ein langjähriger Versuchsbetrieb hätte aufgenommen werden können. Der Kolbendampfantrieb und der aufkommende Elektroantrieb erfüllten alle anfallenden Aufgaben. Die Möglichkeit des An- und Abschaltens des Dieselmotors und seine allmähliche Einführungsmöglichkeit können somit als die entscheidende Legitimationsbasis im Eisenbahnbetrieb gelten.<sup>7</sup> Die Weiterentwicklung des Dieselmotors mag eingebettet sein in das Entstehen eines neuen Verkehrsträgers: des nichtschienengebundenen Automobils im Rahmen der Strassenmotorisierung, wie sie sich seit den 1890er Jahren in den USA und seit 1900 auch auf dem europäischen Kontinent abzeichnete. In den USA verfolgte man am konsequentesten die Anwendungsmöglichkeiten der Elektrotechnik bei der Kraftübertragung vom Dieselmotor auf die Antriebsräder. Ein Generator – mit einem Dieselmotor fest gekuppelt – versorgt einen oder mehrere Elektromotoren mit Strom. Diese elektrische Kraftübertragung gilt als die weltweit verbreitetste Antriebsart von Diesellokomotiven.<sup>8</sup>

Deutschland beschritt einen anderen Weg auf der Suche nach einem optimalen Dieselantrieb. Ausgangspunkt war das Prinzip des Flüssigkeitsgetriebes, das Hermann Föttinger schon 1905 theoretisch entwickelte. Die hydraulische Kraftübertragung kam ebenfalls zur Anwendungsreife und zu hoher Vollkommenheit.<sup>9</sup>

Obwohl ein ungünstigerer Wirkungsgrad und ein hohes Leistungsgewicht in Kauf genommen werden mussten, konzentrierte sich die Weiterentwicklung des Dieselantriebes für schienengebundene Fahrzeuge auf die sonst bewährte elektrische Kraftübertragung. In den USA und in der Sowjetunion begann der Bau von dieselektrischen Lokomotiven in Grossserien. Für Deutschland hingegen schied der dieselektrische Antrieb vorerst aus. Flüssige Kraftstoffe – einschliesslich des Schweröls – waren im Vergleich zur reichlich vorhandenen Steinkohle für einen Motorantrieb mit spezifisch ungünstigen Verbrauchswerten einfach zu teuer. Dies ist u. a. mit dem Handelsprotektionismus der 1920er Jahre und der NS-Autarkiepolitik der 1930er Jahre zu erklären.

Dennoch ging in Deutschland die Suche nach einem optimalen Antrieb auf der Basis des Verbrennungsmotors weiter. Schon im Ersten Weltkrieg stellte die aufstrebende Aerotechnologie ihr Niveau unter Beweis. Es

*Bild 9: Dieselelektrischer Schnelltriebwagen «Fliegender Hamburger», 1933 erstmalige Inbetriebnahme bei der Deutschen Reichsbahn; gebaut von den Linke-Hoffmann-Werken Breslau, ausgestattet mit zwei Maybach-Dieselmotoren und der elektrischen Ausrüstung von AEG.*





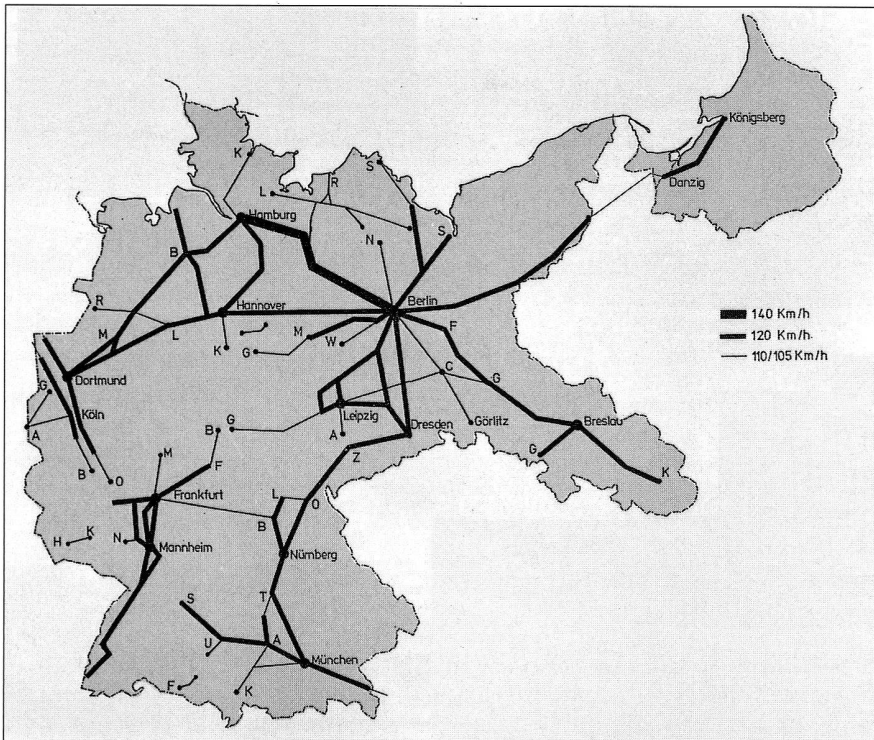


Bild 10: Die Planung der Deutschen Reichsbahn für die Anhebung der Streckenhöchstgeschwindigkeiten, bei lokbespannten Zügen. Schnelltriebwagen konnten mit Ausnahmegenehmigung abschnittsweise 160 km/h fahren. Die Karte von 1932/33 zeigt deutlich die Lücke bei den schlecht trassierten Nord-Süd-Strecken.

lag nahe, mit Flugmotoren terrestrisch zu experimentieren. Mit Franz Kruckenberg's «Schienenzeppelin» konnten 1931 Geschwindigkeiten bis zu 230 km/h erzielt werden. Die Reichsbahn verweigerte den Grossserienbau und führte hauptsächlich Aspekte der Sicherheit an, aber auch Emotionen mögen eine Rolle gespielt haben. Der 500-PS-BMW-Flugzeugmotor galt als sparsam, benötigte jedoch Benzin. Das aerodynamische Element des «Schienenzeppelins» setzte Massstäbe für die Reichsbahn. Nach der Rekordfahrt wurde der Antrieb umgebaut und mit dem ersten Föttinger-Flüssigkeitsgetriebe versehen. Die Reichsbahn übernahm damit die erste Maschine mit dieselhydraulischem Antrieb als Einzel exemplar.

Die technologische Weiterentwicklung realisierte sich in den dieselelektrischen Schnelltriebwagen, die unter dem Namen «Fliegender Hamburger» über Deutschland hinaus bekannt wurden (Bild 9). Zwei 210-PS-Maybach-Dieselmotoren mit dazugehörigen Gleichstromgeneratoren erzeugten Fahrstrom für zwei elektrische Antriebsmotoren. Damit realisierte die Reichsbahn optimal – Dampf- und E-Antrieb traten hierbei in den Hintergrund – den Schnellfahrgedanken und beschaffte mit Weiterentwicklungen von 1933 bis 1938 etwa 30 dieselelektrische Schnelltriebwagen. Sie repräsentierten der Welt die Leistungsfähigkeit der Reichsbahn (Bild 10). Bei näherer Betrachtung überwog jedoch die NS-Propaganda.

Trotz Mangel und Überalterung an Werkzeugmaschinen des Produktionsapparates sollte mit den «Fliegenden Hamburgern» der Eindruck erweckt werden, es stehe eine leistungsfähige NS-Wirtschaft dahinter (Bild 11).

## VI.

Nach dem Zweiten Weltkrieg war der Fahrzeugpark der Bundesbahn wie auch der der Reichsbahn in der DDR stark reparatur- und innovationsbedürftig. Die nach dem Zweiten Weltkrieg verbleibenden fünf Lokomotivfabriken – Maschinenfabrik Esslingen, Henschel & Sohn, Arnold Jung, Krauss-Maffei und Fried. Krupp – führten Reparaturen kriegsbeschädigter und abgestellter Lokomotiven en masse durch. Bei der damaligen grossen Lokomotiv- und Materialnot blieb nur der Weg, an Stelle eines auf lange Sicht wirtschaftlichen Neubaus, alle Lokomotiven ohne

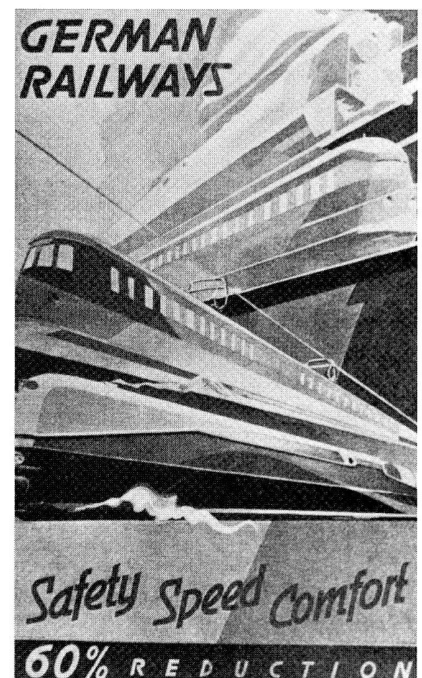


Bild 11.

Bild 12: Dieselhydraulische Lokomotive Baureihe V200 der Deutschen Bundesbahn, 1954.



#### Anmerkungen:

- 1 H.-J. Braun, Gas oder Elektrizität? Zur Konkurrenz zweier Beleuchtungssysteme, 1880–1914, S. 1. In: Technikgeschichte, Bd. 47 (1980), S. 1–19. Braun bezieht sich auf den Aufsatz des amerikanischen Nationalökonom, Wirtschaftswissenschaftlers und Technikhistorikers Nathan Rosenberg «Factors Affecting the Diffusion of Technology» aus dem Jahre 1972. Vgl. N. Rosenberg, Perspectives on Technology. Cambridge 1976, S. 189–210.
- 2 n. F. Voigt, Verkehr. 2 Bde. Berlin 1973, Erster Bd., Erste Hälfte: Die Theorie der Verkehrswirtschaft, S. 7ff.
- 3 s. Ziperowsky, Plan einer elektrischen Bahn von Wien nach Budapest. Besprochen von Dietrich auf der Württembergischen VDI-Bezirksvereinsitzung vom 3. Dez. 1891. In: VDI-Z, 36. Jg. (1892), S. 414.
- 4 vgl. Scientific American, July 25 (1896) p. 67 (Free Enterprise Forever! Scientific American in the 19th Century...), Repr. New York 1977).
- 5 2' = zwei Laufachsen, vorderes Drehgestell  
 B = zwei Kuppelachsen  
 1 = Schleppachse  
 n = Nassdampf  
 4 = vier Zylinder  
 v = Verbundwirkung  
 2'B1' = Bezeichnung der Achsanordnung  
 n4v = Nassdampf-Vierzylinder-verbundtriebwerk
- 6 vgl. W. Baumgart, Eisenbahnen und Kriegsführung in der Geschichte, S. 200f. In: Technikgeschichte, Bd. 38 (1971), S. 191–219.
- 7 s. J. Geiger, Dieselmotor und Kraftübertragung für Grosslokomotiven, S. 642. In: VDI-Z, Bd. 69 (1925), S. 642–646.
- 8 vgl. VDI-Z, Bd. 58 (1914), S. 981 (Rundschau).
- 9 s. Wittfeld, Das Flüssigkeitsgetriebe von Lentz für Schwerlokomotiven. In: VDI-Z, Bd. 65 (1921), S. 1160–1163.
- 10 s. Vereinigung Deutscher Lokomotivfabriken, Die deutsche Lokomotivindustrie vor dem Zusammenbruch. Frankfurt a. M. 1949, S. 4f.

Rücksicht auf spätere betriebliche Wirtschaftlichkeit in möglichst kurzer Zeit zu reparieren, um auf den nötigen Bestand zur Wiederingangsetzung und Aufrechterhaltung des Eisenbahnbetriebes zu kommen.<sup>10</sup>

Da die Elektrifizierung von Hauptstrecken noch Jahre der Bautätigkeit in Anspruch nehmen sollte und die Lokomotivfabriken sich 1949 in einer akuten Existenzkrise befanden, kann dies mit als eine Erklärung für Neubauserien in der alten Technologie, d. h. Dampflokomotiven, gelten. Auf der Tagung «Schienenfahrzeuge» war man sich 1949 einig, dass im Anwachsen des motorisierten Strassenverkehrs die Ursache für den Monopolverlust der Eisenbahn liege. Betrachtet man den Tagungsablauf, so zeigt sich, dass in der Diskussion über den Antrieb schienengebundener Fahrzeuge die Verfechter der alten Technologie nicht abseits standen, sondern vielmehr ein Pluralismus in der Dampf-, Diesel- und elektrischen Zugförderung zu sehen war.<sup>11</sup> Dieser Pluralismus wurde auch auf der Studienkonferenz 1950 der Deutschen Bundesbahn festgeschrieben. Hiernach war die Deutsche Bundesbahn bemüht, im Rahmen der Massnahmen zur Modernisierung und Rationalisierung ihrer Organisation die betrieblichen und die wirtschaftlichen Vorzüge der Elektrifizierung und Motorisierung sowie eines neuzeitlichen Dampfbetriebes auszuschöpfen. Dabei fällt auf, dass im DB-Bauprogramm für Dieselfahrzeuge die Entwicklung schwerer Diesellokomotiven gegenüber den Triebwagen verschiedenartiger Verwendungsformen vorerst stark zurücktrat.<sup>12</sup>

Erst 1954 wurden fünf Prototypen der Baureihe V 200 ausgeliefert, mit denen in den folgenden Jahren die Grossserienherstellung von Diesellokomotiven begann (Bild 12). Mit der V 200 entschied sich die Deutsche Bundesbahn gegen den dieselektrischen Antrieb, der zwar sinnvoll für Triebwagen, aber unökonomisch bei Lokomotiven für hohe Anhängelasten war. Niedrige Erdölpreise in den 50er Jahren und 60er Jahren begünstigten die Verbreitung der dieselhydraulischen Kraftübertragung, die ein besonders günstiges Verhältnis zwischen Leistung und Masse hatte.

Mit dem Neubauprogramm der Baureihe E 10 setzte ab 1956 auch die Grossserienherstellung elektrischer Triebfahrzeuge in modernen Fertigungsverfahren ein, so dass man erst jetzt bei der Deutschen Bundesbahn von einem Strukturwandel im engeren Sinne sprechen kann. Da die Einsatzbereitschaft von Elektro- und Diesellokomotiven erheblich höher ist als die der Dampflokomotive, konnte ihr Gesamtbestand durch etwa die halbe Anzahl moderner Triebfahrzeuge ersetzt werden. Ebenfalls wurde der Primärenergiebedarf erheblich gesenkt. Während der

mittlere Gesamtwirkungsgrad der Dampftraktion bei 6% liegt, verzeichnen Diesel- und elektrische Traktion einen Grad von ca. 24%. Vergleicht man die effektive Zugleistung am Kupplungshaken, schneidet der Dampfantrieb bedingt durch hohes Eigengewicht noch ungünstiger ab. Anhand des spezifischen Energiebedarfs (t SKE/Brtkm) kann nachgewiesen werden, dass die umgesetzte Primärenergie durch die Ablösung der Dampflokomotiven rund viermal besser ausgenutzt werden konnte.<sup>13</sup>

## VII.

Ein wesentlicher Aspekt, der dem Strukturwandel zugrunde lag, war die Verringerung der Vorhaltungskosten. Dies gelang bei elektrischen Fahrzeugen durch ein Festlegen seitens der Bundesbahn auf zwölf Baureihen, wobei drei mit variabler Frequenz für grenzüberschreitenden Verkehr ausgestattet sind. Die Schweiz führte bereits 1973 eine Versuchslokomotive mit Umrichter und Asynchron-Drehstrommotoren ein. 1979 gingen fünf Prototypen der als Universallokomotive konzipierten Baureihe 120 in den Streckendienst der Deutschen Bundesbahn. Mit der Baureihe 120 erlebte die Drehstromtechnik bei schienengebundenen Fahrzeugen eine durchgreifende Renaissance. Durch die angewandte Halbleitertechnologie können Fahrzeuge in Drehstromtechnik in ihrem gesamten Geschwindigkeitsspektrum ständig hoch belastet werden. Drehstromtechnologie ermöglicht bei elektrischen Triebfahrzeugen den universellen Einsatz ohne Rücksicht auf bestimmte Zuggattungen. Dies bedeutet, dass eine vierachsige Drehstromlokomotive sowohl schwere Güterzüge mit geringer Geschwindigkeit über lange Steigungen mit mehrmaligen Anfahren als auch Reisezüge mit hohen Geschwindigkeiten befördern kann.

## VIII.

1980 erreichte die Vorserien-Lokomotive 120002 der Deutschen Bundesbahn auf der Strecke Celle–Uelzen in Norddeutschland mit 231 km/h einen neuen Weltrekord für Drehstrom-Fahrzeuge, der seit 1903 bei 210 km/h lag; 1984 wurde mit der Prototyp-Lokomotive 120001 zwischen Augsburg und Donauwörth mit der Höchstgeschwindigkeit von 253 km/h weiter in den Hochgeschwindigkeitsbereich eingedrungen.

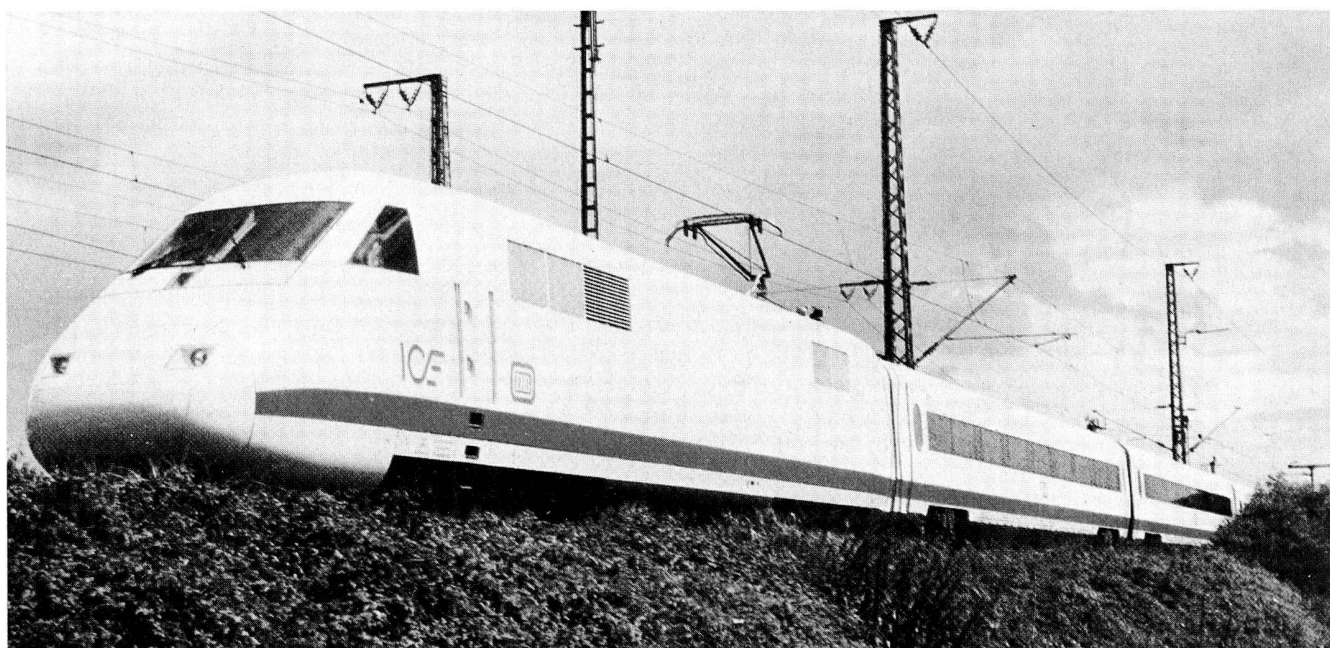
Damit fanden die erfolgreichen Entwicklungsarbeiten der BBC zum Drehstrom-Antrieb mit Hilfe von Leistungselektronik, wie sie sich bereits 1971 bei der dieselelektrischen Lokomotive DE 2500 andeuteten, ihren

11 s. M. Fink, Zur Entwicklung im Bau von Schienenfahrzeugen (Zusammenfassung der Vorträge auf der Tagung «Schienenfahrzeuge», die die Fakultät für Maschinenbau und Elektrotechnik der TH Aachen zusammen mit dem Verkehrstechnischen Institut am 15. und 16. Juli 1949 organisierte). In: VDI-Z, Bd. 91 (1949), S. 633–635.

12 s. E. v. Kirchbach, Studienkonferenz 1950 der Deutschen Bundesbahn. (Zusammenfassung der Konferenz vom 7. bis 9. März 1950 in Rothenburg o. d. T., S. 437). In: VDI-Z, Bd. 92 (1950), S. 436–437.

13 vgl. H. Binnewies, 20 Jahre Strukturwandel in der Zugförderung. In: Die Bundesbahn, 54 Jg. (1978), S. 831–833.

*Bild 13: Hochgeschwindigkeitszug «Inter City Experimental» der Deutschen Bundesbahn.*



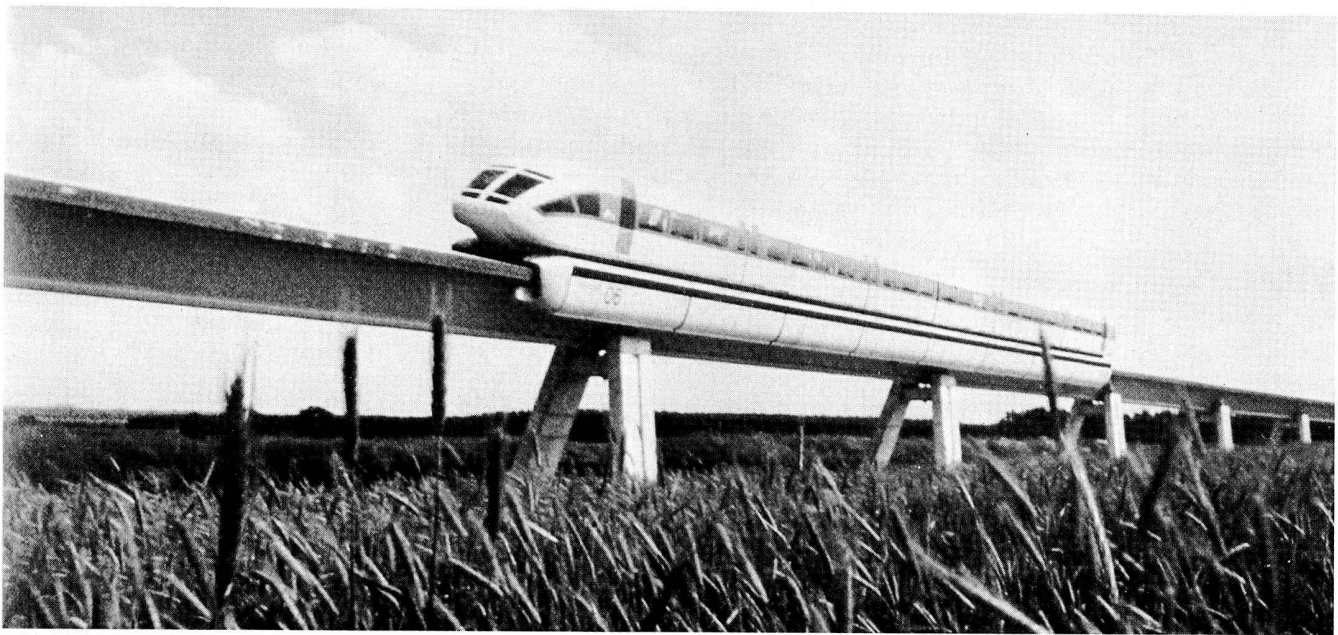


Bild 14: Magnet-Bahn «Transrapid 06» auf der 1987 in Betrieb genommenen Südschleife der Transrapid-Versuchsanlage Emsland (TVE).

krönenden Abschluss. Das erfolgreiche Eindringen der BR 120 in den Hochgeschwindigkeitsbereich war eine wichtige Voraussetzung dafür, dass mit dem Inter City Experimental/Versuchsfahrzeug (ICE/V) die technisch-wirtschaftlichen Grenzen der Rad-Schiene-Technologie ausgelotet werden konnten (Bild 13). Für die Konzeption von Bundesbahn-Neustrecken als Teil eines europäischen Hochgeschwindigkeitsnetzes wurden Beweise des Drehstromantriebes für den Schnellfahr-Streckendienst bereits durch die Baureihe 120 erbracht. Warum realisierte man dennoch einen neuen Geschwindigkeitsrekord durch Drehstromantrieb mit dem ICE von 407 km/h? Auch wenn die Strecke Paris–Lyon mit 270 km/h befahren wird, dürften Höchstgeschwindigkeiten im europäischen Hochgeschwindigkeitsnetz von 200–250 km/h die Regel bilden.

Betrachtet man in Anlehnung an die These von Nathan Rosenberg seit 1971 die erfolgreiche Entwicklung einer Magnet-Schweben-Bahn, so stellt sich die Frage nach Akzeptanz und Verbreitung dieser neuen Technologie sowie nach der Konkurrenz mit dem alten System. Inwieweit die Magnetschwebetechnik (Bild 14) als neue Technologie eine Herausforderung für die bestehende Rad-Schiene-Technologie sein kann, deutet sich schon heute ansatzweise in dem oben genannten Geschwindigkeitsrekord von 407 km/h an. Enorme Lärmbelastigung und politische Widerstände bei Schnellfahr-Neubaustrecken dürften jedoch der Rad-Schiene-Technologie nichttechnische Grenzen setzen. Aber auch die chaotischen Zustände im ständig dichter werdenden Luftverkehr über Mitteleuropa könnten für die Magnetschwebetechnologie sprechen. Denn bei geringem Geräuschpegel, hohem Beschleunigungs- und Bremsvermögen und relativ engen Radien im Vergleich zur Rad/Schiene-Technologie wurden 1988 Geschwindigkeiten von 500 km/h erreicht.

Inwieweit sich die Magnetschwebetechnologie gegenüber dem klassischen Bahnsystem behaupten oder sogar durchsetzen kann, ist gegenwärtig nicht zu beantworten, und Prognosen dürften sich z. Zt. als reine Spekulation erweisen. Die Akzeptanz dieser neuen Technologie dürfte jedoch in den grossen Flächenstaaten wie der Sowjetunion, Kanada, den USA, Australien, Süd-Afrika oder Saudi-Arabien grösser sein als in den europäischen Staaten.