

Organ für die Fortschritte des Eisenbahnwesens

Technisches Fachblatt des Vereins Mitteleuropäischer Eisenbahnverwaltungen

Herausgegeben von Dr. Ing. Heinrich Uebelacker, Nürnberg, unter Mitwirkung von Dr. Ing. A. E. Bloss, Dresden

94. Jahrgang

1. März 1939

Heft 5

Die Laufsicherheit geschobener Züge nach Untersuchungen mit dem Schwingungsmeßwagen.

Von Prof. Dr. Ing. e. h. Nordmann, Abteilungspräsident, Berlin.

Hierzu Tafel 6 und 7.

Wenn hier von geschobenen Zügen die Rede ist, so ist damit natürlich nicht jede Schiebebewegung von Zügen, Zugteilen oder Einzelfahrzeugen gemeint. Diese Bewegungsart, soweit sie Verschiebezwecken dient, ist so alt, wie die Eisenbahn selbst, und auch die Bedienung von Anschlüssen mit schiebender Lokomotive, wenn man sie nicht ohnehin unter den Verschiebedienst rechnen will, dürfte auf viele Jahrzehnte zurückblicken. Ihre Laufsicherheit hat, ebenso wie das Hinausschieben von Arbeitszügen auf die Strecke, ein Problem wohl nie gebildet. Denn in all diesen Fällen wird langsam gefahren, weil der an der Spitze der geschobenen Fahrzeuggruppe befindliche Beamte oder Rangierer nicht zugleich die motorische Kraft beherrscht, sondern sie erst mittelbar durch dem Lokomotivpersonal gegebene Signale erreicht. Die Sicherheit, die hier angestrebt und durch Vorschriften gefordert wird — so schreibt die deutsche Eisenbahn-Bau- und Betriebsordnung (BO.) in § 66⁷ für Züge ohne führende Lokomotive eine Höchstgeschwindigkeit von 25 km/h vor — betrifft sozusagen die allgemeine Sicherheit, nicht die Laufsicherheit im engeren Sinne. Hierunter soll vielmehr die genügende Sicherheit gegen Aufklettern der (vorderen) Spurkränze, also die reine Entgleisungssicherheit verstanden sein. Die langjährige und überaus umfangreiche Erfahrung des doch nur ausnahmsweise mit Entgleisungen verknüpften Verschiebedienstes zeigt, daß die Begrenzung der Geschwindigkeit auf kleinere Werte zugleich die Forderung der Entgleisungssicherheit erfüllt.

Ehe wir die mit höherer Geschwindigkeit geschobenen Züge betrachten, für die das Problem der Entgleisungssicherheit nun doch zu erörtern ist oder war und zunächst der empirische Versuch über die obere Grenze entscheiden mußte, sind noch zwei „Zwischenglieder“ zu erwähnen, die übrigens in unsere Untersuchung mit einbezogen werden sollen, nämlich die mit dem Tender voran rückwärts fahrende Lokomotive und der auf Steilstrecken hinten nachgeschobene Zug mit vorderer Zuglokomotive. Im ersten Fall ist der Tender das geschobene Einzelfahrzeug; § 66⁸ der BO. gestattet Zügen, deren führende Lokomotive mit dem Tender voran fährt, nur 45 km/h, ebenso einzelnen mit dem Tender vorausfahrenden Lokomotiven.

Da die Beherrschung der motorischen Kraft durch das Lokomotivpersonal selbst vorhanden ist, sind offenbar für die Geschwindigkeitsbeschränkung die Rücksichtnahme auf den durch die Zugluft unangenehmeren Ausblick und die Befürchtung schlechteren Laufs des Tenders maßgebend gewesen. Umgekehrt ist für das Schieben von Zügen mit vorderer Zuglokomotive eine Geschwindigkeitsbeschränkung in § 67 der BO. nicht vorgesehen. Logisch ist das zweifellos an sich ein gewisser Widerspruch gegen § 66⁷. Denn bei kräftig mitarbeitender Schiebelokomotive ist die motorische Kraft nur zum Teil in der Hand des vorderen Lokomotivpersonals — bei zwei gleich starken und gleich angestregten Lokomotiven die Hälfte — der andere Teil wird erst durch Signal (oder Druckluftbremse) mit zeitlicher Nacheilung auf der Schiebelokomotive beeinflussbar. Und weiterhin wird nicht nur ein Fahrzeug geschoben, wie beim voranlaufenden Tender, sondern ein beträchtlicher Teil des Zuges, im Sonderfall die Hälfte. Man wird

annehmen müssen, daß hier die mäßige Geschwindigkeit, bei der die Betriebsart mit Schiebelokomotiven nur vorkommt, nämlich auf starken Steigungen, als naturgegebener Umstand von ihrer besonderen formalen Forderung hat absehen lassen. Aber gewisse Bedenken hätten immerhin, von der Geschwindigkeitsseite abgesehen, noch wegen einer Art Ausknickung des geschobenen Zugteils durch die Druckkraft bestehen können, Bedenken, die früher wohl nicht laut geworden sind, die man übrigens auch bei der Unerforschtheit des Kräftespiels kaum in eine einfache Bestimmung hätte fassen können.

Die Bedenken gegen geschobene Fahrzeuge in den Betriebsvorschriften, wenigstens bei größeren Geschwindigkeiten, wurden aber auch in Deutschland schließlich doch als lästig empfunden. Den Ausgangspunkt bildete die Betriebsweise elektrischer Triebwagen mit Anhängern. Man baut ja sämtliche Triebwagen, auch die mit Verbrennungsmotoren, mit Führerständen an beiden Enden und kommt so ohne Drehen auf den Wendestationen aus. Erforderte zunehmender Verkehr und gestattete ausreichende Motorleistung die Mitführung eines Anhängers, so gab es baulich die Möglichkeit, diesen Wagen durch Einführung der Steuerströme in ein Führerabteil des Anhängers zur Beherrschung der motorischen Kraft und also zur Zugführung brauchbar zu gestalten (Steuerwagen). Dieses Aggregat dürfte dann eigentlich in Analogie des geschobenen Steuerwagens zum geschobenen Tender in der einen Richtung nur mit kleineren Geschwindigkeiten fahren. Das wäre fahrplantechnisch untragbar gewesen; als Ausweg hätte es ohne einen weniger ängstlichen Standpunkt in der Schiebefrage dann eben doch nur das Umsetzen des eigentlichen Triebwagens auf den Wendebahnhöfen gegeben. Als der bessere Ausweg erschien es aber jedenfalls, wenn man, durch empirische Versuchsfahrten beruhigt, zu einem Verzicht auf die ziemlich tiefe Geschwindigkeitsgrenze gelangen konnte, und so geschah es denn auch, zuerst m. W. für die als vierachsige Drehgestellwagen ohnehin gut laufenden Steuerwagen der elektrifizierten Strecken um München. § 66 der BO. sieht seit 1928 die Geschwindigkeitsbefreiung von geschobenen Steuerwagen vor und weiterhin von ganzen Zügen, die aus Triebwagen und Steuerwagen in gleichmäßiger Verteilung bestehen.

Im Ausland war es, zeitlich sogar eher, die französische Nordbahn, die Vorortzüge in der gleichsam noch kühneren Form bildete, daß die Lokomotive in die Zugmitte gestellt war und vor und hinter sich eine kleinere Anzahl Vorortwagen führte, von denen also immer der eine Teil geschoben wurde. Die Zugbehandlung ohne jedes Umsetzen auf den Wendebahnhöfen ist auch hier der ausschlaggebende Gesichtspunkt gewesen. Diese Gestalt eines Teils der Vorortzüge der Nordbahn war jedoch nur eine Durchgangsform: sie führte zu den in der einen Richtung rein gezogenen, in der anderen rein geschobenen Vorortzügen, die mit zum Teil bis 90 km/h heraufgehenden Geschwindigkeiten außer auf der Nordbahn auch auf der französischen Staatsbahn und der Paris-Lyon-Mittelmeerbahn verkehren. Das Steuerabteil des letzten Wagens mit elektrischem Relais zum Regler der Dampflokomotive, mit Fernsprecher zum Heizer, mit Führerbremsventil, Geschwindigkeitsmesser und

Druckluftpfeife stellen hier den Dampflokotivführer für die Rückfahrt in Parallele zum Triebwagenführer, während der Heizer nach wie vor den Kessel bedient und zusätzlich die Steuerung einstellt. Diese Betriebsform hat den Doppelstockzügen der ehemaligen Lübeck-Büchener-Bahn zum Vorbild gedient, wo sogar als obere Geschwindigkeitsgrenze der allerdings kürzeren Züge 120 km/h genehmigt wurden. Das Zurückstellen der alten Bedenken gegen schnelles Schieben von Fahrzeugen oder Zügen geschah in diesen Fällen unter Stützung auf das Empfinden ruhigen Laufs, also in einer Gefühlsempirie ohne begleitende, allerdings zunächst noch nicht mögliche genauere Messungen. Daß sie richtig war, haben in strenger Form erst die Untersuchungen mit dem Oszillographenwagen der Reichsbahn erwiesen.

Der Oszillographen- oder Schwingungsmeßwagen*) verdankt seine Entstehung dem Wunsch, einige nach ihren Ursachen zunächst ungeklärte Entgleisungen von Schnellzügen, vornehmlich mit einer Lokomotivgattung und deren Tender, durch grundsätzliche Untersuchungen aufzuklären. Eine dazu eingesetzte Arbeitsgemeinschaft**) sah sich nach theoretischen Vorüberlegungen auf den Weg des Versuchs gedrängt: der vereinfachte Versuch über die Schwankungen der lotrechten Radrücke war nicht genügend aufschlußreich, und es blieb nichts anderes übrig, als das ganze Kräftespiel an den wirklichen Drehgestellachsen der Lokomotive und des Tenders zu durchforschen. Irgendwelche marktgängigen Apparate für die Messung der wagrechten und senkrechten schnellen Druckänderungen, für die Verschiebungen der Achslager und Drehgestellzapfen gegen ihre Mittellage und die Beschleunigungen der Achslagergehäuse gab es nicht, und so mußten diese Meßgeräte erst von der Arbeitsgemeinschaft unter Mitwirkung des Heinrich-Hertz-Instituts und vor allem des Lokomotiv-Versuchsamtes in Berlin-Grünwald entwickelt werden. In ihrem Endergebnis war schon eine wesentliche Übereinstimmung mit den Geräten des Oszillographenwagens in seiner heutigen Gestalt vorhanden: auch als Meßwagen in noch provisorischer Form diente damals bereits der vierachsige Stahl-Schnellzugpackwagen, dessen Umbau den endgültigen Schwingungsmeßwagen geliefert hat.

Die Kraftaufnehmer, als Geber, welche die Bedingung erfüllen mußten, auf außerordentlich kleine und also praktisch zeitlose Durchbiegungswege mit Kräften in der Größenordnung von t zu reagieren, waren bereits Kohle-druckmeßdosen mit vorgeschalteter Stahlmembran (Grünwald), während als Empfänger für die schnellen Kraftänderungen und Verschiebungen der praktisch masselose Oszillograph Verwendung fand. Seine Schleifen lagen in Wheatstonescher Brückenschaltung an der konstanten Spannung einer großen Batterie; das Neue war aber vor allem, daß durch die mögliche Eichung der Kohle-druckmeßdosen die Oszillogramme über die bloße qualitative Veranschaulichung heraus in die quantitative Feststellung durch Messung ihrer Amplituden hinein wuchsen. Gleich wichtig war die Synchronisierung aller gemessenen Vorgänge durch die gleichzeitige Wirksamkeit aller Oszillographenschleifen (heute 24); es genügt vielfach nicht zu wissen, welche Kraftänderungen überhaupt, sondern welche gleichzeitig auftreten. Eine im allgemeinen ungefährliche Entlastung eines Rades kann z. B. dann bedenklich werden, wenn sie zeitlich mit einem starken seitlichen Anlaufdruck zusammenfällt.

Es sei hier noch vermerkt, daß man mit den Drücken meßtechnisch nur an die wagrechten und senkrechten Kraftübertragungsstellen zwischen Fahrzeug und Achse heran kann, nicht an den wirklichen Spurkranz. Es bleibt also ungemessen die Querreibung des Rades auf der Schiene, die verschiedenen

Vorzeichen haben kann. Meßbar an sich bleibt die Massenwirkung des Rades durch die Beschleunigungsmesser. Deren Anwendung ist jedoch aufgegeben, einmal weil bei vielen Versuchen die vorhandenen Oszillographenschleifen schon durch die vielen synchronen, anderweitigen und wichtigeren Meßstellen besetzt sind, dann aber, weil die rechnermäßig erst zu findenden und dann zu addierenden oder subtrahierenden Beschleunigungskräfte bei den sekundlich vielemals schwankenden Größen die Auswertung zeitlich unmöglich machen würden, wenn es sich um einen großen Aufgabenkreis des Meßwagens handelt. Die an sich darin liegende logische Unvollkommenheit bzw. der bloße Annäherungscharakter der Messungen ist praktisch erträglich, weil dem ganzen Aufgabenkomplex vielfach eine mehr relative Bedeutung innewohnt. Mißt man nämlich zunächst einen aus der Erfahrung bereits als unbedenklich bekannten Fahrzeuglauf nach seinen Merkmalen und findet bei der Wiederholung in veränderter Form (andere Geschwindigkeit, andere Wagengattung) keine größeren Amplituden des Oszillogramms, schlimmstenfalls auch kein bedenkliches zeitliches Zusammentreffen zueinander ungünstiger Kräfte, so kann auch der neue Betriebszustand als unbedenklich bezeichnet werden. Es ist gewissermaßen das, was man in der Mathematik den Schluß von n auf $n + 1$ nennt. Andererseits kann, wenn es z. B. durch verstärkte Drehgestell-Rückstellfedern gelingt, bei mäßiger Steigerung des Anlaufdruckes der Drehgestellachsen einer Lokomotive den meist starken Seitendruck der mit anlaufenden Treibachsen wesentlich herabzuziehen, unmittelbar auf eine größere Schonung von Maschine und Gleis und äußerstenfalls auf geringere Neigung zur Entgleisung geschlossen werden. So bleiben die Oszillogramme auf jeden Fall aufschlußreich. Vor allem aber zeigen sie immer wieder, daß das Kräftespiel selten in einer gewissen Gleichmäßigkeit abläuft, sondern die Kräfte sich oft in außerordentlich schnellen Schwankungen (kleine Sekundenbruchteile) ändern und im Oszillogramm dann das Bild eines schadhafte Kammes mit vielen dicht nebeneinanderstehenden Zinken ergeben. Diese Erscheinungen entziehen sich jeder Vorausberechnung, auch deshalb weil alle Unregelmäßigkeiten des Gleises und Fahrzeuges sich darin mit auswirken. Das Oszillogramm ist also nicht nur aufschlußreich, sondern überhaupt die einzige sichere Möglichkeit, das Kräftespiel im wesentlichen, wenn auch nicht restlos zu übersehen. Nur eine Stetigkeit liegt vor, daß nämlich der Impuls zu jenen unregelmäßigen, nicht eigentlich periodischen Schwingungen vom Gleis aus geht, denn die verschiedenen Fahrzeuge reagieren immer an denselben Stellen (Krümmungen, Übergangsbögen, Unregelmäßigkeiten in der Gleislage) mit wenn auch unterschiedlicher Wellenform.

Hier soll nun nicht die Beschreibung des Schwingungsmeßwagens in seiner neuesten Gestalt gegeben werden, die einer besonderen Veröffentlichung vorbehalten bleiben mag. Ich hebe nur gerade als für die Behandlung des Schiebekomplexes wichtig nochmals hervor, daß wir nunmehr in der Lage sind, durch Vergleichung der Oszillogramme einer Fahrzeuggattung oder einer Betriebsform mit den Oszillogrammen bereits als unbedenklich bekannter Anordnungen, gleichsam als der Normalform, die in diesem Zusammenhang notwendigen Schlüsse zu ziehen.

Schon als der provisorische Meßwagen abgebaut wurde — über seine beiden Oszillographen war anderweitig verfügt — bestand die Überzeugung, daß die Untersuchungsart eine sehr fruchtbare sei, und sein Ausbau in verbesserter Form (mit neuen, zunächst zwei, dann drei Achtschleifenoszillographen) wurde bereits mit einem größeren Forschungsprogramm begründet. Hierzu zählte schon die Untersuchung rückwärts, mit dem Tender voranfahrender Lokomotiven, deren beschränkte Geschwindigkeit doch unter Umständen als lästig empfunden wurde. Rein gefühlsmäßige Versuche in dieser

*) Harm, Glasers Ann. 1. 12. 1935.

**) „Untersuchungen über das Kräftespiel zwischen Fahrzeug und Oberbau“, Org. Fortschr. Eisenbahnwes. 1934, Seite 349.

Richtung waren zwar möglich, erschienen aber doch in der Zuverlässigkeit des Urteils unzulänglich, nachdem eine exaktere Untersuchungsform nunmehr vorlag. Nachdem weiterhin in Anlehnung an den französischen Vorortbetrieb und an die Lübeck-Büchener-Doppelstockzüge der Versuch geplant wurde, eine T 18-Lokomotive für die ferngesteuerte Bedienung geschobener Züge auszurüsten, wurde auch hier gleich die wirkliche Messung der Anlaufdrücke ins Auge gefaßt.

Die Untersuchung der Tender war deshalb eine zeitlich ausgedehnte Reihe, weil es mehrere Bauarten gibt, die zudem mit verschiedenen Lokomotivgattungen gekuppelt sind, und weil weiterhin andere Aufgaben dringlicher waren, als die Prüfung wenigstens der günstiger laufenden Tender. Die Untersuchung ist daher noch nicht ganz abgeschlossen; sie steht im Range ja vielleicht auch deshalb hinter den Schiebeversuchen von Zügen zurück, weil die Rückwärtsfahrt mit dem Tender voran doch die Ausnahme darstellt, während das Schieben von Zügen für manche Zwecke die normale Betriebsform ist oder werden kann. Hier beschränkte sich das Untersuchungsprogramm im übrigen nicht auf rein geschobene Züge, sondern eine zweite konkrete Aufgabe erwuchs in Gestalt der Untersuchung, ob der Nachschubtrieb bei gleichzeitig vorn ziehender Lokomotive mit erhöhter Geschwindigkeit durchgeführt werden könne (Höllentalbahn beim Übergang zum elektrischen Betrieb mit vergrößerter Lokomotivleistung). Im Zusammenhang damit schien eine Beruhigung gegenüber der gelegentlich auftauchenden Befürchtung erwünscht, daß eine gewisse Ausknickungsgefahr des nachgeschobenen Zuges bestehe, wenigstens dann, wenn der Schlußwagen, auf den die volle Druckkraft der nachschiebenden Lokomotive einwirkt, ein verhältnismäßig leichter Wagen mit kurzem Achsstand und großem Überhang ist.

An Tendern wurde zunächst — und auf dieses Beispiel möge dieser Teil der Schiebefrage hier zunächst beschränkt bleiben — der dreiachsige 20 m³-Tender der Güterzuglokomotiven untersucht, der als voraussichtlich weniger günstiger Läufer gegenüber den Drehgestellendern als der vordringlichere erschien. Aufgezeichnet wurde vorerst für den Tender allein außer den Zeit- und Wegemarken, bei Vorwärts- und Rückwärtslauf jeweils der linke (waagrechte) Lagerseitendruck der Tenderachsen, der rechte (senkrechte) Lagerdruck, die Bewegungen eines linken und rechten Achslagers gegen den Rahmen, der linke senkrechte Lagerdruck und der rechte Lagerseitendruck. Zu dieser scheinbar widersinnigen Zusammenstellung ist zu sagen, daß der linke Lagerseitendruck den Anlauf des rechten Rades an die Schiene bedeutet. Diese Umkehrung ist durch die Anordnung der Kohledruckmeßdose für wagrechte Kraftwirkung vor der Stirn des Achsschenkels innerhalb des Lagergehäuses bedingt. Textabb. 1 zeigt die besondere Herrichtung der Tenderachsbuchse für diese Messungen: vor Achsbuchsmitte treten die Drähte von den beiden Polen der Kohlsäule aus, die an die kleine geschützte Klemmentafel geführt sind, die auch die Leitungen von der zwischen Feder und Lagerschale eingebauten Kohledruckmeßdose für die senkrechten Kräfte aufnimmt. Deutlich sieht man dann die abgehenden vier Leitungen zum Meßwagen. Textabb. 2 zeigt noch die Anordnung der Verschiebungsmesser an einer Tenderachse.

Der Verschiebungsmesser*) (Abb. 2) enthält als ausschlaggebenden Bestandteil einen kreisförmigen Schleifdraht, auf dem als Spannungsteiler eine radiale Metallfeder schleift. Die Welle, mit der sie sich dreht, wird von der außenliegenden Rolle vermittelt eines dünnen Stahldrahtseils bewegt, das — im Bild senkrecht — am anderen Ende mit dem Achslager verbunden ist. Da das Seil nur ziehend wirken kann, ist in dem zylindrischen

*) Vergl. Org. Fortschr. Eisenbahnwes. 1934, Seite 351/352, Abb. 3 bis 5.

Gehäuse noch eine starke, entgegengesetzt drehende Feder angeordnet, die das Seil stets straff hält. Das so gemessene Tragfederspiel hat zwar hier nur untergeordnete Bedeutung, da es auf die Dynamik des Achslagers, nicht seine Kinematik ankommt, und ist später nicht mehr geprüft. Für wichtigere

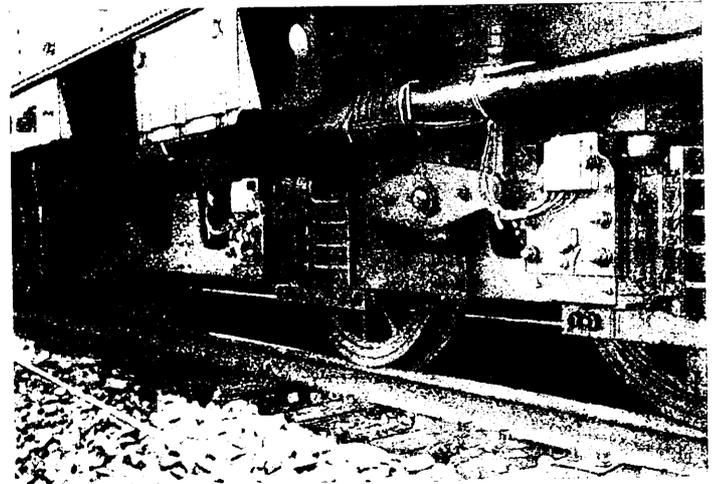


Abb. 1. Meßachsbuchse am Tender.

Ausschläge, so namentlich bei Drehgestellen, ist der Verschiebungsmesser aber stets das gegebene Gerät, weshalb er hier an einem anschaulichen Beispiel in Erinnerung gebracht wurde.

In der Geraden zeigte der Tender keine nennenswerten Anlaufdrücke, in nur bescheidener Größe traten sie als abwechselnde Rechts- und Linksanläufe auf. In den Krümmungen

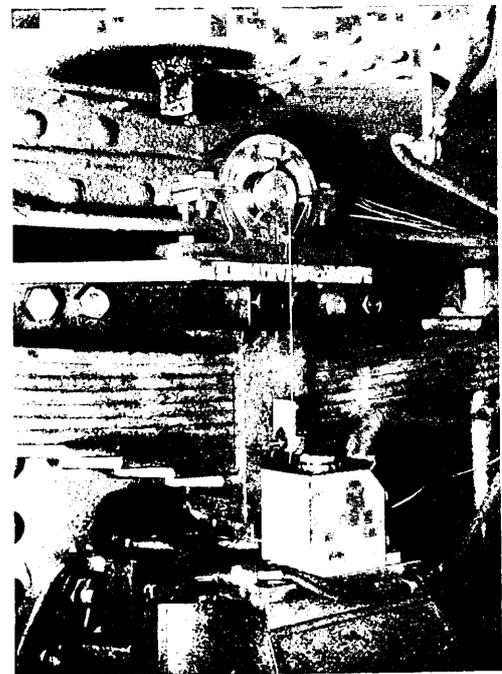


Abb. 2.

Anbau eines Verschiebungsmessers an einer Tenderachsbuchse.

zeigten jedoch die Drücke nach Textabb. 3 sehr fühlbare Werte je nach Halbmesser und Geschwindigkeit. Im übrigen sind unter Drücken hier die Druckspitzen in t verstanden, die sich ähnlich wie bei den später gezeigten Bildern über der Basis von Sekundenbruchteilen aus dem Oszillogramm in häufiger Wiederholung ergaben. Wenn Rechts- und Linksanläufe aufgezeichnet sind, heißt das natürlich nicht, daß diese, was unmöglich wäre, gleichzeitig auftreten, sondern daß bei den dynamischen Pende-

lungen zwischen den beiden Schienen, statt des früher angenommenen sozusagen statischen Anliegens an nur einer Schiene, die Rechts- und Linksdrücke zwischen diesen Werten schwanken. So pendeln z. B. bei Vorwärtsfahrt durch eine Kurve mit 250 m Halbmesser und 45 km/h die Anlaufdrücke der vorderen Tenderachse zwischen 3,5 t innen und 0,6 t außen. Bei Rückwärtsfahrt zeigt die letzte, nunmehr voranlaufende Achse unter gleichen Umständen Drücke von 1,4 t außen und 0,8 t innen. Hier führt also vorwiegend, wie auch zu erwarten, die äußere Schiene, während der vorwärtsfahrende Tender mit seiner ersten Achse nach innen gezogen wird. Im übrigen sind im allgemeinen die Anlaufdrücke beim voranlaufenden Tender

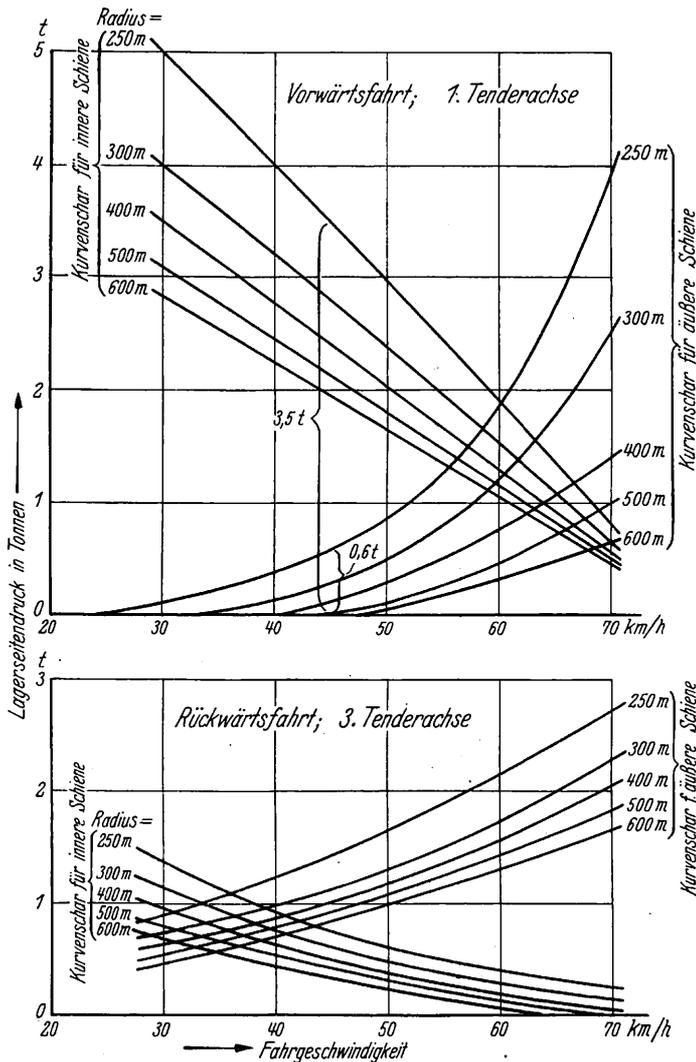


Abb. 3. Seitendrücke der jeweils führenden Tenderachse.

für die führende Achse sogar kleiner als bei Vorwärtsfahrt. Die bei Rückwärtsfahrt nachlaufende Vorderachse des Tenders bildet mit einem von Geschwindigkeit und Krümmungshalbmesser nur wenig abhängigen Druck von 5 t eine Ausnahme.

Die senkrechten Druckänderungen, herrührend teils von den Federschwingungen als Rückwirkung der Ungenauigkeiten und der Elastizität der Gleislage, sowie der Lokomotivschwankungen, teils von dem Fliehkraftüberschuß oder -unterschluß (gegen den durch die Schienenüberhöhung ausgeglichenen Betrag), lagen zwischen ∓ 1 und $+ 2$ t. In keinem Fall wurde bei dieser Versuchsreihe bei starkem Seitendruck eine senkrechte Lagerentlastung festgestellt; dieser u. U. gefährliche Synchronismus trat also nicht ein.

Zur vollen Klärung der Sachlage wurden auch die Lokomotivachsen in die weiteren Messungen einbezogen: übrigens

erwiesen sich die Verhältnisse bei den G 8²- und G 12-Lokomotiven als nahezu übereinstimmend.

Das Ergebnis konnte dahin zusammengefaßt werden, daß sich die Güterzuglokomotiven mit dreiachsigen Tender bei Rückwärtsfahrt im allgemeinen nicht ungünstiger verhalten als bei Vorwärtsfahrt, und zwar wurden diese Feststellungen gemacht bei Geschwindigkeiten bis zu 10% über den zulässigen Vorwärtsgeschwindigkeiten. Die Geschwindigkeit für rückwärtsfahrende G 8²- und G 12-Lokomotiven kann also bis zur zulässigen Geschwindigkeit für Vorwärtsfahrt erhöht werden. Die Größe der Anlaufdrücke wird wesentlich von der Güte des Oberbaues beeinflusst; bei schlechtem Oberbau traten in beiden Fahrrichtungen starke Druckspitzen, namentlich an der Lokomotive auf, die vielleicht schon bedenklich sind, mindestens aber ungünstig auf Fahrzeug und Gleis wirken und dessen Lage noch weiter verschlechtern können. Die beschränkte Durchfahrgeschwindigkeit durch Weichen muß beibehalten werden: bei dem Fehlen der Überhöhung wird ja hier die Fliehkraft ausschließlich durch den Seitendruck zwischen Rad- und Schiene ausgeglichen, der also bei Geschwindigkeitserhöhung, zumal beim Fehlen des Übergangsbogens, sonst unzulässig hohe Werte annehmen würde.

Wir gehen nun zu der betrieblich noch wichtigeren Frage der geschobenen Züge über. Die Aufgabenstellung der beiden Ende 1936 durchgeführten Versuche mit nachgeschobenen Zügen lautete dabei so, daß einmal das Verhalten des Schlußwagens eines elektrisch nachgeschobenen Zuges (180 t und 320 t) bei Geschwindigkeiten bis zu 60 km/h auf der Steilrampe der Höllentalbahn (1:18), andererseits bei Reisezügen bis 85 km/h auf den flacheren Abschnitten der gleichen Strecke untersucht werden sollte. Ausgangspunkt war im ersten Fall ein erneut ausgesprochenes Bedenken gegen den Nachschub leichter Wagen am Zugschluß auf Steilrampen bei großen Druckkräften, im zweiten der Wunsch nach Geschwindigkeitserhöhung auf den flacheren Abschnitten der Höllentalbahn, wo aus örtlichen Gründen die Schiebelokomotive schon in Freiburg angesetzt werden mußte, dann aber nach § 38 (11) der Fahr-dienstvorschriften nur mit 60 km/h gefahren werden durfte.

Um der Bedingung der leichten Wagen Rechnung zu tragen, wurde der Zugschluß jeweils gebildet aus einem unbeladenen S-Wagen (unter Veränderung des Längs- und Querspiels der Achsbuchse in den Achshaltern), einem O- und R-Wagen mit normalen Betriebsspielen, dieser auch als vorletzter Wagen untersucht, und einem H-Wagen mit normalem Spiel und stark abgenutzten Radreifen. Im Vergleich dazu wurden dann auch noch zwei Personenwagen untersucht, nämlich ein zweiachsiger Ci-Wagen und ein vierachsiger BC 4 i-Wagen der Regelbauart. Es wurden festgestellt die Größe und Richtung der Seitendrücke an den Wagenachsen, die Stellung der Wagenachsen gegenüber dem Wagenkasten und die Pufferdrücke, bzw. die Eindrückungen der Puffer und deren gegenseitige Querverschiebungen. Die senkrechten Lagerdrücke konnten leider nicht gemessen werden, da bei den Lenkachsen wegen des labileren Charakters der Achsbuchse eine geeignete Meßanordnung nicht gefunden wurde. Die Versuchsfahrzeuge waren also ausgerüstet mit

1. Meßachsbuchsen zur Ermittlung der vom Wagenkasten auf die Achsen ausgeübten Querkräfte Y' Textabb. 4. Wir erkennen die wagrecht vor Kopf mit Kugelvorschaltung (gegen etwaiges Ecken) gelagerte Kohledruckmeßdose, die über einen Muffenring mit vier Schraubenbolzen ihre Druckkraft empfängt.

2. Verschiebungsmessern zwischen Achsgabeln und Lagerbuchsen zur Aufzeichnung der gegenseitigen Längsbewegungen.

3. Verschiebungsmessern an den der Schiebelokomotive zugewandten Puffern des Schlußwagens zur Ermittlung der Puffereindrückung.

4. Kohledruckmeßdosens in den Puffertellern zur Aufzeichnung der Pufferdrücke.

5. Verschiebungsmesser zur Feststellung der Querbewegung zwischen Schiebelokomotive und Schlußwagen.

Die für die Entgleisungssicherheit maßgebende Beziehung $Y:Q$ ist zahlenmäßig an sich nicht bekannt; sie betrifft überdies die nicht unmittelbar meßbaren Kräfte zwischen Rad und Schiene. Aber auch für die Drücke am Achslager, die von der Kohledruckmeßdose angezeigt werden, liegt der äußerste noch zulässige Wert $Y':Q'$ nicht vor. Hierzu kommt noch die eben gestreifte fehlende Feststellung von Q' bei den Lenkachsen und endlich noch als wichtiger Umstand die fehlende Kenntnis, wie sich diese stetig gedachten Kräfte als Mittelkräfte zu den Spitzenwerten der sich tatsächlich schnell ändernden, unmittelbar gemessenen Drücke verhalten. Es bleibt also nur die mittelbare Methode übrig, nämlich nachzuweisen, daß die bei den gesteigerten Geschwindigkeiten gemessenen Kräfte nicht oder nicht nennenswert über den in gleicher Weise gemessenen des aus längerer Erfahrung als gefahrlos bekannten bisherigen Betriebes liegen.

Es wurden also mit je einem der bezeichneten Wagen am Schluß Fahrten mit einer schiebenden Dampflokomotive, Baureihe 85, bei rund 20 km/h ausgeführt: diese Geschwindigkeit

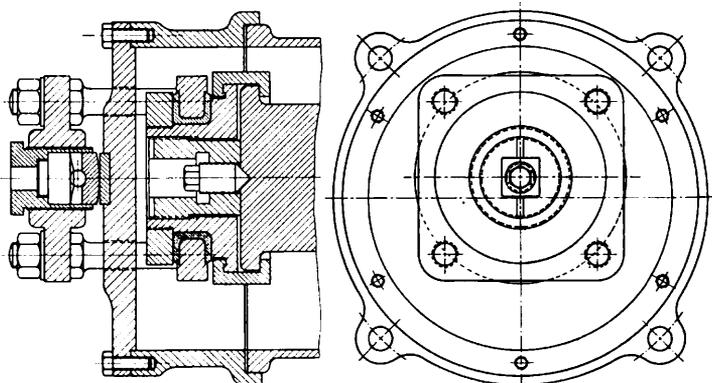


Abb. 4. Seitendruckmeßvorrichtung an Personen- und Güterwagen.

ist die bisher gebräuchliche und gestattet noch, die volle Reibungszugkraft der fünf gekuppelten Achsen auszuüben. Die vordere Zuglokomotive gleicher Gattung braucht dabei nicht mehr zu ziehen. Mit der elektrischen Lokomotive (vier Kuppelachsen) wurde mit 30,45 und 60 km/h nachgeschoben. Der Zug war — von rückwärts gezählt — gebildet aus der Schiebelokomotive, dem gemessenen Schlußwagen, einem weiteren Wagen, dem Oszillographenwagen, einem Bremsmeßwagen, da auch Bremsversuche dabei erledigt wurden, und so viel Ci-Wagen der Einheitsbauart, daß etwa 180 t eigentliches Zuggewicht herauskamen, endlich der Zuglokomotive vorn.

Abb. 1, Taf. 6, zeigt die Oszillogramme für Dampf-nachschub mit 20 km/h für den H- und Ci-Wagen am Schluß, Abb. 2 für elektrischen Nachschub der gleichen Fahrzeuge mit 30 km/h und unten für 60 km/h, stets auf denselben krümmungsreichen Streckenabschnitten. Die Oszillogramme zeigen zunächst deutlich, daß die Anlaufdrücke, eigentlich Achsbuchsen-seitendrucke, nicht als stetige Kräfte auftreten, sondern zwar vorwiegend je an der eigentlich führenden Schiene, aber als stark und spitz gezacktes „Druckgebirge“. Daneben treten aber, freilich in weit geringerer Größe, an der gegenüberliegenden Seite Druckspitzen auf und immer natürlich so, daß die rechten und linken Anläufe sich gegenseitig aus-schließen. Bei beiden Achsen, der voranlaufenden und der nachlaufenden Schlußachse vermutet man zunächst einen An-lauf an der äußeren Schiene, namentlich in stärkeren Krüm-

mungen, wo die ohnehin stark einseitig angreifenden Puffer-drücke durch das Außen-Berührung-Kommen der äußeren Puffer völlig einseitig werden und hier Werte bis zu 12 t aufweisen (Eindrückung als Maßstab des Druckes). Diese Drücke ergeben in Verbindung mit den Gegendrücken des vorletzten Wagens eine nach außen drängende Resultante, von der man ein Herausdrücken des Wagens befürchten könnte. Dann müßten also beide Achsen außen anlaufen, z. B. in einer Rechtskurve am linken Rad. Das trifft aber nach den Oszillogrammen nicht zu. Zwar an der nachlaufenden Achse sind die Drücke nach außen gerichtet (im Fall der Rechtskurve drückt vorwiegend oder allein der rechte Puffer, die Achse läuft links außen an und zeigt also bei dieser Anordnung der Kohledruckmeßdose außerhalb des Lagergehäuses gleichfalls am linken Lager Druck), haben aber bei der vorlaufenden Achse vorwiegend entgegen-gesetzte Richtung. Man muß daher eine gewisse Klemmung des Schlußwagens zwischen der schiebenden Lokomotive und seinem Vorderwagen annehmen, die ihn an seiner freien Be-weglichkeit hindert. Dafür spricht auch das Auftreten ein-seitiger Drücke in der Geraden, besonders beim Auslauf aus einem Bogen. Auch daß allein der R-Wagen das umgekehrte Verhalten hinsichtlich der Anlaufdrücke zeigte, ist, wenn auch einer bündigen Erklärung entbehrend, vielleicht mit auf eine zufällig etwas andere Einklemmung zurückzuführen. Die ab-solute Größe der Seitendrucke im Achslager betrug (in der häufig auftretenden Spitze) beim S-Wagen 2 t, sonst im all-gemeinen 1,4 t; ein klarer Einfluß der Geschwindigkeit ließ sich aus den Kurven nicht ableiten, außer beim Schieben mit 60 km/h, wo die Druckspitzen 0,2 bis 0,3 t höher lagen als bei dem Dampf-nachschub mit 20 km/h (Abb. 3, Taf. 6).

Und das ist das wichtigste Ergebnis, das uns die Oszillo-gramme zunächst für die zweiachsigen Wagen bieten, daß nämlich mit dieser zahlenmäßig geringwertigen Ausnahme die Druckspitzen der höheren Geschwindigkeiten nicht von den jetzt zum erstenmal gemessenen, aber als unbedenklich be-kannten Drücken der langsameren Fahrt abweichen. Die Ge-schwindigkeitserhöhung beim Schiebetrieb ist da-her unbedenklich.

Aus Drehgestellwagen (C 4i) wurden sogar Züge von 320 t gebildet und entweder mit zwei Dampflokomotiven (je eine vorn und hinten) mit 25 km/h oder mit zwei elektrischen Lokomoti-ven in gleicher Anordnung mit 35 bzw. 60 km/h befördert. Der Oszillographenwagen lief wieder im hinteren Teil des Zuges: dessen Schlußwagen also mit den Meßeinrichtungen versehen war. Die Ergebnisse lagen in zweifacher Hinsicht anders als bei den Lenkachswagen. Einmal war ein Einfluß der Ge-schwindigkeit deutlich festzustellen; die beiden Achsen des vorlaufenden Drehgestells erhalten gleichzeitig Druck nach außen und, wenigstens die vordere, einen mit der Geschwindig-keit von 1 auf 2 t steigenden, während die rund 0,8 t Druck der nachlaufenden Achse ziemlich geschwindigkeitsunabhängig sind. Der Außenanlauf des vorderen Drehgestells ist aber also auch ein Gegensatz zu dem Innenanlauf der vorderen Len-kachse; ihm entspricht weiterhin der Innenanlauf des hinteren Drehgestells statt des Außenanlaufs der hinteren Lenkachse. Der Höchstwert der seitlichen Lagerdrücke beträgt ebenfalls 2 t, hier nun aber abnehmend mit der Geschwindigkeit: die wachsende Geschwindigkeit bewirkt beim außenanlaufenden Vordergestell eine Druckzunahme, beim innenanlaufenden Hintergestell eine Druckabnahme. Das vordere Drehgestell läuft also bei geringen Geschwindigkeiten mit geringeren Drücken, doch ist selbst das ungünstige Verhältnis Seitendruck-spitze zu mittlerem senkrechten Lagerdruck (rund 4 t) mit $Y':Q' = 0,5$ unbedenklich. Das wirklich maßgebende Ver-hältnis ist ja eigentlich $Y:Q$ an der Berührungsstelle Rad und Schiene, mit Q als wirklich gleichzeitig mit Y auftretendem Augenblicks — nicht Mittelwert: aber nimmt man die höchsten,

gleichgebildeten Verhältniszahlen der Lagerdrücke von Lokomotiven, so sind dort häufig die dreifachen Werte (1,5 statt 0,5) ohne Entgleisung aufgetreten (ja selbst der vierfache, bei allerdings schon etwas bedenklichem Lauf), so daß damit der Beweis für den unbedenklichen Lauf auch für das Schieben der Drehgestellwagen bis 60 km/h erbracht ist.

War so das Gebiet des Nachschubes bei den großen Druckkräften von Steilstrecken durchforscht, wo mehr als 60 km/h Geschwindigkeit selbst bei ungewöhnlich leistungsfähigen Lokomotiven nicht in Betracht kamen, so wurde aus dem oben schon gestreiften Grunde noch die Untersuchung geschobener Reisezüge auf schwächeren Steigungen mit Geschwindigkeiten bis zu 85 km/h durchgeführt. Gemessen wurden die gleichen Werte (Seitendrücke, Pufferdrücke usw.), und zwar zunächst für einen Ci-Wagen, der einmal als Schlußwagen des gezogenen Zuges lief. Die Beurteilung war so, daß, wenn bei 85 km/h keine größeren Seitendrücke beim geschobenen Wagen auftreten, als bei dem mit gleicher oder gar geringerer Geschwindigkeit gezogenen Wagen, die Geschwindigkeitserhöhung vom Standpunkt der Laufsicherheit als unbedenklich zu bezeichnen ist. Abb. 1, Taf. 7, zeigt Oszillogramme in Auswahl für die letzte Achse des geschobenen Zuges bei 85 und 60 km/h und als unteres Kurvenband für dieselbe Achse als erste des gezogenen Zuges. Die Seitendrücke sind in allen drei Fällen nur unwesentlich verschieden, vorwiegend nach außen geringer (auch bei der anderen Achse des Wagens) und überschreiten mit ihren Spitzen kaum einmal 1 t, bleiben in der Regel wesentlich darunter und erst recht unter den auf der Steilrampe gemessenen Drücken (1,4 bis max 2 t). Abb. 2, Taf. 7, gibt die entsprechenden Oszillogramme für den Drehgestellwagen BC 4 i, der mit 85 km/h und 70 km/h elektrisch und mit Dampf nachgeschoben, dann mit 85 km/h gezogen war. Auch hier sind die Drücke vorwiegend nach außen gerichtet und unterscheiden sich meist nicht wesentlich. Sie sind größer als beim übrigens ja auch leichteren Ci-Wagen, beim geschobenen Wagen in engen Krümmungen bis zu 400 kg größer als beim gezogenen, bleiben aber überall unter 2 t und sind kleiner als die auf der Steilrampe bereits als ungefährlich erkannten. Es bestand deshalb kein Bedenken, eine Nachschubgeschwindigkeit von 85 km/h bei guter Gleisanlage und unter Verwendung von Hülsenpuffern der Regelbauart zuzulassen.

Es bleibt aus dem gesamten Komplex des Schiebbetriebes nun noch die im gewissen Sinne wichtigste Frage des reinen Schiebbetriebes zu erörtern. Diese Versuche wurden Anfang 1937 auf der Strecke Halle—Rothenkirchen durchgeführt, und zwar auf dem krümmungsarmen Teilstück Halle—Bk Saaleck mit bis zu 140 km/h Geschwindigkeit, auf dem krümmungsreicheren Teil Saaleck—Saalfeld mit etwa bis zu 100 km/h und auf der stark steigenden und krümmungsreichen Teilstrecke Probstzella—Steinbach (Wald)—Rothenkirchen zugleich für große Druckkräfte. Gefahren wurden Züge aus vierachsigen Eil- und D-Zugwagen, einschließlich des Oszillographenwagens bis zu acht Fahrzeugen, die durch eine 03-Schnellzuglokomotive, auf der Teilstrecke noch unter Ansatz einer weiteren Drucklokomotive geschoben wurden. Selbstverständlich war dabei ein vorderes Führerabteil vorgesehen, zu dem die Vorderbühne des am entgegengesetzten Ende zur Lokomotive laufenden D- oder Eilzugwagens ausgestattet war. Hier waren also Führerbremsventil, Leitungsdruckmesser für Luftleitung und Hauptluftbehälter, Typhon, Geschwindigkeitsmesser, Telefon und Signalknöpfe für Rot und Grün (Regler zu und auf) zur Benachrichtigung der Lokomotive behelfsmäßig angeordnet. Die elektrische Steuerung des Reglers ließ sich allerdings nicht behelfsmäßig einrichten, war aber auch für die Versuche nicht nötig, da die Lokomotive mit Führer und Heizer besetzt blieb, also die Signalaufnahme durch zwei Beamte als sehr sicher gelten

konnte, während die Führung des Zuges im üblichen Sinne durch einen zweiten streckenkundigen Lokomotivführer von dem vorderen Steuerabteil aus erfolgte, der vor allem ja auch schlimmstenfalls die Schnellbremse unmittelbar zur Hand hatte. Gemessen wurden die gleichen Größen und wie stets an den gleichen Stellen der Strecke. Das war meßtechnisch zu einwandfreiem Vergleich notwendig; eine Beschränkung in der Länge der Meßstrecken ja auch mit Rücksicht auf handliche Längen des photographischen Oszillographenpapiers bei großem Zeitvorschub notwendig. Beide Lokomotivführer kannten übrigens die Meßstellen; vor allem mußte sie der Führer auf der Lokomotive selbst kennen, da er gegebenenfalls durch besonders kräftiges Beschleunigen des Zuges bis zum Beginn der betreffenden Meßstrecke die hohe Geschwindigkeit zu erreichen hatte.

Der Dezernent für Brems- und Kupplungsfragen (auch der Einfluß der verschiedenen Pufferspielarten sollte festgestellt werden), hielt gleich mir das reine Schieben mit 140 km/h im Versuchsprogramm des ausführenden Versuchsamts für Lokomotiven und Triebwagen für etwas wagemutig, so daß wir die Absicht hatten, ein ähnliches Hochtasten über 100 km/h hinaus anzuwenden; denn es handelte sich ja um einen regelrechten D-Zug, während die Franzosen mit ihren ganzen Vorortzügen doch mit niedrigeren Geschwindigkeiten fuhren und Lübeck—Büchen zunächst nur einen Doppelstockwagen mit 120 km/h beförderte. Als wir dann aber auf dem Führerstand des Vorderwagens stehend, den sehr ruhigen Lauf und das sanfte Einfahren in Krümmungen gleich bei 135 km/h erlebten, verloren sich die Reste alter Scheu vor dem Schiebbetrieb, und man konnte nur gespannt sein, in welchem Grade die Meßergebnisse das Empfinden sehr ruhigen Laufs bestätigen würden.

Die Frage konnte wieder nur so lauten: Wie verhalten sich die Lagerseitendrücke des geschobenen Wagens zum gezogenen bei gleicher Geschwindigkeit? Abb. 3, Taf. 7, gibt die auf den ersten Blick klare Antwort zunächst für die Fahrt in der Geraden für einen D-Zugwagen bei 120, 130 und 140 km/h. Wir erkennen das Schlingern darin, daß die Achsen abwechselnd rechts und links anlaufen, wobei natürlich immer Druckspitzen einer Seite dem Nullwert des Druckes auf der anderen Seite gegenüberliegen. Die Druckspitzen überschreiten kaum je einmal 1 t, sind im ganzen gleich, bei den linken Lagerseitendrücken bei 120 km/h (im oberen Drittel des Bildes) für den geschobenen Wagen sogar etwas niedriger. Absolut genommen beträgt dieser Wert von 1 t des D-Zugwagens nur die Hälfte des Druckes der leichteren Eilzugwagen auf der Höllentalbahn; der Wagen liegt also mehr als doppelt so sicher wie dort im Gleis. Aufgezeichnet sind auch die mit dem Verschiebungsmesser festgestellten Auslenkungen des Drehgestells gegen den Wagenkasten; sie erfolgen mit meist wesentlich unter 10 mm im gleichen Takt wie die Druckspitzen, so daß sich ein gewisser Sinuslauf auch hierin zeigt. Zusammenfassend ist zu sagen, daß in der Geraden kein Laufunterschied zwischen gezogenen und geschobenen Wagen besteht.

Abb. 4, Taf. 7, zeigt die Verhältnisse des D-Zugwagens bei 90 km/h auf einem kurvenreichen Streckenteil (zugelassen sind dort eigentlich nur 85 km/h). Hier laufen die Achsen, wie aus dem Überschuß der Fliehkraft über den durch die Schienenüberhöhung ausgeglichenen Betrag hinaus zu erwarten, jeweils an der Außenschiene an, nun aber nicht mit stetigem Druck, sondern auch mit schnell pendelnden Spitzen, und dieses Pendeln geht soweit, daß vereinzelt selbst die Innenschiene mit allerdings sehr niedrigen Druckspitzen angeschlagen wird. Die Druckspitzen sind, ebenso wie die Auslenkung des Drehgestells, bei kleinen Krümmungshalbmessern am größten, aber selbst in der schärfsten Krümmung ($R = 455$ m) werden 1,5 t nicht erreicht. Die Gesamtbilder des gezogenen und geschobenen Wagens sind zwar nicht völlig kongruent, aber so verwandt

in der Gestaltung der „Druckgebirge“ und der Drehgestellauslenkung, bei praktisch gleicher Absoluthöhe der Spitzen, daß auch hier festzustellen ist: Im Krümmungslauf geschobener und gezogener Wagen besteht kein Unterschied der Laufsicherheit.

Durch geeignete Kombination aller Kurven ließ sich noch feststellen, daß sich die Wagen am Ende und an der Spitze, gezogen und geschoben fast vollkommen gleich verhalten.

Besonders aufschlußreich sind endlich die in Textabb. 5 dargestellten Fahrten mit 4 und 8, mit 50 km/h geschobenen D-Zugwagen auf der Steilrampe Probstzella—Steinbach (Wald). Der obere Linienzug zeigt zunächst die Anlaufdrücke des mit

allenfalls in Überlagerung mit kleinen, stark gedämpften Schwingungen der Pufferfedern ausführt. Wie deutlich ersichtlich, sind die Pufferdrücke im zweiten Fall bei dem etwa doppelt so schweren Zuge, auch etwa doppelt so groß. Die Anlaufdrücke wiederholen sich aber in allen drei Fällen an den gleichen Stellen in fast kongruenten „Druckgebirgen“, wie sie beispielsweise durch Schraffur hervorgehoben sind. D. h. sie weichen von der normalen Form bei dem völlig gefahrlosen Ziehen des Wagens nicht ab, obgleich Druckkräfte bis zu etwa 7 t Höhe aufgenommen, und nach Abzug der Schwerkraftkomponente und des Laufwiderstandes des Wagens auf den vorderen Zugteil der drei oder sieben Wagen weiter geleitet werden. Un-

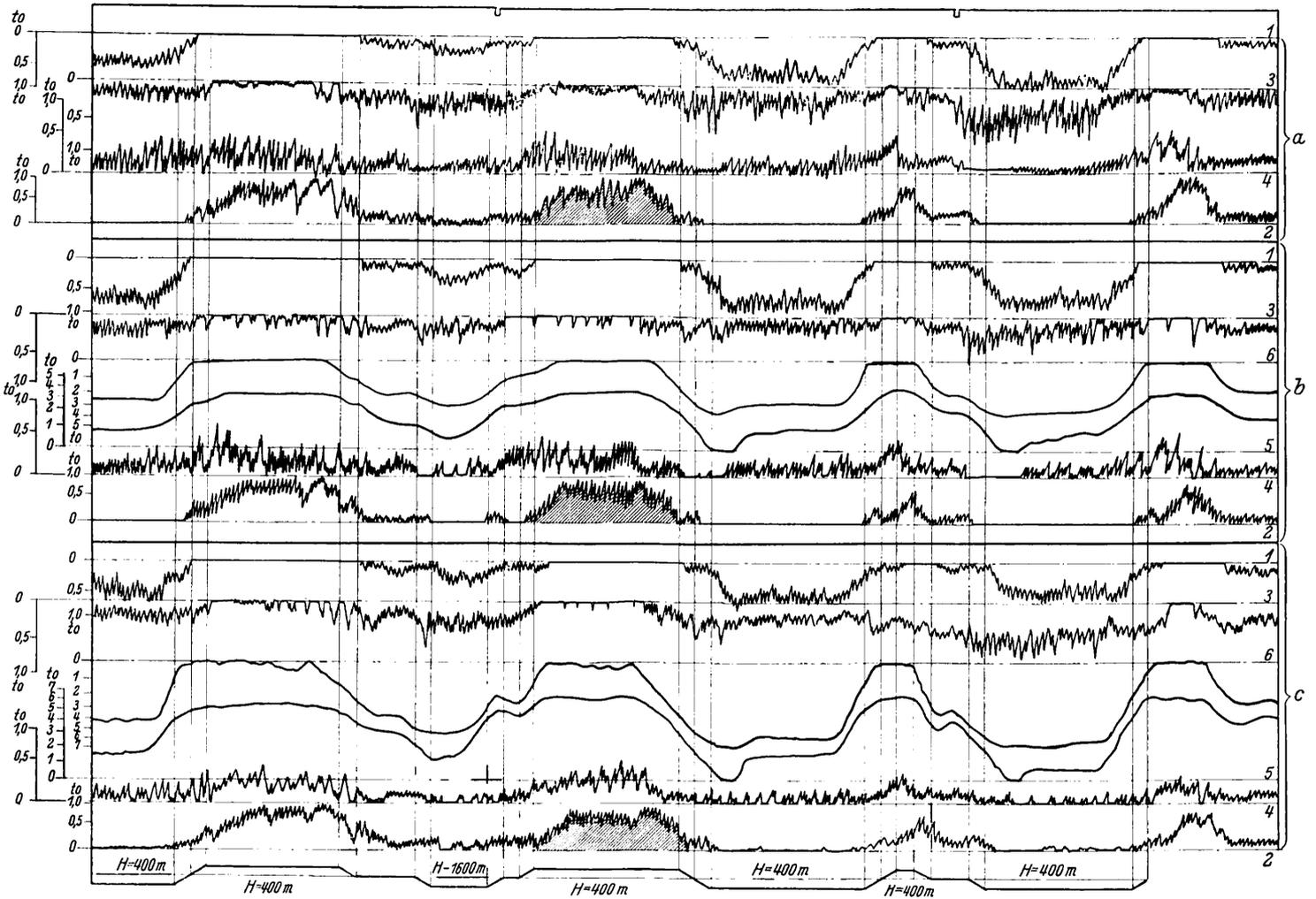


Abb. 5.

Oszillogramme: für einen gezogenen Zug mit 4 Wagen (a) Lagerseitendruck: 1. Drehgestellachse links 2, rechts 1
 „ „ geschobenen „ „ 4 „ „ 2. „ „ 4, „ 3
 „ „ „ „ „ 8 „ „ mittlerer Pufferdruck „ 6, „ 5

den Achslagermeßlosen ausgestatteten Wagens beim Ziehen, wie sie bei der vorausgehenden Vergleichsfahrt gemessen wurden. Das zweite Kurvenband zeigt die Anlaufdrücke des gleichen Wagens, wenn er als letztes, unmittelbar vor der Lokomotive befindliches Fahrzeug eines Vierwagenszuges lief, das untere endlich seine Anlaufdrücke als Schlußfahrzeug eines Achtwagenszuges. In den beiden unteren Kurvenbändern sind weiter noch je als stärkere Linie die Druckkräfte der Achse aufgezichnet. Während die Anlaufdrücke der Achse gegen den Rahmen als annäherndes Abbild der Spurkranzdrücke die bekannten schnellen Pendelungen aufweisen, sind die Pufferdrücke, die sich natürlich für Rechts- und Linkskurven abwechseln, ziemlich stetig, weil ja die Druckkraft der Lokomotive niemals verschwindet, sondern nur ein bescheidenes Wellenspiel gemäß dem Tangentialdiagramm der Lokomotivzugkraft,

berührt von diesen Kräften sorgt der Schlußwagen gleichsam nur für die eigene Zentripetalkraft, deren er für die Krümmung bedarf; eine Ausknick- oder Entgleisungsgefahr, die sich in hohen Anlaufdrücken äußern müßte, ist nicht vorhanden.

Untersucht wurde auch der Einfluß der verschiedenen Stoßvorrichtungen, wie sie an vierachsigen Wagen vorkommen oder erprobt werden auf die seitlichen Lagerdrücke. Es wurde festgestellt, daß die Seitendrucke unabhängig von der Pufferbauart sind.

Endlich wurden mit vierachsigen Eilzugwagen, deren gleichartiges und also zu verallgemeinerndes Verhalten mit dem D-Zugwagen durch die eben behandelten Fahrten auf der Strecke Halle—Rothenkirchen ja festgestellt war, noch Untersuchungen des Laufs durch Reichsbahnweichen mit 500, 300 und 190 m Halbmesser auf Bahnhof Brück vorgenommen,

und zwar mit Meßachsbuchsen, die auch die senkrechten Lagerdrücke anzeigten. Hier zeigte sich, daß die Seitendrucke beim geschobenen Zug im allgemeinen etwas höher liegen als beim gezogenen Zug, daß sie aber bei den zulässigen Geschwindigkeiten keine solchen Werte annehmen, daß eine Entgleisungsgefahr bestünde. Eine Überschreitung der in Weichen zugelassenen Höchstgeschwindigkeiten ist allerdings möglichst zu vermeiden. Die senkrechten Lagerdrücke verhielten sich gleichartig. Auch die Weichen bilden also unter Wahrung der Höchstgeschwindigkeiten für die gezogenen Züge kein Hindernis für den Schiebebetrieb.

Wir erkennen also zum Schluß, daß die ängstliche Betrachtung geschobener Fahrzeuge der Begründung entbehrt. Es ist zweifellos eine etwas revolutionäre Erkenntnis; sei es

schlechthin, sei es auch für die Kenner des französischen Schiebebetriebes und der Lübeck-Büchener Züge durch das Ausmaß nach der Zuglänge und vor allem der Geschwindigkeit. Dabei liegt die Bedeutung weniger in der Beruhigung über die Sicherheit des an sich lange in Übung befindlichen Nachschubetriebes, als in der künftig größeren Freiheit in der Betriebsform, namentlich dem Pendelverkehr ohne Umsetzen der Lokomotive. Entstande der Mut zu dieser Betriebsform, gestützt auf rein gefühlsmäßige Erprobung dem Ausland, so kann die Deutsche Reichsbahn das Verdienst für sich in Anspruch nehmen, den exakten Nachweis für die Unbedenklichkeit erbracht zu haben, und zwar bis zu Geschwindigkeiten hinauf, die wesentlich über den bisher angewandten Schiebegeschwindigkeiten liegen.

Das Einfahren von 1' E 1'-Lokomotiven mit vorderem und hinterem Eckhardt-Gestell in Gleisbögen.

Von Prof. Dr.-Ing. Heumann, Aachen.

Hierzu Tafel 8.

Für die Linie Heidenau—Altenberg im sächsischen Erzgebirge mit sehr starken Krümmungen und Steigungen hat die Deutsche Reichsbahn stark bogenläufige Personenzug-Tender-Lokomotiven der Achsanordnung 1' E 1' entwerfen lassen und in zwei Ausführungen — da die Bahn noch nicht fertiggestellt war, an anderer Stelle — in Betrieb genommen. Eine Bauart dieser Lokomotiven erreicht die starke Bogenläufigkeit durch ein vorderes und hinteres dreiachsiges Eckhardt-Drehgestell. Hier soll näherungsweise untersucht werden, wie eine solche siebenachsige Lokomotive aus der Geraden in einen sich unmittelbar an diese anschließenden sehr engen Bogen einfährt; denn diese wichtige Frage ist noch wenig geklärt. Die Lokomotive soll weder ziehen noch gebremst sein; bekanntlich treten dann die größten Führungsdrücke auf. Die Radreifen sollen als zylindrisch angesehen werden, die beiden Räder je eines Radsatzes sollen gleichen Laufkreisdurchmesser haben.

querbewegen kann. Die querverschiebliche Kuppelachse 3 ist gleichzeitig Hinterachse des Baldwin-Gestells, dessen Vorderachse die querverschiebliche Kuppelachse 2 ist; beide sind durch die Deichsel II_v gekuppelt, die am Hauptgestellrehzapfen D_v gelenkig und seitensteif mit dem Hauptgestell der Lokomotive verbunden ist. Genau so ist das hintere Eckhardt-Gestell angeordnet.

1. Einfahren bis zum Anlaufbeginn von Achse 2.

In der Geraden sollen die mit ungeschwächten Spurkränzen versehenen Radsätze 1, 2, 3, 5, 6, 7 das Seitenspiel σ_0 im Gleis haben. Die Lokomotive fahre vollkommen gestreckt aus der Geraden in Mittelstellung, d. h. im Abstand $\frac{\sigma_0}{2}$ ihrer ungeschwächten Außenspurkränze von der Innenkante der Außenschiene, in einen sich unmittelbar tangential an die Gerade an-

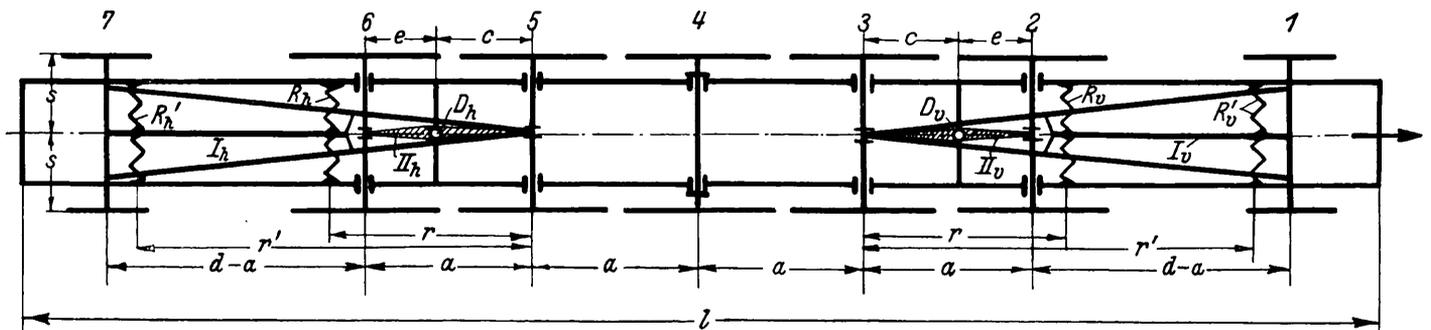


Abb. 1.

Die Achsanordnung der regelspurigen Lokomotive geht aus der schematischen Abb. 1 hervor. Sie ist in bezug auf die Lokomotivmitte vollkommen symmetrisch. Allein die mittlere Achse 4, die Treibachse, ist fest im Lokomotivhauptgestellrahmen; sie hat keine Spurkränze. Die Lokomotive laufe von links nach rechts. Ihre Achsen sind in allen Abbildungen von vorn nach hinten fortlaufend numeriert. Die Achsen 2, 3, 4, 5 und 6 sollen gleiche Raddrucke Q, die Endachsen 1 und 7 gleiche Raddrucke Q₁ haben. Die Achsen 1, 2, 3 und 5, 6, 7 sind zu je einem Eckhardt-Drehgestell vereinigt. Dies ist weiter nichts wie die Verschachtelung eines Helmholtz-Gestells mit einem Baldwin-Gestell. Am voranlaufenden Eckhardt-Gestell ist die schwenkbare Laufachse 1 mit der im Hauptgestellrahmen querverschieblichen Kuppelachse 3 verbunden zum Helmholtz-Gestell durch die Deichsel I_v, die sich gegenüber dem Hauptgestell bei R_v drehen und an dieser Stelle gegen eine Rückstellfederkraft R_v querverschieben und vorne bei R_v' gegen eine zweite kleinere Rückstellfederkraft R_v'

schließenden Kreisbogen vom Halbmesser R ein. Dann tritt das Außenrad der Vorderachse 1 mit der Außenschiene in Anlaufberührung, sobald sie um

$$i = \sqrt{2 R \frac{\sigma_0}{2}} = \sqrt{R \sigma_0} \dots \dots \dots 1)$$

über den Bogenanfangspunkt B hinausgelaufen ist. Die Achse nimmt die Anlaufberührung auf mit dem Anlaufwinkel

$$\alpha_0 = \frac{i}{R} = \sqrt{\frac{\sigma_0}{R}} \dots \dots \dots 2)$$

siehe die schematische Abb. 2, in der das Fahrzeug durch einen dicken Strich oder mit der „Spurbreite“ 0 dargestellt ist.

Beim Weiterfahren läuft Achse 1 zunächst noch ein wenig geradeaus, bis ihr Außenrad die bisher seitlich spannungslos angelaufene Bogenaußenschiene so weit nach außen durchgebogen hat, daß deren Spannung den kleinen statischen Schwenkwiderstand der Laufachse 1 gerade überwindet. Beim Weiterlaufen wird diese nebst Deichsel I_v aus ihrer geraden

Zulaufbahn nach rechts in den Bogen eingeschwenkt durch die stärker ausgebogene Bogenaußenschiene unter Überwindung des kleinen Trägheitswiderstandes von Achse 1 und Deichsel I_V außer dem statischen Schwenkwiderstand. Achse 1 und Deichsel I_V drehen*) sich dabei um einen hinter 1 in der Längsachse der Deichsel gelegenen Drehpunkt. Durch die Auslenkung gegenüber dem Hauptgestell werden die beiden zwischen Deichsel I_V und Hauptgestell eingespannten Rückstellfedern R_V' und R_V angespannt. Diese und etwa zwischen der Deichsel mit Vorderachse und dem Hauptgestell vorhandene Reibung suchen einmal das noch geradeaus laufende Hauptgestell gegen die Haftreibung seiner Räder auf den Schienen mit in den Bogen einzuschwenken, um den Drehzapfen D_h des hinteren Baldwin-Gestells zu „drehen“. Und falls diese Haftreibung tatsächlich überwunden wird — aber nur dann — sucht weiter das Hauptgestell über den vorderen Drehzapfen D_V die vordere Baldwin-Deichsel II_V und mit ihr die beiden Achsen 2 und 3 gegen deren Schienenreibung nach innen zu drücken. Das ist die eine Wirkung des Einschwenkens der Deichsel I_V. Die

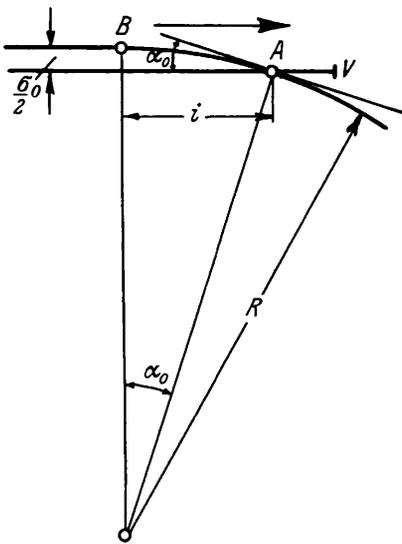


Abb. 2.

angespannten Rückstellfedern R_V' und R_V und etwa vorhandene Reibung suchen andererseits stets die sich vorne am Anlaufpunkt der Achse 1 gegen die Außenschiene seitlich abstützende Helmholtz-Deichsel I_V gegen den Gleitreibungswiderstand der Achse 1 rechts herum zu drehen und mit der Deichsel die Achse 3 gegen deren Haftreibung nach außen zu drücken. Achse 3 erleidet also stets einen nach außen und u. U. noch einen nach innen gerichteten Druck, Achse 2 u. U. einen nach innen gerichteten, — u. U., d. h. nur

dann, wenn die Haftreibung aller Hauptgestellräder überwunden wird, was in Wirklichkeit fast nie vorkommt. —

Wir wollen nun sehen, ob diese Seitendrücke auf die Achsen 2 und 3 so groß werden können, daß sie diese Achsen zum Abweichen von ihrer geraden Zulaufbahn bringen, bevor Achse 2 zum Außenanlauf kommt. Von der Reibung zwischen den Deichseln mit ihren Achsen und dem Hauptgestell sei abgesehen.

*) „Drehen“ und „Drehpunkt“ sind hier und später in folgender Weise zu verstehen. Der „Drehpunkt“ der Achse 1 und Deichsel I_V steht nicht still, sondern bewegt sich auch noch irgendwie vorwärts. Es soll sich nicht um die absolute Drehung, sondern um diejenige Drehung handeln, die Achse 1 und Deichsel I_V gegenüber der momentanen Vorwärtsbewegung der Achse 1 durch Rollen in Richtung der Längsachse der Deichsel machen. Diese Drehung können wir als „Gleitdrehung“ ansehen, d. h. wenn im „Drehpunkt“ in der Deichsel eine zu 1 parallele Achse säße, so würden ihre Räder nicht quer gleiten, sondern nur längs, etwa das Außenrad vorwärts, das Innenrad seitwärts; alle an anderer Stelle der Deichsel sitzenden zu 1 parallelen Achsen und diese selbst aber würden um diesen Drehpunkt nicht nur längs, sondern auch quer gleiten. Dieser Punkt ist genauer der „Gleitdrehpunkt“ oder „Reibungsmittelpunkt“ der Deichsel mit Achse 1. Er liegt bekanntlich auf dem vom Momentanzentrum der Bewegung dieser Teile auf ihre Längsachse oder ihre Rollrichtung gefällten Lot, im allgemeinen nicht weit vom Schnittpunkt dieses Lotes mit der Längsachse entfernt. In der weiteren Arbeit soll er stets als in der Längsachse liegend angesehen werden. Er fällt nicht immer zusammen mit dem Drehpunkt der Deichsel gegenüber dem Hauptgestell. Analog ist „Drehung“ und „Drehpunkt“ auch später zu verstehen, wo es sich nicht um die Bewegung einer Deichselachse, sondern von Hauptgestellachsen handelt.

Unter der vorläufigen Annahme, daß das Hauptgestell einschließlich Achse 2 und 3 geradeaus laufe, bis Achse 2 im Bogen außen anlauft, ergibt sich für den Augenblick 0, unmittelbar vor dem Anlaufbeginn von Achse 2, nach der schematischen Abb. 3 für die Auslenkung y₀ der Laufachse 1 aus ihrer Mittel-lage die geometrische Beziehung

$$y_0 + \frac{\sigma_0}{2} = \frac{(d - a + i)^2}{2R}$$

oder mit Berücksichtigung von Gl. 1)

$$y_0 = \frac{(d - a)^2 + 2(d - a)\sqrt{R \cdot \sigma_0}}{2R} \dots \dots \dots 3).$$

Würde das Hauptgestell früher einzuschwenken beginnen, so wäre y₀ kleiner.

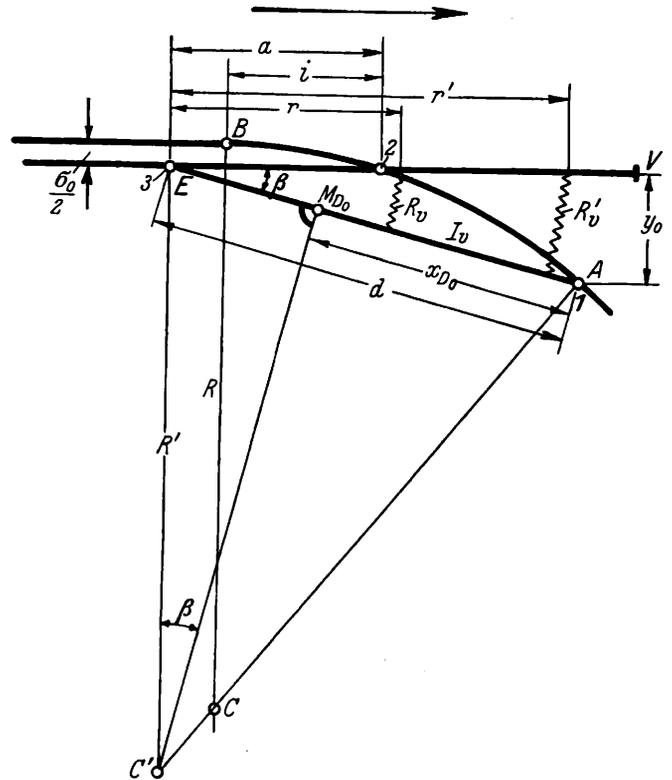


Abb. 3.

Die Rückstellfedern sollen haben die Vorspannkraft S₀' und die Federstärke p' und p, dann haben die beiden vorderen mit den aus Abb. 3 ersichtlichen Bezeichnungen bei der Auslenkung y₀ der Laufachse 1 die Spannkraften:

$$R_{V_0}' = S_0' + p' y_0 \frac{r'}{d} \dots \dots \dots 4),$$

$$R_{V_0} = S_0 + p y_0 \frac{r}{d} \dots \dots \dots 5),$$

die ebenfalls kleiner wären, wenn das Hauptgestell früher einzuschwenken begänne. Dieses und Achse 3 ist also bei Geradeauslauf dem stärksten Seitendruck durch die angespannten Federn ausgesetzt.

Zur Ermittlung der Kraft —H₃, mit der Achse 3 durch die Helmholtz-Deichsel I_V unmittelbar vor dem Anlaufbeginn von Achse 2 nach außen gedrückt wird, müssen wir zunächst die Lage des Reibungsmittelpunktes M_{D₀} der um y₀ ausgeschwenkten Laufachse 1 bei noch geradeauslaufendem Hinterende E der Deichsel I_V bestimmen. Das Momentanzentrum C' der Bewegung der Deichsel I_V in diesem Augenblick erhalten wir, indem wir in ihren Endpunkten A und E Normalen zu den Bahnen dieser Punkte oder der Achsen 1 und 3 errichten, also eine Gleisbognennormale und eine Senkrechte auf der

Hauptgestellängsachse, und diese beiden zum Schnitt bringen in C'. Das Lot C' M_{D0} von C' auf die Deichsellängsachse gibt M_{D0} mit dem Abstand x_{D0} von der Achse 1. Nach Abb. 3 ist mit großer Annäherung in Wirklichkeit:

$$\frac{R'}{R} = \frac{d}{d - a + i}$$

und

$$\sin \beta \approx \beta = \frac{d - x_{D_0}}{R'} = \frac{y_0}{d}$$

Daraus ergibt sich

$$x_{D_0} = d - \frac{d - a + \sqrt{R\sigma_0}}{2} + \frac{R\sigma_0}{d - a + \sqrt{R\sigma_0}} \cdot \frac{1}{2} \dots 6)$$

Setzen wir nun die Momentengleichung der an der Laufachse 1 mit Deichsel I_v angreifenden waagerechten äußeren Kräfte, darunter auch der Gegenkraft +H₃ und der beiden Gleitreibungswiderstände f Q₁, um das Deichselvorderende A an, so erhalten wir nach Abb. 4 allgemein, nicht nur für den fraglichen Augenblick 0:

$$-H_3 d + R_v(d - r) + R_v'(d - r') - 2 f Q_1 \frac{s^2}{\sqrt{x_{D_0}^2 + s^2}} = 0$$

und daraus

$$+H_3 = R_v \frac{d - r}{d} + R_v' \frac{d - r'}{d} - 2 f Q_1 \frac{s^2}{\sqrt{x_{D_0}^2 + s^2}} \cdot \frac{1}{d} \dots 7)$$

Mit dieser Gegenkraft wird das Deichselhinterende von der Achse 3 nach innen gedrückt. Mit gleichgroßer Kraft -H₃ drückt das Deichselhinterende auf Achse 3 nach außen. Für den fraglichen Augenblick sind natürlich für R_v', R_v und x_D die Werte der Gl. 4), 5) und 6) einzusetzen.

$$\begin{aligned} & -P_{D'} \cdot 2(a + c) + R_{v_0}'(r' + 2a + c) + R_{v_0}(r + 2a + c) - S_0'(r - c) \\ & - S_0(r - c) - 2 f Q \sqrt{(a + c)^2 + s^2} - 6 \cdot f Q s - 2 s \sqrt{(f Q)^2 - \left(\frac{H_3 - P_{D'} \cdot \frac{e}{e + c}}{2}\right)^2} = 0 \dots 8) \end{aligned}$$

Hierbei ist vorausgesetzt, daß zwischen dem Drehzapfen D_v und seinem Lager sowie zwischen den beiden Enden der Deichsel II_v und den Achsen 2 und 3 zusammen so viel Spiel ist, daß dies erst erschöpft ist, sobald sich das Hauptgestell nach Überwindung der Haftreibung seiner Räder wirklich anfängt zu drehen. Sonst läge hier statische Unbestimmtheit vor.

Dem Bestreben der beiden vorderen Federspannkkräfte R_{v0} und R_{v0}', das Hauptgestell um D_h in den Bogen einzuschwenken, widersetzen sich außer den Vorspannkkräften S₀' und S₀ der beiden hinteren Rückstellfedern die Haftreibungswiderstände f₁Q aller zehn Hauptgestell-Räder, unter der zunächst gemachten Voraussetzung, daß alle fünf Hauptgestellachsen kein Längsspiel zwischen ihren Achslagern und dem Rahmen

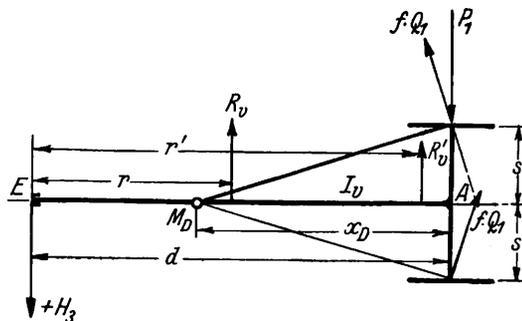


Abb. 4.

haben. Werden diese Widerstände wirklich überwunden, was fast nie der Fall ist, beginnt das Hauptgestell sich wirklich zu drehen, treten also an die Stelle der Haftreibungswiderstände f₁Q die ein wenig kleineren Gleitreibungswiderstände fQ, so besteht für den Gegendruck P_D', mit dem dann die Deichsel II_v in D_v auf das Hauptgestell im Augenblick des Drehbeginns nach außen drückt, folgende Momentengleichung der waagerechten am Hauptgestell angreifenden äußeren Kräfte um D_h (siehe die schematische Abb. 5 mit ihren Bezeichnungen):

außen drückenden H₃₀ und des quer nach innen drückenden P_{D'} · $\frac{e}{e + c}$ etwas verringert ist. Diese Gleichung hat wie gesagt nur Sinn bei positivem P_{D'}. Negatives P_{D'} würde bedeuten, daß die verschiedenen Reibungswiderstände das Hauptgestell

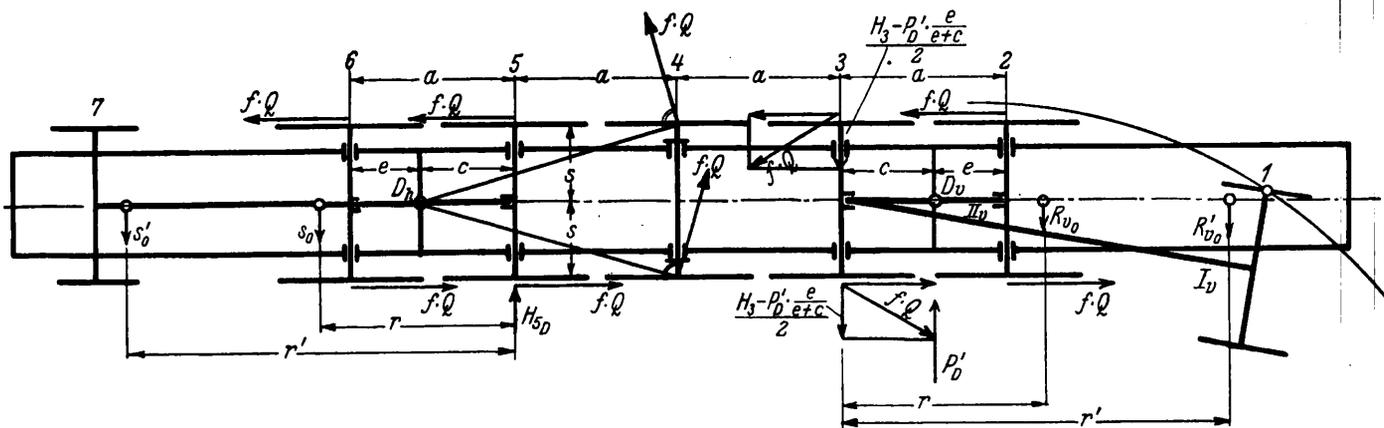


Abb. 5.

Das vorletzte Glied der Gl. 8) ist das Moment des Längsgleitwiderstandes der querverschieblichen nichtanlaufenden Achsen 2, 5, 6; die sehr kleine Verringerung des Längsgleitwiderstandes der Achse 5 durch den kleinen Rückdruck der hinteren Helmholtz-Deichsel auf Achse 5 ist vernachlässigt. Das letzte Glied ist das Moment des Längsgleitwiderstandes der nichtanlaufenden querverschieblichen Achse 2, deren Längsreibungswiderstand durch die Differenz des quer nach

als aktive Kräfte in ihrem Sinne links herum drehen, was wegen der passiven Natur der Reibung nicht möglich ist. Ergibt also Gl. 8) mit der Gleitreibungsziffer f ein negatives P_{D'}, mit der Haftreibungsziffer f₁ also ein noch stärker negatives P_{D'}, so ist der Gegendruck -P_{D'} und damit auch der Druck +P_{D'}, den das Hauptgestell nach innen auf die Baldwin-Deichsel II_v ausübt, in Wirklichkeit = 0. Das ist bei den tatsächlich vorkommenden Werten von f, f₁ und H₃₀ stets der

Fall. Das Hauptgestell übt in D_v gar keinen Druck auf die Baldwin-Deichsel aus, läuft als Ganzes gerade aus. Die sich dem Einschwenken widersetzen Haftreibung seiner Räder wird gar nicht ganz überwunden, ihr Haftschluß auf den Schienen nicht gelöst.

Kann nun der Druck $-H_{3_0}$ der Helmholtz-Deichsel I_v die Achse 3 zum Ausweichen nach außen bringen? Da das Hauptgestell sich nicht dreht, müßte $-H_{3_0}$ dazu nicht nur den vollen Haftreibungswiderstand der Achse 3, nämlich $2f_1Q$ überwinden, sondern außerdem noch über die Baldwin-Deichsel II_v den Haftreibungswiderstand von Achse 2 oder den Querwiderstand des Hauptgestells in D_v . Das ist ganz unmöglich.

Bei dieser Betrachtung war vorausgesetzt, daß nicht nur Achse 4, sondern auch die vier querverschieblichen Hauptgestellachsen 2, 3, 5, 6 kein Längsspiel zwischen ihren Achslagern und dem Rahmen haben. Ist hier etwa Längsspiel vorhanden, so widersetzen sich bis zur Erschöpfung dieses Spiels diese Achsen einer Einschwenkung des Hauptgestells nicht. fehlen in Gl. 8) die beiden letzten Glieder, kann $P_{D'}$ positiv werden, das Hauptgestell tatsächlich in D_v auf die Deichsel II_v nach innen drücken. Dieser Druck verteilt sich nach den Hebelgesetzen auf die Achsen 3 und 2. Achse 3 wird dann nach außen gedrückt durch $H_{3_0} - P_{D'} \frac{e}{c+e}$ gegen den vollen Haftreibungswiderstand $2f_1Q$, der stets viel größer als $H_{3_0} - P_{D'} \frac{e}{c+e}$ ist, und Achse 2 nach innen durch $P_{D'} \cdot \frac{e}{c+e}$ gegen den stets sehr viel größeren vollen Haftreibungswiderstand $2f_1Q$.

Also weder in dem einen noch in dem anderen Fall weichen die Achsen 2 und 3 seitlich aus, wie auch das folgende Zahlenbeispiel mit Zahlenwerten sehr ähnlich denen der ausgeführten Lokomotive zeigt. Es sei:

$f_1 \approx f = 0,2,$	$Q_1 = 8500 \text{ kg.}$	$Q = 9000 \text{ kg.}$
$p = 30 \text{ kg/mm,}$	$r = 2000 \text{ mm,}$	$e = 700 \text{ mm,}$
$p' = 7,5 \text{ ,, ,}$	$r' = 3900 \text{ ,, ,}$	$c = 950 \text{ ,, ,}$
$a = 1650 \text{ mm,}$	$s = 750 \text{ ,, ,}$	$\sigma_0 = 11 \text{ ,, ,}$
	$S_0 = 630 \text{ kg,}$	
	$S_0' = 350 \text{ kg,}$	
	$d = 4200 \text{ mm,}$	
	$R = 100 \text{ m.}$	

Dann erhalten wir

aus Gl. 1):	$i = 1,05 \text{ m,}$
„ „ 2):	$\alpha_0 = 0,0105 = 36',$
„ „ 3):	$y_0 = 59,3 \text{ mm,}$
„ „ 4):	$R_{v_0'} = 765 \text{ kg.}$
„ „ 5):	$R_{v_0} = 1480 \text{ kg.}$
„ „ 6):	$x_{D_0} = 2550 \text{ mm,}$
„ „ 7):	$H_{3_0} = 660 \text{ kg.}$

Bei gleichmäßig ohne Längsspiel anliegenden Achslagern des Hauptgestells ergibt Gl. 8) ein stark negatives $P_{D'}$, ist also in Wirklichkeit $P_{D'} = 0$. Bei etwas Längsspiel zwischen den Achslagern der Achsen 2, 3, 5, 6 und dem Rahmen ergibt sich $P_{D'} = +780 \text{ kg}$. Ohne Längsspiel in den Achslagern müßte H_{3_0} anwachsen von 660 kg auf mehr als $29000 \cdot 0,2 = 3600 \text{ kg}$, um Achse 3 nach außen und gleichzeitig Achse 2 nach innen zu verschieben. Bei etwas Längsspiel in den Achslagern wird Achse 3 nach außen gedrückt durch $660 - 780 \cdot \frac{700}{1650} = 330 \text{ kg}$ gegen den Widerstand $2 \cdot 0,2 \cdot 9000 = 3600 \text{ kg}$ und Achse 2 nach innen durch $780 \cdot \frac{950}{1650} = 450 \text{ kg}$ gegen 3600 kg . Auch in diesem Fall ist also an Ausweichen nicht zu denken.

2. Anlaufbeginn von Achse 2 bis Anlaufbeginn von Achse 3.

A. Bahn des Fahrzeugs.

Sobald nun Achse 2, kurz nachdem sie mit ihrem Außenrad in Anlaufberührung mit der Bogenaußenschiene getreten ist, von dieser zwangsweise quergleitend nach innen verschoben wird, „dreht“ sie die Deichsel II_v um einen hinter D_v liegenden „Drehpunkt“ und mit dieser das Hauptgestell von D_v aus um einen weit hinter D_v liegenden „Drehpunkt“ — in obengenanntem Sinne — rechts herum in den Bogen hinein. Damit wird — nach Erschöpfung etwa vorhandenen Längsspiels zwischen den Achslagern und dem Rahmen des Hauptgestells — der bisher nur etwas gelockerte Haftreibungsschluß der Räder des Hauptgestells auf den Schienen völlig gelöst. Infolgedessen wird nunmehr die Achse 3 schon durch den kleinsten Seitendruck seitlich gleitend verschoben, weicht sie tatsächlich unter dem Druck beider Deichseln nach außen aus. Damit weicht aber ihre ganze weitere Bewegung noch keineswegs stark von der geraden Zulaufbahn nach außen ab, wie sich aus der weiteren Betrachtung ergeben wird.

Genau läßt sich die Bahn der Achse 3 und aller übrigen Achsen des Fahrzeugs außer 2 und 1 auf dem vorliegenden Bewegungsabschnitt schwer bestimmen. Sie hängt stark ab von der Massenwirkung des Fahrzeugs. Aber die beiden gedachten „Grenzformen“ dieser Bahn, erstens bei Nichtausweichen der Achse 3 und zweitens bei stärkstmöglichem Ausweichen von Achse 3, können wir leicht rechnerisch und zeichnerisch bestimmen, wie weiter unten geschehen. Sie liegen nicht weit auseinander. Der unteren Grenze liegt die wirkliche Bahn bei Massenwirkung 0, der oberen bei größter vorkommender Massenwirkung nahe, wie die Untersuchung zeigen wird, die nicht die wirkliche Bahn des Fahrzeugs genau bestimmen, wohl aber einen Anhalt für ihre Abweichung von den genannten Grenzformen geben wird.

Die Bahn des Hauptgestells ist bestimmt durch die von zwei ihm angehörenden Punkten. Als hinteren Bestimmungspunkt wählen wir den Reibungsmittelpunkt oder Gleitdrehpunkt M des Hauptgestells. Wo liegt M bei der Drehung des Hauptgestells? Er liegt seiner Natur nach immer so, daß eine an seiner Stelle befindliche Achse nicht quergleitet. Da liegt wohl die Annahme nahe, daß der Drehzapfen D_h im hinteren Baldwin-Gestell diese Stelle habe; das ist aber nicht notwendig, weil auch die Achsen 5 und 6 dieses Gestells nach Lösung des Haftschlusses seitlich gleiten können. Wir wollen nun zunächst sehen, welchen Widerstand das hintere Baldwin-Gestell der Rechtsdrehung durch das Hauptgestell um einen in beliebigem Abstand $\pm x$ von D_h auf der Hauptgestellängsachse liegenden Punkt M entgegen gesetzt, und daraus die Lage von M bestimmen; und wir wollen weiter sehen, wie sich das hintere Baldwin-Gestell überhaupt bewegt. Liegt M hinter D_h , so muß das Hauptgestell zur Bewerkstelligung seiner Rechtsdrehung eine nach innen gerichtete Kraft P_{D_h} in D_h auf die Deichsel II_h ausüben; liegt M vor D_h , so muß das Hauptgestell eine nach außen gerichtete Kraft P_D auf die Deichsel ausüben. Außerdem drückt bei dieser Drehung die hintere Helmholtz-Deichsel I_h infolge Anspannung der beiden hinteren Federn die Achse 5 nach außen mit einer Kraft H_5 . Diesen beiden Kräften $\pm P_{D_h}$ und H_5 widersetzen sich die unter den noch unbekanntem Winkeln φ_5 und φ_5 gegen die Achsquerichtung gerichteten vier Gleitwiderstände (fQ) an den vier Radaufstandspunkten der Achsen 5 und 6, siehe Abb. 6a und 6b, in die alle diese Kräfte, d. h. alle äußeren waagerechten am hinteren Baldwin-Gestell angreifenden bis auf die längsgerichteten Achslagerdrücke, eingezeichnet sind, in Abb. 6a bei Lage von M um x hinter, in Abb. 6b bei Lage von M um

x vor D_h . Der Zapfendruck $\pm P_{D_h}$ verteilt sich nach den Hebelgesetzen auf die Achsen 5 und 6, H_5 wird durch Reibung an den Aufstandspunkten der Achse 5 aufgenommen. Wir lesen demnach aus Abb. 6a ab:

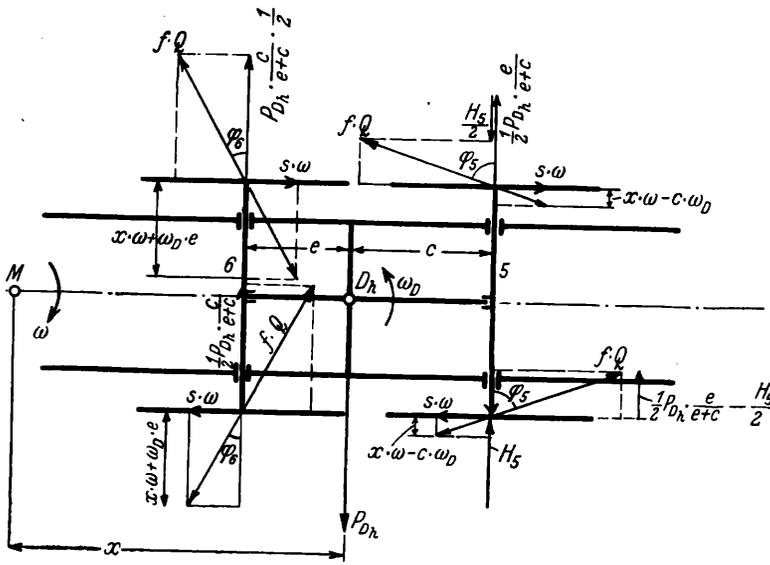


Abb. 6 a.

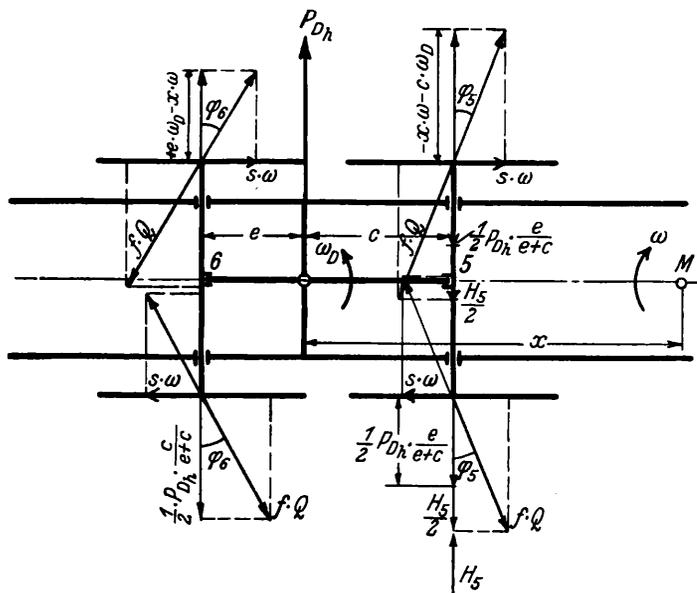


Abb. 6 b.

$$\cos \varphi_5 = \frac{P_{D_h} \cdot \frac{c}{e+c} - H_5}{2 f Q} \dots \dots \dots 9 a),$$

$$\cos \varphi_6 = \frac{P_{D_h} \cdot \frac{c}{e+c}}{2 f Q} \dots \dots \dots 10 a),$$

aus Abb. 6 b:

$$\cos \varphi_5 = \frac{P_{D_h} \cdot \frac{c}{e+c} + H_5}{2 f Q} \dots \dots \dots 9 b),$$

$$\cos \varphi_6 = \frac{P_{D_h} \cdot \frac{c}{e+c}}{2 f Q} \dots \dots \dots 10 b).$$

Bezeichnen wir weiter mit ω die rechts herum gerichtete Winkelgeschwindigkeit der Gleitdrehung des reinen Hauptgestells ohne die Baldwin-Deichseln II_v, II_h um M und mit ω_D die links herum gerichtet angenommene Winkelgeschwin-

digkeit der etwa vorhandenen absoluten Gleitdrehung der Deichsel II_h um D_h , so haben die vier Radaufstandspunkte die Längsgleitgeschwindigkeitskomponenten $\pm s \cdot \omega$ und die Quergleitgeschwindigkeitskomponenten $+x \omega + e \omega_D$ (Achse 6) bzw. $+x \omega - c \omega_D$ (Achse 5) bei Lage von M hinter D_h und $-x \omega + c \omega_D$ (Achse 6) bzw. $-x \omega - c \omega_D$ (Achse 5) bei Lage von M vor D_h , mit den in Abb. 6a und 6b eingezeichneten Richtungen. Da die resultierende Gleitbewegung dem Gleitreibungswiderstand $f Q$ an jedem Aufstandspunkt entgegengesetzt gerichtet sein muß, lesen wir aus Abb. 6a für Lage von M hinter D_h ab:

$$x \omega - c \omega_D = s \omega \operatorname{ctg} \varphi_5$$

und

$$x \omega + e \omega_D = s \omega \operatorname{ctg} \varphi_6.$$

Daraus erhalten wir

$$x = \frac{s}{c+e} (c \cdot \operatorname{ctg} \varphi_6 + e \cdot \operatorname{ctg} \varphi_5) \dots \dots 11)$$

und

$$\frac{\omega_D}{\omega} = \frac{s}{c+e} (\operatorname{ctg} \varphi_6 - \operatorname{ctg} \varphi_5) \dots \dots 12).$$

Die gleichen Ausdrücke für x und ω_D erhalten wir in gleicher Weise aus Abb. 6b für Lage von M vor D_h . Gl. 12) gibt uns an, wie sich die Baldwin-Deichsel dreht. Meistens ist ω_D viel kleiner als ω , dreht sich die Deichsel bei der Drehung des Hauptgestells nur wenig, verschiebt sie sich fast parallel zu sich.

Das Drehgestell widersetzt einer Gleitdrehung um M den Querwiderstand P_{D_h} am Hebelarm x und die vier Längswiderstände $f Q \sin \varphi$ der vier Aufstandspunkte seiner vier Räder an den Hebelarmen s. Es widersetzt sich dieser seiner Drehung daher mit dem Moment um M:

$$\mathfrak{M}_B = P_{D_h} \cdot x + 2 f Q s (\sin \varphi_5 + \sin \varphi_6) \dots 13).$$

Wir können nach diesen Gl. 9a) bis 13) für beliebige P_{D_h} und H_5 das zugehörige \mathfrak{M}_B bestimmen, indem wir zunächst φ_5 und φ_6 nach Gl. 9a) bis 10b), das zugehörige x nach Gl. 11) und schließlich das zugehörige \mathfrak{M}_B nach Gl. 13) berechnen. Jeder Lage von M gehört ein bestimmtes \mathfrak{M}_B zu. \mathfrak{M}_B ist der Beitrag des hinteren Baldwin-Gestells zum Moment \mathfrak{M} aller Rad-Gleitreibungswiderstände des Hauptgestells um M. Durch dies Moment \mathfrak{M} und die sonst etwa noch am Hauptgestell angreifenden äußeren waagerechten Kräfte wird die Lage von M festgelegt und kann in bekannter Weise, etwa nach dem Minimumverfahren, ermittelt werden. Aus der weiteren Untersuchung sei vorweggenommen, daß nur bei sehr großer Massenwirkung Punkt M auf diesem Bewegungsabschnitt wirklich aus D_h heraustritt, sonst genügend genau D_h als Gleitdrehpunkt oder Reibungsmittelpunkt des Hauptgestells angesehen werden kann.

Als vorderen Bestimmungspunkt der Bahn des Hauptgestells nehmen wir D_v , den Drehzapfen des vorderen Baldwin-Gestells. Die Bahn von D_v ist festgelegt durch die bekannte Bahn von Achse 2 und die des noch zu ermittelnden Reibungsmittelpunktes M_v der Baldwin-Deichsel II_v . Wo liegt M_v , zunächst bei Massenwirkung 0, d. h. sehr kleiner Fahrgeschwindigkeit v oder sehr großem Bogenhalbmesser R, oder beidem? Würde Achse 3 nicht nach außen ausweichen, so läge M_v bei Drehbeginn im Deichselhinterende E; da sie tatsächlich ausweicht, muß M_v davor, zwischen E und D_v , liegen, um m hinter D_v . Achse 3 wird nach außen gedrückt einmal von der Deichsel I_v mit H_3 und dann von der Deichsel II_v durch den auf Achse 3 entfallenden Teil des statischen Widerstandes P_D , den das in Drehung versetzte Hauptgestell in D_v dieser seiner Drehung entgegensetzt, d. h. durch $P_D \cdot \frac{e}{e+c}$ im ganzen durch $K_3 = H_3 + P_D \cdot \frac{e}{e+c}$. Der Deichselrückdruck

H_3 sinkt mit dem Beginn der Drehung des Hauptgestells ein wenig unter das oben ermittelte H_{3_0} , etwa auf H_{3_a} , weil x_D wie aus Abb. 3 hervorgeht, mit Vorrücken und Außen-Ausweichen der Achse 3 etwas abnimmt. H_{3_a} ist stets nur wenig

kleiner als H_{3_0} , P_{D_a} oder P_D im Augenblick a unmittelbar nach dem Drehbeginn des Hauptgestells erhalten wir aus der Momentengleichung der äußeren waagerechten am Hauptgestell angreifenden Kräfte um D_h (Abb. 5):

$$+ P_{D_a} \cdot 2(a+c) + R_{v_0}'(r'+2a+c) + R_{v_0}(r+2a+c) - S_0'(r'-c) - S_0(r-c) - 2fQ\sqrt{(a+c)^2+s^2} - 4fQs - 2s \sqrt{(fQ)^2 - \left(\frac{H_{3_a} + P_{D_a} \cdot \frac{e}{e+c}}{2}\right)^2} \approx 0 \dots\dots\dots 14a).$$

Darin rührt das letzte Glied her von der nichtanlaufenden Achse 3, das vorletzte von den nichtanlaufenden Achsen 5 und 6. In diesem Glied ist das kleine Quergleiten der Achsen 5 und 6 vernachlässigt, d. h. M in D_h und $\omega_D = 0$ angenommen.

So ist dieses Glied ein wenig zu groß. Der kleine Beitrag der Achse 2 ist vernachlässigt, weil ihr Gleitwiderstand fast ganz von der angelaufenen Außenschiene überwunden wird. Hier- nach ist

$$P_{D_a} \approx \frac{fQ}{a+c} \left\{ \sqrt{(a+c)^2+s^2} + 2s + s \sqrt{1 - \left(\frac{H_{3_a} + P_{D_a} \cdot \frac{e}{e+c}}{2fQ}\right)^2} \right\} - (R_{v_0} + R_{v_0}') - \frac{r'-c}{2(a+c)}(R_{v_0}' - S_0') - \frac{r-c}{2(a+c)}(R_{v_0} - S_0) \dots\dots\dots 14).$$

Man findet hieraus P_{D_a} schnell, indem man zunächst das P_{D_a} unter der Wurzel = 0 setzt, dafür $P_{D_a} = P_{D_{an}}$ ausrechnet und

m_a ist bei dem kleinen K_3 bei Massenwirkung 0 stets nur sehr wenig kleiner als c , M_v liegt dem Deichselhinterende E stets sehr nahe. Da bei der „unteren Grenzform“ der Hauptgestellbahn M_v mit E zusammenfällt, liegt der Beginn der wirklichen Bahn dieser „unteren Grenzform“ sehr nahe. Das gilt auch für den weiteren Verlauf der wirklichen Bahn, da dabei K_3 nicht merklich zunimmt.

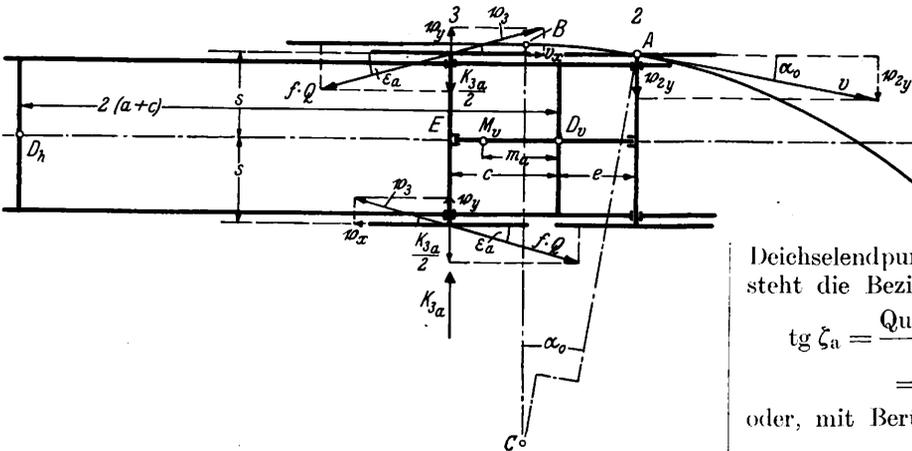


Abb. 7.

Für den Winkel ζ_a , um den der Beginn der Bahn der Mitte der Achse 3 oder des Deichselendpunktes E von der Zulaufriechung abweicht, besteht die Beziehung:

$$\text{tg } \zeta_a = \frac{\text{Quergleitgeschwindigkeit der Achse 3}}{\text{Rollgeschwindigkeit der Achse 3}} = \frac{v_y}{v_{y_0}/\alpha_0} = \text{Rollgeschwindigkeit der Achse 2}$$

oder, mit Berücksichtigung von Gl. 16) und 18):

$$\text{tg } \zeta_a \approx \zeta_a = \frac{\alpha_0}{\text{ctg } \epsilon_a \cdot \frac{c+e}{c} \cdot 2 \frac{a+c}{s} + \frac{e}{c}} \dots\dots\dots 19).$$

Dieser Winkel ist stets außerordentlich klein.

Für unser Zahlenbeispiel erhalten wir folgende Werte: H_{3_a} ist ein wenig kleiner als $H_{3_0} = 660$ kg, wir nehmen es an zu 640 kg, dann ist nach Gl. 14) $P_{D_a} = 760$ kg. Mithin wird Achse 3 zu Beginn der Drehung nach außen gedrückt mit $K_{3_a} = P_{D_a} \cdot \frac{e}{e+c} + H_{3_a} = 973$ kg; und es ist nach Gl. 15) $\sin \epsilon_a = 0,270$, $\epsilon_a = 15^\circ 40'$ und nach Gl. 18) $m_a = 912$ mm. M_v liegt also nur um $c - m_a = 950 - 912 = 38$ mm vor dem Deichselhinterende E. Weiter ist nach Gl. 19) $\zeta_a = 0,00023$ außerordentlich klein.

Die „untere Grenzform“ der Bahn des Hauptgestells und der Drehgestelle für Nicht-Ausweichen der Achse 3 von Beginn des Anlaufs der Achse 2 bis zum Beginn des Anlaufs der Achse 3 können wir punktweise in folgender Weise ange- nähert aufzeichnen, s. Abb. 8. Das Hauptgestell und die Dreh- gestelle sind durch Striche, die Achsen durch Punkte dargestellt. Wir lassen Achse 2 auf ihrer bekannten Kreisbahn ein sehr kleines Stück 2_0 bis 2_1 vorrücken, von der Ausgangsstellung 2_0 D_{v_0} 3_0 D_{h_0} aus, und lassen dabei Achse 3, in der M_v liegt, noch in der Zulaufriechung weiterlaufen, da diese Achse nicht ausweicht. Mit der Länge der Deichsel $II_{ve} + c = 2_1 3_1$ legen wir die Lage 3_1 der Achse 3 und die Lage D_{v_1} von D_v am Ende

mit einem ein wenig unter diesem Näherungswert $P_{D_{an}}$ liegenden Wert von P_{D_a} probiert.

Nun besteht für den Winkel ϵ_a , unter dem die Achse 3 aus ihrer Rollrichtung gleitend auszuweichen beginnt, die aus der schematischen Abb. 7 ablesbare Kräftebeziehung:

$$\sin \epsilon_a = \frac{H_{3_a} + P_{D_a} \cdot \frac{e}{e+c}}{2fQ} = \frac{K_{3_a}}{2fQ} \dots\dots\dots 15).$$

Die Quer- und Längsgleitgeschwindigkeiten v_y und v_x der beiden Räder der Achse 3 haben folgende aus Abb. 7 ablesbaren Ausdrücke, in Abhängigkeit von der Quergleitgeschwindigkeit v_{2_y} der Achse 2:

$$v_y = v_{2_y} \cdot \frac{c - m_a}{m_a + e} \dots\dots\dots 16).$$

$$v_x = v_{2_y} \cdot \frac{m_a}{(m_a + e) 2(a+c)} \dots\dots\dots 17).$$

Nun muß das hieraus berechnete Verhältnis

$$\frac{v_y}{v_x} = \frac{c - m_a}{m_a} \cdot 2 \frac{a+c}{s} = \text{tg } \epsilon_a \dots\dots\dots 18a).$$

sein, woraus wir erhalten

$$m_a = \frac{c}{\text{tg } \epsilon_a \cdot \frac{1}{2} \frac{s}{a+c} + 1} \dots\dots\dots 18).$$

dieses sehr kleinen Vorrückens fest, verbinden D_{v_1} mit D_{h_0} , dem M der Ausgangsstellung, durch eine Gerade, deren Richtung wir als die M-Bahn berührend ansehen, schneiden auf dieser Geraden den Punkt D_{h_1} im Abstand $D_v D_h = 2(a + c)$ von D_{v_1} ab und ziehen durch 3_1 eine Parallele a zu $D_{v_1} D_{h_1}$, so stellt diese angenähert die Richtung dar, in der sich Achse 3 von der Lage 3_1 aus weiter bewegt. Wir lassen nun Achse 2 wieder ein sehr kleines Stück vorrücken von 2_1 bis 2_2 , schneiden mit der Deichsellänge $e + c$ von 2_2 aus auf der Parallelen a zu $D_{v_1} D_{h_1}$ den Punkt 3_2 ab, ziehen $D_{v_2} D_{h_1}$, schneiden darauf von D_{v_2} mit der Länge $2(a + c)$ den Punkt D_{h_2} ab, ziehen durch 3_2 eine Parallele b zu $D_{v_2} D_{h_2}$ usw. Diese Konstruktion führen wir fort, bis die Bahn von 3 den die Außenschiene darstellenden Kreisbogen K schneidet in Stellung e , und erhalten so in dem Linienzug $D_{h_0} - D_{h_1} - D_{h_2} - D_{h_0}$ die Bahn von M, in dem Linienzug $3_0 - 3_1 - 3_2 - 3_0$ die Bahn von M_v und im Linienzug $D_{v_0} - D_{v_1} - D_{v_2} - D_{v_0}$ die Bahn von D_v . Je kleiner die Schritte, desto genauer ist die Konstruktion.

$$H_5 = R_h' \frac{d-r'}{d} + R_h \frac{d-r}{d} + 2 f Q_1 \frac{s}{d} \dots 7 a)$$

Im Gegensatz zur Deichsel I_v erhöht hier die Schienenreibung den Rückdruck. Im vorliegenden Beispiel mit $R_h' \approx S_0' = 350$ kg und $R_h \approx S_0 = 630$ kg ist $H_5 = 955$ kg, ziemlich klein. In Wirklichkeit wächst H_5 auf dem untersuchten Bewegungsabschnitt ein wenig über diesen Wert hinaus, weil R_h und R_h' ein wenig über S_0 und S_0' anwachsen. Für diesen Wert von H_5 und $x = 0$ ergibt sich aus den G. 9), 9 b), 10), 11) und 12) ein $\omega_D \approx 0$; d. h. die Bahnen von Achse 5 und 6 sind der von D_h nahezu parallel.

Die „obere Grenzform“ der Bahn des Hauptgestells bei größter überhaupt denkbarer Massenwirkung bis zu dem Augenblick, in dem das Außenrad der Achse 3 mit der gebogenen Außenschiene in Anlaufberührung tritt, erhalten wir auf folgende Weise: Je größer der Massenwiderstand des in den Bogen eingeschwenkten Hauptgestells wird, desto stärker weicht Achse 3 nach außen aus, und desto mehr rückt M_v an D_v heran, desto größer werden ε und ζ und desto kleiner wird

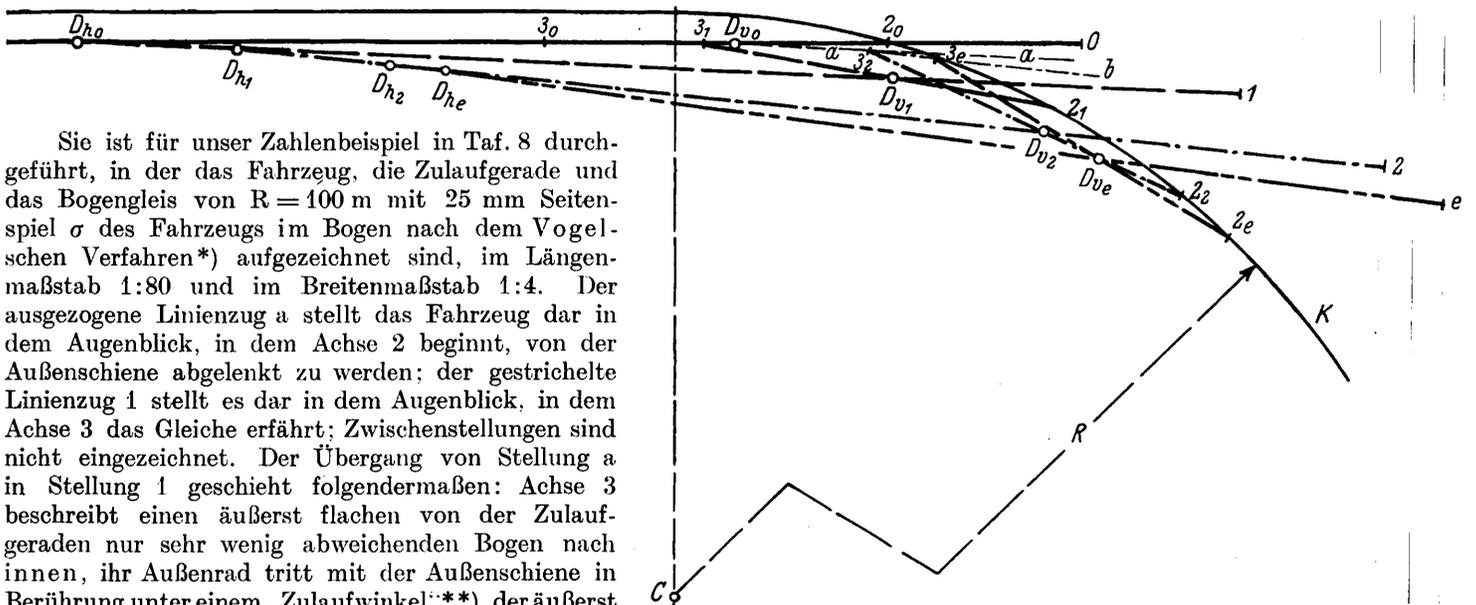


Abb. 8.

Sie ist für unser Zahlenbeispiel in Taf. 8 durchgeführt, in der das Fahrzeug, die Zulaufgerade und das Bogengleis von $R = 100$ m mit 25 mm Seitenspiel σ des Fahrzeugs im Bogen nach dem Vogelschen Verfahren*) aufgezeichnet sind, im Längenmaßstab 1:80 und im Breitenmaßstab 1:4. Der ausgezogene Linienzug a stellt das Fahrzeug dar in dem Augenblick, in dem Achse 2 beginnt, von der Außenschiene abgelenkt zu werden; der gestrichelte Linienzug 1 stellt es dar in dem Augenblick, in dem Achse 3 das Gleiche erfährt; Zwischenstellungen sind nicht eingezeichnet. Der Übergang von Stellung a in Stellung 1 geschieht folgendermaßen: Achse 3 beschreibt einen äußerst flachen von der Zulaufgeraden nur sehr wenig abweichenden Bogen nach innen, ihr Außenrad tritt mit der Außenschiene in Berührung unter einem „Zulaufwinkel“**), der äußerst wenig kleiner als der Anlaufwinkel α_0 der Achse 2 ist. Das Hauptgestell dreht sich nur um einen kleinen Winkel mit kleinem ω , Deichsel I_v um einen erheblich größeren, Deichsel II_v um einen dazwischenliegenden. Die Federn R_v und R_v' werden ziemlich stark angespannt. D_h beschreibt ebenfalls einen sehr flachen, von der Zulaufgeraden nur sehr wenig nach innen abweichenden, Bogen.

Die hintere Helmholtz-Deichsel I_h dreht sich, wie sich leicht nachweisen läßt, nahezu genau um die hintere Laufachse 7. Diese beschreibt einen äußerst flachen Bogen nach innen. Für den Rückdruck H_5 , mit dem die Deichsel I_h die Achse 5 nach außen drückt, ähnlich wie die Deichsel I_v die Achse 3 [s. Gl. 3)], erhalten wir aus der Momentengleichung der an ihr angreifenden waagerechten äußeren Kräfte um den Reibungsmittelpunkt der Deichsel, d. h. die Mitte der Laufachse 7, den Ausdruck:

m. Bei größter denkbarer Massenwirkung wird $\varepsilon \approx 90^\circ$, und $m \approx 0$, und $\zeta \approx \alpha_0 \cdot \frac{c}{e}$. Dann fährt das Hauptgestell mitsamt seinen beiden hinteren Deichseln bis zum Anlaufbeginn von Achse 3 fast geradeaus und dreht sich Deichsel II_v nahezu um ihren Drehzapfen D_v , wird dieser fast gar nicht nach innen querbeschleunigt, bis die scharf nach außen ausweichende Achse 3 mit ihrem Außenrad unter einem Zulaufwinkel γ_3 mit der Außenschiene in Anlaufberührung tritt, entweder noch im geraden Zulaufgleis oder schon im Bogen (s. Abb. 9 und 10).

Im ersten Fall, der meistens vorliegen dürfte, erhalten wir den Fortschrittsweg x_a des Fahrzeugs von Ablenkbeginn der Achse 2 bis zum Anlaufbeginn der Achse 3, die zugehörige Ablenkung y_2 der Achse 2 und den Zulaufwinkel γ_3 der Achse 3 aus den aus Abb. 9 ablesbaren Beziehungen:

$$y_2 = \frac{\sigma_0}{2} \cdot \frac{c}{e} \dots \dots \dots 20),$$

$$i + x_a = \sqrt{2 R \left(\frac{\sigma_0}{2} + y_2 \right)} \text{ oder, unter Berücksichtigung von Gl. 1) und 20)}$$

$$x_a = \sqrt{\sigma_0 R \left(\sqrt{\frac{e+c}{c}} - 1 \right)} \dots \dots \dots 21),$$

*) Vogel: Zeichnerische Untersuchung der Bogenbeweglichkeit von Eisenbahnfahrzeugen. Org. Fortschr. Eisenbahnwes. 1926, Seite 354.

**) Mit „Zulaufwinkel“ wollen wir den Winkel bezeichnen, unter dem das Rad beim Anlaufbeginn auf die angelaufene Schiene zuläuft, auf diese auftrifft. Er ist nur dann gleich dem Anlaufwinkel α , dem Winkel zwischen der Rollrichtung der Räder und der Schiene, wenn das Rad unmittelbar vor dem Anlaufbeginn auf die Schiene zu rollt oder längsgleitet, aber nicht quergleitet.

umlaufs wurde die Bildung von Eingruppenzügen, wie die Vermehrung und Beschleunigung der Nahgüterzüge weiter ausgebaut. Die Zahl der eingesetzten Kleinlokomotiven ist von 1127 auf 1170 gestiegen. — Personenverkehr: Im Gesamtpersonenverkehr des Altreichs wird die Zahl der beförderten Personen etwa um 7,5% und die Zahl der Personenkilometer etwa um 8,0% über den Ergebnissen des Jahres 1937 liegen. Mit etwa 54,1 Mia. (50,096) geleisteten Personenkilometer steht das Jahr 1938 an der Spitze aller Jahrgänge. Die mittlere Reiseweite stieg auf 27,9 km (27,7). 72,5% (71,6%) aller Reisenden wurden zu ermäßigten Sätzen befördert. Die Einnahmen aus dem Verkehr zu ermäßigten Tarifen machten etwa 60,1% (58,5%) der Gesamteinnahmen des Personen- und Gepäckverkehrs aus. Die Einnahme aus diesem Verkehr auf ein Personenkilometer ist seit langen Jahren erstmals wieder leicht angestiegen und wird etwa 2,38 *Rpf* (2,37). Die mittlere Reiseweite im allgemeinen Verkehr ohne Nahbahnen wird mit etwa 34,5 km um 0,9% unter dem Vorjahrswert liegen. Hier wirken sich die notwendig gewordenen Beschränkungen in der Gestaltung der vorwiegend über weite Entfernungen verkehrenden Reisezüge aus. Im Reisezugdienst sind die D- und Eilzüge wesentlich vermehrt worden. In der Regel wurden solche D-Züge, die aus mehreren Gruppen bestanden, in mehrere selbständige D-Züge aufgeteilt. Im Fernverkehr hat der weitere Ausbau des Schnelltriebwagenetzes die Aufnahme der Verbindungen Hamburg—Karlsruhe und Wilhelmshaven—Berlin ermöglicht. Den Bemühungen um die weitere Steigerung oder doch Beibehaltung der Reisegeschwindigkeit der Züge stand die Zunahme des Reiseverkehrs hemmend im Wege. Die mittlere Reisegeschwindigkeit aller D-Züge sank auf 65,03 km/h (65,4). Im Nahverkehr wurde weiter an der Auflockerung und der Verdichtung des Reisezugfahrplans gearbeitet. Die Züge des Ruhrschnellverkehrs sind beinahe stets bis an die Grenze ihrer Aufnahmefähigkeit ausgelastet. Die Motorisierung des Eisenbahnverkehrs auf den Nahbahnen schreitet weiter voran. Ende des Jahres wurden im gesamten Reichsbahnbereich 44,4 Mio. Zugkilometer = 7,8% (7,7%) der Zugkilometerleistungen im Personenverkehr durch Triebwagen mit eigener Kraftquelle gefahren. Die Bestrebungen zur Erhöhung der Höchstgeschwindigkeit auf Nebenbahnen wurden im Altreich fortgesetzt. Mit oben angeführten, in die Reichsbahn eingegliederten Strecken stieg die Betriebslänge der vollspurigen Nebenbahnen im Altreich auf rund 23300 km. Davon wurden betrieben mit einer Höchstgeschwindigkeit von 41 bis 50 km/h 52,6% (53,7%), von 51 bis 60 km/h 25,8% (25,1%) und von über 60 km/h 1,9% (1,8%). — Kraftwagenverkehr: Bei den verschiedenen großen Verkehrsaufgaben im Jahre 1938 hat der Einsatz der Reichsbahnkraftwagen die vielfältigen Möglichkeiten und Vorteile einer organischen Zusammenarbeit zwischen Schiene und Kraftwagen unter Beweis gestellt. Dies zeigte sich besonders nach der Besetzung des Sudetenlandes, wo 200 Omnibusse und 100 Lastzüge zur Befriedigung der Verkehrsbedürfnisse eingesetzt wurden. Im Kraftfahrlinienverkehr des Altreichs hat die Zahl der beförderten Personen weit über die allgemeine Verkehrssteigerung hinaus um 85,1% zugenommen. Die Gesamtzahl der Reichsbahn-Kraftomnibuslinien stieg von 60 auf 86, teilweise als Ersatz für den Schienenverkehr wie z. B. nach den Reichswerken Hermann Göring u. a. O. In der Ostmark liefen in dem von der Reichsbahn übernommenen Betrieb „Kraftwagenbetrieb der Österreichischen Bundesbahnen G. m. b. H.“ Ende 1937 234 Omnibusse auf insgesamt 70 Kraftomnibuslinien mit einer Länge von 2639 km. Im letzten Jahr hat die Gesellschaft ihren Wagenbestand auf 274 erhöht und weitere 18 Kraftomnibuslinien mit einer Linienlänge von 799 km in Betrieb genommen. — Betrieb im einzelnen: 1. Lokomotiv- und Triebwagenbetrieb. Die durchschnittliche Leistung einer Dampflokomotive zwischen zwei Untersuchungen betrug rund 130000 km (124000). Der Ausbesserungsstand der Dampflokomotiven betrug 14,4%. Der Brennstoffverbrauch der Dampflokomotiven betrug auf 1000 Lokomotivkilometer 14,32 t (14,20 t). Auf geleistete Betriebsbruttotonnenkilometer bezogen, lag er um 1,4% höher als im Vorjahr, da die Auslastung der Güterzüge etwas geringer war. Die Zahl der Triebwagen mit eigener Kraftquelle stieg um 80 Stück. Zwei- und dreiteilige Schnelltriebwagen sind auf den Strecken Berlin nach Köln, München, Hamburg, Beuthen usw. eingesetzt. 2. Elektrischer Betrieb. Infolge der verschiedenen Bahneingliederungen ist die Betriebslänge der elektrischen Zugförderung

auf rund 3290 (2287) Streckenkilometer, gleich etwas mehr als 5% der Streckenlänge des heutigen gesamten Netzes der Reichsbahn gestiegen. Durch die Eingliederung der österreichischen Linien gingen vier große bahneigene Wasserwerke und eine ansehnliche Zahl von Unterwerken in den Besitz der Reichsbahn über. Die Einrichtung elektrischer Zugförderung auf den Strecken Nürnberg—Halle/Leipzig, Stuttgart—Zuffenhausen—Weil der Stadt, Salzburg—Attnang—Puehheim nahm ihren Fortgang. Genehmigt wurde die Elektrisierung der rund 12 km langen Vorortlinie der Berliner S-Bahn Priesterweg—Mahlow, sowie der 9,5 km langen Strecke Blankenese—Wedel bei Hamburg. Am Jahresende beträgt die Gesamtlänge der im Ausbau befindlichen Strecken rund 470 km. Im Kraftwerk Muldenstein wird im Frühjahr 1939 die erste neue Bahnmaschine in Betrieb genommen. Fern- und Fahrleitungen wurden weiter ausgebaut. Für die Umstellung der Hamburger Stadt- und Vorortbahn sind Gleichrichter-Unterwerke im Bau. Bei der Berliner S-Bahn wird die Erhöhung der Spannung an der Stromschiene von 800 auf 900 V in Verbindung mit einer selbsttätigen Regelung der Spannung, wodurch eine Verkürzung der Fahrzeiten und eine Einsparung im Energieverbrauch erreicht werden wird, vorgenommen. Der Bau des Kraftwerkes Stubach II wird möglichst gefördert, der Bau von Kupplungen in den Fern- und Fahrleitungen in Bayern und der Ostmark wurde angeordnet. Die Ergänzung des Mallnitz-Kraftwerkes mit einem Maschinensatz wurde genehmigt. Zu den sechs Meßwagen des Elektrotechnischen Versuchsamts in München-Freimann ist ein siebenter getreten, der mit den neuesten Meßeinrichtungen für die Untersuchung elektrischer Fahrzeuge bei Geschwindigkeiten bis zu 200 km/h ausgestattet ist.

2. Bauwesen.

A. Bautätigkeit. Durch die Bahneingliederungen sind zu den durch erhöhte Betriebsleistungen ohnehin gesteigerten Bauaufgaben neue größeren Umfanges hinzugekommen. Neben einer Reihe von Bahnhofserweiterungen mußte die Strecke von Passau nach Wels ein zweites Gleis erhalten, mit dem Bau eines neuen Verschiebebahnhofs in Wels begonnen werden. Mit den Bauarbeiten für die Umgestaltung der Bahnanlagen in Berlin und München wurde begonnen. Die Neubauten zur Strecke Hannover—Celle, der dem Erzverkehr dienenden Strecke (Elfte) Häverstäd—Minden, der festen Rheinbrücken bei Speyer und Maxau mit den anschließenden Streckenverlegungen wurden in Betrieb genommen. Die Arbeiten an der Nordsüd-S-Bahn wurden nachdrücklich vorangetrieben. Der Ausbau von verschiedenen zwei-, drei- und viergleisigen Strecken konnte weitergeführt werden, so besonders die für den viergleisigen Ausbau Köln—Düsseldorf—Dortmund. Bei der Hamburger Umgehungsbahn Billwärder—Eidelstedt wurde der Güterbahnhof Hamburg-Lockstedt in Betrieb genommen. Eine Reihe von Bahnhofsum- und -erweiterungsbauten wie in Plauen, Zwickau, Chemnitz, Duisburg usw. wurde aufgenommen. Bei der Berliner Stadtbahn schritten die schwierigen Arbeiten am Bahnhof Zoologischer Garten und Friedrichstraße wesentlich fort. Dasselbe gilt für die Umgestaltung der Düsseldorfer Bahnanlagen. Verschiebebahnhöfe mußten zur Steigerung ihrer Leistungsfähigkeit erweitert werden. Der Unterhaltung und Erneuerung der Hochbauten wurde auch wieder besondere Aufmerksamkeit gewidmet. An etwa 70 Empfangsgebäuden wurden Umbau- oder Erweiterungsbauten ausgeführt. Zahlreiche Stellwerksbauten wurden ausgeführt, Erweiterungen von Ausbesserungswerken aufgenommen. — B. Bahnunterhaltung. Die Bahnkörper wurden verbessert, bei einer Reihe von Tunneln Dichtungs- und Erneuerungsarbeiten durchgeführt. Bei dem Schlichterner Tunnel und dem Kaiser-Wilhelm-Tunnel bei Kochem wurden besondere Entlüftungsanlagen zur Minderung der Rauchbelästigung eingebaut. Etwa 400 Wegübergänge wurden beseitigt. An 110 Kreuzungen zwischen Reichsbahnstrecken und Reichsstraßen wurden Warnlichtanlagen aufgestellt. An einer großen Zahl von Wegübergängen wurde die Sichtbarkeit der Schranken durch Einbau von Breitbehang und Scheinwerferleuchten wesentlich erhöht. Im Oberbau wurden insgesamt rund 1000 km Gleise und 6000 Weicheneinheiten erneuert. Eine Anzahl Linienverbesserungen wurden vorgenommen. Der Erhöhung der Fahrgeschwindigkeiten dienen vor allem die neuen Konstruktionen einer doppelten Reichsbahn-Kreuzungsweiche mit 500 m Halbmesser und einer Flachkreuzung der Neigung 1:18,5 mit gesteuerten Herzstückspitzen. Die Wiederverwendung altbrauchbarer Stoffe und ihre

Aufarbeitung wurde weitgehend geregelt, die Zahl der Schweißtrupps vermehrt, die die abgefahrenen Weichteile und die Schienen mit Schleuderstellen durch Auftragsschweißung wieder vollwertig machen. Im Brückenbau wurden wegen der Stahlknappheit die stahlsparenden Bauweisen gefördert und angewendet. Dem Sondergebiet des Werkstoffes Stahl St 52 und seiner Verschweißbarkeit wurde größte Beachtung entgegengebracht. — C. Sicherungs- und Fernmeldeanlagen. Veraltete und abgenutzte Stellwerke wurden durch mechanische der Einheitsform oder durch elektrische Kraftstellwerke — darunter eine Anzahl Mehrreihenstellwerke — ersetzt. Zur Verdichtung der Zugfolge und Steigerung der Leistungsfähigkeit wurden an vielen Stellen längere Streckenblockabschnitte durch Errichtung neuer Blockstellen unterteilt. Auf der Berliner S-Bahn wurden über 40 km Bahnstrecken mit selbsttätiger Streckenblockung nach den neuesten technischen Gesichtspunkten ausgerüstet. Durch mannigfache Maßnahmen wurden auf vielen Bahnhöfen die Sicherheit erhöht und die Betriebsabwicklung erleichtert. Zur Erhöhung der Fahrgeschwindigkeit auf zahlreichen Schnellzugstrecken wurden die Abstände der Vorsignale vom zugehörigen Hauptsignal auf 1000 m vergrößert und hierbei Vorsignale mit Zusatzflügel eingeführt. Zugbeeinflussungseinrichtungen wurden weiter eingebaut, auch an Wegübergängen zur Überwachung der Schrankenschließung.

3. Fahrzeuge.

Dampflokomotiven und Kleinlokomotiven: Dampflokomotiven der Einheitsbaureihen 41, 44, 86 wurden in größerer Zahl beschafft. Eine kleinere Anzahl einer neuen leistungsfähigen 1' E-Güterzuglokomotive für Nebenbahnen wurde in Auftrag gegeben. Die Durchbildung einer neuen 1' C 1'-Personenzuglokomotive wurde eingeleitet. Der Auftrag zur Entwicklung einer 1' Do 1'-Stromlinien-Schnellzuglokomotive mit Einzelachsantrieb wurde erteilt. Die Versuchsfahrten mit der Kohlenstaub-Stromlinien-Schnellzuglokomotive 05,003 wurden fortgesetzt. Eine Lokomotive der Baureihe 38¹⁰⁻⁴⁰ (P 8) mit Tolkien-Steuerung wurde eingehend erprobt. Die 2' B 2'-Diesellokomotive mit unmittelbarem Antrieb der Humboldt-Deutz-Motoren-G. m. b. H. wurde auf Wunsch der Eigentümerin mit dem Lokomotivmeßwagen untersucht. Versuche an Kleinlokomotiven mit Sauggasanlagen wurden fortgesetzt. Wichtige Untersuchungen über die Laufeigenschaften von Lokomotiven und anderen Fahrzeugen bei verschiedenen Geschwindigkeiten usw. wurden mit dem Schwingungsmeßwagen durchgeführt. Die Lagerschmiereinrichtungen wurden bei den Dampflokomotiven planmäßig verbessert. Ein neuer stählerner Lokomotivmeßwagen, der hauptsächlich für Versuchsfahrten bei höheren Geschwindigkeiten (120 km/h und mehr) bestimmt ist, wurde angeliefert. Zur Zeit wird ein zweiter Meßwagen für Wärme- und Energiewirtschaft hergerichtet. — Elektrische Lokomotiven und Triebwagen für Fahrleitungen. In Betrieb genommen wurden 24 elektrische Lokomotiven, ferner vier Steuerwagen für die Stuttgarter Nahbahnen sowie etwa 45 Zug-einheiten (bestehend aus je einem Trieb- und einem Beiwagen) für die Berliner S-Bahnen. Eine der beiden von der AEG. gebauten schweren Schnellzuglokomotiven 1' Do 1', E 19 für 180 km/h Höchstgeschwindigkeit konnte gegen Ende des Jahres dem Versuchsbetrieb zugeführt werden. In Auftrag gegeben wurden insgesamt 61 elektrische Lokomotiven, und zwar 44 Lokomotiven (vier Schnellzuglokomotiven 1' Do 1', E 18, sieben Personen- und Güterzuglokomotiven Bo' Bo' E 44 und 33 Güterzuglokomotiven Co' Co', E 94) auf Grund des normalen Beschaffungsprogramms 1939 und 17 Lokomotiven (acht Güterzuglokomotiven Bo' Bo' [alte österr. Bauart 1170,200], zwei Güterzuglokomotiven D, E 61 [frühere österr. Bauart 1070,100] und sieben Personen- und Güterzuglokomotiven

Bo' Bo', E 44) im Rahmen eines sogenannten Überbrückungs-auftrages an die österreichische Elektroindustrie. — Triebwagen mit eigener Kraftquelle. Neben einer Anzahl zwei- und vierachsiger Triebwagen für Neben- und Schmalspurbahnen sind geliefert worden: Acht zweiteilige diesel-elektrische Eilzug-Triebwagen mit zweimal 410 PS Maybach-Motoren, die ursprünglich für den Ruhrverkehr vorgesehen waren, 14 dreiteilige diesel-elektrische Schnelltriebwagen mit zweimal 600 PS Maybach-Auflademotoren, mit verlängerten Wagenkästen und Einzeldrehgestellen an Stelle von Jakobs-Drehgestellen. Die Fahrzeuge haben geschlossene Abteile mit Seitengang und einen Speiseraum mit Küche und Anrichte. In gleicher Weise sind ausgerüstet zwei angelieferte vierteilige diesel-elektrische Schnelltriebwagen, bei denen die gesamte Kraftmaschinenanlage in dem Endwagen (Maschinenwagen) zusammengefaßt ist. Ein dreiteiliger Schnelltriebwagen Bauart „Kruckenberg“ mit 2 x 600 PS Maybach-Auflademotoren und besonderen baulichen Vorschlägen wird demnächst im Versuchsbetrieb auf seine Zweckmäßigkeit eingehend geprüft werden. Versuche mit einem Schwelkoksdampftriebwagen, bei dem der Braunkohlenschwelkok auf einem besonders entwickelten Pilzrost verbrannt wird, sind noch nicht abgeschlossen. — Personen- und Güterwagen. Die D-Zugwagen wurden in windschnittiger Form beschafft. Zur Verbesserung der Laufeigenschaften wurden ausgedehnte Betriebsversuche mit ölgedämpften Schraubenfedern und mit durch Lenker im Drehgestell geführten Achsen durchgeführt. Versuchs-D-Zugwagen im Leichtbau wurden in Betrieb genommen, bei denen das Gewicht trotz größter Festigkeit auf unter 30 t gebracht ist. Die vierachsigen Durchgangswagen für Eilzüge werden in Zukunft mit geschlossenem Faltenbalg ausgerüstet. Die Entwicklung von Güterwagen für höhere Geschwindigkeiten wurde fortgesetzt. Neue offene Güterwagen (Omm) mit einem Ladegewicht von 27,5 t wurden erprobt. Die Entwicklung der Hikss-Bremse für besonders schnellfahrende Züge wurde vorläufig abgeschlossen. Ein größerer Teil der neu zu beschaffenden D-Zugwagen kann nunmehr mit dieser Bremse ausgerüstet werden. Ein vollautomatisches Führerbremsventil ist für einen größeren Betriebsversuch reif. Brauchbare Beläge aus Heimstoffen für Trommelbremsen, ein leichter Ringfederpuffer ohne Ausgleichgestänge wurden entwickelt. Die neu zu beschaffenden Personenwagen erhalten Rollenlager. — Straßenkraftfahrzeuge. Ende des Jahres war der Bestand an Lastkraftwagen 2150 Stück. Der Bestand an Schnellreisewagen betrug 120 Stück, an Überlandreisewagen 80 Stück, an Anhängern 1600 Stück. Ein regelmäßiger Verkehr mit Straßenfahrzeugen für die Beförderung von Eisenbahnwagen (Bauart Culemeyer) hat aufgenommen und besteht jetzt in 28 deutschen Orten. Eine wesentliche Bauartverbesserung und Vereinfachung wurde durch die Entwicklung des einteiligen Straßenfahrzeugs mit zwölf außenliegenden Rädern erzielt. Das Fahrzeug hat gegen das bisherige zweiteilige Bauart nur eine Fahrschienenhöhe von 310 mm. — Werkstätten. Durch Überzeitarbeit und Verstärkung der Gefolgschaft gelang es, den Schadgüterwagenbestand für die Zeit der Höchstbeanspruchung auf etwa 2,7% zu halten. Die Wagenabteilung im Reichsbahn-Ausbesserungswerk wurde wegen des hohen Arbeitsanfalls wieder in Betrieb genommen. — Stoffwirtschaft. Zahlreiche Untersuchungen wurden in den verschiedenen Versuchsanstalten durchgeführt. So wurde u. a. Art und Umfang der Kalthärtung der Radreifen, starke Korrosionsschäden an einer Feuerbuchse aus Izzet-Stahl, die Verschleißbarkeit von Leichtmetallen und ihren Legierungen und von dem Stahl St 52 untersucht. Das in Göttingen entwickelte Gießverfahren für die Herstellung von Zwei- und Dreistofflagern ist bei einer Anzahl von Lagerausgüssen angewendet und in allen Fällen für gut befunden worden.

Lokomotiven und Wagen.

2' C1' h 4-Schnellzuglokomotiven der London, Midland und Schottischen Bahn.

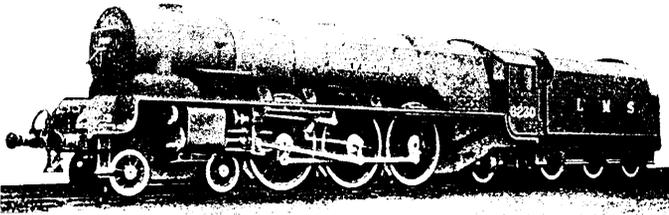
Die LMS-Bahn hat zehn neue 2' C1' h 4-Schnellzuglokomotiven in Dienst gestellt. Fünf davon besitzen Stromlinienverkleidung und entsprechen mit geringen Änderungen den schon früher beschriebenen Lokomotiven der „Coronation“-Bauart*). Die übrigen fünf sind wieder ohne Stromlinienform gebaut. Die

*) Org. Fortschr. Eisenbahnwes. 1938, S. 150.

Textabbildung zeigt diese sehr leistungsfähige Lokomotive. Ihre Hauptabmessungen sind:

Kesselüberdruck	17,6 at
Zylinderdurchmesser	4 x 413 mm
Kolbenhub	711 mm
Verdampfungsheizfläche	260,5 m ²
Heizfläche des Überhitzers	79,5 m ²
Heizfläche im Ganzen — H	340,0 m ²
Rostfläche	4,65 m ²

Durchmesser der Treibräder	2057 mm
Dienstgewicht der Lokomotive	106,4 t
Reibungsgewicht der Lokomotive	68,0 t



2' C 1' h 4-Schnellzuglokomotive der LMS-Bahn.

Dienstgewicht des Tenders	57,2 t
Größte Zugkraft	18100 kg
H:R	73
(Rly. Gaz., Juni 1938.)	R. D.

Versuchsschnellfahrten mit 1000 t-Zug.

Von der Forschungsabteilung der Vereinigung der Amerikanischen Bahnen (AAR) sind Versuchsfahrten mit 1000 t schweren Dampfzügen über die Strecken der Pennsylvania-, der Chicago- und Nordwest- sowie der Union Pacific-Bahn durchgeführt worden. Hierbei erreichten die aus 16 schweren Wagen zusammengesetzten Züge Geschwindigkeiten von 165 km/h und gaben damit wertvolle Aufschlüsse und Erfahrungen über den Lokomotivbetrieb und Zugwiderstand im oberen Geschwindigkeitsbereich, wie sie sonst anderswo nicht zu erzielen sind. Die Versuche fanden Anfang Oktober 1938 auf den Strecken Fort Wayne—Chicago (Pennsylvania), Chicago—Omaha (Chicago und Nordwest) und Omaha (Neb.)—Grand Island (Union Pacific) statt. Bei der Pennsylvania-Bahn benutzte man 2' C 1'-Lokomotiven der Klasse K 4 S, die 1924 gebaut waren und bei einem Kesseldruck von 14,3 kg/cm² und einem Treibraddurchmesser von 2032 mm etwa 20000 kg Zugkraft erzielen. Auf der Fahrt in westlicher Richtung erreichte der Zug 145 km/h und es konnten alle Versuchsdaten ermittelt werden. Hierbei ereignete sich bei einer Geschwindigkeit von 140 km/h ein Unfall derart, daß bei der Lokomotive ein Teil des Indikatorantriebes auf der rechten Seite brach, in die Steuerung geriet und einen Schaden an der Schwinge herbeiführte. Durch eine Ersatzmaschine konnte der Zug ohne weitere Störung nach Chicago gebracht werden. Auf der Strecke der Chicago- und Nordwest-Bahn wurde dem Versuchszug eine neue Stromlinienlokomotive Klasse E 4 mit der Achsfolge 2' C 2' vorgespannt, die bei 21 kg/cm² Kesseldruck und 2135 mm Treibraddurchmesser etwa 25000 kg Zugkraft entwickelte. Für Hin- und Rückfahrt wurden Lokomotiven mit Kolbenschiebern verschiedener Größe eingesetzt und Geschwindigkeiten bei Verwendung des kleineren Schiebers bis 156 km/h auf leicht fallender Strecke erreicht. Die Union-Pacific-Bahn verwendete eine vor Jahresfrist gebaute 2' D 2'-Lokomotive, die mit einem Kesseldruck von 21 kg/cm² und 1956 mm großen Treibrädern etwa 28500 kg Zugkraft entwickelt. Auf der Fahrt von Grand Island in östlicher Richtung kam der Zug auf leicht fallender Strecke bis zu einer Geschwindigkeit von 165 km/h. Die Versuchsfahrten sollten zunächst nicht dazu dienen, die verschiedenen Lokomotivtypen an sich zu vergleichen, als vielmehr wirklichkeitsgetreue Daten für die Gestaltung von Lokomotiven zu gewinnen, die modernen Betriebserfordernissen am besten entsprechen. Wenn die Versuchsfahrten im einzelnen ausgewertet sind, soll ein ausführlicher Versuchsbericht zur Unterrichtung der Eisenbahnen wie auch der Lokomotivbauer erscheinen. E. v. Kirchbach.

(Rly. Age, 22. Oktober 1938.)

Versuchsfahrten mit den 2' C 1' h 2-Schnellzuglokomotiven der Eisenbahnen von Elsaß und Lothringen.

Mit den schon früher besprochenen 2' C 1' h 2-Lokomotiven der Eisenbahnen von Elsaß und Lothringen*) sind längere Zeit hindurch Versuchsfahrten durchgeführt worden. Die Versuchszüge setzten sich dabei zusammen aus einem Meßwagen und zwei

*) Org. Fortschr. Eisenbahnwes. 1925, S. 447.

Bremslokomotiven der Achsanordnung 2' C. Das Ergebnis war, daß die Lokomotiven zwar in ihrem Maschinenteil befriedigend gearbeitet haben, daß aber andererseits der Wirkungsgrad des Kessels zu wünschen übrig ließ.

Die bei den Versuchsfahrten verfeuerte Kohle hatte einen Heizwert von 7350 kcal. Mit ihr konnte bei einer sehr niederen Rostbeanspruchung von 380 bis 400 kg/m²-h und einem Kesselüberdruck von 20 at ein Kesselwirkungsgrad von nur 66% erreicht werden. 22,5% des verfeuerten Heizwertes gingen mit den Abgasen verloren. Der Unterdruck in der Rauchkammer betrug dabei 106 bis 114 mm Wassersäule. Man führt den schlechten Wirkungsgrad des Kessels darauf zurück, daß der Verbrennungsraum über dem 4,5 m² messenden Rost nicht geräumig genug sei, um eine vollständige Verbrennung zu ermöglichen. Dazu ist allerdings zu bemerken, daß die neueren 2' C 1'-Schnellzuglokomotiven der Deutschen Reichsbahn, mit denen die Versuchslokomotiven manche Ähnlichkeit haben, auch hinsichtlich des Verbrennungsraumes entsprechende Verhältnisse haben dürften, ohne zu denselben schlechten Ergebnissen zu kommen.

Die Lokomotiven besitzen Caprotti-Steuerung mit senkrecht angeordneten Doppelsitzventilen von 200 mm Durchmesser. Bei einem gleichbleibenden Dampfverbrauch von 13500 kg/h wurden Geschwindigkeiten von 60,75, 90, 100 und 110 km/h mit Füllungen von 20, 16, 14, 13 und 12% gefahren. Der Regler war dabei ganz geöffnet; der Druck im Schieberkasten betrug 19,5 at, der Blasrohrdruck 0,08 bis 0,09 at ohne Unterschied bei den einzelnen Füllungsgraden. Der Dampfverbrauch belief sich bei Leistungen von 2000 bis 2200 PSi und bei den oben aufgeführten Geschwindigkeiten auf 6,65, 6,2, 6,1, 6,1 und 6,2 kg/PSi-h, der Kohlenverbrauch auf 0,77 bis 0,8 kg/PSi-h. Die Dampfwärme im Überhitzerkasten konnte auf 370 bis 385° C gebracht werden, nachdem die Überhitzerenden von 1295 mm bis auf 915 mm an die Feuerbüchsenrohrwand herangeführt worden waren. Die Wärme des Abdampfes betrug 108° C.

Spätere Versuchsfahrten mit den sehr hohen Rostbeanspruchungen von 700 und 900 kg/m²-h bestätigten diese Ergebnisse. Der Kesselwirkungsgrad fiel hierbei auf 57 und 48%, während der Dampfverbrauch bei Leistungen von 2950 bis 3170 PSi und einer Geschwindigkeit von 100 km/h bei 7,1 kg/PSi-h blieb.

Die erzielten Dampfverbrauchswerte liegen nur wenig höher als die Werte der 2' D h 4 v-Umbaulokomotiven der P.O.-Midi-Bahn, die bei Leistungen von 2400 PSi einen günstigsten Dampfverbrauch von etwa 5,0 kg/PSi-h aufweisen. — Da die 2' C 1'-Lokomotiven der Eisenbahnen von Elsaß und Lothringen zu den ganz wenigen Schnellzuglokomotiven gehören, die in Frankreich mit einfacher Dampfdehnung laufen, ist diese Feststellung, die sich mit vielen deutschen Versuchsergebnissen deckt, besonders wertvoll.

(Rly. Gaz., 15. April 1938.)

R. D.

Französische Stromlinienlokomotive mit geschweißten Zylindern.

Die vormaligen Französischen Staatsbahnen haben vier 2' C h 4 v-Schnellzuglokomotiven, die schon über 30 Jahre alt waren, für die Verwendung vor leichten, sehr rasch fahrenden Zügen umgebaut. Die Lokomotiven sind dabei stromlinienförmig verkleidet worden. Der Umbau ist nicht nur deshalb bemerkenswert, weil er die Zugleistung der Lokomotiven annähernd auf das Doppelte gebracht hat, sondern auch darum, weil dabei neue Zylinder eingebaut worden sind, die fast ganz aus Flußstahl mittels Elektroschweißung hergestellt worden sind.

Die Lokomotiven sollen 2' C 1'-Lokomotiven ersetzen; schon deshalb war eine Leistungssteigerung erforderlich. Diese hat man auf ähnlichem Weg erzielt wie bei den andern französischen Lokomotiven, die im letzten Jahrzehnt umgebaut worden sind. Das Raumverhältnis zwischen den Hoch- und Niederdruckzylindern wurde den höheren Geschwindigkeiten angepaßt, die Dampfkanäle wurden weiter und günstiger angeordnet und die veralteten Steuerungen durch Dabeg-Steuerungen ersetzt. Der Kesselüberdruck blieb mit 14,8 at verhältnismäßig niedrig; dafür wurde die Überhitzung so verbessert, daß Dampf Wärmen von 425° C erzielt werden sollen.

Die Zylinder sind nicht aus grundsätzlichen Erwägungen auf dem Weg der Schweißung hergestellt worden, sondern nur deshalb,

weil die Herstellung in Stahlguß zu lange gedauert hätte. Die Wandstärken entsprechen denen gegossener Zylinder. Sämtliche Teile — auch der mit den Innenzylindern verbundene Rauchkammersattel — sind mittels Schneidbrenner aus Flußstahl geschnitten und soweit erforderlich an den zu schweißenden Stellen noch vorher bearbeitet worden, um die Güte der Schweißung zu verbessern. Lediglich die Dampfkanäle sind aus Stahlguß gefertigt und dann mit den übrigen Teilen verschweißt worden, weil es zu schwierig war, sie ganz durch Schweißung herzustellen. Schon beim Schweißen wurde darauf Wert gelegt, daß möglichst wenig Spannungsstellen entstehen sollten. Nach der Fertigstellung wurden schließlich die ganzen Zylinder zwei Stunden lang mit 650° C ausgeglüht und dann zwölf Stunden lang abgekühlt. Die Lieferzeit betrug für die so hergestellten Zylinder tatsächlich nur die Hälfte der für Gußzylinder benötigten Zeit; das Herstellungsverfahren hat sich also in dieser Richtung bewährt, wobei aber zu beachten ist, daß es sich hier nur um die Lieferung einer ganz beschränkten Zahl von Zylindern gehandelt hat.

Die umgebaute Lokomotive hat bei Versuchsfahrten zwischen Paris und Le Havre bei einer Geschwindigkeit von 120 km/h eine Leistung von 1200 PS_e und bei 100 km/h eine solche von 1438 PS_e erreicht, während die entsprechenden Leistungen vor dem Umbau nur 600 und 806 PS_e betragen haben. Der Versuchszug, der aus vier Wagen mit einem Gesamtgewicht von 140 t bestand, konnte im Fahrplan der Bugatti-Schnelltriebwagen gefahren werden, die diese Strecke mit einer Durchschnittsgeschwindigkeit von 120 km/h zurücklegen. Auf der 130 km langen Strecke von Paris nach Rouen erreichte die Lokomotive sogar eine Durchschnittsgeschwindigkeit von 128 km/h.

R. D.

(Rly. Gaz., 5. August 1938.)

Zerknall eines Lokomotivkessels in Frankreich.

Auf der Paris-Lyon-Mittelmeerbahn zerknallte am 2. August 1935 der Kessel der 1' D 1' h 4 v-Personenzuglokomotive Nr. 141. C. 623. Derartige Unfälle sind heute sehr selten geworden; um so mehr Beachtung verdient daher das Ergebnis der Untersuchung, die sich an den Unfall angeschlossen hat und nunmehr abgeschlossen ist. Sie war dadurch sehr erswert, daß Zeugen nicht vorhanden waren, weil die beiden Lokomotivbeamten bei dem Unfall ums Leben gekommen waren.

Der Unfall ereignete sich auf der Strecke von Culoz nach Ambérieu kurz nach der Durchfahrt durch den Bahnhof Tenay-Hauteville. Von Culoz aus steigt die Bahn auf eine Länge von 24 km mit einer größten Steigung von 12 ‰ bis La Burbanche und fällt dann bis Tenay verschieden stark mit Gefällen bis zu ebenfalls 12 ‰.

Durch den Zerknall, der von der Feuerbüchse ausging, wurde der Kessel vom Rahmen gerissen und in Fahrtrichtung 156 m weit fortgeschleudert. Der Kessel drehte sich dabei um sich selbst — weil die Kraftentwicklung von der Feuerbüchse ausging — und berührte dreimal den Boden, bevor er endgültig liegen blieb. Das Untergestell der Lokomotive blieb auf den Schienen. Der Zug und die Reisenden erlitten keinen Schaden, weil sich der Zerknall in einer Rechtskrümmung ereignete, wodurch der Zug bei der restlichen Fahrt über den Bremsweg aus der Flugbahn des Kessels kam. Die Stelle, von der der Zerknall ausging, lag, wie schon oben erwähnt, in der Feuerbüchse. Die Feuerbüchse wurde auf eine Fläche von 1,6 m² aufgerissen; sie zeigte einen in der Mitte liegenden Längsriß von ungefähr 1,7 m Länge und zwei Querrisse von je etwa 1 m Länge, die im vorderen Drittel und am Hinterende des Längsrisse sich gleichmäßig nach beiden Seiten erstreckten. Das 14 mm starke Kupferblech war nach den Seiten herabgebogen; es zeigte von der Decke bis herab zu einer Höhe von 250 mm unterhalb derselben deutlich das Aussehen eines ausgeglühten Metalls. Die drei Schmelzpfropfen waren ausgeschmolzen. Die 19,5 mm starken Deckenanker waren innerhalb des freigelegten Deckenteils weder gedehnt noch gebrochen, sondern aus den Gewinden gerissen, während die anschließenden in den seitlichen Umbügen sitzenden Stehbolzen trotz ihrer ungünstigen Anordnung standhielten.

Die Erhitzung des Werkstoffes muß entsprechend dem Kesseldruck von 16 at 700 bis 850° C betragen haben. Der Zerknall ist ganz offensichtlich auf Wassermangel zurückzuführen. Der Wasserstand muß im Augenblick des Zerknalls 384 mm unter dem Regelstand gelegen haben, was einem Wassermangel von 3200 l

entsprechen würde. Die Nachprüfung hat auch ergeben, daß die Feuerbüchse vor dem Zerknall 10 bis 11 Minuten lang unbedeckt gewesen sein muß. Die Wasserstandzeiger sollen in Ordnung gewesen sein. Ob dies auch für die Speiseapparate zutrifft, ist in der Quelle nicht gesagt. Jedenfalls hätte aber nach dem Durchschmelzen der Schmelzpfropfen, wofür eine Zeit von 10 bis 11 Minuten angenommen ist, durch Herauswerfen des Feuers der Unfall vermieden werden können.

R. D.

(Rly. Gaz., 15. Juli 1938.)

Französischer Prüfwagen für Gleiskrümmungen.

Bei der Durchfahrt durch Gleiskrümmungen üben die Lokomotiven und auch die anderen Fahrzeuge große Seitenkräfte auf die Schienen aus. Wenn die Gleiskrümmung nicht genau verlegt ist, wenn also die beiden Schienen nicht in einer genauen Kreisform liegen, dann werden diese Seitenkräfte noch beträchtlich erhöht. Infolge der heutigen hohen Fahrgeschwindigkeiten schwingen dann diese Seitenkräfte in unzulässig hohem Maße um ihren Mittelwert, wie er einer genau verlegten Gleiskrümmung entspricht.

Es wurden daher verschiedene Vorrichtungen entwickelt, um die Genauigkeit einer Gleiskrümmung schnell und sicher prüfen zu können. Die französische Ostbahn hat zu diesem Zwecke einen einfachen Meßwagen gebaut, der die Pfeilhöhe der Gleiskrümmung bei einer Sehnenlänge des Bogens von 20 m mißt. Wesentlich ist bei dieser Messung weniger die absolute Größe der Pfeilhöhe als vielmehr ihre Veränderlichkeit innerhalb der gleichen Krümmung. Eine starke Veränderlichkeit dieser Pfeilhöhen innerhalb eines Gleisbogens beweist, daß er ungenau verlegt worden ist. Da sich die Fahrzeuge bei den großen Fahrgeschwindigkeiten an der Außenschiene führen, muß die Genauigkeit der Verlegung der Außenschiene ganz besonders geprüft werden, so daß die Pfeilhöhen des Gleisbogens ausschließlich an dieser Außenschiene gemessen werden. Je nach dem Sinn der Gleiskrümmung (Links- oder Rechtsbogen) müssen daher die Messungen entweder an der rechten oder an der linken Schiene vorgenommen werden.

Der Meßwagen der französischen Ostbahn für die Messung und Prüfung der Genauigkeit einer Gleiskrümmung ist ein langer dreiachsiger Wagen. Seine beiden Endachsen sind feste Achsen, während die mittlere Achse seitenverschieblich ist und durch ihre Seitenverschiebung ein Maß für die Pfeilhöhe des Bogens liefert. Der Wagen besitzt einen festen und starren Rahmen, dessen Langträger U-Eisen vom Profil 260 × 90 × 10 sind. Die mittlere Achse des Meßwagens ist in einem kastenähnlichen Gestell gelagert, das sich, geführt durch waagrecht und auch senkrecht angeordnete Rollen, seitlich unter dem Rahmen des Meßwagens verschieben kann.

Damit die Pfeilhöhe des von der Außenschiene gebildeten Bogens gemessen werden kann, müssen die äußeren Räder der beiden Endachsen an der Außenschiene anliegen. Weiterhin müssen diese Räder einen bestimmten Abstand von 750 mm von der Längsmittlinie des Fahrzeugrahmens haben, weil von dieser Mittellinie aus die Pfeilhöhe nach der einen oder anderen Seite (je nach der Richtung des Bogens) gemessen wird. Um dies zu erreichen, werden die auf der Achse verschiebbaren Innenräder der beiden Endachsen durch Federn an die innere Schiene angegedrückt, so daß die auf der Achse in einem Abstand von 750 mm von der Fahrzeugmitte festgelegten äußeren Räder an der Außenschiene anlaufen. Je nach dem Krümmungssinn wechseln die festgelegten und angegedrückten Räder. Die Verschiebung der Räder auf ihrer Achse wird, wie in Abb. 1 dargestellt, durch doppelarmige Hebel bewirkt, die einerseits an den Kugellagern der Nabe angreifen, während die anderen Enden durch eine Kurventrommel, die von einem Elektromotor oder von Hand gedreht wird, verstellt werden können (s. Abb. 2). Soll beispielsweise der Außenbogen einer Linkskurve nachgemessen werden und stellt Abb. 1 die Vorderachse in der Fahrtrichtung gesehen dar, so wird das rechte Rad durch den Stellhebel ganz nach außen gedrückt und dort festgehalten, der Hebel des linken Rades hat dagegen in der Kurventrommel Spiel und es kann daher die Feder dieses Rad entsprechend der Spurweite nach außen drücken. Es folgt auf diese Weise der Innenschiene und damit den Gleiserweiterungen. Die dadurch entstehenden seitlichen Bewegungen des Innenrades werden von seinem Stellhebel nach oben übertragen und gestatten dadurch die Messung der Gleiserweiterung.

In der Mittelstellung der Kurventrommel werden beide Räder seitlich unverschiebbar gemacht und in der Normalentfernung von 1360 mm zwischen den Radflanschen geführt. Diese Mittelstellung dient für die gewöhnlichen Fahrten des Wagens, bei denen nicht gemessen wird.

Die Bauart der Endachsen soll an Hand der Abb. 1 noch näher erläutert werden. Die Achse ruht beiderseits außen in Achsbuchsen, die am Rahmen fest angebracht und mit Kugellagern ausgerüstet

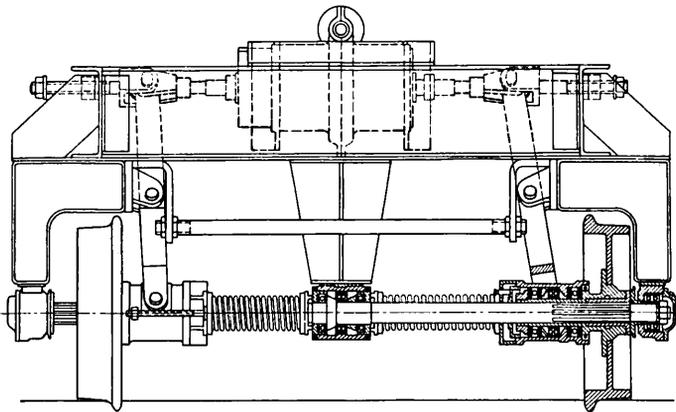


Abb. 1.

sind. Die Mitte der Achse ist nochmals mit Kugellagern am Rahmen des Meßwagens gelagert. Hier nehmen auch zwei Querkugellager die entstehenden seitlichen Schubkräfte auf und übertragen sie auf den Rahmen. Auf diese Querkugellager stützt sich gleichzeitig nach jeder Seite hin eine Feder, die die Aufgabe hat, das Rad stets so weit als möglich nach außen zu drücken. Da die Feder die Drehung der Achse nicht mitmacht, während selbstverständlich das Rad sich bei der Fahrt dreht, wird dieser Federdruck auf das Rad durch ein Drucklager übertragen, an welchem gleichzeitig die oben beschriebenen Stellhebel angreifen, die das Rad in einem bestimmten Abstand feststellen. Die Räder besitzen Naben, die ausgebuchtet und mit Vielnut versehen sind. Die entsprechenden Gegennuten sind in die Achsenden eingeschnitten. Auf der einen Seite ist die Buchse in die Nabe ihres Rades eingepreßt und verschraubt, damit die Raddrehung auf die Achse übertragen wird. Auf der anderen Seite der gleichen Achse sitzt die Buchse jedoch lose in ihrem Rade, so daß dieses Rad kleine Bewegungen relativ zur Achse ausführen kann und Längsgleiten der Räder bei der Bogenfahrt ausgeschlossen ist.

Die Mittelachse des Meßwagens ist in ihrem Gestell ähnlich

gelagert wie die beiden oben beschriebenen Endachsen. Dieses Gestell ermöglicht nur, wie oben angegeben, eine Seitenverschiebung der Achse, die es mitmacht.

Das Maß der Verschiebung der Mittelachse, d. h. der Pfeilhöhe wird laufend durch eine Vorrichtung auf eine Papierrolle aufgeschrieben, deren Bewegung genau im Einklang mit der Fahrbewegung des Meßwagens steht. Dies wird dadurch erreicht, daß der Antrieb des Vorschubes der Papierrolle von der Achse des Meßwagens abgeleitet wird. Aus den Schwankungen der Aufschreibung kann man auf die Ungenauigkeiten der Gleisverlegung schließen, wobei gleichzeitig der Ort der Ungenauigkeit im Gleisbogen aus dem Papierband abgelesen werden kann. Ferner kann auf die oben angegebene Art die Spurerweiterung gemessen werden. Ein Schwerkraftpendel gestattet aus seiner Auslenkung die Gleisüberhöhung zu bestimmen, solange man den Einfluß der Fliehkraft

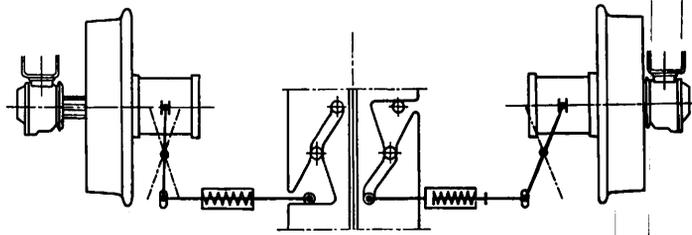


Abb. 2.

vernachlässigen kann. Das ist bei einer Fahrgeschwindigkeit bis zu 20 km/h der Fall.

Die ganze Meßvorrichtung ist in einem Meßhaus über der seitenverschieblichen Mittelachse untergebracht. Dieses Meßhaus ruht auf zwei weiteren Hilfsachsen. Um die Seitenverschieblichkeit der Mittelachse nicht zu hemmen und um alle fremden Seitenkräfte auf sie zu vermeiden, ist das Meßhaus in keiner Weise mit dem Rahmen des Meßwagens verbunden. Es wird bei der Fahrt lediglich von ihm mitgenommen. Das Meßhaus stellt daher einen eigenen Wagen dar, der gewissermaßen um die seitenverschiebliche Mittelachse des Meßwagens herumgebaut ist und sich völlig unabhängig von ihm seitlich bewegen kann.

Auf einer kurvenreichen Strecke können mit diesem Meßwagen bis zu 70 km täglich geprüft werden, bei einer einfacheren Strecke bis zu 80 km. Bei dichtbelegten Strecken beträgt diese Leistung wegen der unvermeidlichen Aufenthalte nur etwa 40 km. Es ist demnach möglich, die Hauptlinien der französischen Ostbahn jährlich zweimal, die Nebenlinien einmal mit diesem Meßwagen zu prüfen.

(Rev. gén. Chem. de Fer.)

Verschiedenes.

Internationale Verkehrsausstellung Köln 1940.

In Köln findet im Jahre 1940 eine große Internationale Verkehrsausstellung statt. Bei der vor wenigen Tagen erfolgten Grundsteinlegung zum Haus der Deutschen Reichsbahn wurde der Presse in einem großen Empfang von dem geschäftsführenden Leiter der Ausstellung, Direktor Dr. Compes, nähere Aufschlüsse über Bedeutung und Umfang der Ausstellung gegeben. Es erscheint, führte der Redner aus, bei der ungeheuren Bedeutung, die der moderne Verkehr erlangt hat, fast merkwürdig, daß eine solche Internationale Schau noch nicht stattgefunden hat. Wohl haben einzelne Teilgebiete das Kraftfahrwesen, die Straße usw. Sonder-schauen gezeigt; aber das Gesamtbild des modernen Verkehrs, das sich doch so außerordentlich vielseitig entfaltet hat, fand noch nicht seine Darstellung. Hatte noch vor etwas mehr als einem Menschenalter der Verkehr sich im wesentlichen durch die Eisenbahn und allenfalls die Binnenschifffahrt darstellen lassen, so sind heute die Straßenkraftwagen und die Straße, das Flugzeug und Luftschiff in ungestümem Auftrieb gleichberechtigte Verkehrsträger, der Luftverkehr in seiner Schnelligkeit ein unerreichbares Verkehrsmittel geworden. Soweit sie sich auf dem gleichen Gebiet bewegen, ringen sie im Wettbewerb um ihren Anteil im Verkehr und es ist zweifellos, daß hier bei dem gestiegenen Verkehrsvolumen jedem Verkehrsträger ein seiner Eigenart entsprechender Anteil, der ihm das Auskommen sichert, zufallen wird. So mächtig ist der Verkehr als Kulturfaktor geworden, daß er nicht nur an ihn

herangetragene Bedürfnisse und Wünsche befriedigt, sondern umgekehrt weitgehende, für die Zukunft noch gar nicht vorauszu-sehende Umgestaltungen in der Frage der Planung des Wirtschafts- und Siedlungsraumes aufzurollen vermag. Bei solcher Problemstellung war es nicht zu verwundern, daß der Gedanke der Ausstellung allenthalben im In- und Ausland auf lebhaften Widerhall stoßen und eine überreiche Fülle wertvollen Materials zu erwarten ist. Daß die Ausstellung auch in einem künstlerisch erfreulichen Rahmen sich darbieten wird — sie wird zu beiden Seiten des Rheins in einer Fläche von 1 Mill. m² unter Ausnützung schöner Anlagen sich erstrecken —, bedarf im neuen Deutschland keiner besonderen Erwähnung.

2' D 2' h 3-Schnellzuglokomotive der Deutschen Reichsbahn.

In diesen Tagen verläßt eine der beiden von der Deutschen Reichsbahn bei Friedrich Krupp, Essen, bestellten Dampflokomotiven das Werk. Die Lokomotiven stellen die größten Dampflokomotiven der Deutschen Reichsbahn und der europäischen Bahnen überhaupt dar. Sie sollen D-Züge von 650 t in der Ebene mit 120 km/h und auf Steigungen 1:100 mit 60 km/h befördern. Sie sind stromlinienverkleidet und haben Drei-Zylindertriebwerk. Der Kesseldruck ist 20 atü, die Tender sind fünfachsiger (vorderes zweiachsiges Drehgestell) und haben Kohlennachschubeinrichtung. Wir werden über die Lokomotiven eine ausführlichere Beschreibung bringen.

Sämtliche in diesem Heft besprochenen oder angezeigten Bücher sind durch alle Buchhandlungen zu beziehen.

Der Wiederabdruck der in dem „Organ“ enthaltenen Originalaufsätze oder des Berichtes, mit oder ohne Quellenangabe, ist ohne Genehmigung des Verfassers, des Verlages und Herausgebers nicht erlaubt und wird als Nachdruck verfolgt.