

HOCHSCHULE FÜR VERKEHRSWISSENSCHAFTEN
„FRIEDRICH-SCHLEGEL“ - DRESDEN
BIBLIOTHEK

Elektrische Schnellzuglokomotive mit Einzelachs Antrieb¹⁾.

Von W. KLEINOW, Hennigsdorf.

In einem Vortrage, den ich am 25. September 1923 im Elektrotechnischen Verein über „Die elektrischen Lokomotiven unter besonderer Berücksichtigung der Lokomotiven der Deutschen Reichsbahn“²⁾ hielt, habe ich die verschiedenen Bauformen elektrischer Lokomotiven auf ihre Vor- und Nachteile eingehend untersucht und bezüglich Baulänge, Gewicht und Preis für die Leistungseinheit miteinander verglichen. In einem zusammenfassenden Zukunftsausblick habe ich betont, daß die in Deutschland ständig wachsenden Achsdrücke dem Einzelachs Antrieb besonders günstige Aussichten bieten und daß daher diesem Antrieb die größte Aufmerksamkeit zuzuwenden sei.

Inzwischen hat die Deutsche Reichsbahn für wichtige Strecken den Achsdruck von 20 t eingeführt. Es entstand daher die Aufgabe, leistungsfähige Schnellzug- und Personenzuglokomotiven mit drei oder vier angetriebenen Achsen für Höchstgeschwindigkeiten von 110 und 90 km/h zu entwerfen, welche das Reibungsgewicht von 20 t je Achse voll ausnutzen.

Da bei langsamer Fahrt unter Anwendung des Sandstreuers größte Zugkräfte von 300 kg/t Reibungsgewicht ausgeübt werden können, so ergibt sich eine größte Zugkraft von $20 \times 300 = 6000$ kg für jede Achse.

Neuzeitliche Bahnmotoren für Einfachwechselstrom können beim Anfahren etwa das Doppelte des Dauerdrehmoments bei noch befriedigender Kommutierung

ausüben. Die Dauerzugkraft muß daher zweckmäßig zu 3000 kg je Achse bemessen werden.

Wie ich des öfteren ausgeführt habe, soll eine elektrische Lokomotive mit Rücksicht auf die Leistungsfähigkeit einer Dampflokomotive, die für gleiches Reibungsgewicht nach den Grundsätzen der Deutschen Reichsbahn bemessen ist, ihre Dauerzugkraft im unteren Geschwindigkeitsbereich unverändert bis 60 % ihrer Höchstgeschwindigkeit ausüben können.

Für die Personenzuglokomotive mit 90 km/h Höchstgeschwindigkeit, die für schwierige Strecken mit langen Steigungen gedacht ist, muß also bei 54 km/h Fahrgeschwindigkeit noch 3000 kg Dauerzugkraft vorhanden sein, was einer Dauerleistung von 600 PS je Achse entspricht.

Eine entsprechende Vergrößerung der Leistung für die Schnellzuglokomotive erschien nicht notwendig und auch nicht zweckmäßig, weil eine solche Lokomotive hauptsächlich im Flachlande verkehrt und, abgesehen vom Anfahren, von ihren großen Zugkräften nicht ausreichend Gebrauch machen kann. Für das kurzzeitige und nicht zu häufige Anfahren kann aber die Zugkraft vorübergehend etwas über das Doppelte der Dauerzugkraft gesteigert werden.

Hiernach sind also für die Schnellzug und Personenzuglokomotiven bei drei angetriebenen Achsen 1800, bei vier angetriebenen Achsen 2400 Dauer-PS einzubauen.

Bei der Kritik verschiedener Einzelachsantriebe mit gefedert gelagerten Motoren, wie sie für schnell-fahrende Lokomotiven zweckmäßig sind, habe ich

¹⁾ Vgl. auch: Tetzlaff, „Neue elektr. Schnellzuglokomotive mit Einzelachs Antrieb für die Deutsche Reichsbahn“, Elektrische Bahnen, 15. Oktober 1926, Heft 10.

²⁾ In ETZ 1924, Heft 22 und 23, abgekürzt abgedruckt.

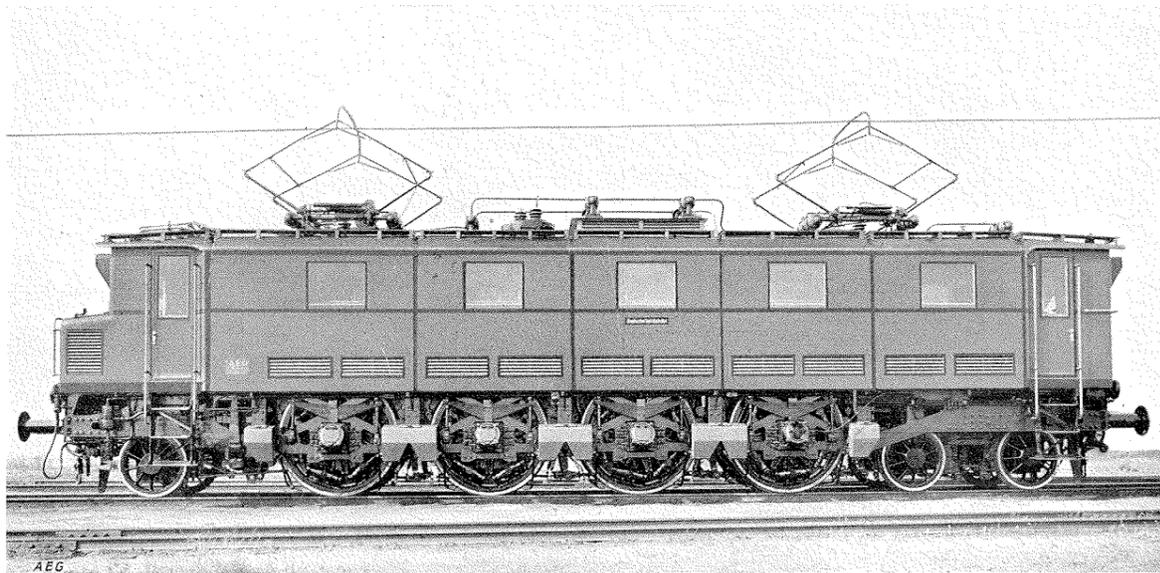


Abb. 1. 2 Do 1-Schnellzuglokomotive der Deutschen Reichsbahn.

seinerzeit dem Hohlwellenantrieb mit Zwillingmotoren, der bereits vor langer Zeit in Amerika durch die Westinghouse-Gesellschaft ausgeführt worden ist, besondere Bedeutung zugemessen. In der Zwischenzeit sind weitere Konstruktionen bekannt geworden, so z. B. die Vertikal-Motoren mit Kegelantrieb und die Antriebe mit Zwischenrädern. Als die Deutsche Reichsbahn-Gesellschaft der Beschaffung von Probelokomotiven mit Einzelachsenantrieb für 20 t Achsdruck nähertrat, habe ich die Antriebsfrage nochmals und nach allen Richtungen untersucht. Diese Arbeiten wurden im Oktober 1924 von der AEG-Lokomotivfabrik abgeschlossen, und es wurde der Deutschen Reichsbahn eine Lokomotive mit vier angetriebenen Achsen mit Hohlwellenantrieb ohne Zwischenräder angeboten. Der Auftrag an die AEG erfolgte Ende November 1924, die technische Klärung der Einzelheiten Januar 1925. Nach einer Bauzeit von 20 Monaten konnte die in allen wesentlichen

Teilen neuartige Lokomotive, Abb. 1, abgeliefert werden.

Wegen der besonderen Eigenschaften und Vorzüge des gewählten Antriebes kann ich auf meinen Vortrag vom Jahre 1923 verweisen, um Wiederholungen zu vermeiden.

Für jede Achse ist ein Doppelmotor vorgesehen. Von dem zwischen den Rädern der Treibachse vorhandenen Platz von 1360 mm Breite wird ein Teil von dem Zahnradvorgelege mit Schutzkasten beansprucht. Für schnellfahrende Lokomotiven ist die ungegliederte Bauart mit einem durchgehenden Rahmen unbedingt der geteilten Bauart vorzuziehen. Bei sehr großem Gesamttrahstand muß für die mittleren Achsen Seitenverschiebung vorgesehen werden. Um das Maß dieser Seitenverschiebung wird die Motorbaulänge weiter eingeschränkt. Ferner ist darauf Bedacht zu nehmen, daß der Rahmen mit dem darin gelagerten Motor gegen die

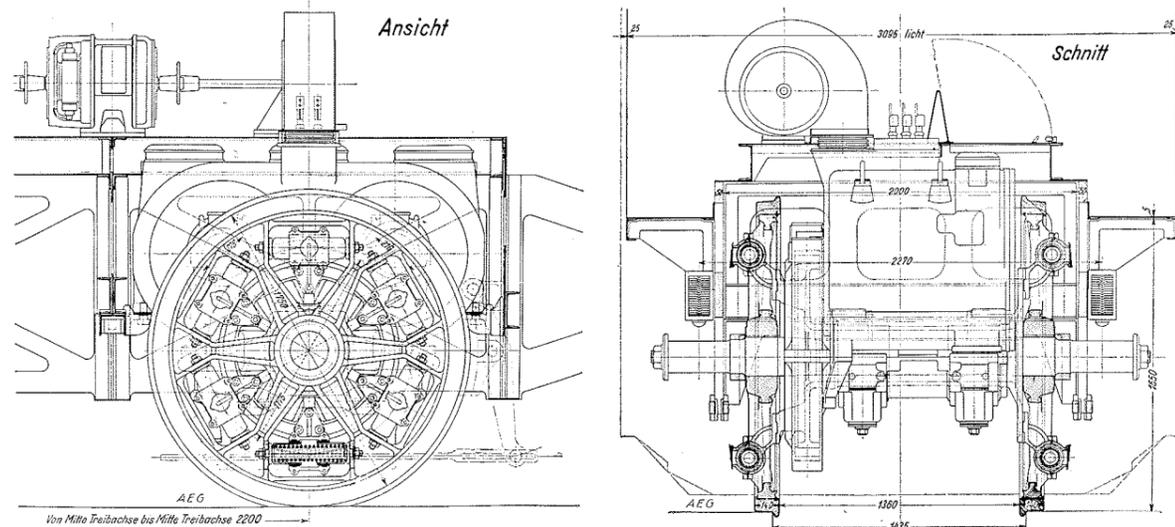


Abb. 2. Treibradsatz mit Motor, Zusammenstellung.

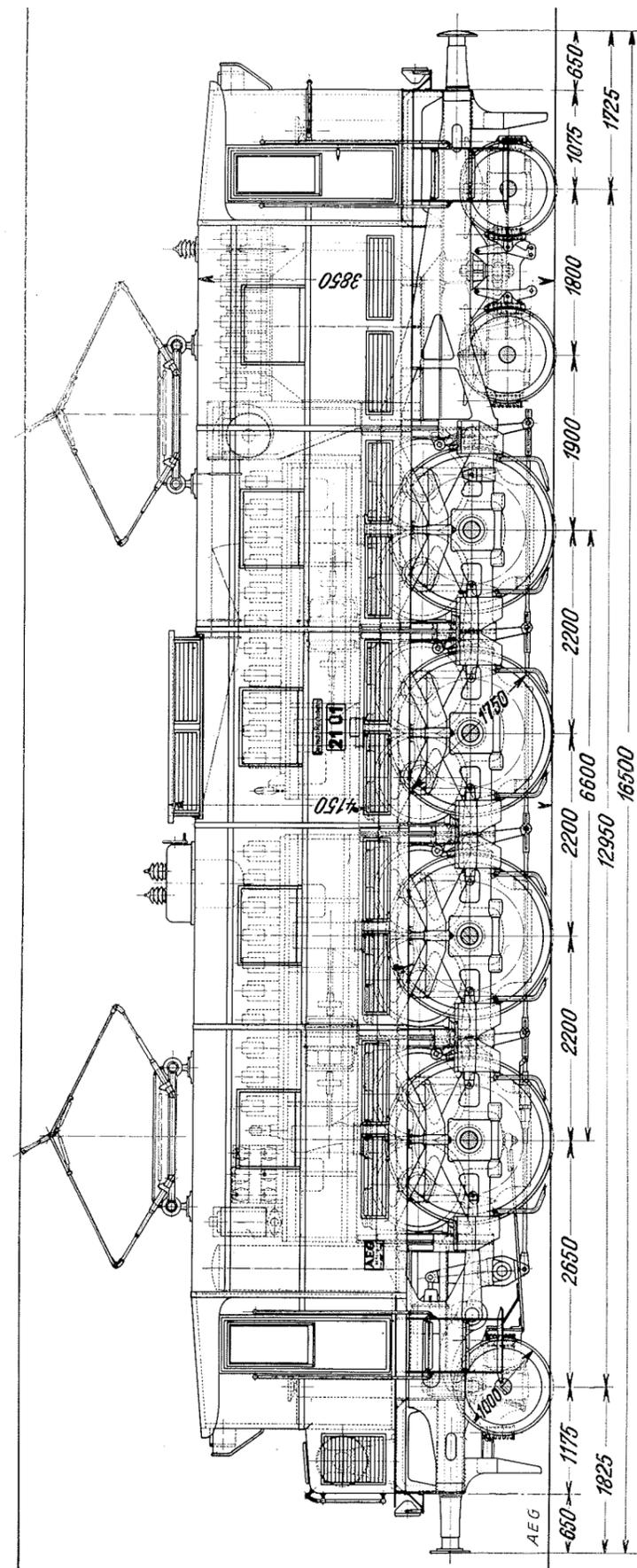


Abb. 3. 2 Do 1-Schnellzuglokomotive, Gesamtanordnung und Hauptabmessungen.

Achse schwankt. Durch diese Einschränkungen bleiben schließlich 1080 mm als Baulänge für den Motor übrig, und unter Ausnutzung dieser Breite ist dann ein Motor für die Dauerleistung von 600 PS, gemessen nach den verschärften Erwärmungsvorschriften der Deutschen Reichsbahn, bei 60 % der Höchstgeschwindigkeit entwickelt worden. Seine Abmessungen sind aus Abb. 2 zu ersehen.

Zwischen je zwei Treibachsen ist eine Rahmenquerversteifung vorgesehen, welche gleichzeitig zur Befestigung der Motoren dient. Der Radstand von Mitte zu Mitte Treibachse ergibt sich hierbei mit 2200 mm. Der Treibraddurchmesser ist durch dieses Maß auf 1900 mm nach oben beschränkt. Unterhalb dieser Grenze kann er so gewählt werden, wie es die Rücksicht auf Gewicht und Lagerung der Achse sowie auf Unterbringung der Federkupplung zweckmäßig erscheinen läßt. Im vorliegenden Falle ist ein Raddurchmesser von 1750 mm gewählt worden.

1. Allgemeines.

Die Gesamtanordnung und die Hauptabmessungen der Lokomotive sind aus Abb. 3 zu ersehen. Die Achsanordnung 2 Do 1 ergibt sich zwangsläufig dadurch, daß der Transformator samt Steuerung am vorderen Ende im Anschluß an die Fahrmotoren aufgestellt und zu seiner Unterstützung ein zweiachsiges Drehgestell erforderlich ist. Am hinteren Ende ist aus Gewichtsrücksichten eine Laufachse ausreichend.

Die Hauptabmessungen und Gewichte sind folgende:

Treibrad-Durchmesser . . .	1750 mm
Lauftrad-Durchmesser . . .	1000 „
Länge über Puffer . . .	16 500 „
Gesamttrahstand . . .	12 950 „
Größte Höhe im Dach-	
scheitel	3850 „
	über S. O.
Größte Breite	3100 „
Treibachsdruck	19 t
Reibungsgewicht	76 „
Laufachsdruck	15,3 „
Dienstgewicht mit Vor-	
räten	122 „ ³⁾

Der zulässige Treibachsdruck von 20 t ist also noch nicht erreicht worden.

³⁾ Die amtliche Wägung ergab ein Gewicht von nur 119,5 t.

2. Einstellung in Krümmungen.

Das zweiachsige Drehgestell üblicher Bauart hat einen Seitenausschlag von 2×100 mm, die hintere Lenkachse, die als Bisselachse ausgebildet ist, einen solchen von 2×95 mm. Die erste Treibachse hat 2×5 mm Seitenverschiebung, die zweite und dritte haben eine solche von 2×15 mm. Die vierte Treibachse ist als einzige Achse fest gelagert. Die Spurräder der zweiten und dritten Treibachse sind außerdem um 15 mm schwächer gedreht, damit auch in scharfen Krümmungen trotz des langen Radstandes kein Zwängen eintritt. Die Lokomotive ist in der Lage, Weichen 1:8 und Krümmungen von 180 mm Halbmesser zwanglos zu durchfahren.

3. Triebwerk.

Jeder Motor trägt auf seiner Ankerwelle, einseitig fliegend angeordnet, ein Ritzel aus Chromnickelstahl mit 23 Zähnen von 12π Teilung. Die Zähne sind gehärtet und geschliffen. Das große Zahnrad hat

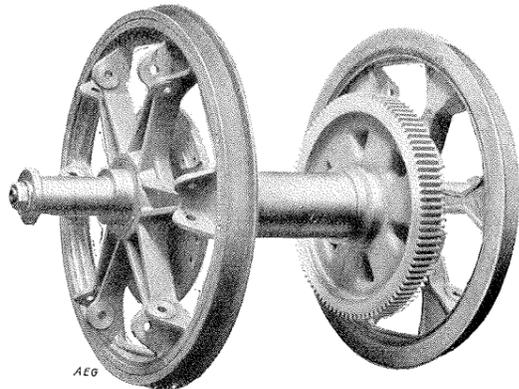


Abb. 4. Treibradsatz mit Hohlwelle, ohne Ausleger.

98 Zähne und besteht aus vergütetem S. M.-Stahl. Die Zähne sind gerade, stehen parallel zur Achse und haben eine Breite von 140 mm. Federung ist weder am Ritzel noch am großen Zahnrad vorhanden.

Die Übersetzung beträgt 1:4,26. Für Personenzuglokomotiven mit 90 km/h Höchstgeschwindigkeit kann die Übersetzung durch Verwendung anderer Räder mit 20/101 Zähnen bei gleicher Zentrale auf 1:5,05 vergrößert werden, ohne daß am Zahnrad- und Schutzkasten, an der Hohlwelle oder am Treibradsatz irgend etwas geändert zu werden braucht.

Die Zahnräder haben bei der höchsten Fahrgeschwindigkeit eine Umfangsgeschwindigkeit von 21 m/s und laufen in Öl. Der Zahnrad- und Schutzkasten ist aus Leichtmetall hergestellt. Bei seiner Herstellung ist größte Sorgfalt auf öldichten Abschluß gelegt. Es ist Vorsorge getroffen, daß beide Ritzel während des Laufs vom Öl gespült werden.

Die Hohlwelle umfaßt in bekannter Weise die Kernachse des Treibradsatzes mit 42,5 mm allseitigem Spiel. Sie ist im Motorgehäuse unverschiebbar in Gleitlagern gelagert und endet auf der einen Seite im Zahnradkörper, auf der anderen Seite in einem Kupp-

lungsflansch. An beiden Teilen sind je sechs Ausleger für die Aufnahme der Federn angeschraubt, welche das Drehmoment von der Hohlwelle unmittelbar auf die Räder übertragen.

Nach den Erfahrungen in Amerika und neuerdings bei den Schweizerischen Bundesbahnen war zu befürchten, daß bei der üblichen Anordnung der Federn⁴⁾ nach längerem Betrieb Federbrüche eintreten. Die Beanspruchung der Federn ist sehr ungünstig. Außer den normalen Beanspruchungen durch Kräfte in Richtung der Wickelachse werden die Federn Biegebungsbeanspruchungen durch die Rahmenschwingungen sowie durch Fliehkräfte unterworfen. Hierzu treten im vorliegenden Falle noch weitere Biegebungsbeanspruchungen infolge der erheblichen Seitenverschiebbarkeit der Mittelachsen.

Es wurden schließlich zwei verschiedene Lösungen probeweise ausgeführt, von denen zunächst die eine in Betrieb genommen wurde. Bei dieser nimmt jeder

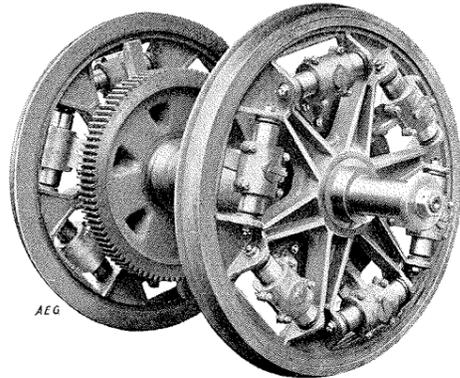


Abb. 5. Treibradsatz mit Hohlwelle und Auslegern.

Ausleger in einem zweiteiligen Gehäuse zwei Federköpfe auf, in denen die Arbeitsfeder eingebettet liegt. Die Köpfe können nach innen gegeneinander bewegt werden; ihre Bewegung nach außen wird durch Flansche verhindert. Die Köpfe finden ihr Widerlager an gehärteten, an den Radspeichen angebrachten austauschbaren Druckstücken. Die Köpfe sind ebenfalls an ihrer Oberfläche gehärtet und gleiten in gehärteten Ringen, die in das zweiteilige Gehäuse eingelagert sind. Abb. 2 zeigt die Anordnung in Ansicht und Schnitt, Abb. 4 den Radsatz mit Hohlwelle, ohne Ausleger, Abb. 5 mit Auslegern und eingebauten Federapparaten, Abb. 6 die Einzelteile⁵⁾. Ein- und

⁴⁾ Vgl. Sachs, „Die Elektrisierung der Gotthardstrecke Luzern-Chiasso der Schweizerischen Bundesbahnen, ETZ 1922, Heft 5 vom 2. Februar, Abb. 61 und 62.
⁵⁾ D. R. P. angemeldet.

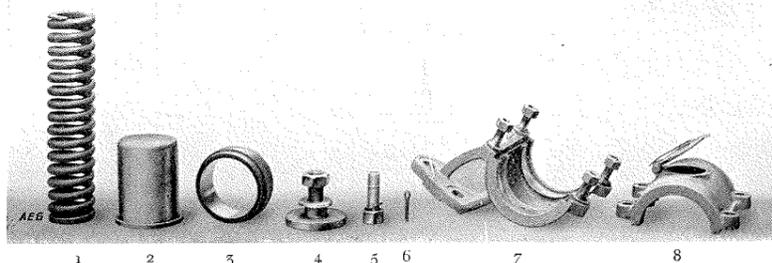


Abb. 6. Einzelteile zum Einzelachsenantrieb.

Ausbau der Federn geschieht mit geringer Vorspannung mit Hilfe einer besonderen Vorrichtung in wenigen Minuten.

Bei der geschilderten Einrichtung ist also auf fest eingespannte Federn verzichtet. Dafür sind Gleitbewegungen unter Druck an schlecht geschmierten Flächen in Kauf genommen. Durch sorgfältige Härtung aller gleitenden Teile, durch einfachste Gestaltung und leichte Austauschbarkeit ist lange Lebensdauer bei geringen Unterhaltungs- und Erneuerungskosten angestrebt. Nach stärkerem Verschleiß sollen die abgenutzten Teile 2, 3 und 4 in Abb. 6 erneuert werden.

Abb. 7 zeigt den fertigen Radsatz mit aufgebautem Motor.

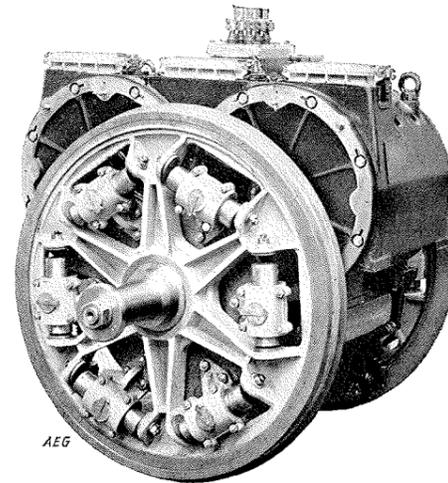


Abb. 7. Treibradsatz mit Motor, einbaufertig.

Die zweite Bauform, die bisher aber noch nicht im Betriebe erprobt ist, verwendet, wie üblich, beiderseitig eingespannte Federn ohne Vorspannung, die normal auf Zug und Druck beansprucht werden. Abb. 8 zeigt einen solchen Radsatz. Um die Biegebungsbeanspruchungen möglichst niedrig zu halten, sind besonders lange Federn verwandt, die auf Grund sorgfältiger Berechnung bemessen und aus bestem Baustoff hergestellt sind. Im übrigen entspricht die Befestigung der Federn durch Einschrauben in Muttergewinde und die Einspannung durch von innen eingeschraubte aufgespaltene Gewindebuchsen der üblichen Ausführung von Westinghouse.

Die Treibachslager sind in geschlossenen Gehäusen untergebracht. Sie sind mit Öl-Schmiervorrichtung nach dem System Olor versehen.

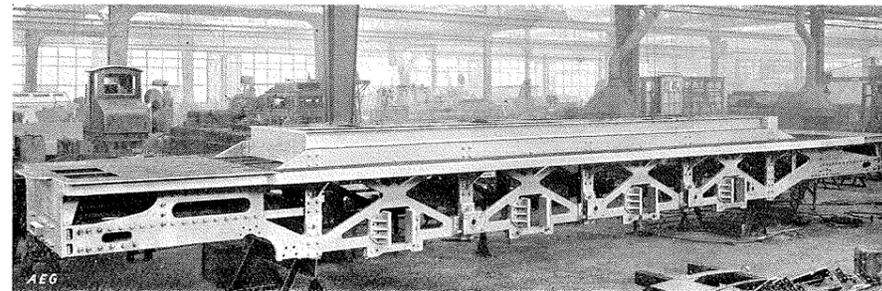


Abb. 9. Rahmen.

Die Hohlwellenlager und der Zahnrad- und Schutzkasten sind zweiteilig. Nach Abnahme der Unterteile kann die Achse einschließlich Hohlwelle und Federkuppelung mittels Achsenke nach unten ausgebaut werden. Auch der ganze Treibradsatz mit Motoren wird in gleicher Weise ausgebaut.

4. Rahmen.

Der Rahmen muß bei dem gewählten Antrieb als Außenrahmen ausgebildet werden. Die Werkstatt verlangt, daß die ganze Lokomotive mittels zweier Traversen vom Kran angehoben und auf den gewünschten Arbeitsstand gesetzt werden kann. Wenn auch die Achsgabelstege hierbei noch eingebaut sind, so treten doch bei so langen Lokomotiven sehr erhebliche Biegemomente auf. Es wird aber weiter verlangt, daß nach Ausbau der Achsgabelstege die Lokomotive

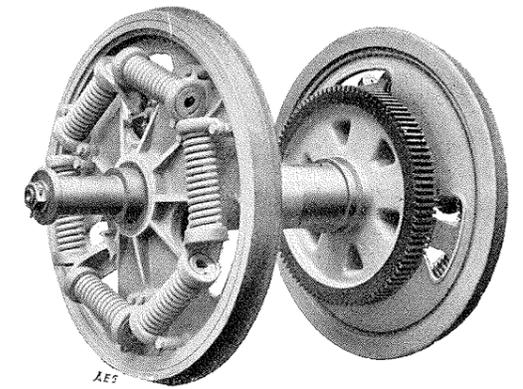


Abb. 8. Treibradsatz mit beiderseitig fest eingespannten Federn.

in gleicher Weise von den Achsen gehoben werden kann. Außerdem soll der Rahmen natürlich leicht und möglichst durchsichtig gebaut sein, damit die dahinterliegenden Teile, die Treibräder mit Antrieb, Bremse usw. leicht überwacht werden können. Die Aufgabe ist durch eine neuartige Konstruktion gelöst⁶⁾.

Die Längsrahmen sind aus 50 mm starken Blechen hergestellt, die so ausgeschnitten sind, daß ein regelrechter Fachwerkträger übriggeblieben ist. Das Fachwerk besteht aus Obergurt, Untergurt, Vertikalen, an denen gleichzeitig die Querversteifungen angreifen, und gekreuzten Diagonalen. Es ist so gewählt, daß auch nach Ausbau der Achsgabelstege im Untergurt ein tragfähiges System übrigbleibt. Dadurch, daß der Obergurt sich in den Maschinenraum hinein erstreckt, konnte allen auftretenden Beanspruchungen einwandfrei entsprochen werden. Das Anheben des Rahmens erfolgt unter den äußersten Vertikalstäben. Der Rahmen ist außerordentlich leicht und gewährt freien Einblick in alle innerhalb des

⁶⁾ D. R. P. 425 118.

Rahmens liegenden Teile. Abb. 9 zeigt den Rahmen mit Plattform in der Werkstatt, Abb. 10 mit aufgebautem Maschinenhaus. In dieser Abbildung erkennt man auch die Unterstützungen sowie die starken Querträger (am Boden liegend), mit denen die Lokomotive angehoben wird.

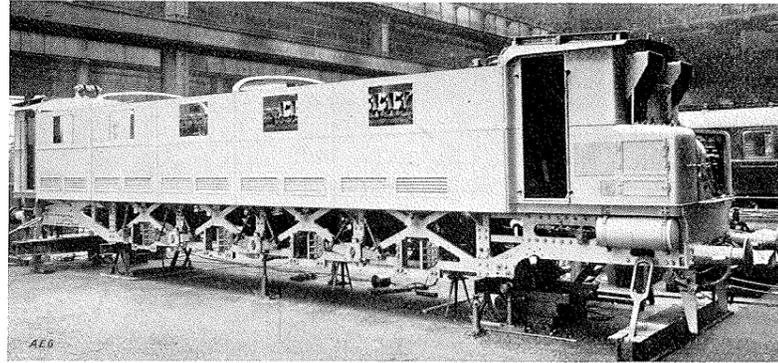


Abb. 10. Rahmen mit aufgebautem Maschinenhaus in der Montage.

Der Rahmen ist zwischen den einzelnen Treibradsätzen an den Vertikalstäben durch kräftige Rahmenstreben versteift, an denen die Motorfüße und Bremsgehängeträger befestigt sind. Zur Vermeidung gegenseitiger Verschiebungen der beiden Längsrahmen sind an den Pufferenden kräftige Horizontalverstreben angebracht.

Die Federn der Treibachsen stehen über den Achsbuchsen, außerhalb des Rahmens.

Federung und Ausgleich gestatten das Befahren von Ablaufbergen mit 20‰ Steigung, einem Ablaufgefälle von 40‰ und einem abgerundeten Kopf von 200 m Halbmesser.

5. Kastenaufbau.

An dem hinteren Ende der Lokomotive ist ein halbhoher Vorbau vorhanden, unter dem die Motorluftpumpe und die Batterie für die Gleichstrombeleuchtung untergebracht sind. Der Teil der Haube über dem Kompressor ist abnehmbar, Abb. 11. Im übrigen erstreckt sich über die ganze Länge des Rahmens ein Aufbau, der an jedem Ende ein Führerabteil, dazwischen den Maschinenraum enthält.

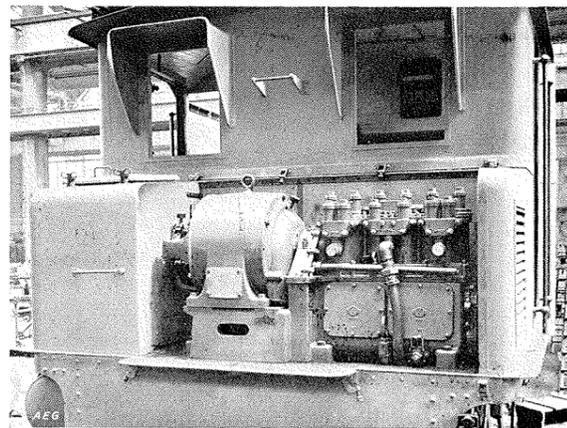


Abb. 11. Motorpumpe.

Die Führerstände sind nach den von der Deutschen Reichsbahn vorgeschriebenen Grundsätzen eingerichtet, Abb. 12.

Das Dach über dem Maschinenhaus ist in fünf Teilen abnehmbar, Abb. 10, um die Fahrtwenderschützergerüste, den Transformator samt Steuerung und die übrigen elektrischen Ausrüstungsteile ausbauen zu können. Die Seitenwände sind mit je fünf Schiebefenstern versehen. Unter den Fenstern sind Lüftungsöffnungen mit festen Jalousien vorhanden, die im Winter bei Schneefall und im Sommer bei Platzregen bei herabgesetzter Lüftung durch Filterklappen abgeschlossen werden können.

6. Motoren.

Jede Treibachse ist durch zwei in einem gemeinschaftlichen Gehäuse zu einem Doppelmotor vereinigte Motoren angetrieben.



Abb. 12. Führerstand.

Diese beiden Motoren sind ständig in Reihe geschaltet, während die vier Doppelmotoren der Lokomotive parallel geschaltet sind.

Die Motoren sind halbhoch gelagert (Mitte 1415 mm über S. O.), vollkommen gekapselt und fremd gelüftet. Sie sind als Lagerschildmotoren gebaut. Die Anker laufen beiderseitig in Rollenlagern.

Die Motoren sind achtpolig, haben einen Ankerdurchmesser von 645 mm, einen Ständerdurchmesser von 860 mm und 2,5 mm Luftspalt. Der Durchmesser des Kommutators beträgt 520 mm. Jede Bürstenspindel ist mit drei Kohlen von 12,5×55 besetzt. Aus den Abmessungen errechnet sich eine höchste Umfangsgeschwindigkeit von 50 m/s am Anker, 40 m/s am Kommutator bei der höchsten Fahrgeschwindigkeit.

Die Ankerwicklung ist mika-isoliert, die Ständerwicklung baumwoll-isoliert und compoundiert.

Die Motoren besitzen ein drehbares Bürstenjoch. Für die Bedienung der Bürsten sind für jeden Doppelmotor drei große Oeffnungen mit abhebbaren Deckeln am oberen Ende vorgesehen. Diese Deckel liegen unmittelbar unter der erhöhten Plattform des Maschinenraumes und sind durch große Klappen sehr gut zugänglich gemacht.

Die Motoren haben Drucklüftung. Jeder Doppelmotor hat nur eine gemeinschaftliche Lufteintrittsöffnung. Unmittelbar über dieser Oeffnung steht der Lüfter, und zwar werden je zwei Lüfter von einem zwischen ihnen stehenden Hilfsmotor angetrieben. Die warme Luft tritt durch die als Luftabzüge ausgebildeten Kommutatordeckel ins Freie. Jeder Lüfter fördert in der Minute 145 m³ gegen 110 mm Wassersäule.

Für einwandfreies Kämmen der drei zusammenarbeitenden Zahnräder jedes Doppelmotors ist es Vorbedingung, daß die drei Achsen der beiden Anker und der Hohlwelle genau parallel und im vorgeschriebenen Achsenabstand liegen. Die drei Bohrungen befinden sich in einem Gußstück und werden auf einem Bohrwerk in einer Aufspannung ausgeführt. Große Genauigkeit ist daher leicht zu erreichen. Für

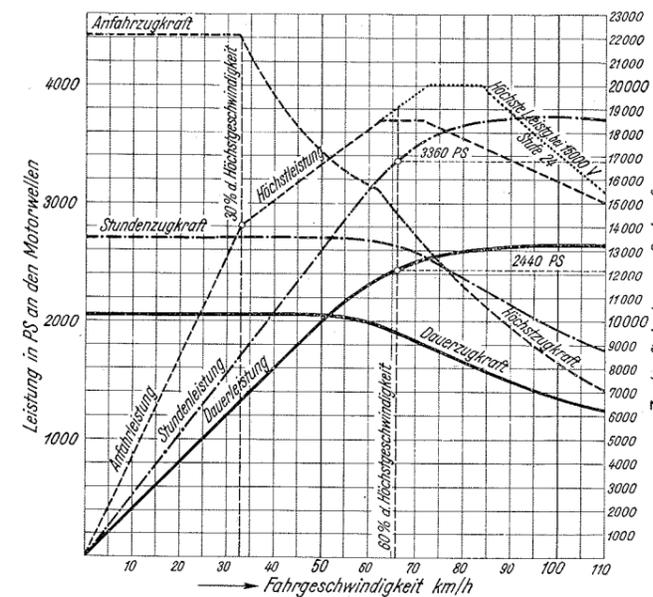


Abb. 13. Leistung der Lokomotive, gemessen im Prüffeld, an den Motorwellen und Zugkraft am Radumfang, berechnet mit 1700 mm Treibraddurchmesser und 0,96 Getriebewirkungsgrad.

den Einbau des Motors in die Lokomotive ist große Genauigkeit nicht nötig. Es genügt, wenn die Achse der Hohlwelle auf einige Millimeter genau mit der Achse des Treibradsatzes übereinstimmt. An den Hohlwellen und Treibrädern sind bearbeitete Flächen vorgesehen, mit Hilfe deren man die Lage der Achsen nachprüfen kann. Der Motor kann nach Bedarf höher oder tiefer eingestellt werden, indem unter seine Füße Blechbeilagen gelegt werden.

Die Motoren sind nach den Erwärmungsvorschriften der Deutschen Reichsbahn-Gesellschaft im Prüffeld

eingehenden Untersuchungen in bezug auf Anfahr-, Stunden- und Dauerleistung bei verschiedenen Geschwindigkeiten unterworfen worden. Nach diesen Vorschriften ist für die Ständerwicklung eine Erwärmung um 60°, gemessen durch Widerstandszunahme, für Ankereisen und Ankerwicklung um 80° bei thermometrischer Messung, für den Kommutator eine Erwärmung um 75° zulässig. Die sich hieraus für die ganze Lokomotive ergebenden Leistungen, gemessen an den Motorwellen, sind im Schaubild Abb. 13 dargestellt. Man erkennt zunächst den Verlauf von Dauerleistung und Stundenleistung über den ganzen Geschwindigkeitsbereich. Ferner ist eingetragen die Anfahrleistung bis zu 30% der Höchstgeschwindigkeit, die durch die Kommutierung begrenzt ist. Die Fortsetzung dieser Linie für Anfahrleistung bildet die Höchstleistung, welche der Führer im gewöhnlichen Betriebe nicht überschreiten soll. Um dem Führer die Einhaltung dieser Grenze zu ermöglichen, sind auf meinen Vorschlag auf den Zifferblättern der Motorstromzeiger die für halb abgenutzte Treibraddurchmesser (1700 mm) errechneten Zugkräfte am Treibradumfang ohne Berücksichtigung der Verluste im Getriebe dargestellt. Auf dem Zifferblatt des Geschwindigkeitsmessers ist dann an der Zeigerstellung zu erkennen, welche größte Zugkraft bei der angezeigten Geschwindigkeit noch zulässig ist. Es steht aber nichts im Wege, bei höherer Fahrgeschwindigkeit über diese Grenze noch hinauszugehen, wenn ein Bedürfnis dafür besteht, soweit die vom Transformator gelieferte Spannung zur Erzielung höherer Leistungen ausreicht. Punktiert ist die Grenzleistung der Lokomotive dargestellt, welche sich auf der letzten Fahrstufe 24 ergibt, wenn die Fahrleitungsspannung 15000 V beträgt. Höhere Leistungen läßt der Transformator nicht zu. Bei Geschwindigkeiten über 90 km/h können daher auf der Lokomotive die Motoren nicht mehr über Stundenleistung belastet werden. Die höchsterreichbare Leistung der Lokomotive beträgt 4000 PS an den Motorwellen bei 80 km/h.

In Abb. 13 ist schließlich noch der Verlauf der Dauer-, Stunden-, Anfahr- und Höchstzugkraft am Radumfang über den ganzen Geschwindigkeitsbereich dargestellt. Hierbei ist ein Getriebewirkungsgrad von 96% berücksichtigt.

Bei den Prüffeldversuchen sind die Motoren natürlich künstlich gelüftet worden. Dagegen ist die natürliche Außenkühlung der Gehäuse durch den Zugwind bei schnellem Fahren nicht nachgeahmt worden. Bei der gewählten Bauart ist diese Kühlung aber erheblich, da die Motoren vollständig außerhalb des Maschinenhauses liegen und bei dem luftigen Bau des Rahmens sehr gut gekühlt werden. Die durch die Erwärmung begrenzten Leistungen dürften daher im Betriebe noch beträchtlich über den im Prüffeld festgestellten liegen. Letztere sind zahlenmäßig die folgenden:

bei 60% der Höchstgeschwindigkeit	Dauerleistung an den Motorwellen	2440 PS
„ 75 bis 100% der Höchstgeschwindigkeit	Dauerleistung an den Motorwellen	2600 „

bei 60% der Höchstgeschwindigkeit
Stundenleistung 3360 PS
„75 bis 100% der Höchstgeschwindigkeit
Stundenleistung 3700 „
„ 0 bis 30% der Höchstgeschwindigkeit
Anfahrzugkraft am Rad-
umfang 22 100 kg

7. Transformator.

Da es sich bei der Schnellzuglokomotive um eine Versuchslokomotive handelte, wurde für den Transformator eine vom Üblichen abweichende Bauart gewählt. Er wurde als Trockentransformator mit Luftkühlung gebaut, um den Wünschen des Betriebes nachzukommen, der den Unannehmlichkeiten der Öltransformatoren mit ihren unvermeidlichen Undichtigkeiten und den Schwierigkeiten der Ölsreinigung aus dem Wege gehen möchte⁷⁾. Die Ölmenge, welche ein großer Öltransformator enthält, ist bei Kurzschlüssen im Innern des Kessels und bei Zusammenstößen, namentlich in stark erwärmtem Zustande, eine Quelle möglicher Gefahren.

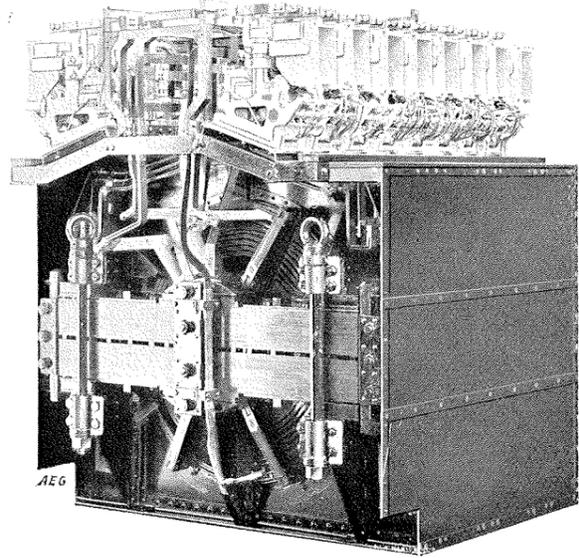


Abb. 14. Trockentransformator der Manteltype.

Der Transformator ist nach der Manteltype mit liegendem Eisenkern gebaut. In Abb. 14 sieht man das vordere Joch und den Mittelkern, welcher von den kreiszylindrischen Spulen umgeben ist. Drei Sekundärspulen liegen dem Eisenkern am nächsten, dann folgen sechs Hochvoltspulen und außen wiederum drei Sekundärspulen. Die Anzapfungen sind nach beiden Stirnseiten herausgeführt.

Der Transformator ist von einem Blechgehäuse umgeben. Der freie Raum in den vier Ecken dieses Gehäuses, also über und unter den seitlichen Kernen, ist von vier Drosselspulen eingenommen, die zur Steuerung gehören und alle den gleichen Eisenkern besitzen. Sie unterscheiden sich nur durch Art und Schaltung der Wicklung.

⁷⁾ Vgl. Usbeck, „Der elektrische Zugbetrieb auf den schlesischen Gebirgsbahnen im Jahre 1925“, Elektrische Bahnen, 15. November 1926, Heft 11.

Die Lüftung erfolgt in axialer Richtung. Die Luft tritt an einer Stirnseite (am vorderen Führerstand) allseitig in den Transformator ein, zieht durch die Wicklungen des Haupttransformators und der

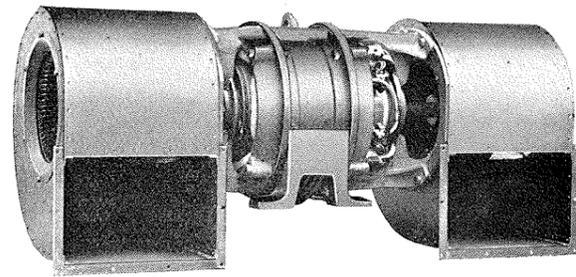


Abb. 15. Doppellüftersatz für den Transformator.

Drosselspulen und wird am anderen Ende durch einen Doppellüfter mit vier Saugöffnungen abgesaugt. Dieser Lüftersatz, Abb. 15, ist vollständig in den Saugkasten eingebaut, so daß der Antriebmotor durch die Abluft mitgekühlt wird⁸⁾. Die erwärmte Luft wird durch zwei am Dach hängende Kanäle geblasen, welche zu einem in der Mitte der Lokomotive auf dem Dach befindlichen Lüftungsaufbau führen, aus dem die Luft ins Freie entweicht. Durch Klappen in den Kanälen kann die warme Luft auch dem Maschinenraum wieder zugeführt werden, damit im Winter bei großer Kälte eine zu niedrige Temperatur im Maschinenraum vermieden wird.

Jeder Einzellüfter ist für eine minutliche Förderung von 190 m³ Luft gegen 75 mm W. S. bemessen.

Da die Kühlluft keinerlei Richtungsänderungen erfährt, ist die Wirkung der Kühlung ganz ausgezeichnet.

Der Leistungstransformator hat eine Stundenleistung von 2500 kVA und eine Dauerleistung von 2000 kVA bei 650 bis 950 V. Außerdem kann er für den Betrieb der Hilfsmaschinen und der Steuerung eine Leistung von 100 kVA dauernd bei 200 V und im Winter eine Heizleistung von 400 kW bei 1000 V abgeben.

⁸⁾ D. R. P. angemeldet.

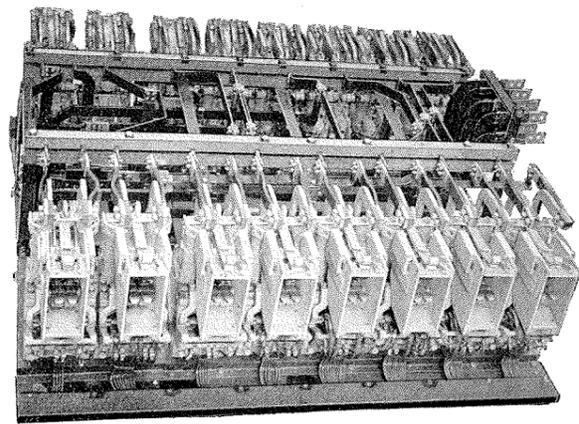


Abb. 16. Elektromagnetisch betätigte Stufenschütze auf dem Transformatorgehäuse.

Auf das Transformatorgehäuse aufgebaut sind 16 elektromagnetisch betätigte Stufenschütze für die Regelung der den Motoren zugeführten Spannung. Die Schütze sind derselben Bauart wie die der

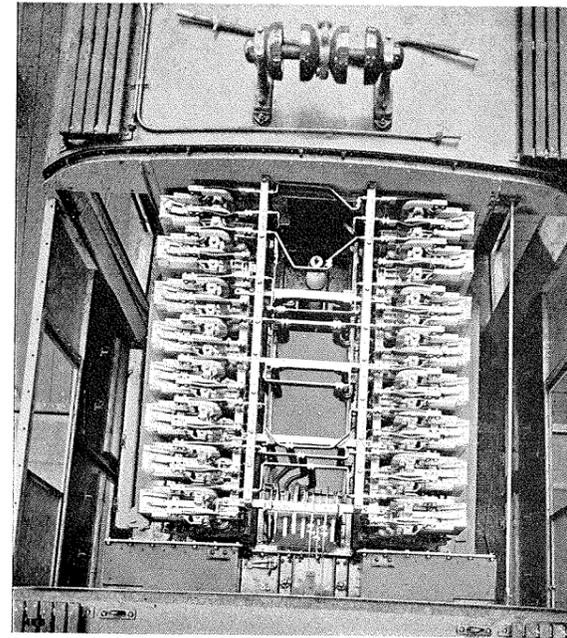


Abb. 17. Blick durch die Dachöffnung auf das Transformatorgehäuse mit Stufenschützen.

2 B B 2-Lokomotiven der Deutschen Reichsbahn⁹⁾. Die Anordnung ist aus Abb. 16 zu ersehen. Abb. 17 zeigt einen Blick auf den Deckel des Transformators durch die Dachöffnung. Die Anordnung ist sehr einfach, leicht und übersichtlich. Zu beiden Seiten des Transformators bleibt ein breiter Gang frei, von dem aus die Haupt- und Hilfskontakte leicht überwacht werden können.

⁹⁾ Vgl. Michel und Köbler, „Die schwere Personenzuglokomotive 2BB2 der Deutschen Reichsbahn“, Elektrische Bahnen, 15. August 1926, Heft 8, Seite 256, Abb. 16.

8. Steuerung.

Das Hauptschaltbild, Abb. 18, läßt den Verlauf des Starkstromes für die Fahrmotoren erkennen. Die mit der Primärwicklung in Sparschaltung geschaltete Sekundärwicklung des Transformators besitzt für den Motorstromkreis sieben Anzapfungen für je zwei Stufenschütze. Der Spannungssprung von Anzapfung zu Anzapfung beträgt 144 V. Je zwei benachbarte Schütze leiten den Strom zu den Enden eines Stromteilers für 144 V, 1600 A dauernd. Von der Mitte jedes Stromteilers führt die Leitung zu je einer Gruppe von zwei Doppelmotoren, die parallel geschaltet sind. Die Rückleitungen führen über einen Zusatztransformator zu den Wicklungen eines Ausgleichtransformators, die wiederum an zwei um 72 V verschiedene Anzapfungen des Haupttransformators angeschlossen sind. In jeder Hauptstellung der Steuerung sind vier Stufenschütze eingeschaltet, siehe Punkttabelle Abb. 18. In jeder Schaltstufe führt ein Stromkreis 72 V mehr Spannung als der andere. Durch den Ausgleichtransformator werden aber Strom und Spannung in beiden Stromzweigen annähernd gleich gehalten¹⁰⁾.

Der Zusatztransformator dient dazu, in jedem Stromkreis 18 V zu- oder abzuschalten, je nachdem Schütz A oder B eingeschaltet ist. Durch die 14 Stufenschütze werden, da stets vier Schütze eingeschaltet sind, 14 - 3 = 11 Hauptstufen gebildet. Diese Zahl wird durch den Zusatztransformator auf 22 verdoppelt. Hierzu kommen noch zwei Vorstufen, in denen zwei bzw. drei Schütze eingeschaltet sind. Insgesamt sind also 24 Schaltstufen vorhanden.

Die Fahrtwenderschütze werden vom Führerschalter mitgesteuert. In der Anfangsstellung der Steuerung fallen sie ab, so daß die Motoren beiderseitig abgetrennt sind. Bei Schadhafwerden eines Motors kann dieser zusammen mit dem entsprechenden der anderen Gruppe durch Messertrennschalter elektrisch abgetrennt werden.

¹⁰⁾ Vgl. Monath, „Die Lokomotivschaltung mit Ausgleichtransformator der Personenzuglokomotive 2BB2 und der Güterzuglokomotive C+C der Deutschen Reichsbahn“, Elektrische Bahnen, 15. August 1926, Heft 8.

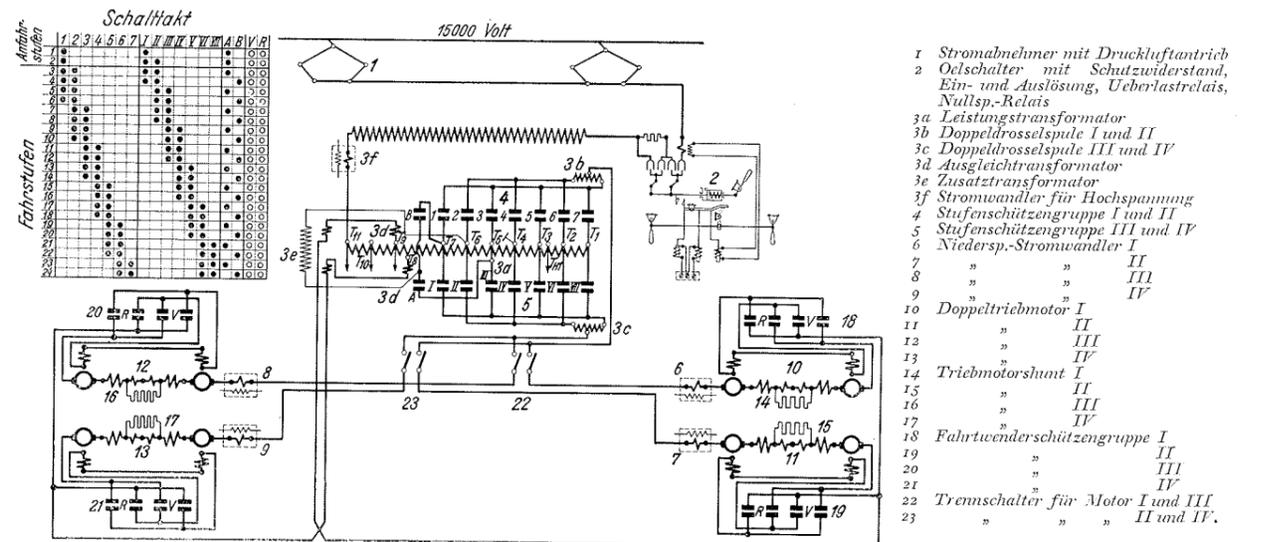


Abb. 18. Hauptschaltbild.

Die Fahrtwenderschütze jeder Motorgruppe sind mit den zugehörigen Hilfsapparaten in Gerüsten untergebracht, Abb. 19. Von rechts nach links sind hier

Unterwerke Schwierigkeiten, weil diese bei großer Belastung häufig die Spannung abschalten und die Durchführung des Fahrplanes stören. Um die Höchstleistung der neuen Lokomotive festzustellen, wurden daher am 28. November 1926, einem Sonntag, auf der Strecke Leipzig—Zerbst neue Versuchsfahrten mit besonders schweren Zügen und gekürzten Fahrzeiten vorgenommen.

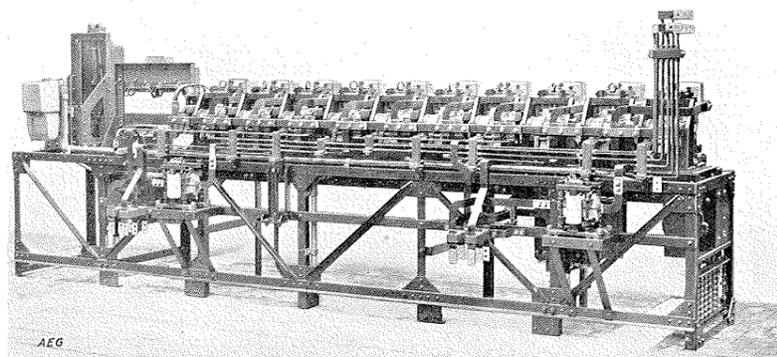


Abb. 19. Gerüst 1 für Fahrtwenderschütze und Hilfsapparate, Ansicht von der Vorder- (Gang-) Seite.

aufgestellt: der Dick-Beleuchtungsregler, 6 Klappensicherungen für Hilfsstromkreise, 1 Kompressorschütz, 2 Lüfterschütze und 2 x 4 Fahrtwenderschütze. Abb. 20 zeigt die Rückseite des anderen Gerüsts mit 5 Höchststromauslösern (4 für die Fahrmotoren und 1 für die Zugheizung), den Wendefeldwiderständen, Stromwandlern und den Messer-Trennschaltern.

Der Versuchsschnellzug bestand aus 10 vierachsigen Abteil-, 8 vierachsigen D-Zugwagen und dem sechsachsigen Meßwagen, hatte also insgesamt 78 Achsen und ein Gewicht von 756 t. Die Lokomotive wiegt 122 t. Das Ergebnis der Versuchsfahrten war folgendes:

Die Gerüste werden in der Werkstatt fertig montiert und durch das Dach in die Lokomotive eingesetzt. Unter den Gerüsten stehen die Motor-doppellüfter. Von der Welle des einen Lüfters wird noch die Lichtmaschine, eine ganz normale Dynamo der Gesellschaft für elektrische Zugbeleuchtung, durch Riemen angetrieben.

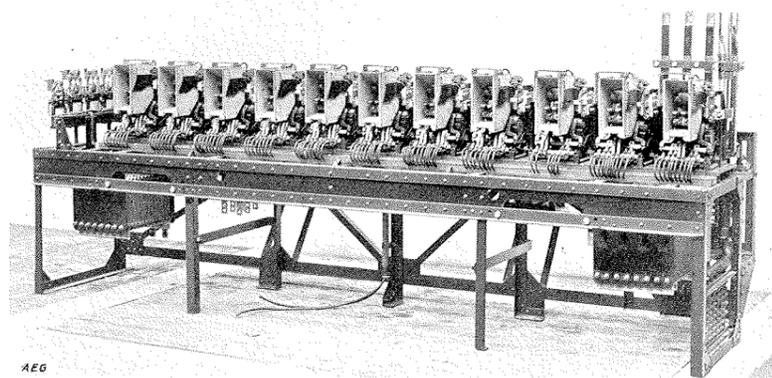


Abb. 20. Gerüst 2, Ansicht von der Rückseite.

9. Betriebsergebnisse.

Die Lokomotive wurde am 18. Oktober 1926 in Betrieb genommen und sofort in den planmäßigen Dienst zunächst für Personenzüge, wenige Tage später auch für Schnellzüge eingestellt. Am 4. November 1926 wurden Probezüge zwischen Leipzig und Halle gefahren, wobei erstmalig 4000 PS erreicht wurden.

Die amtlichen Abnahmefahrten fanden am 10. und 11. November 1926 statt, und zwar wurde zwischen Leipzig und Magdeburg je ein Schnell- und ein Personenzug mit normalen Fahrzeiten hin- und zurückbefördert. Der Schnellzug hatte 78 Achsen und 685 t Gewicht, der Personenzug 74 Achsen und 651 t Gewicht. Die gestellten Bedingungen konnten leicht erfüllt werden, wobei die erreichten Erwärmungen an Motoren und Transformator weit hinter den zugelassenen blieben.

Die Durchführung der Versuchsfahrten im Bezirk Halle macht wegen der starken Belegung der Strecken und der noch sehr geringen Leistung der vorhandenen

	Hinfahrt	Rückfahrt
Zurückgelegter Weg: Leipzig-Zerbst bzw. umgekehrt . . .	75,4 km	75,7 km
Gesamtfahrzeit von der Abfahrt von Leipzig bis zur Ankunft in Zerbst bzw. umgekehrt	75,5 min.	78,0 min.
Zahl der Zwischenaufenthalte einschl. Halten vor Signal	3	4
Dauer der Zwischenaufenthalte einschl. Halten vor Signal	12,8 min.	12,4 min.
Reine Fahrzeit	62,7 min.	65,6 min.
Weg unter Strom	57,4 km	66,1 km
Zeit unter Strom	47,4 min.	54,7 min.
Geleistete Bruttotonnenkilometer	66 200	66 460

Verbrauchte Arbeit:	Hinfahrt	Rückfahrt
Aus der Fahrleitung am Stromabnehmer entnommen	1545 kWh = 100%	1870 kWh = 100%
Von den Fahrmotoren verbrauchte Arbeit	1388 kWh = 90%	1667 kWh = 89,7%
Für Nebenzwecke verbrauchte Arbeit	55 kWh = 3,5%	60 kWh = 3,2%
Verlust in Transformator und Steuerung	102 kWh = 6,5%	143 kWh = 7,1%
Geleistete Arbeit am Zughaken	956 kWh = 62%	1161 kWh = 62%
Nutzleistung am Zughaken, bezogen auf reine Fahrzeit	1245 PSe	1445 PSe
Nutzleistung am Zughaken, bezogen auf Zeit unter Strom	1650 PSe	1735 PSe
Spezifischer Arbeitsverbrauch je Bruttotonnenkilometer	23,3 Wh	28,1 Wh

Der Versuchspersonenzug hatte 74 Achsen und 704 t Gewicht. Er wurde nur über die Strecke Leipzig—Dessau Hauptbahnhof und zurück gefahren. Die Versuchsergebnisse waren folgende:

	Hinfahrt	Rückfahrt
Zurückgelegter Weg	57,6 km	57,4 km
Gesamtfahrzeit von der Abfahrt von Leipzig bis zur Ankunft in Dessau bzw. umgekehrt	69,2 Min.	73,0 Min.
Zahl der Zwischenaufenthalte	9	9
Dauer der Zwischenaufenthalte	12,5 Min.	11,4 Min.
Reine Fahrzeit	56,7 Min.	61,6 Min.
Weg unter Strom	41,7 km	44,0 km
Zeit unter Strom	42,5 Min.	42,1 Min.
Geleistete Bruttotonnenkilometer	47 580	47 410

Verbrauchte Arbeit	Hinfahrt	Rückfahrt
Aus der Fahrleitung am Stromabnehmer entnommen	1413 kWh = 100%	1675 kWh = 100%
Von den Fahrmotoren verbrauchte Arbeit	1260 kWh = 89,8%	1487 kWh = 89,7%
Für Nebenzwecke verbrauchte Arbeit	56 kWh = 4%	56 kWh = 3,4%

Verbrauchte Arbeit	Hinfahrt	Rückfahrt
Verluste in Transformator und Steuerung	97 kWh = 6,2%	132 kWh = 7,9%
Geleistete Arbeit am Zughaken	855 kWh = 60,5%	1016 kWh = 60,8%
Nutzleistung am Zughaken, bezogen auf reine Fahrzeit	1235 PSe	1340 PSe
Nutzleistung am Zughaken, bezogen auf Zeit unter Strom	1645 PSe	1960 PSe
Spezifischer Arbeitsverbrauch je Bruttotonnenkilometer	29,6 Wh	35,2 Wh

Als die schwierigere Probe erwies sich die Beförderung des Personenzuges und hier wieder die Rückfahrt von Dessau nach Leipzig, die bergwärts liegt. Durch neun Zwischenstationen wird die Strecke in zehn Teilstrecken von durchschnittlich 5,75 km Länge zerlegt, und es ist natürlich schwierig, einen Zug von 704 t Gewicht auf so kurze Entfernung auf hohe Geschwindigkeit zu beschleunigen. Die hierbei erreichte höchste Leistungsaufnahme beträgt 3500 kW, die höchste Leistung an den Motorwellen 4000 PS, die höchste Nutzleistung am Haken 3000 PS.

Um ein klares Bild über die Art des Fahrens zu geben, sind in Abb. 21 für zwei Teilfahrten die Meßergebnisse dargestellt, und zwar für die Fahrt des Personenzuges von Dessau nach Marke und von Rackwitz nach Neuwiederitzsch. Die erstere Strecke ist 11,2 km lang und liegt in wechselnder Steigung. Sie wurde in 8,7 min. zurückgelegt. Es wäre nach dem Verlauf der Geschwindigkeitslinie möglich gewesen, den Zug auf der Steigung 1:340 auf 110 km/h zu beschleunigen, wenn nicht das Unterwerk infolge Ueberlastung bei 105 km/h die Spannung abgeschaltet hätte. Die zweite Strecke ist 4,6 km lang und liegt im wesentlichen in der Steigung 7/100. Trotzdem wurde auf der kurzen Strecke noch eine Endgeschwindigkeit von 70 km/h erreicht; die Fahrt betrug 4,91 min.

Am Ende jeder Fahrt wurden einige Temperaturmessungen vorgenommen. Die Erwärmung des Transformatorseisens betrug zu keiner Zeit mehr als 42°, die des Transformatorkupfers nicht mehr als 20°. Die Wirkung der Luftkühlung ist, wie bereits erwähnt, überraschend gut. Bei einer Neuausführung kann man die Kühlluftmenge erheblich verringern.

Die höchste Uebertemperatur der Kommutatoren betrug 72°, die am Ankerwickelkopf im Luftspalt 49°, die der Erregerwicklung, durch Widerstandszunahme gemessen, 43,5°.

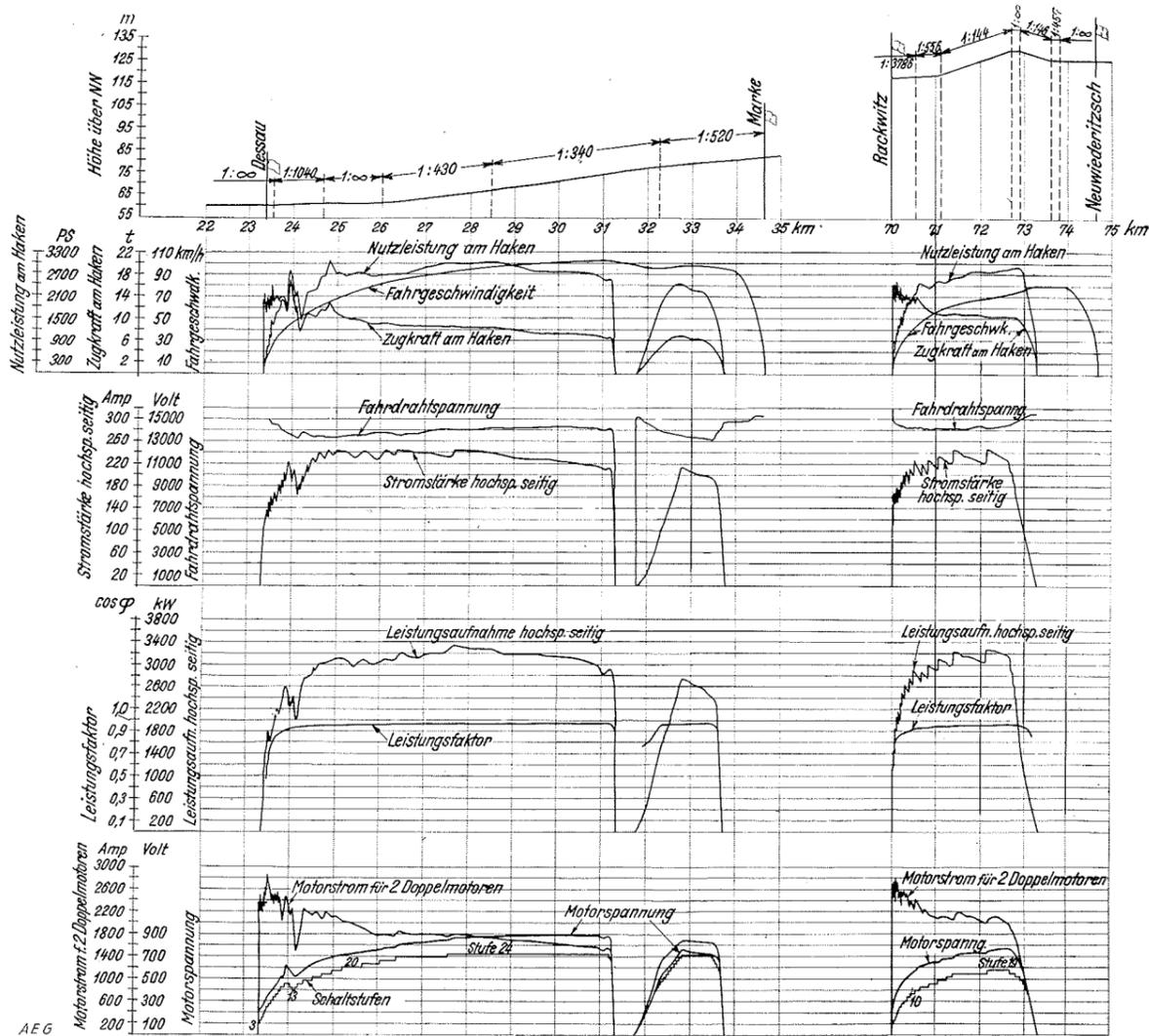


Abb. 21. Ergebnisse einer Meßfahrt.

10. Schlußbemerkungen.

Die Lokomotive hat in den Monaten Oktober, November und Dezember 1926 1344 bzw. 4943 bzw. 8283 Lokomotivkilometer in planmäßigem Dienst zurückgelegt. Hierbei ist zu berücksichtigen, daß durch häufige Versuchsfahrten und den hierzu notwendigen Einbau von Meßwandlern und Instrumenten allein im November 12 Tage als Betriebstage ausgefallen sind. Reparaturen waren trotz der Neuartigkeit der Lokomotive und der Erstausrüstung nicht notwendig. Abnutzung an den gehärteten Antriebsteilen ist bisher nicht erkennbar. Die aufeinandergleitenden Teile zeigen glatte, glänzende Flächen. An den gewölbten Böden der Federtöpfe sind kreisförmige Schleifflächen von etwa 20 mm Durchmesser zu erkennen. Ein Fressen hat nirgends stattgefunden. Besonders erwähnenswert ist ferner das Verhalten der Zahnräder. Vom ersten Betriebstage an liefen sie völlig kalt; das Zahnrädergeräusch ist nur mit Mühe wahrnehmbar und zeigt keinerlei Periode. Die Lokomotive hat sich bisher in Betrieben nur Freunde erworben, so daß

wohl mit Recht die Wahl von Bauart und Abmessungen als glücklich bezeichnet werden kann.

Einige besondere Worte sind aber noch über das Gewicht zu sagen:

Rechnen wir mit dem im Lieferwerk festgestellten höheren Betriebsgewicht von 122 t und der nach den verschärften Erwärmungsvorschriften der Deutschen Reichsbahn bei 60 % der Höchstgeschwindigkeit festgestellten Dauerleistung von 2440 PS, so ergibt sich je Dauer-PS ein Gewichtsaufwand von 50 kg. Dieser Wert muß als außerordentlich gering bezeichnet werden und stellt einen ganz erheblichen Fortschritt im Bau von Wechselstromlokomotiven dar.

Bisher hatten von den Schnellzuglokomotiven der Deutschen Reichsbahn die 2 D 1- und die 2 C 2-Lokomotiven mit einem großen hochliegenden Motor von Bergmann und die 1 Do 1-Lokomotive mit Einzelachsantrieb, Bauart BBC, das niedrigste Gewicht von 65 bzw. 61 kg je Dauer-PS. Erstere Lokomotiven haben noch einen Heizkessel; ohne diesen könnte eine Laufachse erspart werden, wodurch das spezifische

Gewicht auf 58 kg je Dauer-PS herunterginge. Bei den Güterzuglokomotiven der Bauart C + C, die von der AEG und SSW geliefert sind, ist ein Gewicht von 61 kg je Dauer-PS erreicht worden.

Um den Vergleich mit Lokomotiven des Auslandes vorzunehmen, muß man aber andere Zahlen einsetzen. Zunächst werden hier nicht die verschärften Erwärmungsvorschriften der Deutschen Reichsbahn-Gesellschaft, sondern in der Regel Vorschriften angewendet, welche höhere Temperaturen zulassen. Ferner wird nicht die Leistung bei der niedrigen Geschwindigkeit von 60 % der Höchstgeschwindigkeit, sondern die überhaupt vorhandene höchste Leistung, die in der Regel bei erheblich höherer Geschwindigkeit auftritt, angegeben.

Berücksichtigt man schließlich, daß, wie Wichert nachweist, der Gleichstromlokomotive infolge ihrer Leistungsgrenzen, bedingt durch die Mängel ihrer Steuerung,

¹¹⁾ Wichert, „Die Leistungseigenschaften der Elektrolokomotive“, Elektrische Bahnen, August 1926, Heft 8.

eine geringere „äquivalente Betriebsleistung“ zuzuordnen ist, so erkennt man, daß die neue Schnellzuglokomotive der Deutschen Reichsbahn nicht nur die leichteste zurzeit bekannte Wechselstromlokomotive sein dürfte, sondern daß sie auch den Gleichstrom- und Drehstromlokomotiven in Hinsicht auf das Gewicht für die Leistungseinheit nicht mehr nachsteht, wie das früher als Regel angesehen wurde und vielfach auch tatsächlich der Fall war. Im Gegenteil ist sie durch die einfache Steuerung, welche ihr das Arbeiten in allen Geschwindigkeitsbereichen ermöglicht, Gleich- und Drehstromlokomotiven im allgemeinen überlegen und nur in einem Punkt — dem Anfahren — unterlegen. Betriebsverhältnisse, bei denen häufiges und schwieriges Anfahren die Regel ist, also vor allem der Stadtschnellverkehr, bieten dem Gleichstromsystem die größeren Vorteile, weshalb auch für die Elektrifizierung der Berliner Stadtbahn endgültig das Gleichstromsystem angenommen worden ist.