

## Vom Dampf zur Elektrizität – die deutsche Eisenbahn im Wechsel der Energiewirtschaft

Das elektrifizierte Eisenbahnnetz der Deutschen Bundesbahn hat zur Zeit eine Länge von rund 11 800 km. Dies entspricht einem Anteil von 43,6 % am Gesamtstreckennetz. Auf den elektrifizierten Strecken werden rund 88 % aller Verkehrsleistungen der (west-) deutschen Bahn abgewickelt.<sup>1</sup> In Ostdeutschland sind Ende 1992 rund 4 400 km Bahnstrecken elektrifiziert. Dies entspricht einem Streckenanteil von rund 31 %; 1989 wurden dort allerdings erst rund 52 % aller Verkehrsleistungen abgewickelt.<sup>2</sup> Auf den übrigen Bahnlinien fahren heute Diesellokomotiven. Dampflokomotiven kommen allenfalls noch bei Museumsfahrten zum Einsatz.

Die Geschichte der elektrischen Traktion reicht bis in das Jahr 1835 zurück, als in Deutschland die erste Eisenbahn fuhr. Damals stellte der Schmied Thomas Davenport auf einer Ausstellung in Springfield im US-Bundesstaat Massachusetts ein elektrisch betriebenes Fahrzeug vor, das 38 t wog und eine Geschwindigkeit von zwei englischen Meilen pro Stunde erreichte. Auch andernorts wurden in den folgenden Jahren elektrisch angetriebene Versuchsfahrzeuge konstruiert. So baute zum Beispiel zwischen 1838 und 1842 der Schotte Robert Davidson eine fünf Tonnen schwere elektrische Lokomotive, die er auf der Strecke zwischen Edinburgh und Glasgow testen ließ. Alle diese Fahrzeuge hatten elektromagnetische Antriebe. Als Energiequellen gab es nur galvanische Elemente, die auf der Lok mitgenommen werden mußten. Reichweite und Leistungsfähigkeit der Fahrzeuge waren daher erheblich eingeschränkt und an einen wirtschaftlichen Fahrbetrieb noch nicht zu denken. Akkumulatorentriebwagen kamen erst nach der Jahrhundertwende bei den deutschen Eisenbahnen in nennenswertem Umfang zum Einsatz. In der Geschichte der elektrischen Traktion spielten sie jedoch eine relativ unbedeutende Nebenrolle.

Der eigentliche Beginn des elektrischen Zeitalters bei den Eisenbahnen wird auf das Jahr 1879 datiert. Damals erregte Werner von Siemens auf der Berliner Gewerbeausstellung mit einer funktionstüchtigen elektrischen Lokomotive Aufsehen, die bereits zahlreiche konstruktive Merkmale späterer Elektrolokomotiven aufwies (Abb. 29). Sie war mit einem Gleichstrom-Reihenschlußmotor ausgerüstet, der eine Leistung von 2,2 kW erreichte und dem Fahrzeug eine Höchstgeschwindigkeit von 13 km/h gestattete. Insgesamt 85 000 Besucher der Ausstellung ließen es sich nicht nehmen, diese Attraktion auf ihrem 300 m langen Rundkurs als Fahrgäste näher in Augenschein zu nehmen.<sup>3</sup>

### Elektrische Straßenbahnen

Werner von Siemens' Konstruktion verhalf der elektrischen Traktion noch nicht zum allgemeinen Durchbruch. Elektrische Lokomotiven kamen zunächst nur bei Industrie- und bei Grubenbahnen zum Einsatz. Dort waren sie, was ihre Leistungsfähigkeit und Sicherheit betraf, anderen Triebfahrzeugtypen überlegen. Frühe Beispiele sind die Lieferung der ersten Grubenlok von Siemens an das Steinkohlenbergwerk Zaukeroda in Sachsen im Jahre 1882. Ein Jahr später baute die Firma

Schuckert & Co. in Brannenburg bei Rosenheim eine recht abenteuerlich aussehende elektrische Materialtransportbahn.<sup>4</sup>

Ein wichtiges Verkehrsmittel, bei dem sich die Anwendung elektrischer Energie schon frühzeitig durchsetzte, war die Straßenbahn. Infolge der Industrialisierung Deutschlands kam es in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts zu einem rasanten Wachstum der Städte. Entsprechend stieg der Bedarf an Transportmitteln. Zahllose Gemeinden schafften sich zunächst Pferdestraßenbahnen an (Abb. 28). Sie waren allerdings sehr langsam, im Unterhalt kostspielig und verschmutzten zudem in hohem Maße die Straßen. Der Einsatz von Dampflokomotiven (wie zum Beispiel 1877 in Kassel) bot nur bedingt eine Alternative, stellte er doch auch eine erhebliche Belästigung von Passanten und Anwohnern dar.<sup>5</sup>

Im Jahr 1881 baute Werner von Siemens in Lichterfelde bei Berlin die erste für den Personenverkehr konzipierte elektrische Straßenbahn der Welt. Wenig später entstanden elektrische Straßenbahnen auch in Wien (1883), im englischen Seebad Brighton (1883), zwischen Frankfurt am Main und Offenbach (1884), sowie in Portrush, Irland (1883/84). Alle diese Bahnen dienten in erster Linie Versuchs- und Erprobungszwecken. Große Probleme bereiteten vor allem die Stromzuführung. Bei der Lichterfelder Straßenbahn waren zum Beispiel die Fahr-schienen auf Holzschwellen isoliert voneinander verlegt worden, um sie zur Hin- und Rückführung des Fahrstromes zu benutzen. Aus Sicherheitsgründen kam diese Form der Stromzuführung für einen Bahnbetrieb auf öffentlichen Straßen nicht in Frage. Auch die Stromzuführung über eine unterirdisch in einem Schlitzkanal verlegte Stromschiene brachte bei schlechter Witterung keine befriedigenden Betriebsergebnisse.<sup>6</sup> Schon frühzeitig setzte sich daher die Erkenntnis durch, daß eine zuverlässige Stromzuführung bei elektrischen Bahnen durch eine Oberleitung gewährleistet ist. Zwar waren damals schon Oberleitungs-Anlagen entwickelt worden, aber diese stießen zuweilen bei Behörden und Wissenschaftlern auf erhebliche Widerstände. Man befürchtete nicht nur eine Gefährdung von Passanten, sondern auch Störungen im Telefon- und Telegraphenverkehr. Manche Fahrleitung wurde ganz einfach aus ästhetischen Gründen abgelehnt. Neben diesen Problemen verhinderten auch wirtschaftliche Schwierigkeiten die Verbreitung der elektrischen Straßenbahn. Vielfach fehlte den Betreibergesellschaften der Pferdebahnen das Geld zur Umstellung auf elektrischen Betrieb. Alle diese Faktoren führten dazu, daß die Entwicklung der elektrischen Straßenbahnen in Deutschland nach einem vielversprechenden Auftakt Mitte der achtziger Jahre des vorigen Jahrhunderts zum Stillstand kam.

Anders verlief die Entwicklung in den USA. Dort erlebte die elektrische Straßenbahn in den achtziger Jahren einen gewaltigen Aufschwung. Grund dafür waren die meist schlechten Straßenverhältnisse in den Städten; außerdem bestanden dort keine Bedenken gegen die Installation von Oberleitungsanlagen. 1884 ging in Cleveland (Ohio) die erste dem öffentlichen Verkehr dienende Straßenbahn Amerikas in Betrieb. Bereits 1886 fuhren in den USA zehn Straßenbahnen mit elektrischem Antrieb. Der entscheidende Durchbruch gelang dem neuen Ver-



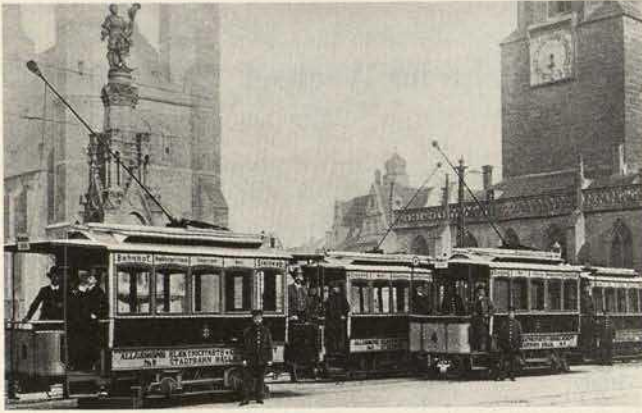


Abb. 64. Halle a. d. Saale, Eröffnung des ersten kompletten elektrischen Straßenbahnnetzes (1891).

kehrsmittel zwei Jahre später und war im wesentlichen dem Erfinder Frank Julian Sprague (1857-1934) zu verdanken. Er hatte unter anderem einen Rollenstromabnehmer – bestehend aus einem Stahlrohr, an dessen Ende eine Kontaktrolle angebracht war – konstruiert, durch den die Probleme der Stromzuführung weitgehend gelöst werden konnten. Sprague entwickelte außerdem eine Oberleitung mit leichter Aufhängung des Fahrdrahtes und benutzte erstmals die Fahrschiene zur Rückleitung des Stromes. Schließlich stammte von ihm noch eine neue Konstruktion zur Befestigung des Fahrmotors an der Treibachse – der Tatzlagermotorantrieb, wie er auch heute noch in Bahnfahrzeugen anzutreffen ist.<sup>7</sup>

Im Jahre 1888 erwarb die Allgemeine Electricitäts-Gesellschaft (AEG) die Nutzungsrechte an Spragues Patenten und errichtete daraufhin in der Stadt Halle/S. erstmals in Europa ein komplettes elektrifiziertes Straßenbahnnetz (Abb. 27, 64), das 1891 in Betrieb ging und der elektrischen Straßenbahn in Europa zum Durchbruch verhalf.<sup>8</sup> Bereits 1898 gab es in 69 deutschen Städten elektrische Straßenbahnen. Fünf Jahre später betrug die Gesamtlänge der elektrischen Straßen- und Vorortbahnen über 5 500 km, auf denen mehr als 8 700 Triebfahrzeuge zum Einsatz kamen. Nahezu jede größere deutsche Stadt legte sich dieses moderne Nahverkehrsmittel zu. Seine Akzeptanz war in Deutschland schließlich sogar höher als in anderen Ländern.<sup>9</sup>

### Vor- und Nachteile des Gleichstromsystems

Während die elektrische Straßenbahn einen großen Aufschwung erlebte, kam die Entwicklung elektrischer Fernbahnlokomotiven (Vollbahnlokomotiven) nur langsam voran.<sup>10</sup> Ein Grund dafür lag darin, daß diese – wie auch die Straßenbahnen – von Gleichstrommotoren angetrieben wurden. Deren Entwicklung galt zwar bis zur Jahrhundertwende im wesentlichen als abgeschlossen. Wegen der Kommutierung waren jedoch zunächst nur geringe Betriebsspannungen (bis ca. 700 V) möglich.<sup>11</sup> Erst allmählich gelang es, die Betriebsspannungen auf über 1 000 V zu erhöhen und damit die Voraussetzung zur erfolgreichen Elektrifizierung von Fernbahnen zu schaffen.<sup>12</sup> Netze mit 1 500 V Gleichstrom entstanden seit dem Ersten Weltkrieg in Großbritannien, Frankreich, Portugal, Spanien, in der Tschechoslowakei sowie in den Niederlanden.<sup>13</sup> Später erhöhte man die Spannungen sogar auf 3 000 V. Vorreiter waren hierbei 1926 die italienischen Staatsbahnen. Ihrem Beispiel folgten die UdSSR, Belgien, Polen, Jugoslawien und Luxemburg. Im Jahre

1980 wurden weltweit immerhin 37 % aller elektrifizierter Bahnstrecken (rund 42 000 km) mit Gleichstrom betrieben, davon rund 37 500 km mit 3 000 V und 6 200 km mit 1 500 V.<sup>14</sup>

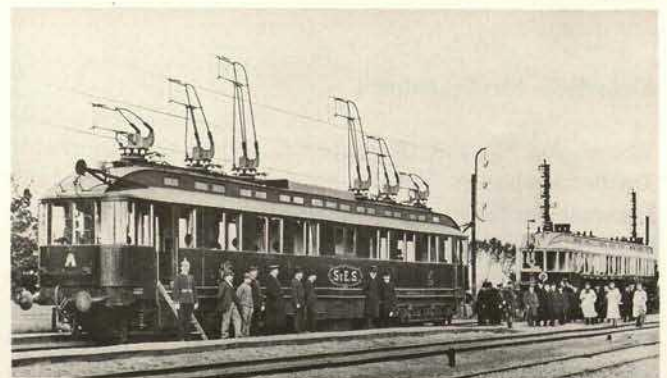
In Deutschland setzte sich das Gleichstromsystem auf Fernbahnstrecken nicht durch. Größere Netze wurden mit diesem Stromsystem nur bei den S-Bahnen in Berlin und Hamburg elektrifiziert. In Berlin war zunächst geplant, einphasigen Wechselstrom zu verwenden. Entsprechende Planungen und Vorarbeiten wurden allerdings durch den Ersten Weltkrieg unterbrochen. 1921 fiel dann die Entscheidung zugunsten einer Elektrifizierung mit 750 V Gleichstrom. Die Stromentnahme durch die Fahrzeuge erfolgt über eine seitlich angebrachte Stromschiene. In nur zehn Jahren entstand in der deutschen Hauptstadt eines der modernsten und leistungsfähigsten Nahverkehrssysteme der Welt.<sup>15</sup> Auch in Hamburg wurde von 1940 an mit dem Aufbau eines Gleichstrom-S-Bahnnetzes nach Berliner Vorbild begonnen, wobei das bereits bestehende Wechselstromnetz vorerst weiter in Betrieb blieb.<sup>16</sup>

### Versuche mit Drehstrom

Auf der Suche nach Alternativen zum Gleichstromsystem bot sich zunächst der dreiphasige Wechselstrom (Drehstrom) an. 1889 hatte der AEG-Ingenieur Michael von Dolivo-Dobrowolsky den ersten funktionstüchtigen Drehstrom-Asynchronmotor mit Käfigläufer gebaut. Zwei Jahre später gelang es erstmals, hochgespannten Drehstrom von Lauffen bei Heilbronn nach Frankfurt am Main über eine Entfernung von 175 km zu übertragen. Mit dem Drehstrommotor stand erstmals ein funktionstüchtiger Wechselstrommotor zur Verfügung. Es lag nun nahe, über seinen Einsatz auch im Eisenbahnverkehr nachzudenken. Im Prinzip eignete sich der robuste und fast wartungsfreie Drehstrommotor ideal zum Einbau in Bahnfahrzeuge. Außerdem läßt sich Drehstrom relativ verlustarm über große Entfernungen übertragen.<sup>17</sup>

Schon unmittelbar nach dem gelungenen Experiment einer Drehstrom-Fernübertragung fanden Versuche zur Erprobung von Drehstrommotoren in der Bahntechnik statt. Bis zur Jahrhundertwende wurden daraufhin mehrere Bahnstrecken in Europa mit diesem Stromsystem elektrifiziert.<sup>18</sup> Entscheidend für die weitere Verwendung des Drehstroms in der Bahntechnik war ein Großversuch, mit dem 1899 begonnen wurde. Damals gründeten die Firmen AEG und Siemens, die Deutsche Bank und eine Reihe weiterer Unternehmen die „Studiengesellschaft für

Abb. 65. Drehstrom-Schnelltriebwagen der AEG auf der Versuchsstrecke Marienfelde-Zossen bei Berlin, mit einer Rekordgeschwindigkeit von 210,2 km/h (1903).





elektrische Schnellbahnen“ (StES).<sup>19</sup> Zwischen Marienfelde und Zossen bei Berlin wurde ein 23 km langes Teilstück der preußischen Militäreisenbahn mit einer dreiphasigen Fahrleitung elektrifiziert (10000 V, 50 Hz). Von 1901 an testete man auf der Strecke mehrere Fahrzeuge, darunter jeweils zwei von der AEG und Siemens & Halske ausgerüstete Schnelltriebwagen (Abb. 65). Am 27. Oktober 1903 stellte auf dieser Strecke eines dieser Fahrzeuge mit 210,2 km/h einen Weltrekord für Bahnfahrzeuge auf.<sup>20</sup>

Die spektakulären Schnellfahrversuche führten aber nicht zum gewünschten Ziel: dem Bau einer elektrischen Hochgeschwindigkeitsbahn von Berlin nach Hamburg. Dieses Projekt mußte wegen des komplizierten Fahrleitungssystems, der komplizierten Stromabnehmer und der Probleme mit der Drehzahlregelung der Fahrmotoren aufgegeben werden. Die Versuche auf der Strecke nach Zossen wurden noch bis 1909 fortgesetzt; anschließend baute man die elektrischen Anlagen wieder ab.

Das Ende der Versuche auf der Strecke Marienfelde – Zossen bedeuteten aber keineswegs das „Aus“ für die Drehstromtechnik. Im Gegenteil: In der Schweiz und in Norditalien entstanden weitere Drehstrombahnen. So wurde beispielsweise 1906 die Simplonbahn in der Schweiz mit Drehstrom elektrifiziert.<sup>21</sup> In Italien beschlossen die Staatsbahnen (FS) noch vor dem Ersten Weltkrieg die Einführung des Drehstromsystems (3,3 kV, 16 2/3 Hz) mit doppelpoliger Fahrleitung als Einheitssystem. In den folgenden Jahren entstand ein weitverzweigtes Drehstromnetz, das Ende der zwanziger Jahre eine Länge von 2 100 km erreichte.<sup>22</sup> Zu einem weiteren Ausbau kam es allerdings nicht, da sich die Staatsbahn zur Einführung des 3,0 kV-Gleichstromsystems entschied. Dieser Entscheidung gingen ähnliche Überlegungen voraus, wie sie auch vor Einstellung der Versuche auf der preußischen Militäreisenbahn bei Berlin angestellt wurden. Als 1976 mit der Brennerbahn die letzte mit Drehstrom elektrifizierte Bahnlinie Italiens auf Gleichstrom umgestellt wurde, erlebte die Drehstromtechnik schon längst wieder eine Renaissance. Hierauf soll noch in einem der folgenden Abschnitte näher eingegangen werden.

### Einphasenwechselstrom setzt sich durch

Noch während in der Nähe Berlins die Versuche mit Drehstrom-Schnelltriebwagen andauerten, zeichnete sich bereits die Möglichkeit einer Elektrifizierung von Bahnnetzen mit Einphasenwechselstrom ab. Diese Stromart verbindet die Vorteile des Gleichstroms (günstiges Drehzahlverhalten der Motoren) und des Drehstroms (günstige Übertragungseigenschaften). Heute werden 53 % aller elektrifizierten Bahnstrecken der Welt mit Einphasenwechselstrom betrieben. Entscheidend für den Durchbruch dieser Stromart war die Entwicklung eines geeigneten Motors.<sup>23</sup>

Die ersten Versuche eines Bahnbetriebs mit Einphasenwechselstrom unternahm 1903 die AEG zwischen den Berliner Vororten Niederschöneweide und Spindlersfeld auf einer 4,1 km langen Strecke, die mit 6,3 kV, 25 Hz elektrifiziert wurde (Abb. 66, 75). Die Versuche dauerten bis 1905 und waren überaus erfolgreich.<sup>24</sup> Aufgrund ihrer Berliner Erfahrungen hatte die AEG bereits 1904 die Stubaitalbahn zwischen Innsbruck und Fulpmes als erste Bahn der Welt mit Einphasen-Wechselstrom elektrifiziert (2,5 kV, 42 Hz, später 3,0 kV, 50 Hz). Im darauffolgenden Jahr wurde dann zwischen Murnau und Oberammergau die erste öffentliche Bahn Deutschlands auf Wechselstrom-

betrieb umgestellt (5,5 kV, 15 Hz). Im Jahre 1906 beschloß der badische Landtag die Elektrifizierung der Wiesentalbahn von Basel nach Zell und der Wehratalbahn Schopfheim – Säckingen ebenfalls mit Einphasenwechselstrom.

Aufgrund der Versuchsergebnisse in Niederschöneweide sah man sich bei der Königlich-Preußischen Eisenbahnverwaltung (KPEV) veranlaßt, die Einführung des Einphasenwechselstroms als Regelsystem zu favorisieren. Zu weiteren Versuchen wurde in der Nähe von Oranienburg bei Berlin eine 1,76 km lange Versuchsbahn mit Einphasenwechselstrom elektrifiziert, auf der die KPEV 1908 ihre erste Wechselstrom-Vollbahnlokomotive testete (Abb. 67).<sup>25</sup> Ebenfalls 1908 elektrifizierte die KPEV die Hamburger Stadtbahn zwischen Blankenese und Ohlsdorf (26,6 km) mit Einphasenwechselstrom (Abb. 72). Im selben Jahr genehmigte schließlich der bayerische Landtag die Elektrifizierung der Strecken Salzburg – Freilassing – Berchtesgaden und der Mittenwaldbahn zwischen Scharnitz, Garmisch und Griesen (Inbetriebnahme 1914 bzw. 1912).<sup>26</sup> Auch in anderen Ländern Europas, wie in Frankreich, vor allem aber der Schweiz, Norwegen, Schweden und England entstanden die ersten Einphasen-Wechselstrom-Bahnen.

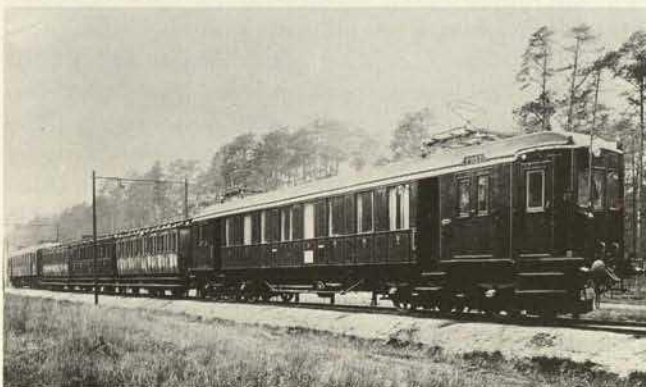


Abb. 66. Einphasen-Wechselstrombahn der AEG zwischen Niederschöneweide und Spindlersfeld bei Berlin (1903).

### Bitterfeld – Dessau – Elektrifizierung der ersten Fernbahnstrecke Deutschlands

Als weiteres großes Projekt plante die KPEV im Jahre 1908 die Elektrifizierung der Eifelstrecke von Euskirchen nach Trier. Auf Einspruch der Obersten Heeresleitung, die einen elektrischen Fahrbetrieb als anfällig einschätzte, mußte dieses Vorhaben aus strategischen Gründen jedoch fallengelassen werden. Statt dessen wählte man die Strecke Bitterfeld – Dessau aus, die von Militärtransporten umfahren werden konnte. Zur Energieerzeugung stand dort außerdem preiswerte Braunkohle zur Verfügung.<sup>27</sup>

Nachdem am 28. Juli 1908 der Preußische Landtag ein entsprechendes Gesetz hatte passieren lassen, folgte am 18. Januar die offizielle Aufnahme des elektrischen Versuchsbetriebs mit 10 kV, 15 Hz Einphasenwechselstrom. Bereits am 25. März erreichte auf der Strecke ein Personenzug eine Spitzengeschwindigkeit von 120 km/h; am 22. Mai 1911 wurden alle Züge mit Elektrolokomotiven gefahren. Die Versuche auf der Strecke Bitterfeld – Dessau waren so erfolgreich, daß der preußische Landtag noch am 30. Juni 1911 die Erweiterung des elektrifizierten Netzes beschloß, und zwar von Bitterfeld über Leipzig nach Halle sowie in Schlesien von Lauban nach Königszell.<sup>28</sup> Die KPEV erteilte der deutschen Elektroindustrie die ersten



Großaufträge über den Bau von insgesamt 72 elektrischen Lokomotiven verschiedener Bauarten. Neben den mitteldeutschen Strecken sollte in Preußen schwerpunktmäßig das Berliner Fern- und S-Bahnnetz elektrifiziert werden. Bereits vor dem Ersten Weltkrieg wurden auf der Strecke Bitterfeld – Dessau Triebgestelle getestet und Vorarbeiten zur Elektrifizierung auf den Bahnlagen nach Bernau und Hermsdorf ausgeführt.

### Das Abkommen von 1913

Die erfolgreichen Versuche mit Einphasenwechselstrom – nicht zuletzt auf der Strecke Bitterfeld – Dessau – führten 1913<sup>29</sup> zur Unterzeichnung eines „Übereinkommen[s], betreffend die Ausführung elektrischer Zugförderung“ der Staatseisenbahnen von Preußen, Bayern und Baden zur Einführung des Einphasen-Wechselstroms 15 kV, 16 2/3 Hz für den elektrischen Zugbetrieb ihrer Bahnen. Mit der Festlegung der Frequenz trug man der Tatsache Rechnung, daß bei der Anwendung höherer Frequenzen Wechselstrom-Kommutatormotoren zu starker Funkenbildung neigten. Man senkte daher die Frequenz, um einen funkenarmen Kommutatorlauf zu erreichen.<sup>30</sup>

Das Übereinkommen von 1913 erwies sich als durchaus weit-sichtige Entscheidung, die eine Reihe technischer Vorteile brachte: einpolige Fahrleitung, Regelungsmöglichkeit der Fahr-motoren und Energieübertragungsmöglichkeit über weite Ent-fernungen. Im Laufe der Zeit schlossen sich dem Abkommen auch mehrere ausländische Bahnverwaltungen an, so in Öster-reich, der Schweiz, in Norwegen und Schweden. Heute sind in Europa annähernd 30 000 km mit dieser Stromart elektrifiziert.<sup>31</sup>

Vor allem nach dem Zweiten Weltkrieg ist vielfach die Frage diskutiert worden, ob nicht eine Umstellung der Stromsysteme auf 50 Hz Wechselstrom sinnvoll sei. Die technischen Probleme, die 1912 zur Wahl der Frequenz von 16 2/3 geführt hatten, waren längst überwunden. Bis heute haben jedoch sowohl Deutschland, Österreich, die Schweiz als auch Norwegen und Schweden ihre einmal getroffene Systemwahl nicht geändert, wofür letzten Endes die enorm hohen Umstellungskosten ausschlaggebend waren. Generell ist zu beobachten, daß – von Italien abgesehen – auch in anderen Ländern Umstellungen der Stromsysteme in größerem Umfang nur selten erfolgten. Künftig wird diese Frage ohnehin nur von untergeordneter Bedeutung sein, da die Leistungselektronik es inzwischen möglich macht, die aus dem Netz bezogene Stromart in der Lokomotive selbst umzuwandeln. Systemwechsel an den Grenzen werden in Zukunft – hoffentlich – kein Verkehrshindernis mehr sein.

### Bahnstromversorgung und Fahrleitungssysteme<sup>32</sup>

Die Kraftwerksanlagen zur Bahnstromversorgung waren in der Anfangszeit, was ihre Größe und Ausstattung betraf, noch recht bescheiden. Von einer flächendeckenden Elektrifizierung war man noch weit entfernt. Die installierten Leistungen der bereits bestehenden Kraftwerke richteten sich nach dem Bedarf ihrer Kunden, der damals noch vergleichsweise bescheiden war. Zur Stromversorgung der Halleschen Straßenbahn hatte man beispielsweise 1891 insgesamt vier Dynamomaschinen mit je 1 000 PS Leistung in einem ehemaligen Pferdebahndepot installiert. Das erste große Bahnkraftwerk Deutschlands entstand 1906 zur Versorgung des Bahnbetriebs zwischen Blankenese und Ohlsdorf. 1911 folgte das Bahnkraftwerk Muldenstein bei Bitterfeld

(Abb. 76). Die Einspeisung in das Bahnnetz erfolgte bereits über Unterwerke. Diese Form der Stromverteilung war in den neun-ziger Jahren des vorigen Jahrhunderts in den USA erprobt worden. In Europa fand sie erstmals 1899 bei der mit Drehstrom elektrifizierten Bahnlinie Burgdorf – Thun in der Schweiz Anwendung. Bis zum Ausbruch des Zweiten Weltkrieges baute die Deutsche Reichsbahn ein umfangreiches eigenes Bahnstrom-versorgungsnetz auf.

Auf dem Gebiet der Regelung der Energiezufuhr hatte Werner von Siemens bereits 1879 wichtige Weichenstellungen für die Zukunft vorgenommen. Bei seiner Versuchslokomotive erfolgte die Energiezufuhr über eine dritte Schiene, die in der Mitte des Gleises angebracht war. Dieses System findet im Prinzip auch heute noch bei U- und S-Bahnen Anwendung. Allerdings ging man später bei Nahverkehrsmitteln zur seitlich angebrachten Stromschiene über, wie sie 1893 bei der Chicagoer Hochbahn erstmals zur Anwendung kam. Als sicherste Übertragungsmöglichkeit erwies sich jedoch die elektrische Oberleitung. Bereits 1910 hatten führende Elektrofirmer in Deutschland Oberleitun-gen für Fernbahnen entwickelt. Am besten bewährte sich die Kettenfahrleitung, bestehend aus einem Tragseil und dem daran aufgehängten Fahrdraht (vgl. Abb. 75). Hieraus entstand später die sogenannte Einheitsfahrleitung, die erstmals auf der Bahn-strecke Görlitz – Lauban in Schlesien in den zwanziger Jahren installiert wurde. Sie bestand aus einem fest installierten Trag-seil und einem elastisch aufgehängten Fahrdraht (vgl. Abb. 77). Der Mastabstand betrug zunächst rund 100 m und wurde später auf 80 m festgelegt.<sup>33</sup> Da sich die Einheitsfahrleitung nur für Ge-schwindigkeiten bis 120 km/h eignete, begann man schon in den dreißiger Jahren an deren Weiterentwicklung zu arbeiten. 1950 stellte die Deutsche Bundesbahn dann eine neue Einheitsfahr-leitung für Geschwindigkeiten bis zu 160 km/h auf. Heute sind auf den Neubaustrecken der Deutschen Bundesbahn Oberlei-tungen für Geschwindigkeiten bis zu 250 km/h und mehr instal-liert. Ihre Fahrdrähte haben einen größeren Querschnitt, sind et-was niedriger verlegt und mit einem geringeren Mastabstand versehen (65 m statt 80 m).

### Elektrifizierung bis 1945

Bis zum Ersten Weltkrieg waren auf dem Gebiet der Elektrifi-zierung der deutschen Eisenbahnen entscheidende Weichenstel-lungen vorgenommen worden: Es hatte sich in zahlreichen Ver-suchen herausgestellt, daß zur Elektrifizierung von Fernbahn-strecken einphasiger Wechselstrom am besten geeignet ist. Elektrische Bahnen in Hamburg, in der Nähe Berlins und vor al-lem der Versuchsbetrieb zwischen Bitterfeld und Dessau erwie-sen sich als Erfolg. Durch ein Abkommen legten sich die Län-derbahnen Deutschlands auf einheitliche Richtlinien zur Elek-trifizierung des Fernbahnnetzes mit 16 2/3 Hz-Wechselstrom fest. Die Wahl dieser niedrigen Frequenz machte allerdings den Aufbau bahneigener Energieversorgungsnetze notwendig.<sup>34</sup>

Der Ausbruch des Ersten Weltkrieges brachte den Elektrifi-zierungsprogrammen einen Rückschlag. So mußte zwischen Dessau und Leipzig der elektrische Fahrbetrieb eingestellt wer-den. Die Fahrleitungsanlagen wurden zur Rohstoffverwertung teilweise demontiert. Im Bahnkraftwerk Muldenstein entstand 1915 eine Anlage zur Stickstoffgewinnung.<sup>35</sup> Ein ähnliches Schicksal widerfuhr auch dem Betrieb in Schlesien. Dort war der erste elektrifizierte Streckenbauabschnitt Niedersalzbrunn und Halbstadt erst am 1. Juni 1914 in Betrieb gegangen. Auch





Abb. 67. Erste Einphasen-Wechselstrom-Lokomotive der AEG, getestet auf einer Versuchsstrecke bei Oranienburg (Berlin), im Einsatz bei der Hamburger Hafenbahn (Baureihe E 73; 1907).



Abb. 71. Versuchslokomotive für den 50 Hz-Betrieb auf der Höllentalbahn im Schwarzwald (1947).



Abb. 68. Schwere elektrische Güterzuglokomotive der Deutschen Bundesbahn (Baureihe E 50; 1957).

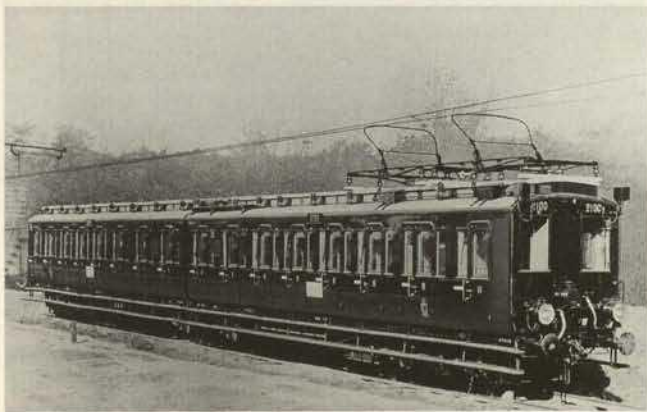


Abb. 72. Einphasen-Wechselstrom-Triebwagen der AEG für die Vorkortbahn Blankenese-Ohlsdorf bei Hamburg (1907).



Abb. 69. Erste Viersystem-Lokomotive der Deutschen Bundesbahn für den grenzüberschreitenden Verkehr mit Frankreich, Belgien und den Niederlanden (Baureihe E 410; 1966).

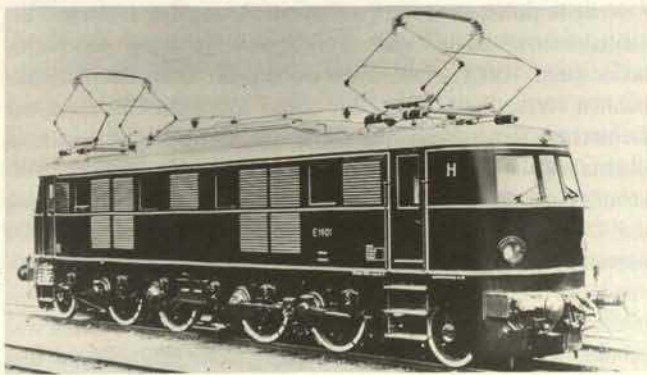


Abb. 73. Hochgeschwindigkeitslokomotive der AEG, Höhepunkt der Vorkriegsentwicklung für Spitzengeschwindigkeiten von 225 km/h (Baureihe E 19; 1938).

Abb. 70. Mehrzwecklokomotive der Deutschen Reichsbahn (Baureihe E 42, heute 142).



Abb. 74. Einer der Prototypen elektrischer Nachkriegslokomotiven der Deutschen Bundesbahn (Baureihe E 10; 1952/53).





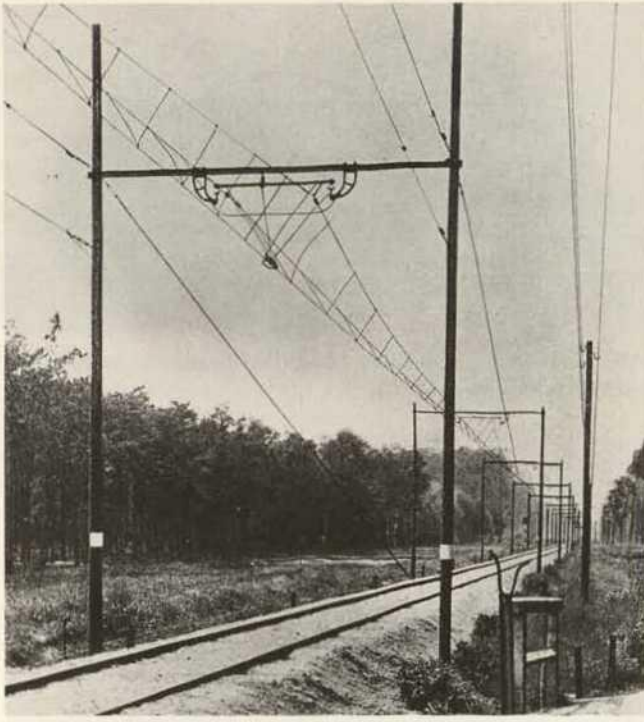


Abb. 75. Kettenfahrleitung der AEG zwischen Niederschöneweide und Spindlersfeld bei Berlin (1903).

in Berlin kam es zur Unterbrechung der Elektrifizierungsarbeiten.

Neue Impulse zur weiteren Elektrifizierung des deutschen Eisenbahnnetzes kamen nach dem Ersten Weltkrieg von politischer Seite. Am 1. April 1920 wurden die deutschen Länderbahnen verstaatlicht. Vier Jahre später folgte die Gründung der Deutschen Reichsbahn, die Betriebsführung des Bahnnetzes übernahm die Deutsche-Reichsbahn-Gesellschaft. Nach Verstaatlichung der Länderbahnen in Deutschland und Gründung der Deutschen Reichsbahn galt es unter anderem, über 300 verschiedene Lokomotivtypen – hauptsächlich Dampflokomotiven – zu vereinheitlichen. Auch künftigen Elektrifizierungsmaßnahmen kam die Vereinheitlichung zugute, denn fortan war es möglich, ein einheitliches Elektrifizierungsprogramm und eine Standardisierung der Baureihen durchzuführen.

In den zwanziger Jahren wuchs das elektrische Netz in bemerkenswertem Umfang. Es entstanden bis 1928 drei untereinander nicht verbundene Netze mit einer Gesamtlänge von 1208 km Länge:

In Mitteldeutschland war 1922 der elektrische Betrieb zwischen Dessau – Bitterfeld ein zweites Mal aufgenommen worden. Hinzu kamen die Strecken Dessau – Magdeburg, Halle – Leipzig und Leipzig – Bitterfeld (Gesamtlänge des Netzes: 184 km; Abb. 13a, 78). Kernstück des schlesischen Netzes (Gesamtlänge 340 km) war die Verbindung Görlitz – Hirschberg – Breslau (Abb. 13b). Das mit Abstand größte Netz (685 km) entstand in Süddeutschland, wo vor allem die von München ausgehenden Eisenbahnlinien zum Beispiel nach Salzburg und Garmisch-Partenkirchen elektrifiziert wurden (Abb. 13c).

In den dreißiger Jahren wurde das Tempo der Elektrifizierung erheblich gebremst. Der Grund dafür lag darin, daß sich die Reichsbahn in verstärktem Umfang an der Finanzierung und am Bau des Reichsautobahnnetzes beteiligte.<sup>36</sup> Dennoch gelang es

ihr, bis 1935 eine Reihe weiterer wichtiger Strecken auf elektrischen Betrieb umzustellen. Es waren dies u. a. die Verbindungen München – Augsburg – Stuttgart (1931-1933); Halle – Köthen – Magdeburg (1934); Augsburg – Donauwörth – Nürnberg (1934-1935). Außerdem war mit der Elektrifizierung einer durchgehenden Verbindung von München nach Berlin begonnen worden. Bis 1942 ging der Abschnitt Nürnberg – Leipzig über den Frankenwald in Betrieb. Der Zweite Weltkrieg verhinderte dann den Weiterbau bis Berlin. Bis 1945 hatte das elektrifizierte Streckennetz in Deutschland insgesamt 2 287 km Länge erreicht, davon in Süddeutschland 1 446 km, in Mitteldeutschland 462 km und in Schlesien 379 km.<sup>37</sup>

### Experiment mit 50 Hz: Die Höllentalbahn

In den Jahren 1933-1935 ließ die Deutsche Reichsbahn-Gesellschaft zu Testzwecken die steigungsreiche Höllentalbahn zwischen Freiburg und Neustadt bzw. Seebrugg (insgesamt 55,6 km) mit Einphasenwechselstrom 20 kV, 50 Hz (Landesfrequenz) elektrifizieren und gab bei der Industrie insgesamt vier Elektrolokomotiven der Baureihe E 244 in Auftrag.<sup>38</sup> Alle vier Probelokomotiven, die äußerlich der bekannten Baureihe E 44 ähnelten, erhielten eine elektrische Bremse. Zwei Lokomotiven besaßen Gleichstrom-Reihenschlußmotoren, denen über einen gittergesteuerten Quecksilberdampf-Gleichrichter Wellenstrom zugeführt wurde.<sup>39</sup> Bei einer Lok wurde jede der vier Treibachsen von zwei Motoren, und zwar von je einem Einphasenmotor und von einem Drehstrom-Schleifringläufermotor angetrieben.<sup>40</sup>

Nach dem Zweiten Weltkrieg zeigte vor allem die französische Besatzungsmacht großes Interesse an einer Fortsetzung des Versuchsbetriebs auf der Höllentalbahn. Mit ihrer Unterstützung konnte bereits 1947 eine fünfte elektrische Lokomotive in Dienst gestellt werden (Abb. 71). Die Ergebnisse der Versuche auf der Höllentalbahn beeinflussten schließlich die französischen Staatsbahnen (SNCF), einen Teil ihres Netzes ebenfalls mit 50 Hz Wechselstrom zu elektrifizieren.<sup>41</sup> Auch eine Reihe anderer europäischer Eisenbahnverwaltungen wählte dieses Stromsystem, so zum Beispiel in Jugoslawien, der Türkei, in Portugal, und vor allem in der UdSSR. Auf der Höllentalbahn selbst endete das 50-Hz-Experiment am 20. Mai 1960. Damals

Abb. 76. Muldenstein bei Bitterfeld, Bahnkraftwerk von 1911, Blick in die Turbinenhalle (1940).





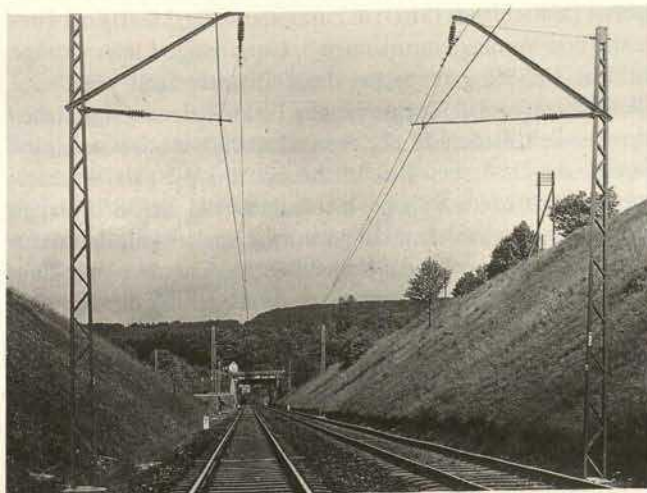
wurde der elektrische Betrieb auf 16 2/3 Hz umgestellt. Dies geschah aus wirtschaftlichen Gründen, denn zum damaligen Zeitpunkt war Freiburg bereits an das übrige 16 2/3-Hz-Netz der Deutschen Bundesbahn angeschlossen.

### Lokomotivbau vor dem Zweiten Weltkrieg<sup>42</sup>

Im Jahre 1920 waren in Deutschland erst 92 Elektrolokomotiven in Betrieb. Nachdem man die Länderbahnen Deutschlands dem Reich unterstellt hatte, wurden die ersten vereinheitlichten Typenprogramme für elektrische Lokomotiven aufgestellt. Besonderes Interesse galt dabei der Entwicklung elektrischer Lokomotiven für höhere Geschwindigkeiten. Bei Erprobung des bereits eingeführten Tatzlagermotorantriebs stellte sich jedoch heraus, daß sich diese robuste und zuverlässige Antriebsart für höhere Geschwindigkeiten nicht eignet. Hierfür war der Federtopfantrieb besser geeignet. Bei dieser Antriebsart wurde der Fahrmotor an Federtöpfe, die zwischen den Speichen angebracht waren, aufgehängt. Dieser war somit vollständig abgedeckt, so daß die Lokomotive wesentlich höhere Geschwindigkeiten fahren konnte. Die erste Lok mit Federtopfantrieb war die Versuchs-Baureihe E 21 (1926). Als erste Serienlok kam 1927 die Baureihe E 17 heraus. Ihr folgte die leichte Schnellzuglok der Baureihe E 04. 1933 erreichte eine Lok dieser Bauart bei einer Versuchsfahrt auf der Strecke München – Stuttgart eine Geschwindigkeit von immerhin 151,5 km/h.

Zu Beginn der dreißiger Jahre stellte die Deutsche Reichsbahn-Gesellschaft ein weiteres Typenprogramm auf, in das die Ergebnisse der Versuche mit den bisherigen Antriebsformen einfließen. Es sah vor, bei den langsameren Personenzug- und Güterzuglokomotiven Tatzlagermotorantriebe und bei schnelleren Lokomotiven den Federtopfantrieb zu verwenden. Die deutsche Lokomotivindustrie entwickelte daraufhin eine Reihe äußerst erfolgreicher Lokomotiven, die auch noch lange Zeit nach dem Zweiten Weltkrieg in Deutschland und Österreich zum Einsatz kamen. So stellte Siemens & Halske 1930 die erste Lokomotive der Baureihe E 44 vor, die für Personenzüge und leichte Güterzüge ausgelegt war. Die Lokomotive hatte ein Dienstgewicht von rund 80 t, leistete 2120 kW und erreichte mit ihrem Tatzlagermotorantrieb eine Spitzengeschwindigkeit von 90 km/h. Als erste Lok hatte die E 44 vollkommen geschweißte

Abb. 77. Einheitsfahrleitung der Deutschen Reichsbahn aus den dreißiger Jahren.



Drehgestelle und einen geschweißten Hauptrahmen erhalten. Insgesamt wurden 173 dieser als „Mädchen für alles“ bei den Eisenbahnern hochgeschätzten Triebfahrzeuge ausgeliefert. Auch nach dem Krieg war sie noch lange Zeit im Einsatz.

Bemerkenswert waren auch die Schnellzuglokomotiven der Baureihe E 18. Die AEG hatte 1933 mit deren Entwicklung begonnen und das erste Exemplar 1935 ausgeliefert. Die Lokomotive war mit einem Federtopfantrieb ausgestattet und erreichte eine Stundenleistung von 3017 kW (bei 117 km/h). Ihre Spitzengeschwindigkeit lag bei 150 km/h. Als erste deutsche Elektrolok hatte sie eine windschnittige Bauform erhalten; ihr Rahmen wurde in Leichtbauweise vollständig geschweißt. Zur Erleichterung des Lokführers hatte man die Feinreglersteuerung mit einem elektrischen Antrieb versehen. Als Weiterentwicklung der E 18 kam 1938 die E 19 heraus, eine Hochleistungslokomotive für Geschwindigkeitsbereiche bis 225 km/h (Abb. 73). Bei Versuchsfahrten erreichte die E 19 01 in 4,5 Min. 120 km/h und eine Leistung von 5280 kW. Bei Schnellfahrversuchen wurden 200 km/h erreicht. Diese Geschwindigkeiten fuhr nach dem Zweiten Weltkrieg bei der Deutschen Bundesbahn eine elektrische Lokomotive erst wieder im Jahre 1963!

Die Lokomotiven der Baureihe E 19 markierten zweifellos den Höhepunkt des Lokomotivbaus in Deutschland vor dem Zweiten Weltkrieg. Jedoch auch nach Kriegsausbruch lieferte die Lokomotivindustrie noch neue Lokomotiven aus, darunter die schwere Güterlokomotive der Baureihe E 94, von der ab 1940 insgesamt 145 Exemplare ausgeliefert wurden. Sie bewährte sich im täglichen Fahrbetrieb ebenfalls sehr gut, so daß von ihr noch nach dem Krieg weitere Exemplare bestellt wurden.

Wie schon zu Beginn des Ersten Weltkriegs wurde auch nach Ausbruch des Zweiten Weltkriegs die Weiterentwicklung des elektrischen Bahnverkehrs in Deutschland unterbrochen. Nur noch als „kriegswichtig“ eingestufte Lokomotivtypen wie die Baureihe E 94 konnten weitergebaut werden. Dagegen mußten die Entwicklungsarbeiten der Deutschen Reichsbahn-Gesellschaft an einer neuen leistungsfähigen Universallokomotive (Baureihe E 46) 1942 abgebrochen werden.<sup>43</sup> Anders verhielt es sich dagegen mit Planungen für ein europäisches Breitspurnetz, das die von Deutschland eroberten Gebiete Europas durchziehen sollte. Es sollten auf dieser Bahn u. a. auch 16-achsige Elektrolokomotiven zum Einsatz kommen. Vorgesehen waren Fahrleitungsspannungen von 45 kV 16 2/3 Hz, Leistungen von 20000 kW und Spitzengeschwindigkeiten von 250 km/h. Noch bis zum Schluß des Krieges wurden diese dem Größenwahn eines diktatorischen Regimes entsprechenden Planungen unbeirrt fortgesetzt.

### Der elektrische Eisenbahnbetrieb in der unmittelbaren Nachkriegszeit

Während des Zweiten Weltkriegs war der Bahnbetrieb in Deutschland durch Luftangriffe erheblich beeinträchtigt worden. Es hatte sich jedoch gezeigt, daß auf den elektrifizierten Strecken die Fahrleitungsanlagen in der Regel schneller repariert waren als die darunter liegenden Gleisanlagen. Die Einwände der Militärs, die diese schon vor dem Ersten Weltkrieg gegen eine Elektrifizierung von Eisenbahnlinien erhoben hatten, erwiesen sich im Nachhinein als unbegründet. Erst in der Schlußphase des Zweiten Weltkriegs kam der elektrische Zugbetrieb zum Erliegen.



Auf dem Gebiet der drei westlichen Besatzungszonen verblieben nach Kriegsende 1 557 km elektrifizierter Bahnstrecken. Zwar waren hiervon rund 30 % der Anlagen beschädigt; dennoch gelang es bis Anfang 1946, alle Strecken wieder in Betrieb zu nehmen. Das schlesische Eisenbahnnetz kam nach 1945 unter die Verwaltung der Polnischen Staatsbahnen (PKP). Die Fahrleitungsanlagen waren, soweit überhaupt noch vorhanden, zuvor von sowjetischen Demontagekommandos abgebaut worden.

Auf dem Gebiet der Sowjetischen Besatzungszone Deutschlands (SBZ) befanden sich 462 km elektrifizierte Bahnstrecken. Hinzu kam noch das mit 750 V Gleichstrom elektrifizierte Netz der Berliner S-Bahn. Bis März 1946 konnte auf dem Gebiet der SBZ der elektrische Zugverkehr ebenfalls wieder aufgenommen werden. Jedoch schon im April desselben Jahres erteilte die sowjetische Besatzungsmacht den Befehl zur Demontage sämtlicher Fahrleitungs- und Stromversorgungsanlagen sowie zur Ablieferung der Elektrolokomotiven. Die gesamte Ausrüstung für den mitteldeutschen elektrischen Bahnverkehr ging als Reparationsleistung an die UdSSR.

### Der Wiederaufbau des elektrischen Eisenbahnnetzes in der DDR<sup>44</sup>

Die ersten Überlegungen zur Wiederaufnahme des elektrischen Zugverkehrs wurden in der DDR bereits 1949 angestellt. Damals beabsichtigte man, die 55 km lange Bahnstrecke von Zwickau über Aue nach Johannegeorgenstadt zweigleisig auszubauen und zu elektrifizieren, um auf ihr das Uranerz der Wismut AG besser abtransportieren zu können. Zum Einsatz sollten auf der Strecke Lokomotiven der Baureihe E 94 kommen. Einige beschädigte Exemplare waren in Mitteldeutschland verblieben, die man wiederaufarbeiten wollte. Eine Reihe weiterer Lokomotiven sollten neugebaut werden. Zur Realisierung dieses Projektes kam es aus bisher unbekanntem Gründen jedoch nicht.<sup>45</sup>

In den Jahren 1952/53 erhielt die DDR die meisten der in die Sowjetunion verbrachten Lokomotiven wieder zurück. Für sie hatten sich in der UdSSR keine Verwendung finden lassen. 1953 fiel dann der Entschluß zur Wiederelektrifizierung des Bahnnetzes in Mitteldeutschland. Ausgewählt wurde zunächst die Strecke von Halle/S. nach Köthen, die am 1. September 1955 wieder in Betrieb ging.<sup>46</sup> Nach und nach nahm man anschließend die bereits vor dem Krieg elektrifizierten Strecken wieder unter Fahrdraht, darunter 1958 auch die Strecke Dessau – Bitterfeld, die damit zum dritten Mal seit 1911 elektrisch befahren werden konnte. Zehn Jahre nach Wiederaufnahme des Betriebs hatte man in der DDR rund 690 km elektrifiziert.<sup>47</sup>

Die Deutsche Reichsbahn in der DDR hatte sich bei der Elektrifizierung ihrer Bahnstrecken wieder für die Einführung des 16 2/3-Hz-Wechselstromsystems entschieden.<sup>48</sup> So verfügte die DDR seit 1952/53 wieder über eine Reihe von Altbau-Elektrolokomotiven für dieses Stromsystem. Hinzu kam, daß man damals noch von einer baldigen Wiedervereinigung Deutschlands und von der Wiederherstellung eines einheitlichen elektrischen Bahnsystems ausging.<sup>49</sup> In den sechziger Jahren wurden dann allerdings Überlegungen angestellt, den nördlichen Teil des Eisenbahnnetzes der DDR mit 25 kV 50 Hz zu elektrifizieren, um so auf eine eigene Bahnstromversorgung verzichten zu können.<sup>50</sup> Zu Testzwecken war 1962 ein 23 km langer Abschnitt des Berliner Außenrings zwischen Hennigsdorf und Wustermark

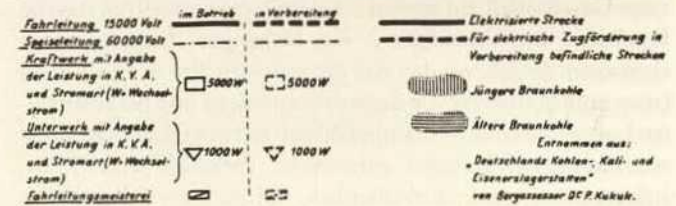
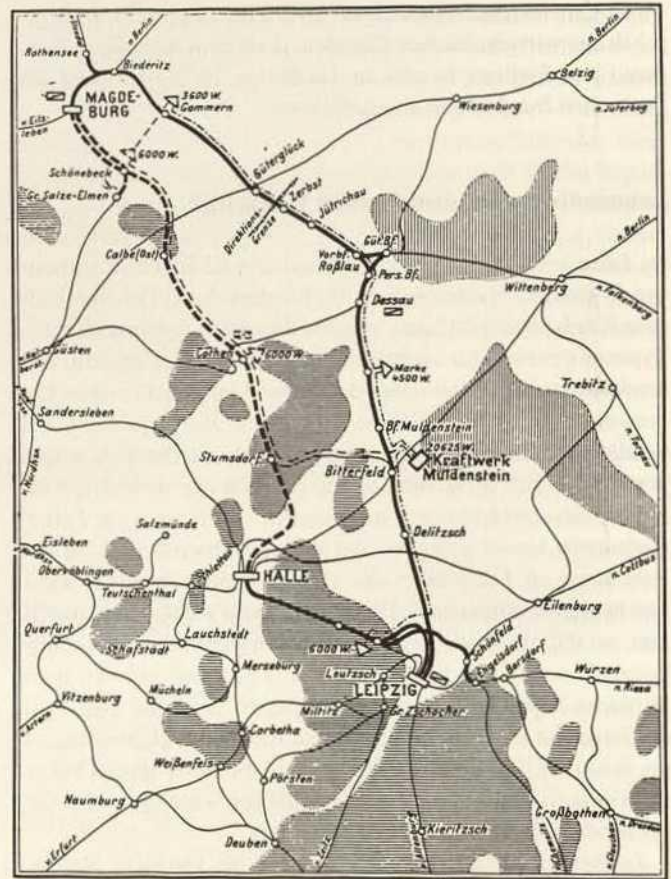


Abb. 78. Elektrifizierung des mitteldeutschen Eisenbahnnetzes (Stand: um 1920).

mit dieser Stromart elektrifiziert worden, auf dem man hauptsächlich Exportlokomotiven testete.

Das Projekt zur Elektrifizierung eines ausgedehnten Netzes mit 25 kV 50 Hz Wechselstrom wurde jedoch nicht verwirklicht. Diese Entscheidung steht vermutlich mit einem 1965 getroffenen Entschluß des Zentralkomitees der Sozialistischen Einheitspartei Deutschlands (SED) in Zusammenhang, künftig der Dieseltraktion Vorrang einzuräumen.<sup>51</sup> Langfristige Lieferverträge mit der UdSSR garantierten der DDR seinerzeit preiswerte Öleinfuhren, so daß für eine weitere Elektrifizierung von Bahnstrecken kein Bedarf zu bestehen schien. Dennoch wurde eine Strecke der Deutschen Reichsbahn mit 25 kV 50 Hz Wechselstrom elektrifiziert. Es handelt sich dabei um die 26 km lange Rübelandbahn zwischen Blankenburg und Königshütte im Harz, die vor allem für die Kalkabfuhr, Bedeutung besitzt. Insgesamt 15 elektrische Lokomotiven der eigens für diesen Inselbetrieb geschaffenen Baureihe E 251 nahmen dort 1965 den Dienst auf. Sie sind dort noch heute im Einsatz.

Trotz der Entscheidung für einen Ausbau der Dieseltraktion gelang es der Deutschen Reichsbahn, zwischen 1966 und 1976 noch weitere Elektrifizierungsprojekte auf einer Streckenlänge von immerhin 303 km zu vollenden. Im Jahre 1976 vollzog der



Parteitag der herrschenden SED einen erneuten Kurswechsel für den Eisenbahnbetrieb. Aufgrund rasant gestiegener Ölpreise sah man sich veranlaßt, auf heimische Rohstoffe, d. h. auf die reichlich vorhandene Braunkohle zurückzugreifen. Da diese auch in Kraftwerken zur Bahnstromversorgung verfeuert werden kann, bedeutete dies, daß der elektrischen Zugbeförderung erneut Priorität eingeräumt wurde. In einem ehrgeizigen Vorhaben wurden bis 1989 wichtige Hauptverkehrsverbindungen – hauptsächlich in Nord-Süd-Richtung – elektrifiziert sowie Verbindungen an das polnische und das tschechische Netz, nicht aber an das der Deutschen Bundesbahn, hergestellt (Abb. 79).<sup>52</sup>

Als sich 1989 nach dem Sturz des politischen Systems in der DDR eine rasche Wiedervereinigung Deutschlands anbahnte, reagierte man bei der Deutschen Reichsbahn schnell und begann, die Planungen für die weitere Elektrifizierung des Streckennetzes auf die sich nun verändernden Verkehrsströme umzustellen. Bereits 1993 wird die durchgehende elektrische Bahnverbindung zwischen Helmstedt und Berlin in Betrieb gehen. Bis 1997 will man alle wichtigen Verbindungen zwischen den derzeitigen Netzen der Deutschen Bundesbahn und der Deutschen Reichsbahn elektrifiziert haben. Dieses Vorhaben schließt auch die Wiederelektrifizierung der Strecke von Camburg/Saale über Jena und Saalfeld nach Probstzella ein. Als letzte der sogenannten Reparationsruinen bleiben damit nur noch Reste des schlesischen elektrischen Netzes in Görlitz an der Neiße übrig. Dort sind noch heute alte Oberleitungsmaste aus den zwanziger Jahren zu besichtigen.

### Lokomotivbau in der DDR

Als am 1. September 1955 in der DDR der elektrische Zugbetrieb wieder aufgenommen wurde, kamen – ähnlich wie dies nach 1945 auch im Westen der Fall war – zunächst wiederaufgearbeitete Vorkriegslokomotiven zum Einsatz. Jedoch schon bald begann man sich auch in der DDR mit dem Neubau von Elektrolokomotiven zu beschäftigen. Nachdem Verhandlungen mit Herstellern in der Bundesrepublik zum Nachbau der Schnellzuglokomotive der Baureihe E 10 gescheitert waren, stellte die ehemalige AEG-Lokomotivfabrik in Hennigsdorf zu Beginn der sechziger Jahre mit den Baureihen E 11 und E 42 (später 211 und 242, heute 109 und 142) zwei Versionen einer leichten Mehrzwecklokomotive vor (Abb. 70). Beide Maschinen unterscheiden sich im wesentlichen nur durch verschiedene Getriebeübersetzungen. Sie leisten je 2 200 kW und sind 120 km/h bzw. 100 km/h schnell.

Im Jahre 1968 wurde in Hennigsdorf außerdem mit der Entwicklung einer schweren sechsachsigen Güterzuglokomotive begonnen. 1974 stellte die Deutsche Reichsbahn die ersten Maschinen dieser neuen Baureihe 250 in Dienst. Sie leistet 5 400 kW, erreicht eine Höchstgeschwindigkeit von 125 km/h und ist bereits mit thyristorgeregelter Widerstandsbremse ausgestattet. Bis Ende 1984 wurden 270 Serienlokomotiven dieser Baureihe fertiggestellt. Als Nachfolgerin stellten die Lokomotivwerke in Hennigsdorf 1991 die Baureihe 252 (heute: 156) vor. Zu einer Serienfertigung wird es jedoch vorerst nicht kommen, da Deutsche Reichsbahn und Deutsche Bundesbahn künftig ein neues Lokomotivprogramm gemeinsam beschaffen wollen.

In den sechziger Jahren wurden Überlegungen zum Bau einer elektrischen Schnellzuglokomotive mit einer Höchstgeschwin-

digkeit von 160 km/h (Baureihe E 11) angestellt. Zu einer Realisierung dieses Projekts kam es allerdings nicht, weil der Ausbau des elektrifizierten Streckennetzes zeitweilig gestoppt wurde. Erst Anfang der achtziger Jahre stellte die Deutsche Reichsbahn mit der Baureihe 212 eine neue Elektrolokomotive für eine Spitzengeschwindigkeit von 160 km/h vor. Von dieser Lok wurde von 1984 an zunächst nur die Güterzugvariante als Baureihe 243 in Dienst gestellt. Bis heute sind mehr als 650 Exemplare ausgeliefert worden.<sup>53</sup> Rund 150 davon werden inzwischen auch bei der Deutschen Bundesbahn eingesetzt.

Nach der politischen Wende wurden ab 1990 die Entwicklung der Baureihe 212 wiederaufgenommen und 1991 mehrere Vorieserienloks in Dienst gestellt. Inzwischen sind bereits zahlreiche dieser Lokomotiven bei der Deutschen Reichsbahn im Einsatz. Außerdem haben die deutschen Bahnen 1992 insgesamt 90 Lokomotiven dieser Baureihe gemeinsam bestellt. Sie werden in der Lokomotivfabrik Hennigsdorf gebaut, die seit Beginn des Jahres 1992 wieder zur AEG gehört.

### Ausbau des elektrischen Streckennetzes der Deutschen Bundesbahn

Anders als in der SBZ fiel das elektrifizierte Eisenbahnnetz in den drei westlichen Besatzungszonen Deutschlands nicht der Demontage zum Opfer. Schon kurze Zeit nach Gründung der Deutschen Bundesbahn am 7. September 1949 konnte in der Nähe von Stuttgart die erste nach dem Krieg neu elektrifizierte Strecke in Betrieb genommen werden. In den fünfziger Jahren folgte ein großangelegtes Elektrifizierungsprogramm, mit dem die Deutsche Bundesbahn auf die zunehmende Konkurrenz durch den Straßenverkehr reagierte. In etwa 30 Jahren sollten rund 6 000 km Strecke elektrifiziert werden. Schwerpunkt war zunächst eine durchgehende Verbindung zwischen dem Ruhrgebiet und dem bereits elektrisch betriebenen süddeutschen Netz. Das Programm wurde – auch mit tatkräftiger Hilfe der Länder – rasch verwirklicht. 1970 waren bereits 8 000 km elektrifiziert, 2 000 mehr als ursprünglich vorgesehen. Ende 1985 betrieb die Bundesbahn ein elektrifiziertes Streckennetz von 11 396 km Länge (Abb. 79). Längst hat die elektrische Traktion alle anderen Traktionsarten bei der Eisenbahn überflügelt.

### Lokomotivbau in der Bundesrepublik Deutschland<sup>54</sup>

Auf den elektrischen Bahnstrecken Westdeutschlands waren 1945 von den einst 794 elektrischen Lokomotiven nur 231 in betriebsfähigem Zustand verblieben. Der Bedarf an neuen elektrischen Lokomotiven war so groß, daß die Deutsche Bundesbahn bei der Lokomotivindustrie in den fünfziger Jahren nochmals Elektrolokomotiven der Vorkriegsbaureihen in Auftrag gab, vor allem Maschinen der Baureihen E 44 und E 94, deren Auslieferung 1956 jedoch endgültig abgeschlossen wurde. Parallel dazu wurde seit 1948 an der Entwicklung einer Neubaulokomotive gearbeitet.<sup>55</sup> Zu diesem Zweck gab die Deutsche Bundesbahn insgesamt vier (später fünf) Prototypen einer Universallokomotive in Auftrag. Sie erhielten die Baureihenbezeichnung E 10 und waren mit verschiedenen Antrieben und Steuerungen versehen (Abb. 74). Noch während diese Lokomotiven erprobt wurden, ging die Bundesbahn von ihrer Absicht zum Bau einer Universallokomotive ab und bestellte stattdessen ein Typenpro-



gramm. Es reichte von der 150 km/h schnellen Lokomotive der Baureihe E 10 bis zur schweren sechsachsigen Güterzuglok der Baureihe E 50 (Abb. 69). Bis 1973 umfaßte das gesamte Programm die Beschaffung von insgesamt 1 934 Lokomotiven. Sie bestimmen noch heute das Erscheinungsbild des Fahrbetriebes der Deutschen Bundesbahn. Die Fahrzeuge dieses Typenprogramms wurden von allen namhaften Lokomotivherstellern gemeinsam entwickelt und gebaut. Ihre Bauteile sind standardisiert. Hierdurch konnte ein Höchstmaß an Rationalisierung in der Fertigung und Wartung der Fahrzeuge erreicht werden.

Neben diesem Typenprogramm gab die Deutsche Bundesbahn für den grenzüberschreitenden Verkehr mit Frankreich 1957 erstmals eine Zweifrequenzlokomotive in Auftrag, deren erste 1959 ausgeliefert wurde. Nach diesen Zweifrequenzlokomotiven der Baureihe E 320 folgte die Viersystemlokomotive der Baureihe E 410, von der 1966 fünf Lokomotiven in Dienst gestellt wurden (Abb. 69). Sie war für den grenzüberschreitenden Bahnverkehr mit Frankreich und Luxemburg (25 kV 50 Hz Wechselstrom), mit den Niederlanden (1 500 V Gleichstrom) und Belgien (3 000 V Gleichstrom) vorgesehen. Die „Europa-lok“ wurde später zu Zweifrequenzlokomotiven zurückgebaut, von denen drei noch heute in Saarbrücken stationiert sind. Die Geschichte der Mehrfrequenzlokomotiven war damit aber noch längst nicht zu Ende: 1972 bestellte die DB nochmals 25 Zweifrequenzlokomotiven der Baureihe 181.2 (3 200 kW, 160 km/h).

Bereits im Jahre 1952 hatte die DB ihre Pläne für eine Schnellfahrlokomotive wiederaufgenommen. Es sollte jedoch noch bis 1965 dauern, ehe mit der Baureihe E 03 die erste Nachkriegslokomotive für Geschwindigkeiten bis zu 200 km/h vorgestellt wurde. Die Auslieferung der ersten Bauserie – sie trug bereits die computergerechte Baureihenbezeichnung 103 – folgte 1970. Die 7 440 kW starken Lokomotiven werden noch heute fast ausschließlich im Intercity- und Interregio-Verkehr eingesetzt, wo sie mit 40 000–50 000 km im Monat die höchsten Laufleistungen aller elektrischen Lokomotiven erreichen. Neben der Baureihe E 03 (bzw. 103) bestellte die Bundesbahn wegen der Erhöhung der Geschwindigkeiten für Güterzüge 1972 die neue Baureihe 151 (6 300 kW, 120 km/h) und 1974 als Nachfolgerin für die Baureihe E 10 die Baureihe 111, von der 277 Stück ausgeliefert wurden.

## Anmerkungen

- 1 Wolfgang Harprecht, Gunter Pedall, Hans-Joachim Krauß und Dirk Behrends, Der elektrische Zugbetrieb bei den Deutschen Eisenbahnen Deutsche Bundesbahn und Deutsche Reichsbahn im Jahre 1990, in: Elektrische Bahnen 89, 1991, Heft 1, S. 4 u. 6.
- 2 Hans-Joachim Krauß, Der elektrische Betrieb und die Entwicklung des elektrotechnischen Dienstes der Deutschen Reichsbahn von 1945 bis zum Jahre 1989, in: Elektrische Bahnen 89, 1991, Heft 1, S. 22–25, hier: S. 25.
- 3 Sigfrid von Weiher und Herbert Goetzler, Die erste elektrische Bahn Berlin 1879, in: 100 Jahre elektrische Eisenbahn 1879–1979, München 1979, S. 14–19; siehe auch Dieter Bäßold und Günther Fiebig, Elektrische Lokomotiven deutscher Eisenbahnen, 2. bearb. und erg. Aufl., Düsseldorf 1986 (= Lizenzausgabe des transpress VEB Verlag für Verkehrswesen, Berlin), S. 14 f.
- 4 Anton Joachimsthaler, Elektrische Lokomotiven, in: Deutsche Eisenbahnfahrzeuge von 1838 bis heute, hrsg. von Ralf Roman Rossberg, Düsseldorf 1988, S. 146–205, hier: S. 150 f.
- 5 Manfred Benzenberg, Historische, ökonomische und ökologische Aspekte der elektrischen Zugförderung, in: 100 Jahre elektrische Eisenbahn 1879–1979, München 1979, S. 9–14, hier: S. 9.

## Durchbruch für die Drehstromtechnik

Nicht zu Unrecht war man schon zu einem frühen Zeitpunkt zu der Überzeugung gelangt, daß sich Drehstrommotoren hervorragend zum Antrieb von Bahnfahrzeugen eignen. Entsprechend waren Versuche unternommen worden, derartige Projekte zu verwirklichen – so zum Beispiel durch die „Studiengesellschaft für elektrische Schnellbahnen“ (StES) zur Jahrhundertwende. Jedoch erst seit den sechziger Jahren ist es möglich, Drehstrommotoren auch in Bahnfahrzeuge einzubauen. Hierzu hat die rasche Entwicklung der Leistungselektronik beigetragen, die bald die Herstellung von Halbleiterelementen möglich machte, um große Ströme umrichten und schalten zu können. Es folgten Wechselrichter, die eine beliebige und kontinuierliche Veränderung von Frequenz und Spannung erlauben. Bald darauf war man auch in der Lage, Wechselrichter zur Erzeugung von Drehstrom zu bauen.<sup>56</sup>

Im Jahre 1971 bauten die Firmen Henschel und Brown Boveri & Cie. (BBC) eine dieselektrische Lokomotive mit Drehstrommotoren (Baureihe DE 2500). 1976 wurde von der AEG erstmals ein Doppeltriebwagen der Berliner U-Bahn mit Drehstromantrieb ausgerüstet. Im Jahre 1977 bestellte die Deutsche Bundesbahn fünf Prototypen einer neuen Lokomotivgeneration. Die vierachsigen Lokomotiven der Baureihe 120 waren für eine Leistung von 5 600 kW und eine Höchstgeschwindigkeit von 160 km/h (später 200 km/h) ausgelegt. Inzwischen ist die erste Serie der Baureihe 120 ausgeliefert worden. Im täglichen Fahrbetrieb hat sie sich inzwischen bestens bewährt. Auf der Grundlage dieser Lokomotivkonstruktion wurden anschließend die Triebköpfe des Hochgeschwindigkeitszuges ICE entwickelt, die ebenfalls von Drehstrommotoren angetrieben werden.

Die elektrische Traktion hat im Eisenbahnverkehr Deutschlands eine dominierende Stellung erreicht. Auch wenn die Bahn mit erheblichen Problemen zu kämpfen hat und ihr Netz auch künftig weiter schrumpfen wird, so betrifft dies – in Ost- wie in Westdeutschland – nicht die leistungsfähigsten Hauptstrecken, die in der Regel elektrifiziert sind. Ohne Elektrifizierung wäre auch der Aufbau eines Hochgeschwindigkeitsnetzes in Deutschland kaum möglich gewesen. Künftig wird die Eisenbahn, das heißt die elektrische Eisenbahn, wieder an Bedeutung gewinnen – weil sie schnell, wirtschaftlich und umweltfreundlich ist.

- 6 Bäßold-Fiebig (Anm. 3), S. 16.
- 7 Mathias Bethge, Heiner Matthes, Dieter Röber und Lutz Werner, Die elektrische Straßenbahn von 1880 bis 1945, in: Die Straßenbahnen in der DDR. Geschichte, Technik und Betrieb, Stuttgart 1978 (= Lizenzausgabe des transpress VEB Verlag für Verkehrswesen, Berlin 1978), S. 17–49, hier: S. 18 f.
- 8 Bodo-Lutz Schmidt, 100 Jahre elektrisch durch Halle, Halle/S. 1991; vgl. auch Bäßold-Fiebig (Anm. 3), S. 18.
- 9 Joachim Radkau, Technik in Deutschland. Vom 18. Jahrhundert bis zur Gegenwart, Frankfurt am Main 1989, S. 145; vgl. ferner den Beitrag von Rainer Slotta.
- 10 Benzenberg (Anm. 5), S. 9. Zur allgemeinen Entwicklung s. Andreas Bauer, Entwicklung der elektrischen Vollbahnlokomotiven für Einphasen-Wechselstrom 16 2/3 und 50 Hz, in: AEG-Mitteilungen, 45, 1955, H. 9/10, S. 405–415.
- 11 Dies war auch ein entscheidender Grund dafür, daß bei der Entwicklung der Bahntechnik die Dampftraktion bevorzugt vorangeht: Benzenberg (Anm. 5).
- 12 Bäßold-Fiebig (Anm. 3), S. 21.
- 13 Ebd., S. 22.



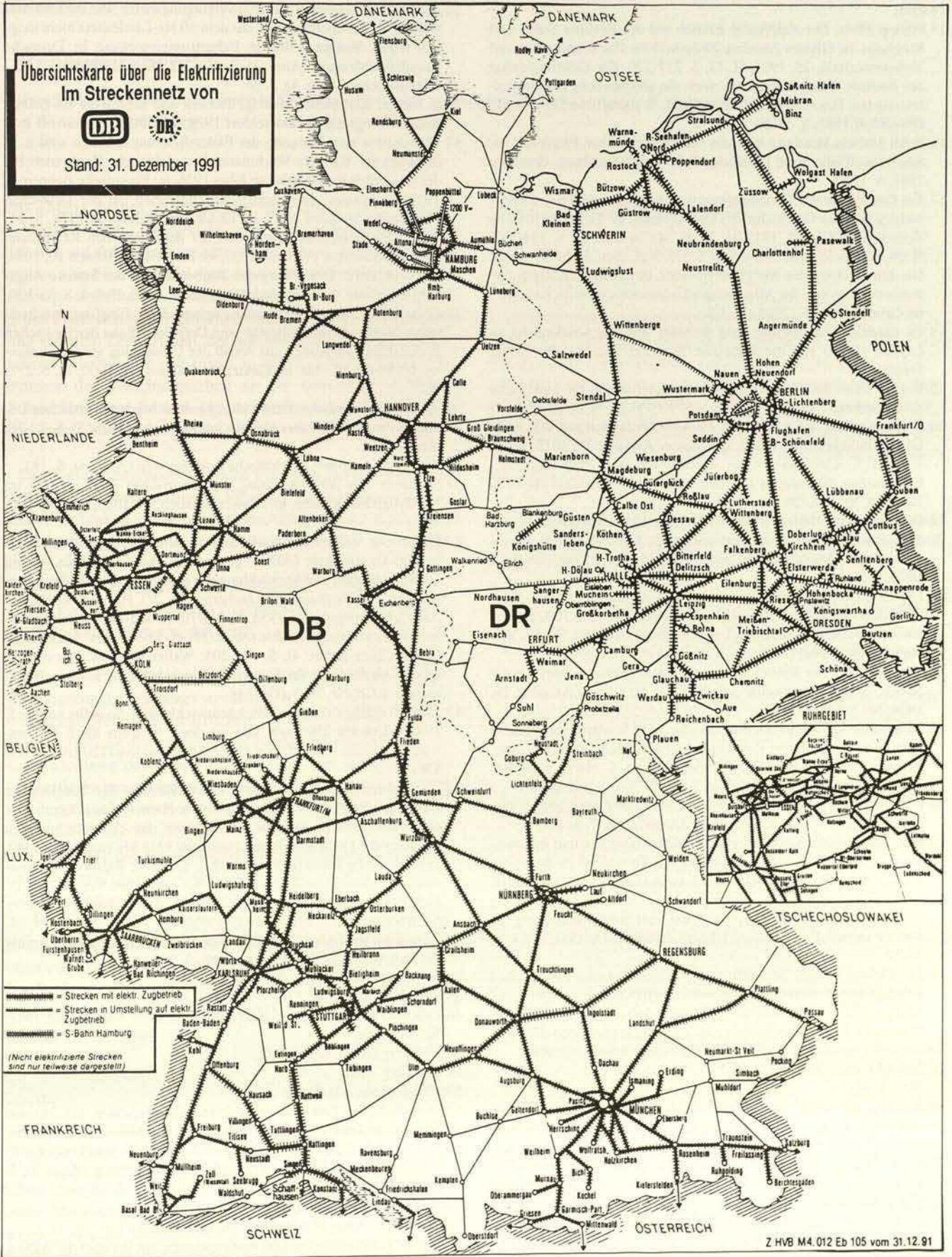


Abb. 79. Das elektrifizierte Eisenbahnnetz von Deutscher Bundesbahn und Deutscher Reichsbahn (Stand: Dezember 1991; nach W. Harprecht, G. Pedall, H.J. Krauß und D. Behrends).



- 14 Ebd.
- 15 Philipp Pforr, Der elektrische Betrieb auf der Berliner Stadt- und Ringbahn, in: Glasers Annalen, Zeitschrift für Eisenbahnwesen und Verkehrstechnik, 25, 1901, H. 11, S. 217-220. Zur Elektrifizierung des Berliner S-Bahnnetzes vgl. auch die anschauliche Zusammenfassung bei: Peter Bley, Berliner S-Bahn, 3. überarb. und erw. Aufl., Düsseldorf 1985, S. 11-20.
- 16 Erich Staisch, Hamburg und sein Stadtverkehr. Vom Pferdebus zur Stadtschnellbahn. Eine 150jährige Fahrt durch Hamburg, Hamburg 1989, S. 112 f.
- 17 Zur Geschichte des Drehstrommotors: Michael von Dolivo-Dobrowolsky, Aus der Geschichte des Drehstromes, in: Elektrotechnische Zeitschrift (ETZ), 38, 1917, H. 26, S. 341-344; H. 27, S. 354-357; H. 28, S. 366-369 und H. 29, S. 376-377. Vgl. auch: Hubert Rothert, Die Entwicklung des Käfigläufermotors, in: 75 Jahre Käfigläufermotoren, hrsg. von der Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft, Berlin-Grunewald o. J. (1964), S. 3-8.
- 18 Es handelte sich hierbei zum Beispiel um die Straßenbahn in Lugano (1895) und die Bahnlinie Burgdorf-Thun (1899) in der Schweiz.
- 19 Bericht über die Gründung: „Studiengesellschaft für elektrische Schnellbahnen“, in AEG-Zeitung, 1899/1900, Nr. V, S. 10-12.
- 20 P. Denninghoff, Rückblick auf die Versuchsfahrten mit 200 km/h Geschwindigkeit 1901-1903, in: Glasers Annalen 59, 1935, Nr. 8, S. 112-115, Christian Tietze, Geschwindigkeits-Weltrekord mit Elektrischen Triebwagen im Jahre 1903, in: Eisenbahn-Magazin, 12, 1974, Nr. 3, S. 20.
- 21 Der Betrieb mit dieser Stromart wurde bis 1930 aufrechterhalten.
- 22 S. hierzu auch: Wolfgang Messerschmidt, Ellok-Raritäten. Kuriositäten und Besonderheiten elektrischer Lokomotiven, Stuttgart 1976, S. 14-18.
- 23 Der Einphasenkommutatormotor wurde von den Ingenieuren Günther Winter und Friedrich Eichberg konstruiert und kam 1902 zur Erprobung. Siehe hierzu: Anton Joachimsthaler (Anm. 4), S. 157. Vgl. auch Bäzold-Fiebig (Anm. 3), S. 29.
- 24 H. v. Gliński, Der Betrieb mit einphasigem Wechselstrom auf der Strecke Niederschöneweide-Spindlersfeld, in: Glasers Annalen, 28, 1904, Nr. 3, S. 41-47.
- 25 Es handelte sich dabei um eine von der AEG konstruierte Probelokomotive, die später bei der Hamburger Hafenbahn unter der Bau-reihenbezeichnung E 73 03 zum Einsatz kam. S. hierzu auch: Bäzold-Fiebig (Anm. 3), S. 206 f.
- 26 E. E. Seefehlner, Die Mittenwaldbahn, in: AEG-Zeitung, Nr. 6, Dezember 1912, S. 7-11; AEG-Zeitung 15, 1913, Nr. 7, S. 1-5.
- 27 Eine ausführliche Beschreibung der Elektrifizierung und des elektrischen Betriebs zwischen Bitterfeld und Dessau ist zu finden in: Werner Usebeck, Dessau-Bitterfeld, in: AEG-Zeitung, XIII, 1911, Nr. 11, S. 1. Vgl. auch: K. Wiesinger, Die elektrische Zugförderung auf den Haupteisenbahnen unter besonderer Berücksichtigung der Strecke Dessau-Bitterfeld, in: Glasers Annalen, 35, 1911, Nr. 4, S. 72-79.
- 28 Zur Elektrifizierung des schlesischen Eisenbahnnetzes s. Manfred Schmidt, Vor 50 Jahren Aufnahme des elektrischen Zugbetriebes auf der Strecke Nieder Salzbrunn – Halbstadt der schlesischen Gebirgsbahnen, in: Elektrische Bahnen, 36, 1965, Heft 11, S. 266-270.
- 29 Das Abkommen war bereits Ende 1921 ausgearbeitet worden.
- 30 Bäzold-Fiebig (Anm. 3), S. 29 f.
- 31 Ebd., S. 36.
- 32 S. hierzu auch: Hans Georg Schambach, Kurt Fork, Manfred Keste und Heinrich Duffert, Entwicklungsgeschichte der Bahnstromsysteme und Stromversorgungsanlagen, in: 100 Jahre elektrische Eisenbahn (Anm. 3), S. 192-227; Max Süberkrüb, Die allgemeinen Entwicklungsrichtungen für Fahrleitungen und ihre Ergebnisse, in: AEG-Mitteilungen, 45, 1955, H. 9/10, S. 386-398; Dieter Schmitt-Manderbach, Entwicklungsgeschichte der Fahrleitungen für Vollbahnen, in: 100 Jahre elektrische Eisenbahn (Anm. 3), S. 145-157; Ulrich Kroll, Beitrag zur Geschichte der Fahrleitungen für Einphasenwechselstrom in Europa, in: Elektrische Bahnen, 31, 1960, H. 6, S. 121-132.
- 33 S. hierzu auch: H. Naderer, Die Fahrleitungen für den elektrischen Fernzugbetrieb der Deutschen Reichsbahn, in: Glasers Annalen, Jubiläumshft, 1.7.1927, S. 198-207.
- 34 Der Aufbau eigener Bahnstromversorgungsnetze war deshalb notwendig, da Stromentnahmen aus dem 50 Hz-Landesnetz nicht möglich waren: Wolfgang Bethge, Bahnstromversorgung, in: Deutsche Eisenbahnfahrzeuge (Anm. 4), S. 239-272, hier: S. 242.
- 35 Bäzold-Fiebig (Anm. 3), S. 36.
- 36 S. hierzu: Karl Heinz Ludwig, Technik und Ingenieure im Dritten Reich, Königstein/Ts.-Düsseldorf 1979, S. 330-335.
- 37 Übersichten zum Fortgang der Elektrifizierungsarbeiten sind u. a. enthalten in: Wilhelm Wechmann, Der elektrische Zugbetrieb bei der Deutschen Reichsbahn im Jahre 1926, in: Elektrische Bahnen, 3, 1927, S. 1; ders., Der elektrische Zugbetrieb bei der Deutschen Reichsbahn im Jahre 1927, in: Elektrische Bahnen 4, 1928, S. 81; ders., Der elektrische Zugbetrieb bei der Deutschen Reichsbahn während der Jahre 1932 und 1933, in: Elektrische Bahnen 10, 1934, S. 10-14; ders., Der elektrische Zugbetrieb auf der Strecke Augsburg-Nürnberg, in: Elektrische Bahnen 11, 1935, Heft 4, S. 83-120.
- 38 Ernst Kilb, 25 Jahre elektrischer Zugbetrieb mit Einphasenwechselstrom 50 Hz auf der Höllental- und Drei-Seen-Bahn der Deutschen Bundesbahn. Rückblick aus Anlaß der Umstellung auf Einphasenwechselstrom 16⅔ Hz, in: Elektrische Bahnen, 31, 1960, 12, S. 257-268.
- 39 Anton Joachimsthaler, Entwicklungsgeschichte der elektrischen Lokomotiven, in: 100 Jahre elektrische Eisenbahn (Anm. 3), S. 22-76, hier S. 56.
- 40 Ebd.; vgl. auch ders., Elektrische Lokomotiven (Anm. 4), S. 181.
- 41 S. hierzu: Die Verwirklichung der elektrischen Zugförderung im Nordosten Frankreichs, in: Glasers Annalen, 79, 1955, Nr. 4, S. 106-108.
- 42 Elektrische Vollbahnlokomotiven, hrsg. von der Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft (AEG), bearb. von Hans Grünholz, Berlin 1930; A. Brauer, Die Entwicklung der elektrischen Vollbahn-Lokomotiven für Einphasen-Wechselstrom 16 2/3 Hz und 50 Hz, in: AEG-Mitteilungen, 45, 1955, Heft 9/10, S. 405-415; Joachimsthaler, Entwicklungsgeschichte (Anm. 39), S. 22-76; ders., Elektrische Lokomotiven (Anm. 4), S. 146-205; Walter Kleinow, Die elektrischen Lokomotiven der Deutschen Reichsbahn, in: Glasers Annalen, 62, 1938, Nr. 23, S. 336-338.
- 43 Ähnlich erging es anderen Weiterentwicklungen: So sollte aus der E 19 eine Lok für 250 km/h, und aus der E 94 sollte die E 100 entwickelt werden, eine schwere Güterzuglokomotive (120 km/h, 8 000 kW).
- 44 Übersichten über die (Wieder-) Elektrifizierung der Strecken der Deutschen Reichsbahn sind zu finden in: Hans-Joachim Krauß, Der elektrische Betrieb und die Entwicklung des elektrotechnischen Dienstes der Deutschen Reichsbahn von 1945 bis zum Jahre 1989, in: Elektrische Bahnen 89, 1991, H. 1, S. 22-35; Ralf Roman Rossberg, Der elektrische Zugbetrieb bei der Deutschen Reichsbahn, in: Elektrische Bahnen, 78, 1980, S. 301-308; Bäzold-Fiebig (Anm. 3), S. 267-275.
- 45 Bäzold-Fiebig (Anm. 3), S. 267 unter Bezugnahme auf das Archiv der Reichsbahndirektion Dresden, Nr. S. 285.
- 46 Rossberg (Anm. 44), S. 302.
- 47 Krauß (Anm. 44), S. 23.
- 48 Elektrischer Zugbetrieb in der DDR, in: Glasers Annalen, 82, 1958, Nr. 7, S. 250.
- 49 Rossberg (Anm. 44), S. 302.
- 50 Rossberg, ebd.
- 51 Krauß (Anm. 44), S. 23.
- 52 Die jährlichen Elektrifizierungsleistungen erreichten mit 381 km Strecke im Jahre 1988 ihren Höhepunkt, vgl. hierzu: Krauß (Anm. 44), S. 23 f. Eine detaillierte Übersicht über die Streckenelektrifizierungen in der DDR ist enthalten in: Bäzold-Fiebig (Anm. 3), S. 271-273.
- 53 Krauß (Anm. 44), S. 32 f.
- 54 A. Brauer (Anm. 42); Joachimsthaler (Anm. 39).
- 55 Zum Wiederaufbau der Lokomotivindustrie am Beispiel der AEG s. Wilhelm Ohl, Wiederaufbau der Bahnabteilung, in: AEG Mitteilungen 41, 1951, H. 1/2, S. 15 ff.: s. auch Joachimsthaler (Anm. 4), S. 183 f.
- 56 Josef Badstieber, Jens Röhlk und Rolf Gammert, Entwicklungsgeschichte der Drehstromtechnik im Bahnbetrieb, in: 100 Jahre elektrische Eisenbahn (Anm. 3), S. 160-189.