

Fachheft:

Personenwagen.

I. Teil.

Die außerordentlichen Fortschritte, die im letzten Jahrzehnt auf dem Gebiete des Personenwagenbaues gemacht wurden und zu einer grundlegenden Umgestaltung der Grundsätze für die Tragkonstruktion und in neuester Zeit zu einem eingehenden Studium der Leichtbauweise geführt haben, veranlassen uns, die erzielten Erfolge in Fachheften festzuhalten. Dem vorliegenden ersten Teil soll später noch ein weiteres Fachheft folgen, das vor allem die Ergebnisse der Forschungen enthalten wird.

Entwicklung neuzeitlicher Eisenbahnpersonenwagen bei der Deutschen Reichsbahn.

Von Reichsbahnrat Stroebe, Limburg (L.) und Reichsbahnrat Wiens, Berlin.

Hierzu Tafel 2 bis 4.

Der Übergang von der Holzbauart zur neuzeitlichen Stahlbauart bedeutet in der Entwicklung der Eisenbahnpersonenwagen einen entscheidenden Wendepunkt.

Die ersten Anfänge dieser neuartigen Bauweise gehen bei der Deutschen Reichsbahn bereits auf die Vorkriegszeit zurück. Damals waren beim Bau von Eisenbahnwagen Schwierigkeiten dadurch entstanden, daß die Beschaffung der zu den Wagenuntergestellen notwendigen Holzarten nicht immer möglich war, teils wegen der außergewöhnlichen, nicht handelsüblichen Abmessungen, teils wegen des Bezugs aus dem Ausland und nicht zum wenigsten wegen des verhältnismäßig hohen Preises. Es war daher das Bestreben der Waggonkonstruktoren, das Holz möglichst weitgehend durch Stahl zu ersetzen, da dieser Baustoff jederzeit zu angemessenen Preisen im Inland zur Verfügung stand.

Bei der Werkstoffknappheit nach dem Kriege und der gleichzeitig bedrängten allgemeinen Wirtschaftslage konnten neue Aufträge im Waggonbau nur dann erteilt werden, wenn es gelang, die Beschaffungskosten wesentlich herabzusetzen. Die Stahlbauweise bot hierzu besonders günstige Vorbedingungen. Die bisher noch vielfach handwerksmäßige Herstellung der hölzernen Einzelteile konnte in Zukunft durch Vereinfachung der Formen in eine maschinelle Reihenfertigung umgewandelt werden, bei der die mit neuzeitlichen Werkzeugmaschinen für die Eisenbearbeitung erreichbaren wirtschaftlichen Vorteile ausgenutzt wurden und damit eine günstige Einwirkung auf die Preisgestaltung erzielt werden konnte.

Die fortgesetzt steigenden Ansprüche an die Verkehrstüchtigkeit der Personenzüge und insbesondere die Forderung einer weitgehenden Sicherheit der Reisenden gegen Beschädigungen bei Unfällen führten im Laufe der letzten Jahre dazu, den Stahlbau auch aus rein eisenbahntechnischen Gründen zu höchster Vollkommenheit zu bringen.

Schließlich erwartet man von dieser neuen Bauart wegen der Einheitlichkeit der angewendeten Werkstoffe und der Vereinfachung in der Formgebung auch eine günstige Auswirkung auf die Kosten der laufenden Werkstättenunterhaltung.

1. Grundsätzliche Unterschiede zwischen Holzbauart und Stahlbauart.

Bei allen Wagen der Holzbauart besteht eine klare Trennung zwischen Untergestell und Wagenkasten. Das Kastengerippe ist als Holzfachwerk ausgebildet, dessen Außenwände mit aufgeschraubten, untereinander nicht verbundenen Blechtafeln bekleidet sind. Der so entstehende Wagenkasten ist auf das Untergestell aufgesetzt, das anfangs ganz aus Holz,

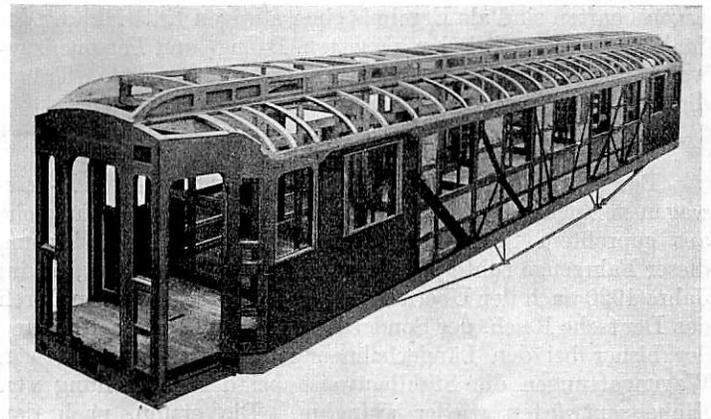


Abb. 1. Kastengerippe eines hölzernen D-Zugwagens.

später je nach Wagenart und Wagenlänge aus hölzernen, eisenarmierten oder auch nur eisernen Langträgern und gleichartigen Querträgern gebildet wird. Während bei der älteren Holzbauart die waagerechten und senkrechten Beanspruchungen allein vom Untergestell aufgenommen werden müssen, werden bei den letzten Ausführungsformen hölzerner Wagen auch die Seitenwände des Wagenkastens durch Einbau von eisernen Zugbändern wenigstens teilweise zur Aufnahme senkrechter Kräfte herangezogen. Auch ein derart verstärkter, hölzerner Wagenkasten vermag jedoch heftigen Stößen, die ihn in der Wagenlängsrichtung treffen, keinen nennenswerten Widerstand zu bieten (Abb. 1).

Bei den Wagen der Stahlbauart wie sie von der Deutschen Reichsbahn ausgeführt wird, ist die scharfe Trennung zwischen Untergestell und Wagenkasten nicht mehr vorhanden. Beide Teile sind zu einem, in seinen Einzelteilen durch Nietung oder Schweißung innig verbundenen einheitlichen Tragkörper vereinigt. Auf diese Weise wird es möglich, die auftretenden Beanspruchungen auf die einzelnen Bauglieder so zu verteilen, daß trotz verhältnismäßig geringer Querschnitte der Bauteile und entsprechend geringem Gewicht doch ein außerordentlich stoßfester Körper entsteht (Abb. 2).

Ein derartig gebauter Stahlwagen kann einem nicht zu schweren Anprall ohne erhebliche Beschädigung standhalten. Sollten bei einem Unfall außergewöhnlich heftige Stöße auftreten, so können die am Kopfstück freierdenden Kräfte durch

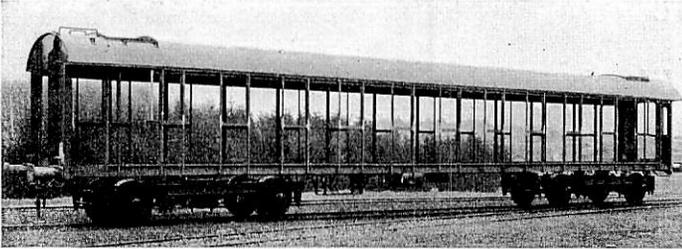


Abb. 2. Kastengerippe eines Ganzstahl-D-Zugwagens.

beabsichtigte, auf bestimmte Bauteile beschränkte Zerstörungsarbeit vernichtet werden, ohne die in den Abteilen sich aufhaltenden Reisenden zu gefährden. Als weiterer wesentlicher Vorteil der Stahlwagen ist noch anzuführen, daß durch den vollständigen Fortfall des Holzes im Gerippebau und durch weitgehende Anwendung von Sperrholzplatten oder Kunstholzstoffen im Innenausbau schwere Verletzungen durch Holzsplitter nahezu ausgeschlossen sind. Infolge der nur noch geringen Holzmenzen und der Anwendung feuerabweisend imprägnierter Wandbekleidungsstoffe ist die Brandgefahr wesentlich herabgesetzt, die Unfallsicherheit ist daher auch in dieser Hinsicht ganz bedeutend erhöht worden. Alle diese Eigenschaften sind als Ergebnis einer stetigen Entwicklung des Stahlwagenbaues bei den neuesten D-Zug- und Personenzugwagen der Deutschen Reichsbahn erreicht worden. Träger dieses bedeutsamen Fortschrittes ist der D-Zugwagen.

Bauart der D-Zugwagen.

Bereits im Jahre 1912 wurden erstmalig bei einigen D-Zugwagen versuchsweise die hölzernen Kastensäulen durch solche aus gepreßtem Stahlblech ersetzt. Die Weiterentwicklung dieser Fahrzeuge ruhte jedoch während der Kriegsjahre, bis im Jahre 1920 nach der Übernahme der Länderbahnen durch das Deutsche Reich, der Sonderausschuß zur Vereinheitlichung der bisher bei den Länderbahnen gebräuchlichen vielartigen Wagengattungen die Stahlbauweise bei der Aufstellung von Einheitsentwürfen wieder aufnahm. Die ersten, nach den Vorschlägen des Einheitsausschusses gebauten D-Zugwagen wurden 1922 geliefert. Die Wagen haben eine Gesamtlänge über Puffer von 21610 mm, die Kastenbreite schwankt je nach Gattung zwischen 2935 bis 2990 mm, das Gewicht beträgt je nach Gattung 39,5 bis 43,5 t. Sie zeigen in ihrem Gerippebau bereits die Grundmerkmale eines hochwertigen Stahlwagens: Kräftige Kopfstücke an den Wagenenden, durchlaufende Langträger, durchlaufende Oberrahmen, kraftschlüssige Verbindung zwischen Langträgern und Oberrahmen durch Ecksäulen und Rammwinkel. Alle Gerippeteile sind aus Walzprofilen gebildet. Als Baustoff wurde ein Stahl der Güte St 37 verwendet. Die durchlaufenden Langträger bestehen aus U-Profilen von 220 mm Höhe, die senkrechten Seitenwandungen sind aus 60 mm Z-Eisen gebildet. Das Z-Profil ermöglicht einen günstigen An-

schluß an Langträger und Oberrahmen, die in Brüstungshöhe eingesetzten Versteifungswinkel der Fensteröffnungen fügen sich bündig in die Seitenwandfläche ein. Als Versteifung haben die Seitenwände über ihre ganze Länge auf der Außenseite ohne Unterbrechung durchlaufende Brüstungsleisten erhalten, die zusammen mit den von innen her eingesetzten Fensterbrüstungswinkeln kräftige Mittelgurte bilden. Zum oberen Abschluß der Seitenwand dient ein Z-Profil, an dessen unteren Flansch die Fenstersäulen und an dessen oberen Flansch die Dachspriegel angeschlossen sind. Die 2,5 mm starken Bekleidungsbleche sind mit den Seitenwandsäulen vernietet. Als Dachspriegel sind über den Abteilquerwänden ebenfalls Z-Profile verwendet, während oberhalb der Fenstersäulen leichtere Winkeleisen die Dachhaut tragen (Abb. 3). Neuartig ist die Form des Daches als Tonnendach. Diese Bauart sollte einmal zur Versteifung des Wagenkastens beitragen, dann aber vor allem den bei den Holzwagen wegen der häufigen Wiederherstellungsarbeiten recht kostspieligen Oberlichtaufbau ersetzen. Als Dacheindeckung ist zunächst noch Holz beibehalten. Abweichend von den hölzernen D-Zugwagen hat auch die äußere Form des Vorbaues dadurch eine Änderung erfahren, daß die Einsteigtüren in die Fläche der nach dem Kopfstück schräg zulaufenden Seitenwände verlegt worden sind. Diese Ausführung ergab sich als einfachste Lösung für den Anschluß der Seitenwände an die durchlaufenden Langträger. Gleichzeitig erhoffte man durch die schnittige Form des Wagenkastens die hemmende Wirkung des Luftwiderstandes herabzusetzen (Abb. 4).

Die mit diesen Wagen im Betrieb gewonnenen Erfahrungen waren recht günstig, so daß bei dem nächsten größeren Auftrag im Jahre 1926 die grundsätzliche Bauart beibehalten, jedoch durch Weiterentwicklung noch wesentlich vervollkommen wurde. Das Bedürfnis, die Fahrgeschwindigkeit der Fernzüge zu steigern, führte zu der Forderung, die Sicherheit der Reisenden während der Fahrt so zu erhöhen, daß die Fahrzeuge auch gegen außergewöhnliche Stoßbeanspruchungen bei Unfällen eine möglichst weit-

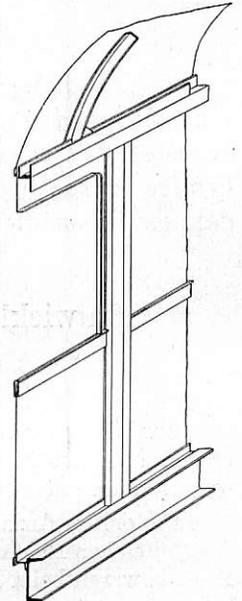


Abb. 3. Seitenschnitt eines Ganzstahl-D-Zugwagens der Bauart 1928.

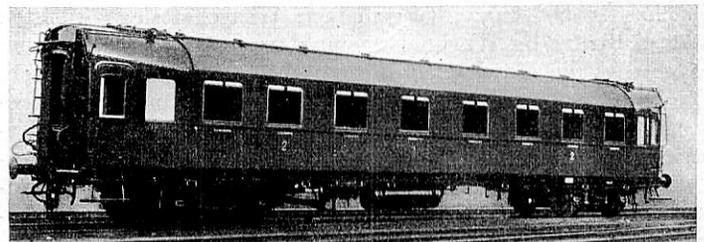


Abb. 4. Stahl-D-Zugwagen 1./2. Klasse der Bauart 1923.

gehende Widerstandsfähigkeit besitzen. Diesem Gedanken wurde beim Entwurf der Bauart 1926 der D-Zugwagen entsprochen durch besonders kräftige, mit Diagonalverstrebungen noch versteifte Ausbildung des Rammvorbaues sowie durch Einführung des 1,5 mm starken Stahlblechdaches. Das mit dem Oberrahmen vernietete Blechtonnendach vermittelt einen kraftschlüssigen Zusammenhang mit den Seitenwänden. Es bildet eine in sich steife Blechkappe und verleiht daher dem Kastenkörper eine beachtenswerte Längssteifigkeit. Der auf diese Weise geschaffene „Ganzstahlwagen“ übertrifft alle

bisherigen Bauarten an Festigkeit, insbesondere gegen Stoßwirkungen (Abb. 5). Durch die vervollkommnete Rammkonstruktion ist eine gleichmäßige Kraftaufnahme und Kraft-

erreicht, und damit die Wirkung der den Lauf ungünstig beeinflussenden überhängenden Massen herabgesetzt. Durch volle Ausnutzung des Wagenumgrenzungsprofils konnte die Wagenbreite auf 2933 mm erhöht werden. Das Gewicht dieser Wagen beträgt je nach Gattung 46,5 bis 49 t. Die Diagonalverbände im Rammvorbau sind durch eine waagrecht in Kämpferhöhe über dem Einsteigraum eingebaute Versteifungsplatte ersetzt (Abb. 7). Auf diese Weise lassen sich die Anschlüsse an Obergurt und Stirnwand einfacher ausbilden. Die Bauform mit schrägen Vorraumwänden ist wieder verlassen worden, da sie verschiedene betriebliche Mängel zeigte. In Anlehnung an die frühere Holzbauart ist ein Vorbau mit gleichlaufend eingezogenen Einsteigtüren zur Ausführung gekommen. Die hierdurch geschaffenen, bequemen Einsteigstufen werden durch das überstehende, in der Breite des Wagenkastens durchlaufende Dach noch von oben her geschützt (Abb. 8).

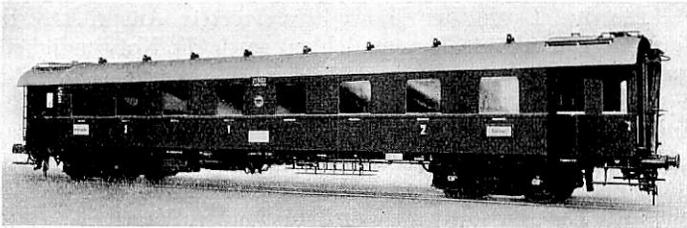


Abb. 5. Ganzstahl-D-Zugwagen 1./2. Klasse der Bauart 1926.

weiterleitung der Stöße durch die Langträger und die Oberrahmen der tragenden Seitenwände sichergestellt. Erhöht wird die Betriebstüchtigkeit der Ganzstahlwagen noch durch Einbau von Hülsenpuffern an Stelle der bisher allgemein verwendeten Stangenpuffer. Es haben nämlich Erfahrungen bei Unfällen einwandfrei erwiesen, daß bei den Stangenpuffern

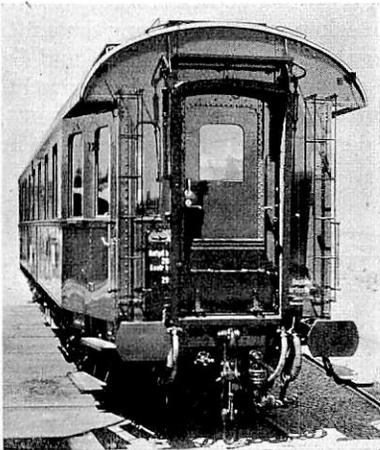


Abb. 6. Stirnwand eines Ganzstahl-D-Zugwagens der Bauart 1926.

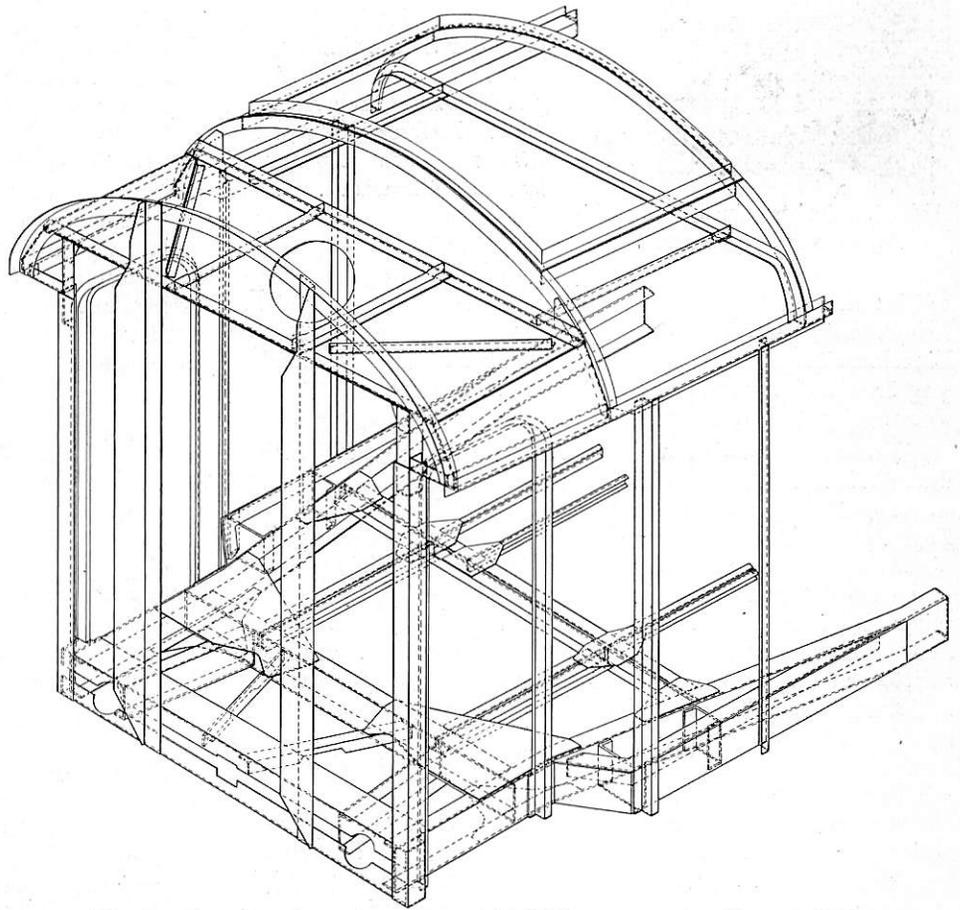


Abb. 7. Rammvorbau eines Ganzstahl-D-Zugwagens der Bauart 1928.

durch Verbiegen des Pufferstößels beim Anprall der Wagen die entstehenden Schräglflächen der Pufferteller das Aufklettern begünstigen, während die Hülsenpuffer auch heftigen Stoßbeanspruchungen standhalten und daher keine Abgleitflächen schaffen.

Als eine besondere Neuerung ist bei den Stahlwagen der Bauart 1926 noch der Einbau einer Schiebetür in die Wagenstirnwand zu nennen. Durch diese Maßnahme werden die bei Stirnwanddrehtüren fortwährend auftretenden Beschädigungen der Faltenbälge beseitigt. Die Schiebetüren können während der Fahrt auch geschlossen gehalten werden, ohne den Durchgangsverkehr im Zug zu behindern. Sie bieten daher eine willkommene Möglichkeit, die bisher, insbesondere im Winter störend empfundene Zugluft und die Wärmeverluste im Seitengang durch Abschließen der Faltenbalgräume herabzusetzen (Abb. 6). Die Länge dieser Wagen beträgt über Puffer 21720 mm, die größte Kastenbreite 2903 mm und das Durchschnittsgewicht je nach Gattung 44,5 bis 47 t.

Die D-Zugwagen des Baujahres 1928 zeigen weitere Verbesserungen. Die Gesamtlänge von 21720 mm über Puffer ist beibehalten worden. Durch Vergrößerung des Drehzapfenabstandes wurde eine Verminderung der Wagenüberhänge

Die folgenden Lieferungen der Jahre 1929 bis 1931 gleichen in ihren Abmessungen der Bauart 1928, sie weisen jedoch weitere Fortschritte im Gerippebau auf. Um den gelegentlich bei einzelnen Wagen während der Fahrt beobachteten Zitterbewegungen des Wagenkastens wirksam zu begegnen, sind die Seitenwandabschnitte über den Drehzapfen durch Einbau von Blechtafeln verstärkt worden, die Verbindungen der unter den Fenstern durchlaufenden Brüstungsleisten mit den Seitenwandsäulen sowie die Anschlüsse dieser Säulen an die Langträger sind verbessert, die Steifigkeit des Stahlblechdaches ist durch Einbau zweier in Längsrichtung laufender Winkeleisen weiterhin erhöht worden.

Die bei den D-Zugpersonenwagen entwickelten Ausführungsgrundsätze sind einheitlich auch auf die D-Zuggepäckwagen, D-Zugpostwagen und D-Zugwagen für Sonderzwecke übernommen worden, auch die neuzeitlichen Schlaf- und Speisewagen der Mitropa sind in der gleichen Stahlbauweise ausgeführt.

Mit der schrittweisen Vervollkommnung des Wagenkastens zum stoßfesten Ganzstahlkörper änderte sich auch die Art der Fertigung. Die Erfahrung lehrte, daß nur durch besonders sorgfältige, maßgerechte Herstellung der Einzelteile und durch genauen Zusammenbau ein spannungsloser Wagenkasten erreichbar ist, der im Betriebe einen einwandfreien Lauf

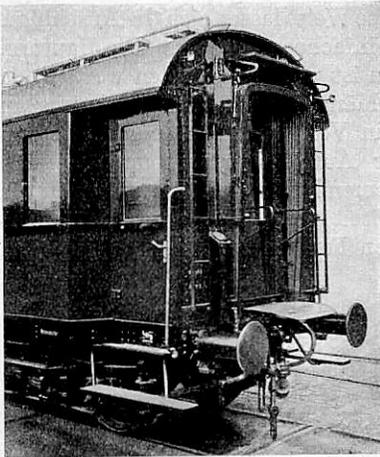


Abb. 8. Vorbau eines Ganzstahl-D-Zugwagens der Bauart 1928.

gewährleistet. Das Bohren und Nieten der Eisen und Bleche wird daher unter Verwendung geeigneter, besonders entworfener Vorrichtungen durchgeführt, beim Zusammenbau von Untergestell und Seitenwänden wird für völlig waagerechte Lage des Untergestells Sorge getragen und die winkelrechte Lage der Seitenwände und des Daches zum Untergestell wird durch Lehren und Meßvorrichtungen während des Aufbaues laufend überwacht. Die Vereinheitlichung vieler Einzelteile führte zur Reihenfertigung nach neuzeitlichem Arbeitsverfahren. Austauschbau, Fließverfahren, Arbeitstakt, Aufteilung und Zergliederung der Arbeit in Einzelarbeitsvorgänge, Genaumeßverfahren und laufende, sorgfältigste Arbeitsprüfung sind heute zu selbstverständlichen Voraussetzungen des modernen Waggonbaues geworden.

Daß die so entwickelte Bauart der Stahlwagen hinsichtlich ihrer Widerstandsfähigkeit bei Unfällen den gehegten Erwartungen entspricht, haben die Folgen verschiedener schwerer Zugentgleisungen bewiesen. Verschiedentlich haben die Wagen die sie treffenden Stoßkräfte in den Vorbauten aufgenommen und dort durch Formänderungsarbeit an den kräftigen Bauteilen des Rammvorbaues vernichtet, ohne daß die zwischen den Drehzapfen liegenden Abteile wesentlichen Schaden gelitten haben. Das bei Holzwagen so gefürchtete Ineinanderschieben ist bei Stahlwagen nicht mehr vorgekommen. Auch ein Aufklettern konnte nicht mehr beobachtet werden. Besonders eindringlich haben sich die überragenden Eigenschaften der Ganzstahlwagen bei dem letzten Sprengstoffattentat bei Jüterbog gezeigt. Trotz heftiger, plötzlich auftretender Beanspruchung sind die Wagen nur unwesentlich beschädigt worden. Der Ganzstahlbauart ist es in erster Linie zu danken, daß bei dem Attentat Todesopfer nicht zu beklagen waren.

Ausstattung und Ausrüstung der D-Zugwagen.

In der Anordnung der Grundrisse, der Ausstattung und der Ausrüstung sind bei den D-Zugwagen recht bemerkenswerte Fortschritte erzielt worden. Bei den Wagen des Baujahres 1922 tritt deutlich zutage, daß mit Rücksicht auf die damalige wirtschaftliche Notlage und den Mangel an geeigneten Baustoffen in jeder Beziehung möglichste Sparsamkeit geübt wurde. Die Wagen zeigen daher verhältnismäßig knappe Abteillängen von 1900 mm in der 2. Kl. und 1560 mm in der 3. Kl. Die Seitengänge sind 780 mm breit. In den Wagen 1./2. Kl. sind entgegen der früheren Anordnung die Abteile 1. Kl. in die Mitte des Wagens gelegt, um den Reisenden 1. Kl. mit Rücksicht auf den höheren Fahrpreis auch den hinsichtlich des Wagenlaufs günstigsten Platz einzuräumen. Die Ausstattung der Innenräume ist in möglichst einfacher Weise ausgeführt. Sämtliche Beschläge sind aus

Eisen hergestellt. An Stelle der Lüftung durch Oberlichtfenster sind in dem Tonnendach Wendlerluftsauger angebracht, die mit einer in das Wageninnere herabhängenden Zugstange bedient werden.

Die im Laufe der Jahre gesteigerten Ansprüche der Reisenden an erhöhte Bequemlichkeit sowie die Notwendigkeit, durch eine ansprechende Ausgestaltung des Wageninneren den Wettbewerb gegenüber ausländischen Eisenbahnen und inländischen Kraftverkehrsunternehmungen erfolgreich aufzunehmen, führten bei der Bauart 1926 zu erheblichen Änderungen der Grundrisse und der Inneneinrichtung. Die Abteile aller Klassen sowie die Vorräume an den Wagenenden sind geräumiger gehalten. Die Abteillängen betragen bei der 1. Kl. 2250 mm in den nur die 1. Kl. führenden Wagen, 2100 mm in den Wagen 1./2. Kl., bei der 2. Kl. 1970 mm, bei der 3. Kl. 1600 mm (Abb. 1a, b, Taf. 2). Die in den früheren Grundrissen noch enthaltenen Halbabteile sind zu vollen Abteilen ergänzt und damit die Platzzahlen entsprechend erhöht worden. Es enthalten die Wagen 1. Kl. 7 Abteile zu je 4 Plätzen = 28 Plätze, die Wagen 1./2. Kl. 2 Abteile 1. Kl. zu je 4 Plätzen und 6 Abteile 2. Kl. zu je 6 Plätzen = 44 Plätze und die Wagen 3. Kl. 10 Abteile zu je 8 Plätzen = 80 Plätze.

Die Innenräume der Abteile und Seitengänge sind durch Einbau von Scheindecken erheblich verbessert worden. Gleichzeitig dienen diese Scheindecken zur Verkleidung der Lüftungskästen, die in dem Hohlraum zwischen Blechdach und Scheindecke untergebracht sind und durch ihre um die Beleuchtungskörper angeordneten Lüftungsschlitze eine günstigere Entlüftung der Abteile an der höchsten Stelle der Abteildecke ermöglichen (Abb. 9).

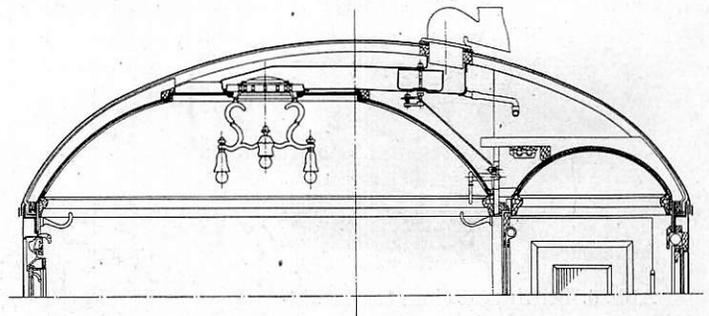


Abb. 9. Deckenschnitt eines Ganzstahl-D-Zugwagens.

Besonderer Wert wurde auf eine gediegene Ausstattung der Abteile gelegt. Vor allem die Abteile 1. Klasse haben eine von den bisherigen Mustern erheblich abweichende Ausstattung erhalten, deren endgültige Gestaltung erst nach Ausführung und Erprobung mehrerer von namhaften Architekten entworfenen Musterabteile festgelegt wurde. Durch bequeme, mit resedagrünem Plüsch bezogene Polsterung mit Auflegkissen, durch Holzausstattung in Mahagoni, blanke Beschläge aus Rotguß, in lebhaften Farben gehaltene Teppiche, gehäkelte Kopfschutzdecken und neuartige Beleuchtungskörper wurde ein vornehm und behaglich wirkendes Abteil geschaffen, das den verwöhntesten Ansprüchen gerecht werden konnte. Auch der vor den Abteilen 1. Kl. liegende, durch zwei besondere Pendeltüren abgeschlossene Teil des Seitenganges erhielt eine den Abteilen angepaßte, hochwertigere Ausstattung (Abb. 10).

In den Abteilen 2. Klasse und den zugehörigen Seitengängen sind ebenfalls Verbesserungen durch Einführung einer neuen Seitenwandtapede sowie Anwendung von Rotguß für alle Beschläge geschaffen worden. Auch in den Wagen 3. Klasse wird, abgesehen von den Gepäcknetzstützen, nur noch Rotguß für die Beschläge verwendet (Abb. 11 und 12).

Sämtliche Abteilstenfenster wurden als Schiebefenster mit Kniehebelausgleichvorrichtungen ausgebildet. Die Schiebeporhänge wurden durch Rollvorhänge ersetzt.

Als Heizung ist die neueste Umlaufdampfheizung eingebaut. Bei diesem Heizsystem wird der von der durchgehenden Hauptdampfleitung entnommene Dampf nach Durchströmen eines Dampfeinlaßreglers in entspanntem und erwärmtem Zustand in ein in sich geschlossenes Rohrnetz geleitet und dort durch Wiedereinführung der am Ende des Rohr-

netzes noch verbliebenen Dampfreste in einem weiteren Umlauf vollständig verbraucht. Die in den Wagen der Bauart 1924 nur an einer Stelle im Seitengang vorgesehene Regelungsmöglichkeit der Dampfheizung wurde wieder aufgegeben. Dafür ist in jedem Abteil eine mit drei Stufen versehene Regelvorrichtung angebracht, deren Bedienungshebel leicht auffindbar und allseitig zugänglich am Fensterkonsol angeordnet ist. Hierdurch wird den Reisenden die Möglichkeit gegeben, die im Seitengang vom Personal an der Hauptstelleneinrichtung festgelegte

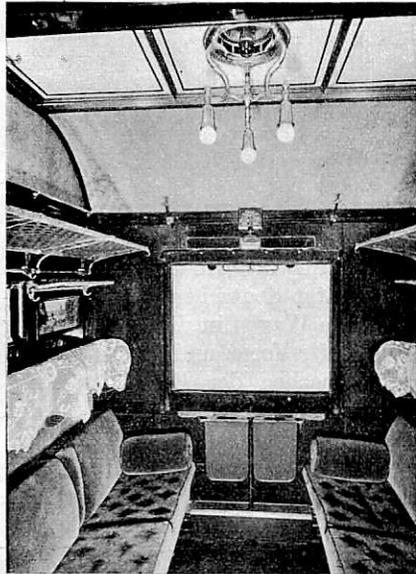


Abb. 10. Abteil 1. Klasse eines Ganzstahl-D-Zugwagens.

Grundeinstellung der Heizung in jedem Abteil nach eigenem Ermessen innerhalb bestimmter Grenzen zu beeinflussen.

Die Ausrüstung der Wagen wurde durch einen Verbandschrank vervollständigt, der zusammen mit dem Feuerlöscher und dem Kasten für Beil und Säge an einem Seitengangende

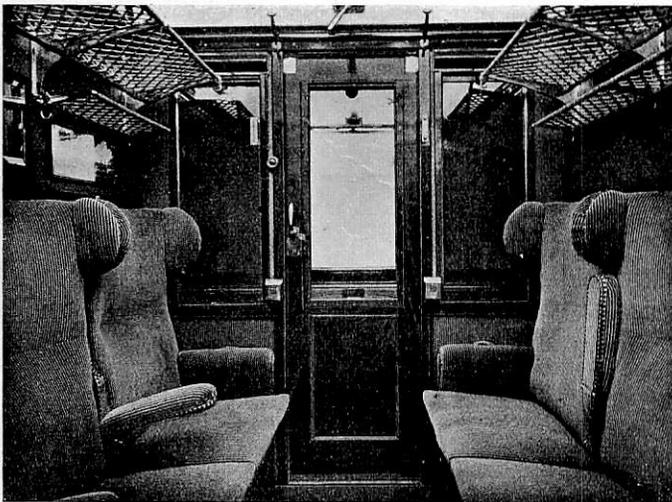


Abb. 11. Abteil 2. Klasse eines Ganzstahl-D-Zugwagens.

an leicht erreichbarer Stelle eingebaut ist. Der entsprechende Raum am anderen Ende des Seitenganges ist als Schrank ausgebildet, in dem die Schalttafel und der Regler für die elektrische Beleuchtung sowie die erforderlichen Ersatzteile einschließlich der Notlampen untergebracht werden.

Besondere Aufmerksamkeit ist der Ausstattung der Aborte gewidmet worden, um den neuzeitlichen Ansprüchen auf hygienischem Gebiete soweit als möglich zu entsprechen. Weißlackierte Wände, vernickelte Beschläge, Vermeidung aller überflüssigen Ecken und Winkel erleichtern die Reinigung.

Ein neuartiger, mit dem Abortdeckel zwangsläufig verbundener Spülhahn regelt die Abgabe der Spülwassermenge. Auch das Waschwasser wird durch einen für diesen Zweck besonders entworfenen Hahn in abgegrenzten Mengen abgegeben, so daß ein wirtschaftlicher Verbrauch des gegen früher außerdem beinahe verdoppelten Wasservorrats (~1000 l je Wagen)

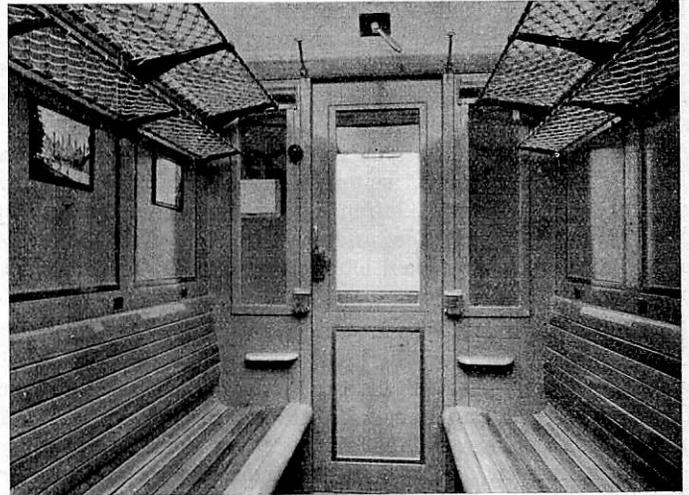


Abb. 12. Abteil 3. Klasse eines Ganzstahl-D-Zugwagens.

sichergestellt ist. Als besondere Annehmlichkeit für die Reisenden stehen flüssige Seife und Stoffhandtücher zur Verfügung (Abb. 13).

Alle Wagen haben Kunze-Knorr-Schnellbremse (KKS-Bremse) erhalten.

Es sei noch besonders darauf hingewiesen, daß bei den Ganzstahlwagen in der Innenausstattung von der Verwendung von Stahlblech für Wandbekleidungen, Wände und Türen mit Ausnahme der Stahlblechdecken, bewußt abgesehen worden ist. Das Stahlgerippe allein bietet eine so ausreichende Gewähr für die Festigkeit des Wagenkastens, daß eine weitere Verstärkung durch stählerne Einbauten nicht notwendig erscheint. Auch wirkt Holz in höherem Maße isolierend gegenüber Geräuschen und Temperaturunterschieden als Stahlblech.

Bei Einbau von echten Hölzern läßt sich zudem eine wohnliche, auf den Reisenden angenehm wirkende Ausstattung erreichen, die bei Verwendung von Stahl selbst bei sorgfältiger Behandlung mit geeigneten Farbanstrichen niemals zu erzielen ist. Aus Gründen der Verkehrswerbung wird daher bei der Deutschen Reichsbahn an einer hochwertigen Holzausstattung festgehalten.

Die D-Zugwagen der Lieferungen 1928 und 1929 stimmen bezüglich der Ausstattung in allen wesentlichen Punkten mit denen der Bauart 1926 überein (Abb. 2a—c, Taf. 2).



Abb. 13. Abort eines Ganzstahl-D-Zugwagens.

Die Inneneinrichtung der Abteile wurde ohne Änderung übernommen, als weiteres Ausstattungsstück ist in jedem Abteil ein Thermometer hinzugekommen. In den Aborten wurden an den Wasserhähnen einige kleinere Verbesserungen vorgenommen, außerdem sind alle Beschlagteile in den Aborten aus einer hellen polierten Nickel-Sondermessinglegierung hergestellt worden, die im Gebrauch nicht, wie vernickelte Teile, durch Abnutzung gelb und unansehnlich wird. Fensterausgleichvorrichtungen sind auch an den Eingangsdrehtüren angebracht. Außerdem wurden die Schließbleche dieser Türen mit doppelten Rasten versehen, um ein Aufspringen nicht völlig geschlossener Türen zu verhindern und damit Unfällen vorzubeugen. Als Übergangsbrücke wurde eine neue Ausführung mit federnder, seitenverschiebbarer Brückenzunge gewählt, durch die ein Klaffen der Brückenenden bei starken Abweichungen des Pufferstandes vermieden und damit eine beim Betreten der Brücken häufig auftretende Gefahrenquelle beseitigt wird.

Die D-Zugwagen der Lieferung 1930 erhielten auf Grund der in der Zwischenzeit durchgeführten Betriebsversuche an Stelle dieser seitenverschiebbaren Übergangsbrücken Drehbrücken, deren bewegliche Brückenzunge um zwei Drehpunkte mit Lenkern geführt wird. Diese Ausführung genügt allen Forderungen des In- und Auslandsverkehrs und gewährleistet eine größtmögliche Brückenbreite und damit eine weitgehende Sicherheit für die Reisenden beim Überschreiten der Brücken.

Auch die D-Zugwagen der Lieferung 1931 zeigen gegenüber denen der Vorlieferung im allgemeinen keine Änderung. Mit Rücksicht auf Erfahrungen im Betriebe und zur Vereinfachung der Überwachung und Unterhaltung wurden die bisher oberhalb der Scheindecken des Seitenganges im Dachraum verlegten Verbindungs- und Füllleitungen für die Wasserbehälter in die an der Seitengangwand entlanglaufende Heizrohrverkleidung verlegt. Schäden an diesen Leitungen können nunmehr schnell aufgefunden und beseitigt werden.

Die Ausstattung der Wagen 3. Kl. dieser letzten Lieferung wurde in ihrem Gesamteindruck wesentlich freundlicher gestaltet durch Verwendung von eichenen, naturlackierten Furnieren als Wandbekleidung für Abteilmittelnwände und Seitengangwände. Hierdurch wird der früher vielleicht etwas stark ins Auge fallende Unterschied der mit Ölfarbe gestrichenen Abteile 3. Kl. gegenüber den Abteilen der Polsterklassen sehr zum Vorteil der 3. Kl. gemildert.

Sonder-D-Zugwagen.

Als eine Sondergruppe von D-Zugwagen wurden 1928 eine Reihe von Fahrzeugen für den „Rheingoldzug“ gebaut, der aus Salon-Speisewagen besteht und als erster deutscher Luxuszug den internationalen Durchreiseverkehr von Holland nach der Schweiz bedienen und durch seine Führung entlang den landschaftlich schönsten Rheinufern auch für den Reiseverkehr innerhalb Deutschlands werben soll. Die hierfür entworfenen Sonderwagen sind mit allen technischen Neuerungen der D-Zugwagen der Regelbauart ausgerüstet (Abb. 14); sie sind Ganzstahlwagen, enthalten Scheindecken, eingebaute Lüftung, Fenster mit Ausgleichvorrichtungen, neuzeitliche Abortausrüstung, elektrische Beleuchtung, elektrische Heizeinrichtungen für Gleich- und Wechselstrom und Dampfheizung. Ferner sind elektrische Ventilatoren, elektrische Klingelleitungen und Warmwasserbereitung mit Dampf oder Elektrizität in den Aborträumen vorgesehen.

Die Fahrzeuge sind Eigentum der Deutschen Reichsbahn, die Bewirtschaftung wird von der Mitropa übernommen, die auch das zur Bedienung der Reisenden erforderliche Personal stellt.

Die Wagen sind mit einer Gesamtlänge über Puffer von 23 500 mm und einem Drehzapfenabstand von 16 180 mm die größten Personenfahrzeuge der Deutschen Reichsbahn. Ihr durchschnittliches Gewicht beträgt bei Wagen mit Küche 54 t und bei Wagen ohne Küche 52 t (Abb. 1a—c, Taf. 3).

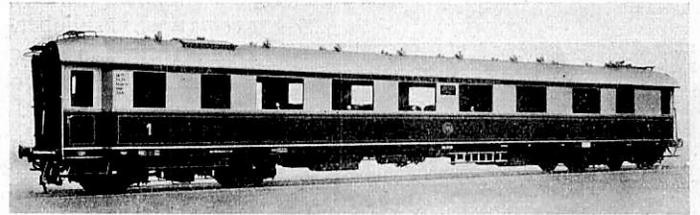


Abb. 14. Rheingoldwagen 1. Klasse.

Die architektonische Ausstattung der Innenräume ist nach verschiedenen Entwürfen namhafter deutscher Künstler ausgeführt. Es bestehen daher in den Wagen in dieser Beziehung mannigfache Unterschiede in Stoff, Form und Farbe.

Um den verschiedenen Wünschen der Reisenden möglichst weitgehend gerecht werden zu können, sind in den Wagen 1. Kl. sowohl größere Saalräume, als auch kleinere Abteile zu vier und zu zwei Plätzen vorgesehen, und zwar sowohl für Raucher als auch für Nichtraucher. Den Reisenden dieser Klasse stehen als Sitzplätze besonders sorgfältig gearbeitete, verschiebbare Einzelpolstersessel zur Verfügung, die mit hohen Rückenlehnen versehen sind, und ein bequemes Ausruhen gestatten. Die Sessel sind in den Saalräumen an den Längswänden zu je zwei einander gegenüber an einem Tisch angeordnet (Abb. 15). Breite Fenster gewähren von allen Plätzen einen freien Ausblick. Zwischen den Tischreihen bleibt reichlich Raum für einen geräumigen Mittelgang. In den Abteilen zu vier Plätzen sind die gleichen Sessel um einen Mittel-tisch gruppiert, die kleinen zweiplätzig-Abteile haben eine ähnliche Anordnung erhalten.

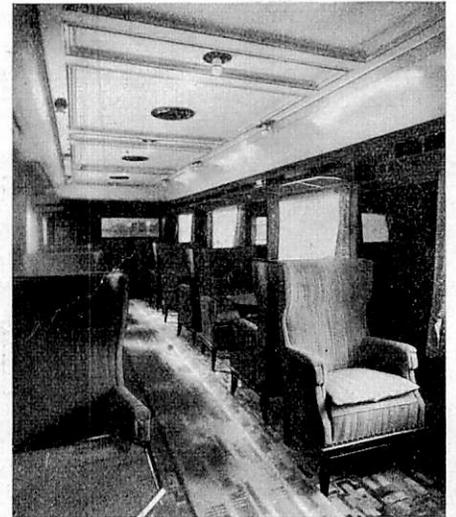


Abb. 15. Inneneinrichtung eines Rheingoldwagens 1. Klasse.

Die Wagen der 2. Kl. enthalten je zwei Saalräume. Als Sitzplätze sind fest eingebaute, bequeme Polstersessel mit hoher Rückenlehne vorgesehen, die an der einen Wagenlängswand zu je vier Plätzen an einem Fenstertisch, an der gegenüberliegenden Wagenlängswand zu je zwei Plätzen ebenfalls an einem Tisch angeordnet sind. Zwischen den Tischreihen liegt der Durchgang (Abb. 16). Die Anzahl der Sitzplätze in den Rheingoldwagen beträgt in den Wagen 1. Kl. ohne Küche 28 Plätze und 1. Kl. mit Küche 20 Plätze, in den Wagen 2. Kl. ohne Küche 41 Plätze und 2. Kl. mit Küche 29 Plätze.

Als weitere Ausstattung erhält jeder einzelne Wagen einen besonderen Gepäckraum, der zur Unterbringung von Handgepäck, umfangreicheren Kleidungsstücken sowie Stöcken und Schirmen der Reisenden eingerichtet ist. Außerdem steht jedem Reisenden an seinem Sitzplatz ein Gepäcknetz, in der 2. Kl. dazu noch ein Raum zwischen den Rückenlehnen

und unter den Sitzen der festen Polstersessel zur Ablage kleinerer Gepäckstücke zur Verfügung.

Die in den Wagen vorgesehenen Aborte mit Waschgelegenheit entsprechen in ihrer Ausstattung allen hygienischen Anforderungen. Den Reisenden steht außer Handtüchern und Seife warmes und kaltes Waschwasser zur Verfügung.

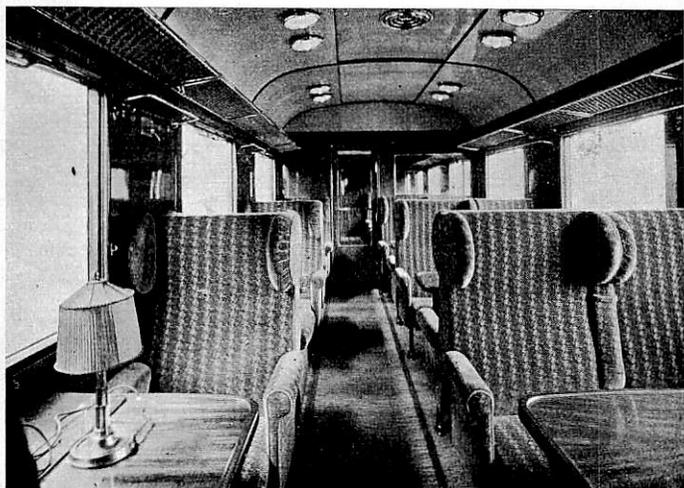


Abb. 16. Inneneinrichtung eines Rheingoldwagens 2. Klasse.

Speisen und Getränke werden den Reisenden in den Salon-Speisewagen an ihren Sitzplätzen serviert, so daß der oft beschwerliche Weg zum Speisewagen in diesen Zügen fortfällt.

In allen Wagen ist besonderer Wert auf eine reichliche Ausstattung mit elektrischer Beleuchtung gelegt, deren Gesamtwirkung noch durch die auf jedem Tisch aufgestellten, einzeln bedienbaren Tischlampen erhöht wird. Ausreichende Lüftung wird durch zahlreiche Deckenluftsauger sichergestellt. In den Saalräumen sind zudem noch kräftig wirkende, elektrische Deckenventilatoren vorgesehen.

Sämtliche Fahrzeuge sind mit allen für den internationalen Durchgangsverkehr zwischen Holland, Deutschland und der Schweiz erforderlichen Sondereinrichtungen versehen. Auch äußerlich sind die Wagen aus dem übrigen Wagenpark der Reichsbahn durch die besondere Behandlung des Anstrichs herausgehoben. Die Wagenlängswand ist unterhalb der Fensterbrüstungsleiste violett gehalten, darüber liegt die Fensterfront mit cremefarbigem Anstrich, den ein wiederum violett gehaltener Streifen von dem silbergrauen Wagendach trennt. Lang durchlaufende goldene Absatzlinien verleihen der Gesamtansicht ein vornehmes Gepräge. Um die einheitliche Note des Rheingoldzuges zu wahren, erhalten auch die Gepäckwagen violetten Anstrich.

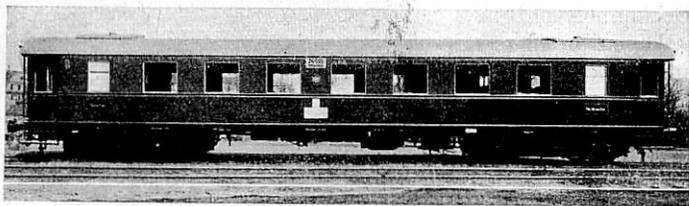


Abb. 17. Sonder-D-Zugwagen für bayerische Gebirgsstrecken.

Als weitere Sonderbauart sind noch die Personenwagen für Schnellzüge der bayerischen Gebirgsstrecken zu erwähnen (Abb. 17). Auch diese Wagen sind Ganzstahlfahrzeuge, sie lehnen sich im Gerippebau an die neueste Bauart der später erwähnten, leichten, vierachsigen Durchgangspersonenzugwagen an. Die größte Länge über Puffer beträgt 20835 mm, die Drehzapfenentfernung 13185 mm (Abb. 2a, b,

Taf. 3). Die Wagen haben verteilte elektrische Deckenbeleuchtung, Dampfheizung und elektrische Heizung, Scheindecken mit eingebauter Entlüftung und herablaßbare Seitenwandfenster mit Kniehebelausgleichvorrichtung.

Entsprechend der Bestimmung als Aussichtswagen sind in zwei Saalräumen reihenweise doppelte Sitzbänke auf die beiden Längsseiten verteilt, so daß in der Mitte ein Durchgang frei bleibt. In einer Reihe sind in der 2. Kl. 1 + 2 Sitzplätze, in der 3. Kl. 2 + 2 Plätze angeordnet. Die Wagen 2. Kl. fassen 46 Plätze, die Wagen 3. Kl. 80 Plätze.

Zur künstlerischen Ausgestaltung der Innenräume sind Edelhölzer verwendet worden. Äußerlich wurde die verkehrswerbende Bestimmung dieser Sonderwagen durch einen dunkelblauen, mit goldenen Absatzlinien verzierten Anstrich zum Ausdruck gebracht.

Entwicklung der Personenzugwagen.

Etwa gleichlaufend mit den Fortschritten auf dem Sondergebiet der D-Zugwagen bewegt sich auch die Entwicklung der Abteil- und Durchgangspersonenzugwagen.

Noch während des Bestehens des Einheitsausschusses wurden 1923 die ersten stählernen zweiachsigen Abteilwagen 4. Klasse in Auftrag gegeben. Die Grundrißanordnung entsprach den Vorschlägen des Einheitsausschusses. Untergestell und Kastengerippe sind wie bei D-Zugwagen aus Walzprofilen hergestellt, die Bekleidungsbleche sind mit dem Gerippe vernietet. Das zunächst noch mit Holz gedeckte Tonnendach sowie Wendlerluftsauger finden auch hier Verwendung.

Um eine wirtschaftliche Fertigung zu erzielen, wurde erstmalig 1925 bei einer Gruppe von stählernen Abteilwagen 4. Kl. der bedingte Austauschbau versuchsweise eingeführt. Es war gefordert, daß Fenster, Türen und deren lichte Öffnungen sowie bestimmte Einzelteile der Inneneinrichtung innerhalb festgelegter Toleranzen gearbeitet sein mußten, damit die bei verschiedenen Firmen hergestellten Einzelteile bei der Zusammenbauart ohne Nacharbeit eingesetzt werden konnten.

Die günstigen Erfahrungen mit diesem bedingten Austauschbau führten 1927 dazu, den damals noch verhältnismäßig großen Bedarf an zweiachsigen Wagen 4. Kl. als restlose Austauschbauanfertigung herstellen zu lassen. Da für diesen Zweck eine Neuaufstellung sämtlicher Zeichnungen erforderlich war, wurden insbesondere die Durchgangspersonenzugwagen eingehend durchgearbeitet und dabei die bereits bei D-Zugwagen durchgeführten Verbesserungen in entsprechend abgeänderter Form auf diese Wagen übertragen (Abb. 18 und

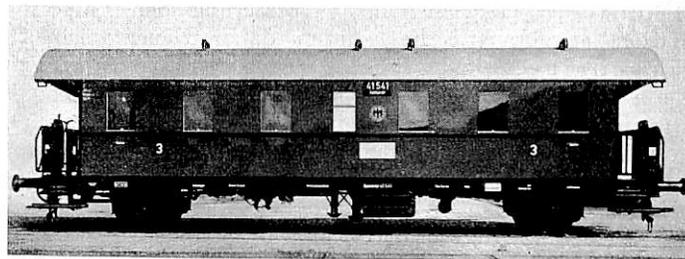


Abb. 18. Einheits-Durchgangswagen 3. Klasse. Ganzstahlbauart.

Abb. 1a, b, Taf. 4). So erhielten die Wagen Blechtonnendach, Scheindecken, elektrische Beleuchtung und einen helleren, freundlicher wirkenden Innenanstrich. Die Scheindecken sind mit verteilter, elektrischer Beleuchtung und mit Deckenlüftung durch Lüftungskästen ausgerüstet, so daß die Decke von tief herabhängenden Beleuchtungskörpern und Lüftergestängen freigehalten ist.

Bei der folgenden Wagenbeschaffung des Jahres 1928 wurde der Austauschbau auch auf die Durchgangswagen der übrigen Gattungen ausgedehnt. In den Abteilen der 2. und 3. Klasse gelang eine besondere Raumwirkung durch tragfähige Ausbildung der halbhohen Zwischenwände mit unmittelbarem Anschluß an das Traggerippe der Seitenwände, so daß die senkrechten, den Raum durchschneidenden Verbindungsstreben zur Decke entfallen konnten. Durch Auskleidung der Wandflächen in der 2. Kl. mit der bei D-Zugwagen bereits eingeführten Einheitstapete sowie durch Wahl hellerer Farben zum Anstrich der Wände in den Abteilen 3. Kl. wurde das Aussehen der Inneneinrichtung vorteilhaft gehoben.

Die Abschaffung der 4. Kl. in den Personenzügen hatte 1929 einen dringenden Bedarf an Wagen 2. Klasse zur Folge. Die Wagen wurden als Ganzstahlwagen gebaut. Sie unterscheiden sich in der Ausbildung des Wagenkastens von den übrigen zweiachsigen, im Austauschbau hergestellten Durchgangspersonenwagen nur durch die geschlossenen, mit Eingangsdrehtüren ausgerüsteten Vorbauten an Stelle der sonst üblichen offenen Bühnen (Abb. 19). Die Inneneinrichtung ist ohne

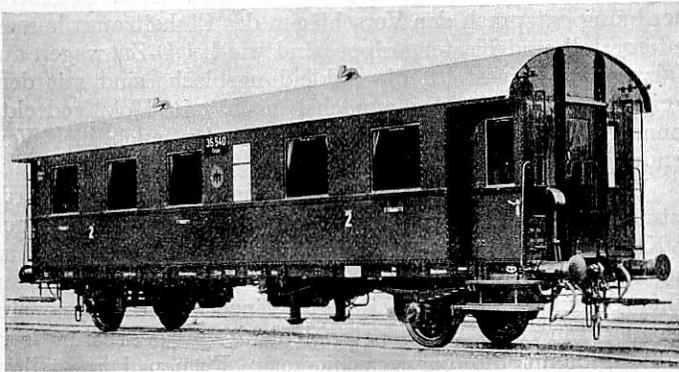


Abb. 19. Durchgangswagen 2. Klasse der Bauart 1929.

Änderung von den Abteilen 2. Kl. der Bauart 1928 übernommen worden. Auch diese Wagen erhielten Fenster mit Kniehebelausgleichvorrichtungen.

Die neuen zweiachsigen Personenwagen mit verbesserter Inneneinrichtung und elektrischer Beleuchtung wurden nach ihrer Anlieferung in den Personenzügen verwendet. Da der Lauf dieser zweiachsigen Wagen und auch der der älteren dreiachsigen Wagen bei höheren Geschwindigkeiten nicht mehr überall befriedigte, und da ferner die Geschwindigkeit ständig erhöht wurde, erschien eine Verbesserung der Laufeigenschaften angebracht. Es wurden daher Neuentwürfe für vierachsige, leichte Durchgangspersonenwagen 2. und 3. Kl. mit zwei Drehgestellen aufgestellt, die zunächst für Eilzüge, dann aber auch im Rahmen der Beschaffung mehr und mehr für Personenzüge auf Hauptstrecken vorgesehen sind, während die Verwendung der zweiachsigen Wagen in Zukunft zur Hauptsache auf die Personenzüge auf Nebenstrecken beschränkt bleiben soll.

Als Wagenkastenform wurde der Durchgangswagen gewählt, dessen Gerippeaufbau in Anlehnung an die Bauweise der Ganzstahl-D-Zugwagen ausgebildet wurde. Mit Rücksicht auf die von dem Fahrzeug zu leistenden geringeren Geschwindigkeiten gegenüber den D-Zugwagen konnten jedoch die Walzprofile erheblich leichter gehalten werden, so daß bei möglichst hoher Festigkeit des Wagenkastens ein verhältnismäßig geringes Eigengewicht erzielt werden konnte. Die Wagen zeigen in ihrem Äußeren etwa die Form der D-Zugwagen (Abb. 20). Ihre Länge über Puffer beträgt je nach

Gattung 20960 bzw. 21700 mm. Die Stirnwände sind mit Rammkonstruktion versehen und mit Schiebetüren ausgerüstet. Im Innern enthalten die Wagen zwei Großräume und ein in Wagenmitte gelegenes, durch Querwände abgetrenntes, geschlossenes Abteil, das für Sonderzwecke, z. B. als Frauenabteil, vorgesehen werden kann.

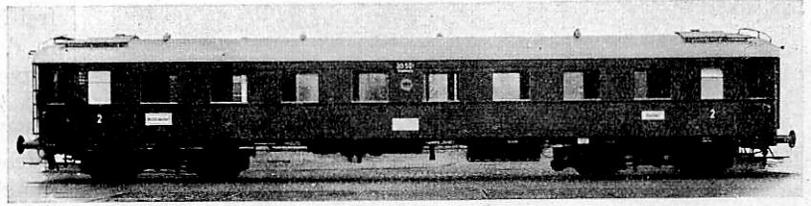


Abb. 20. Vierachsiger Durchgangspersonenzugwagen 2. Klasse.

Nachdem mit den zunächst erbauten Probewagen mit voneinander abweichender Grundrißeinteilung im Versuchsbetrieb ausreichende Erfahrungen gesammelt waren, konnte Ende 1929 die für vierachsige Personenwagen in Zukunft zu wählende Sitzanordnung festgelegt werden (Abb. 3 und 4, Taf. 4). Danach erhalten die Wagen beider Klassen einen Mittelgang, zu dessen Seiten in der 2. Kl. Einzelpolstersitze bzw. dreisitzige Polsterbänke (Abb. 21), in der 3. Kl. zweisitzige bzw. dreisitzige Bänke angeordnet sind (Abb. 22). Die Sitzabteilungen sind durch halbhohe, mit Gepäcknetzen versehene

Zwischenwände voneinander getrennt. Das Fassungsvermögen beträgt in den Wagen 2. Kl. 62 Plätze, in den Wagen 3. Kl. 84 Plätze und in den Wagen 2./3. Kl. 23 Plätze in der 2. und 51 Plätze in der 3. Kl. Die Wagen erhalten verteilte, elektrische

Deckenbeleuchtung, Deckenentlüftung mit Lüftungskästen, breite Fenster mit Kniehebelausgleichvorrichtungen und Rollvorhänge. Die übrige Ausstattung der 2. und 3. Kl. ist im wesentlichen von den letzten Bauarten der entsprechenden zweiachsigen Durchgangswagen übernommen. Zur Erhöhung der Bequemlichkeit ist unter jedem Fenster noch ein kleiner Ablegetisch angebracht.

Besonderer Wert wurde auch bei diesen Wagen auf eine neuzeitliche Ausstattung der an jedem Wagenende liegenden,



Abb. 21. Inneneinrichtung der vierachsigen Durchgangspersonenzugwagen 2. Klasse.

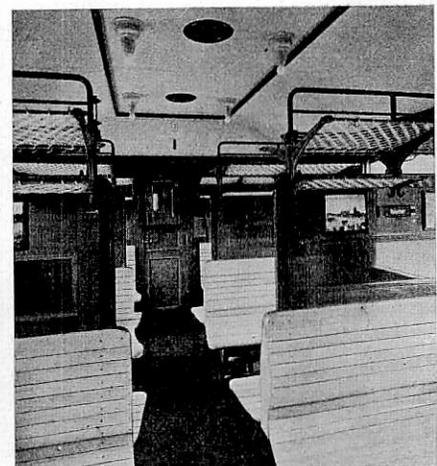


Abb. 22. Inneneinrichtung der vierachsigen Durchgangspersonenzugwagen 3. Klasse.

vom Vorraum aus zugänglichen Aborträume gelegt, die in fast allen Punkten der in D-Zugwagen verwendeten Ausführung gleichen. Da jedoch die Eilzüge nicht von Dienstfrauen begleitet werden, sind an Stelle der Einzelhandtücher Rollhandtücher vorgesehen (Abb. 23).

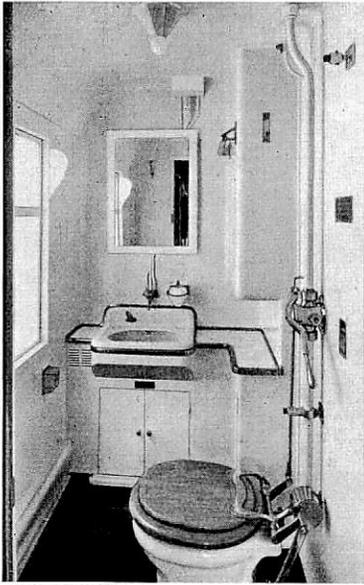


Abb. 23: Abort in den vierachsigen Durchgangspersonenzugwagen.

Zur Erleichterung und Beschleunigung des Aus- und Einsteigens sind die Wagen mit geräumigen Vorräumen ausgerüstet, in denen sich die Reisenden schon vor dem Halten des Zuges mit ihrem Gepäck sammeln und zum Aussteigen bereithalten können. Mit Rücksicht auf das größere Fassungsvermögen der 3. Klasse-Abteile sind die Vorräume vor der 3. Kl. sowohl in den nur die 3. Kl. führenden Wagen wie auch in den Wagen 2./3. Kl. entsprechend größer gehalten und mit doppelten Einsteigtüren versehen.

Entwicklung der Drehgestelle.

Die Personenwagen können trotz ihrer durch die Ganzstahlbauweise erzielten hohen Unfallsicherheit und ihrer bequemen, hochwertigen Innenausstattung nur dann den weitgehendsten Ansprüchen der Reisenden voll genügen, wenn auch ein ruhiger Lauf gewährleistet werden kann.

Bei den D-Zugwagen wurde bis zum Jahre 1928 überwiegend das amerikanische Drehgestell mit 2150 mm Achsstand verwendet. Seine Hauptmerkmale sind: Abfederung des Wagenkastens durch eine in schrägen, später auch senkrechten Pendeln aufgehängte Wiege mit quer zur Wagenachse liegenden Doppellelliptikfedern; Abfederung des Drehgestellrahmens gegenüber den Achsen durch Schraubenfedern, die zwischen den auf den Achsbuchsen ruhenden Schwanenhalsträgern und den Drehgestellrahmen eingeschaltet sind. Daneben waren in geringerer Anzahl auch die preußischen Regeldrehgestelle in Gebrauch, deren Kastenabfederung im wesentlichen der der amerikanischen Drehgestelle gleicht, deren Achsfederung aber durch auf den Achsbuchsen ruhende Blatttrag- und Schraubenfedern erzielt wird.

Die Behandlung und Überwachung der amerikanischen Drehgestelle im Betriebe verursacht Schwierigkeiten. Die Schraubenfedern und die Wiegenfedern sind nicht nachstellbar, die Wiegenfedern liegen zum Teil verdeckt, so daß eine zuverlässige Überwachung im Betriebe erschwert ist. Die Auswechslung der Bremsklötze ist umständlich und zeitraubend. Der vorschriftsmäßige Pufferstand kann nur durch Verstellen der Wiegenpendel erreicht werden. Die hierdurch sich ergebende Änderung der Pendellänge beeinflusst durch die gleichzeitige Änderung der Rückstellkräfte den Wagenlauf und kann, besonders bei fehlerhafter, ungleichmäßiger Einstellung zu unruhigem Lauf führen.

Ein weiterer Mangel sind die ungefederten Massen der schweren Schwanenhalsträger, die insbesondere bei höheren Geschwindigkeiten starke dynamische Beanspruchungen des Oberbaues hervorrufen. Die Drehgestelle zeigen ferner infolge ihres geringen Achsstandes bei ungünstiger Belastung Neigung zum Schlingern. Lauftechnisch ergibt das ungedämpfte Feder-

system bei den kürzeren und leichteren Wagen der Holzbauart einen zwar in senkrechter Richtung etwas schwingenden, im ganzen aber weichen und durchaus befriedigenden Lauf.

Der Vergrößerung der Wagenabmessungen und der damit gleichlaufenden Erhöhung der Wagengewichte bei den Stahlwagen der Bauart 1926, der Änderung des Lastverhältnisses außerhalb und innerhalb der Drehzapfen, sowie der Erhöhung der Fahrgeschwindigkeiten schienen aber die amerikanischen Drehgestelle in ihrer bisherigen Ausführung zunächst nicht mehr gewachsen. Auf Grund eingehender Fahrversuche gelang es zwar durch Verkürzung der Wiegenpendel den Lauf der Drehgestelle so zu verbessern, daß Beanstandungen des Wagenlaufs nicht mehr zu befürchten waren. Die bei diesen Fahrversuchen gesammelten Erfahrungen führten aber doch zu einem neuen Drehgestell, das gegenüber den bisherigen Drehgestellen eine Reihe von Verbesserungen aufweist.

In dem Gedanken, die betrieblichen Mängel der amerikanischen Drehgestelle möglichst zu beseitigen, war im Anschluß an die Arbeiten des Einheitsausschusses der Entwurf eines neuartigen Drehgestells entstanden, das als „Görlitzer Drehgestell“ bezeichnet wird (Abb. 24). Neuartig ist insbesondere die Wagenkastenabfederung durch lange Blattfedern, die in Längsrichtung neben den äußeren Langträgern des Drehgestellrahmens angeordnet sind. An den Bunden

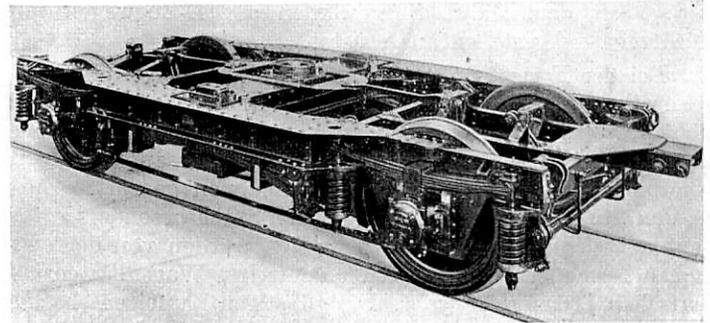


Abb. 24. Görlitzer Drehgestell (Bauart II, schwer) für D-Zugwagen.

dieser Federn ist die Wiege mit Pendeln von unveränderlicher Länge aufgehängt. Die Achsfederung durch Blatttragfedern ist von den Regeldrehgestellen übernommen worden. Das Rahmengestell ist aus Gründen einfacher Herstellung nur aus Profilleisen zusammengesetzt und kann infolge der sehr günstigen Lastübertragung durch die längsgerichteten Wiegenfedern verhältnismäßig leicht gehalten werden. Der Achsstand ist auf 3600 mm vergrößert.

Schon äußerlich sind bei dieser Drehgestellbauart folgende Verbesserungen erkennbar:

Klarer, einfacher Aufbau, gute Übersichtlichkeit und leichte Zugänglichkeit aller Teile, Einstellbarkeit aller Federn, Unveränderlichkeit der Pendel, größere geführte Länge, einfache Herstellung.

Im Jahre 1924 wurden zunächst versuchsweise einige D-Zugwagen mit derartigen, als Bauart „Görlitz I“ bezeichneten Drehgestellen in Betrieb gegeben. Die Erfahrungen waren im allgemeinen günstig, jedoch wurde der weiche Lauf der amerikanischen Drehgestelle in senkrechter Richtung zunächst nicht erreicht, offenbar deshalb nicht, weil das nur aus Blattfedern bestehende Federsystem sich infolge zu großer innerer Reibung gegenüber kurzen Stößen zu träge verhielt. Der erste Entwurf wurde daher einer grundlegenden Durcharbeitung unterzogen, die Achsfederung wurde durch Hinzufügen von ungedämpften Kegelstumpffedern verbessert, der Rahmenbau an besonders beanspruchten Stellen verstärkt. Für Dämpfung von Stoß- und Schallübertragung wurden

außerdem Drehpfannen und Wiegengleitstücke mit Gummipfannen unterlegt. Eine Reihe der Neubauwagen der Bauart 1926 wurde mit diesen als „Görlitz II“ bezeichneten Drehgestellen ausgerüstet. Sie zeigten gegenüber den amerikanischen Drehgestellen erheblich bessere Laufeigenschaften, befriedigten aber noch nicht restlos.

Inzwischen war Ende 1927 mit den Entwurfsarbeiten für den Rheingoldzug begonnen worden. Für diese Wagen mußte ein Drehgestell gefunden werden, das einen in jeder Beziehung tadellosen, dem verkehrswerbenden Zweck dieses Luxuszuges Rechnung tragenden Wagenlauf verbürgte. Es fanden daher eine große Zahl von Fahrversuchen mit Drehgestellen der verschiedensten Bauarten statt, die zum Teil von führenden Firmen der deutschen Wagenbauanstalten besonders entwickelt, gebaut und für die Versuche zur Verfügung gestellt waren. Die besten Ergebnisse wurden mit den Drehgestellen der Bauart „Görlitz II“ erzielt, die im Laufe der Versuche durch Abänderung der Pendellängen und Verwendung von zylindrischen Schraubenfedern mit quadratischem Stahlquerschnitt als Zusatzfederung zur Achsfederung so erheblich verbessert werden konnten, daß sie in waagerechter wie in senkrechter Beziehung allen berechtigten Ansprüchen an einen ruhigen Wagenlauf vollauf entsprachen. Der Rheingoldzug ist daher mit Drehgestellen der Bauart „Görlitz II“ ausgerüstet worden, die als Besonderheit noch mit Rollenlagern versehen sind. Seit dem Jahre 1928 werden alle D-Zugwagen mit Görlitzer Drehgestellen ausgerüstet.

Bei der Fortsetzung der Versuche mit Drehgestellen, die wegen ihrer außerordentlichen Vielseitigkeit im einzelnen hier nicht erörtert werden können, wurden auch die Erfahrungen ausländischer Eisenbahnen herangezogen und auf ihre Verwendbarkeit bei den deutschen Eisenbahnen geprüft. Zwei bei den Studienfahrten im Ausland sich durch besonders guten Lauf auszeichnende englische Bauarten wurden von der englischen Firma bezogen und unter deutschen Wagenkästen auf deutschen Strecken erprobt. Die günstigen Laufeigenschaften des Görlitzer Drehgestells konnten jedoch durch die englische Bauart nicht erreicht werden.

Ein weiterer Fortschritt in der Vereinfachung der Bauart wurde durch das Drehgestell „Görlitz III“ erzielt. Der an Pendeln aufgehängte Wiegenträger ist gänzlich fortgefallen. Der Wagenkasten ruht unter Vermittlung eines Querträgers unmittelbar auf den Wiegenfederbunden. Die erforderliche Querbeweglichkeit wird dadurch erreicht, daß die Wiegenfederenden in querverschieblichen Schaken an den senkrecht verstellbaren Federgehängen aufgehängt sind. Die Auflagerung des Wagenkastens unmittelbar auf den Wiegenfedern bietet den Vorteil, daß bei Schrägstellung des Wagenkastens beim Durchfahren von Gleisbögen die einseitige Beanspruchung der Kastenfederung in mäßigen Grenzen gehalten wird, da sich die Lage der Federn gegenüber der Schwerpunktsebene des Wagenkastens nicht ändert. Dagegen kann bei der Bauart „Görlitz II“ der in Pendeln hängende Wagenkasten bei der Fahrt durch eine Krümmung seitlich ausweichen, so daß sich Schwerpunktsebene des Kastens und Federebene gegeneinander verschieben und die einseitige Beanspruchung der Wiegenfedern infolgedessen wesentlich ungünstiger wird. Als weitere Vorteile der Bauart „Görlitz III“ gegenüber „Görlitz II“ sind die noch größere Einfachheit und das geringere Gewicht hervorzuheben. Die guten Laufeigenschaften sind bei der vereinfachten Kastenabfederung in keiner Weise gestört worden.

Die Einführung der stählernen vierachsigen Durchgangswagen für Personenzüge gab Veranlassung auch für diese Fahrzeuge ein geeignetes Drehgestell zu schaffen. Entsprechend dem geringeren Wagengewicht konnte eine leichtere Bauart gewählt werden. Wieder fanden umfangreiche Fahrversuche

mit verschiedenen Ausführungsformen statt, die sich zum Teil an die Regeldrehgestelle anlehnten, zum Teil aus der Görlitzer Bauart entwickelt wurden. Die besten Laufeigenschaften zeigte auch hier das Görlitzer Drehgestell. Es wurde entsprechend der Bauart III, aber mit leichterem Rahmen, kürzerem Achsstand von 3000 mm, nur je einer längsgerichteten und kürzeren Wiegenfeder an jeder Rahmenseite als Drehgestell „Görlitz III leicht“ für die vierachsigen Durchgangswagen allgemein vorgeschrieben (Abb. 25).

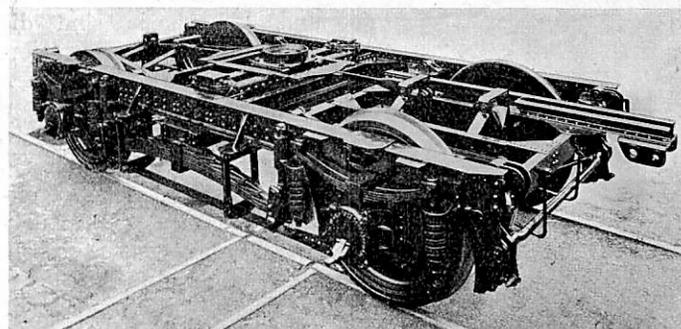


Abb. 25. Görlitzer Drehgestell (Bauart III, leicht) für vierachsige Durchgangspersonenzugwagen.

Stadtbahnwagen aus Stahl.

Die für den elektrischen Betrieb auf der Berliner Stadtbahn in den letzten Jahren beschafften Stadtbahnwagen müssen in ihrer zweckmäßigen Durchbildung für einen Stadtschnellverkehr als Sonderbauart von Personenzügen angesprochen werden (Abb. 26).

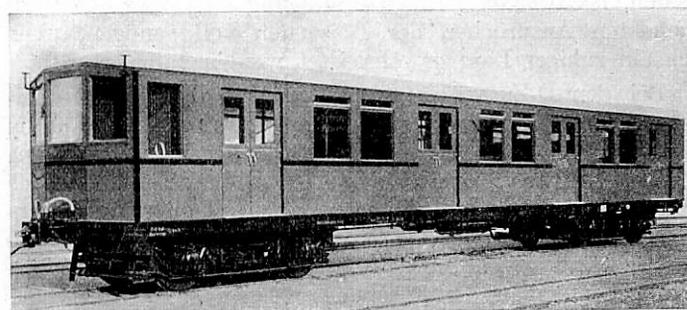


Abb. 26. Stadtbahnwagen in Stahlbauart.

Die Wagen sind als Trieb-, Steuer- und Beiwagen gebaut. Acht Wagen bilden einen Vollzug. Je zwei Wagen, d. h. Trieb- und Steuerwagen, bzw. Trieb- und Beiwagen, bilden als Viertelzug die kleinste Betriebseinheit. Sie sind durch eine feste Kurzkupplung mit Ringfedern verbunden. Zur Verbindung der Viertelzüge untereinander dient die gleichfalls mit Ringfedern ausgerüstete selbsttätige Scharfenbergkupplung, die auch die Luftleitungen selbsttätig kuppelt. Die Unterteilung in Viertel-, Halb- und Vollzüge bietet die Möglichkeit, sich weitgehend dem Verkehrsaufkommen anzupassen.

Die Wagen haben 16980 mm Kastenlänge, 2975 mm Kastenbreite und 11800 mm Drehzapfenabstand (Abb. 3a, b und 4a, b, Taf. 3). Sie sind mit zwei Drehgestellen von 2500 mm Achsstand ausgerüstet. Der Raddurchmesser beträgt 900 mm. Der größte Teil der Wagen besitzt Pendelrollenlager, der kleinere Teil Zylinderrollenlager.

Der Aufbau der Stadtbahnwagen entspricht dem der neuen Ganzstahlpersonenwagen. Auf geringes Gewicht ist wegen des im Stadtverkehr häufigen Anfahrens und Bremsens besonders geachtet worden. Untergestell, Seitenwände und Dach bilden ein geschlossenes Ganzes. Das Untergestell,

das aus Formeisen, Winkeln und Knotenblechen besteht, ist unmittelbar mit dem Kastengerippe verbunden. Die mit diesem vernieteten Seitenwände sind unter Verwendung von 2 mm starkem Bekleidungsblech als Tragwände ausgebildet, die Stirnwände bestehen gleichfalls aus 2 mm starken Bekleidungsblechen. Das Dach von 1,5 mm starkem Blech ist abweichend von dem der anderen neuen Personenwagen mit hochgewölbtem, eisernen Tonnendach sehr flach ausgeführt, weil das bereits festliegende Profil für die geplante Tunnelstrecke zur Verbindung der großen Berliner Fernbahnhöfe und der nördlichen mit den südlichen Vorortstrecken keine größere Höhe zuläßt.

Für die höchst beanspruchten Teile im Untergestell wie Lang-, Hauptquer- und Kopfträger sowie die Obergurte ist bei dem größten Teil der Wagen St 48 mit 1,5 % Siliziumgehalt und bei dem kleineren Teil St 52 mit Mangan-, Chrom- oder Molybdän- und Kupfergehalt verwendet worden. Die übrigen Bauteile der Stahlkonstruktion bestehen aus St 37.

Auch diese Konstruktion hat bereits bei einem Unfall ihre Festigkeit bewiesen. Obgleich der Wagenkasten durch das Abreißen der am Untergestell angebrachten Brems- und elektrischen Ausrüstungsteile stark beansprucht worden war, zeigte dieser keinerlei Formveränderung, so daß die in dem Wagen befindlichen Personen unverletzt blieben.

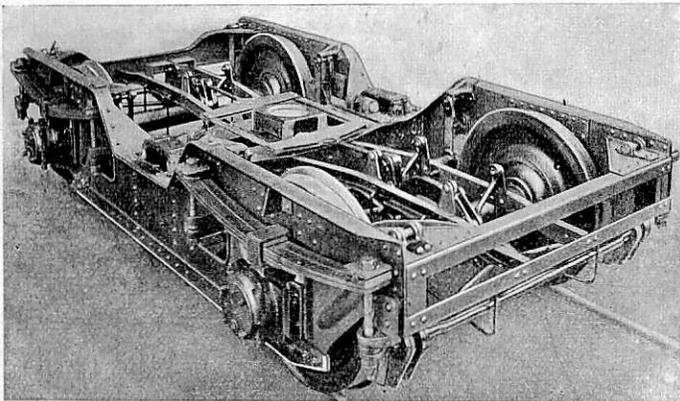


Abb. 27. Stadtbahnwagendrehgestell.

Der Wagenkasten lagert auf den beiden Drehgestellen in zwei Kugeldrehzapfen und vier seitlichen Gleitstücken. Die zweiachsigen Drehgestelle besonderer Bauart (Abb. 27) sind mit Wiegen-, Gleitstück- und Achsbuchsfedern ausgerüstet, haben also zur Erzielung eines möglichst ruhigen Wagenlaufs eine dreifache Abfederung wie die meisten Personenwagendrehgestelle. Die beiden Wiegefedern eines Drehgestelles liegen quer zur Fahrtrichtung. Die Wiege hängt in senkrechten Pendeln und besitzt nach jeder Seite 25 mm Spiel. Jedes Gleitstück wird durch zwei vierkantige Schraubefedern abgestützt. Das Wagenkastengewicht ist zu etwa 60 % auf die beiden Drehzapfen und zu etwa 40 % auf die vier Gleitstücke verteilt. Drehpfannen und Gleitstücke sind mit Gummi unterlegt, um Geräusche und Ersitterungen nach Möglichkeit vom Wagenkasten fernzuhalten. Die Drehgestellrahmen bestehen aus gepreßten Blechen aus St 42.

Außer dieser Sonderbauart für Stadtbahnwagendrehgestelle werden neuerdings auch Versuche mit Drehgestellen nach der bei Personenwagen jetzt allgemein eingeführten Bauart „Görlitz“ mit Kugel- bzw. Stufendrehzapfen durchgeführt, die für diesen Sonderzweck entsprechend ausgebildet sind.

Die Triebwagen enthalten bei insgesamt 60 Sitz- und 90 Stehplätzen ein großes Abteil 3. Kl. mit Querbänken für Personen und ein kleines Abteil 3. Kl. mit Längsbänken für die Beförderung von Post und Gepäck (Abb. 3a, b, Taf. 3), das

beim führenden Triebwagen als Dienstabteil dient. Die Steuer- und ein Teil der Beiwagen besitzen zwei gleich große Abteile 2. und 3. Kl. (Abb. 4a, b, Taf. 3), der andere Teil der Beiwagen nur 3. Kl. Die Steuerwagen haben in der 2. Kl. 29 Sitz- und 40 Stehplätze, in der 3. Kl. 32 und 40 Plätze, die Beiwagen in der 2. Kl. 33 und 43, in der 3. Kl. 32 und 42 Plätze. Die Beiwagen nur 3. Kl. haben 67 Sitz- und 85 Stehplätze.

Die Fahrgasträume sind mit Mittelgang und doppelseitigen Bänken in Queranordnung ausgestattet. Die Vorräume an den Türen sind zur Beschleunigung des Zu- und Abgangs sehr geräumig gehalten. Die 2. Kl. besitzt eine Polsterung aus Stahlbandfederung mit Roßhaar und Plüschbezug, die 3. Kl. hat Sitzbänke aus polierten Eschenholzleisten (Abb. 28). Die Füße der Sitzbänke bestehen aus Preßblechen. Die Abteillbreite beträgt in der 2. Kl. durchweg 1575 mm, bei der 3. Kl. 1575 bzw. 1500 mm. Die Inneneinrichtung besteht in der 2. Kl. aus Mahagoniausstattung, in der 3. Kl. aus naturpoliertem Eichenholz, blanken Beschlägen

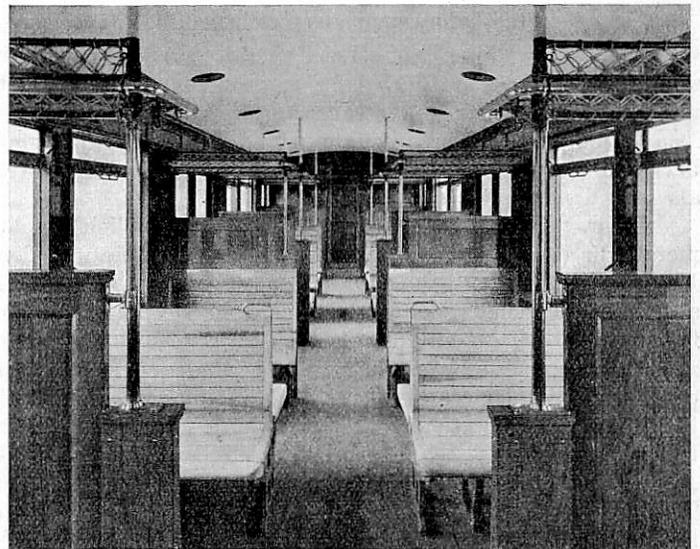


Abb. 28. Inneneinrichtung 3. Klasse eines Stadtbahnwagens.

und reichlicher elektrischer Deckenbeleuchtung, deren Lampen nur wenig aus der Wagendecke hervorragen. Der Fußboden ist 50 mm stark. Die Fenster sind ebenso wie die Fenster aller neuen Personenwagen mit Feststellvorrichtung, Druckrahmen und Gewichtsausgleich versehen. Oberhalb der Fenster sind Lüftungsklappen angebracht. Andere Entlüftungseinrichtungen sind wegen der Profilbeschränkung nicht vorgesehen, doch werden zur Zeit neue, wenig Platz beanspruchende Entlüftungseinrichtungen ausprobiert, die noch auf dem Dach ohne Profilüberschreitung angeordnet werden können.

Die Wagen besitzen auf jeder Seite vier breite Doppelschiebetüren, deren lichte Weite 1200 mm beträgt, so daß gleichzeitig zwei Fahrgäste die Tür betreten können (Abb. 26). Die Türen laufen in Rollenführungen. Die Bewegung der beiden Türhälften erfolgt gleichzeitig, da sie durch eine Umlaufkette verbunden sind. Die Türen werden vom Führerraum aus bedient. Die beiden Türhälften greifen bei geschlossener Tür mit Hohlgummileisten ineinander, um Verletzungen der Reisenden beim Schließen der Türen zu vermeiden. Zuerst wurden die Schiebetüren aus Teakholz und dann gegossen aus Silumin hergestellt. Neuerdings sind aus Siluminblechen genietete Türen versuchsweise bei zehn Wagen eingebaut.

Die zweckmäßige Raumeinteilung in Verbindung mit

den bequemen Eingängen sowie die hochwertige Ausstattung geben dem Wageninnern ein vorteilhafteres Gepräge, als man es bisher im allgemeinen bei Stadtschnellbahnen gewohnt war. Im Verein mit der Geschwindigkeitssteigerung ist daher auch die verkehrswerbende Wirkung nicht ausgeblieben.

Das betriebsfertige Leergewicht der Triebwagen beträgt je nach den einzelnen Bauarten 38,0 bis 39,5 t, das der Steuerwagen 27,1 bis 27,9 t. Davon wiegen beim Triebwagen der Wagenkasten rund 17,5 t, die beiden Drehgestelle rund 12 t, die vier Motoren rund 6,7 t und die elektrische Ausrüstung rund 2,6 t, beim Steuerwagen der Wagenkasten rund 15,6 t, die beiden Drehgestelle 10 t und die elektrische Ausrüstung 1,5 t.

Die Bremsausrüstung besteht aus der Einkammerdruckluftbremse, Bauart Knorr, mit gegenüber der gewöhnlichen Einkammerbremse vergrößerten Brems- und Lösebohrungen sowie einer elektrisch angetriebenen Zweistufenluftpumpe.

Die Beleuchtung der Wagen besteht aus 26 Lampen von je 60 Watt. Die elektrische Heizung ist für eine Heizleistung von etwa 150 Watt/cbm Rauminhalt bemessen.

Stadtbahnwagen aus Leichtmetall.

Die Verwendung von Leichtmetall zur Gewichtsverminderung ist bei der Reichsbahn in größerem Umfange erstmalig an einem Stadtbahnwagenzug vorgenommen worden. Das häufige und schnelle Anfahren und Bremsen gab gerade bei den Stadtbahnwagen Veranlassung, das Gewicht soweit als irgend möglich herabzusetzen.

Es war ursprünglich beabsichtigt, ausschließlich Leichtmetall für den Wagenkasten mit der Inneneinrichtung, dem Untergestell und den Drehgestellen zu verwenden. Es machten sich jedoch Bedenken geltend, da ausreichende praktische Erfahrungen über ganz aus Leichtmetall gebaute Eisenbahnfahrzeuge bisher noch nicht vorlagen und besonders das Verhalten der Aluminiumlegierungen bei Stoßwirkungen nicht mit Sicherheit vorausbestimmt werden konnte. Es wurde daher bei verschiedenen hochbeanspruchten Teilen der Stahl als Baustoff noch beibehalten und nur alle weniger beanspruchten Teile aus Leichtmetall hergestellt. Dieser Mischbau stellt konstruktiv sehr hohe Anforderungen, weil sich die gleichmäßige Verteilung der auftretenden Kräfte bei allen vorkommenden Belastungsfällen auf Stahl und Leichtmetall wegen des sehr verschiedenen Elastizitätsmoduls der beiden Baustoffe recht schwierig gestaltet. Der Mischbau als Vorläufer des reinen Leichtmetallfahrzeuges bietet jedoch die Möglichkeit, wichtige Erkenntnisse, Erfahrungen und Beobachtungen über die Verwendbarkeit der Leichtmetalle für Eisenbahnfahrzeuge zu gewinnen.

Die beiden Halbzüge, aus denen der Leichtmetall-Stadtbahnwagenzug besteht, weichen in ihrer Konstruktion und auch in ihren Baustoffen voneinander ab.

Bei dem ersten Halbzug ist der eine Triebwagen aus Skleron (Al mit Zusatz von Cu, Zn und einem kleinen Gehalt an Li), der andere Triebwagen sowie die beiden Steuerwagen aus Lautal (94% Al, 4% Cu und 2% Si) hergestellt. Das spezifische Gewicht beider Metalle beträgt rund 2,75. Die hochbeanspruchten Teile im Untergestell wie Langträger, Hauptquerträger, Kopfstücke, Stoßstreben und Hauptknotenbleche sind aus Stahl St 37 hergestellt. Dagegen bestehen alle übrigen Teile im Untergestell wie sämtliche Querträger und die Apparate- sowie Fußbodenträger aus Leichtmetall. Auch der gesamte Wagenkasten wie Seiten- und Stirnwandungen, Obergurt, Dachspriegel und Außenhaut einschließlich Dach sind aus Leichtmetall (Abb. 29). Besonders bemerkenswert ist, daß die gesamte Inneneinrichtung wie innere Verkleidung, Zwischenwände, halbhohle Wände, Schiebetürtaschen, Schiebetüren und Sitzfüße statt aus Holz aus Leichtmetall gefertigt sind. Die innere Verkleidung, um das wichtigste

hervorzuheben, besteht aus 2 mm Lautalblech an Stelle des sonst üblichen Sperrholzes. Die Gepäcknetzrohre und die Haltestangen sind gezogene Lautalrohre, während die Gepäcknetzstützen und die meisten Beschläge aus Siluminguß hergestellt sind. Für die Handgriffe und die Rosetten um die Lampen ist Lautalguß, für die Türbeschläge aus Festigkeitsgründen verchromter Rotguß und für die Fensterrahmen gezogenes Silumin von besonders korrosionsbeständiger Beschaffenheit verwendet worden.

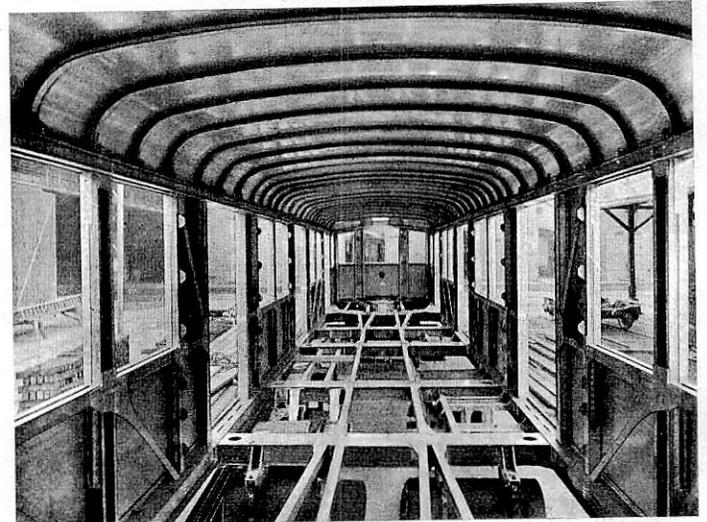


Abb. 29. Kastengerippe mit Bekleidungsblechen eines Leichtmetall-Stadtbahnwagens.

Konstruktiv sind diese Wagen den veränderten Bedingungen einer Leichtmetallbauweise in Verbindung mit Stahl angepaßt. Der Langträger besteht nicht mehr aus dem sonst üblichen starken U-Eisen von 200 mm Höhe, sondern aus einem schwachen U-Eisen, das in Gemeinschaft mit

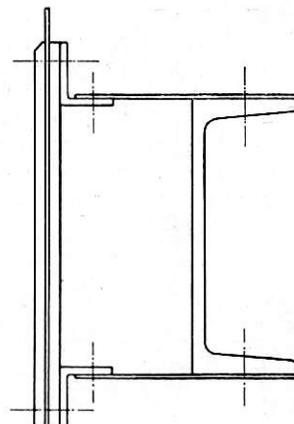


Abb. 30. Zusammengesetzter Langträger eines Leichtmetall-Stadtbahnwagens.

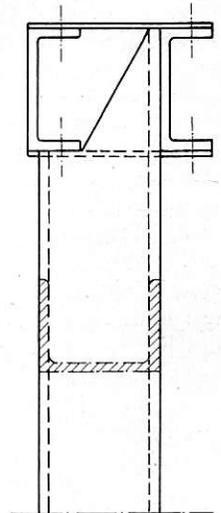


Abb. 31. Obergurt mit Seitenwandung eines Leichtmetall-Stadtbahnwagens.

Winkeln und Stehblechen einen Träger hoher Festigkeit bildet (Abb. 30). Die Seitenwandungen bestehen aus U- statt wie bisher aus Z-Eisen und der Obergurt ist aus zwei U-Eisen mit Verbindungsblechen zusammengesetzt (Abb. 31).

Der zweite Halbzug ist in starker Anlehnung an die bisherige Konstruktion der Stadtbahnwagen ausgeführt worden. Abgesehen von einigen Abweichungen gegenüber der reinen Stahlkonstruktion im Untergestell, die durch den

Mischbau bedingt waren, sind die Seiten- und Stirnwandungen, die Obergurte, Dachspriegel und die Außenhaut in den gleichen Abmessungen aus Leichtmetall wie bisher aus Stahl ausgeführt worden. Sowohl die beiden Trieb- wie auch die beiden Steuerwagen bestehen aus Lautal. Im Untergestell sind die hochbeanspruchten Teile wie Lang-, Hauptquer- und Bremszylinderträger, ferner Stoßstreben und Hauptknotenbleche aus Stahl, alle übrigen Teile aus Leichtmetall hergestellt. Der Wagenkastenaufbau besteht gleichfalls wie bei dem anderen Halbzug vollkommen aus Leichtmetall. Dagegen ist die Inneneinrichtung bei diesem Halbzug nicht aus Leichtmetall, sondern wie bisher aus Holz in der normalen Stadtbahnwagenkonstruktion hergestellt. Lediglich die Füllungen der Zwischenwände und die Türen sind aus Leichtmetall. Die Beschläge und die sonstigen Einrichtungsgegenstände im Innern der Wagen bestehen aus den gleichen Baustoffen wie bei dem anderen Halbzug mit Ausnahme der Fensterrahmen, die aus Lautal statt aus Silumin gefertigt sind.

Die Drehgestelle sind bei beiden Halbzügen wie bisher aus Stahl gebaut.

Das betriebsfertige Leergewicht der Leichtmetalltriebwagen beträgt bei den beiden Bauarten 35,6 und 34,3 t, das der Steuerwagen 24,9 und 23,2 t. Vergleicht man die niedrigeren Gewichte von 34,3 und 23,2 t mit den Gewichten der leichtesten Stahlwagen von 38 und 27,1 t, so ergibt sich eine Gewichtsersparnis beim Triebwagen von 3,7 t = 9,75 % und beim Steuerwagen von 3,9 t = 14,4 %. Hierbei ist zu berücksichtigen, daß die neueren Stadtbahnwagen in Stahlkonstruktion bereits sehr auf Gewichtsersparnis gebaut worden sind und daher schon häufig als „leichte Stahlwagen“ gegenüber den älteren Stadtbahnwagen mit Gewichten von 45,5 bzw. 33,9 t bezeichnet werden. Auch kann sich die Gewichtsersparnis durch teilweise Verwendung von Leichtmetall nur am wagenbaulichen Teil auswirken, weil die meisten anderen Teile, die beim Gewicht der Wagen eine große Rolle spielen wie Drehgestelle, elektrische Ausrüstung (vergl. hierzu 14,4 % Gewichtsersparnis beim Steuerwagen, gegenüber 9,75 % beim Triebwagen), Bremse, Heizung und ein großer Teil der Wagenausrüstung keine Gewichtsverminderung erfahren haben und dadurch das Gesamtgewicht des betriebsfertigen Fahrzeuges ungünstig beeinflussen. Hieraus geht ohne weiteres hervor, daß bei jeder Leichtbauweise das betriebsfertige Gesamtgewicht von Eisenbahnfahrzeugen nur dann wesentlich vermindert werden kann, wenn nicht nur am wagenbaulichen Teil, sondern auch an allen anderen Ausrüstungs- und sonstigen Teilen das Gewicht herabgesetzt wird.

Auf jeden Fall sind diese Stadtbahnwagen als bedeutender Versuch in der Frage der Verwendung von Leichtmetall für Eisenbahnfahrzeuge zur Herabsetzung des Gewichtes anzusehen. Nach eingehender Prüfung der Wagen in der Wagen- und der Bremsversuchsabteilung des Reichsbahn-Ausbesserungswerkes Grunewald und nach Vornahme umfangreicher Probefahrten mit verschiedenen Belastungen sind die Leichtmetallwagen seit einiger Zeit dem Betrieb übergeben.

Leichtbau bei Personenwagen.

Kraftwagen und Flugzeug, bei denen die äußerste Herabsetzung des Gewichtes Lebensnotwendigkeit ist, haben im Leichtbau für Fahrzeuge bahnbrechend gewirkt. Bei Eisenbahnfahrzeugen hatte die Gewichtsfrage bisher im allgemeinen keine ausschlaggebende Rolle gespielt. Die Lokomotiven mit ihrer meist reichlich bemessenen Zugkraft besitzen fast stets einen Kraftüberschuß, um auch größere Zuggewichte ohne besondere Schwierigkeiten unter Einhaltung der bestehenden Fahrpläne zu befördern. Bei den Lokomotiven ist ein bestimmtes Gewicht sogar zur Erreichung des für die Ausübung der Zugkraft erforderlichen Reibungsgewichtes notwendig.

Auch bei Personenwagen wurde früher ein hohes Gewicht zumindest als nicht störend empfunden, sollte es doch ruhigen Lauf, Sicherheit gegen das Herausspringen aus den Schienen und infolge der äußerst starken Bauart erhöhte Sicherheit bei Zugunfällen gewährleisten.

Erst der Bau von Triebwagen in den letzten Jahren ließ den Leichtbau auch bei Eisenbahnfahrzeugen stark in den Vordergrund treten. Die Triebwagen führen wie der Kraftwagen eine Kraftquelle mit sich, deren Leistungsreserve nach oben stark begrenzt ist, so daß ein hohes Eigengewicht, das einen großen Teil der zur Verfügung stehenden Leistung aufbraucht, nicht mehr mitgeschleppt werden kann, zumal auch die Fahrweise der Triebwagen mit häufigem plötzlichen Bremsen und darauffolgender starker Beschleunigung der des Kraftwagens annähernd gleichkommt. Das Gesamtgewicht bei den im Jahre 1931 gebauten Triebwagen ist daher auf knapp zwei Drittel des Gewichtes der älteren Triebwagen heruntergegangen.

Es erhebt sich nun die Frage, ob auch bei Personenwagen Gewichtsersparnisse nennenswerte betriebliche Vorteile mit sich bringen. Diese Frage ist bei Vorort- und Stadtbahnwagen wegen der hier ganz besonders notwendigen schnellen Abbremsung beim Halten und der zu leistenden Beschleunigungsarbeit beim Anfahren bereits bejaht worden.

Das gleiche trifft bei Personenwagen auf Nebenbahnen zu, die dem örtlichen Verkehr dienen und daher häufig halten und wieder anfahren. Die jetzt meist recht niedrige Durchschnittsgeschwindigkeit der Personenzüge auf Nebenbahnen wird sich allein durch Gewichtsverminderungen der Fahrzeuge erheblich steigern lassen.

Ferner ist geringstes Gewicht der Fahrzeuge auf Strecken in gebirgigem Gelände dringend erforderlich, weil die zur Überwindung der Steigungen aufzubringende Hubarbeit unmittelbar von dem Gewicht abhängig ist und den größten Teil der vorhandenen Leistung aufzehrt. Gewichtsverminderung ist also auch hier gleichbedeutend mit Geschwindigkeitssteigerung.

Somit dürfte der Leichtbau für Fahrzeuge von Stadt-, Vorort-, Neben- und Gebirgsbahnen nicht umstritten sein. Bei den nun noch übrigbleibenden Personenwagen auf Hauptbahnen, die dem Fernverkehr dienen, ist bei der Frage der Gewichtsverminderung zunächst zu beachten, daß bei hohen Geschwindigkeiten der Gesamtzugwiderstand vom Gewicht der Wagen viel weniger abhängig ist als vom Luftwiderstand. Letzterer fängt jedoch erst bei Geschwindigkeiten von über 80 km/h an, eine ausschlaggebende Rolle zu spielen, wobei er dann allerdings außerordentlich rasch ansteigt. Die meisten Personenzüge bleiben jedoch im allgemeinen unter dieser Geschwindigkeit oder erreichen sie nur vorübergehend, so daß lediglich D-Zug- und Eilzugwagen sich in Geschwindigkeitsbereichen bewegen, die eine Vernachlässigung der Gewichtsfrage zu gestatten scheinen. Aber auch bei den D- und Eilzügen mit hoher Geschwindigkeit und wenigen Aufenthalten ist zu bemerken, daß die schweren Züge zunächst einmal auf diese hohe Geschwindigkeit gebracht werden müssen. Während der Fahrt werden dann durch Steigungen, Kurven, Weichenstraßen, Langsamfahrstrecken, Durchfahren von Bahnhöfen, Abzweigungen, unter Umständen „Halt auf freier Strecke“ usw. ständig Geschwindigkeitsveränderungen hervorrufen, wobei auch bei diesen durchfahrenden Zügen infolge der hohen Gewichte stets eine große Beschleunigungs- oder Hubarbeit zu leisten ist. Bei geringerem Eigengewicht werden höhere Geschwindigkeiten viel schneller erreicht und Steigungen viel leichter überwunden als bei hohem Eigengewicht. Hierdurch kann, ohne daß die im Fahrplan vorgesehene Höchstgeschwindigkeit erhöht zu werden braucht, je nach den

Streckenverhältnissen die Reisesgeschwindigkeit, auf die es letzten Endes ankommt, erheblich gesteigert werden.

Leichtbau ist also wie im Kraftwagen- und Flugzeugbau auch im Eisenbahnwesen bei sämtlichen Personenzugfahrzeugen durchaus wünschenswert und anzustreben.

In späterer Zeit wird der Leichtbau voraussichtlich auch noch den Vorteil verbilligter Beschaffung mit sich bringen. Eine — wenn auch vielfach umstrittene — Beschaffungsgrundlage ist der Kilopreis des Fertigfabrikates. Leichtbau kann zunächst bei einigen schwieriger herzustellenden Teilen höhere Arbeitslöhne als bei der gewöhnlichen Bauweise verursachen. Wird außerdem Leichtmetall verwandt, werden auch die Stoffkosten höher. Es wird jedoch später noch ausgeführt, daß Leichtbau nicht nur mit „Leichtmetall“, sondern auch mit dem bisherigen Baustoff „Stahl“ möglich ist. Die Stoffkosten müssen sich daher bei gleichem Stoff und geringerer Menge infolge des leichteren Gewichtes ermäßigen. Die Lohnkosten können nur bei den ersten in Leichtbauweise hergestellten Fahrzeugen steigen. Bei laufender Fertigung ist es Aufgabe des Betriebsingenieurs durch entsprechende Organisation, Arbeitsvorbereitung, maschinelle Einrichtungen und Vorrichtungsbau, die Lohnkosten bezogen auf ein Fahrzeug gleich oder noch unter der bisherigen Höhe zu halten. Daß dies, Massenfertigung vorausgesetzt, selbst bei vierteiligen und hochwertigen Erzeugnissen möglich ist, beweist der Kraftwagenbau zur Genüge. Außerdem müssen nicht immer Leichtbauteile unbedingt sehr kompliziert zusammengesetzt sein. Es gibt auch im Leichtbau sehr viele Teile, die in einfachster Form aus handelsüblichen Blechen auf überall vorhandenen Blechbearbeitungsmaschinen hergestellt werden können. Auch das Schweißen, ein wichtiges Hilfsmittel im Leichtbau, trägt zur Ermäßigung der Kosten bei.

Endlich sei noch als Vorteil des Leichtbaues darauf hingewiesen, daß der durch die Gewichtsverminderung erzielte geringere Achsdruck — abgesehen von der Schonung des Oberbaues — infolge der kleineren auftretenden Stöße an den Schienenenden auch den ruhigen Wagenlauf, besonders der zweiachsigen Wagen, in günstigem Sinne beeinflussen wird.

Wodurch ist Leichtbau erreichbar?

a) Durch Verwendung von Leichtmetall.

Es liegt nahe, durch Verwendung möglichst leichter Baustoffe Gewichtersparnisse zu erzielen (Leichtstoffbau). Eine Stahlkonstruktion kann aber nicht ohne Abänderung für Leichtmetalle einfach übernommen werden, wenn ein Minimum an Gewicht bei trotzdem genügender Festigkeit des Fahrzeuges erreicht werden soll, sondern die mechanischen und chemischen Eigenarten der Leichtmetalle erfordern eine besondere und sehr sorgfältige konstruktive Behandlung.

Der Elastizitätsmodul von Leichtmetall erreicht je nach der Zusammensetzung einen Höchstwert von etwa 700 000 kg/cm², beträgt also etwa $\frac{1}{3}$ des entsprechenden Wertes für Stahl, geht aber auch häufig bis zu $\frac{1}{5}$ herunter. Die hieraus bedingte, etwa dreifache elastische Formänderungsarbeit gegenüber Stahl ermöglicht zwar bei stoßartigen Beanspruchungen zunächst schwächere Abmessungen, aber es muß andererseits auch berücksichtigt werden, daß der Ausschlag infolge Stoßeinwirkung bei Leichtmetall dreimal so groß wie bei Stahl ist. Es muß daher von Fall zu Fall geprüft werden, ob der Biegungsausschlag nicht Größen annehmen kann, die nachteilige Auswirkungen zur Folge haben. Infolge des kleinen Elastizitätsmoduls sinkt jedoch auch die Knickfestigkeit auf $\frac{1}{3}$ bis $\frac{1}{5}$ der von Stahl, so daß durch Verkleinerung der Knicklängen und Erhöhung des Trägheitsmoments ohne Querschnittsvergrößerung Ausgleich geschaffen werden muß. Letzteres kann durch besondere Formgebung, z. B. kastenförmige Träger, erzielt werden. Abgesehen davon, daß selbst

die besten Leichtmetalle bei weitem nicht die Elastizitätsgrenze von Stahl erreichen, hält dieser vorübergehende Beanspruchungen auch über der Elastizitätsgrenze viel besser aus als Leichtmetall, dessen Dauerfestigkeit erheblich geringer als die von Stahl ist. Dieser Umstand muß besonders bei Bekleidungsblechen berücksichtigt werden, weil diese im Personenwagenbau die Diagonalen einer Tragkonstruktion ersetzen und infolgedessen auch Kräfte aufzunehmen haben. Überbeanspruchungen müssen hierbei vermieden werden, weil sonst das Leichtmetall spröde wird. Die geringe Dauerfestigkeit hat zur Folge, daß Leichtmetall im unelastischen Bereich über eine längere Zeit betrachtet empfindlicher ist als Stahl.

Weiter ist zu beachten, was allerdings auf Stahl im gleichen Maße wie auf Leichtmetall zutrifft, daß bei Überbeanspruchungen in den Bekleidungsblechen der Seitenwände nicht mehr das ganze Blech, sondern nur noch ein den Diagonalen einer Tragkonstruktion entsprechender Streifen des Bleches mitträgt. Daß dieser Blechstreifen dann eine unzureichende Verbindung innerhalb der Tragkonstruktion darstellt, ist ohne weiteres einleuchtend. Wahl eines stärkeren Bleches oder Aussteifung desselben sind in einem solchen Falle erforderlich.

Die geringe Zähigkeit von Leichtmetall sowie seine weiche Oberfläche machen sich unangenehm bemerkbar bei Teilen, die stark gedrückt werden oder der Abnutzung ausgesetzt sind. Durch Vergrößerung der gedrückten oder der Abnutzung ausgesetzten Fläche oder durch Auflegen eines besonders harten Werkstoffes läßt sich diesen Nachteilen begegnen.

Auch das Nieten erfordert besondere Aufmerksamkeit. Da die Leichtmetallnietung im Gegensatz zu der warm geschlagenen Stahlnietung kalt erfolgt, werden die Scherkräfte der Nietkonstruktion bei Leichtmetallnietung zur Hauptsache durch die Nietquerschnitte selbst aufgenommen und nicht wie bei der Stahlnietung durch Reibung zwischen den Blechen sowie den Nietköpfen und Blechen. Bei Leichtmetallen muß daher gegenüber der Stahlnietung die Nietzahl vergrößert werden, während der Nietdurchmesser entsprechend verkleinert werden kann.

Das geringere spezifische Gewicht des Leichtmetalls gegenüber dem von Stahl ist also, soweit das Leichtmetall für tragende Teile verwandt wird, durch verschiedene Nachteile erkauft. Die konstruktive Durchbildung eines Fahrzeuges bedingt daher zur Überwindung dieser Nachteile eine eingehende statische Berechnung unter besonderer Berücksichtigung der Eigenarten des Leichtmetalls.

b) Durch Leichtbauweise in Stahl.

Bei der Verwendung von Leichtmetall wird man durch die mit allen Mitteln angestrebte Gewichtersparnis und den hohen Preis einerseits sowie die leichte Formgebung des verhältnismäßig weichen Werkstoffes andererseits zwangsläufig darauf hingewiesen, den Kräfteverlauf und die Spannungen der Fahrzeugkonstruktion auf das genaueste zu verfolgen und diesem Kräfteverlauf den Baustoff anzupassen. Die Gewichtersparnisse werden also nicht allein durch Verwendung von Leichtmetall, sondern auch durch eine gegenüber den bisherigen Stahlkonstruktionen verfeinerte und auf das sorgfältigste durchdachte Konstruktion erzielt.

Nun ist aber das spezifische Konstruktionsgewicht nur bedingt durch das Verhältnis des Gewichtes zur Größe der auftretenden Kräfte. Querschnittsfläche, Gestaltung derselben, Trägheits- und Widerstandsmoment sowie Größe der aufzunehmenden und weiterzuleitenden Kräfte hängen voneinander ab. Wenn man daher aus Gründen der Gewichtersparnis bei geeigneter Formgebung als bisher einen zwar leichteren aber auch erheblich geringere Festigkeit besitzenden Werkstoff (Leichtmetall) verwendet, so drängt sich die Frage

auf, ob man nicht auch mit einem zwar schwereren, dafür aber um so höhere Festigkeit besitzenden Werkstoff (Stahl) bei entsprechender Formgebung gleichfalls erhebliche Gewichtsverminderungen erreichen kann. Diese Frage muß nach den neuesten Erfahrungen bejaht werden. Werden die auftretenden Kräfte nach Zahl, Art und Angriffspunkt genau bestimmt, sowie die Größe derselben soweit möglich errechnet, so kann der Baustoff dem Kräfteverlauf ziemlich genau angepaßt werden. Man kann sogar in Sonderfällen bei häufigen größeren, jedoch nur vorübergehend auftretenden Beanspruchungen die Elastizitätsgrenze etwas überschreiten. Jedoch ist dieser Schritt mit Vorsicht auszuführen, da unter Umständen hierdurch die Lebensdauer des Fahrzeuges herabgesetzt werden kann.

Die genaue Anpassung der Baustoffe an die auftretenden Kräfte bedingt in vielen Fällen eine Auflösung der betreffenden Querschnitte und damit ein Verlassen der bisher zur Hauptsache verwendeten, handelsüblichen Walzprofile, Ausbildung von teilweise oder ganz geschlossenen Trägern (Rohr- oder Kastenform), reichliche Verwendung von Sonderprofilen sowie Eigenherstellung von Trägern aus gekanteten Blechen in beliebiger Form und Stärke für den gewünschten Verwendungszweck.

Bei Leichtbauweise in Stahl ist die Verfeinerung der Konstruktion nicht das einzige Mittel zur Gewichtsersparnis, sondern auch technologisch läßt sich durch Einführung hochwertiger Stähle von großer Festigkeit die Menge und damit das Gewicht des erforderlichen Baustoffes in bestimmten Grenzen verringern.

Von den schon erwähnten, im Eisenbahnfahrzeugbau bis jetzt verwendeten Stahlsorten St 37, St 42 und St 48 geht man neuerdings mehr und mehr zu St 52 über. St 52 ist ein Sammelbegriff für einen hochwertigen Baustahl, der von mehreren Werken der deutschen Eisenhüttenindustrie auf Grund der von jedem Werk für sich vorgenommenen Untersuchungen aus verschieden legierten Stählen entwickelt ist, die in ihren physikalischen Eigenschaften zur Hauptsache dem Siliziumstahl entsprechen. Eingehende Versuche haben den Beweis erbracht, daß St 52, dessen Zugfestigkeit 52 bis 64 kg/mm² beträgt und dessen Streckgrenze ≥ 36 kg/mm² ist, etwa um 50 % höher beansprucht werden kann als St 37. Wenn man auch bei der Konstruktion eines Fahrzeuges aus Gründen der Sicherheit und zur Vermeidung von Schwingungserscheinungen zweckmäßig nicht gleich um 50 % mit der Beanspruchung heraufgehen wird, so ist doch ohne weiteres ersichtlich, daß sich durch Verwendung von St 52 erhebliche Gewichtsersparnisse erzielen lassen. Der Stahl St 52 ist bei Anwendung der modernen Schmelzschweißverfahren gut schweißbar. In seinen physikalischen Eigenschaften kommt er dem hochwertigen Ni-Stahl gleich. Zur Erreichung einer guten Korrosionsbeständigkeit ist er leicht gekupfert. Die Reichsbahn schreibt einen Cu-Gehalt von mindestens 0,25 % vor.

Als erster Versuch größeren Umfangs sind — abgesehen von dem bereits erwähnten kleineren Teil der Stadtbahnwagen — bei einigen der neuen vierachsigen Gepäckwagen, die in die Züge mit den vierachsigen Durchgangspersonenwagen eingestellt werden, die hochbeanspruchten Teile im Untergestell wie Langträger, Drehzapfenträger und Knotenbleche sowie vom Wagenkasten die Seitenwandungen aus St 52 hergestellt worden.

Die Aufgaben, die der Leichtbau durch die Berücksichtigung und Auswertung der verschiedenen Gesichtspunkte an den Konstrukteur stellt, sind ebenso vielseitig wie schwierig. Man sieht aber, daß nicht allein durch den Übergang auf Leichtmetall, sondern auch bei richtiger Anwendung von Stahl Leichtbau erzielt werden kann. Welchem von beiden Baustoffen der Vorzug zu geben ist, kann nicht allgemein,

sondern nur von Fall zu Fall entschieden werden. Wenn mit hochwertigem Stahl nahezu die gleichen Gewichte erzielt werden können wie mit Leichtmetall, ist abzuwägen, ob diese geringe Gewichtsersparnis die erheblichen Mehrkosten für das immer noch bedeutend teurere Leichtmetall rechtfertigt, womit die technisch-konstruktive Frage in eine wirtschaftliche überleitet. Hinzu kommt noch die geringere Korrosionsbeständigkeit des Leichtmetalls gegenüber Stahl, der durch den Kupferzusatz in hohem Maße gegen Korrosion unempfindlich gemacht werden kann.

Die Reichsbahn hat bisher nur den einen Stadtbahnwagenzug in teilweiser Leichtkonstruktion ausführen lassen. Ferner sind noch in vielen Personenwagen verschiedene Einzelteile, die meist weder großen Beanspruchungen noch Witterungseinflüssen ausgesetzt sind, wie Lüftungsschieber, Wasserkannen, Aschbecher, Hut- und Kleiderhaken, Fensterrahmen, Leibstuhlbeschlagteile, Türschutzbügel, Schloßschilder, Bekleidungsbleche im Wageninnern, Luftsauger, Gepäcknetzstützen, Haltegriffe sowie sonstige Beschlagteile aller Art in Leichtmetall hergestellt. Dagegen sind die z. Z. im Bau befindlichen Triebwagen in Stahl vorgesehen, obgleich gerade bei diesen Wagen auf Gewichtsersparnisse größter Wert gelegt wird. Welche Gewichte durch geeignete Konstruktion und Anwendung der neuen Erkenntnisse über Leichtbau auch bei Verwendung von Stahl gespart werden können, beweisen am besten die zweiachsigen *Triebwagen*. Während diese Wagen bisher ein Gewicht von 18 bis 20 t hatten, werden die neuen Wagen nur 12 bis 13 t wiegen. Es war auch auf der Automobilausstellung im Frühjahr 1931 in Berlin sehr interessant festzustellen, daß bei den Omnibussen die wenigen ausgestellten Leichtmetallaufbauten hinter der Masse der gezeigten Stahlaufbauten völlig zurücktraten.

Trotzdem wird es Pflicht des aufmerksamen Konstrukteurs sein, die Verwendung von Leichtmetall auch als Baustoff für hochbeanspruchte Teile ständig im Auge zu behalten, denn die Fortschritte der letzten Jahre in der Leichtmetallherstellung lassen erwarten, daß sich das Leichtmetall auch in Zukunft nach Festigkeit, Korrosionsbeständigkeit und Preis ständig günstiger gestalten wird.

c) Durch Anwendung des Schweißens.

In den ersten Anfängen der Anwendung des Schweißens ersetzte man ohne Abänderung der Konstruktion die Nietdurch Schweißverbindungen. Mittlerweile hat sich die Konstruktion auf das Schweißen umgestellt und Konstruktionen geschaffen, die die günstigste Anwendung des Schweißens gestatten. Die Schweißtechnik ihrerseits hat in den letzten Jahren derartige Fortschritte gemacht, daß sie in der Lage ist, nahezu allen Anforderungen der Konstruktion zu entsprechen.

Es ist bereits darauf hingewiesen worden, daß Leichtbau nur durch Auflösung der tragenden Querschnitte und Anpassung der Baustoffe an den Kräfteverlauf erreicht werden kann. Die Eigenart und Vielseitigkeit des Schweißens gibt der Konstruktion Gestaltungsmöglichkeiten, die ihr bisher verschlossen waren, und gestattet eine Anpassung und Ausbildung der einzelnen Konstruktionselemente an die von ihnen verlangten Forderungen in einem Maße, wie es bei Nietverbindungen nicht möglich ist. Diese konstruktiven Möglichkeiten im Fahrzeugbau weitgehendst auszunutzen, wird Hauptaufgabe der nächsten Jahre sein müssen.

In welchem Umfang durch das Schweißen bereits bei ganz einfachen Verbindungen infolge Fortfallens von Laschen oder Verstärkungswinkeln Gewichtsersparnisse erreicht werden können, zeigt ein Träger, der aus einem Stehblech und den beiden Gurtplatten besteht (Abb. 32). Bei gleichem Widerstandsmoment wiegt der geschweißte Träger 20 % weniger

als der genietete. Ähnliche Beispiele lassen sich zahlreich anführen. Der Vergleich des geschweißten mit dem genieteten Träger zeigt auch, daß abgesehen von der Verbilligung durch die Stoffersparnis eine Herabsetzung der Lohnkosten durch das Schweißen eintreten muß, denn das Ziehen der vier Schweißbraupen erfordert nicht so viel Arbeit, wie das Bohren von sechs Nietlochreihen mit der darauffolgenden Vernietung.

Die Abb. 33 zeigt den Seitenwandschnitt mit perspektivischer Darstellung, die Abb. 34 einen Teil des Untergestells mit dem Hauptquerträger eines D-Zugwagens in Schweißkonstruktion, bei dem die Kastenform bevorzugt ist. Lang- und Querträger des Untergestells, Seitenwandungen, Fensterbrüstungsleiste und Obergurt des Kastengerippes bilden in sich geschlossene, kastenförmige Träger.

Auf den Abb. 35 und 36 der Schweißkonstruktion eines D-Zugwagens besteht der früher aus einem U-Eisen gebildete Langträger aus zwei Winkelisen, die mit einem durchgehenden Stehblech verbunden sind. Außerdem sind die beiden Winkelisen in Abständen von etwa 1000 mm durch kleine Stehbleche verstärkt, die senkrecht auf das durchgehende Stehblech stoßen. Die Querträger im Untergestell bestehen aus U-Eisen, die Seitenwandungen aus Z-Eisen. Nur die Hauptquerträger und die davor nach den Wagenenden zu liegenden Querträger

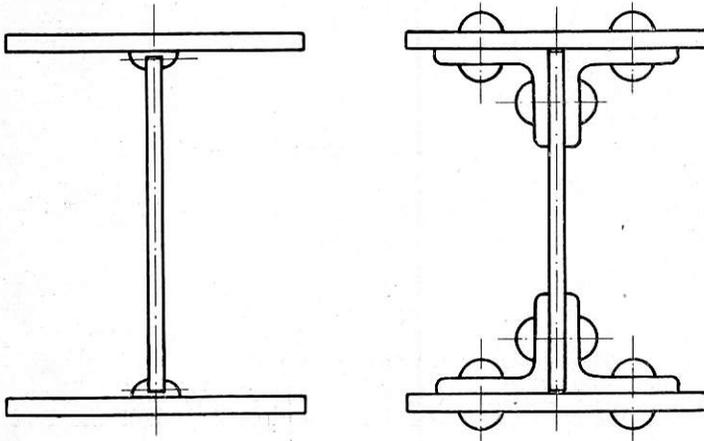


Abb. 32. Geschweißter und genieteter Träger.

sind aus starken Blechen bzw. aus zwei mit den offenen Seiten gegeneinander gesetzten U-Eisen in Kastenform ausgebildet.

Beide Konstruktionen sind so durchgebildet, daß die errechneten Werkstoffbeanspruchungen an sämtlichen Stellen nicht über die der bisherigen Nietkonstruktion hinausgehen. Konstruktiv dürfte die Kastenform, vom Standpunkt der Unterhaltung die offene Form vorzuziehen sein. Ein genaues Bild über die Bewährung der beiden Konstruktionen können erst längere praktische Erfahrungen bringen.

Einige Schwierigkeiten bei der Konstruktion geschweißter Personenwagen verursacht das Anschweißen der Bekleidungsbleche an die Seitenwandungen, da wegen der in Frage kommenden Blechgrößen bei Punktschweißung nur eine Doppelpunktschweißmaschine mit außergewöhnlich großer Ausladung an alle zu punktenden Stellen heranreichen kann. Einfacher ist daher das Anschweißen der Bekleidungsbleche an die Seitenwandungen mit Schweißbraupen vom Wageninnern aus. Neuerdings ist eine Punktschweißmaschine entwickelt worden, bei der die Schweißelektroden nicht gegenüber, sondern parallel stehen (Abb. 37), so daß die Größe des Bleches keine Rolle mehr spielt. Da die Schweißgrenze der Maschine aber vorläufig nur bei 1,25 bis höchstens 1,5 mm Dicke des aufzupunktenden Bleches liegt, ist die Verwendungsmöglichkeit im Personenwagenbau noch verhältnismäßig gering.

Weiterhin ist zu prüfen, ob durch das Schweißen außer der Gewichtsersparnis auch andere Vorteile zu erwarten sind.

Bei der Schweißung fallen sämtliche Nietköpfe fort. Dadurch ist das Auftragen des Anstriches mit seinen vielen Arbeitsgängen erheblich vereinfacht und verbilligt. Auch neigt der Anstrich gerade an den Nietköpfen zuerst zu Ribbildungen, von wo sich dann die Zerstörung des Anstriches schnell fortpflanzt. Der Fortfall der Nietköpfe wird daher voraussichtlich eine Verlängerung der Lebensdauer des An-

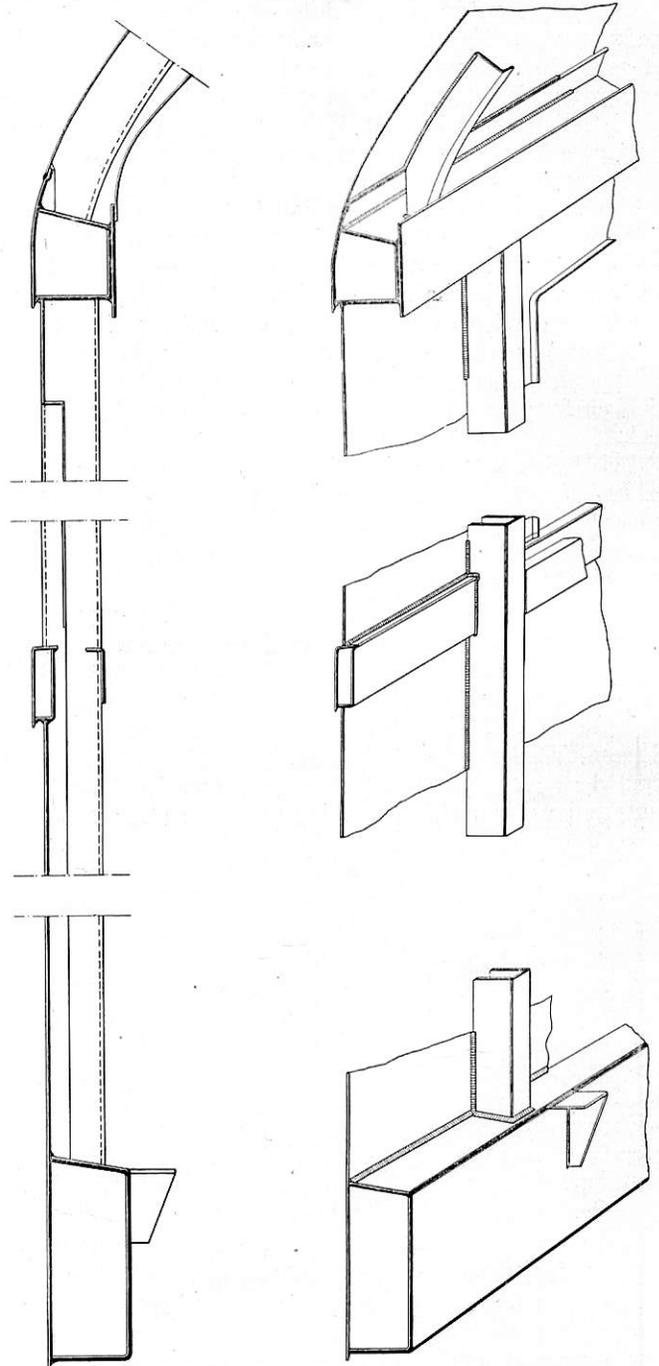


Abb. 33. Seitenwandschnitt mit perspektivischer Darstellung eines geschweißten D-Zugwagens.

striches zur Folge haben. Es sei auch noch darauf hingewiesen, daß ein völlig glatter Wagenkasten ohne die störenden Nietkopfreihen ein sehr ansprechendes Äußeres erhält. Schließlich ist durch das Schweißen nach erfolgter Umstellung hierauf und bei größerer Auftragsmenge eine Herabsetzung der Herstellungskosten der Wagen zu erwarten.

Die Festigkeit der Schweißung kann heute praktisch der Nietung zumindest gleichgesetzt werden. Auch sind die zulässigen Spannungen für Schweißverbindungen bereits ein-

gehend erforscht, so daß ausreichende Grundlagen für die rechnerische Erfassung von Schweißkonstruktionen vorliegen.

Von der Reichsbahn sind zu Beginn des Jahres 1930 zwei Drehgestelle, Bauart „Görlitz II schwer“, in geschweißter Ausführung beschafft worden. Die Drehgestelle wurden unter einem D-Zugwagen 1./2. Kl. des öffentlichen Verkehrs erprobt. Bei der Untersuchung der Drehgestelle nach 70000 km Laufleistung konnten keine Mängel festgestellt werden. Maßabweichungen waren nicht vorhanden, die Schweißnähte befanden sich in tadellosem Zustand und der Lauf des Wagens war einwandfrei. An den beiden Drehgestellen ist insgesamt eine Gewichtersparnis von 700 kg gegenüber genieteten Drehgestellen gleicher Bauart erreicht worden.

Zur Zeit befinden sich bereits einige D-Zugwagen geschweißter Konstruktion im Auftrage der Reichsbahn im Bau.

Eine noch offene Frage ist die Höhe der Unterhaltungskosten geschweißter Wagen im Vergleich mit genieteten, weil größere praktische Erfahrungen hierüber noch nicht vorliegen. Durch Rost zerstörte Teile, die bei genieteten Wagen durch Abschlagen der Niete losgelöst werden, müssen bei geschweißten Wagen durch Herausschneiden mit dem Schneidbrenner ausgewechselt werden. Wenn dadurch auch vielleicht hier und da gelegentlich Schwierigkeiten zu erwarten sind, so werden doch bei der seit Jahren gut ausgebildeten Schweißtechnik in den Reichsbahn-Ausbesserungswerken unüberwindbare Anforderungen kaum auftreten.

d) Durch Gewichtersparnisse an der Inneneinrichtung, den Sonderausrüstungen und Einzelteilen.

Wie schon bei den Leichtmetall-Stadtbahnwagen angedeutet wurde, macht der Wagenkasten einen erheblich kleineren Prozentsatz des Gesamtgewichtes eines Eisenbahnfahrzeuges aus, als im allgemeinen vermutet werden dürfte. In der nachstehenden Tabelle sind die einzelnen Gewichte angegeben, aus denen sich das Gesamtgewicht eines D-Zugwagens (ABC 4 ü) zusammensetzt:

Untergestell einschließlich Bremsausrüstung jedoch ohne KKS-Zylinder	5800 kg
Kasten mit Bekleidungsblech jedoch ohne Inneneinrichtung	7100 „
Zug- und Stoßvorrichtung	1930 „
KKS-Bremszylinder	700 „
Drehgestelle einschließlich Bremsausrüstung .	11000 „
Radsätze	4600 „
Dampfheizung	1130 „
Beleuchtung einschließlich Batterie	1250 „
Inneneinrichtung wie Fußboden, Zwischenwände, Abteilschiebetüren, Decke, Fenster, Polster- und Holzsitze, Aborteinrichtung usw.	13490 „
Gesamtgewicht	47000 kg

Von den 47 t, die der gesamte D-Zugwagen wiegt, fallen also nur 12,9 t, d. h. 27,5% auf den Wagenkasten ohne Inneneinrichtung, wovon noch ein beträchtlicher Teil für die Bremsausrüstung, soweit sie am Untergestell angebracht ist, abgezogen werden muß. Die größte Gewichtersparnis am Wagenkasten kann also das Gesamtgewicht nur unwesentlich vermindern, wenn nicht an allen übrigen Teilen des Wagens gleichfalls auf Gewichtersparnis größter Wert gelegt wird. Im folgenden sind daher die Möglichkeiten der Gewichtsverminderung im einzelnen durchgesprochen.

Bei den Drehgestellen ist bereits darauf hingewiesen worden, daß sich durch Schweißen eine Gewichtersparnis erzielen läßt. Bei den im Bau befindlichen D-Zugwagen in geschweißter Ausführung werden geschweißte Drehgestelle, Bauart „Görlitz III schwer“, statt „II schwer“ verwendet, wodurch wegen des Fortfalles der Wiege bei diesen

Drehgestellen gegenüber „II schwer“ eine weitere Gewichtersparnis zu verzeichnen sein wird.

An den Radsätzen sind bei D-Zug- und vierachsigen Durchgangspersonenwagen Gewichtervermindierungen wegen der großen Gewichte und der hohen Geschwindigkeiten vorerst nicht beabsichtigt. Es sei aber kurz erwähnt, daß bei den im Bau befindlichen leichten Triebwagen Radsätze verwendet werden, die knapp $\frac{2}{3}$ des Gewichtes der normalen Radsätze betragen. Bei diesem Gewicht steht aber die Entwicklung nicht still, denn es sind schon seit längerer Zeit Konstruktionen mit Hohlachse, gewellter Radscheibe und gegenüber der normalen Ausführung schwächer gehaltenen

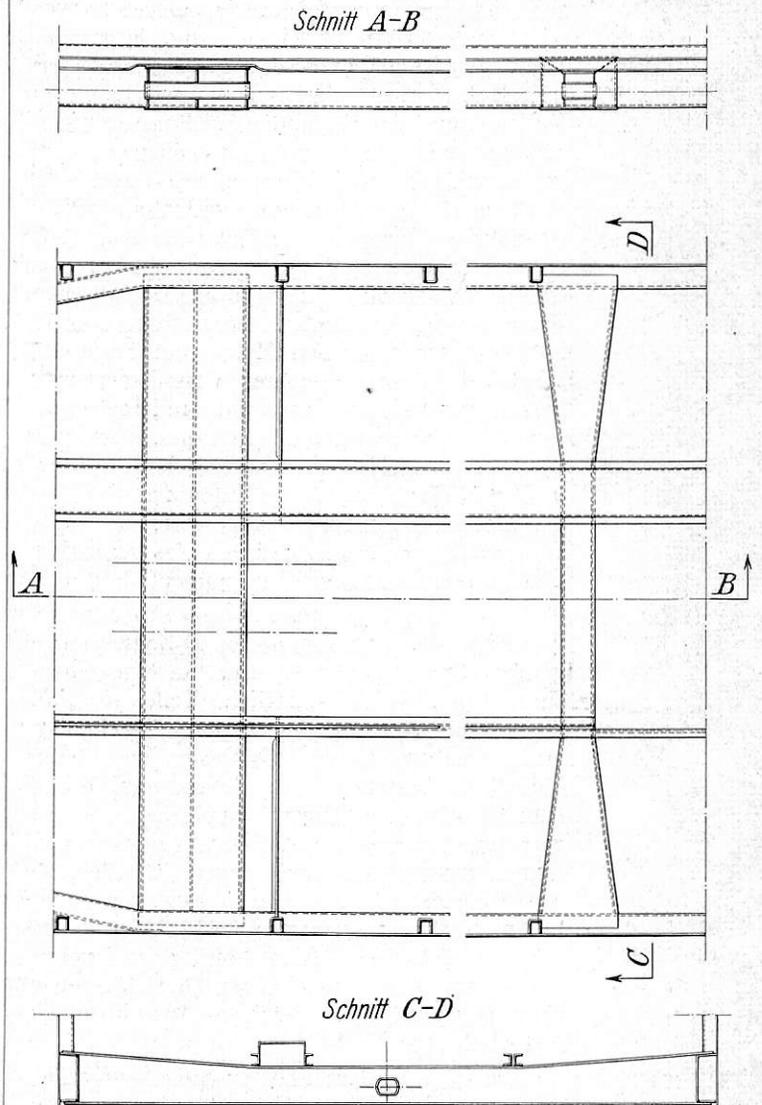


Abb. 34. Teil des Untergestelles eines geschweißten D-Zugwagens.

Radreifen bei hochwertigerem Baustoff vorhanden, die nur noch das halbe Gewicht des normalen Radsatzes betragen. Bei den Radsätzen müssen Gewichtersparnisse deshalb ganz besonders angestrebt werden, weil die Verringerung des Gewichtes der unabgefederten Massen den Oberbau schont und die Laufeigenschaften der Fahrzeuge verbessert.

Eine sehr wichtige Rolle in der Gewichtsfrage spielt die Inneneinrichtung. Diese soll bequem, geschmackvoll und anheimelnd sein, um auch den Ansprüchen eines verwöhnten Reisenden gerecht zu werden. Bei Wahrung des äußeren Bildes der Inneneinrichtung, woran aus Gründen der Verkehrswerbung und der Konkurrenz gegenüber anderen heute allgemein ziemlich komfortabel eingerichteten Verkehrsmitteln

festgehalten werden muß, läßt sich durch Sparen von Werkstoff in den Zwischenwänden, durch Schwächen der Füllhölzer, durch Verwendung dünnerer Sitzbanklatten in der 3. Kl. und einer leichter ausgeführten Polsterung in der 1. und 2. Kl. und anderes nur unwesentlich an Gewicht sparen. Größere Gewichtsverminderungen sind erst möglich durch Verwendung von Kunstholz an Stelle von Naturholz. Die Anforderungen, die an das Kunstholz gestellt werden und nach deren restloser Erfüllung erst eine allgemeine Einführung in Frage kommen kann, sind sehr zahlreich und alle gleichzeitig schwer zu verwirklichen. Es muß leichter und billiger als Holz sein, annähernd die gleiche Festigkeit wie Holz haben, darf zur Vermeidung von Verletzungen der Reisenden bei Zugzusammenstößen weder brennen noch splintern, muß wasserunlöslich und biegsam sein sowie das Aufleimen von Furnieren gestatten. Nach langjährigen Versuchen ist jetzt ein Kunstholz entwickelt worden, das allen Anforderungen zu entsprechen scheint. Es wird aus inländischem Kiefern- oder Fichtenholz hergestellt, was im Interesse der deutschen Holz- und Forstwirtschaft als ganz besonderer Vorteil hervorzuheben ist. Es kann auch jede andere Holzart sowie Abfallholz verwendet werden. Das Holz wird von einer Zerkleinerungsmaschine zerfasert und mit Hautleim unter Zufügung von verschiedenen Chemikalien angesetzt, die u. a. Wasser abstoßen und dadurch das Kunstholz Feuchtigkeitseinflüssen gegenüber beständig machen.

Zwei der obengenannten D-Zugwagen in geschweißter Ausführung erhalten eine Inneneinrichtung, bei der sämtliche Teile wie Fußboden, Seiten- und Zwischenwände, Decke usw. mit Ausnahme der Sitzbanklatten aus diesem Kunstholz bestehen. Auf Grund der bereits früher an einem hiermit versuchsweise ausgerüsteten vierachsigen Durchgangspersonenwagen gewonnenen Erfahrungen ist allein an der Inneneinrichtung eine Gewichtsersparnis bis zu 1000 kg zu erwarten. Abb. 38, die eine Kämpferleiste aus Kunstholz zeigt, veranschaulicht die zu erreichenden Gewichtsersparnisse gegenüber der jetzigen Ausführung in Naturholz.

Es ist schon an anderer Stelle aufgezeigt worden, welche Beschlagteile versuchsweise in Personenzugfahrzeugen aus Leichtmetall hergestellt worden sind. Bei D-Zug- und vierachsigen Durchgangspersonenwagen wird man aus architektonischen Gründen, um den warmen Gesamtton nicht zu beeinträchtigen, auf die Verwendung von Rotguß für die Beschlagteile nicht verzichten können. Diese Teile werden auch das Gesamtgewicht der Wagen nicht entscheidend beeinflussen. Doch darf nur in Ausnahmefällen der Gewichtserleichterung Beschränkung auferlegt werden. An zwei Beispielen sei gezeigt, daß auch an verhältnismäßig kleinen und untergeordneten Teilen erhebliche Gewichtsersparnisse erzielt werden können. Die seit dem Jahre 1930 allgemein eingeführten Hohlprofile (Abb. 39) an Stelle von Vollprofilen für die Fensterrahmen bringen für

einen D-Zugwagen eine Gewichtsersparnis von rund 100 kg. Ferner werden bei den D-Zugwagen in geschweißter Ausführung die Fensterkonsolen statt gegossen aus gepreßtem Blech mit eingeschweißten Stegen hergestellt. Eine derartige Konsole wiegt 10 kg weniger als die bisherigen, so daß an den Fensterkonsolen der zehn Abteile eines D-Zugwagens 3. Kl. gleich-

Schnitt A-B

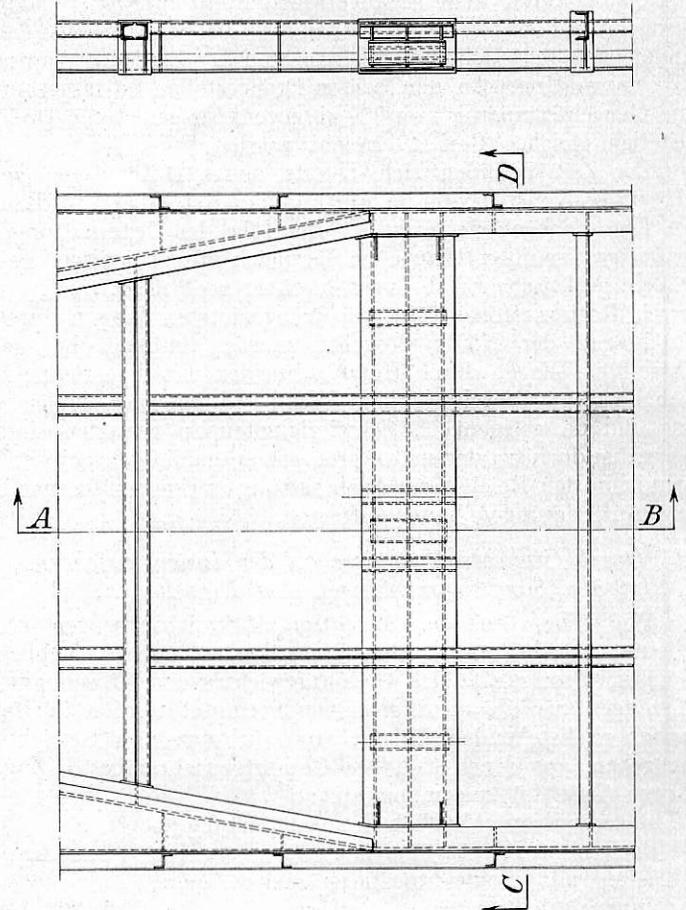


Abb. 36. Teil des Untergestelles eines geschweißten D-Zugwagens.

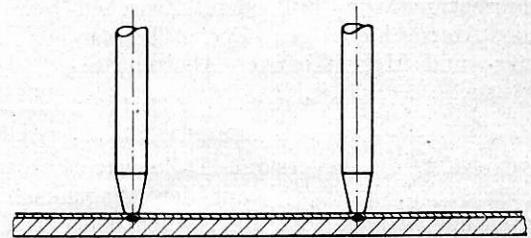


Abb. 37. Punktschweißung mit parallel stehenden Schweißelektroden.

falls 100 kg gespart werden. Beides zusammen gibt also schon eine Gewichtsersparnis von einer fünftel Tonne.

Die Dampfeizung wird bei den geschweißten D-Zugwagen aus Rohren von 1,5 statt bisher 3,5 mm Wandstärke hergestellt. Um der bei dieser geringen Wandstärke erhöhten Gefahr des Durchrostens zu begegnen, erhalten die Rohre einen Kupfergehalt von 0,5%. Da auch der Dampfleinläßregler, die Stelleinrichtungen und die sonstigen Teile leichter als bisher ausgeführt werden, sinkt das Gesamtgewicht um etwa 550 kg auf fast die Hälfte des ursprünglichen.

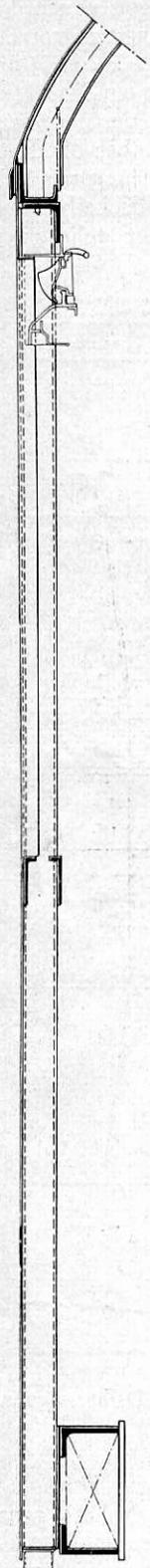


Abb. 35. Seitenwand-schnitt eines geschweißten D-Zugwagens.

Gewichtsersparnisse erzielt werden können. Die seit dem Jahre 1930 allgemein eingeführten Hohlprofile (Abb. 39) an Stelle von Vollprofilen für die Fensterrahmen bringen für

Bei der Beleuchtung kommt neuerdings eine alkalische Batterie (Nickel-Cadmium) zur Verwendung, die 300 kg leichter ist als die jetzt allgemein übliche. Abgesehen von den geschweißten D-Zugwagen werden zur Zeit noch 100 Wagen verschiedener Gattung mit dieser leichten Batterie ausgerüstet.

An den Zug- und Stoßvorrichtungen können bei den Personenwagen zur Zeit noch keine Gewichtsersparnisse erzielt werden, da sie in der Lage sein müssen, die im Betriebe vorkommenden größten Zug- und Stoßwirkungen mit Sicherheit aufzunehmen und vom Wagen fernzuhalten. Bei den im Bau befindlichen leichten Triebwagen jedoch, die allein bzw. nur mit einem leichten Anhänger fahren, sind die Zug- und Stoßvorrichtungen schon so leicht ausgebildet, daß sie nur mit dem für sie bestimmten, gleichfalls äußerst leichten Anhänger gekuppelt werden können. Die betriebsmäßige Kupplung mit anderen Fahrzeugen ist weder möglich noch beabsichtigt.

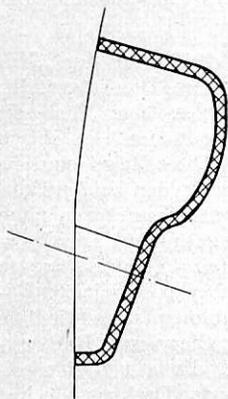


Abb. 38. Kämpferleiste am Kunstholz.

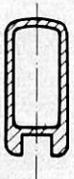


Abb. 39. Hohlprofil für Fenster-rahmen.

Das Gesamtgewicht der Bremse am Untergestell, in den Drehgestellen, sowie der Bremszylinder einschließlich aller Befestigungsteile jedoch ausschließlich der Notbremschutzrohre, der Notbremszugkästen und der Druckluftleitungsrohre beträgt bei einem D-Zugwagen 3930 kg, bei einem vierachsigen Durchgangspersonenwagen 2335 kg und bei einem zweiachsigen Personenwagen 1660 kg. Durch leichtere Ausführung des Bremsgestänges und der Befestigungsteile lassen sich zwar Gewichtsersparnisse erzielen, doch wird das Gesamtgewicht der Bremse hierdurch nicht erheblich vermindert. Bei einem der neuen Triebwagen ist die Klotzbremse aus gewichts- und bremstechnischen Gründen zugunsten der Trommelbremse verlassen worden. Wird an diesem Fahrzeug der Beweis erbracht, daß die Trommelbremse sich bei Eisenbahnfahrzeugen bewährt und daher auch bei Personenwagen angewendet werden kann, so lassen sich an der Bremse Gewichtsersparnisse erzielen, die wie bei der Heizung die Hälfte des jetzigen Gewichtes betragen können.

Die im Bau befindlichen geschweißten D-Zugwagen, bei denen alle diese Gewichtsersparnisse vereinigt sind, werden in ihrem Gesamtgewicht ganz erheblich leichter als die bisherigen Wagen werden. Eine bestimmte Angabe aller errechneten Gewichtsvermindierungen dürfte jedoch erst dann angebracht sein, wenn die Verriegelung der fertiggestellten Wagen die errechneten Werte bestätigt hat.

Gestaltung der Personenwagen in bezug auf den Luftwiderstand.

Der immer fühlbarer werdende Wettbewerb von Kraftwagen und Flugzeug zwingt auch die Eisenbahn zu höheren Geschwindigkeiten. Wenn im gegenwärtigen Zeitpunkt auch die Erhöhung der Geschwindigkeit der Personenzüge besonders auf Nebenstrecken dringender erscheint als bei den Schnell- und Eilzügen, wird doch auch bei diesen Zügen mit der Zeit eine weitere Steigerung der Geschwindigkeit in bestimmten Grenzen unvermeidlich sein, sofern der Abwanderung auf andere Verkehrsmittel wirksam begegnet werden soll.

Bei einer Pressefahrt Berlin—Magdeburg im Frühjahr 1931 mit leichten vierachsigen Personenwagen wurde eine höchste Geschwindigkeit von 141 km/h erzielt, ebenso wurden bei einer Probefahrt mit Rheingoldwagen im Jahre 1928 142 km/h gefahren. Mit diesen Fahrten, bei denen die Wagen durchweg

sehr ruhig liefen, dürfte der Beweis erbracht sein, daß die mit Drehgestellen ausgerüsteten Personenwagen auch bei derart hohen Geschwindigkeiten noch die erforderliche Sicherheit gewährleisten. Der Luftwiderstand spielt in diesen Geschwindigkeitsbereichen jedoch bereits eine derartige Rolle, daß eine Herabsetzung desselben unbedingt notwendig ist. Einen der größten Widerstände, besonders bei Seitenwind, bilden die Zwischenräume zwischen den einzelnen Wagen. Um die Größe dieser Widerstände zu ermitteln, sind für Versuchsfahrten mit hohen Geschwindigkeiten zehn vierachsige Personenwagen mit besonderen Faltenbälgen ausgerüstet, welche die ganze Stirnwand der Wagen einnehmen (Abb. 40) und dadurch dem ganzen Zuge ein möglichst glattes Äußeres geben. Ferner sind die an den Langträgern herausragenden Z-Eisen der Seitenwandungen mit Blech abgedeckt. Außerdem werden die Wendlersauger bei Durchführung der Versuchsfahrten abgeschraubt und die Öffnungen mit Blech geschlossen.

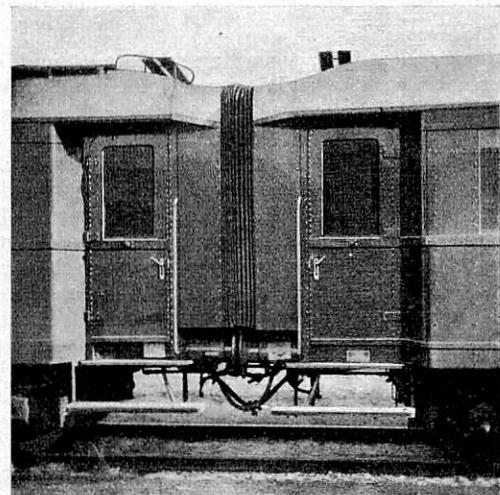


Abb. 40. Versuchs-Faltenbalg für vierachsige Durchgangspersonenzugwagen.

Wie weit die äußere Gestalt der Personenwagen durch eine geeignete Formgebung zur Herabsetzung des Luftwiderstandes in Zukunft verändert wird, bleibt abzuwarten. Eine weitgehende Annäherung an die günstigste Windform dürfte den schnellfahrenden Triebwagen vorbehalten bleiben. Bei D-Zug- und vierachsigen Personenwagen wird voraussichtlich die Vermeidung allzu großer Luftwiderstände auf die Ausbildung einer möglichst glatten Außenhaut des Zuges durch große Faltenbälge, möglichst wenig zurückspringende Türen und Fenster, Fortfall aller Leisten und Vorsprünge sowie der unten am Bekleidungsblech herausragenden Z-Eisen und einer geeigneten Verkleidung der Wendlersauger beschränkt bleiben.

Schlußbetrachtung.

Als wichtigstes Merkmal der Entwicklung des letzten Jahrzehnts im Waggonbau ist der Übergang von Holz auf Stahl bezeichnet worden. Zwar hat man auch früher schon Teile des Wagens, z. B. das Untergestell und die Seitenwandungen aus Stahl hergestellt, aber die eigentliche Durchbildung einer zweckmäßigen und haltbaren Stahlkonstruktion ist erst in den letzten Jahren erfolgt. Man sollte meinen, daß mit dieser sorgfältig durchgebildeten Ausführung nun auch im Waggonbau ein gewisser Abschluß erreicht ist. Aber die vorstehenden Ausführungen dürften gezeigt haben, daß gerade das Gegenteil der Fall ist. Die Konstruktion der Personenwagen ist zur Zeit mehr im Fluß denn je. Alles Bestehende

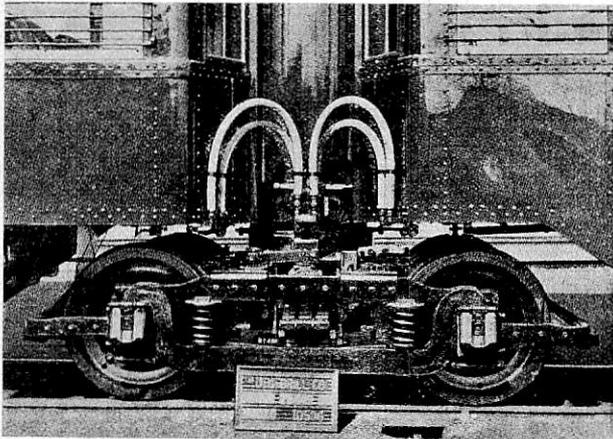
geht offensichtlich mehr oder weniger großen Veränderungen entgegen. Die Konstruktion wird durch die immer stärker werdende Forderung nach Leichtbau entscheidend beeinflusst, der Werkstoff ändert sich durch die Schaffung von ständig hochwertiger werdenden Baustählen und durch die Verwendung von Kunstholz und Leichtmetall, die Art der Fertigung erleidet durch die Einführung des Schweißens an Stelle des Nietens in Verbindung mit Fließverfahren und Austauschbau eine völlige Veränderung und sogar die

äußere Gestalt der Fahrzeuge wird je nach der von ihnen verlangten Geschwindigkeit durch die Ausbildung einer möglichst geeigneten Windform mehr oder weniger stark in ihrem heutigen Aussehen verändert werden. Wenn auch dieses und jenes erst mit der Zeit ausreifen und feste Gestalt annehmen muß, schien es doch angezeigt, bei der Rückschau über das in den letzten Jahren Geleistete auch einen Blick vorwärts zu tun auf den Weg, der mit den Neukonstruktionen der allerletzten Zeit bereits beschriftet ist.

Gelenkfahrzeuge.

Die Gelenkfahrzeuge haben für den Vorort- und Stadtbahnverkehr in den letzten Jahren, insbesondere in Amerika zunehmende Anwendung gefunden. Für den Fernverkehr (Entfernungen von mehr als etwa 40 km) kommt ihre Anwendung wegen der Schwierigkeiten in der Zugbildung, der Abfertigung von Kurswagen und wegen der beträchtlich schwankenden Besetzung der Züge weniger in Frage.

Züge aus Gelenkfahrzeugen für den Stadt- und Vorortverkehr werden gebildet aus zwei Triebwagen oder aus drei Wagen, von denen nur die beiden äußeren Antrieb haben; ferner werden auch eine größere Anzahl von Gelenkfahrzeugen zu einem von einer besonderen Lokomotive bewegten Zug zusammengestellt. Die Quelle faßt hierunter auch die häufig im Stadtverkehr verwendeten Züge aus kurzgekuppelten Wagen zusammen. Die echten Gelenkwagen lagern an der Verbindungsstelle auf einem gemeinsamen Drehgestell (am gleichen Drehzapfen oder zwei verschiedenen Drehzapfen) auf (s. Abb.); auch einzelne radial einstellbare Laufachsen werden verwendet mit besonderer Einrichtung zur Herbeiführung der richtigen Einstellung. Die Vorteile der Gelenkfahrzeuge bestehen in einer Herabsetzung des gesamten Gewichtes und damit Verminderung des auf die Einheit der Nutzlast entfallenden toten Gewichtes durch Wegfall der Zug- und Stoßvorrichtung neben der verringerten Zahl von Tragachsen und in einer Verringerung der Länge des Zuges. Der leichte Übergang von einem Wagen zum andern bildet für die freie Bewegung der



Gelenk der Schnelltriebwagen.

Reisenden und für ihre Verteilung im Zug einen großen Vorteil. Außerdem wird gewöhnlich auch bei diesen eine Einheit für sich bildenden und daher geringeren Beanspruchungen im Betriebe ausgesetzten Zügen leichte Bauweise angewendet. Da bei den Gelenkzügen eine Trennung nicht in Frage kommt, so läßt sich auch die elektrische Antriebseinrichtung besser verteilen und hinsichtlich der Steuerungseinrichtung vereinfachen. — Durch die Anordnung von radial sich einstellenden Laufachsen besonderer Bauart wird außerdem ein zwangloser Lauf und daher eine geringere Abnutzung von Rad und Schiene bei den engen Krümmungen von Straßenbahnen angestrebt. Als Nachteil der Gelenktriebwagen muß neben den schon oben erwähnten betrieblichen

Schwierigkeiten noch angeführt werden, daß bei Störungen und Beschädigungen eines Zugteiles die ganze Garnitur aus dem Betrieb gezogen werden muß.

Doppeltriebwagen-Gelenkzüge wurden 1919 von der „Milwaukee Electric Railway and Light Company“ in Dienst gestellt. Gelenkzüge aus drei Wagen, sogenannte „Triplex-Züge“, hat seit 1923 die „Brooklyn—Manhattan Transit Corporation“ in ihrem Untergrundbahnnetz in Betrieb genommen. Diese Züge sind in der Anordnung ähnlich den Doppeltriebwagen. In den beiden Enddrehgestellen sind die 200 PS-Gleichstrom-Antriebsmotoren nach der bei Straßenbahnen üblichen Art untergebracht. Die New-York Rapid Transit-Corporation hat ebenfalls Triplex-Züge in Dienst gestellt, bei denen aber alle vier Drehgestelle mit 200 PS-Motoren dem Antrieb dienen. Diese Züge dienen ausschließlich dem Schnellverkehr der Hochbahn. Die „Cleveland Railway-Company“ hat Doppelwagen bauen lassen, die auf drei zweiachsigen Drehgestellen gelagert sind. Jedes der Drehgestelle hat zwei 50 PS-Motoren. Diese Einheiten laufen besonders im inneren städtischen Verkehr. Zum Teil ist bei den amerikanischen Bahnen altes auszumusterndes Wagenmaterial zu den neuen Gelenkeinheiten umgebaut worden.

In Europa hat die „London and North-Eastern Railway“ seit 1929 ungefähr 230 Gelenkwagenzüge im Betrieb. Dabei handelt es sich teils um Wagen, die auf gemeinsamen Drehgestellen laufen (bis zu zehn Wagen auf zwölf Drehgestellen), teils um gewöhnliche kurzgekuppelte Wagen. Sämtliche Gelenkwagen dieser Bahn sind Reisewagen, die von Dampflokomotiven gezogen werden und im Fernverkehr gebraucht werden. Einige der Dreiwageneinheiten dienen als Speise- oder Schlafwagen. Die Hälfte aller dieser Gelenkzüge sind umgebautes altes Wagenmaterial.

Zur Verbesserung der Laufeigenschaften alter zweiachsiger Wagen haben die Schwedischen Staatsbahnen je zwei solcher Altwagen zu einem Doppelwagen verbunden, bei denen das Gelenk auf einem Jakob-Drehgestell liegt. Kürzlich wurden vier solcher alter Wagen zu einer Einheit mit drei Jakob-Drehgestellen und zwei einzelnen Endachsen verbunden.

Die Mailänder Nordbahn hat zwei zweiachsige Wagen mit einachsigem Drehgestell der Bauart Liechty, bei der die Radialstellung durch Verbindung mit den Puffern herbeigeführt wird, ausgestattet. Versuche auf der Strecke von Mailand nach Saronno haben nach der Quelle befriedigende Ergebnisse geliefert.

Auch einige Nebenbahnen in Sachsen und die Vorort-Straßenbahnnetze von Dresden und Leipzig verwenden Dreifachgelenktriebwagen: Zwischen zwei Triebwagen mit zwei festen Triebachsen (3,50 m Achsstand) ist im Wagenkasten ein Abschnitt als Zwischenstück ohne eigene Achse auf Drehzapfen an den Enden der beiden Triebwagen gelenkig gelagert. Ähnliche Wagen laufen bei der Berliner Straßenbahn.

In Britisch Indien werden Gelenkwagenzüge aus zwei bis drei Wagen verwendet, die dem Fernverkehr mit Dampflokomotivbetrieb dienen. In Ägypten sind Gelenkdoppeltriebwagen für Dampftrieb in Gebrauch. Die beiden Achsen des mittleren Drehgestells werden direkt von einer senkrechtstehenden Dampfmaschine getrieben. Die Maschine wird von den Enden des Doppelwagens aus ferngesteuert.

R—r.

Mschr. int. Eisenbahn-Kongr.-Verein. 1931, 2. Bd., Nr. 9.

Behandlung der Personenwagen in der Wagenversuchsabteilung Grunewald der Deutschen Reichsbahn-Gesellschaft.

Von Reichsbahnrat **Fritz Lutteroth** und Reichsbahnbaumeister **Oswald Putze**.

Hierzu Tafel 5 bis 7.

	Seite
A. Lauftechnische Untersuchung von Personenwagen mittels Fahr- und Standversuchen.	
I. Meßeinrichtungen für Untersuchungen während der Fahrt	42
1. Hilfsgeräte. 2. Vergleichende Beurteilung der Laufeigenschaften. 3. Schwingungstechnische Untersuchungen.	
II. Meßeinrichtungen für Standuntersuchungen	50
1. Untersuchung von Wagenkästen bei betriebsmäßiger Abstützung. 2. Drehgestellprüfung bei betriebsmäßiger Abstützung. 3. Federprüfung.	
III. Versuche zur Zerlegung schneller Bewegungsvorgänge im Eisenbahnbetrieb mittels Zeitlage	56
B. Untersuchung der Personenwagenausrüstung	
I. Untersuchung auf ortsfesten Prüfständen	58
1. Versuchseinrichtung zur Prüfung der elektrischen Heizung. 2. Lichtmaschinenprüfung. 3. Heizkupplungsprüfstand. 4. Prüfstand zum Untersuchen von Anstrichen. 5. Untersuchung von Gegenständen der inneren Ausrüstung.	
II. Untersuchung der Wagenausrüstung während der Fahrt	62
1. Meßwagen II. 2. Prüfung der elektrischen Beleuchtung. 3. Prüfung der Heizung. 4. Prüfung der Entlüftungseinrichtungen. 5. Wärmefluß. 6. Messung von Geräuschen.	

Vorbemerkungen.

Aufgabe der Wagenversuchsabteilung ist es, für Neubau von Eisenbahnwagen in Aussicht genommene Neuerungen und Verbesserungen zu erproben, bei Wagen des Betriebes etwa vorhandene Mängel festzustellen, Maßnahmen für ihre Beseitigung vorzuschlagen, insbesondere aber ungeklärte Erscheinungen auf dem Gebiete des Eisenbahnwagenbaues wissenschaftlich zu erforschen.

In der Wagenversuchsabteilung werden Wagen jeder Art behandelt. Nachfolgend werden nur die Meßeinrichtungen und Meßverfahren für Personenwagen beschrieben.

Die Wagenversuchsabteilung behandelt sämtliche Gebiete des Eisenbahnwagenbaues ausschließlich der Bremsen mit Zubehör. Die auszuführenden Versuche haben teils wissenschaftlichen, teils rein praktischen Charakter. Vielfach geht beides naturgemäß ineinander über. Die rein wissenschaftlichen Untersuchungen sind meist nicht an einen festen Auftrag gebunden, stellen vielmehr Forschungsarbeiten dar, deren Notwendigkeit sich aus allgemeinen Erfahrungen oder aus den Ergebnissen bestimmter Versuche ergibt.

Die Durchführung der Versuche bringt es natürlich häufig mit sich, daß Werkstattarbeiten ausgeführt werden müssen; z. B. Änderungen von Bauteilen der zu untersuchenden Wagen, Herstellung, Instandhaltung und Anbau von Meßvorrichtungen. Um diese Arbeiten planmäßig und unter ständiger Aufsicht des Abteilungsleiters oder seiner Beamten durchzuführen, ist die Wagenversuchsabteilung im Reichsbahn-Ausbesserungswerk Grunewald untergebracht. Um nun die wirtschaftliche Durchführung des eigentlichen Werksbetriebes nicht zu gefährden, hat die Wagenversuchsabteilung eine eigene Fertigungsabteilung erhalten, in der etwa 50 Handwerker unter Leitung eines Meisters beschäftigt werden.

Ein Teil der Wagenrhythalle des Reichsbahn-Ausbesserungswerks Grunewald mit fünf Gleisständen von je etwa 30 m Länge und mehrere besondere Räume stehen der Wagenversuchsabteilung für Arbeitsstände der Belegschaft, zur Unterbringung der Meß- und Prüfapparate und als Wagenstände zur Ausführung der Versuchsarbeiten zur Verfügung. Zwei besonders gut ausgerichtete Gleise auf besonders starkem Fundament und Arbeitsgruben werden zur Durchführung der Standversuche an ganzen Wagen oder Wagenkästen verwendet. An Arbeitsmaschinen sind Bohrmaschinen, Drehbänke, eine Hobelmaschine, eine Blechschere und Stanze und eine Metallsäge vorhanden. In einer Mechanikerwerkstatt werden Versuchsapparate und Zubehör instand gehalten, ausgebessert und gelegentlich auch selbst angefertigt.

Bei Fahrversuchen ergibt sich häufig die Notwendigkeit, Arbeiten an Wagen oder Versuchseinrichtungen außerhalb

der Wagenversuchsabteilung auszuführen. Um sie einwandfrei und ohne Verzögerung auszuführen, wird bei wichtigen Versuchen ein Werkstattwagen (s. Abb. 1) der die erforderlichen Geräte und Werkzeuge enthält, mitgeführt. Dieser Wagen ist aus einem alten Schlafwagen, der ausgemustert werden sollte, hergerichtet und enthält eine benzinelektrische Maschinenanlage, einen Umformersatz, Schalttafeln, verschiedene Werkzeugmaschinen und Arbeitsgeräte.

Die benzinelektrische Maschinenanlage liefert den Gleichstrom für die Bogenlampen und für den Antriebsmotor der Zeitlupe und den Wechselstrom für die Werkzeugmaschinen und für den Antrieb des Umformersatzes. Die mit dem Wechselstrommotor gekuppelten Generatoren liefern Gleichstrom von 24 und 110 Volt. Die Gleichstromspannung von 110 Volt wird bei längeren Versuchsfahrten für den Betrieb der Oszillographen, die Spannung von 24 Volt zur Aufladung der Batterien benötigt. Um auf längeren Versuchsfahrten größere Arbeiten ausführen zu können, stehen im Werkstattwagen eine Mechaniker-Drehbank, eine Bohrmaschine und eine Schmirgelscheibe zur Verfügung. Vorratsbehälter und Werkzeuge vervollständigen die Einrichtung des Werkstattwagens.

A. Meßeinrichtungen und Verfahren zur lauftechnischen Untersuchung von Wagen mittels Fahr- und Standversuchen.

Eine der Hauptaufgaben der Wagenversuchsabteilung Grunewald ist die wissenschaftliche Erforschung des Laufes von Eisenbahnwagen. Hierzu gehören auch die lauftechnische Untersuchung wichtiger Bauartänderungen von Personenwagen, die besondere lauftechnische Prüfung der ersten Neubauwagen jeder Wagengattung, die von den einzelnen Wagenbauanstalten fertiggestellt werden, und die lauftechnische Untersuchung aller Personenwagen, die nicht einwandfreie Laufeigenschaften haben, falls die Ursache für die beanstandeten Eigenschaften von Dienststellen, denen die Unterhaltung obliegt, nicht ermittelt werden kann.

Zur Feststellung der Laufeigenschaften wird der Wagen im allgemeinen, sofern nicht sichtbare Mängel vorliegen, zunächst auf einer Probefahrt untersucht. Falls Laufmängel hierbei festgestellt werden, wird der Wagen nach der Versuchsfahrt auf den ortsfesten Prüfständen untersucht, wobei die Feststellungen, die bei der Versuchsfahrt gemacht sind, meist schon einen Fingerzeig geben, auf welche Bauteile die Mängel hauptsächlich zurückzuführen sind. Auf Grund des Befundes dieser Untersuchungen werden dann die nötigen Berichtigungen vorgenommen, und auf einer weiteren Versuchsfahrt wird festgestellt, ob die Laufmängel nunmehr behoben sind, bzw. ob und in welcher Hinsicht weitere Verbesserungsmaßnahmen getroffen werden können. Im folgenden sollen die von der

Wagenversuchsabteilung Grunewald zur Laufuntersuchung von Wagen bei Fahr- und bei Standversuchen verwendeten Meßeinrichtungen und -verfahren beschrieben werden.

I. Meßeinrichtungen und -verfahren für Untersuchungen von Wagen während der Fahrt.

Bei der Versuchsfahrt werden die Messungen, die je nach Art des Versuchszwecks notwendig sind, ausgeführt und der Wagenlauf durch gefühlsmäßige Beobachtungen überwacht. Die gefühlsmäßigen Beobachtungen der Teilnehmer der Versuchsfahrt werden nach Beendigung der Versuchsfahrt in einer Versuchsniederschrift festgelegt, wobei der senkrechte und waagerechte Lauf und der Gesamtlauf durch ein Urteil gekennzeichnet werden, und Sondererscheinungen (z. B. Geräusche) besonders vermerkt werden.

Um aus verschiedenen Laufuntersuchungen durch Vergleich der einzelnen Ergebnisse einwandfreie Schlüsse ziehen

Die qualitative Messung hat den Zweck, die allgemeinen Laufeigenschaften zu messen und aufzuzeichnen. Es soll dabei die Art der Schwingungen, die der Wagen bei der Fahrt ausführt, unter Berücksichtigung, wie der Reisende sie empfindet, festgestellt werden. Eine derartige Untersuchung ist bei Wagen, die infolge zunächst unbekannter Ursachen nicht befriedigend laufen, notwendig, um festzustellen, welche Schwingungserscheinungen auftreten und welche Bauteile gegebenenfalls im einzelnen schwingungstechnisch vermessen werden müssen. Da zur derartigen Beurteilung des Wagenlaufs der Wagen während der Fahrt auf einer längeren Versuchsstrecke beobachtet werden muß, müssen die verwendeten Meßeinrichtungen für Aufzeichnung der Laufeigenschaften auf längeren Versuchsstrecken eingerichtet sein.

Die quantitative Messung hat den Zweck, die während der Fahrt auftretenden Schwingungen ohne Berücksichtigung, wie der Reisende sie empfindet, größtmäßig festzustellen.

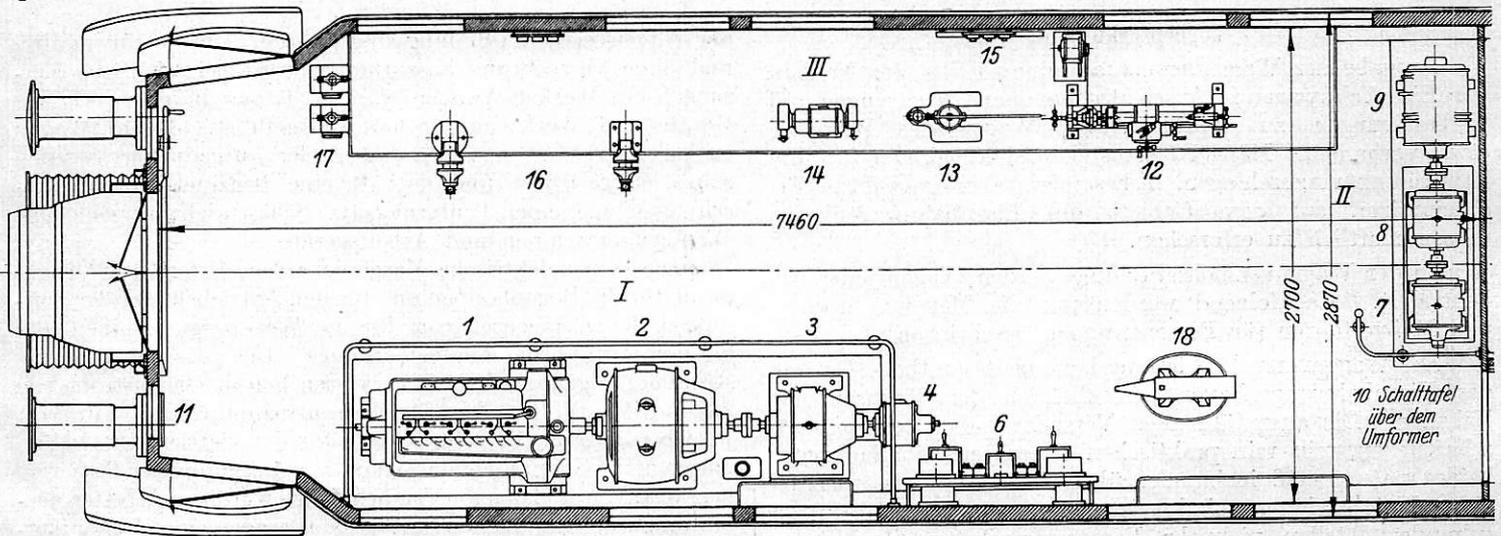


Abb. 1. Werkstattwagen.

I. Maschinenanlage

- 1 Benzinmotor
- 2 Gleichstromgenerator
- 3 Wechselstromgenerator
- 4 Erregermaschine
- 5 Kühlanlage
- 6 Schalttafel

II. Umformer

- 7 Wechselstrom-Antriebmotor
- 8 Gleichstromgenerator 110 V
- 9 Gleichstromgenerator 24 V
- 10 Schalttafel
- 11 Klemmleisten für Kabelanschlüsse

III. Werkzeugmaschinen

- 12 Drehbank
- 13 Bohrmaschine
- 14 Schmirgelscheibe
- 15 Schaltbrett
- 16 Schraubstöcke
- 17 Winden
- 18 Amboß

zu können, müssen die Grundbedingungen für die einzelnen Versuchsfahrten genau gleich sein. Insbesondere müssen zusammenhängende Versuche auf der gleichen Versuchsstrecke ausgeführt, die jeweils erforderlichen Geschwindigkeiten genau eingehalten werden, und die Anordnung des Versuchszuges und der Stand des zu untersuchenden Wagens im Versuchszuge immer gleich sein. Die Versuchsfahrten der Wagenversuchsabteilung Grunewald werden daher (abgesehen von wenigen Sonderfahrten) immer auf der gleichen Strecke Grunewald—Nordhausen und zurück durchgeführt, die durch die Streckenführung und den Zustand für Durchführung von Versuchsfahrten besonders geeignet ist. Der Versuchszug wird dabei aus fünf Drehgestellwagen gebildet und bei der Hin- und Rückfahrt jeweils der am Schluss laufende Wagen untersucht.

Die ausgeführten Laufuntersuchungen können grundsätzlich in zwei Gruppen eingeteilt werden und zwar in: Fahrversuche für eine vergleichende Beurteilung des Wagenlaufs ohne zahlenmäßige Bestimmung der Größen der Schwingungsvorgänge (qualitative Messung), und Fahrversuche für schwingungstechnische Untersuchung des Wagenlaufs bei größtmäßiger Ermittlung der Schwingungsvorgänge und des Stoßverlaufs (quantitative Messung).

um aus diesen Feststellungen nach Möglichkeit die Ursachen zu ermitteln und zu beseitigen. Die schwingungstechnische Untersuchung kann sich dabei im allgemeinen auf kürzere, besonders markante Streckenabschnitte beschränken. Die Versuchseinrichtungen sind dementsprechend ausgebildet. Für Versuche, bei denen die auf einer längeren Strecke auftretenden Höchstwerte der Schwingungsvorgänge festgestellt werden sollen, wird eine besondere Meßeinrichtung verwendet.

Bei Durchführung von Versuchsfahrten wird es natürlich häufig vorkommen, daß beide Untersuchungsarten gleichzeitig an einem Wagen ausgeführt werden.

Die für die Laufuntersuchung im Einzelfall verwendeten Meßeinrichtungen und Geräte können eingeteilt werden in:

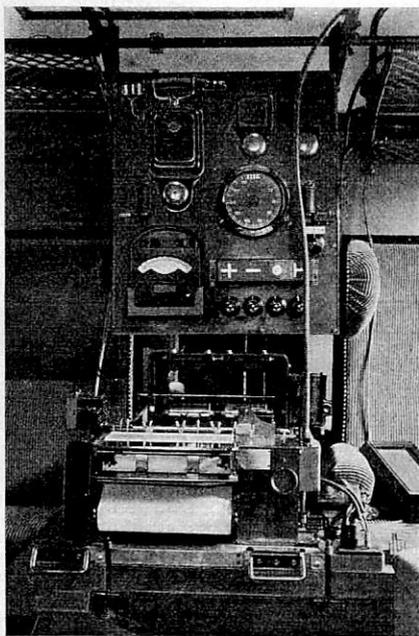
1. Hilfsgeräte, die zur einwandfreien Durchführung der Laufuntersuchungen notwendig sind.
2. Meßeinrichtungen für eine vergleichende Beurteilung des Wagenlaufs ohne zahlenmäßige Bestimmung der Größen der Schwingungsvorgänge.
3. Meßgeräte für schwingungstechnische Untersuchung des Wagenlaufs bei größtmäßiger Ermittlung der Schwingungsvorgänge.

Da für diese Sonderzwecke geeignete Meßeinrichtungen und Geräte früher größtenteils nicht vorhanden waren, mußte Bau und Entwicklung derselben teils selbst vorgenommen, oder in Zusammenarbeit mit in Frage kommenden Firmen durchgeführt werden.

1. Hilfsgeräte für Laufuntersuchungen.

Hilfsgeräte werden für Befehlserteilung an den Lokomotivführer, für Überwachung der Fahrgeschwindigkeit, für Antrieb von Meßgeräten und Umdrehungskontaktwerken vom Radsatz aus und für Markierung der Meßstreifen und Diagramme in bestimmten Zeit- und Wegabschnitten verwendet.

Die Überwachung der Fahrgeschwindigkeit und die Befehlserteilung an den Lokomotivführer zur Regelung der Geschwindigkeit erfolgt von dem zu untersuchenden Wagen aus.



Der zunächst naheliegende Gedanke, zur Befehlsübertragung an den Lokomotivführer einen Fernsprecher zu verwenden, konnte nicht verwirklicht werden, da bei höheren Fahrgeschwindigkeiten und insbesondere, wenn das Sicherheitsventil bläst, eine einwandfreie Verständigung mit einem Fernsprecher nicht möglich ist. Außerdem ist zu einer derartigen Befehlsübermittlung die Mitnahme eines dritten Mannes zur Befehlsübermittlung notwendig, da anderenfalls bei Schnellfahrten der Lokomotivführer durch Bedienung des Fernsprechers seinen Aufgaben als Führer in unzulässiger Weise entzogen wird. Der Fernsprecher wird daher nur zur Verständigung innerhalb des Zuges insbesondere zwischen dem zu untersuchenden Wagen und dem Meßwagen benutzt.

Abb. 2. Meßgerät Bauart Grunewald und Befehlstafel im untersuchten Wagen betriebsmäßig eingebaut.

Die zur Befehlsübertragung und Überwachung der Fahrgeschwindigkeit verwendete Einrichtung besteht aus einem in dem jeweils zu untersuchenden Wagen eingebauten Befehlsgerät, und dem auf der Lokomotive befindlichen Empfangsgerät. Beide Geräte bestehen aus einem Anzeigeinstrument, auf dem die gewünschte Geschwindigkeit in km/h eingestellt werden kann, und aus einem Transparent, mit dem wahlweise durch Aufleuchten einzelner Felder verschiedene Befehle, nämlich: schneller fahren, langsamer fahren, Geschwindigkeit richtig!, Halt, erteilt werden können. Die Befehlstafel enthält noch einen Geschwindigkeitsmesser, einen Fernsprecher zur Verständigung mit dem Meßwagen und zwei später beschriebene Zählwerke. Abb. 2 zeigt die Befehlstafel im untersuchten Wagen betriebsmäßig eingebaut. Die beiden Instrumente zur Anzeige der gewünschten Geschwindigkeit sind Voltmeter und liegen beide an der gleichen Batteriespannung. Durch Einstellen eines Drehwiderstandes wird die Netzspannung der beiden Instrumente derart geregelt, daß sie die gewünschte Fahrgeschwindigkeit anzeigen. Die Transparente der Empfangs- und der Befehlstafel sind durch vier Stromkreise miteinander verbunden. Das Ein- und Ausschalten erfolgt durch auf der Befehlstafel

angebrachte Schalter. Der Lokomotivführer bestätigt den Befehl durch Drücken eines auf der Empfangstafel angebrachten Druckknopfes, wodurch der Stromkreis der Glühbirnen der Transparente unterbrochen wird.

Eine Anzahl von Geräten, z. B. Geschwindigkeitsmesser, Umdrehungskontaktwerke und zweckmäßigerweise auch Papiervorschübe einiger Registriergeräte müssen von dem Radsatz angetrieben werden. Von einer auf der Achse befestigten Rillentrommel wird mittels zweier Pesen ein Wendegetriebe angetrieben, und an dieses Wendegetriebe mittels biegsamer Gliederwelle das in Frage kommende Gerät angeschlossen. Die Verwendung von Wendegetrieben ist notwendig, da die anzutreibenden Geräte nur einen Drehsinn haben. Auf die Zweckmäßigkeit und leichte Einbaumöglichkeit ist besonders geachtet, da diese Einrichtung zum Antrieb des Geschwindigkeitsmessers und des Papiervorschubs eines Meßgeräts an jedem zu untersuchenden Wagen angebaut werden muß. Durch Verwendung von Pesen aus Drahtspiralen und zweckmäßiger Ausbildung der Rillen der Antriebsscheiben sind Schlupferscheinungen so gut wie ausgeschaltet.

Zur Markierung der von den verschiedenen Meßeinrichtungen aufgezeichneten Diagramme in bestimmten Wegabständen werden Kontaktwerke verwendet, die in der vorstehend beschriebenen Weise von der Radachse angetrieben werden. Sie sind mit Getrieben ausgerüstet, die bei jeder Umdrehung oder jeweils nach einer bestimmten Zahl von Umdrehungen des antreibenden Radsatzes einen Kontakt schließen. Um eine unnötige Entladung der Stromquelle zu vermeiden, falls bei Stillstand des untersuchten Wagens einer der Kontakte zufällig geschlossen ist, sind die Kontaktwerke mit Fliehkraftschaltern ausgerüstet, die erst von bestimmten Geschwindigkeiten an ein Schließen der Kontakte zulassen. Für Sonderversuche kann der Fliehkraftschalter kurzgeschlossen werden.

Zur Zeitmarkierung auf den Meßstreifen werden Sekundenkontaktwerke in verschiedener Ausführungsform verwendet, z. B. mit sekundlicher Kontaktgebung, wobei jedoch zur leichteren Auswertung die Markierung jeder 10. und 59. Sekunde ausgelassen wird, oder mit wahlweiser Kontaktgebung in Zeitabständen von 0,1—1—5—10 und 30 Sekunden. Die Werke sind außer mit Handaufzug noch mit automatisch geregelter Motoraufzug der Triebfeder ausgerüstet.

Die an die Zeitkontaktwerke gestellten Bedingungen, daß sie einerseits den erschütterungsreichen Fahrbetrieb anstandslos aushalten, andererseits aber die zulässigen Fehler in der Zeitmarkierung den Wert von 0,4% nicht übersteigen sollen, wurde durch Verwendung einer Sirenenfederregulierung der Antriebswerke ohne Schwierigkeit erreicht. Auf Grund der günstigen Erfahrungen, die mit dieser Regulierungsart bei den Zeitkontaktwerken gemacht wurden, ist die Sirenenregulierung auch bei einer Anzahl anderer Apparate zur Regulierung der Papiergeschwindigkeit verwendet worden und bewährt sich auch hier gut.

Das Schema einer Sirenenregulierung, wie sie von der Firma H. Wetzler, Pfronten-Ried, Allgäu gebaut wird, ist in Abb. 3 gezeigt. Die Sirene ist eine Stahllamelle, die je nach ihrer Stärke und Länge eine Eigenschwingung von 200 bis 300 Schwingungen pro Sekunde hat. Sie greift mit ihrem äußersten Ende noch eben in die schneidigen, einseitig steil abfallenden Zähne des Sirenenrades, welchem vom Uhrwerk aus ein Drehmoment erteilt wird, und gestattet bei jeder Schwingung den Durchgang von einem Zahn. Die Umdrehungszahl des Sirenenrades ist also nur von der Zahnzahl dieses Rades und der Eigenschwingung der Sirenenfeder abhängig. Durch Verändern der Länge der Sirenenfeder und Austausch mit einer stärkeren oder schwächeren Feder kann deshalb die Laufgeschwindigkeit in weitem Maße geändert werden.

2. Vergleichende Beurteilung des Wagenlaufs

(ohne zahlenmäßige Bestimmung der Größen der Schwingungsvorgänge).

Zur allgemeinen Beurteilung der Laufeigenschaften eines Wagens wird ein Meßgerät verwendet, das nach dem Prinzip der dynamischen Beschleunigungsmessung arbeitet.

Das Prinzip eines derartigen dynamischen Beschleunigungsmessers ist in Abb. 4 gezeigt. Eine an einer Feder aufgehängte frei pendelnde Masse m (Massenpendel) zeichnet mit einem Schreiber s die zu untersuchenden Bewegungsvorgänge in kontinuierlichem Verlauf auf einen stetig bewegten Papierstreifen auf.

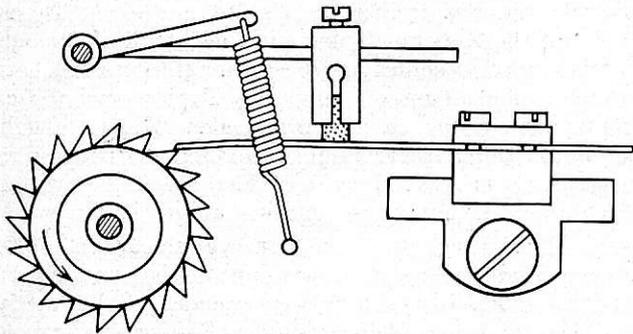


Abb. 3. Sirenenregulierung.

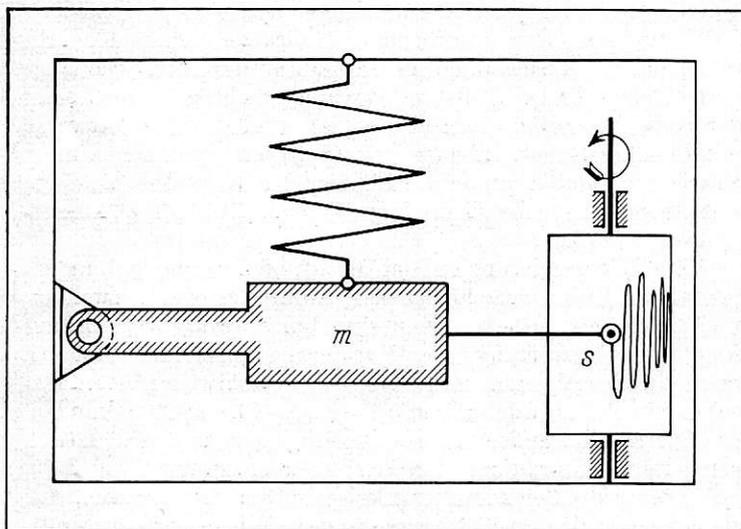


Abb. 4. Prinzip des dynamischen Beschleunigungsmessers.

Erstmalig wurde ein derartiges Gerät 1907 von der Werkinspektion Dortmund herausgebracht. Ein nach diesem Vorbild gebauter Apparat wurde auch von der Wagenversuchsabteilung für Laufuntersuchungen in den ersten Jahren ihres Bestehens verwendet. Gegenüber dem Ursprungsapparat unterschied sich der Apparat der Versuchsabteilung besonders durch zweckmäßigere Federaufhängung des waagerechten Massenpendels. Diese Apparate bieten den grundsätzlichen Vorzug, daß Beschleunigungsvorgänge unmittelbar mit einfachen Mitteln auf normalem Schreibpapier aufgezeichnet werden. Für Aufzeichnungen der Laufeigenschaften unter der Berücksichtigung, wie der Reisende durch sie beeinflusst wird, sind sie jedoch noch nicht voll geeignet, da die Aufzeichnungen, die durch Eigenschwingungen der Massenpendel, durch Resonanzabhängigkeit des Schwingungsausschlages und durch Verzerrungen der Schwingungsausschläge infolge der in den Massenpendeln aufgespeicherten lebendigen Energie in gewissen Grenzen beeinträchtigt werden, nicht dem Gefühl des Reisenden entsprechen. Durch eingehende Versuche ist es jedoch gelungen, ein Meßgerät zu entwickeln, bei dem diese Mängel vermieden sind.

Um Eigenschwingungen des Massenpendels bei Stoß-Erregung auszuschalten, wurden an Stelle eines Massenpendels für Aufzeichnung einer Bewegungsrichtung zwei Massenpendel verwendet. Diese sind so angeordnet, daß jedes von ihnen aus der Nullage (Mittellage) nur nach einer Richtung ausschlagen kann. Die Pendel liegen in der Nullage mit einer bestimmten Vorspannung gegen einen Anschlag. Eine nach Ausschlagen der Pendel bei Rückkehr in die Nullage eintretende gewisse Rückstoßwirkung des Puffers wird durch geeignete Wahl des Puffermaterials auf einen Kleinstwert herabgesetzt, der das Diagramm nicht mehr störend beeinflusst.

Um den störenden Einfluß der vielen bei den älteren Meßgeräten vorhandenen Gelenkpunkte auszuschalten, der sich darin äußerte, daß jeweils nach dem Unterhaltungs- und Schmierzustand der Gelenkpunkte unter gleichen Versuchsbedingungen verschieden große Ausschläge der Massenpendel eintraten, wurde die Anzahl der Gelenke und Führungen auf ein Kleinstmaß herabgesetzt und jegliche Übersetzung der Bewegungen von den Pendeln auf die Schreiber fortgelassen. Die Pendel zeichnen nunmehr die Ausschläge in wahrer Größe auf. Hierbei mußte jedoch eine Vergrößerung der Pendelausschläge und dementsprechend ein vermehrter Einfluß der lebendigen Kräfte in Kauf genommen werden. Der Einfluß, den die in den Pendeln aufgespeicherten Energien und die Abhängigkeit des Ausschlages von der jeweiligen Schwingungszahl auf die Aufzeichnungen ausüben, wird dadurch ausgeschaltet, daß die Aufzeichnungen mit dem gefühlsmäßigen Empfinden des Beobachters in Einklang gebracht werden. Durch eingehende Versuche mit verschiedener Anordnung der Massenpendel (bei Änderung der Masse, der Pendellänge und der Rückstellkraft) wurde diejenige Pendelanordnung bestimmt, die etwa gleiche Schwingungseigenschaften wie ein sitzender Mensch von mittleren Gewichts- und Größenverhältnissen hat. Die so bestimmten Pendel zeichnen gewissermaßen die Beschleunigungsgrößen, die der Reisende empfindet, auf. Ein derartiges Meßgerät kann zur vergleichenden Beurteilung des Wagenlaufs als besonders geeignet bezeichnet werden.

Das aus diesen Arbeiten und Untersuchungen entstandene Meßgerät „Bauart Grunewald“ ist in Abb. 5 gezeigt. Es zeichnet die in den drei Raumkoordinaten auftretenden Bewegungsvorgänge (in senkrechter Richtung und in waagerechter Richtung in Gleisachse und quer dazu) je mittels zwei Massenpendeln auf, und ist außerdem mit einer Anzahl von Magnetschreibern für Sondermarkierungen ausgerüstet. Für den Papiervorschub sind zwei voneinander unabhängige Antriebe vorgesehen, und zwar Antrieb von der Achse mittels biegsamer Welle und wahlweiser Antrieb durch einen von der Lichtbatterie angetriebenen Motor. Um bei Motorenantrieb den Papiervorschub trotz wechselnder Batteriespannung konstant zu halten, ist eine vorher beschriebene Sirenenregulierung angebracht. Das Meßgerät ist so ausgebildet, daß ein Tachograph angebaut werden kann, der die Fahrgeschwindigkeit auf den Registrierstreifen mit aufzeichnet. Falls kein Tachograph verwendet wird, wird sie in kurzen Zeitabständen handschriftlich auf dem Meßstreifen vermerkt.

Außer dem Meßgerät zum Aufzeichnen der Bewegungsvorgänge wird noch ein in Abb. 6 dargestelltes Kontaktgerät zur Registrierung der bei der Fahrt unter Umständen auftretenden Anschläge der Drehgestellwiege gegen den Drehgestellrahmen verwendet. Es wird an den Drehgestell-Langträger angebaut, und die Druckstange so eingestellt, daß beim Anliegen der Wiege am Drehgestellrahmen die an der Druckstange befestigte Brücke zwei Kontakte kurzschließt. Diese Kontakte sind ihrerseits mit einer starken Feder ebenfalls gefedert, um Verbiegen der Druckstangen zu vermeiden, falls diese tiefer eingedrückt werden, als bei der Kontakteinstellung vorgesehen ist. Die Anschläge der Wiege werden

durch Magnetschreiber auf dem Meßstreifen des Beschleunigungsmeßgerätes aufgezeichnet, mittels Zählwerken gezählt und wahlweise noch durch ein Klingelzeichen kenntlich gemacht. Aufzeichnen und Zählen der Anschläge erfolgt gesondert für die linke und rechte Wiegeneseite. Die Zählwerke sind auf der Befehlstafel, angeordnet.

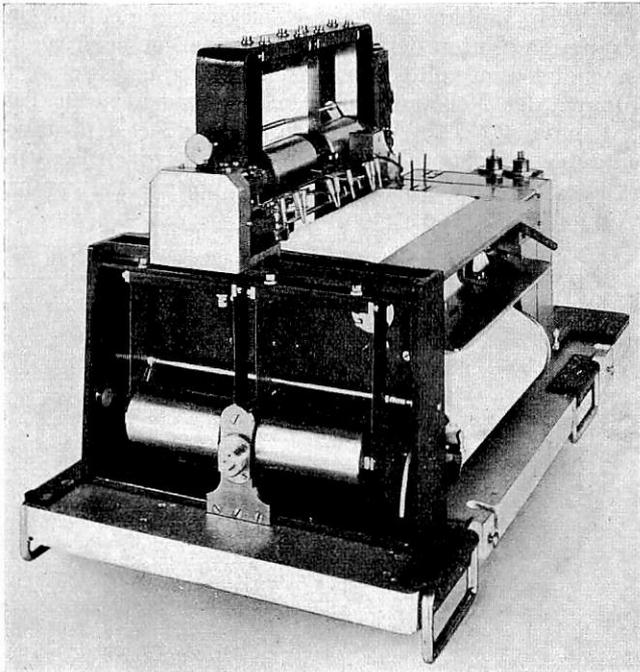


Abb. 5. Meßgerät „Bauart Grunewald“.

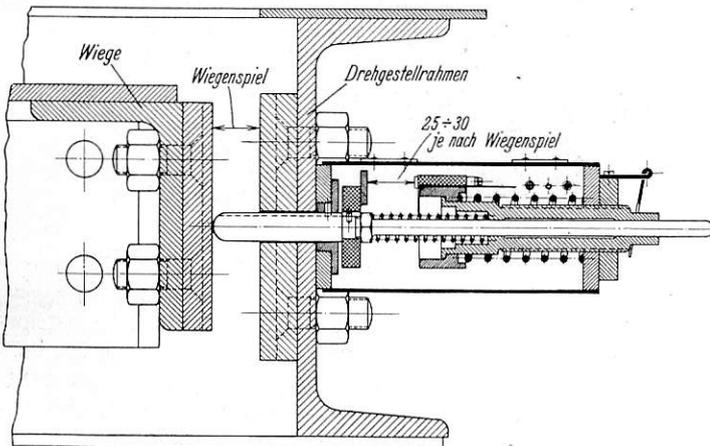


Abb. 6. Wiegenanschlagkontakt.

In Abb. 7 sind drei Abschnitte von Meßstreifen, die mit dem Gerät „Bauart Grunewald“ aufgenommen sind, wiedergegeben. Alle drei Meßstreifen sind unter gleichen Versuchsbedingungen auf dem gleichen Streckenabschnitt in einem Gleisbogen (vor Genthin kurz vor der Station) aufgenommen. Abschnitt Nr. 1 und 2 sind in demselben Wagen (einem AB4ü-Wagen der Lieferung 1931) aufgenommen. Bei Aufnahme des Abschnittes Nr. 1 befand sich der Wagen in nicht einwandfreiem Zustand. Bei Aufnahme des Abschnittes Nr. 2 waren die Unregelmäßigkeiten behoben. Nach dem subjektiven Befund der Versuchsnotizen wurde der waagerechte Lauf bei Abschnitt 1 mit „noch befriedigend“, besonders in den Gleisbögen stärkere seitliche Schwingungen“, bei Abschnitt 2 mit „befriedigend zum Teil besser, seitliche Schwingungen gering“ beurteilt. Der senkrechte Lauf wurde bei Abschnitt 1 als „im allgemeinen gut“, bei Abschnitt 2 als „fast gut“ bezeichnet. Abschnitt Nr. 3 ist in einem anderen Wagen aufgenommen. Im

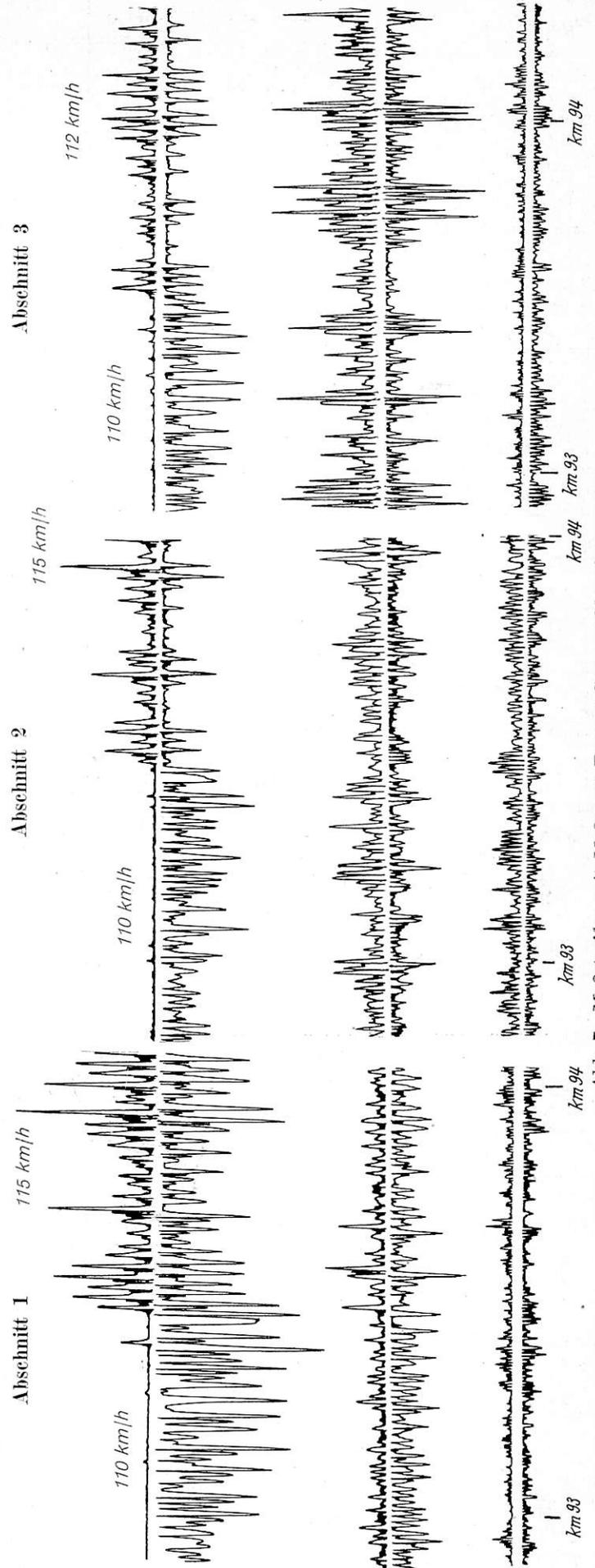


Abb. 7. Meßstreifen mit Meßgerät Bauart Grunewald aufgenommen.

Gegensatz zu 1 und 2 erfolgte der Papiervorschub bei Nr. 3 nicht durch Achsantrieb, sondern vom Motor aus. Der letztgenannte Wagen hatte einen sehr weichen senkrechten Lauf (amerikanische Drehgestelle) und erhielt hierfür das Urteil: „Befriedigend, weich mit großen Ausschlägen“. Der waagerechte Lauf wurde mit „fast gut, seitliche Schwingungen im allgemeinen gering, nur ganz vereinzelt seitliche Schwingungen mit großen Ausschlägen“ bezeichnet.

Stellt man diese Beurteilungen den Aufzeichnungen der Meßstreifen gegenüber, so muß man eine durchaus gute Übereinstimmung der Aufzeichnungen mit der subjektiven Beurteilung feststellen. Der Vergleich der Aufzeichnungen des seitlichen Wagenlaufs insbesondere zeigt deutlich, wie vom Gleis ausgehende, jedesmal in denselben Gleisabschnitten auftretende Kräfte den Wagenlauf seiner Bauart und seinem Zustand entsprechend verschieden beeinflussen.

Die Anwendung des geschilderten Meßverfahrens zur vergleichenden Beurteilung des Wagenlaufs ohne zahlenmäßige Bestimmung der Größen der Schwingungsvorgänge kommt im allgemeinen nur für Fahrversuche in Frage, bei denen die allgemeinen Laufeigenschaften festgestellt werden sollen, ohne daß es sich um grundsätzliche Fragen der Bauart handelt.

3. Schwingungstechnische Untersuchung des Wagenlaufs

(bei zahlenmäßiger Ermittlung der Schwingungsvorgänge).

Da zur zahlenmäßigen Ermittlung der Schwingungsvorgänge das vorstehend beschriebene, auf dem Prinzip der dynamischen Beschleunigungsmessung beruhende Meßgerät „Bauart Grunewald“ nicht geeignet ist, derartige Messungen zur grundsätzlichen Untersuchung einzelner Schwingungserscheinungen aber notwendig sind, wurde von der Wagenversuchsabteilung auch eine Meßeinrichtung zur schwingungstechnischen Untersuchung des Wagenlaufs entwickelt und zwar zum Messen der Schwingungsausschläge und zum Messen der bei den Schwingungsvorgängen auftretenden Beschleunigungen.

Ein Messen der Schwingungsausschläge ist vorgesehen, weil aus den Ausschlägen die Beanspruchung einzelner Teile wie z. B. der Federn am leichtesten ermittelt werden kann, und ein Messen der Beschleunigungen, weil aus den Beschleunigungen bei Kenntnis der Massen unmittelbar die Kräfte berechnet werden können. Zur fortlaufenden Aufzeichnung dieser schnell verlaufenden Schwingungsvorgänge eignet sich besonders der Oszillograph; er wurde daher für diesen Zweck gewählt. Da die Aufzeichnung beim Oszillographen auf photographischem Wege erfolgt, ist die Länge des aufzunehmenden Vorgangs beschränkt. Im allgemeinen genügt aber die Aufnahme auf einem kurzen Streckenabschnitt.

Um Beschleunigungsmessungen auch auf längeren Fahrstrecken durchführen zu können, wird eine mit Schnellschreibern arbeitende Beschleunigungsmesseinrichtung, die von Professor Langer und Dr. Ing. Thomé (Technische Hochschule Aachen) entwickelt ist, verwendet. Dieses Gerät zeichnet Häufigkeit und Größe der Beschleunigungen mit Tintenschreibern auf normalem Schreibpapier auf.

Außer den genannten Meßgeräten wird zur Schwingungsuntersuchung noch ein Zeitlupenapparat verwendet, der an anderer Stelle eingehend beschrieben wird.

Da die zum Messen der Schwingungsausschläge und Beschleunigungen verwendeten Registriereinrichtungen (Oszillograph und Schnellschreibervorrichtung) umfangreiche und empfindliche Geräte mit komplizierter elektrischer Schaltung sind, ist es im Gegensatz zum Meßgerät Bauart „Grunewald“ nicht möglich, diese Registriergeräte in dem jeweils zu untersuchenden Wagen aufzustellen. Bei der schwingungstechnischen Untersuchung werden daher nur die Aufnahmegерäte für Ausschlag- und Beschleunigungsmessungen an den zu unter-

suchenden Wagen angebracht, während die Registriervorrichtungen hierfür im Meßwagen untergebracht sind.

a) Allgemeine Beschreibung des Meßwagens.

Als Meßwagen ist ein Salonwagen, dessen Einrichtung neuzeitlichen Bedürfnissen nicht mehr entsprach, eingerichtet worden. Bei Umbau des Wagens wurde der hölzerne Wagenkasten durch Einbau stählerner Zwischenwände und Stahlarmierung der Wuten derart verstärkt, daß er auch für hohe Geschwindigkeiten voll geeignet ist. Die Raumverteilung und Anordnung der Meßeinrichtung im Meßwagen ist in Taf. 7, Abb. 1 gezeigt. Der Wagen enthält außer den üblichen Nebenräumen einen großen Meßraum, einen großen Beratungsraum, eine Dunkelkammer und einen Raum zur Aufbewahrung der Aufnahme- und Hilfsgeräte.

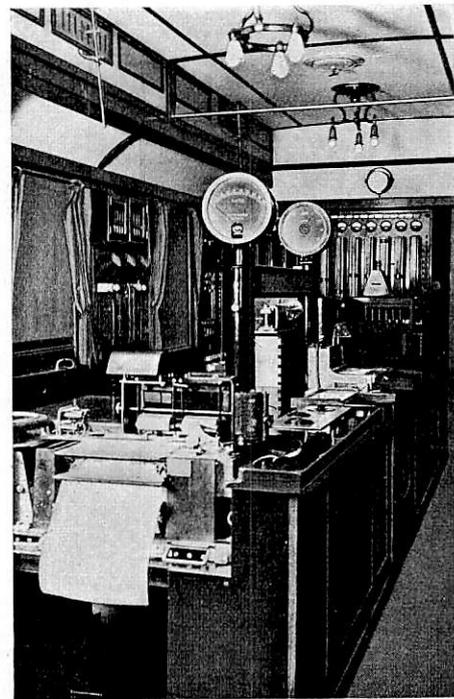


Abb. 8. Meßraum des Meßwagens I für Schwingungsuntersuchungen.

Der Meßraum ist in Abb. 8 dargestellt. Als Registrierinstrumente für die später beschriebenen Aufnahmegерäte enthält er zwei Sechschleifen-Oszillographen für Messung der bei den Schwingungen auftretenden Ausschläge und Beschleunigungen und zwei Schreibvorrichtungen mit je 30 Schnellschreibern zur Registrierung von Beschleunigungen.

Außer diesen Registriergeräten sind, wie Abb. 8 zeigt, noch Anzeigegeräte für Fahrgeschwindigkeit und für die auf der Befehlstafel eingestellte Geschwindigkeit und ein Streckenprofil mit Anzeigevorrichtung des jeweiligen Standortes des Zuges, sowie einige Hilfsgeräte (Sekundenkontakt-, Kilometerkontaktwerk usw.) vorhanden.

Zum Antrieb des Geschwindigkeitsmessers, des Streckenprofils, des Kilometerkontaktwerkes und wahlweise auch des Papiervorschubs der Registriergeräte ist eine Antriebsvorrichtung unter Verwendung von Synchronmotoren vorgesehen, die von einem von der Achse angetriebenen Synchrongenerator gespeist werden. Der den Generator antreibende Radsatz ist nicht gebremst, um den Laufkreisdurchmesser und damit die Umdrehungszahl möglichst langsam zu verändern.

Die Arbeitsweise der Oszillographen dürfte allgemein bekannt sein, so daß hierauf nicht näher eingegangen zu werden braucht. Die Papiervorschübe der Oszillographen erfolgen durch je einen regelbaren an die Lichtbatterie an-

geschlossenen Gleichstrommotor (Papiergeschwindigkeit 10 bis 1000 mm/sec). Um beide Oszillographen zwangläufig mit gleicher regelbarer Geschwindigkeit arbeiten zu lassen, ist eine mechanische Kuppelvorrichtung der Antriebswellen beider Oszillographen vorhanden. Bei mechanischer Kupplung werden die beiden Anlasser der Antriebsmotore abgeschaltet und beide Oszillographenmotoren parallel von einem Anlasser aus geregelt. Die beiden Schnellschreiber haben sirenengesteuerten Motorantrieb mit vier verschiedenen Papier-Vorschubgeschwindigkeiten (10 — 20 — 40 und 80 mm/sec). Außerdem sind Oszillographen und Schnellschreiber noch mit Synchronmotor ausgerüstet, um ihren Papiervorschub wahlweise auch proportional der Fahrgeschwindigkeit zu betreiben.

b) Messen von Schwingungsvorgängen unter Bestimmung der Schwingungsausschläge.

Das zum Messen von Schwingungsausschlägen angewendete Meßverfahren beruht auf folgender Grundlage: Die Schwingungsausschläge werden als Längsbewegung, die der schwingende Teil gegenüber einem relativ feststehenden Teil ausführt, gemessen. Mittels eines Aufnahmeapparates werden diese Längsbewegungen kontinuierlich in elektrische Größen umgesetzt, durch elektrische Leitungen zum Meßwagen übertragen und dort von den Oszillographen in Kurvenform aufgezeichnet. Zum Umsetzen der Längsbewegungen in elektrische Größen wird die Kirchhoff-Wheatstonesche Brückenschaltung verwendet, da sie die Längsbewegungen proportional ihrem wirklichen Verlauf ohne Verzerrung auf den Oszillographen überträgt, und in ihrem Aufbau sehr einfach und widerstandsfähig ist*).

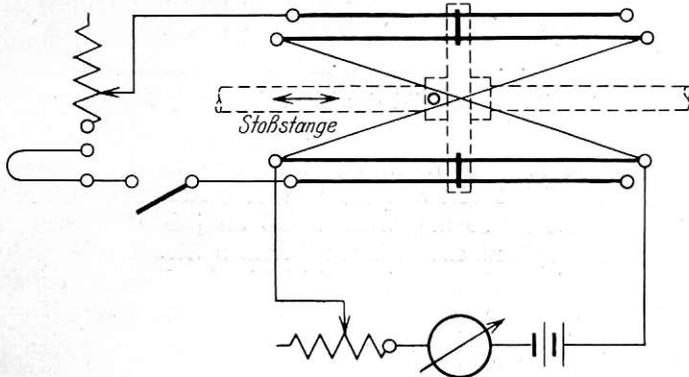


Abb. 9. Schaltbild der Meßbrücke.

Das als Meßbrücke ausgeführte Aufnahmegerät ist in Abb. 9 schematisch dargestellt und besteht grundsätzlich aus einer Schieberstange, die an dem schwingenden Teil befestigt wird und einer an dem feststehenden Teil angebrachten Grundplatte, die die Widerstandsdrähte der Schaltung enthält. Die an der Schieberstange befestigten Kontaktstücke machen mit der Schieberstange zwangläufig die Relativbewegungen, die der schwingende Teil der Grundplatte gegenüber ausführt, mit und ändern dabei je nach ihrer Stellung den durch die Schleifleitungen zu den Oszillographen fließenden Strom. Die Stromänderung verläuft proportional dem Wege.

Je nach der Stärke des durch die Widerstandsdrähte fließenden Stromes kann der Maßstab der Oszillographenaufzeichnung beliebig geändert werden. Im Meßwagen ist daher eine Schalteinrichtung für Wahl beliebiger Spannung und eine Schalttafel für Messung und Widerstandsregelung von zwölf einzelnen Meßbrückenstromkreisen (entspricht den zwölf vorhandenen Meßschleifen) vorhanden. In Abb. 8 ist

diese Schaltvorrichtung an der Rückwand des Meßraums zu sehen.

In Abb. 10 ist die nach längeren Versuchen endgültig ausgeführte Form der Meßbrücke mit zugehörigem Anschlußteil (Schutzmantel abgenommen) wiedergegeben. Die Schleifkontakte sind als gefederte, von beiden Seiten die Widerstandsdrähte fassende Platinkontakte ausgebildet. Zur Schmierung ist ein mit den Kontakten verbundenes ölgetränktes Filzröhrchen vorgesehen. Die Kupplung der Schieberstange mit dem schwingenden Teil ist zwangläufig, und zwar erfolgt die Übertragung der Bewegung auf die Stange unter Zwischenschaltung eines scharnierartig gelagerten Zapfens. Das Ende der Schieberstange ist mit einem Anschlußstück versehen, das mit einem Kugelschwenklager ausgerüstet ist. Auf den am schwingenden Teil scharnier-

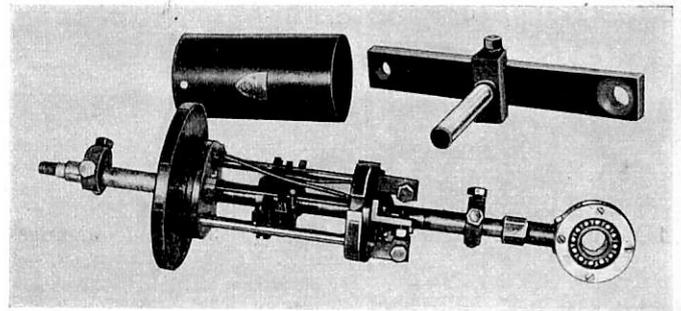


Abb. 10. Meßbrücke.

artig gelagerten Zapfen wird das Schwenklager der Schieberstange der am anderen Teil befestigten Meßbrücke geschoben. Bei Bewegungen der beiden Teile gegeneinander werden nur die in Richtung der Schieberstange fallenden Ausschläge übertragen, da in anderen Richtungen der Zapfen nicht zwangläufig mit der Schieberstange gekuppelt ist. In Zapfenrichtung kann er im Schwenklager gleiten, und bei Bewegungen quer zur Schieberstange kann er sich im Scharnier drehen. Bei Drehbewegungen kann das Schwenklager ausschlagen. Die Schieberstange ist mit Kontrollanschlägen zum Eichen der Meßbrücken ausgerüstet. Von den an beiden Enden der Stange angebrachten Klemmrings dient einer zur Null-einstellung der Meßbrücke (kein Stromfluß durch die Brückenkontakte) und der andere zur Einstellung von 10 mm Ausschlag. Die Meßbrücke in dieser Anordnung hat sich bisher gut bewährt.

Die Anwendungsmöglichkeit der Meßbrücken zum Messen von Schwingungsbewegungen des Wagenkastens und Laufwerkes und von Relativbewegungen einzelner Teile gegeneinander bei Laufversuchen ist außerordentlich vielseitig. Insbesondere werden sie zum Messen der Federdurchbiegungen, zum Messen der Wiegebewegungen gegenüber dem Drehgestellrahmen und zum Messen der Bewegungen, die das Drehgestell gegenüber dem Wagenkasten ausführt, verwendet. In Abb. 11 ist die Anbringung von Meßbrücken (mit 1 bezeichnet) zum Messen der Federschwingungen gezeigt. Abb. 12 zeigt einen Meßstreifen der Schwingungsausschläge der vier Schraubenfedern und einer Wiegefeder, der zur Untersuchung von bei der Fahrt auftretenden Resonanzerscheinungen aufgenommen ist.

c) Messen von Schwingungsvorgängen durch Bestimmen der Beschleunigungen.

Das zum Messen von Beschleunigungen angewendete Meßverfahren beruht auf folgender Grundlage: Die zu messenden Beschleunigungen und Beschleunigungsänderungen werden in einem nach dem Mikrophonprinzip gebauten, an dem zu untersuchenden Bauteil befestigten Aufnahmegerät in elek-

*) Siehe Aufsatz von Elsässer in der Zeitschrift des V. D. I. 1924, Nr. 20.

trische Größen umgesetzt, elektrisch zum Meßwagen übertragen und dort oszillographisch aufgezeichnet. Dieses Verfahren wurde gewählt, weil es bisher nur mit dem Mikrophon möglich ist, ohne Verstärker Schwingungsmessungen mittels Oszillographen vorzunehmen. Auf Anregung der Wagenversuchsabteilung wurde von der Firma Siemens & Halske Entwicklung und Bau eines solchen nach dem Mikrophonprinzip arbeitenden Kohledruckempfängers übernommen.

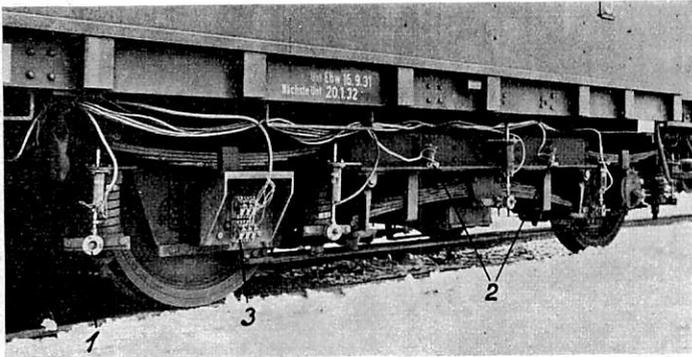


Abb. 11. Anbau von Meßgeräten.

1 Meßbrücke 2 Kohledruckempfänger 3 Beschleunigungsmeßpendel.

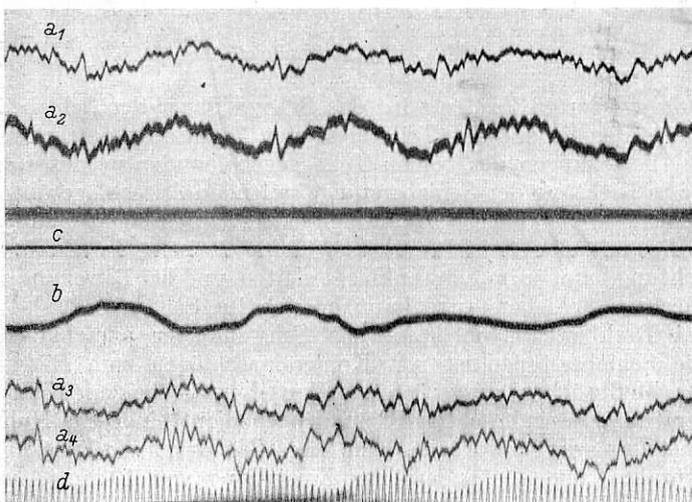


Abb. 12. Meßstreifen von Federdurchbiegungen.

- a) Meßstellen: Wickelfedern
b) Meßstelle: Wiegefeder
c) Nulllinie d) Zeitmarke } nach Abb. 11

Die Wirkungsweise ist folgende: Schichtet man eine Reihe von dünnen Kohleplättchen aufeinander und belastet diese Säule durch ein aufgesetztes Gewicht, so ist jedem Gewicht ein besonderer Widerstand zugeordnet, und zwar entspricht einem größeren Gewicht ein kleinerer Widerstand und umgekehrt einem kleineren Gewicht ein größerer Widerstand. Die Masse des aufgesetzten Gewichts unterliegt im Ruhezustand nur der Erdbeschleunigung und übt nur unter ihrem Einfluß eine Kraft (Gewichtsbelastung) auf die Kohlesäule aus. Treten aber zu der Erdbeschleunigung noch durch die Wirkung etwa vorhandener Erschütterungen zusätzliche Beschleunigungen hinzu, so wird die auf die Kohlesäulen ausgeübte Kraft, solange die zusätzlichen Beschleunigungskräfte wirken, vergrößert und ihr Widerstand dementsprechend verändert. Beschleunigungsänderungen rufen also Widerstandsänderungen einer gewichtsbelasteten Kohlesäule hervor. Durch eingehende Versuche wurden Art, Abmessung und Belastung eines Kohlenmaterials ermittelt, das eine

genügende Proportionalität zwischen Beschleunigung (Druck) und Widerstand ergab. Die Messung der Beschleunigung erfolgt nunmehr als Widerstandsänderung und die vom Oszillographen aufgezeichnete Kurve ist dem wirklichen Verlauf der Beschleunigung proportional.

Ein Schaltbild des Kohledruckempfängers zeigt Abb. 13. Das Belastungsgewicht ist zwischen zwei Kohlesäulen angeordnet. Zur Messung der Widerstandsänderungen der Kohlesäulen ist eine Brückenschaltung vorgesehen. Die beiden Säulen sind als nebeneinander liegende Zweige der Brücke geschaltet. Der Strom wird ihnen in der Mitte über das Gewicht zugeführt. Die beiden anderen Zweige werden durch einen Schleifdraht gebildet. In der Diagonale der Brücke liegt die Oszillographenschleife bzw. ein Anzeigergerät. Der Schleifkontakt wird vor der Messung so eingestellt, daß das Anzeigergerät auf Null einspielt. Zur Messung wird dann der Oszillograph durch einen Umschalter in die Brückendiagonale gelegt.

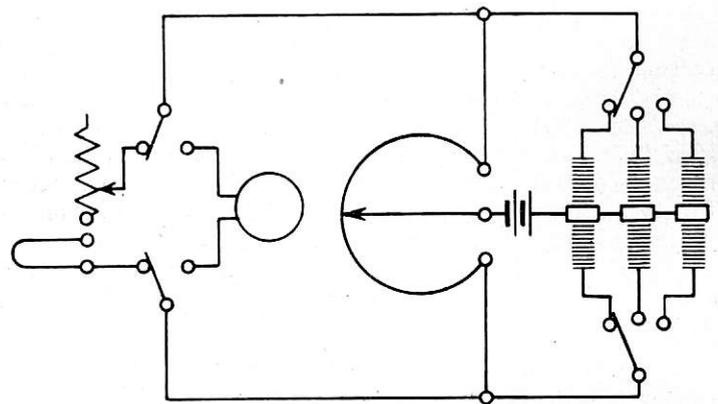


Abb. 13. Schaltbild des Kohledruckempfängers.

Um die Laufuntersuchung eines Wagens durch Beobachtung möglichst vieler Meßstellen durchführen zu können, ist die Schaltung so angeordnet, daß an jede der zwölf zu den Oszillographenmeßschleifen führenden Stromkreise wahlweise über einen Schalter je drei Kohledruckempfänger angeschlossen werden können, so daß im ganzen 36 Empfänger überwacht werden können. Die hierzu nötige Schalttafel ist im Meßwagen eingebaut.

Es sind Empfänger für drei verschiedene Meßbereiche gebaut, und zwar für die Beschleunigungen bis 1 g, 10 g und 100 g. Sie unterscheiden sich durch verschiedene Vorspannung der Kohlesäulen, die durch verschieden starkes Anziehen des Deckels erfolgt, und dadurch, daß bei den Geräten für die beiden niedrigen Meßbereiche Bronzegegewichte und für den hohen Meßbereich Aluminiumgewichte verwendet sind.

Die Empfindlichkeit des Empfängers kann durch eine statische Eichung frequenzunabhängig festgelegt werden, da der Empfänger so gebaut ist, daß seine Abstimmung oberhalb des in Frage kommenden Frequenzgebietes liegt. Zur Eichung wird das Gewicht des Empfängers zusätzlich mit einem bestimmten Eichgewicht belastet. Das Aufsetzen des Gewichtes erfolgt mittels Stiften, die durch Löcher im Deckel hindurchgehen und sich auf dem inneren Gewicht abstützen. Durch die zusätzliche Belastung verschiebt sich das Brückengleichgewicht. Der sich ergebende Ausschlag entspricht einer

Beschleunigung $g_x = \frac{P_1}{P_2} \cdot g$, wobei P_1 das aufgelegte Gewicht und P_2 das wirksame Empfängergewicht bedeuten. Ist das aufgelegte Gewicht dem wirksamen Empfängergewicht gleich, so entspricht die Belastung einer zusätzlichen Beschleunigung von $g_x = 9,81 \text{ m/s}^2$.

In der ersten Zeit traten bei Verwendung der Empfänger Schwierigkeiten auf, die darin lagen, daß durch die Erschütterungen Änderungen der Kohensäulenbeschaffenheit auftraten, und dementsprechend keine Proportionalität zwischen Beschleunigung und Aufzeichnung mehr bestand. Um derartige Veränderungen des Kohlengefüges und der Oberfläche von vornherein zu vermeiden, werden die Kohlendruckempfänger neuerdings vor Inbetriebnahme künstlich gealtert. Der Alterungsprozeß wird auf einem Erschütterungstisch für Stoßerregungen vorgenommen. Der Erschütterungstisch für Stoßerregungen gestattet, auch die unempfindlichsten Beschleunigungsmesser für den größten Meßbereich wirksam zu altern. Er gestattet, Stöße bis zu 1200 m/s^2 zu erzeugen. Der Erschütterungstisch besitzt ein sehr kräftiges Magnetsystem, durch das eine starke eiserne Platte, die an Schraubenfedern aufgehängt ist, als Anker angezogen wird. Entsprechend dem hohen Anzugsmoment des Magneten erhält die Platte hohe Geschwindigkeiten, die durch das ungefederte Aufschlagen auf die Kohle des Magnetsystems praktisch augenblicklich abgebremst werden. Die Vorrichtung ist in Abb. 14 gezeigt. Sie wird über einen Motor mit Unterbrecherkontakt und entsprechendem Relais periodisch in Tätigkeit gesetzt.

Die Anwendungsmöglichkeit des Kohlendruckempfängers für Beschleunigungsmessungen bei Laufversuchen ist außerordentlich groß. Besondere Vorteile bestehen bei der kurvenmäßigen Aufnahme des Beschleunigungsverlaufs, bei der gleichzeitig die Schwingungszeiten festgestellt werden, darin, daß aus Beschleunigung und Stoßzeit auch Stoßarbeit berechnet werden kann. In Abb. 11 ist der Einbau von Kohlendruckempfängern zur Stoßuntersuchung des Drehgestellrahmens abgebildet. Abb. 15 zeigt ein Beschleunigungsdiagramm von Wagendurchbiegungsschwingungen, das aufgenommen wurde, um die Ursache von Resonanzerscheinungen zu ermitteln.

d) Messen der Häufigkeit und Größe auftretender Beschleunigungen.

Als Aufnahmegerät zur Beschleunigungsmessung werden Massenpendel verwendet, die nach dem Prinzip der statischen Beschleunigungsmessung arbeiten. Eine schematische Darstellung ist im Schaltbild auf Taf. 6, Abb. 2 gegeben. Die Masse (Massependel) m ist durch die Feder F (oder auch magnetisch) gegen den elektrischen Kontakt k vorgespannt und hält einen Stromkreis über ein Anzeigergerät geschlossen. Bei auftretenden Stößen klappt, wenn die der Federvorspannung entsprechende Beschleunigungskraft erreicht ist, das Massenpendel von dem Kontakt ab, der Strom wird unterbrochen und das Erreichen der Beschleunigung wird durch das Gerät angezeigt. Solche Beschleunigungsmesser haben gegenüber den dynamischen Beschleunigungsmessern den Vorteil, daß sie frei von Eigenschwingungen und Resonanzerscheinungen sind, und daß das Anzeigergerät unabhängig von der oft starken Stößen ausgesetzten Meßstelle aufgestellt werden kann.

Pendel dieser Art wurden schon früher von Grönmach für die Messung von Bodenerschütterungen*) benutzt. Die Anwendung dieses Meßverfahrens für einwandfreie schwingungstechnische Messungen wurden jedoch erst durch Schaffen eines zuverlässig arbeitenden Massenpendels und eines Schreibgerätes von hoher Empfindlichkeit, das auch kürzeste Stromunterbrechungen zuverlässig aufzeichnet, ermöglicht. Diese

*) Verhandlungen des Vereins zur Förderung des Gewerbefleißes Bd. 92, Jahrgang 1913.

Entwicklungsarbeiten wurden von Professor Langer und Dr. Ing. Thomé im Maschinenlaboratorium der Technischen Hochschule Aachen ausgeführt. Dieses Institut hat auch Bau und Lieferung der von der Wagenversuchsabteilung Grunewald beschafften Meßeinrichtung, Beschleunigungsmeßpendel und der zugehörigen Empfindlichkeitsrelais einschl. der Schaltanlage übernommen.

Im Schaltbild auf Taf. 6, Abb. 2 bedeutet B = Beschleunigungspendel, E = Empfindlichkeitsrelais und S = Schreibelement. Die hohe Empfindlichkeit der Vorrichtung wird durch Zwischenschaltung des Empfindlichkeitsrelais zwischen Meßpendel und Schreibvorrichtung erreicht, und zwar wird hierdurch

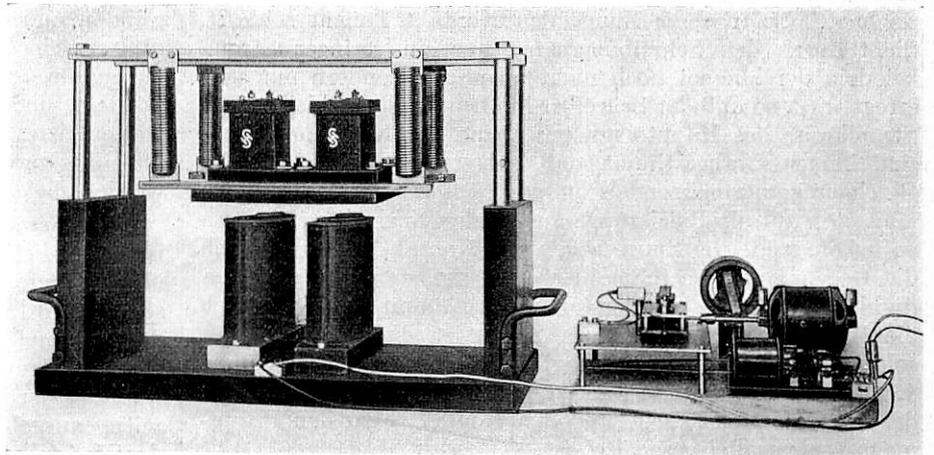


Abb. 14. Alterungsvorrichtung für Kohlendruckempfänger.

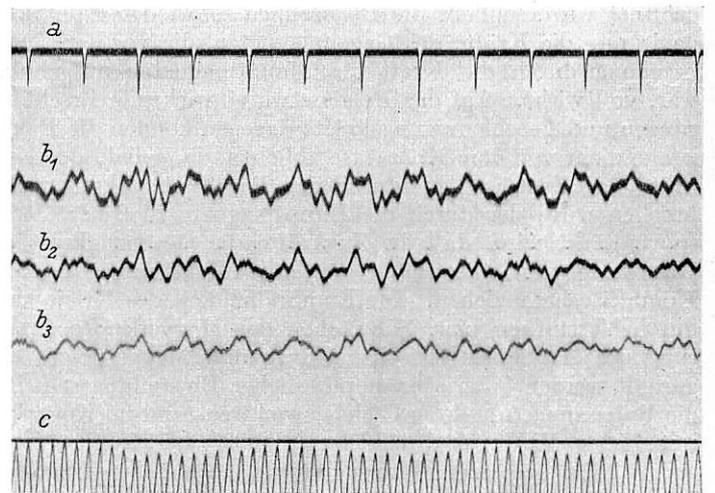


Abb. 15. Beschleunigungsdiagramm von Wagendurchbiegungsschwingungen.

a) Radumdrehungskontakt b) Beschleunigungen an drei Meßstellen des Wagenkastens c) Nulllinie und Zeitmarke

erzielt, daß das Schreibelement Kontaktunterbrechungen des Meßpendels von $\frac{1}{900}$ Sek. noch mit Sicherheit anzeigt. Das Schreibelement ist so gebaut, daß es bei dieser Empfindlichkeit 50 Kontaktunterbrechungen in der Sekunde aufzeichnen kann. Es werden also bei Schwingungsvorgängen bis 50 Hertz auftretende Beschleunigungen, solange die zu messende Beschleunigung bei jeder Schwingung zeitlich mindestens $\frac{1}{900}$ Sek. wirkt, frequenzabhängig aufgezeichnet. In unregelmäßigen Zeitabständen auftretende Einzelstöße werden ebenfalls, solange sie nicht schneller als $\frac{1}{50}$ Sek. aufeinander folgen, und jeweils die zu messende Beschleunigung mindestens $\frac{1}{900}$ Sek. wirkt, einwandfrei registriert. Nur wenn Stöße in kürzeren Abständen als $\frac{1}{50}$ Sek. auftreten, wird nur etwa alle $\frac{1}{50}$ Sek. eine Beschleunigung aufgezeichnet.

Trotz dieser hohen Empfindlichkeit muß das Relais gegen mechanische Erschütterungen unempfindlich sein. Die Einhaltung dieser beiden sich einander gegenüberstehenden Bedingungen ist durch besondere Schaltung des Empfindlichkeitsrelais erreicht.

Zwischen den Hauptmagneten a und den Nebennagneten e ist in l die Relaiszunge d gelagert. Diese Zunge hat die Aufgabe, auch die kürzesten am Massenpendel auftretenden Unterbrechungen des Kontakts k auf das Schreibelement zu schalten, so daß sie dort aufgezeichnet werden können. Sobald die Relaiszunge den Kontakt f berührt, wird durch diese ein über den Schreibmagneten des Schreibelements S führender Stromkreis geschlossen, so daß der Schreiber einen Ausschlag aufzeichnet. Solange die Zunge den Kontakt f nicht schließt, fließt durch den Schreibmagneten nur ein geringer Strom, bei dem der Magnet noch nicht anspricht, sondern nur vorerregt wird, so daß der Schreiber in Grundstellung bleibt. Die Stromkreise des Hauptmagneten a und der Nebennagnete e sind immer so abgestimmt, daß, solange der Kontakt k des Beschleunigungsmeßpendels m geschlossen ist, die von den Magneten auf die Relaiszunge ausgeübten Zugkräfte sich etwa aufheben, wenn die Zunge gegen den Kontakt c liegt. Durch die Gegenmagnete e fließt hierbei ein konstanter Strom, der durch die Größe des Widerstandes r bestimmt ist. Der durch die Hauptmagnete a fließende Strom ist ebenfalls konstant, solange die Relaiszunge den Kontakt c schließt und ist abhängig 1. von dem Lampenwiderstand q und 2. von dem Widerstand p, der über die Relaiszunge und den Kontakt c zu den Hauptmagneten parallel geschaltet ist.

Sobald durch Unterbrechung des Kontaktes k des Beschleunigungsmeßpendels m der Stromkreis der Hauptmagnete geöffnet wird, schließt die Relaiszunge sofort den Kontakt f, da ja nun die Kräfte des Gegenmagneten, die vor der Unterbrechung durch die Kraft des Hauptmagneten aufgehoben war, voll wirkt. Auf das Relais etwa einwirkende Erschütterungen und Beschleunigungskräfte dagegen können die Relaiszunge nicht von dem Kontakt c abheben, da, sobald der Kontakt c geöffnet und hierdurch der Parallelstromkreis unterbrochen wird, der durch die Hauptmagnete fließende Strom so verstärkt wird, daß die Zugkräfte die Gegenzugkraft des Hauptmagneten übertreffen und die Relaiszunge an den Kontakt c heranziehen. Die Empfindlichkeit des Relais kann durch Verstärken bzw. Schwächen der Magnetkräfte (Änderung des Abstandes zwischen Zunge und Magnetpolen) eingestellt werden. Bei sehr empfindlicher Einstellung schwingt die Relaiszunge um ihren Gleichgewichtszustand im Kontakt c mit hoher Frequenz bei kleinen, nicht merkbaren Amplituden. Die Relaiszunge erzeugt dann einen hohen singenden Ton, sie ist dauernd „auf dem Sprunge“ abzulösen und wird nur durch die regelnde Wirkung des Kontaktes c gehalten. Die Verwendung des Empfindlichkeitsrelais gewährleistet also die zur Anzeige kurzfristiger Beschleunigungen notwendige Zeitempfindlichkeit ohne selbst durch äußere Einflüsse störend beeinflusst zu werden.

Will man nur das Erreichen oder Überschreiten einer bestimmten Beschleunigung feststellen, so genügt ein einziges auf diesen Wert eingestelltes Meßpendel. Sollen jedoch veränderliche Beschleunigungen gemessen werden, so benutzt man mehrere solcher Beschleunigungsmeßpendel, deren Vorspannung verschieden abgestuft ist, und von denen jedes auf eine Anzeigevorrichtung wirkt. Bei genügend hoher Papiergeschwindigkeit kann aus den Aufzeichnungen der einzelnen Meßpendel auch der Beschleunigungsverlauf ermittelt werden. Die Wagenversuchsabteilung arbeitet mit zwei Schreibwerken von 30 Schreibern, so daß also gleichzeitig die Ergebnisse von 60 Beschleunigungsmeßpendeln aufgezeichnet werden können. Das Schreibwerk ist durch sirenen-

reguliertes Federwerk angetrieben. Der Aufzug der Feder erfolgt selbsttätig durch einen Motor. Der Papiervorschub hat vier verschiedene Geschwindigkeiten und zwar 10, 20, 40, und 80 mm/sec. Bei Anwendung des höchsten Vorschubes lassen sich Zeiten von $\frac{1}{100}$ Sek. noch mit Genauigkeit messen und ablesen.

Das Massenpendel wird mit einer Feder gegen den Kontakt vorgespannt. Die Federspannung ist einstellbar. Der freie Hub des Pendels, der, um eine große Empfindlichkeit der Massenpendel zu gewährleisten, nicht größer sein darf, als zur sicheren Stromunterbrechung noch notwendig ist, ist ebenfalls einstellbar. Je nach Größe der Beschleunigung, die gemessen werden soll, werden verschiedene Pendel verwendet, und zwar sind für den Meßbereich von 0,01 bis 100 g drei verschiedene Pendel notwendig. Für kleine Beschleunigungen werden verhältnismäßig große Rotgußpendel, für mittlere und hohe Beschleunigungen kleinere Pendel aus Rotguß bzw. Leichtmetall verwendet. Die Eichung der Beschleunigungsmeßpendel erfolgt auf statischem Wege durch Gewichtsbelastung.

Die Beschleunigungsmeßeinrichtung „Langer-Thomé“ wird hauptsächlich für Durchführung von Fahrversuchen, die sich über längere Streckenabschnitte erstrecken, verwendet. Besonders wird sie zur Untersuchung der Stärke und Häufigkeit der während der Fahrt an einzelnen Bauteilen auftretenden Beschleunigungen angewendet. Aus den Ergebnissen der während der gleichen Fahrt an verschiedenen Stellen gleichzeitig ausgeführten Messungen werden je nach Anordnung der Meßstellen die Wirksamkeit der Federung, die Verteilung der Beanspruchung eines Bauteiles, der Stoßverlauf, die Lage der Schwingungsknoten schwingender Teile u. a. ermittelt. Die bei Änderungen der Bauart an gleichen Meßstellen und unter gleichen Bedingungen durchgeführten Messungen ergeben zahlenmäßigen Aufschluß über die Auswirkung der Bauartänderung.

In Abb. 11 ist der Anbau von Beschleunigungsmeßpendeln an die Achsbuchse gezeigt. An der Meßstelle ist eine Gruppe von sechs Meßpendeln angeordnet, die Federvorspannung der Pendel ist dabei derart, daß das äußerste Pendel für Ansprechen auf den höchsten erwarteten Beschleunigungswert und die benachbarten stufenweise auf geringere Beschleunigungswerte eingestellt sind. Je nach Stärke der auftretenden Beschleunigung werden verschieden viel Pendel bei jedem Stoß ansprechen. Ein Meßstreifen der senkrechten Beschleunigungen an der Achsbuchse, am Drehgestellrahmen und am Wagenkasten eines Wagens, der starke Durchbiegungsschwingungen aufwies, ist in Abb. 16 gezeigt.

Welche Meßeinrichtungen zur lauftechnischen Untersuchung im Einzelfall verwendet werden, richtet sich nach der vorliegenden Aufgabe. Bei größeren Versuchsreihen ergibt sich meist die Notwendigkeit und Zweckmäßigkeit der Verwendung aller Einrichtungen, wobei für Messung der Schwingungsausschläge und Beschleunigungen unter Verwendung des Oszillographen jeweils kurze, bestimmte Streckenabschnitte gemessen werden.

II. Meßeinrichtungen und Verfahren für Standuntersuchungen von Wagen.

Die Standuntersuchung dient insbesondere bei Versuchen mit neuen Bauarten des Laufwerks zur Feststellung, ob unbefriedigender Lauf auf die Bauart des Laufwerks oder auf den Unterhaltungszustand des Wagens zurückzuführen sind. Hierbei ist besonders zu ermitteln, ob Wagenkasten oder Laufwerk, und welche Bauteile hiervon sich in nicht einwandfreiem Zustand befinden. Die Ergebnisse und Beobachtungen der Versuchsfahrt werden im allgemeinen einen Anhaltspunkt darüber, wo die Mängel zu suchen sind, geben.

Die Untersuchungen müssen, um einwandfreie und richtige Ergebnisse zu liefern, unter gleichen Beanspruchungen aller Teile, wie sie bei Stand des Wagenkastens auf seinen Drehgestellen auftreten, vorgenommen werden. Ein Drehgestell-Wagenkasten muß also unbedingt bei Abstützung auf den Drehpfannen, ein Drehgestell bei betriebsmäßiger Belastung der Drehpfannen untersucht werden.

Außer den allgemein gebräuchlichen Meßgeräten werden bei der Wagenversuchsabteilung folgende Sondereinrichtungen zur Untersuchung des Wagens verwendet.

1. Eine Vorrichtung zur Untersuchung von Wagenkästen bei betriebsmäßiger Abstützung.
2. Ein Drehgestellprüfstand zur Untersuchung von Drehgestellen bei betriebsmäßiger Belastung.
3. Mehrere Federprüfmaschinen zur statischen und schwingungstechnischen Federprüfung.

ist in Abb. 17 dargestellt. Das Gestell ist so starr, daß es unter Last keine meßbaren Durchbiegungen zeigt. Es ist mit vier Spindeln auf den Achslagergehäusen der zwei Radsätze in der Höhe einstellbar gelagert. Die an den Prüfstellen angebrachten Meßlineale und die Bezugskanten sind also schnell und einfach unabhängig von der Gleislage in die erforderliche waagerechte Ebene zu bringen. Die Radsätze haben zylindrische Radreifen, so daß Einstellarbeiten auf waagrechttem Gleis kaum nötig sind. Auf einer zwischen den Achsen liegenden kräftigen Quer-Verbindung des Rahmens ruht die eigentliche Meßeinrichtung.

Sie besteht aus zwei großen Meßfedern und aus einem Querbalken. Dieser Querbalken ist als Kastenträger ausgebildet. Auf seinen Obergurten sind verschiebbare Stützplatten angeordnet. Mit einer Hubvorrichtung kann der Balken gehoben und auf die Federn gesetzt werden. Er stützt sich dann mit den Stützplatten auf die Federn. Wird der Balken ab-

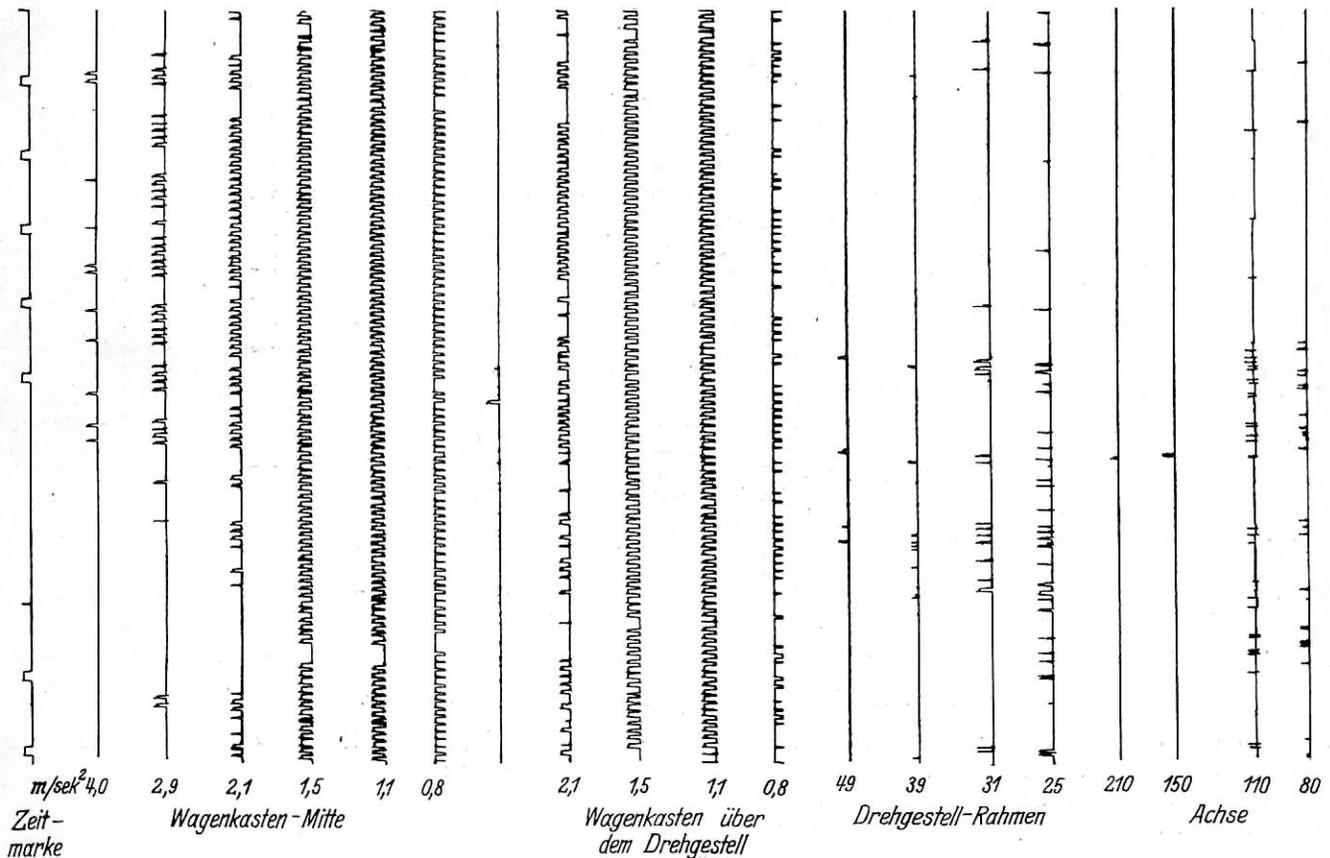


Abb. 16. Beschleunigungen in senkrechter Richtung mit Beschleunigungsmeßpendeln.

Da Meßeinrichtungen dieser Art meist noch nicht vorhanden waren, mußten diese Prüfvorrichtungen größtenteils selbst entworfen und gebaut, bzw. im Zusammenarbeiten mit Spezialfirmen entwickelt werden.

1. Untersuchung von Wagenkästen bei betriebsmäßiger Abstützung.

Um den Zustand eines Wagenkastens zu untersuchen, müssen Abmessungen und Lage der für das Laufwerk wichtigen Teile (Drehpfannen, Gleitstücke, Zugvorrichtung und Puffer), Lage der Schwerpunktsachse (bzw. Grösse etwa vorhandener einseitiger Übergewichte) und Steifigkeit des Wagenkastens insbesondere seine Verwindungsfestigkeit nachgeprüft werden. Damit der Wagenkasten beim Vermessen und Verwiegen zwanglos seine natürliche Form annimmt, muß eine der beiden Drehpfannen freieinstellbar sein.

Die für die Untersuchung entworfene Vorrichtung besteht aus zwei gleichartigen, fahrbaren Prüfgeräten. Ein Prüfgerät

gesenkt, so geben die Stützplatten, vorher nach der Mitte verschoben, Öffnungen frei, durch die die Federn hindurchtreten. Der Balken kann wahlweise mit fester Drehpfanne oder nach Anheben derselben mittels einer heb- und senkbaren Kreuzschneide mit frei einstellbarer Drehpfanne verwendet werden.

Um Reibung völlig auszuschließen, werden Schraubenfedern als Meßfedern verwendet. Sie ruhen auf in der Höhe und seitlich einstellbaren Schlitten und tragen Federteller mit Druckplatten. Um den Kraftangriffspunkt genau festzulegen, und damit sich die Druckplatten nach den belasteten Teilen einstellen können, sind zwischen Federteller und Druckplatten Halbkugeln eingeschaltet. Die Federdurchbiegung wird an jeder Feder mittels einer aus zwei Linealen bestehenden Zeigervorrichtung angezeigt. Die Meßfedern haben einen im Verhältnis zur Federhöhe so großen Windungsdurchmesser (400 mm Durchmesser bei Federhöhe von 520 bis 320 mm je nach Last), daß sie unbedingt standsicher sind.

Die Beanspruchung der Federn beträgt bei Höchstlast etwa 50 kg/mm^2 , ist also so gering, daß eine Änderung der Federstärke nicht oder höchstens in geringem Maße erst nach sehr langer Benutzungsdauer in Frage kommen kann, zumal die Belastung nicht stoßweise, sondern ganz allmählich wachsend auftritt. Die Eichung der Federn ist in gleicher Weise wie bei einer Hebelwaage oder noch einfacher auf einer geeigneten Federprüfmaschine möglich. Die Federstärke beträgt 500 kg/cm und ist so bemessen, daß sie etwa der Federung eines normalen Drehgestellwagens entspricht. Im übrigen sind die Federn leicht auswechselbar, so daß ein Einbau anderer Federn keine Schwierigkeiten bietet.

Die beschriebene Ausführung des Querträgers ermöglicht es, folgende Abstützungsarten des Wagenkastens durchzuführen.

- a) Abstützung auf starr mit dem Querbalken verbundener Drehpfanne,
- b) Abstützung auf frei einstellbar in Querträger gelagerten Drehpfannen,
- c) Abstützung auf den Gleitstücken.

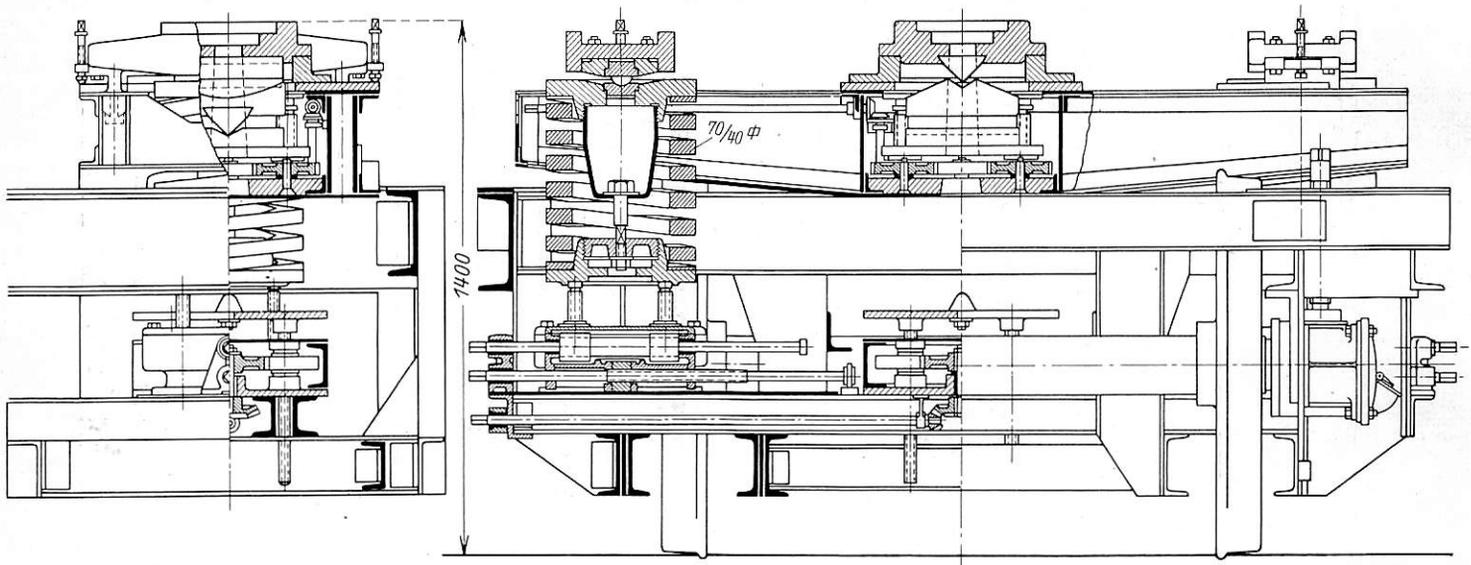


Abb. 17. Vorrichtung zur Wagenkastenuntersuchung.

Welche dieser drei Anordnungen einzustellen ist, richtet sich nach dem Arbeitsgang, der mit der Vorrichtung ausgeführt werden soll. Das Verfahren für die einzelnen Untersuchungen ist folgendermaßen:

a) Vermessen von Wagenkästen.

Das Vermessen von Wagenkästen wird in unbelastetem Zustand durchgeführt. Es ist zu unterscheiden zwischen:

- Messen von Breiten- und Längenmaßen,
- Messen von Höhen- und Neigungsmaßen.

Längen- und Breitenmaße werden nach Hochnehmen des Wagenkastens bei Abstützung auf vier Hebeböcken nachgemessen, da Längenänderungen, die sich bei dieser von den Betriebsverhältnissen abweichenden Abstützungsart des Wagenkastens ergeben, so gering sind, daß sie vernachlässigt werden dürfen. Das Vermessen der Höhenlage und Neigung von Drehpfannen und Gleitstücken und die Lage der Puffer dagegen wird bei Abstützung des Wagenkastens auf seinen Drehpfannen, von denen eine frei einstellbar auf einer Kreuzschneide gelagert ist, durchgeführt.

Auf genaues Vermessen der Höhenlage der Gleitstücke und Drehpfannen und der Neigung, die diese Teile gegeneinander haben, muß Wert gelegt werden, denn diese Bauteile sind für den Wagenlauf besonders wichtig, und die Abmaße, die für sie zugelassen werden dürfen, müssen sehr klein sein. Sind die

Gleitstücke nur 1 mm höher als zulässig, so tragen die Drehpfannen das Wagenkastengewicht nicht mehr allein, wie erforderlich, sondern nur noch in einem nicht feststellbaren Maße. Stehen die Drehpfannen zueinander schief, so tritt eine Schrägstellung der Drehgestellwagen ein. Die dieser Schrägstellung entsprechende verschiedene Belastung der Federn übt auf den Wagenkasten ein zusätzliches Verdrehungsmoment aus. Zusätzliche Verdrehungsmomente und eine Entlastung der Drehpfannen müssen aber unbedingt vermieden werden, wenn ein einwandfreier Wagenlauf erzielt werden soll.

Das Vermessen der Höhen- und Neigungsmaße wird bei Stand des Wagenkastens auf den beiden Drehpfannen der Prüfgerüste durchgeführt. Die Stellung des Wagenkastens beim Vermessen ist als Bezugslage genau festgelegt. Dem Umstand, daß alle Wagenkästen in gewissen Grenzen windschief sind, die Form der einzelnen Wagen also verschieden ist, ist durch entsprechende Festlegung dieser Bezugslage Rechnung getragen. Der Wagenkasten muß beim Vermessen eine Lage haben, in der der Winkel, den die beiden Drehpfannenquerträger miteinander bilden, durch die Waagerechte halbiert wird. In Abb. 18 ist

die Bezugslage dargestellt. Die Bezugsebene muß folgende Bedingung erfüllen:

$$a_v + b_v = a_h + b_h$$

$$a_v = a_h$$

$$b_v = b_h$$

Die Drehpfannenträger haben dann gegen die Waagerechte gleiche, aber entgegengesetzte Neigung. Der mittlere Wagenteil bzw. ein Querschnitt des Wagens, der nach den bisherigen Erfahrungen innerhalb geringer Abmaße in der Wagenmitte liegt, steht dann genau senkrecht.

Diese Lage ist deshalb als Bezugslage gewählt, weil es die Lage ist, die jeder Wagenkasten auf seinen Drehgestellen bei mittleren Belastungsverhältnissen einnehmen muß. Diese Lage auch bei Vermessen des leeren Wagenkastens als Bezugslage einzuführen, begegnet keinen Bedenken, da besondere Untersuchungen der Wagenversuchsabteilung ergeben haben, daß die natürliche, stets in gewissen Grenzen windschiefe Form eines Wagens, eine Folge des Bauzustandes ist und sich bei Belastung kaum ändert.

Die Prüfgerüste werden vor dem Vermessen so eingestellt, daß die an ihnen angebrachten Meßlineale und Bezugskanten in einer waagerechten Ebene „der Meßebene“ liegen. Der zunächst auf dem Prüfstand eine beliebige Lage aufweisende Wagenkasten wird in seine Bezugslage durch Heben oder Senken der beiden Federn, die den mit fester Drehpfanne aus-

gerüsteten Querträger tragen, eingestellt, wodurch der Wagenkasten in die vorgeschriebene Bezugslage gedreht wird.

Die Höhenlage, die die zu vermessenden Teile gegeneinander haben, wird durch Messen des Abstandes, den sie gegenüber der Meße ebene haben, ermittelt, ebenso die Schräglage, durch Feststellung ihrer Neigung gegen die Meße ebene. Die Neigung der Drehpfannen des Wagenkastens wird hierbei durch Vermessen der mit besonderen Meßmarken und Wasserwaagen versehenen Drehpfannen der Prüfgestelle, die zwangsläufig die Neigung der Drehpfannen des Wagenkastens annehmen müssen, festgestellt. Hierbei wird die Steigung des Keils, der zur Berichtigung untergelegt werden muß, in Millimetern ermittelt. Winkelmessung wäre an sich auch möglich aber unzweckmäßig, da dann für die Herstellung des Keils eine Ausrechnung der Steigung notwendig ist.

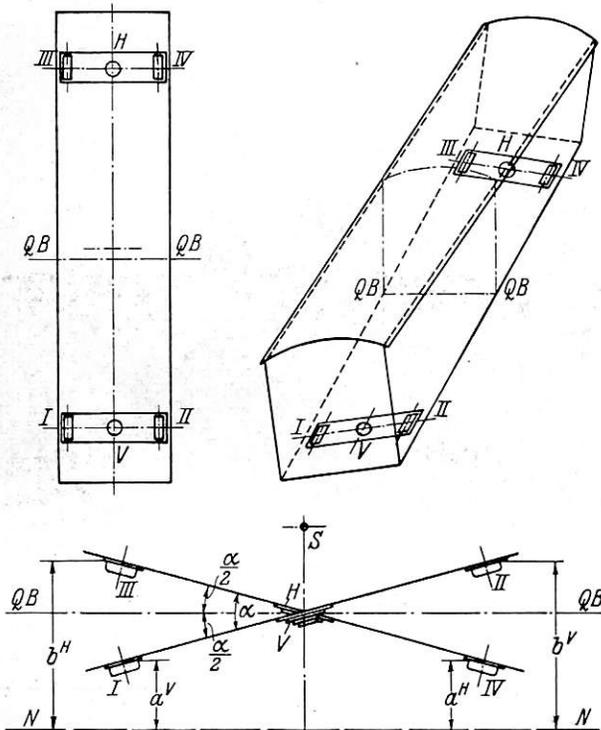


Abb. 18. Bezugslage für Vermessen und Verwiegen von Wagenkästen.

Die beim Vermessen gefundenen Fehler der Form oder Lage einzelner Bauteile werden berichtigt. Zusätzliche, den Lauf ungünstig beeinflussende Spannungen sind bei einem derartig vermessenen und berichtigten Wagen nicht vorhanden.

b) Verwiegen von Wagenkästen.

Das Verwiegen wird in unbelastetem Zustand des Wagenkastens durchgeführt. Der Einfluß der Belastung wird, falls nötig, auf rechnerischem Wege berücksichtigt.

Für Abstützung und Bezugslage des Wagenkastens beim Verwiegen gelten dieselben Bedingungen wie beim Vermessen, so daß das Verwiegen im gleichen Arbeitsgang wie das Vermessen ausgeführt werden kann. Bei der Vorrichtung der Wagenversuchsabteilung sind aus diesem Grunde die Prüfgestelle, die zum Vermessen verwendet werden, gleichzeitig als Wiegegestelle ausgebildet, die Meßfedern, die die Querträger tragen, dienen als Waage.

Die Ermittlung des Wagenkastengewichts, des seitlichen Übergewichts und der Lage der Schwerpunktssenkrechten erfolgt bei Anwendung der Bezeichnungen der Abb. 19 folgendermaßen: Die Zusammendrückungen der vier Meßfedern werden an den zugehörigen Anzeigevorrichtungen in Millimetern abgelesen. Aus den Eichkurven der vier Federn

wird der jeder Zusammendrückung zugeordnete Druck P entnommen, das Querträgergewicht wird abgezogen. Das seitliche Übergewicht S , das auf einer Wagenlängsseite vorhanden ist, beträgt

$$S = P_a - P_b.$$

Es kommen hierfür nur die Drücke P_a und P_b der Federn des eine feste Drehpfanne tragenden Querträgers in Betracht, da die Drücke P_c und P_d der den Querträger mit der frei einstellbaren Drehpfanne tragenden Federn stets gleich sind. Die Abstandskordinaten des Schwerpunktes von der Wagenmitte ergeben sich zu

$$l_s = \frac{l \cdot (G - 2 [P_a + P_b])}{2 G}$$

$$b_s = \frac{b \cdot (P_a - P_b)}{2 G}$$

Die Kenntnis des Wagengewichts bzw. der Drehgestellbelastung wird zur Auswahl der Feder von richtiger Tragfähigkeit benötigt, die Kenntnis des seitlichen Übergewichts zur Entscheidung, ob es nötig ist, an der Gewichtsverteilung durch Einbau eines Ausgleichgewichts etwas zu ändern.

Prüfung der Verwindungsfestigkeit von Wagenkästen.

Die Prüfung der Steifigkeit wird besonders bei Wagen durchgeführt, die unruhig laufen, ohne daß der Grund hierfür durch Vermessen und Verwiegen einwandfrei festgestellt werden kann. Die Prüfung wird als Verwindungsversuch vorgenommen, da dieser Versuch aufschlußreicher als ein Durchbiegungsversuch, und auch leichter durchführbar ist. Beide Prüfgestelle werden mit fest auf den Querträgern ab-

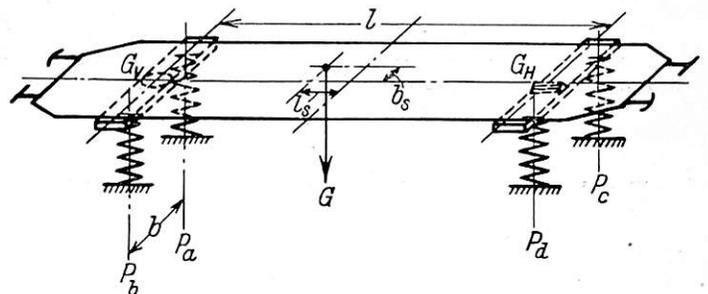


Abb. 19. Schema der Wagenkastenabstützung.

gestützten Drehpfannen ausgerüstet, und der Wagenkasten auf die so angeordneten Drehpfannen gesetzt. Durch entgegengesetztes Schiefstellen der Querträger wird auf den Wagenkasten ein Drehmoment ausgeübt. Die Differenz der Drücke der beiden einen Querträger tragenden Federn gibt das durch diese Balken zusätzlich auf den Wagenkasten übertragene Verdrehungsmoment. Eine Nachprüfung der Stetigkeit der Kurve der Verdrehungsmomente in Abhängigkeit vom Verdrehungswinkel ergibt ein Maß für den inneren Spannungszustand des Wagenkastens, und die Steigung der Kurve ein Maß für seine Steifigkeit.

Bei Sonderversuchen zur Prüfung der Steifigkeit und des Spannungszustandes wird der Wagenkasten unmittelbar auf seinen vier Gleitstücken abgestützt. In diesem Falle werden die Querträger der Prüfgestelle abgesenkt, so daß die Meßfedern durch die Träger ragen. Die Prüfung wird grundsätzlich, wie vorstehend geschildert, durchgeführt. Genauere Angaben über Ergebnisse dieser Versuche können zur Zeit noch nicht gemacht werden, da hierüber noch zu wenig Erfahrungen vorliegen.

Soll die Biegefestigkeit eines Wagens festgestellt werden, so wird der Wagenkasten belastet, und die Form des Wagenkastens vor und nach dem Versuch und während

der Be- und Entlastung bei bestimmten Belastungsstufen vermessen, und zwar werden die Maße auf eine waagerechte Meßebeane bezogen.

Um die bei Belastung auftretenden zusätzlichen Spannungen der einzelnen Bauteile feststellen zu können, werden Versuche mit einem akustischen Dehnungsmesser von Schaefer durchgeführt. Bei diesem Meßgerät wird eine Stahlsaite fest an den zu untersuchenden Bauteil angeschlossen, so daß sie alle Dehnungen und Verkürzungen des Teiles mitmachen muß. Die Stahlmeßsaite kann auf elektromagnetischem Wege zum Schwingen gebracht und der Ton der Schwingung mittels Telephons abgehört werden. Aus der Tonänderung kann mittels einer Vergleichssaite und einer Eichkurve der Meßsaite die zusätzliche Beanspruchung abgelesen werden.

Da die Meßsaite aber nicht die wirkliche sondern eine ideelle Faser mißt, ergibt sie nur bei reinen Zug- und Druckmessungen richtige Werte. Beim Messen von Teilen, die auf Biegung beansprucht werden, ergeben sich Fehler. Diese Fehler können vernachlässigt werden, solange der Randabstand der zu messenden Faser von der neutralen Zone groß ist. Beim Messen von Querschnitten mit geringer Höhe (z. B. bei Verkleidungsblechen) ergeben sich Fehler, so daß die Anwendung des Meßgerätes auf Untersuchung von Bauteilen mit großem Abstand der Randfaser von der neutralen Zone beschränkt worden ist. Verwendet werden die Meßsaiten z. B. beim Messen der im Ober- und Untergurt eines Wagenkastens bei Belastungsversuchen auftretenden Spannungen. An der Entwicklung eines allgemein verwendungsfähigen Dehnungsmessers wird von der Wagenversuchsabteilung weiter gearbeitet.

Zur Ermittlung der Eigenschwingungszahl des Wagenkastens werden die in Kapitel I beschriebenen Kohledruckregler verwendet. Der Wagenkasten wird dabei durch einen Stoß erregt, durch plötzliches Entfernen einer unter einer Drehpfanne gelegten Zwischenlage.

2. Drehgestellprüfung bei betriebsmäßiger Belastung.

Um den lauftechnischen Zustand eines Drehgestells festzustellen, genügt ein Vermessen des unbelasteten Drehgestellrahmens nicht, sondern es ist notwendig, das Drehgestell mit belasteten Federn zu untersuchen. Bei dieser Untersuchung ist die Höhenlage und Neigung des Rahmens und der Wiege gegenüber dem waagerechten Gleis oder einer waagerechten Meßebeane festzustellen. Bei zentrischer, dem Gewicht des zugehörigen Wagenkastens entsprechender Belastung der Drehpfanne müssen Drehgestellwiege und Rahmen in waagerechter Ebene liegen, Drehpfannen und Gleitstücke die richtige Höhenlage haben, das zwischen Wiege und Drehgestellträgern auf beiden Seiten vorhandene Spiel gleich sein, und die für die Federn vorgesehenen Abstandmaße eingehalten sein. Ein Einhalten dieser Bedingungen ist nur möglich, wenn Zustand und Einbau der Federn einwandfrei ist.

Bei dem Vermessen müssen die Radsätze mit den Achslagergehäusen entfernt sein, da fast alle zu prüfenden Maße des Drehgestellrahmens auf die an den Achshaltern angebrachten Führungswinkel, die sonst nicht zugänglich wären, bezogen werden.

In Abb. 20 ist der Drehgestellprüfstand bei Besetzung mit einem Drehgestell dargestellt. Er besteht grundsätzlich aus einer einstellbaren Schlittenvorrichtung, auf der das Drehgestell mit seinen Tragfedern abgesetzt wird, aus den in waagerechter Meßebeane liegenden Meßlinealen mit zugehörigen Meßwinkeln und einer Vorrichtung zum Belasten der Drehgestellrehpfannen mit zugehöriger Antriebseinrichtung. Die Schlittenvorrichtung wird vom Querträger gebildet, die auf einem im Fundament gelagerten Bett in Gleisrichtung mittels Handspindelantrieben verschoben werden

können. Diese Querträger ersetzen die Achsen und Achslagergehäuse. An den Enden tragen sie einstellbare, auf Kugel gelagerte Druckplatten, die wie die Achslagergehäuse mit Bohrungen zur Aufnahme der Federbundzapfen der Achslagerfedern versehen sind. Die Abmessungen der Querträger sind so, daß sie die Führungswinkel der Achshalter nicht berühren.

Die die Meßebeane bildenden beiden großen Meßlineale sind genau in die gleiche waagerechte Ebene gelegt, und durch ein steifes Tragwerk fest mit dem Fundament verbunden. Sie sind mit einer in der Mitte beginnenden durchlaufenden Millimereinteilung und außerdem mit kurzen Sonderteilungen für die Achshaltermaße bei Achsstand von 2,15; 2,50; 3,00 und 3,60 m versehen.

Die Belastungsvorrichtung hat 20 t Tragfähigkeit und besteht aus einem mit Drehpfanne und Kraftmesser aus-

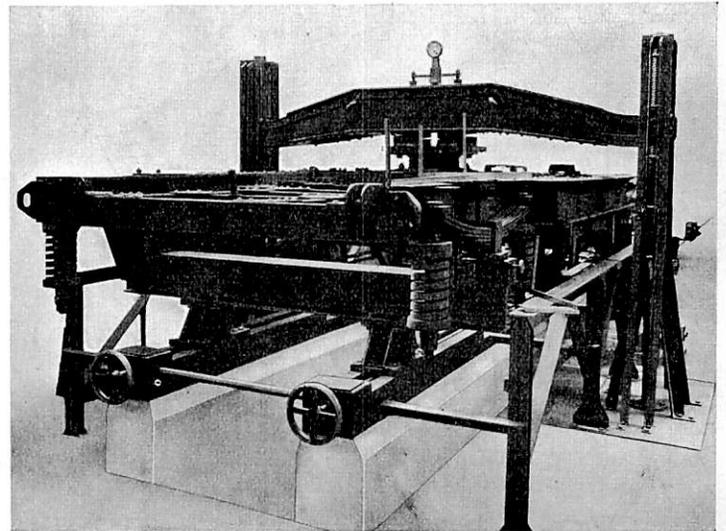


Abb. 20. Drehgestellmeßstand.

gerüsteten Querbalken, der durch zwei an seinen Enden angreifenden Spindeln gehoben und gesenkt werden kann. Die Spindeln werden unter Zwischenschaltung von Schneckenantrieben von einem Elektromotor angetrieben und mittels eines Handanlassers in Gang gesetzt. Der Kraftmesser wird aus zwei Schraubenfedern mit zugehöriger Anzeigevorrichtung gebildet. Die Schraubenfedern sind zwischen den Querbalken und die die Kraft übertragende Drehpfanne geschaltet. Mittels eines Zeigers wird die Belastung angezeigt. Unter Belastung werden dann alle in Frage kommenden Längen-, Höhen- und Neigungsmaße ermittelt. Insbesondere wird die Lage der Drehpfanne des Drehgestells bei waagerechter Lage der Wiege genau ermittelt. Sie muß bei dieser Wiegenlage ebenfalls in waagerechter Ebene liegen. Die Einhaltung dieser Bedingung ist unbedingt notwendig, da anderenfalls, sobald die Drehpfannen der Drehgestelle nicht beide in waagerechter Ebene liegen, jeder Wagenkasten, dessen Drehpfannen vorschriftsgemäß in waagerechter Ebene liegen, durch seine Drehgestelle eine zusätzliche Verdrehungsbeanspruchung erhalten würde. Um das Vermessen der Drehpfannenlage genau und einwandfrei durchführen zu können, wird zwischen den Drehpfannen der Wiege und Belastungsbalken noch eine Kreuzschneide eingeschaltet. Die Lage der inneren Drehpfanne wird bei waagerechter Lage der Wiege unter Verwendung der Wasserwaage ermittelt.

Berichtigt werden alle Abweichungen von den Sollmaßen, sofern durch sie die Festigkeit oder die Laufeigenschaften des Drehgestelles beeinflusst werden. Eine Berichtigung der Federeinstellung wird im Anschluß an das Vermessen unter Last

auf dem Prüfstand vorgenommen, da die Einstellung auf dem Prüfstand am genauesten überwacht und auch bequem durchgeführt werden kann. Drehgestelle, an denen größere Arbeiten ausgeführt sind, werden vor Inbetriebnahme noch einmal auf dem Prüfstand vermessen und hinsichtlich der Federeinstellung berichtigt.

Außer zum Vermessen von Drehgestellen wird der Prüfstand noch zur Aufnahme der Gesamtfedercharakteristik der Drehgestellfederung im Betriebszustand verwendet, die für Laufversuche und Ermittlung der Schwingungsvorgänge wichtig ist.

3. Federprüfung.

Zur Prüfung des Zustandes der Federn und zur wissenschaftlichen Untersuchung ihrer Festigkeits- und Schwingungseigenschaften werden verwendet:

a) Eine Federprüfmaschine für statische Versuche an Blatt- und Schraubenfedern.

b) Ein Federprüfwerk für dynamische Versuche an Blatt- und Schraubenfedern.

c) Eine Prüfmaschine für dynamische Versuche an einem Federmodell mit regelbarer Reibung und Dämpfung.

d) Eine Federprüfmaschine zum Auswiegen von Schraubenfedern. (Feststellen der Federhöhe bei bestimmter Belastung.)

a) Statische Versuche an Blatt- und Schraubenfedern.

Die Maschine wird zum Aufzeichnen der Federcharakteristik (Abhängigkeit der Durchbiegung von der Belastung), zum Feststellen der Federreibung und für die Ermittlung der Spannungsverteilung bei verschiedener Belastung verwendet, und ist zur Vornahme der Abnahmeprüfung von Blatt- und Schraubenfedern geeignet.

In Abb. 21 ist die Federprüfmaschine dargestellt. Sie ist für 25 t Belastung gebaut. Die Maschine ist in einer Grube derart aufgestellt, daß Federtisch und Anzeigeinstrumente bequeme Bedienungshöhe haben, während die eigentlichen Antriebs- teile unter Fußbodenhöhe liegen. Die zu prüfende Feder wird auf einem Tisch abgestützt und durch einen Belastungsstempel belastet. Soll eine langsame einmalige Federdurchbiegung gemessen werden, so wird der Stempel mittels Spindelantriebs gegenüber dem stillstehenden Tisch auf und ab bewegt, sollen dagegen schnell aufeinanderfolgende Federdurchbiegungen untersucht werden, so bleibt der Stempel in Ruhe und der Tisch wird mit Hilfe eines Kurbelantriebes gehoben und gesenkt, der durch Verschieben der Kurbelzapfen eine Hubverstellung von 0—200 mm erlaubt.

Zum Einschalten des Hubwerks des Belastungsstempels dient eine elektromagnetische Reversierkupplung, die durch Druckknopfsteuerung den Vor- und Rücklauf des Hubwerks schaltet, zum Antrieb des Aufspanntisches eine zweite Elektromagnetkupplung. Die Hubzahl des Tischhubwerks ist zwischen 10 und 120 Hübe/Min. regelbar. Die größte Hubgeschwindigkeit des Belastungsstempels beträgt 800 mm/Min. Um die Geschwindigkeit feinfühlig regeln zu können, ist der Antriebsmotor in Leonard-Schaltung geschaltet.

Die Anzeigeinstrumente für Kraft- und Durchbiegungsmesser und ein Indikator sind auf einer Tafel am Support angebracht. Die vom Belastungsstempel auf den Federbund ausgeübten Kräfte werden durch eine mit Hebelübersetzung ausgerüstete, in den Support eingebaute Federwaage gemessen.

Die Federwaage ist in Taf. 6, Abb. 3 gezeigt. Sie zeichnet sich durch große Genauigkeit aus und ist daher für die genannten Versuchszwecke besonders geeignet. Die Beanspruchung der Meßfedern der Waage ist, um Änderungen ihrer Charakteristik mit Sicherheit zu vermeiden, außerordentlich klein gehalten und beträgt bei Höchstbelastung 15 kg/mm. Die Federwaage hat sich bei dieser Verwendung als Kraftmesser in jeder Hinsicht bewährt, während bei einer Verwendung von mit

Glyzerin gefüllten Meßdosen sich fast ständig Schwierigkeiten bei Genaumessungen ergaben. Bei der Abnahmeprüfung werden die Federn in Gehängen, wie sie bei Fahrzeugen verwendet werden, geprüft, und wird festgestellt, ob bei der Prüflast die hierfür vorgeschriebene Sprengung innegehalten wird.

Auch der Spannungsverlauf in den Blättern der Federn wird ebenfalls auf dieser Maschine aufgenommen. Die vorderen Seitenflächen der zu prüfenden Feder werden zu diesem Zweck geschliffen. In unbelastetem Zustand werden in regelmäßigen dichten Abständen die Blätter mittels eines Diamanten winkelrecht zur Blattkrümmung angerissen. Auf photographischem Wege wird dann die Winkeländerung der Umrisse bei verschiedener Belastung der Feder aufgenommen und mittels eines Meßmikroskops festgestellt. Aus der Größe der Winkeländerung je zweier nebeneinander liegenden Anrisse wird dann die Größe der Biegespannung berechnet.

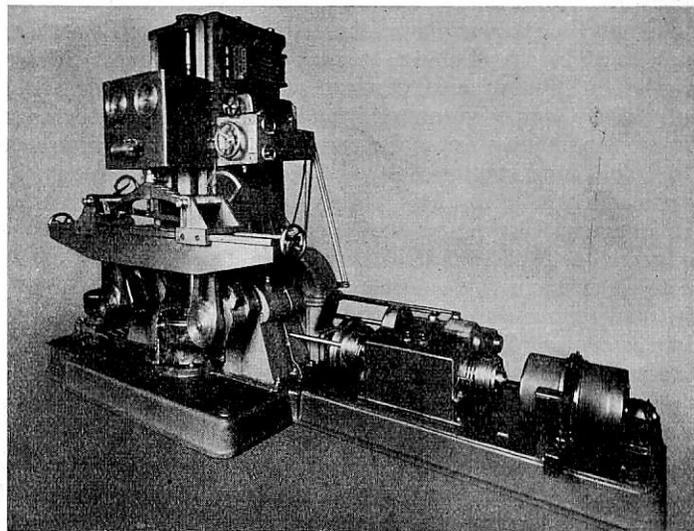


Abb. 21. Maschine für statische Federprüfung.

b) Dynamische Versuche an Blatt- und Schraubenfedern.

Die dynamische Prüfung hat den Zweck, die Schwingungseigenschaften der belasteten Feder zu ermitteln, und insbesondere die Dämpfung (bzw. das logarithmische Dekrement), die Eigenschwingungszahl und Resonanzerscheinungen festzustellen. Das hierfür benutzte Prüfwerk wurde in Gemeinschaft mit der Maschinenfabrik Carl Schenck, Darmstadt, entworfen und von der genannten Firma erbaut. Eine Darstellung des Prüfwerkes zeigt Taf. 6, Abb. 4.

Das Prüfwerk besteht aus einem Belastungstisch, der durch zwei Hebeböcke eines Hubwerks gehoben und gesenkt werden kann, und der durch Rollen, die an der Außenseite der Gehäuse dieser Böcke angebracht sind, in senkrechter Richtung geführt ist, und aus einem großen Erregerrad, auf das sich mittels eines Laufrades ein Lagerkörper abstützt. Das Erregerrad trägt einen Reifen, dessen Querschnitt einem Schienenprofil (Nr. 8) entspricht. Der Reifen ist an einer Stelle unterbrochen. Die Schienenenden sind mittels nachstellbarer Pufferfedern derart abgestützt, daß sie sich bei Belastung mit 10 t etwa 5 mm durchbiegen. Die Federn geben den Schienenenden eine Vorspannung, so daß beim Durchschwingen die Biegungsbeanspruchung zwischen positiven und negativen Werten wechselt. Dies ist notwendig, da ohne Vorspannung der Querschnitt bei gleicher Last nicht genügende Dauerfestigkeit hat. Das Erregerrad wird durch einen Elektromotor unter Zwischenschaltung einer Zahnraduntersetzung und eines schweren Schwungrades angetrieben. Der das Laufrad tragende Lagerkörper ist durch Federlenker derart geführt, daß er nur

Bewegungen in senkrechter Richtung ausführen kann. Mit dem Belastungstisch hat der Lagerkörper keinerlei Berührung.

Der die Belastung der Feder darstellende Belastungstisch trägt auf seiner Oberplatte Befestigungsböcke zum Einbau der zu prüfenden Feder. Das Tischgewicht von 3,8 t kann durch Einsetzen von Gewichtsplatten in hierfür vorgesehene Taschen bis auf 10 t vergrößert werden. An den beiden Stirnwänden des Belastungstisches ist je ein mittels Spindel und Handrad einstellbares Auflager angebracht. Unter diesem Auflager befinden sich Stempel, die durch eine Kniehebelanordnung festgehalten und durch einen Wurfhebel eingeschlagen werden können. Der Antrieb der beiden Hebelböcke der Tischhubvorrichtung erfolgt über Schneckenantriebe durch einen eigenen Elektromotor.

Soll die Dämpfungs- und die Schwingungszeit einer Feder ermittelt werden, so wird die Feder durch einen Einzelschlag beansprucht und die Federdurchbiegung abhängig von der Zeit auf einem Diagramm aufgezeichnet. Hierzu wird der Belastungstisch mittels des Hubwerkes um einen bestimmten Betrag angehoben, mit seinen Auflagern auf den Stempel der Kniehebel abgestützt. Sodann wird das Hubwerk wieder abgelassen. Durch Einschlagen des Hebels wird nun der Feder ein je nach Größe des eingestellten Fallweges verschieden großes Arbeitsvermögen zugeführt. Das Fallen der Feder und die sich anschließenden Schwingungsvorgänge werden auf dem Diagramm aufgezeichnet. Die Aufzeichnung der Durchbiegung erfolgt hierbei durch ein mechanisches Übertragungsgestänge und die Zeitmarkierung durch einen mit 1500 Umdr./Min. laufenden Synchromotor. Außerdem ist vorgesehen, die jeweils wirkende Kraft aus der Durchbiegung des Deckels des Lagerkörpers, der die Feder trägt, zu ermitteln, doch ist diese Meßeinrichtung noch nicht endgültig erprobt.

Sollen Resonanzerscheinungen untersucht werden, so wird an Stelle des Einzelschlages die Feder taktmäßig erregt. Hierzu wird das Erregerrad in Bewegung gesetzt. Bei Drehen des Erregerrades rollt das Laufrad auf diesem ab. Bei jeder Umdrehung des Erregerrades muß das Laufrad dabei einmal den Schienenstoß überqueren. Der Lagerkörper überträgt den jedesmal hierbei auftretenden Stoß auf die Feder und ihre Belastungsmasse. Die Umdrehungszahl kann mit Hilfe der für den Antriebsmotor verwendeten Leonard-Schaltung feinfühlig geregelt und bis 300 Umdr./Min. gesteigert werden, was einer Schienenstoßfolge von 270 km/h bei 15 m Schienenlänge entspricht. Durch Änderung der Umdrehungszahl des Erregerrades wird untersucht, ob und in welchem Bereich Resonanzerscheinungen auftreten.

Außer zu den reinen Schwingungsversuchen kann das dynamische Federprüfwerk auch zu Dauerfestigkeitsversuchen verwendet werden.

c) Dynamische Versuche an einem Federmodell mit regelbarer Reibung und Dämpfung.

Um aus einem gegebenen Schwingungsdiagramm Reibung und Dämpfung ermitteln zu können, den Einfluß der Dämpfung auf die Schwingungseigenschaften eines schwingenden Systems feststellen zu können, und die Beziehungen, die zwischen Stoßzeit und Eigenschwingungszeit bestehen, zu untersuchen, werden Versuche an einem Schwingungsmodell durchgeführt*). In Taf. 6, Abb. 1 ist die hierzu verwendete Prüfmaschine dargestellt**). Sie besteht aus einem Schwingungssystem, das mittels eines Elektromotors und unrunder Scheiben taktmäßig erregt werden kann. Das schwingende System besteht aus zwei Schraubenfedern, zwischen die eine Masse geschaltet ist. Die beiden äußeren Enden dieser Schraubenfedern sind durch

Bolzen fest miteinander verbunden und mit Lenkern an einer festen Säule angelenkt. Die zwischen die Federn geschaltete Masse ist ebenfalls an diese Säule angelenkt. Die schwingende Masse ist infolge der Verwendung von Schraubenfedern und infolge Einbaues von Kugellagern in die Lenkerlager praktisch ungedämpft. Um die Schwingungen beliebig dämpfen zu können, sind 1. Reibungsbacken, die mit einstellbarem Druck gegen die schwingende Masse drücken, und 2. eine Flüssigkeitsbremse, die mit einstellbarer Dämpfungskraft die Schwingungen der Masse abdämpft, vorgesehen. Zur taktmäßigen Erregung sind mehrere unrunder Scheiben von verschiedener Ausführungsform vorgesehen, die wahlweise eingeschaltet werden können. Fallversuche können durch Anheben der Masse (Gewicht etwa 10 kg) von Hand und Fallenlassen ausgeführt werden. Zur Aufzeichnung des Schwingungsdiagramms ist ein Indikator eingebaut, der mittels Hebelübertragung die Bahnkurve des Stützpunktes und die Bewegungskurve der schwingenden Masse aufzeichnet.

d) Auswiegen von Schraubenfedern.

Um die Höhe einer oder zweier parallel geschalteter Schraubenfedern bei bestimmter Belastung schnell und einwandfrei zu bestimmen, wird eine einfache Maschine zum Auswiegen der Federhöhe verwendet. Sie ist in Abb. 22 dargestellt. Belastet wird unter Einschaltung einer großen Hebelübersetzung unmittelbar durch Gewichtsplatten. Die Zusammenrückung der Federn wird an einer Kreiskala abgelesen. Be- und Entlastung der Federn erfolgt durch ein elektrisch angetriebenes Hubwerk mit automatischer Steuerung. Die Maschine wird bei allen für Drehgestellversuche notwendigen Messungen zur Feststellung der Höhe einer Schraubenfeder bei bestimmter Belastung verwendet. Genaue Schraubenfederuntersuchungen werden jedoch auf der unter 3a beschriebenen statischen Federprüfmaschine ausgeführt, da zu diesen Zwecken die Genauigkeit der Auswiegemaschine nicht groß genug ist.

III. Versuche zur Zerlegung schneller Bewegungsvorgänge im Eisenbahnbetrieb mittels Zeitlupe.

Um schnell verlaufende Bewegungsvorgänge jeder Art bei Stand-, Fahr- und Auflaufversuchen genau in ihren Einzelheiten verfolgen zu können, wird eine Zeitlupe verwendet, die die Vorgänge fortlaufend in kleinsten Zeitabschnitten auf photographischem Wege festzuhalten gestattet. Um die Bewegungsvorgänge bei der Auswertung der einzelnen Aufnahmen genau feststellen zu können, werden gleichzeitig mit den untersuchten Teilen Wegmaßstäbe und ein Zeitzeiger aufgenommen.

Die bei der Wagenversuchsabteilung verwendete Zeitlupe weicht in ihrer Bauart wesentlich von den bekannten Zeitlupen ab (s. Abb. 23). Um eine hohe Bildzahl erreichen zu können, mußte der ruckweise Vorschub des Films verlassen werden. Mit der Zeitlupe können 1500 Bilder in der Sekunde gemacht werden. Diese hohe Frequenz war nur dadurch möglich, daß das Filmband fortlaufend weitergezogen wird. Mit Hilfe eines in den Apparat eingebauten Spiegelkranzes wird die Trennung der einzelnen Bilder erreicht. Auch bei dieser Zeitlupenbauart mit hoher Bildzahl wurde die normale Bildgröße von 18 × 24 mm beibehalten, um die Einzelbilder beim Ausmessen bzw. Auswerten unter Verwendung eines normalen Vergrößerungsglases nicht vergrößern zu müssen. Außerdem ist die normale Bildgröße vorteilhafter, weil die Filmkopien jederzeit in jedem Projektionsapparat als Laufbild vorgeführt werden können. Da sich bei dem optischen Ausgleich (Spiegelkranz) die Scharfeinstellung des Objektes auf dem Film bei den verschiedenen Entfernungen nicht durch Verstellen des Objektivs gegenüber dem Film erreichen läßt, sind zu diesem Zweck Vorsatzlinsen vorhanden. Für die Prüfung der Bildscharfe ist ein

*) Siehe Aufsatz von Dr. Ing. Lehr in der Zeitung „Verein Deutscher Ingenieure“ Nr. 32, Jahrgang 1930.

***) Erbauer Dr. Ing. Lehr, Berlin.

Einstellmikroskop und zur Einstellung des Bildfeldes ein Mattscheibensucher vorhanden. Der Antrieb der Zeitlupe kann von Hand und durch einen fest mit dem Apparat verbundenen Motor erfolgen. Mittels Handantrieb ist höchstens eine Bildzahl von 100 Bildern in der Sekunde zu erreichen. An einem Umdrehungsanzeiger ist die Bildzahl abzulesen. Der Antriebsmotor hat eine Leistung von $\frac{1}{5}$ PS. Zur Aufnahme wird zuerst der Motor angelassen und erst, wenn dieser die richtige Umdrehungszahl hat, wird der Filmtransport mittels elektrischer Magnetkupplung eingeschaltet. Bei der größten Bildzahl (1500) hat der Film eine Geschwindigkeit von über 100 Stundenkilometern. Dabei muß jeder einzelne Spiegel auf der Spiegeltrommel mit dem entsprechenden, von ihm zu beleuchtenden Filmstück mit größter Genauigkeit zusammen arbeiten. Wegen dieser hohen Geschwindigkeit ist der Film möglichst einfach geführt worden; er wird von einer Filmkassette aufgenommen, die ihrerseits wieder in den Filmapparat eingesetzt wird.

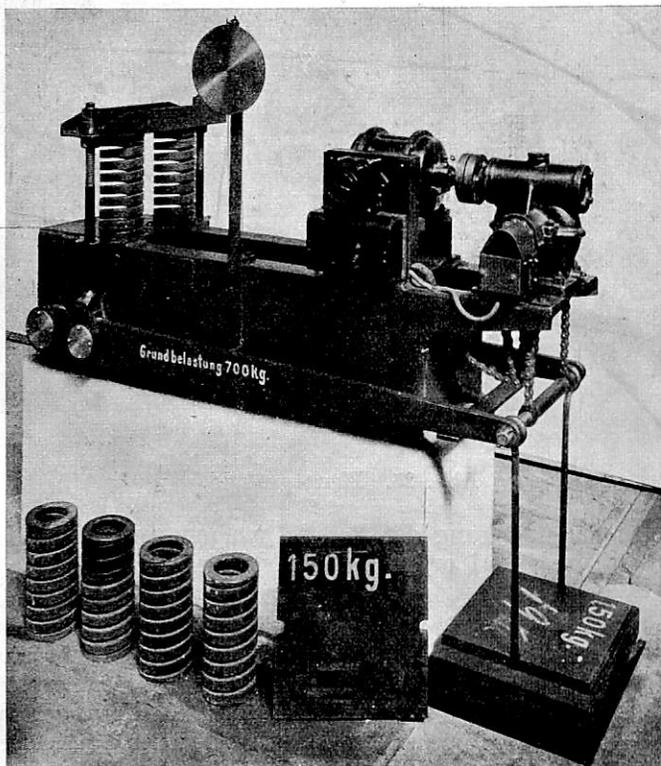


Abb. 22. Federprüfmaschine zum Auswiegen von Schraubenfedern.

Die höchste Bildzahl kann nur bei hellem Wetter und in den Mittagstunden, wenn der aufzunehmende Gegenstand von der Sonne grell beleuchtet wird, oder bei Verwendung hochkerziger Bogenlampen angewendet werden. Unter Umständen sind auch Aufnahmen während der Nacht auszuführen, da die Strecken am Tage von planmäßigen Zügen befahren werden und für Versuchsfahrten nicht frei sind. Für diese Zwecke stehen der Wagenversuchsabteilung besonders hochkerzige Anleuchtgeräte für Gleichstrom von mindestens 75 Volt Spannung und 75 Ampere Stromstärke, sowie drei Jupiterlampen zur Verfügung. Bei Standaufnahmen kann der elektrische Strom ohne Schwierigkeiten vom Netz abgenommen werden. Bei Aufnahmen im fahrenden Zuge wird der erforderliche Strom in dem Werkstattwagen erzeugt.

Die Negativfilme werden mit einfachen Mitteln in der Wagenversuchsabteilung selbst entwickelt. Zum Entwickeln, Fixieren und Wässern werden die Filme auf besondere Bänder gewickelt, die an der der Schichtseite der Filme zugekehrten Seite dicht nebeneinander kleine Erhebungen besitzen, damit

den Flüssigkeiten der Zutritt zum Film möglich ist. Bei größeren Versuchsfahrten können die Filme während der Fahrt in der Dunkelkammer des Meßwagens I entwickelt werden, die normalerweise zum Entwickeln der Oszillographenstreifen bestimmt ist.

Nachdem an dem Filmprüftisch überflüssige Teile aus dem Negativ entfernt und die Filme zusammengeklebt sind, wird die Auswertung entweder mit Hilfe eines Auswertgeräts oder des Vorführungsapparates vorgenommen. Hier können durch Verlangsamten der Vorführung Vorgänge dem Auge erfassbar gemacht werden, die sonst infolge zu schneller Bewegung leicht übersehen werden können.

Da die Auswertung am Negativ selbst vorgenommen werden kann, werden nur von solchen Negativen Kopien angefertigt, die von allgemeiner Bedeutung sind.

Die Zeitlupe dient zur Aufnahme von Bewegungserscheinungen an der Ausrüstung sowie am Laufwerk der Eisenbahnfahrzeuge, sowie zur Feststellung der Bewegung der elektrischen Schaltvorgänge.

Der Deutschen Reichsbahn-Gesellschaft entstanden dadurch große Ersatzkosten, daß die Seitenwandtüren der 20 t-Güterwagen sich im Betriebe von selbst öffneten und das Ladegut verloren ging. Durch Auflaufversuche sollte die Ursache dieses Mangels ermittelt werden. Es wurden verschiedene Verbesserungen an den betreffenden Wagen angebracht, ohne den Übelstand wirklich zu beheben. Erst durch Zuhilfenahme der Zeitlupe wurde die eigentliche Ursache erkannt. Es zeigte sich, daß beim Auflauf eines Wagens auf einen Zug, wie es bei Rangierbewegungen sehr häufig vorkommt, der Wagen in der Mitte nach oben durchfederte und daß dann der auf der Oberkante der Tür aufliegende Riegel von der Ecke der Tür hochgehoben wurde. Der Druck der im Wagen befindlichen Ladung öffnete die Tür dann vollends. Mit bloßem Auge war von diesen Vorgängen nichts zu erkennen, sie zeigten sich erst deutlich beim Vorführen des Zeitlupenfilmes. Nun war es mit einfachen Mitteln möglich, eine Änderung vorzunehmen. Die Erkenntnis konnte auch beim Neubau entsprechender Wagen mit großem Nutzen verwendet werden.

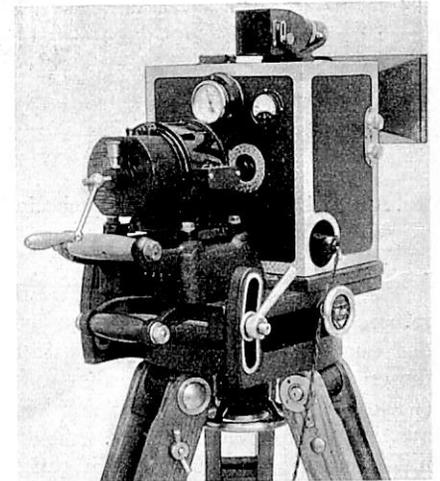


Abb. 23. Zeitlupe.

An einem Schnellschalter eines Umformerwerks der Berliner Stadtbahn wurden die bei einem Kurzschluß entstehenden Lichtbögen mittels Zeitlupe aufgenommen. Wegen der nur geringen Zeitdauer, während der der Lichtbogen entstand und verlöschte (etwa $\frac{1}{50}$ Sekunde), wurde mit einer Frequenz von etwa 900 Bildern in der Sekunde gearbeitet. In diesem Falle arbeitete die Zeitlupe mit einem Oszillographen parallel, mit dem die Stromstöße aufgezeichnet wurden. Das Einschalten der Zeitlupe und des Oszillographen geschah von einer gemeinsamen Stelle. Bei der Vorführung der Zeitlupenaufnahmen konnte deutlich die Entstehung und Größe des Lichtbogens bei den verschiedenen Belastungen des Schalters erkannt werden.

An bewegten Fahrzeugen wurden Untersuchungen mittels Zeitlupe vorgenommen und zwar wurden die seitlichen Bewegungen der Achslagerfederung eines Görlitzer Drehgestells

festgehalten. Zu diesem Zweck wurde unter einem D-Zugwagen dicht vor dem Drehgestell ein großer Kasten mit herausnehmbaren Wänden angebracht, der zur Aufnahme der Zeitlupe und der Beleuchtungsgeräte dient. Um die Bewegungen des Rades aufnehmen zu können, wurde die dem Drehgestell zugekehrte Wand des Kastens zur Hälfte entfernt und die Zeitlupe vor Beginn der Fahrt eingestellt. Während der Fahrt selbst waren nur die Scheinwerfer und die Zeitlupe in Tätigkeit zu setzen. Eine weitere Aufnahme von der Federung des erwähnten Drehgestells war mit erheblich größeren Schwierigkeiten verbunden. Dazu mußte der Wagen mit dem zu untersuchenden Drehgestell und der Wagen, unter dem sich die Zeitlupe befand, auf zwei nebeneinander liegenden Gleisen fahren. Hinter dem Zeitlupenwagen lief der Werkstattwagen, in dem der erforderliche Strom erzeugt wurde. Da die betreffende zweigleisige Strecke am Tage für die geplanten Versuchsfahrten nicht zur Verfügung stand, mußten die Aufnahmen während der Nacht in einer Betriebspause durchgeführt werden. Auf Abb. 24 ist die Anordnung der Zeitlupe und der Beleuchtungsgeräte in dem untergebauten Kasten zu sehen.

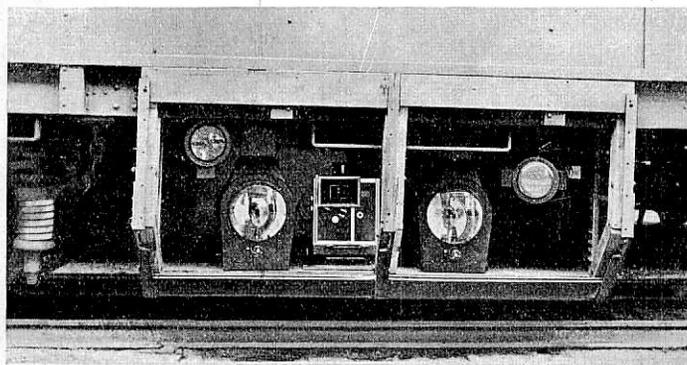


Abb. 24. Eingebaute Versuchseinrichtung für Zeitlupenaufnahmen unter einem Personenwagen.

Aus der Aufnahme der Federung sollen nicht nur die reinen Bewegungsvorgänge, sondern auch die Größenwerte der einzelnen Bewegungen ermittelt werden. Zugleich mit diesen Untersuchungen werden auf einer Federprüfmaschine (wie oben schon beschrieben) Vergleichsversuche vorgenommen, aus denen zu ersehen ist, wie weit die nachgeahmten Vorgänge mit den im Betrieb wirklich auftretenden übereinstimmen. Daraus wieder können weitere Schlüsse auf den Grad der Gleichartigkeit der mittels Federprüfmaschine ausgeführten Federuntersuchungen gezogen werden.

Weiter wurden vor einiger Zeit an den Gleisbremsen auf den Bahnhöfen Magdeburg-Buckau, Wustermark und Bremen Zeitlupenaufnahmen gemacht, die den Zweck hatten, die Beanspruchung der Achshalter von Güterwagen beim Durchlaufen von Gleisbremsen verschiedener Bauarten zu ermitteln.

B. Untersuchung der Personenwagenausrüstung.

In der Wagenversuchsabteilung werden auch die Ausrüstungen der Personenwagen auf ihre Brauchbarkeit, Zweckmäßigkeit, Festigkeit, Betriebssicherheit und Wirtschaftlichkeit untersucht. Die Untersuchungen erstrecken sich in den meisten Fällen auf Stand- und Fahrversuche. Gewöhnlich geht dem Fahrversuch ein Standversuch voraus, um festzustellen, ob eine Neuerung dem Eisenbahnfahrbetrieb überhaupt gewachsen ist und ob die verlangte Leistung erreicht wird. Ein Standversuch erleichtert die Zugänglichkeit zu den Einrichtungsteilen, so daß ein erforderliches Verstellen einer Vorrichtung, sowie das Anbringen von Meßapparaten leicht möglich ist.

Die weitaus größte Zahl der Untersuchungen an der Ausrüstung der Personenwagen, sei es durch Stand- oder Fahrversuche, erstreckt sich auf die Prüfung folgender Einrichtungen:

1. Die elektrische Beleuchtungsanlage.
2. Die Heizung.
3. Die Lüftungseinrichtungen.
4. Die Farb-, Lack- und Rostschutzanstriche.
5. Die Ausstattung, Faltenbälge, Übergangseinrichtungen.

In diesem Zusammenhange werden außerdem noch Wärme- flußmessungen zur Feststellung des geeignetsten Isolierstoffes, Messungen der Dichtigkeit zur Feststellung der bestehenden Undichtigkeiten bei Personenwagen und des sich daraus ergebenden Luftwechsels und Messungen zur Feststellung der beim Eisenbahnbetrieb auftretenden Geräusche angestellt.

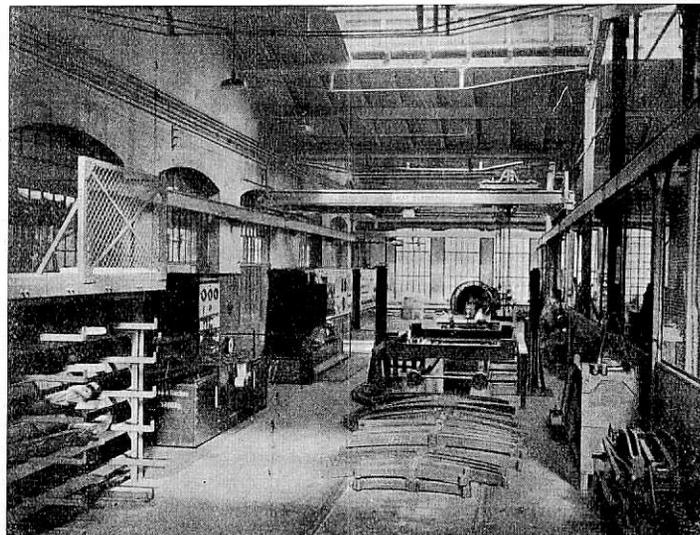


Abb. 25. Hauptprüffeld.

I. Untersuchung der Personenwagenausrüstung auf ortsfesten Prüffständen.

Das Hauptprüffeld (s. Abb. 25) der Wagenversuchsabteilung ist in einem Querschiff der Wagenhalle untergebracht. In Nebenräumen befinden sich die Maschinenanlagen, ein fahrbarer Lichtmaschinenprüfstand und der Heizkupplungsprüfstand. Zur Bedienung der Prüffstände dient ein Kran, der das ganze Prüffeld bestreicht. In den verschiedenen Prüffeldern sind folgende Meßeinrichtungen aufgestellt:

1. Die Schaltanlage mit Maschinenraum und Versuchseinrichtung zur Prüfung der elektrischen Heizung.
2. Ein fester und fahrbarer Lichtmaschinenprüfstand mit Windkanal.
3. Ein Heizkupplungsprüfstand.
4. Prüffstände zur Untersuchung der Anstriche, sowie Versuche mit Rostschutzmitteln.
5. Einrichtungen zur Untersuchung von Gegenständen der Innenausstattung.
6. Eine Federprüfmaschine für statische Untersuchungen.
7. Eine Federprüfmaschine für dynamische Untersuchungen.
8. Eine Federprüfmaschine für Untersuchung von Spiralfedern.
9. Ein Drehgestellmeßstand.
10. Ein Meßstand zum Vermessen und Verwiegen der Wagenkästen.

I. Versuchseinrichtung zur Prüfung der elektrischen Heizung.

Von einer Hauptschalttafel werden die Antriebsmaschinen, Prüffstände, sowie Hebe- und Werkzeugmaschinen mit elektrischem Strom versorgt. Die Einzelfelder sind:

1. Der Hauptschalter und die Sicherungen für die Abnahme vom Netz mit Leistungszählern und die Hauptschalter und Sicherungen für die einzelnen Verbrauchsstellen.

2. Die Schaltanlage für einen Drehstrom-Gleichstrom-Umformer von 220 Volt Gleichstrom.

3. Die Schaltanlage für Antriebsmotoren von Lichtmaschinenprüfständen.

4. Die Schaltanlage für einen Hochspannungs-Umformer von 2000 Volt Gleichstrom.

5. Die schreibenden Meßinstrumente für Lichtmaschinenprüfungen.

6. Die Hochspannungs-Isolationseinrichtungen für 5000 bis 10000 Volt Wechselstrom. Die Spannung wird von 220 Volt auf die Prüfspannung in einem Öltransformator umgeformt.

7. Die Heizkörperprüfeinrichtungen für elektrische Wagenheizung mit 1000 Volt Wechselstrom. Der Wechselstrom wird von 220 Volt auf 1000 Volt umgeformt. Zur Regelung und genauen Einstellung ist noch ein an verschiedenen Stellen angezapfter Transformator eingebaut.

8. Die Hochspannungsprüfzelle mit Anschlüssen für 1000 Volt Wechselstrom, 2000 Volt Gleichstrom und 5000 bis 10000 Volt Wechselstrom.

Hinter der Schaltanlage befindet sich ein Maschinenraum, in welchem drei Maschinensätze aufgestellt sind und zwar:

- a) Gleichstrom-Drehstrom-Satz 220 Volt Gleichstrom,
- b) Gleichstrom-Drehstrom-Satz 440 Volt Gleichstrom,
- c) Gleichstrom-Drehstrom-Satz 2000 Volt Gleichstrom.

Jeder Satz besteht aus drei Maschinen und zwar aus einem Asynchron-Drehstrommotor als Antriebsmaschine, einem Gleichstrom-Generator und einer Erregermaschine.

Der Gleichstrom-Drehstrom-Satz für 220 Volt Gleichstrom dient zum Speisen der Antriebsmotoren für Lichtmaschinenprüfstände und für Krantmotoren im Versuchsfeld. Der Generator hat Eigenregung. Die ebenfalls mit dem Drehstrommotor gekuppelte Erregermaschine liefert Energie für die Erregung der Antriebsmotoren und für Umdrehungsdynamos für Lichtmaschinenprüfstände. Auch der Schaltmotor der Lichtmaschinenprüfstände wird von der Erregermaschine gespeist. Die Spannung der Erregermaschine ist mittels eines Nebenschlußreglers in den Grenzen von 60 bis 200 Volt regelbar (s. Schaltbild Taf. 5, Abb. 2).

Der Gleichstrom-Drehstrom-Satz für 440 Volt Gleichstrom liefert Strom für eine Federprüfmaschine. Über Schaltung und Regelung ist bei der Beschreibung der Federprüfmaschine das Nötige gesagt worden.

Der Gleichstrom-Drehstrom-Satz für 2000 Volt Gleichstrom (s. Taf. 5, Abb. 2) besteht aus einem Drehstrom-Asynchronmotor, einem Gleichstrom-Generator und einer Erregermaschine. Die von dem Generator erzeugte Hochspannung dient zum Prüfen von Heizkörpern der elektrischen Wagenheizung. Es sind zwei Entnahmeklemmen vorhanden:

- a) In der Hochspannungsprüfzelle, um die Heizkörper für sich zu prüfen und zu untersuchen.
- b) Eine Steckdose für Anschluß an einen Wagen, um die Gesamtheizanlage in Wagen selbst zu prüfen.

Bei der Isolationsprüfung der elektrischen Heizung für 1000 Volt wird die gesamte Heizanlage mit 2000 Volt 5 Minuten lang und bei einer Heizung von 1500 Volt mit 4000 Volt ebenfalls 5 Minuten lang unter Strom gesetzt.

Bei einer Heizprüfung nach den Vorschriften des VDE werden zunächst alle Abteile abgeschaltet. Die Stromstärke der nicht abstellbaren Heizkörper (Gang, Abort, Dienstabteil) werden gemessen. Dann wird je ein Abteil eingeschaltet und der aufgenommene Strom gemessen; die Stromstärken werden abgelesen. Die Heizspannung wird auf ihrer Sollspannung gehalten. Diese Prüfungen werden bei 1000 Volt Wechselstrom oder 1500 Volt Gleichstrom mindestens 1 Stunde lang durchgeführt.

2. Der feste und fahrbare Lichtmaschinenprüfstand mit Windkanal.

Neue Lichtmaschinenbauarten werden auf ihre Brauchbarkeit geprüft. Zu diesem Zweck werden sämtliche Vorgänge auf dem festen Prüfstand genau beobachtet. Der Lichtmaschinenprüfstand I ist ein aus Profileisen zusammengesetztes Gestell, das die für die Prüfung benötigten Maschinen und Einrichtungen trägt (s. Abb. 26). Die Lichtmaschinenprüfung erstreckt sich hauptsächlich auf die elektrische Ausrüstung.

Durch einen fremderregten regelbaren Gleichstrommotor wird eine Lichtmaschine mittels Riemenübertragung angetrieben. Als Belastung für die Lichtmaschine kann über einen Pintsch-Spannungsregler eine Akkumulatorenbatterie oder ein Glühlampenwiderstand geschaltet werden. Der Antriebsmotor ist umschaltbar. Die abgegebene Spannung, die Stromstärke und die Umdrehungszahl der zu prüfenden Lichtmaschine werden festgestellt. Um sich dem Betriebszustand angleichen zu können, ist ein besonderer Schaltmotor mit einem Kontaktwerk eingebaut. Damit ist es möglich, die

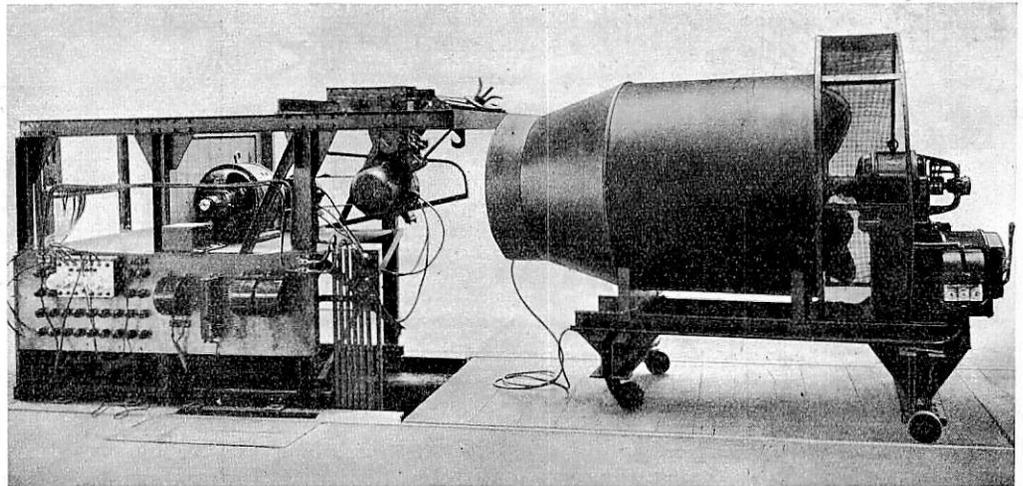


Abb. 26. Lichtmaschinenprüfstand I mit Windkanal.

gesamte Anlage für bestimmte Zeitabschnitte selbsttätig ein- und auszuschalten.

Die beim Fahren auftretende Kühlung durch Fahrwind wird mittels eines Windkanals erzeugt. Ein Ventilator wird durch einen regelbaren Drehstrommotor angetrieben. Er erzeugt eine Windgeschwindigkeit bis 15 m/sec. Im allgemeinen werden die Lichtmaschinen bei Dauerversuchen bei der im Betriebe im Mittel auftretenden Luftströmung, der eine Windgeschwindigkeit von 10 m/sec entspricht, geprüft.

Der Prüfstand II ist als fahrbares Gestell auf Schienen in einer Grube untergebracht. Er kann unter dem Wagen an der Stelle aufgestellt werden, an der sich die zu untersuchende Lichtmaschine befindet. Dieser Prüfstand dient im Gegensatz zu dem Prüfstand I dazu, die ganze betriebsfertige Beleuchtungsanlage zu prüfen. Der Motor des Prüfstands treibt mit Keil- oder Flachriemen die zu prüfende Lichtmaschine an.

Die Schaltung ist ebenso eingerichtet, wie beim Prüfstand I. Schaltmotor und das Zeitkontaktwerk sind auch für diesen Prüfstand bestimmt. Während bei Prüfstand I die Meßgrößen, wie Strom, Spannung und Umdrehungszahl aufgezeichnet werden, sind bei dem Prüfstand II diese Werte nur an anzeigenden Instrumenten ablesbar. Die Schaltung der gesamten Lichtmaschinenprüfeinrichtung für die Prüfstände I und II ist in Abb. 1 der Tafel 5 dargestellt.

Auf dem Prüfstand I werden auch Dauerversuche mit verschiedenen Antriebsriemen (Keil- oder Flachriemen) und deren Verbindungsmitteln ausgeführt. Die Riemen werden mit einer bestimmten Vorspannung aufgelegt und einer Dauerbeanspruchung unterworfen.

Die Batterien (Blei- und Nickelkadmiumbatterien) der Beleuchtungsanlage werden im Standversuch auf ihre Kapazität, auf Stromlade- und Entladestärke, auf die abzugebende Spannung und auf Säurezusammensetzung geprüft.

3. Der Heizkupplungsprüfstand.

Zum Prüfen der Heizkupplungen dient ein Heizkupplungsprüfstand (s. Abb. 27). Die Kupplungen werden auf Dichtigkeit und Bewegungsvermögen untersucht. Sämtliche Bewegungen, die im Betriebe an den Wagen auftreten, werden durch zwei verstellbare Kurbeltriebe erreicht, die durch ein Zahnradvorgelege und eine Riemenübertragung von einem regelbaren Gleichstrommotor angetrieben werden.

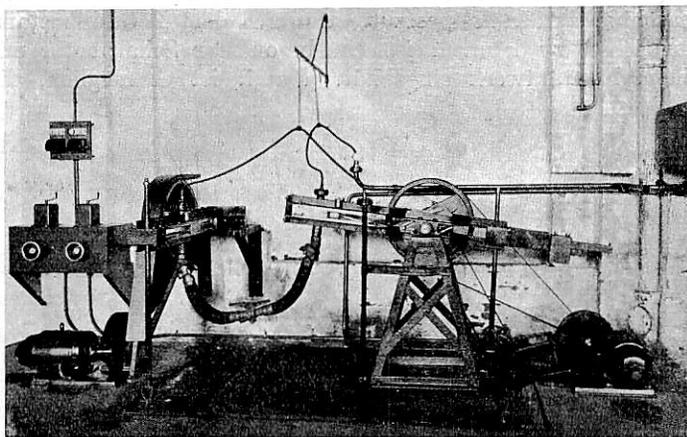


Abb. 27. Heizkupplungsprüfstand.

Der Hub des Kurbeltriebes ist veränderlich. Er kann in den Grenzen von 160—0—160 mm verstellt werden. Die Gradführung des Kreuzkopfes kann um die Achse des Antriebes mittels einer Spindel verstellt werden. Der Spindelhub beträgt nach jeder Seite von der Horizontalen etwa 250 mm. Von dem einen Kurbeltrieb ist durch zusätzliche Riemenübertragung eine Exzenterbewegung abgeleitet, die die Gradführung dieses Kurbeltriebes zwangsläufig in vertikaler Richtung bewegt. Die im Betriebe vorkommenden Bewegungen können auf dem Prüfstand nachgeahmt werden, und zwar:

- Das Pufferspiel durch den einen Kurbeltrieb.
- Das Federspiel durch die zusätzliche Exzenterbewegung.
- Die Seitenbewegungen durch den zweiten Kurbeltrieb.
- Die Schiefstellung der Wagen gegeneinander bei Kurvenfahrt durch Verstellen der Gradführung mittels Spindel.

Ein Anschlußstutzen ermöglicht einerseits den Anschluß der Heizkupplungen und andererseits den Anschluß für die Dampf- bzw. -abführung an jedem der Kreuzköpfe. Der Dampf wird durch einen lose aufgehängten Gummischlauch von etwa 1/2" lichte Weite zu- und abgeführt. In die Dampfzuführungsleitung ist ein Rückschlagventil eingebaut, um bei

etwaigem Platzen der Heizschläuche oder der Dampfzuführungsleitung Unfälle zu vermeiden. In der Dampfleitung sind zwei Regelventile eingebaut, mit denen der zugeführte Dampf im Höchsthalle auf 3 at und der abgeführte Dampf im Höchsthalle auf 1,5 at eingestellt werden kann. Die Zahl der Hübe läßt sich durch einfache Zählwerke ermitteln.

4. Untersuchen von Anstrichen und Rostschutzmitteln.

Anstriche an Fahrzeugen und Bauwerken sollen diesen nicht nur ein schönes Aussehen geben, sondern sie gleichzeitig gegen Einwirkungen der Witterung schützen. Durch Wahl der bestgeeigneten Anstrichstoffe und Rostschutzmittel sollen die Verluste, die durch Witterungseinflüsse entstehen,

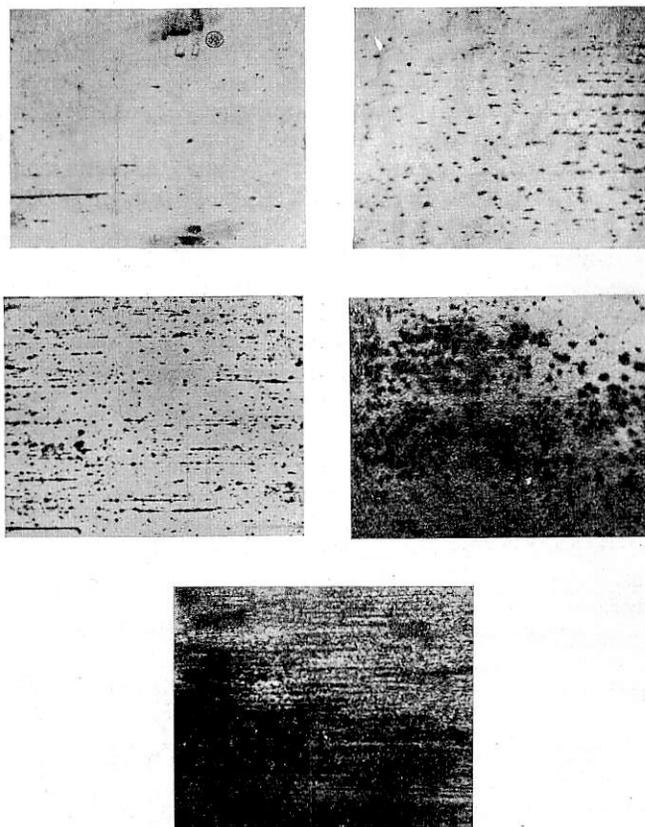


Abb. 28. Rosteinteilung.

soweit als möglich herabgemindert werden. Zu diesem Zweck werden die praktischen Versuche mit Anstrichstoffen und Rostschutzmitteln von der Wagenversuchsabteilung durchgeführt.

Die Beobachtungen der Versuchsanstriche werden über einen längeren Zeitraum, im allgemeinen 2 bis 3 Jahre, ausgedehnt. Die durch den Einfluß der Witterung entstehenden Änderungen der Anstriche können sich in Kreiden, Reißbildungen, Ablättern, Blasenbildungen oder Rosterscheinungen bemerkbar machen. Um einen Maßstab für die abzugebenden Urteile zu schaffen, ist die in Abb. 28 dargestellte Rosteinteilung ausgearbeitet worden. Sie besteht aus fünf Bildern von Anstrichen, die in steigendem Maße Rost aufweisen. Andere Verwitterungserscheinungen, wie Kreiden, Ablättern, Reißbildungen usw. müssen dann bei den Beobachtungen der Versuchsanstriche noch besonders angegeben werden.

Die praktischen Versuche mit Anstrichstoffen und anderen Rostschutzmitteln werden in der Wagenversuchsabteilung an Probetafeln oder an Fahrzeugen ausgeführt. In den meisten Fällen geht der praktischen Prüfung der von den Farbenfabriken angebotenen Anstrichstoffe eine chemische Prüfung in der Chemischen Versuchsabteilung beim Reichs-

bahnausbesserungswerk Brandenburg-West voraus. Erst wenn die chemische Prüfung ergeben hat, daß die Zusammensetzung der Anstrichstoffe den aufgestellten Lieferungsbedingungen entsprechen, werden praktische Versuche vorgenommen. Um unnötige Kosten zu vermeiden, werden diese Versuche meist an Probetafeln ausgeführt. Erst wenn sich die Brauchbarkeit der Anstrichstoffe hierbei zeigt, werden die Versuche an Fahrzeugen und Bauwerken fortgesetzt. Je nach dem Verwendungszweck der Anstrichstoffe für Fahrzeuge oder Bauwerke werden für die Versuchsanstriche gerade oder gebogene Probetafeln verwendet, deren Form sich hierfür am zweckmäßigsten erwiesen hat.

Sie werden sauber mit Sandstrahlgebläse entrostet und nach Vorschrift gestrichen oder gespritzt, wobei Streich- bzw. Spritzfähigkeit und Trockenzeiten der Farbe festgestellt werden. Nach völligem Durchtrocknen der Anstriche werden die Probetafeln zur weiteren Beobachtung auf besonders hierfür eingerichteten Prüfständen aufgehängt. Einen derartigen Prüfstand, der allen Einflüssen der Witterung ausgesetzt ist, zeigt Abb. 29. Hier wird die Wetterfestigkeit der Anstriche geprüft. Ein ähnlicher Prüfstand befindet sich am Ausgang des Fernbahntunnels des Schlesischen Bahnhofs in Berlin, wo die Prüfung der Anstriche auf Rauchgasfestigkeit erfolgt. Um außerdem den Einfluß des verschiedenen Klimas auf die Haltbarkeit der Anstriche festzustellen, sind gleichartige Prüfstände auch in Garmisch-Partenkirchen, Westerland-Sylt, Geisenheim (Rhein), Treuburg (Ostpr.), Essen und Kirchmöser aufgestellt. Bei der Beobachtung der Versuchsanstriche hat sich gezeigt, daß die einzelnen Anstriche sich häufig unter dem Einfluß des verschiedenen Klimas verschiedenartig verhalten, so daß es auf diese Weise möglich ist, für Brücken und Bauwerke, die nach dem Standort jeweils am besten geeigneten Anstrichstoffe herauszufinden. Die verschiedene Haltbarkeit der Farben ist aus Abb. 30 ersichtlich, welche gleichartige, mit verschiedenen Rostschutzanstrichen für Stahlbauwerke versehene Probetafeln zeigt, die vier Jahre hindurch auf dem Farbenprüfstand in Grunewald hängen. Während einige Anstriche kaum merkliche Mängel zeigen, sind andere unter genau gleichen Verhältnissen vollständig zerstört.

Zur Ersparung von Zeit und Kosten beim Anstrich der Fahrzeuge werden u. a. auch Anstrichversuche durchgeführt, die auf eine Vereinfachung des Arbeitsverfahrens hinielen, so z. B. Spritzanstriche an Stelle von Pinselanstrichen, „Naß auf Naß“-Anstrichverfahren, d. h. Aufbringen der einzelnen Anstriche in kurzen Zeitabständen, bevor die Anstriche trocken sind, ferner Schnellanstrichverfahren, d. h. Fortlassen einzelner Arbeitsvorgänge bei dem Anstrichaufbau usw. Auch wird durch Versuche festgestellt, ob nicht beim Anstrich-Aufbau die preisgünstigsten eingekauften Farben von verschiedenen Firmen aufeinander gestrichen werden können, ohne die Haltbarkeit ungünstig zu beeinflussen, anstatt wie bisher, die teuren Farben für den Gesamtaufbau nur von einem Lieferanten zu beziehen.

Außer der Haltbarkeit der Anstriche an Fahrzeugen ist ihre Reinigung im Betriebe von großer Bedeutung. Die bestgeeigneten Reinigungsmittel müssen bei stark verschmutzten Fahrzeugen die größtmögliche Wirksamkeit haben und dabei den Anstrich so wenig wie möglich angreifen. Deshalb werden mit verschiedenen Mitteln Reinigungsversuche

an im Freien hängenden Probetafeln und auch an Fahrzeugen selbst angestellt. Abb. 31 zeigt zwei derartige Probetafeln mit 1 Jahr alten Außenanstrichen für Berliner Stadtbahnwagen, aus denen die verschiedene Wirkung auf die Haltbarkeit der Anstriche von zwei verschiedenen Reinigungsmitteln ersichtlich ist. Um den Einfluß der Verschmutzung und die dadurch bedingte häufige Reinigung im Betriebe auf die Haltbarkeit der Anstriche zu erproben, werden Probetafeln mit Versuchsanstrichen, an die besonders hohe Ansprüche an Haltbarkeit und Aussehen gestellt werden, wie dies z. B. bei

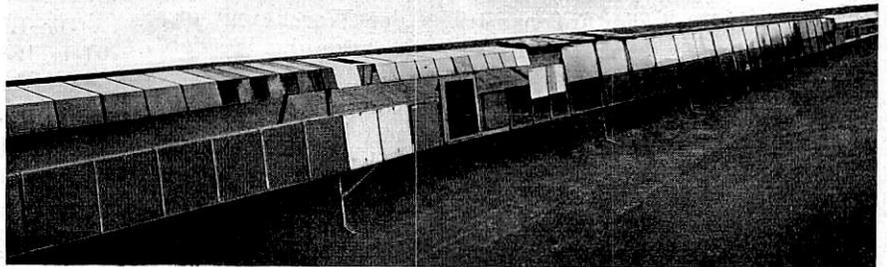


Abb. 29. Farbtafelprüfstand.

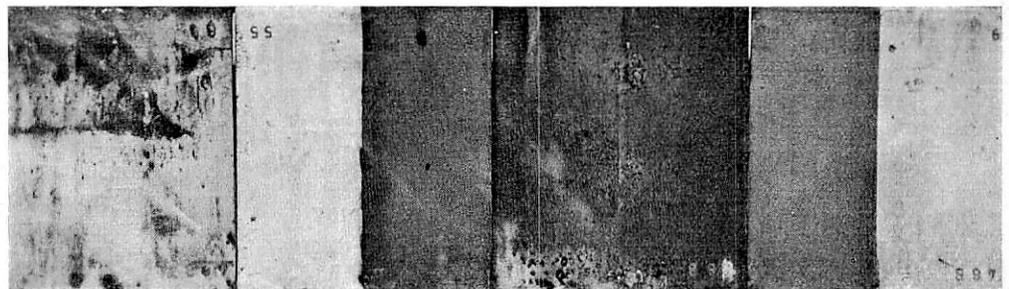


Abb. 30. Haltbarkeit der Farbenanstriche auf verschiedenen Probetafeln.

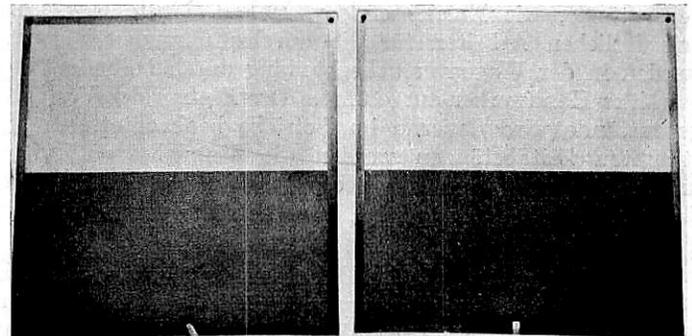


Abb. 31. Einfluß der Reinigungsverfahren auf die Haltbarkeit der Farben.

den Rheingoldwagen der Fall ist, zur Beobachtung an die von der Wagenversuchsabteilung zwei- bis dreimal wöchentlich gefahrenen Probezüge gehängt und nach jeder Fahrt mit verschiedenen Reinigungsmitteln behandelt, um auf diese Weise die geeignetsten Reinigungsmittel festzustellen.

Außerdem werden Versuche mit Rostschutzmitteln angestellt, um zu erproben, ob für gewisse Zwecke der Farbenanstrich durch einen anderen Rostschutz ersetzt werden darf. Unter anderem werden Versuche mit Metallüberzügen gemacht, die entweder auf galvanischem Wege (Blei, Cadmium, Chrom) oder als Metallpulver-Spritzverfahren mit Hilfe der Spritzpistolen erzielt worden sind, ferner mit einem Korkspritzverfahren, bei dem ein Gemisch von kleinsten Korkteilchen und Farbe mit Hilfe der Spritzpistolen aufgebracht worden ist und endlich mit dem Parkerisierverfahren, bei dem die Oberfläche des Eisens durch Einwirkung eines besonderen Salzes so verändert werden soll, daß sie nicht rostet.

Um den Fahrzeuganstrichen ein einheitliches Aussehen zu geben, sind in der Wagenversuchsabteilung Farbmuster tafeln hergestellt worden, nach denen die Fahrzeuge in den Reichsbahnwerkstätten und Wagenbauanstalten gestrichen werden.

An den Fahrzeugen selbst werden Versuche von der Wagenversuchsabteilung nur in mäßigem Umfang durchgeführt. Es werden nur diejenigen Anstriche erprobt, die im Betriebe an den Fahrzeugen starken Einwirkungen ausgesetzt sind und an die deshalb erhöhte Anforderungen bezüglich der Haltbarkeit gestellt werden müssen. Bei Personenwagen sind dies hauptsächlich die Außenanstriche der Wagen und die Anstriche der Sitzbänke 3. Klasse, die beide im Betrieb häufigen Waschungen mit schärferen Mitteln, infolge starker Verschmutzung, ausgesetzt sind. Bei Güterwagen sind es hauptsächlich die Anstriche der Untergestelle von offenen Güterwagen, die durch den aus dem Koks sich bildenden Schwefelwasserstoff nach verhältnismäßig kurzer Zeit zerstört werden. Es werden deshalb Versuche an Untergestellen derartiger Güterwagen mit Sonderanstrichstoffen für Koks-wagenuntergestelle und mit als Rostschutz dienenden verschiedenen Zwischenlagen in größerem Umfange durchgeführt. Diese Rostschutzzwischenlagen sind mit besonderem Klebstoff auf den oberen Flanschen der Träger so befestigt, daß sie etwa 50 mm nach beiden Seiten dachförmig über die Kanten hinausragen und auf diese Weise verhindern, daß das durch die Fugen der Fußbodenbretter laufende Kokswasser an die Träger kommt und den Anstrich zerstört.

5. Untersuchung von Gegenständen der Innenausstattung.

Die Prüfung der Innenausstattung der Personenwagen erstreckt sich hauptsächlich auf die Polsterung, auf Aborte und Wascheinrichtungen, auf Wandbekleidungen, Fenster und Türen, auf Übergangseinrichtungen und kleinere Ausrüstungsgegenstände, wie Emailleschilder, Haken, Griffe usw. Die erforderlichen Arbeiten für die durchzuführenden Versuche werden in der Wagenversuchsabteilung durch besonders ausgewählte Handwerker ausgeführt. Der Einbau der Versuchsgegenstände wird dauernd im Betriebe beobachtet. In bestimmten Zeitabständen werden die Versuchsausführungen untersucht. Die Dauer der Beobachtungen richtet sich nach der Art des Gegenstandes. Sie beträgt durchschnittlich 1 bis 2 Jahre.

Die Untersuchungen der Polsterung erstrecken sich z. B. auf Feststellung, ob Polsterwatte als Ersatz für Roßhaare verwendet werden kann, ob Waldwolle oder Moltonstoff zur Verminderung der Herstellungskosten und Unterhaltungskosten der Polstersitze wirtschaftlicher sind und ob mit Pflanzenfasern vermischte Roßhaare in Polstersitzen den starken Beanspruchungen im Eisenbahnbetriebe gewachsen sind. Außerdem werden Polsterfedern und Stahlbandfedern auf ihre Haltbarkeit und Lebensdauer untersucht.

Die Erprobung der Abort- und Wascheinrichtungen dehnt sich auf Prüfung der Probe-Leibstühle und -Waschbecken aus emailliertem Gußeisen, aus Feuerton und aus Hartsteingut auf Säurefestigkeit aus. Größere Versuche werden angestellt, um das Gebrauchswasser in den Wasserbehältern unter Beeinflussung durch die Heizung im Winter vor dem Einfrieren zu schützen.

Die Wandbekleidung, sowie der Fußbodenbelag werden auf Anklebefähigkeit ohne Blasenbildung und Haltbarkeit geprüft und geeignete Klebemittel werden ermittelt.

An Fenstern werden Versuche mit Fensterausgleichvorrichtungen und mit verschiedenen Scheibenbefestigungen ausgeführt. Zwischen Schiebe- und Drehtüren werden Vergleichsversuche angestellt.

Verschiedene Faltenbalgaufhängungen werden erprobt. Plattform-Abschlüsse werden auf Betriebs- und Unfallsicherheit untersucht.

Für die Versuche zur Ermittlung der Schlagfestigkeit an Emaille wird ein Schlagprüfapparat verwendet, bei dem eine Stahlkugel aus verschiedenen Höhen auf das Emailleschild fällt.

Die Härte der verschiedenen Baustoffe, die für die Innenausstattung verwendet werden, wird mit einem Härteprüfer nach dem Prinzip von Brinell festgestellt (z. B. Prüfung von Federstahl u. a.).

Die Lichtwirkung von Beleuchtungskörpern wird mittels Beleuchtungsmesser bzw. Photozellen geprüft. Die Brenndauer und die Abnahme der Lichtstärke der Lampen werden in Dauerversuchen festgestellt.

Die Haltbarkeit von Knebelschaltern wird auf einer Schaltermühle geprüft, bei der die Schalter durch eine mechanische, mit einem Zählwerk verbundene Vorrichtung dauernd betätigt werden. Durch Glühlampen wird das einwandfreie Schalten überwacht.

II. Untersuchung der Wagenausrüstung während der Fahrt.

Für viele Erscheinungen und Beanspruchungen lassen sich im Standversuch die wirklichen Verhältnisse nicht restlos nachahmen. In solchen Fällen werden sie durch eingehende Fahrversuche in besonderen Fahrten oder im Betriebe ersetzt oder ergänzt. Sind besondere Messungen notwendig, so können die Versuchseinrichtungen im Meßwagen selbst oder in einem besonderen, der Versuchsabteilung zur Verfügung stehenden normalen Personenwagen eingebaut werden. In letzterem Fall werden die Einrichtungen an den zu prüfenden Teilen mit Ferngebern ausgerüstet, so daß sämtliche zu beobachtende Vorgänge im Meßwagen an anzeigenden oder schreibenden Instrumenten sichtbar werden. Einrichtungen, bei denen nicht eine zahlenmäßige Erfassung, sondern nur die Bewährung im Betriebe in Frage kommt, werden, wenn eine Gefährdung der Sicherheit ausgeschlossen ist, an Regelwagen angebaut und im planmäßigen Betriebe erprobt.

1. Meßwagen II zur Prüfung der Beleuchtung, Heizung, Lüftung und zur Feststellung der Geräusche im Eisenbahnbetrieb.

Der Meßwagen II ist durch Umbau eines für seinen eigentlichen Zweck nicht mehr geeigneten Salonwagens von der Wagenversuchsabteilung hergerichtet (s. Abb. 2 auf Tafel 7). Er enthält einen großen Meßraum, in welchem die größeren Meßapparate untergebracht sind (s. Abb. 32), einen kleinen Meßraum, der zugleich als Beratungsraum dient (s. Abb. 33), drei Aufenthaltsräume, die nachts zu Schlafräumen umgewandelt werden können und einen Vorratsraum, in dem sämtliche Hilfsmittel aufbewahrt werden und in dem auf Versuchsfahrten auch kleinere Arbeiten ausgeführt werden können.

Mit dem Meßwagen II können folgende Einrichtungen geprüft werden:

1. Die elektrische Beleuchtung, insbesondere die Lichtmaschine, der Spannungsregler und die Batterie.
2. Die Heizung der Personenwagen:
 - a) Sämtliche Dampfheizungssysteme, insbesondere Dampfverbrauch, Regelbarkeit der Heizung, Druckabfälle in den Heizleitungen.
 - b) Warmwasserheizung, insbesondere Wärmeverbrauch, Regelbarkeit bzw. Abstellmöglichkeit dieser Heizung.
3. Die Entlüftungseinrichtungen, insbesondere Wirkungsgrad und Luftwechsellermittlung.
4. Wärmeflußmessungen.
5. Messungen zur Feststellung der Geräusche.

Außer diesen aufgeführten umfangreichen Untersuchungen können mit diesem Meßwagen sämtliche im Eisenbahnbetrieb vorkommenden Temperaturprüfungen (von -40° bis $+1000^{\circ}\text{C}$), Messungen an Kühlwagen und an Güterwagen (Messungen an Obstladungen zur Feststellung der Entlüftung und der geeignetsten Verladevorrichtung) ausgeführt werden.

Zur Durchführung der Versuche stehen im Meßwagen außer den weiter unten beschriebenen Meßeinrichtungen an Hilfsmitteln elektrische Widerstandsthermometer verschiedener Form, Fernsender zur Ausrüstung der Geberapparate, elektrische Mehrfach- und Linienschreiber, sowie tragbare Meßapparate und Meßstationen zur Verfügung. Sämtliche Apparate sind für eine Betriebsspannung von 24 Volt Gleichstrom gebaut.

Mit den Widerstandsthermometern, die bekanntlich auf der Änderung des Widerstandes eines Drahtes mit seiner Temperatur beruhen, werden Messungen an Wasser-, Dampf- und Soleleitungen in Kühlwagen angestellt. Thermometer anderer Form dienen zum Einbau in Seitenwände zur Feststellung des Temperaturgefälles in der Seitenwand bei Isolationsmessungen oder zur Feststellung des Wärmeflusses. Ein Thermometer ist zum Abtasten von Oberflächentemperaturen ausgebildet, ein weiteres ist infolge der geringen Abmessungen zum Einbau in Lichtmaschinen geeignet, zwecks Messung der Lichtmaschinentemperatur.

Bei den Fernsendern wird die Zeigerstellung des Gebergeräts auf das im Meßwagen befindliche Empfangsgerät übertragen, das ein Ables- oder Schreibgerät sein kann.

Der am Gebergerät angebaute Fernsender ist eine runde oder halbrunde Walze aus Isolierstoff, auf deren Umfang in gleichmäßig engem Zickzack ein Widerstandsdraht gespannt ist. Auf der Walze schleift eine Platin-Drahtbürste, die vom Gebergerät gesteuert wird. Durch die Schleifbürste wird der Widerstandsdraht in zwei veränderliche Abschnitte geteilt. Von den beiden Enden des Widerstandsdrahtes gehen zwei Leitungen zu dem im Meßwagen befindlichen Anzeige- oder Schreibgerät. Der Meßstrom fließt von der Stromquelle zur Schleifbürste und verteilt sich in die beiden Abschnitte der Fernsenderwalze. Das veränderliche Verhältnis der Teilströme wird vom Empfangsgerät erfaßt, das ein Kreuzspul-Ohmmeter enthält. Die Skala des Empfangsgeräts ist genau so eingeteilt, wie die des Gebergeräts. Vom Empfangsgerät fließt der Meßstrom durch eine dritte Leitung zur Stromquelle zurück. Abbildung 34 zeigt das Gebergerät eines Fernsenders.

Als Gebergeräte kommen Manometer, Barometer und Windgeschwindigkeitsanzeiger in Betracht. Auf den 270 Bogengrad Skalenumfang der Manometer sind 135 Fernsenderstäbe der Fernsenderwalze, die mit insgesamt 176 Stäben belegt ist, wirksam. Das Gebergerät für die Barometeranzeige besteht aus vier hintereinandergeschalteten Aneroiddosen, die ihre durch den Luftdruck bedingte Bewegung durch Hebelübersetzung auf einen Fernsender übertragen.

Die Luftgeschwindigkeit wird durch eine Luftschraube über eine Schnecke und einen Zentrifugalregler auf einen Fernsender übertragen. Die Luftschraube ist in einem Stromlinienkörper gelagert, der an der Außenwand des Meßwagens II befestigt ist.

Die elektrischen Mehrfach- und Linienschreiber. Sind bei der Aufzeichnung von elektrischen Meßgrößen die für ein Meßsystem zur Verfügung stehenden Einstellkräfte so gering, daß sie die Reibung der Schreibfeder auf dem Papierstreifen nicht überwinden können, was z. B. bei Drehmomenten über 10 gcm der Fall sein kann, so müssen Schreibverfahren angewendet werden, die sich bei der Aufzeichnung einer fremden Kraftquelle, eines Uhrwerks oder eines Motors bedienen. Die meisten für diesen Zweck entwickelten Schreibapparate benutzen einen Fallbügel, der den Meßwerkzeiger mit Unterbrechungen an den Schreibstreifen drückt. Während der Unterbrechungen kann sich der Zeiger ungehindert von Papierreibung einstellen. Die elektrischen Mehrfachschreiber dienen zur

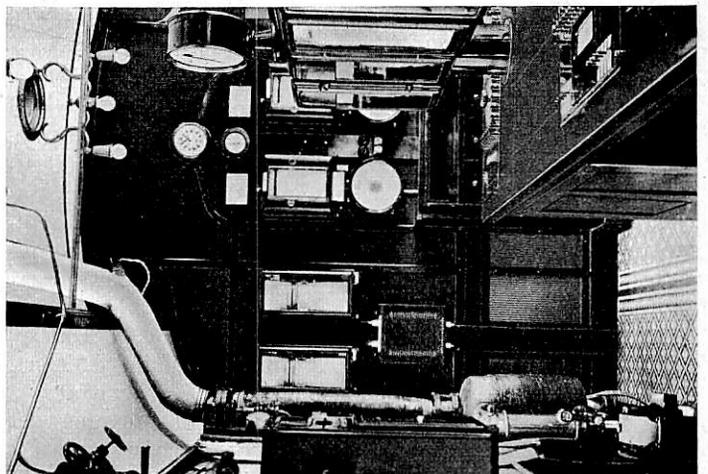
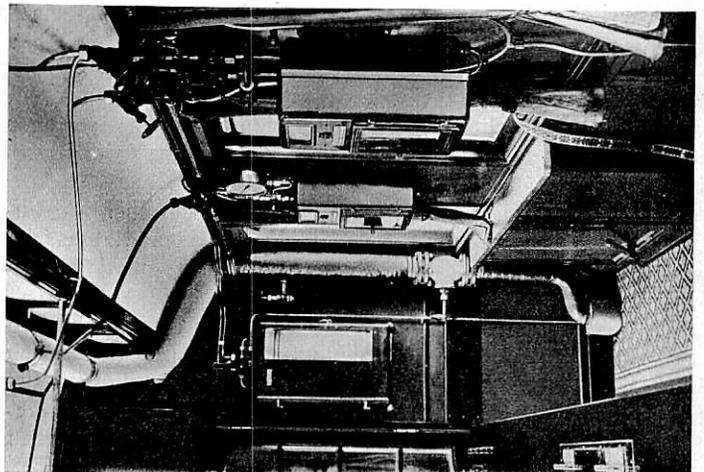
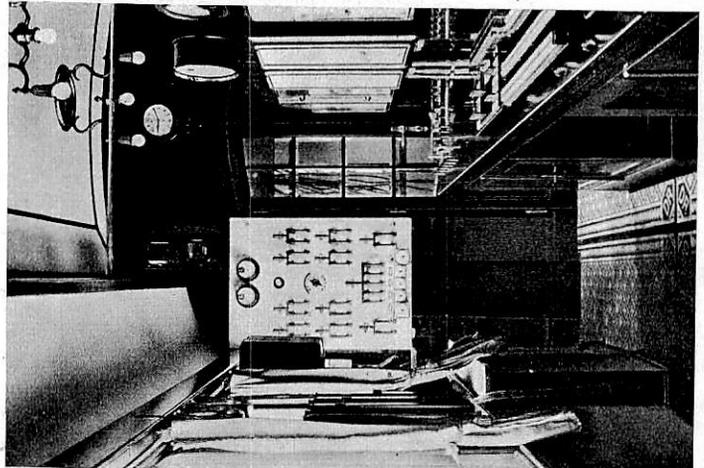
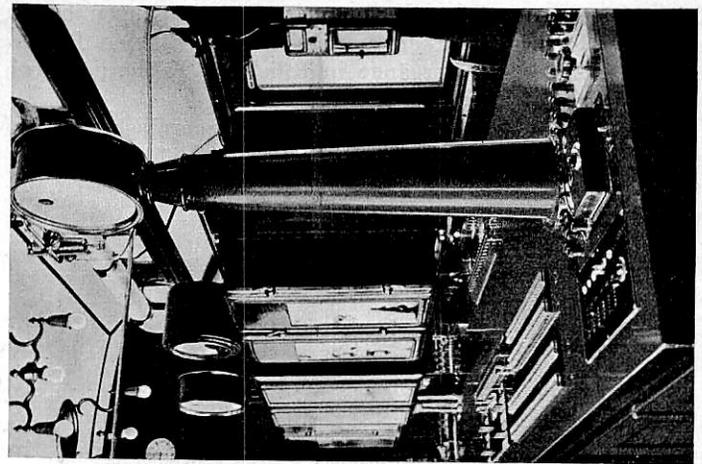


Abb. 32. Der große Meßraum.

gleichzeitigen Aufzeichnung von mehreren Vorgängen bis zu sechs verschiedenen Farben auf einem gemeinsamen Papierstreifen, wobei diese Vorgänge in beliebiger Entfernung von dem Mehrfachschreiber stattfinden können.

Die in den Meßwagen eingebauten Schreibgeräte sind größtenteils Fallbügelschreiber. Mit den im Meßwagen untergebrachten Meßapparaten können folgende Versuchsdaten aufgezeichnet werden:



2 Stromschreiber für Gleichstrom zur Messung des Lichtmaschinen- und Batteriestromes.

2 Spannungsschreiber für Gleichstrom zur Messung der Lichtmaschinen- und Batteriespannung.

1 Stromschreiber für Wechselstrom zur Messung des Stromes bei Wechselstrom-Lichtmaschinen.

1 Spannungsschreiber für Wechselstrom zur Messung der Spannung bei Wechselstrom-Lichtmaschinen.

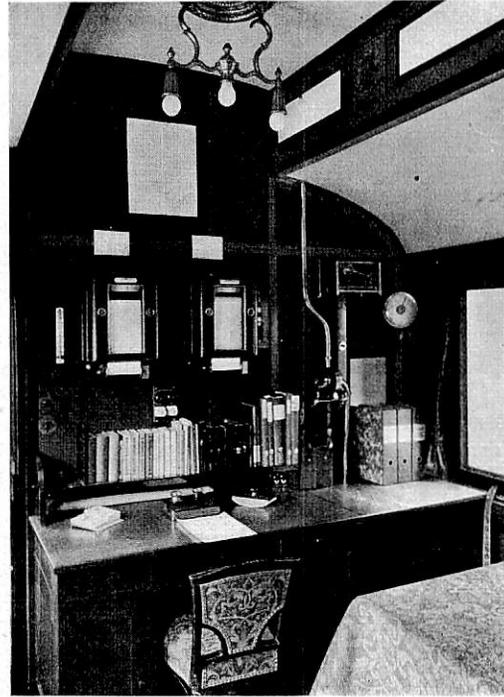


Abb. 33. Der kleine Meß- und Beratungsraum.

1 Sechsfachschreiber zur Aufzeichnung von Temperaturen von -40 bis $+60^{\circ}\text{C}$.

1 Sechsfachschreiber zur Aufzeichnung von geringen Spannungen in mV für thermoelektrische Ströme für Wärmeflußmessungen.

1 Zweifachschreiber zur Aufzeichnung der Feuchtigkeit der Außenluft und der Außentemperaturen.

1 Zweifachschreiber zur Aufzeichnung des CO_2 -Gehalts der Luft, zur Bestimmung der Dichtigkeit der Wände in Personenwagen und der Temperatur in den Abteilen.

2 Sechsfachschreiber zur Aufzeichnung von Temperaturen von -40 bis $+500^{\circ}\text{C}$.

1 Sechsfachschreiber zur Aufzeichnung von Wärmeflüssen und der dazugehörigen Temperaturen.

1 Sechsfachschreiber zur Aufzeichnung der Außentemperaturen,

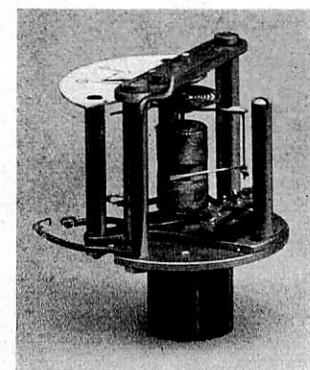


Abb. 34. Gebergerät eines Fernsenders.

zur Feststellung der Sonneneinstrahlung, der Dampftemperatur, des Dampfdruckes im Meßwagen, des Dampfdruckes am Schluß des letzten Wagens und des Barometerstandes.

Die Apparate sind von den Firmen Siemens & Halske, Berlin und Hartmann & Braun, Frankfurt (Main) geliefert. An Linienschreibern sind im Meßwagen II eingebaut:

4 Leistungsschreiber für Gleichstrom zur Messung der Lichtmaschinen-, Batterie-, Licht- und Erregerleistung.

1 Linienschreiber zur Aufzeichnung der Windgeschwindigkeit.

In einem Siemens-Fallbügelschreiber ist ein Drehspul-Meßwerk, in einem zweiten ein Kreuzpul-Meßwerk und in dem dritten ein Brückenkreuzspul-Meßwerk eingebaut. Die Verschiedenheit ergibt sich aus der Verschiedenheit der Meßgrößen, die aufzuzeichnen sind. Für die Dichtigkeitsprüfungen der Wände (CO_2 -Aufzeichnung) ist wegen der Benutzung der einfachen Brückenschaltung die Drehspule erforderlich. Für die Temperatureaufzeichnungen wurde die Kreuzspulschaltung gewählt. Für die Aufzeichnung der Feuchtigkeit ist das Brückenkreuzspul-Meßwerk erforderlich.

Das für die Einstellung des Meßwerkes erforderliche Gegen Drehmoment oder Richtmoment, das der Einstellkraft des Meßgerätes entgegenwirkt, wird bei Drehspulinstrumenten von einer ebenen Spiralfeder ausgeübt. Die Feder führt gleichzeitig dem Systemrähmchen den Meßstrom zu. Beim Kreuzspul- oder Brückenkreuzspul-Meßwerk werden die erforderlichen Richtkräfte von der elektromotorischen Gegenkraft der zweiten Spule ausgeübt, die der Einstellkraft der Hauptspule entgegen gerichtet ist. Ist das System, wie beim Brückenkreuzspul-Meßwerk, mit Spanndrähten aufgehängt, so kommt eine geringe mechanische Richtkraft hinzu. Diese mechanische Richtkraft wirkt dann, wenn nur die Hauptspule des Brückenkreuzspul-Meßwerkes zur Messung benutzt wird, allein als Richtkraft.

Mit diesem Brückenkreuzspul-Meßwerk, das in einen Zweikurvenschreiber eingebaut ist, wird neben der Feuchtigkeit auch die Temperatur der auf Feuchtigkeit untersuchten Luft aufgezeichnet. Der Meßbereich für die Temperatur beträgt -10 bis $+40^{\circ}\text{C}$. Es war notwendig, ihn verhältnismäßig groß zu machen, da die Untersuchungen an Wagen sowohl im Winter als auch im Sommer vorgenommen werden.

Die Drehspul- und Kreuzspul-Meßwerke sind mit Spitzen in Saphirsteinen gelagert. Die Spitzen sind in der üblichen Weise an die Meßsystemachsen aus dünnwandigem Aluminiumrohr angesetzt. Ihr Kegelwinkel beträgt etwa 60° . Wegen der großen Erschütterungen, denen die Meßgeräte im Meßwagen ausgesetzt werden, sind die Spitzen der Systemachsen mit einem Krümmungsradius von 0,05 mm abgerundet. Weniger abgerundete Spitzen würden zwar in neuem Zustand eine geringere Reibung ergeben, es besteht bei ihnen aber die Gefahr, daß einige heftige Stöße die Spitzen abplatteten, wodurch die Lagerreibung nachträglich um ein Vielfaches vergrößert werden könnte.

Wichtig für die Einstellung des Meßwerkes von Schreibgeräten in Eisenbahnwagen ist die Dämpfung. Von dem Meßsystem wird verlangt, daß es sich schnell einstellt und daß der Zeiger bei der Einstellung kleine und nur wenige Überschwingungen macht. Die Meßsysteme der Siemens-Fallbügelschreiber sind magnetisch gedämpft und zwar durch Abgleichen des inneren zum äußeren Widerstand des Meßstromkreises. Bei jeder Bewegung des Meßwerkszeigers werden Kraftlinien der das Meßwerk umschließenden Polschuhe geschnitten, wodurch im Rähmchen eine elektromotorische Kraft und im gesamten Stromkreis Ausgleichströme erzeugt werden.

Die Zeiger der Schreibgeräte sind mit Gegengewichten so ausgeglichen, daß sie bei seitlichen schnellen Bewegungen des Schreibgerätes, wie sie in Eisenbahnwagen oft und leicht vorkommen, ihre Lage nicht ändern.

Das Schaltwerk des Fallbügelschreibers hat eine fünffache Aufgabe: Es bestätigt den Fallbügel, schaltet den Meßstellenumschalter, besorgt den Papiertransport, verstellt beim Sechsfarbenschreiber das Farbband und treibt die Aufwickelrolle für das beschriebene Papier an. Es besteht in einem einzigen Elektromagneten, dessen Stromkreis durch eine gesondert angebrachte Kontaktuhr wahlweise alle 10 bis 60 Sekunden geschlossen wird. Die Verwendung einer außerhalb der Fallbügelschreibgeräte liegenden Schaltuhr hat den Vorteil, daß sie den notwendigen Synchronismus mehrerer Schreibgeräte, die an eine Kontaktuhr angeschlossen sind, gewährleistet. Die Bearbeitung der aufgenommenen Diagramme wird dadurch wesentlich erleichtert.

Der elektrische Teil des Mehrfachschreibers von Hartmann & Braun stimmt in der Wirkungsweise mit dem von Siemens & Halske überein.

Die Übertragung der Zeigerstellung auf den Papierstreifen geschieht bei den oben behandelten Instrumenten in der Weise, daß der Zeiger vor einer an einem Fallbügel befestigten Skala spielt. Dieser Fallbügel wird vom Uhrwerk in bestimmten, der Papiergeschwindigkeit entsprechenden Zeitabständen (alle 20 Sekunden), auf eines der sechs Farbbänder 1 bis 6 niedergedrückt und danach sofort wieder freigegeben. Dicht unter dem Farbband wird ein von einer Rolle ablaufender Papierstreifen über zwei dünne Führungswalzen hinweggeführt, so daß der Papierstreifen über die obere dieser Führungswalzen verhältnismäßig scharf gebogen wird. Durch das Niederdrücken des Zeigers entsteht somit auf dem Papier in der Farbe des gerade über der Papierkrümmung befindlichen Farbbandes ein Punkt, der den Kreuzungspunkt der Schneide des messerförmigen Zeigers und der oberen Mantellinie der oberen Führungsrolle entspricht. Durch diese Einrichtung wird erreicht, daß die Aufzeichnung in gradlinig-rechtwinkligen Koordinaten erfolgt, ohne daß irgendeine Geradföhrung zur Anwendung kommt.

Der Papierstreifen wird von einer mit Siftenkranz versehenen und einer vom Uhrwerk angetriebenen Walze mit gleichbleibender Geschwindigkeit nach unten gezogen.

Gleichzeitig mit der Umschaltung des Farbbandes erfolgt durch das Uhrwerk die Umschaltung der Meßspule auf die

nächste Meßstelle. Auf diese Weise entsprechen die Punkte gleicher Farbe immer ein und derselben Meßstelle und reihen sich zu einer entsprechenden farbigen Linie zusammen. Der stündliche Papiervorschub beträgt wahlweise 20, 30 oder 60 mm.

Die Punktaufzeichnung erfolgt in Zeitabständen, die dem Papiervorschub angepaßt sind. Bei einem Vorschub von 20 oder 30 mm/h werden die Punkte alle 30 Sekunden aufgezeichnet, so daß jede Meßstelle alle 6×30 Sekunden, d. h. alle 3 Minuten zur Aufzeichnung an die Reihe kommt. Bei einem Vorschub von 60 mm/h erfolgt die Punktaufzeichnung alle 20 Sekunden, so daß jede Meßstelle alle $6 \times 20 = 120$ Sekunden an die Reihe kommt.

Um die Einwirkung der Erschütterungen während der Fahrt auf die Genauigkeit der Versuchsdaten auszuschalten, ist in die Sechsfarbenschreiber von Hartmann & Braun eine Stromverstärkereinrichtung eingebaut worden. Im Uhrwerk ist hierzu ein kleiner Schalter eingebaut, welcher jeweilig 2 Sekunden vor der Aufzeichnung geschlossen und 1 Sekunde nach der Aufzeichnung wieder geöffnet wird. Dadurch wird ein Teil des vor der Batterie liegenden Widerstandes kurzgeschlossen und der im Meßwerk fließende Strom auf ein Mehrfaches der normalen Stromstärke verstärkt, so daß das Instrument kurzzeitig eine weit über das Normale hinausgehende Richtkraft erhält und auch bei starken Erschütterungen noch eine sichere Einstellung erzielt wird. Um keine Fehler durch Stromwärme im Widerstandsthermometer zu verursachen, darf der verstärkte Strom nur 3 Sekunden eingeschaltet werden.

Tragbare Meßapparate und Meßstationen. Zur Nachprüfung von Schaltungen und zur Feststellung von Versuchsdaten stehen im Meßwagen Strom-Spannungsmesser für Gleich- und Wechselstrom, Millivolt- und Milliampremesser, Schalenkreuze, Thermometer und Umdrehungszähler zur Verfügung. Außerdem kann für die umfangreichen Druck- und Temperaturmessungen je eine Meßstation benutzt werden. Die anzuschließenden Manometer sind durch eingebaute Vorschaltwiderstände auf die Ablesestation abgestimmt, sie können beliebig an die einzelnen Meßstellen angeschlossen werden. Acht doppelpolige Druckgriffumschalter schalten die 16 Manometerstellen doppelpolig auf das Kreuzspul-Meßwerk.

Die Temperaturablesstation ist für den Anschluß an 32 Widerstandsthermometer gebaut. Sie hat vier Meßbereiche und zwar -40 bis $+60^\circ\text{C}$, $+50$ bis $+150^\circ\text{C}$, $+120$ bis $+220^\circ\text{C}$ und $+200$ bis $+300^\circ\text{C}$. Mittels 16 doppelpoligen Druckgriffumschaltern werden die einzelnen Thermometerleitungen auf das Kreuzspul-Meßwerk geschaltet.

2. Prüfung der elektrischen Beleuchtung.

Für die Leistungsmessung an Lichtmaschinen, Beleuchtung und Batterie stehen im Meßwagen schreibende Spannungs-, Strom- und Leistungsmesser zur Verfügung. Diese Apparate sind über dem Meßtisch angeordnet (s. Abb. 32). An einer Schalttafel können die verschiedenen Meßinstrumente zu- oder abgeschaltet werden. Durch einen Fernschalter kann die Lichtmaschine mittels Lampenwiderstandes belastet werden. An Hand der Spannungs-, Strom- und Leistungsdiagramme kann die Leistung der Lichtmaschine, die Stromaufnahme der Batterie usw. ermittelt werden. Durch einen vor- und rückwärts laufenden Amperestundenzähler kann am Ende einer Versuchsfahrt, besonders bei ungünstigem Fahrplan (viele Halte und geringe Geschwindigkeiten), sofort gesehen werden, ob die Batterie ge- oder entladen worden ist.

Durch eine Widerstandsmeßbrücke wird die Erwärmung des Ankers und der Wicklungen der Lichtmaschine festgestellt. Es ist also notwendig, sowohl sehr kleine als auch größere Widerstände messen zu können. Die Meßbrücke kann für kleine Widerstände in der Thomson-Schaltung und für größere Widerstände in der Wheatstone-Schaltung verwendet werden

und umfaßt einen Meßbereich von etwa 0,000001 bis 1000 Ohm. Sie besteht im wesentlichen aus dem Meßdraht mit Schleifkontakt und Skala und zwei Vergleichswiderstandssätzen von je 10; 100; 100; 1000 und 10000 Ohm. Außerdem ist noch ein Vergleichswiderstand von 50 Ohm eingebaut, mit dessen Hilfe die Brücke zur Messung größerer Widerstände bis 1000 Ohm mit der Wheatstone-Schaltung benutzt werden kann. Die Meßeinrichtung ist in den Meßtisch des Meßwagens II eingebaut. Zur Verbindung der Meßbrücke mit der zu messenden Lichtmaschine und zur Abtastung derselben dient ein Kabelpaar mit Tastern. Jeder Taster besteht aus einem Rohr und einer davon isolierten Spitze, die in dem Rohr geführt ist und anfänglich etwas zurücksteht. Das Rohr ist federnd angebracht. Im zweiten Taster befindet sich außerdem noch ein Kontakt, der den Galvanometerkreis schließt. Beim Aufsetzen der Taster auf den Prüfgegenstand wird zunächst der Nebenschluß an den zu messenden Widerstand und an den Meßdraht gelegt. Erst beim weiteren Niederdrücken über die Spitzen wird der Hauptstrom und schließlich bei dem zweiten Taster der Galvanometerkreis geschlossen. Beim Abheben der Taster folgen sich die Vorgänge umgekehrt. Auf diese Weise kann dem Galvanometer nie ein Schaden zugefügt werden.

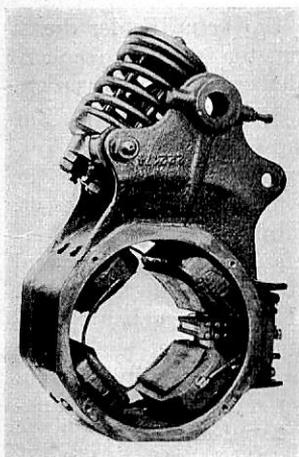


Abb. 35.

Widerstandsthermometer in einem Hilfspol eingebaut.

der notwendigen Lade- und Lichtwindungen, sowie auf den Lampen- bzw. Feldregler. Die Prüfung der Batterie dehnt sich auf Feststellung des Ladezustandes besonders bei ungünstigen Fahrplänen aus.

Um die Einwirkung des Antriebes auf die Beleuchtungseinrichtung zu ermitteln, können mit den Meßeinrichtungen des Meßwagens Schlupfmessungen ausgeführt werden. Ein Umdrehungszähler ist mit einer ungebremsten Achse des Meßwagens und ein Umdrehungszähler mit der Lichtmaschine fest gekuppelt. Unter Berücksichtigung des Übersetzungsverhältnisses des Antriebes kann durch Ablesung der Umdrehungszahlen jeweils der auftretende Schlupf der Antriebsmittel ermittelt werden.

3. Prüfung der Heizung.

Die Prüfung der Heizung erstreckt sich auf die Bestimmung des Dampfverbrauchs; unter Feststellung der Feuchtigkeit des Dampfes vor Eintritt in die Heizungsanlage und nach Austritt am Ende des Zuges auf die Erhaltung gleichbleibender Innentemperatur durch Temperaturregler, auf Prüfung der Regelbarkeit der Heizung und auf Veränderung der Innenluft der Abteile gegenüber der Außenluft durch die Heizung.

Endlich wird das Druckgefälle in den Heizleitungen bestimmt.

Die Dampfmengenmessung.

Die Messung des Dampfverbrauchs für die Personenwagen begegnet insofern Schwierigkeiten, als der zur Verfügung stehende Dampf feucht ist und die Schwingungen des Meßwagens während der Fahrt sich störend auf die Meßapparate auswirken.

Der Dampf wird vom Heizkesselwagen oder von der Lokomotive dem Meßwagen durch eine Hauptdampfleitung zugeführt. In einem Wasserabscheider wird der feuchte Dampf vorgetrocknet. Der Anfall des Kondensats kann durch ein Wasserstandsglas beobachtet und durch eine Wasseruhr gemessen werden. Wird nur der Dampfverbrauch des Zuges gemessen, so kann durch Umschalten eines Dreiwegehahnes das Kondensat ohne Messung ins Freie abfließen. Über dem Wasserabscheider ist in die Dampfzuführungsleitung eine Drosselscheibe eingebaut, die den Dampf auf Kosten des Druckes nachtrocknet. Auf diese Weise ist es erst möglich geworden, die Menge des nunmehr trocknen Dampfes einwandfrei zu messen.

Für die Dampfmengenmessung nach dem Prinzip der Meßdüsen mußten drei Meßdüsenscheiben mit doppelter Rundung, mit verschiedenen Durchgangsquerschnitten gewählt werden. Diese Anordnung war notwendig, um den Meßwagen bei Änderung der Fahrtrichtung nicht umsetzen zu müssen und um verschiedene Dampfmengen messen zu können. Auf ein Messen mit Venturirohr mußte verzichtet werden, da es nicht für umzukehrende Strömungsrichtung geeignet ist. Ein Staurand (Blende) wurde nicht gewählt, weil der endliche Druckverlust bei diesem Meßmittel höher ist als bei Meßscheiben mit radial gerundeten und polierten Einströmungsseiten.

Als Meßstrecke für die Dampfmenschreiber dient eine 4 m lange horizontale Rohrleitung von 80 mm lichter Weite, die an der Decke des Meßwagens verlegt ist und parallel zu einer Seitenwand des Meßwagens läuft (s. Abb. 32). In der Mitte dieser Meßstrecke ist eine Verflanschung mit etwa 40 mm Zwischenraum zur Aufnahme des Meßflansches angeordnet. Die beiden Dampfmenschreiber sind parallel durch zwei Kupferleitungen an den Meßflansch angeschlossen, so daß wahlweise beide Dampfmengenmesser oder jeweils nur einer angeschlossen werden kann. Da bei Dampfmessungen die Verbindungsleitungen nicht frei von Luft gehalten werden können, wird Wasser als Übertragungsmittel benutzt. Man ist aber besonders bei Fahrbetrieb gezwungen, eine Regelung der manometrischen Höhe beider Wassersäulen vorzusehen, damit keine Fälschung des Meßergebnisses durch die in den Meßleitungen auf- und abpendelnden Wassermengen eintreten kann. Je nach Größe der zu verdrängenden Quecksilbermenge in den Dampfmengenmessern wird diese Regelung durch Töpfe genügenden Querschnittes (s. Abb. 36a) und durch Aufrollung einer längeren Strecke Kupferrohrs in kleiner Ebene (Rohrbündel in Schlangenform) durchgeführt. Der Eingangsflansch jeder Wasserregulierung (Kupferrohrschlange) befindet sich am Meßdüsenabsperrventil. Da die Differenzdruckmeßapparate nur für eine Strömungsrichtung benutzt werden können, ist die Verbindungsleitung zur Ermöglichung der Umschaltung gegabelt, wie aus Abb. 36a zu ersehen.

Die Dampfmenschreiber wurden für eine Meßdruckdifferenz von 3 m WS (0,3 at) eingerichtet und mit austauschbaren Skalenteilen in mm WS und kg/h versehen.

Als Dampfmesser wird ein Apparat der Bauart Dr. Martin Böhme G. m. b. H. nach dem Differenzialdruckprinzip und ein Apparat von Hartmann & Braun nach dem Ringwagenprinzip verwendet. Der Böhme-Dampfmesser wird zu Messungen

während der Fahrt benutzt, die Ringwaage wird für Standmessungen und zur Eichung verwendet.

Die Ringwaage (s. Abb. 36b) besteht aus einem zur Hälfte mit Flüssigkeit gefüllten drehbar gelagerten Ring, der durch ein Gegengewicht in der Grundstellung gehalten wird. Eine im Innern des Ringes angebrachte Wand teilt den Raum über der Flüssigkeit in zwei Kammern. Werden in diese Kammern Drucke geleitet, dann verschiebt sich entsprechend ihrer Stärke die Flüssigkeit und der Ring dreht sich in eine neue Gleichgewichtslage. Ein vom Ring gesteuerter Zeiger gibt an einer Teilung die Größe der Drehung an, die von der Größe des mitgenommenen Gewichtes abhängt. Je leichter das Gewicht, desto größer ist die, einem bestimmten Druck entsprechende Drehung und desto kleiner der Meßbereich. Der Meßbereich läßt sich während des Betriebs durch Austauschen des Gegengewichtes in weiten Grenzen ändern. Die Druckleitungen von der Meßdüsenscheibe werden durch zwei bewegliche Metallrohre, die spiralförmig aufgewickelt sind, dem Waage-Ring zugeleitet. Die Übertragung vom Waage-Ring zum Zeiger- und Schreibwerk erfolgt durch eine Fühlrolle und Kurvenscheibe. Wegen der im Fahrbetrieb auftretenden Erschütterungen ist eine Messung mit der Ringwaage während der Fahrt nicht möglich.

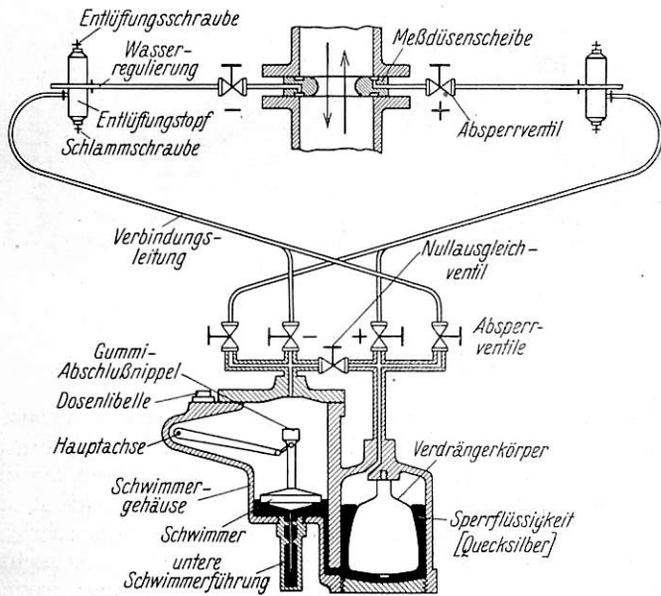


Abb. 36a. Dampfmenagemesser nach dem Differenzialdruckprinzip.

Der Dampfmeneschreiber für Fahrbetrieb ist ein Differenzialmanometer, dessen Aufbau, in Anlehnung an ein U-Rohr, die Abb. 36a veranschaulicht.

Zwei mit Quecksilber gefüllte kommunizierende Gefäße stehen mit den Druckentnahmestellen in Verbindung. Das eine der Gefäße ist als Quecksilbervorratsbehälter ausgebildet, das andere enthält einen Schwimmer, der sich in genau zylindrischer und rostsicher ausgekleideter Laufbahn bewegt. Die Druckentnahme vor der Meßstelle steht mit dem Quecksilbervorratsraum (Plusgefäß) und der Druckentnahme hinter der Meßstelle mit dem Schwimmerraum (Minusgefäß) in Verbindung. Mit zunehmender Dampfgeschwindigkeit sinkt das Quecksilber im Plusgefäß und steigt im Minusgefäß. Der Schwimmer wird mitgenommen und sein Hub nahezu reibungslos aus dem Druckraum nach außen übertragen. Man zeichnet außerhalb des Druckraumes den Schwimmerhub auf, der von der Strömungsgeschwindigkeit und dadurch von dem Dampfverbrauch abhängig ist.

Die zur Bestimmung der Dampfmenge benötigten Daten

wie Druck und Temperatur werden durch Linien und Sechsfachschreiber aufgezeichnet.

Die Feuchtigkeitsbestimmung des Dampfes.

Feuchtigkeit des Dampfes wird einmal kurz vor dem Durchlaufen der Meßdüsenscheibe und das andere Mal am Austritt aus der Hauptdampfleitung am letzten Wagen des zu untersuchenden Zuges mittels Wasserabscheider ermittelt. Ein Wasserabscheidekalorimeter ist fest in die Dampfmeßleitung eingebaut (s. Taf. 7, Abb. 2), das zweite ist tragbar. Das Wasserabscheidekalorimeter, ist ein eine äußere und eine innere Kammer bergendes Gefäß, von 200 mm Länge und 75 mm Querschnitt, das mit Manometer und Wasserstandsglas versehen und mittels eines Nippels an die Dampfleitung angeschlossen ist. Das Wasser wird in der inneren Kammer niedergeschlagen und muß von Zeit zu Zeit abgelassen werden.

Aus dem bei einem annähernd konstant bleibenden Druck durchfließenden trocknen Dampf und dem anfallenden Kondensat kann die Feuchtigkeit des Dampfes gemessen werden.

Temperaturregeleinrichtung zur Erhaltung gleicher Innentemperatur der Personenwagen.

Bei Versuchen zur Feststellung des Dampfverbrauches der Personenwagen, bei Wärmedurchflußmessungen durch die Wagendächer und Seitenwände, sowie durch den Fußboden und bei Raumdichtheitsprüfungen ist es unbedingt notwendig, die Innentemperatur der Wagen konstant zu halten. Zu diesem Zweck wird im Wageninnern ein Widerstandsthermometer angebracht. Von diesem führen Leitungen zu dem im Meßwagen befindlichen Regler (elektrisches Zeiger-Meßinstrument).

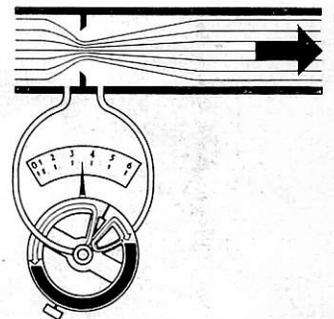


Abb. 36b. Ringwaage.

Da die Meßströme zu schwach sind, um das Dampfzulaßventil am Wagen zu verstellen, geschieht dies mit Hilfe einer besonderen Stromquelle. Ein in kurzen Zwischenräumen betätigter Fallbügel schließt je nach der Stellung des Zeigers und des von Hand zu verschiebenden Gegenkontaktpaares einen auf Öffnen oder Schließen des Dampfventils am Probewagen wirkenden Hilfsstromkreis.

Das Meßwerk ist ein Brückenkreuzspul-Meßwerk. Es umschließt mit der Richt- und Meßspule einen Eisenkern, der zwischen den Polschuhen eines starken Magneten von einem Zentriertkörper gehalten wird. Das bewegliche Organ des Meßwerks, das Spulenpaar des Kreuzspul-Meßwerks ist zur Vermeidung von Lagerreibung zwischen zwei Spannbändern aufgehängt.

Zum Meßwerk gehört der auf dem beweglichen Teil befestigte Zeiger. Von den bei elektrischen Meßgeräten verwendeten Ausführungsformen unterscheidet sich der Zeiger des Reglers dadurch, daß er am vorderen Ende einen Stift für die Kontaktbetätigung trägt. Der Zeiger kann sich mit einer nach unten gebogenen Zeigerfahne über einer runden Skala, die den Temperaturbereich angibt, frei bewegen.

Die geringste einstellbare Entfernung der beiden Grenzkontakte voneinander beträgt 0,8 bis 1 % des Skalenumfanges. Der Temperaturregler ist für einen Regelbereich von 0 bis +40° C geeicht.

Je nach den Regelverhältnissen ist eine verschiedene Einstellempfindlichkeit und damit eines kürzeres oder längeres Schaltintervall des Zeitschalters erforderlich. Durch eine Stell-schraube kann diese Zeit zwischen etwa 20 und 50 Sek. geändert werden.

Das durch den Temperaturregler beeinflusste Einstellorgan für den Dampftritt kann durch Magnete oder mittels eines Motors betätigt werden. Bei Anwendung von Magneten wird jeweils ein Magnet durch den Minimal- oder Maximalkontakt des Temperaturreglers betätigt (s. Abb. 37). Die Magnete arbeiten wie bei einem Kniehebelgelenk über eine Ratsche auf ein gewöhnliches Ventil. Endausschalter begrenzen den Hub des Regelventils. Bei Verwendung eines Steuermotors tragen die Feldmagnete eine zweifache Wicklung, womit sich die Drehrichtung durch einpoliges Umschalten ändern läßt.

Prüfung der Regelbarkeit der Heizung.

Die erreichten Höchsttemperaturen in den Personenwagen bei den verschiedenen Heizstufen werden mit Widerstandsthermometern festgestellt. In gleicher Weise werden die verschiedenen Abstellmöglichkeiten geprüft. Außerdem werden mit diesen Untersuchungen die Temperaturverteilungen im Stand und während der Fahrt in den Abteilen festgestellt. Aus der gemessenen Temperaturverteilung kann auf die vorteilhafteste Größe und Anordnung der Heizkörper geschlossen werden.

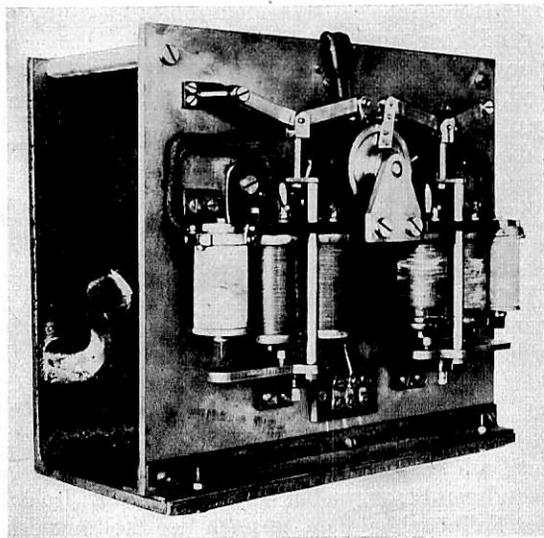


Abb. 37. Regelventil.

Veränderung der Innenluft der Abteile gegenüber der Außenluft durch Einfluß der Heizung.

Um die Änderungen des Feuchtigkeitsgehaltes der Luft durch die Dampfheizung in den Abteilen der Personenwagen feststellen zu können, muß die Feuchtigkeit der Außenluft einerseits und diejenige in den Abteilen andererseits gemessen werden.

Diese Messung kann durch Haarfeuchtigkeitsmesser, durch zwei Quecksilberthermometer, durch Thermolemente oder mittels Widerstandsthermometer geschehen.

Ein Haarfeuchtigkeitsmesser zeigt den Meßwert, ähnlich wie ein Quecksilberthermometer, nur örtlich an. Außerdem ändern die Haarhygrometer ihre Anzeige nach kurzer Zeit, so daß eine Neueichung notwendig wird. Es muß daher die Feuchtigkeitsmessung auf der psychrometrischen Methode, Vergleich zweier Thermometer, von denen eins mit einem feuchten Saugstrumpf umhüllt ist, aufgebaut werden. Von den Thermometern eignen sich wieder die Widerstandsthermometer wegen der leichteren Fernübertragung am besten.

Durch die psychrometrische Differenz ist eines der Widerstandsthermometer des Gebers kälter als das andere. Dadurch erzeugt der Geber eine elektrische Widerstandsänderung, die den Schwankungen der psychrometrischen Differenz ent-

spricht und auf das Anzeigergerät übertragen wird. Die Verwendung eines im Wasser eintauchenden Saugstrumpfes bedingt, daß das Meßverfahren im allgemeinen in Grenzen von 0 bis 70° Cels. brauchbar ist. Damit sich bei Temperaturen unter 0° Cels. kein Eis bildet, wird dem Befeuchtungswasser Formaldehyd zugesetzt. Die Luftgeschwindigkeit hat einen erheblichen Einfluß auf die psychrometrische Differenz. Bei vollständig ruhiger Luft bildet sich um die feuchte Meßstelle ein Mantel gesättigter Luft. Die Verdunstung geschieht sehr langsam und die psychrometrische Differenz ist sehr klein. Je bewegter die Luft ist, desto rascher verdunstet das Wasser am Saugstrumpf und desto größer ist die psychrometrische Differenz. Eine Grenze findet der Einfluß der Luftgeschwindigkeit bei 2,5 m/sec. Von dieser Geschwindigkeit an bleibt die psychrometrische Differenz konstant, gleichgültig, wie weit die Luftgeschwindigkeit noch wächst. Der Geber ist daher mit einem Ventilator ausgerüstet, der dauernd eine Luftgeschwindigkeit von mehr als 2,5 m/sec. erzeugt.

Der Feuchtigkeitsgehalt der Außenluft wird mit einem Siemens-Feuchtigkeitsmesser festgestellt. Während bei den bisher üblichen elektrischen Feuchtigkeitsmessern nach dem Prinzip des Aspirations-Psychrometer einerseits die Temperatur-

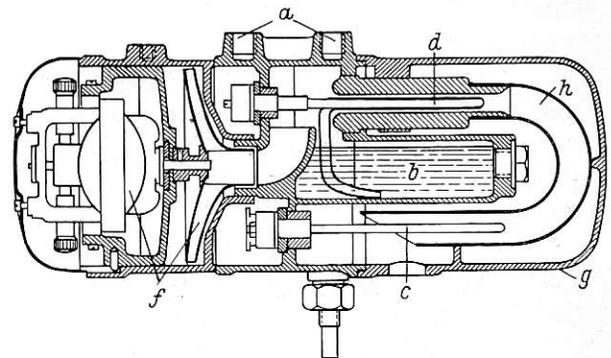


Abb. 38. Feuchtigkeitsmesser.

differenz und andererseits die Lufttemperatur ermittelt wurden, und an Hand von Tabellen oder Kurvenscharen die relative Feuchtigkeit bestimmt werden mußte, kann bei dem Siemens-Feuchtigkeitsmesser die relative Feuchtigkeit unmittelbar in gewissen Grenzen angezeigt bzw. aufgeschrieben werden. Diese unmittelbare Anzeige der relativen Feuchtigkeit wird durch eine Kompensationseinrichtung erreicht. Sie wird durch ein drittes Thermometer erzielt, das neben dem trocknen Thermometer in die Ansaugleitung eingebaut ist.

Der Feuchtigkeitsmesser ist in Abb. 38 im Schnitt dargestellt. An dem Mittelstück a, mit dem Wasserbehälter b, den zwei trocknen Thermometern c und dem feuchten Thermometer d ist auf der einen Seite der Motor mit dem Ventilator f angeschlossen, während auf der Seite, auf der die Thermometer sitzen, die Klappe g über das Mittelstück geschoben wird, so daß die Thermometer zentrisch in dem Luftzuführungsrohr h der Klappe g zu liegen kommen. Das Thermometer d wird mit einem leicht auswechselbaren Baumwollstrumpf überzogen, der vom Wasserbehälter b aus feucht erhalten wird. Als Meßinstrument dient ein Brückenkreuzspulinstrument, wodurch die Anzeige auch unabhängig von Spannungsschwankungen wird. Es verbindet die größere Genauigkeit der Brückenmessung mit der Unabhängigkeit von der Größe der Hilfsspannung.

Unter Beachtung der für den Aufbau von Aspirations-Psychrometern günstigsten Bedingungen hinsichtlich Belüftung, Befeuchtung, Strahlungsschutz usw. entspricht der Feuchtigkeitsmesser seines geschlossenen und robusten Aufbaues und seiner leichten Bedienbarkeit den Anforderungen, die der

Eisenbahnbetrieb an eine sichere und möglichst genaue Feuchtigkeitsmessung stellen muß.

Die Genauigkeit der Messung hängt von den vorkommenden Änderungen der Lufttemperatur ab. Bei einer Temperaturschwankung bis zu 30° Cels. beträgt der Fehler 2% relativer Feuchtigkeit, während bei größeren Temperaturänderungen der Fehler bis 3,5% relativer Feuchtigkeit betragen kann.

Die Feuchtigkeitsmesser für die Innenluft der Abteile in Personenwagen wird mittels eines Feuchtigkeitsmessers von Hartmann & Braun gemessen, der sich in der üblichen Weise zweier Widerstandsthermometer bedient.

Bestimmung des Druckgefälles in Heizleitungen.

Das Druckgefälle in der Hauptdampfleitung wird von Wagen zu Wagen mittels der oben erwähnten Druckstation ermittelt. Außerdem wird bei geschlossenen Zügen der Dampfdruck am Eingang des ersten Wagens und am Ende des letzten Wagens durch Mehrfachschreiber aufgezeichnet. Der Dampfdruck in den Heizleitungen hängt von dem Dampfverbrauch der einzelnen Wagen, von dem Heizleitungsquerschnitt und von der Art der Heizkupplungen ab. Zur Bestimmung des geringsten Leitungswiderstandes der Heizkupplungen werden Dampfdurchflußmessungen angestellt, d. h. es wird die Zeit bestimmt, die der Dampf zum Durchfluß vom ersten bis zum letzten Wagen braucht.

Die Warmwasserheizung wird ähnlich wie die Dampfheizung geprüft. Der Wärmeverbrauch wird durch Einspritzen von Dampf festgestellt. Die Menge des Dampfes kann durch die Dampfmengenmesser oder durch Messung des Kondensats mittels Wasseruhr ermittelt werden.

Die Prüfung der elektrischen Heizung erstreckt sich auf Messung der erreichten Abteiltemperaturen bei verschiedenen Heizstufen.

4. Prüfung der Entlüftungseinrichtungen.

Um einwandfreie Versuche zur Feststellung der Güte der Entlüftungsvorrichtungen und der Wärmeverluste der Heizung durch Undichtigkeiten in Eisenbahnwagen anstellen zu können, war es nötig, ein neues Meßverfahren auszuarbeiten. Da die gebräuchlichen Anemometer bei Windgeschwindigkeiten unter 2,5 m/sec sehr ungenau bzw. gar nicht anzeigen, mußte grundsätzlich ein anderes Meßsystem entwickelt werden.

Es wurde von dem Gedanken ausgegangen, ein Abteil mit Kohlensäure bis zu einem gewissen Prozentsatz anzu füllen und dann die Zeit festzustellen, in welcher das Gasgemisch Luft und Kohlensäure im Abteil wieder verschwindet. Aus der Zeit und dem Prozentgehalt der Luft an Kohlensäure läßt sich der Luftwechsel bzw. der Grad der Undichtigkeit ermitteln.

Die Prüfeinrichtung (s. Abb. 39) besteht aus einem für diesen Zweck umgebauten CO₂-Messer, einem Ventilator zum Ansaugen des Luftgemisches, einem weiteren Ventilator, um die schwere Kohlensäure mit der leichten Luft zu mischen, sowie einem Schreibgerät, das den CO₂-Gehalt im Abteil aufzeichnet. Die erforderliche Kohlensäure wird einer Kohlensäureflasche entnommen.

Unter den physikalischen Eigenschaften der Gase, die als Grundlage für eine technische Analysierung von Gasgemischen dienen können, hat die Wärmeleitfähigkeit eine immer größere Bedeutung erhalten. Die Apparate, die sich bei der Gasanalyse der Wärmeleitfähigkeit bedienen, beruhen auf einem Vergleich der Widerstände zweier elektrisch geheizter Drähte, die in engen zylindrischen Meßkammern eingespannt sind. Durch eine der Meßkammern strömt das zu analysierende Gas. In der zweiten Meßkammer befindet sich ein Vergleichsgas, z. B. Luft. Falls das Wärmeleitvermögen der beiden Gase nicht gleich groß ist, werden die beiden Meßdrähte verschieden stark abgekühlt, so daß sich ihr Wider-

stand ändert. Dadurch wird die Bestimmung von Gaskonzentrationen auf die überaus einfach durchzuführende und in der Genauigkeit wohl nicht zu übertreffende Widerstandsmessung in der Wheatstone-Brückenschaltung zurückgeführt.

Die Wärmeleitfähigkeit ist bei Kohlensäure ziemlich erheblich von der der Luft verschieden, so daß deutliche Anzeige bei den Messungen auf dieser Grundlage erhalten wird.

Da schwankender Wasserdampfgehalt der Luft die Messung fälschen würde, ist an die Vergleichskammer eine Trockenpatrone angebaut, welche die Vergleichsluft jedes Apparates gleichmäßig trocknet.

Die Meßkammern sind so gestaltet, daß bei der Messung der konvektive Wärmeübergang gegenüber dem Wärmedurchgang durch Wärmeleitung keine Rolle spielt. Es ergab sich die Notwendigkeit, das Meßgas mit verhältnismäßig geringer Strömungsgeschwindigkeit an den Meßdrähten vorbeiströmen zu lassen. Andererseits mußte die Anzeigeverzögerung klein gehalten werden. Beide Forderungen wurden

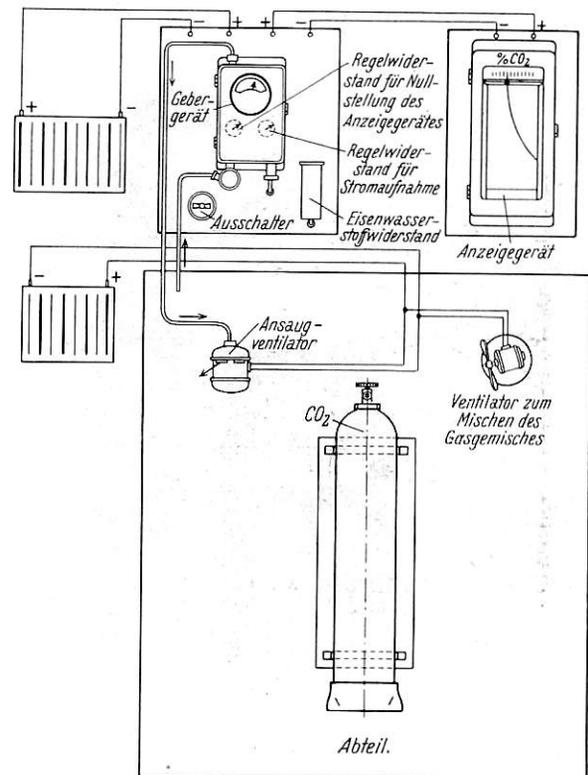


Abb. 39. Raumdichtigkeitsprüfeinrichtung.

dadurch erfüllt, daß man die Meßkammern zum Ansaugkanal für das Meßgas parallel schaltete, so daß die Strömungsgeschwindigkeit in der Gasentnahmeleitung groß bleiben konnte.

Der Luftwechsel kann aus dem aufgeschriebenen Kurvenzug ermittelt werden. Die erhaltene Kurve stellt eine e-Funktion dar, sie lautet in einfachster Form $(CO_2)_t = (CO_2)_a \cdot e^{-k \cdot t}$, darin bedeutet:

- (CO₂)_t der Kohlensäuregehalt nach einer Zeit t;
- (CO₂)_a der Kohlensäuregehalt am Anfang;
- k eine Konstante;
- t die Zeit.

Der Einfluß des Luftzuges auf die Seitenwände der Wagen wird mit Hilfe von Meßdüsen festgestellt (s. Abb. 40). Die Meßdüsen werden in verschiedenem Abstände von der Seitenwand des Meßwagens angebracht, um die Windgeschwindigkeitsabnahme gegen den fahrenden Zug zu messen. Diese Meßeinrichtungen werden auch zur Feststellung der Abkühlungsverluste bei Heizversuchen benutzt.

5. Die Wärmeflußmessung.

Zur Ermittlung des geeigneten Wärmeisolerstoffes bei Personen- und Kühlwagen (Dächer, Seitenwände und Fußboden) und der Wärmeverluste werden von der Wagenversuchsabteilung Wärmeflußmessungen ausgeführt. Die gebräuchlichste Messungsmethode ist, die Wärmemenge am Entstehungsort zu messen und daraus die Wärmeverluste bzw. den Wärmefluß zu bestimmen. Diese Methode ist oftmals nicht anzuwenden oder zumindest sehr ungenau. Vor allem sind damit Wärmeströmungen kaum zu erfassen.

Die Gleichung für die Wärmeströmung oder Wärmefluß lautet: $q = \frac{\lambda}{\delta} (t_1 - t_2)$ d. h. also, der Wärmefluß q ist abhängig von der Wärmeleitzahl, der Dicke der durchströmten Wand und der Temperaturdifferenz zwischen beiden Wandoberflächen. Auf dieser Grundlage ist folgende Meßmethode entwickelt worden. Man legt auf die zu untersuchende Wand eine Hilfswand von bekannter Dicke und Wärmeleitzahl. Dadurch wird die Wärmeflußmessung in eine Temperatur-

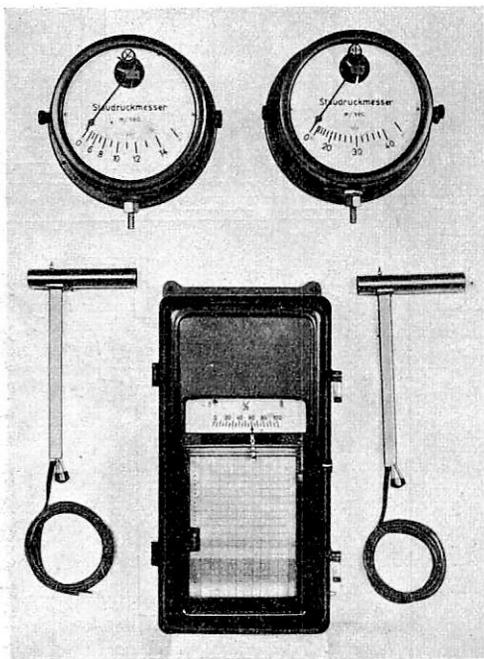


Abb. 40. Einrichtung zur Messung der Windgeschwindigkeit.

differenzmessung umgewandelt. Die Temperaturdifferenz kann mit Thermoelementen gemessen werden. Die Hilfswand oder auch „Wärmeflußmeßstreifen“ genannt, besteht aus einer 2 mm starken Gummischicht, in die 100 Eisenkonstantan und Nickelkonstantan-Thermoelemente mit 200 Lötstellen hintereinander geschaltet und einvulkanisiert sind, so daß sie sich nicht verschieben können. Bei Wärmedurchgang durch den Meßstreifen tritt zwischen den Endklemmen der Thermoelementensäule eine elektromotorische Kraft auf. Die Größe dieser elektromotorischen Kraft in mV kann gleichzeitig in Wärmefluß d. h. in Cal/m²/h geeicht werden. Die Wärmeflußmeßstreifen können sowohl für ebene als auch für gekrümmte Flächen bis zu einer Oberflächentemperatur von 100° C verwendet werden. Für gekrümmte Flächen ist noch eine besondere Korrektur mit einem Krümmungsfaktor nötig, da sonst etwas zu niedrige Werte ermittelt werden.

Die Wärmeflußmeßstreifen werden auf die zu untersuchende Fläche fest aufgelegt und verspannt (s. Abb. 41). Da durch diese Auflage der Wärmedurchgangswiderstand erhöht wird, muß dafür Sorge getragen werden, daß keine Wärmestauung auftritt. Zu jedem Meßstreifen gehören noch

besondere Schutzstreifen, die wie die Meßstreifen hergestellt sind, jedoch ohne einvulkanisierte Thermolemente. Diese Schutzstreifen werden um den Meßstreifen herumgelegt, so daß im Meßstreifen selbst keine Wärmestauung eintreten kann.

Für die Wärmeflußmessung ist die Luftgeschwindigkeit der die Meßstelle umgebenden Luft von wesentlicher Bedeutung. Je größer die Luftgeschwindigkeit, desto schneller wird die Wärme abgeführt, d. h. um so größer ist der Wärmedurchfluß. Um auch die Wärmefluß-Messungen bei schwankender Luftbewegung ausführen zu können, müssen die Meßstreifen mit Blech von 1 mm Stärke abgedeckt werden. Dadurch kann man kurzzeitige Schwankungen der Luftgeschwindigkeit abdämpfen. Auch die Änderung der Innen- und Außentemperatur hat Einfluß auf die Größe des Wärmeflusses. Sinkt z. B.

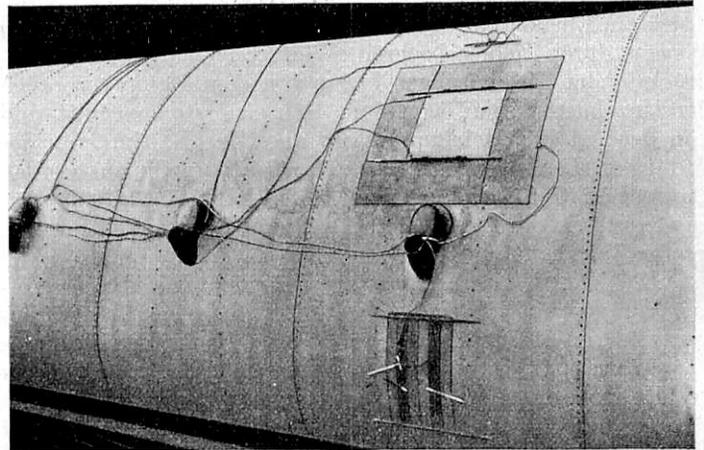


Abb. 41. Anordnung der Wärmeflußstreifen.

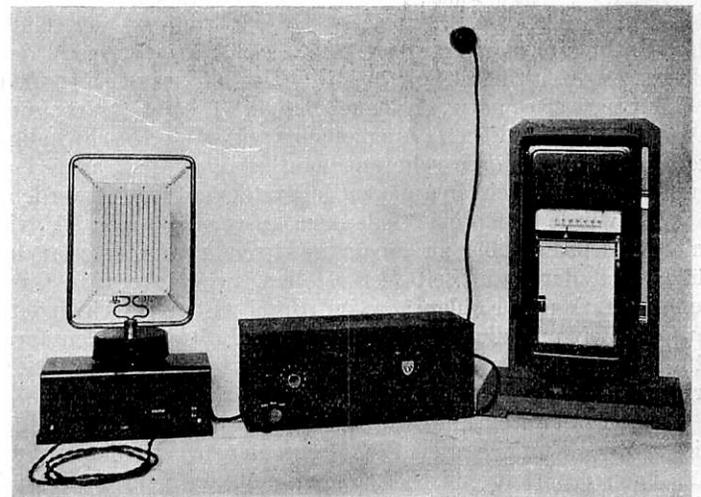


Abb. 42. Geräuschmeßeinrichtung.

die Außentemperatur, so wird außer durch den Wärmefluß noch Wärme abgegeben, die in der Wand und in der Meßplatte aufgespeichert ist. Die abgegebene und auch gemessene Wärmemenge kann in diesem Fall größer werden als die durch den Wärmefluß bedingte. Zur Messung des Wärmeflusses bei schnellfahrenden Fahrzeugen kann man die Wärmeflußmeßstreifen nur bedingt gebrauchen, da hierbei die Luftgeschwindigkeit in weiten Grenzen schwankt. In diesem Falle wird der Temperaturverlauf in der zu untersuchenden Wand verfolgt, um daraus Rückschlüsse auf den Wärmefluß zu ziehen. Aus der bekannten Wärmedurchgangszahl und der bei Fahrt entstehenden Temperaturdifferenz kann man den Wärmefluß errechnen. Taf. 5, Abb. 4 zeigt Kurven für den Temperatur-

verlauf in einer Außenwand. Umgekehrt kann auch der Wärmeflußmesser dazu benutzt werden, um Wärmedurchgangszahlen zu ermitteln. Man braucht dazu nur den Wärmefluß, die Wandstärken und die Oberflächentemperaturen zu messen (s. Taf. 5, Abb. 3).

Für die Messung besonders geringer Wärmeflüsse ist eine Wärmeflußmeßplatte vorhanden, die genau wie der Meßstreifen gebaut ist, aber statt 100, im ganzen 500 Thermoelemente hintereinander geschaltet enthält. Die Gummimeßschicht ist hierbei 4 mm stark. Für die Wärmeflußmesser ist ein Millivoltmeter und ein aufschreibendes Meßinstrument besonders geeicht, so daß es möglich ist, den Wärmefluß abzulesen und aufzuschreiben.

6. Messungen der Geräusche.

Die Geräuschmeßeinrichtung dient zur Feststellung der im Eisenbahnbetrieb insbesondere bei Fahrzeugen auftretenden Geräusche (s. Abb. 42).

Sie besteht aus einem Kohlemikrophon mit dazugehörigem Übertrager, einem Zeigergalvanometer mit eingebautem Gleichrichter und einer Eicheinrichtung.

Die vom Mikrophon aufgenommenen Schallschwingungen werden in Stromschwankungen umgewandelt, die über einen Eingangstransformator dem Röhrenverstärker zugeführt werden. Die verstärkten Stromschwankungen werden über einen Trockengleichrichter einem Drehspulinstrument zugeführt. Der Ausschlag des Meßinstrumentes ist ein Maß für die auf das Mikrophon fallende Schallenergie. Die Anordnung ist weitgehend frequenzunabhängig und in bezug auf die Schalldruckamplitude linear. Die zeitunabhängige Reproduzierung der Empfindlichkeit der Apparatur erfolgt durch die Eichvorrichtung. Die Eichvorrichtung besteht aus einem Meßtelefon, das mittels eines Bügels in einem bestimmten Abstand vom Mikrophon am Mikrophonkörper befestigt ist. Mittels eines Schraubenanschlusses kann das Telefon an den Ausgang des Verstärkers gelegt werden. Die Apparatur besitzt die richtige Empfindlichkeit, wenn die akustische Rückkopplung, die sich durch einen Pfeifton bemerkbar macht, gerade einsetzt. Das Potentiometer ist hierbei auf eine bestimmte Stellung einzustellen. Die Veränderung der Empfindlichkeit erfolgt durch Regulierung des Vorschaltwiderstandes im Mikrophonstromkreis.

Aluminium-Schnelltriebwagen.

Die von der „Pullman Car and Manufacturing Corporation“ und „American Car and Foundry Company“ für die Indiana Railroad gebauten elektrischen Leichtwagen aus Aluminium sind für eine Geschwindigkeit von 100 km/h gebaut, sie können sowohl einzeln als auch zu mehreren vereinigt Verwendung finden. Die Wagen haben einen stromlinienförmigen Kasten, Runddecken und ein Dach mit Ovalquerschnitt. Das Personenabteil hat 20 Polsterbänke, jede für zwei Personen. Der Wagen hat einen besonderen Gepäckraum an einem Ende. Von den im ganzen gelieferten 35 Wagen sind 14 mit Aussichtsraum am Ende eingerichtet. Die Innenausstattung entspricht in jeder Hinsicht verwöhnten Ansprüchen. Es ist elektrische Heizung vorgesehen mit selbsttätigen Regulierungen, um bei allen Witterungsverhältnissen die Temperatur gleich zu erhalten.

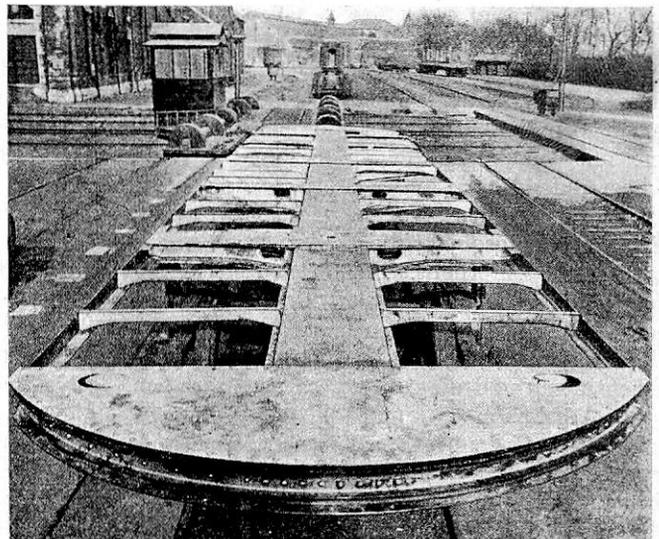
Bei Einzelverwendung ist Einmannbedienung vorgesehen.

Die Wagen haben eine Länge von 14 m zwischen den Puffern und wiegen etwa 25 t. Als Antrieb dienen vier 100 PS-Motoren für 600 Volt. Die Bedienung des Wagens bei den hohen Geschwindigkeiten wird durch die modernsten Kontroll-, Überwachungs- und Bremsrichtungen erleichtert. Jeder Wagen hat ein System elektromagnetischer Bremsen, deren magnetische Felder vier Spezialbremsklötze gegen die Räder pressen. Durch diese zusätzliche Kraft wird die Bremswirkung im Notfalle bedeutend erhöht.

Als bemerkenswerteste Neuerung erscheint bei diesen Wagen die aufs äußerste getriebene Verwendung von Aluminiumlegierungen. Aus Stahl sind eigentlich nur die Puffer. Sogar der Luftkompressor ist aus Aluminiumteilen zusammengesetzt. Entsprechend der Beanspruchung der verschiedenen Bauteile ist härteres oder weiches Metall verwendet. Der neue Wagenkasten ist nicht nur leichter, sondern auch haltbarer als die gewöhnlichen Ausführungen, welche ungefähr 45 t wiegen.

Der Mittelträger ist gepreßtes 8 mm starkes Aluminium. Die Langträger sind gewalzte Aluminiumwinkel, ebenso ist das gesamte Wagengerippe: Säulen, Quer- und Längsriegel und die Kopfstücke aus Aluminium. Das beigegebene Bild zeigt das Untergestell des

Wagens. Zwischenriegel aus Holz dienen der Befestigung von Ventilatoren und Lampen. Zur Verbindung des Gerippes wurden warm eingezogene Nieten verwendet. Auch die Innenausstattung und die Verschalung sind durchweg Aluminium. Für die Gepäckträger entlang den Seitenwänden, sind Rohre verwendet. In



Untergestell des Wagens.

gleicher Weise sind auch die an der Stirnwand angebrachten Bahnräumer zusammengesetzt, die noch durch Versteifungswinkel die nötige Festigkeit erhalten.

Allgemein ist bei diesem neuen Luxus-Schnell-Leichtwagen das Aluminium also in einer Weise zur Anwendung gekommen, wie es bisher noch nirgends ausgeführt worden ist. R—r.

Rly-Age, 12. September 1931, Nr. 11.

Die Deutsche Wagenbauvereinigung

hat das von ihr herausgegebene „Verzeichnis der Werkstoffe für Eisenbahnwagen“ ins Spanische und Französische übersetzen lassen.

Die Übersetzung soll der Aufklärung im Ausland dienen und in den hauptsächlich für den deutschen Export in Frage kommenden Ländern die Kenntnis der Bedingungen vermitteln, unter denen die D. W. V. ihre normalen Fahrzeuglieferungen zur Ausführung bringt. Durch Beschränkung auf das Wesentliche stellen die Hefte eine Kombination von Lieferbedingungen, wie sie für die Deutsche

Reichsbahn gelten, und von den Vorschriften des Deutschen Normenausschusses (DIN-Normen) dar. — Eine englische und portugiesische Ausgabe erscheinen in nächster Zeit.

Der Einzelpreis für die Übersetzung des Werkstoffverzeichnisses beträgt 1.50 *R.M.* Das Heft kann durch die Deutsche Wagenbau-Vereinigung, Berlin W 10, Viktoriastraße 25 oder durch den Beuth-Verlag G. m. b. H., Berlin S 14, Dresdener Straße 97, bezogen werden.

Die wirtschaftliche Fertigung der Reichsbahn-Personenwagen in den Wagenbauanstalten der Deutschen Wagenbau-Vereinigung.

Von Reichsbahnoberrat Promnitz.

Die Bestrebungen „auf Erfassung und Anwendung aller Mittel, die Technik und planmäßige Ordnung zur Hebung der Wirtschaftlichkeit bieten“, setzten nach dem Kriege auch in Deutschland intensiv ein und führten in der Waggonindustrie zu dem Reichsbahnvertrag zwischen der Deutschen Reichsbahn-Gesellschaft und den in der Deutschen Wagenbau-Vereinigung (D. W. V.) vereinigten Wagenbauanstalten.

Die Zeit der Not hatte erkennen lassen, daß es zweckmäßiger sei, unter den Erzeugern den Wirtschaftskampf durch Wirtschaftsverständigung zu ersetzen, sowie Erzeuger und Verbraucher zu vertrauensvoller Zusammenarbeit zu Nutzen beider Beteiligten zusammenzuschließen.

Daß dieser Vertrag wohl als erster derartiger Gemeinschaftsvertrag zustande kam, hat seinen Grund darin, daß bereits früher verschiedene in Verbänden oder Vereinen zusammengeschlossene Waggonfabriken mit der Eisenbahn Verträge abgeschlossen hatten und diese Vereinigungen nun nur den veränderten Verhältnissen entsprechend neu ausgestaltet zu werden brauchten.

Die technischen Aufgaben, die dieser Vertrag stellt, kann man in dreifacher Weise unterscheiden:

1. die Aufgaben, die die Reichsbahn hierbei zu lösen hatte;
2. diejenigen, die gemeinsam von Reichsbahn und D.W.V. zu erfüllen waren;
3. diejenigen, deren Lösung den Wagenbauanstalten allein zufiel.

Zunächst hatte sich zur Durchführung einer wirtschaftlichen Fertigung die Reichsbahn über die Typisierung der Wagen allein zu entscheiden. Sie mußte untersuchen, welche Wagentypen ihren Zwecken am meisten dienten, vor allem aber, mit wie wenig Typen sie auszukommen vermochte. Es liegt auf der Hand, daß — je mehr sich die Zahl der in Auftrag zu gebenden Wagengattungen verringert — sich bei gleichem Auftragsobjekt die Wagenstückzahl für die einzelnen Wagengattungen erhöht. Für die neuzeitliche und wirtschaftliche Reihenfertigung spielt aber gerade die große Stückzahl eine wesentliche Rolle, denn nur bei der mit ihr verbundenen Reihenfertigung erscheint es wirtschaftlich, dem Arbeiter Vorrichtungen und dergl. an die Hand zu geben, die die Fertigung beschleunigen und die Selbstkosten herabsetzen. Derartige Vorrichtungen sind: Bohrvorrichtungen, Einspannvorrichtungen an Werkzeugmaschinen, Nietvorrichtungen, Montagevorrichtungen, Gesenke für die Schmiede und dergl. mehr. Diese Vorrichtungen erfordern einen recht bedeutenden Aufwand; ihre Anteilskosten pro Stück verringern sich um so mehr, je höher die Stückzahl ist, die mit ihnen gefertigt wird. Um ein überschlägliches Beispiel zu geben, sei angenommen, daß die Bohrvorrichtungen und Gesenke für eine Personenwagengattung in den wirtschaftlichen Grenzen eines mittleren Werkes etwa 40 000 *R.M.* erfordern. Sind für eine Wagengattung in einem Werke nur 20 Wagen zu fertigen, würden die Kosten pro Wagen 2000 *R.M.* betragen, liegt dagegen eine Serie von 100 Wagen vor, nur 400 *R.M.* pro Wagen.

Lag die Typenzahl fest, so war eine weitere Unterlage für die Rationalisierung die Normung der Konstruktionselemente und die Aufstellung der Austauschbauzeichnungen, nach denen diese einzelnen Wagentypen in ihren Einzelteilen zu fertigen waren. Hier lagen die Aufgaben gemeinsam für Reichsbahn und Wagenbauanstalten. Sie wurden bezüglich der Normung im Allgemeinen Wagen-Normungs-Ausschuß „Awana“ gelöst, dessen Arbeiten teilweise auch auf den Lokomotiv-Normungs-Ausschuß „Elna“ übergriffen, soweit es sich um Konstruktionselemente handelte, die für beide Fahrzeugarten in Frage kamen.

Die Austauschbauzeichnungen wurden auf Grund der von einer Wagenbauanstalt im Einvernehmen mit dem Reichsbahn-Zentralamt für Maschinenbau aufgestellten Konstruktionszeichnungen im wesentlichen im Konstruktionsbüro der D.W.V. aufgestellt und nachher dem Reichsbahn-Zentralamt für Maschinenbau zur Durchsicht und Genehmigung vorgelegt.

Der Verwendung der Austauschbauzeichnungen für die Fertigung stellten sich zunächst insofern gewisse Schwierigkeiten entgegen, als die neuen Wagentypen konstruktiv meist sehr rasch entwickelt und auch schnell geliefert werden sollten. Da die Austauschbauzeichnungen alle Einzelheiten so genau darstellen müssen, daß unmittelbar danach gefertigt werden kann, die Wagenbauanstalten also keinerlei Sonderzeichnungen mehr aufzustellen haben, werden die 200 bis 300 Blatt Konstruktionszeichnungen in etwa 1200 bis 1500 Austauschbauzeichnungen zergliedert; diese für die neuen Wagentypen aufgestellten Konstruktionszeichnungen in Austauschbauzeichnungen mit Reihenmassen mit einheitlichen Bezugskanten und Bezugslöchern umzuarbeiten, erforderte daher erhebliche Zeit, so daß die Austauschbauzeichnungen früher gewöhnlich erst bei der zweiten Bestellung zur Verfügung standen.

Aus diesem Grunde wurden bei Herausgabe der Pläne für die neuen vierachsigen Personenwagen mit Genehmigung des Reichsbahn-Zentralamtes für Maschinenbau die Konstruktionszeichnungen für die Eisenerfertigung, wenigstens für die Haupt- und Querträger und Verbindungsteile der Untergestelle, im Büro der D. W. V. auf Bezugskanten, Bezugslöcher und Reihenvermaßung überarbeitet, so daß schon bei der ersten Bestellung der bedingte Austauschbau ermöglicht wurde. Diese Maßnahme erwies sich gerade bei den letzten Bestellungen, wie weiter unten noch erläutert, besonders zweckmäßig.

Es sind bis jetzt in Normung und Austauschbau je vier Typen der zwei- und vierachsigen Personenwagen festgelegt und zwar je ein Wagen III., II. und II./III. Klasse sowie je ein Packwagen. Die jetzt noch laufende Bearbeitung an D-Zugwagen bewegt sich in etwa der gleichen Richtung.

Es sei an dieser Stelle kurz die Entwicklung dargestellt, die eine neue Wagentype von den ersten Konstruktionszeichnungen an bis zum — in Reihenfertigung herzustellenden und in gleicher Weise in den Reichsbahn-Ausbesserungswerken auch wieder herstellbaren — Austauschbauwagen am zweckmäßigsten nehmen müßte. Mit Rücksicht auf die meist sehr dringende Lieferung solcher neuen Typen ist diese Entwicklung bisher nur vereinzelt oder in kleinem Umfange (z. B. bei den vierachsigen Personenwagen) möglich gewesen.

Die ersten Konstruktionszeichnungen sollten unter möglichst weitgehender Verwendung schon vorhandener Einzelteile und genormter Konstruktionselemente mit Reihenvermaßung im Sinne des Austauschbaues aufgestellt werden; hierzu bedarf es allerdings noch einer gründlichen Schulung der Konstrukteure in den Wagenbauanstalten. Nach diesen Zeichnungen werden einige Versuchswagen ausgeführt und erprobt; die sich dabei herausstellenden Mängel in den Konstruktionszeichnungen werden abgestellt. Ist alles in den Hauptzügen klar, werden die Austauschbauzeichnungen als die zeitlich ersten Unterlagen einer wirtschaftlichen Fertigung für Neubau und spätere Unterhaltung aufgestellt. Hierzu wird etwa, wenn die Konstruktionszeichnungen nach obigen Grundsätzen vorgearbeitet sind, für die Wagentype $\frac{1}{2}$ bis $\frac{3}{4}$ Jahr benötigt. Erst jetzt dürften die ersten größeren Bestellungen der neuen Wagentype herausgegeben werden.

Bei den neuen vierachsigen Personenzuggepäckwagen machten es besondere Umstände zum ersten Male in großem Umfange dem konstruierenden Werke möglich, versuchsweise hiernach zu verfahren.

Ausschlaggebend bleibt jedoch, daß die letzte sorgfältige Bearbeitung der Austauschbauzeichnungen in allen ihren Einzelheiten in einem zentralen Büro erfolgen muß: bei allen Wagengattungen muß derselbe Konstrukteur dieselben Einzelheiten durcharbeiten, damit, soweit wie irgend möglich, gleiche Konstruktionselemente verwendet werden.

Es ist für die Reichsbahn-Ausbesserungswerke, die Wagen verschiedener Bauart nebeneinander unterhalten, untragbar, bei Wiederherstellung von Einzelheiten oder nachträglichem Einbau von zeitgemäßen Verbesserungen in der Gleichmäßigkeit und Wirtschaftlichkeit ihrer Fertigung dadurch gestört zu werden, daß Konstrukteure verschiedener Werke, die nichts voneinander gewußt haben, bei Ausbildung der gleichen Einzelteile in Einzelheiten willkürlich abgewichen sind. Dieser Zustand hat sich leider früher sehr unangenehm bemerkbar gemacht und bei der Reichsbahn die unbedingte Forderung straffer vereinheitlichter Durchbildung aller Konstruktionseinzelheiten im Austauschbau ausgelöst.

Auch der formelle Aufbau der Austauschbauzeichnungen (Teilheftnummern, Schriftfeldkopf, Art der Beschriftung) muß einheitlich sein.

Waren nach Typisierung, Normung und Aufstellung der Austauschbauzeichnungen die Unterlagen für die wirtschaftliche Fertigung in der äußeren Form geschaffen, kam es bei Erteilung eines Auftrages weiter darauf an, den einzelnen Fertigungsstellen möglichst immer wiederkehrend bestimmte Wagentypen zuzuteilen. Dies ist in Verständigung zwischen Reichsbahn und Wagenbauanstalten dadurch erreicht, daß die nur in geringerer Anzahl anfallenden D-Zugwagen immer an denselben kleineren Kreis von Wagenbauanstalten vergeben werden. Bei den umfangreicheren Bestellungen der zwei- und vierachsigen Personenwagen wird möglichst darauf geachtet, daß die Wagen nach Klassenarten und bei Nachbestellungen immer wieder denselben Wagenbauanstalten zufallen. Auch zur Fertigung der in größerer Anzahl anfallenden Drehgestelle der vierachsigen Wagen werden immer die gleichen (vier) Werke zugezogen.

Nach Verteilung der Fahrzeuge ist es nunmehr Aufgabe der Wagenbauanstalten, gemeinsam sich der Aufgabe zu unterziehen, die Verbilligung der Fertigung in ihren Werken durchzuführen. Hierbei war im wesentlichen zu prüfen, wieweit es möglich war, gewisse Einzelteile nur in einzelnen Werken für die übrigen Werke gemeinsam herstellen zu lassen und örtlich nahegelegene Werke auch zu Fertigungsgemeinschaften zu vereinigen derart, daß Vorrichtungen und Gesenke entweder gemeinsam verwendet wurden oder ein Werk für das andere die Arbeiten ausführte.

Die Fertigung gewisser Einzelteile nur in einzelnen Werken hat sich im Laufe der Jahre dahin entwickelt, daß bestimmte Teile, als Lüftungskästen, Schiebetürrahmen, Abfallrohre, Armlehnen, Sitzfüße, Seitenwangen und dergl. bei allen Verträgen immer wieder von ein und demselben kleinen Kreis einzelner Werke hergestellt werden. Aus Gründen der Transportkosten und zur Sicherung gegen unvorhergesehene Zwischenfälle sind aber stets mehrere Werke beteiligt worden.

Die Untersuchung der Frage der Gemeinschaftsfertigung war gerade bei den beiden letzten Bestellungen der neuen vierachsigen Personenwagen insofern besonders dringend geworden, als die Werke mit kleinerer Quote bei diesen großen Wageneinheiten nur geringe Stückzahlen (20 bis 30) in Auftrag bekamen und, soweit sie benachbart lagen, sich zu einer Fertigungsgemeinschaft untereinander bezüglich Verwendung der Bohrvorrichtungen und Gesenke zusammenschließen

konnten. Beim Auftrag 1930 haben sich fünf, beim Auftrag 1931 vier solcher Fertigungsgemeinschaften zusammengefunden, von deren letzteren eine sogar vier Werke umfaßte.

Gleichzeitig neben den oben bezeichneten Arbeiten wird im Kreise der Wagenbauanstalten laufend geprüft, wieweit es möglich oder erforderlich ist, die Fertigungsstellen zu verringern, um durch Zusammenlegung der Fertigung auf wenige Werke die Stückzahl an den einzelnen Fertigungsstellen zu erhöhen.

Die letzte Entscheidung, wieweit im einzelnen die Fertigung gegliedert, wieweit sie durch Verwendung geeigneter Hilfsvorrichtungen verbilligt und ob die einzelnen Fertigungen als Fließ-, Taktarbeit oder dergl. durchgeführt werden konnten, liegt bei jedem Werk selbst. Hier ist eine gewaltige Vor- und Kleinarbeit in der Arbeitsvorbereitung und im Vorrichtungsbau zu leisten. An Hand der in Auftrag gegebenen Wagenzahlen und der sich daraus ergebenden Stückzahl für die einzelnen Werkstücke war jeweils zu errechnen, bis zu welchem Grade die einzelnen Fertigungen wirtschaftlich entwickelt werden konnten.

Es muß ganz besonders anerkannt werden, daß es durch weitere Einführung von Niet- und Montagevorrichtungen sowohl in den Einzelfertigungen von Türen, Sitzen, Polstern, Fensterrahmen nebst Hebevorrichtungen, Zwischenwänden, Gepäcknetzen, Heizleitungen und dergl. als auch im Zusammenbau der Seitenwände, Dächer, Untergestelle und schließlich der Wagenkästen gelungen ist, die Genauigkeit der Arbeit so zu steigern, daß beim äußeren und inneren Zusammenbau fast jede Nacharbeit mit Reibahlen, Feilen, Meißeln, Handschleifmaschinen, Hobeln, Stemmeisen und dergl. vermieden oder auf das unvermeidliche Mindestmaß beschränkt werden konnte. Besonders gelang es auch durch Einarbeitung der Leute und Verbesserung der Organisation, während der Fertigung die Zeiten des Vorrückens der einzelnen Fließgänge ganz erheblich zu verkürzen.

Über die Genauigkeit und Abweichungen beim Vermessen der Wagen auf den einzelnen Ständen der Fliesarbeit werden genaue Aufschreibungen geführt, desgleichen auch über Folgezeit während der Anstrich- und Lackierarbeiten, bei letzteren auch über Temperatur und Feuchtigkeitsgehalt der Luft.

Diese Aufschreibungen können bei späteren Beanstandungen guten Aufschluß geben. Andererseits wird sogar schon die Meinung vertreten, daß das Vermessen mit Aufschreibungen während der Montage nicht nötig sei, da eine Ungenauigkeit und Nachlässigkeit an irgend einer Stelle sich sofort durch Einbauschwierigkeiten der auf genaues Passen gearbeiteten Teile von selbst bemerkbar machen muß.

Die Entscheidung über obige Fragen der Fertigung läßt sich bekanntlich am besten treffen, wenn über einen längeren Zeitraum mit möglichst gleichmäßiger Beschäftigung gerechnet werden kann; je feiner solche Fertigungen unterteilt und gegliedert sind, um so empfindlicher werden sie durch unerwartete Arbeitsstockungen oder Arbeitsstreckungen gestört.

In dieser Hinsicht haben gerade die beiden letzten Jahre den Wagenbauanstalten gewisse Schwierigkeiten bereitet und bereiten sie noch. Die dauernd rückläufige Konjunktur hat sich auch hier nachteilig ausgewirkt.

Da in Zeiten schlechter Beschäftigung aus leicht begreiflichen Gründen die Werke von dem Wunsche beseelt sein müssen, möglichst umfangreich selbst zu fertigen, ermutigen solche Zeiten nicht zu Gemeinschaftsfertigung und dergl. Ein vollkommener Ausgleich im Beschäftigungsgrad wird sich beim besten Willen nie erreichen lassen. Gleichwohl ist die Gemeinschaftsarbeit im Umfange prozentual zum Gesamtobjekt nicht zurückgegangen, es ist sogar eine kleine Steigerung eingetreten, ein Beweis, wie sehr die Wagenbauanstalten trotz der Schwierig-

keiten bemüht sind, ihren Verpflichtungen aus dem Rationalisierungsvertrage nachzukommen.

Während der Fertigung entsteht hier und dort die Frage, ob sie durch Änderung und zweckmäßigere Wahl der Bauform verbilligt werden kann; in solchen Fällen tritt wieder der gemeinsame Gedankenaustausch zwischen Reichsbahn und Wagenbauanstalten ein, um zu entscheiden, ob die Verbilligung der Fertigung die Konstruktionsänderung rechtfertigt, zumal jede Änderung das Gleichmaß der Fertigung mehr oder weniger beeinträchtigt.

Parallel mit den Bemühungen um die Verbilligung der Fertigung selbst sind aber auch die Wagenbauanstalten bestrebt, durch gemeinsamen Einkauf von Rohstoffen als Stab-, Form- und Breitstahl, Feiblechen, Rohren, Heizungen, Reibungspuffern und dergl. die Erzeugung zu verbilligen.

Der Vertrag zwischen der Deutschen Reichsbahn-Gesellschaft und der Deutschen Wagenbau-Vereinigung wäre nicht vollständig, wenn sich nicht die Reichsbahn-Gesellschaft eine gewisse auch rechnungsmäßige Kontrolle darüber vorbehalten hätte, daß sich die Bemühungen um die wirtschaftliche Fertigung der Fahrzeuge auch im Preise auswirken.

Zu diesem Zwecke wird von jedem Werk über jede vertragliche Lieferung der D. W. V. eine Nachkalkulation eingereicht, die von einem Beauftragten der Reichsbahn örtlich genau nachgeprüft wird. Diese Ermittlungen haben auch tatsächlich eine nicht unerhebliche Preissenkung ergeben.

Die Nachkalkulationen dienen auch gleichzeitig dazu, die einzelnen Werke in dem Erfolg ihrer Arbeiten miteinander zu vergleichen. Dieser Vergleich kann dazu führen, daß ein Werk, das mit seinen Gestehungskosten mehr als 5% über dem Durchschnitt liegt, einem besonderen Prüfverfahren auf wirtschaftliche Fertigung unterzogen wird.

Die Verwendung von Aluminium und Leichtmetallen beim rollenden Material.

Die mit der bisherigen Verwendung von Leichtmetallen erzielten Ergebnisse empfehlen ein vertieftes Studium dieses Problems. In der unten angegebenen Quelle werden diese Ergebnisse zusammengefaßt und mit Hinweisen auf neuere Veröffentlichungen versehen.

Die Aluminiumerzeugung der Welt ist zwischen 1907 und 1927 von jährlich 24000 t auf 214000 t gestiegen. Man zählt heute an 65 Aluminiumguß- und 25 schmiedbare Aluminiumlegierungen. Die ersten Versuche mit Leichtmetall-Eisenbahnwagen machten 1923 in Nordamerika die Illinois Central R., die Pennsylvania R. und die Chicago North Western R. Diese besaßen schon 1925 mehrere Hundert Aluminiumwagen. Die Herstellung macht keine Schwierigkeiten, mit Ausnahme der Warmbearbeitung, die einige Vorsicht erfordert. Besonders empfohlen wird das Aluminium für Behälterwagen, da der teure und oft erneuerungsbedürftige Innenanstrich wegfallen kann und die Wärme-Einstrahlung geringer als bei Verwendung von Stahl ist. Die Instandhaltung der Aluminiumwagen ist billig, weil der Außenanstrich länger hält und weniger Anfrassungen auftreten. Das Gewicht eines 30 cbm-Behälterwagens ist um 3,8 t leichter als bei Ausführung in Stahl. Bemerkenswert ist ferner die Verwendung von Leichtmetallen für Kuppelstangen von Dampf- und elektrischen Lokomotiven, für die Umsteuerung und verschiedene Ausrüstungsteile.

Auf der Internationalen Ausstellung Lüttich 1930 wurde die Frage der Verwendung von Aluminium für das rollende Material eingehend erörtert. Nach Angabe von Hug erzielt man bei Aluminiumwagen eine Gewichtsersparnis von 1 bis 4 t oder 5 bis 15, ausnahmsweise 35%. Die Aluminium-Triebwagenzüge der Berliner Stadtbahn weisen eine Gewichtsersparnis von 34% auf gegenüber Stahl und von 23% gegenüber Siliziumstahl. Die Illinois Central R. verwendet an einem Wagen 3 t Leichtmetall und spart damit 4 bis 5,5 t Eigengewicht. Ein Versuchs-Straßenbahnwagen für Cleveland ist ganz aus Leichtmetall bis auf die äußeren Rahmenwangen und die Tragfedern. Die Gewichtsersparnis beträgt rund 33%, die Kraftersparnis beim Lauf in kWh je Wagen-km fast 25%.

Aus obigem ist zu ersehen, daß in dem Zusammenschluß der D. W. V. auch der Gedanke des Wettbewerbs voll zur Geltung kommt.

Genau so wie die Herstellung in den Wagenbauanstalten wird aber auch die Unterhaltung der Fahrzeuge bei der Reichsbahn selbst durch die im Reichsbahnvertrag festgelegten Bestrebungen verbilligt. Die Typisierung und der Austauschbau bieten die einzige Möglichkeit der billigen Serienanfertigung und Taktarbeit. Vor allen Dingen ist es aber gelungen, da im Austauschbau die Einzelteile auf Vorrat oder parallel mit dem Auf- und Abbau der Fahrzeuge bearbeitet werden können, die Fahrzeuge der Reichsbahn in erheblich kürzerer Zeit wieder herzustellen, damit der Bestand der Fahrzeuge in den Ausbesserungsstellen herabzusetzen und die Fahrzeuge nur kürzere Zeit ihrem Dienst im Betrieb zu entziehen.

Nachdem der Reichsbahnvertrag in fast fünfjähriger Durchführung für beide Beteiligten, Reichsbahn und Wagenbauanstalten, in gleicher Weise beachtliche Vorteile gezeigt hat, prüft nunmehr auch der Verband Deutscher Verkehrsverwaltungen die Frage eines ähnlichen Vertragsabschlusses.

Eine geeignete Unterlage hierfür ist insofern bereits geschaffen, als ein seit mehreren Jahren bestehender aus Straßenbahngesellschaften und Wagenbauanstalten zusammengesetzter Ausschuß zur Vereinheitlichung des Baues der Straßenbahnwagen in der Frage der Typisierung wertvolle Vorarbeit geleistet hat. So sind Einheitsentwürfe für zwei- und vierachsige Personenwagen in Eisen und Holz mit End- und Mitteleinstieg, im ganzen etwa sieben Typen, in ihren wesentlichen Teilen festgelegt. Die Hauptbestandteile des Untergestelles, Achsen, Achsbuchsen, sind bereits genormt, die Normung der Federn, Zug- und Stoßvorrichtungen, ist in Bearbeitung.

Die Drehgestellrahmen und Plattformträger aus Duralumin erhielten gegenüber Stahl einen um 20% größeren Querschnitt. Bei einem Aluminium-Triebwagen für Chicago konnte das Leergewicht von 410 kg auf 216 kg je Sitzplatz ermäßigt werden. Die Gewichtsverminderung wirkt sich besonders günstig auf steigungsreichen Bahnen aus. Bei Eisenbahn-Trieb- und Anhängerwagen läßt sich nach Hug folgende Gewichtsermäßigung in % des Gewichtes der Ausführung in Stahl erzielen.

	Triebwagen %	Anhänger %
Wagenkasten	40	35
Untergestelle	20	25
Bremse und Heizung	20	20
Motoren und Steuerung	6	—
Sonstige Teile	—	25
im ganzen	29,7 %	31 %

Die Gewichtseinsparungen bei Leichtmetallwagen schwanken bei zehn verschiedenen Bahnen zwischen 18 und 60% und die Kraftersparnis beim Lauf zwischen 14 und 43%; im Mittel waren sie 33 bzw. 28,3%. Jedes Kilogramm Gewichtsersparnis erfordert infolge des höheren Preises der Leichtmetalle Mehrkosten von 1,45 bis 2,25 *R.M.*, im Mittel 1,85 *R.M.* Je Kilogramm erspartes Gewicht sinkt der jährliche Kraftaufwand für die Fortbewegung um 0,48 bis 0,56 *R.M.* Mit Berücksichtigung der Ersparnis bei der Streckenunterhaltung durch Verwendung leichterer Fahrzeuge ist der Mehraufwand an Baukosten der Leichtmetallwagen in 3 bis 4 Jahren getilgt. Dazu kommt die Schonung der Laufgestelle und Achsen, welche das Gesamtergebnis noch verbessert. Zu berücksichtigen ist schließlich noch, daß der Altwert der Leichtmetalle 40 bis 60% des Neuwertes beträgt. Schn.

Riv. tecn. Ferrovie Ital. Juni 1931.