

Messung von Schwingungen am Eisenbahnoberbau.

Untersuchung aus dem Forschungsinstitut von Prof. Dr.-Ing. Risch an der Technischen Hochschule Hannover.

Von Dipl.-Ing. Hans Wolfgang Koch.

Hierzu Tafel 29.

I. Die zur Untersuchung des Eisenbahnoberbaues angewandten Methoden und deren kritische Betrachtung.

Für die Beobachtung der bei der Belastung durch die Eisenbahnfahrzeuge auftretenden Schienen- und Schwellensenkungen wurden bis etwa zum Jahre 1895 Vorrichtungen verwandt, die zur Aufzeichnung der Bewegungen vorwiegend ein Hebelsystem benutzten. Im Jahre 1896 wurden zum ersten Male und zwar von Ast¹ die Bilder der Bewegungen auf der photographischen Platte festgehalten. Diese Methode wurde dann weiter ausgebaut von Wasiutynski². Mittels einer photographischen Kamera, die auf Backsteinpfeilern in etwa 4 m Abstand vom Gleis ruhte, wurden vergrößerte Bilder der Bewegungen einzelner Punkte des Gleises entworfen. Um die zeitliche Veränderung dieser Bewegungen zu erhalten, wurde die photographische Platte, auf der Zeitmarken im Abstand von $\frac{1}{2}$ Sekunde aufgedruckt waren, mittels Uhrwerk fortbewegt. Auf diese Weise gelang es Wasiutynski, die Senkungen der Schienen und Schwellen bei ruhender und auch bei bewegter Last zu beobachten. Die hierbei erreichte Genauigkeit ist zwar sehr groß, aber die Aufstellung einer solchen Meßeinrichtung sehr schwerfällig und teuer. Deshalb sind ähnliche Versuche nicht wieder durchgeführt worden.

In den folgenden Jahren hat man mit einfachen Mitteln, allerdings unter Verzicht auf große Genauigkeit, weitere Versuche angestellt. In den Jahren 1903 bis 1905 beobachtete Cuënot die Senkungen von Schwellen bei ruhender und bewegter Last in natürlicher Größe; er benutzte hierzu Meßkeile für die ruhende und eine einfache Zeigervorrichtung für die bewegte Last. Die Untersuchung verfolgte den Zweck, unter den Querschwellen verschiedener Ausführung die wirtschaftlich günstigste zu finden. Noch einfacher war die Beobachtungseinrichtung bei den Schnellfahrversuchen Marienfelde—Zossen ausgebildet: man beschränkte sich darauf, den größten Ausschlag der schwingenden Schiene durch unmittelbaren Abdruck in Wachs- oder Bleiplatten festzustellen.

In der Folgezeit ging man dazu über, wieder das Lichtbildverfahren anzuwenden. Bloss wandte im Jahre 1913 zur Messung der Durchbiegung von Straßenbahnschienen ein Verfahren an, dessen er sich auch später zu Messungen am Eisenbahnoberbau bediente³. Es unterscheidet sich von den ersten Methoden nach Ast und Wasiutynski in einem Punkte wesentlich. Während diese außerordentlich Wert darauf legen, ihre Kamera möglichst erschütterungsfrei aufzustellen, ist dies bei Bloss weniger wichtig. Denn er photographiert gleichzeitig mit den Bewegungen das Bild eines festen Punktes, der allerdings infolge der Erschütterungen kleine Bewegungen ausführt. Das Bild des festen Punktes ist daher nicht eine gerade Linie, sondern eine wellenförmige. Als Ausschläge der Bewegungen gelten die jeweiligen Abstände der Bewegungslinien von der Bildlinie des festen Punktes. Genau genommen werden also die Bewegungen der Schiene und Schwelle gegen die Erdschicht, in welcher der feste Punkt gegründet ist, aufgenommen, wenn man durch Vorsichtsmaßregeln dafür sorgt, daß ungewollte Bewegungen des festen Punktes verhindert werden. Durch die Verwendung eines festen Punktes kann

Bloss seine Kamera viel näher am Gleis aufstellen und deshalb eine stärkere Vergrößerung erzielen, als dies Ast und Wasiutynski möglich war. Bei zehnfacher Vergrößerung errechnet sich der Gesamtfehler zu etwa 10%. Systematische Beobachtungen der Bewegungen von Schienen und Schwellen sind mit dieser Apparatur nicht durchgeführt worden.

Mit geringer Abänderung ist diese Anordnung dazu benutzt, die in den Schienen unter dem fahrenden Zuge auftretenden Biegemomente zu ermitteln. Für eine Anzahl von Belastungsfällen — Lokomotiv- und Wagenachsen verschiedener Anordnung — sind die Momente bestimmt und verglichen mit den nach Winkler und den nach Zimmermann errechneten Momenten. Der Unterschied zwischen dem kleinsten und größten gemessenen Wert beträgt etwa 100%. Der Vergleich ergibt nun, daß die unter den Lokomotivachsen gemessenen Momente im Mittel etwa + 10% abweichen von den nach Winkler errechneten, dagegen bei den Wagenachsen gemessenen um etwa + 10% von den nach Zimmermann errechneten. Da die Schwankungen der Meßwerte, wie oben angegeben, groß sind, kann man nur Mittelwerte aus einer größeren Anzahl Messungen zugrunde legen. Es scheint demnach so, als ob bei Lokomotiven und Wagen mit kurzen Achsständen die Winklersche Annahme gleichhoher Stützen, dagegen bei größeren Achsständen die Zimmermannsche Annahme nachgiebiger Stützen der Wirklichkeit nahe kommt.

Um diese Zusammenhänge genauer zu untersuchen, sind von Bloss mit einer neuen Apparatur gleicher Art Untersuchungen begonnen worden⁴. Dabei zeigte sich, daß bei Achsen am Anfang und am Ende einer dicht stehenden Achsgruppe die gemessenen Biegemomente stets größer als die nach Winkler, aber kleiner als die nach Zimmermann berechneten Werte ausfielen. Diese Fälle werden anscheinend am besten theoretisch erfaßt durch die Annahme von Loewe⁵: eine Zusammenstellung der Zimmermannschen und Loeweschen Werte läßt dies erkennen. Weitere Ergebnisse sind in dieser Arbeit nicht mitgeteilt.

Die nun folgenden Versuche des Vereins Deutscher Eisenbahnverwaltungen⁶ sind beeinflusst sowohl durch die inzwischen verbesserte Theorie hinsichtlich der dynamischen Berechnungen am Oberbau, als auch besonders durch die im Meßgerätewesen gemachten Fortschritte. Zwei Meßgeräte sind hierbei verwendet worden, die unmittelbar die Spannungen angeben. Der Spannungsmesser von Okhuizen hat in seiner üblichen Form eine Meßlänge von 60 mm und arbeitet mit etwa 412facher Vergrößerung. Die Aufzeichnungen erfolgen mittels eines Stiftes auf einem Papierstreifen, der mit der Hand durchgezogen wird. Die Eigenfrequenz eines solchen Gerätes ist zu etwa 29 Hz festgestellt worden. Nach den allgemeinen Erfahrungen auf dem Gebiet der Schwingungsmessungen lassen sich mit diesem Gerät Schwingungsamplituden — sofern man bei der Auswertung Korrekturen vermeiden will — nur messen, wenn ihre Frequenzen etwa $\frac{1}{4}$ der Eigenfrequenz, also ~ 7 Hz betragen. Die am Oberbau auftretenden Frequenzen liegen aber viel höher, wie die Messungen zeigen, die mit dem zweiten Gerät, dem Schwingungsmesser von Geiger, ausgeführt

sind. Dieser Apparat hat bei 112,5facher Vergrößerung eine Eigenfrequenz von etwa 190 Hz. Die Registrierung erfolgt auf einem durch Uhrwerk getriebenem Papierstreifen, dessen Ablaufgeschwindigkeit beliebig eingestellt werden kann.

Mit diesen beiden Apparaten sind Messungen an den Schienen durchgeführt, um festzustellen, wie weit die Angaben beider übereinstimmen. Das Okhuizen-Gerät ist an der einen Schiene des Gleises, das Geigersche an der andern Schiene in demselben Schwellenfach und jeweils an der Außenseite befestigt. Es sind einige Aufnahmen gemacht bei verschiedenen Zuggeschwindigkeiten. Bei geringer Geschwindigkeit stimmen die Aufnahmen beider noch einigermaßen überein, wenn das Okhuizen-Gerät auch weniger aufzeichnet. Mit zunehmender Zuggeschwindigkeit ändert sich das Aussehen der Aufnahmen beider derart, daß man bei einer Zuggeschwindigkeit von 90 km/Std. von Übereinstimmung nicht mehr sprechen kann. Die Aufnahme des Okhuizen-Gerätes läßt bei dieser Geschwindigkeit eine Zunahme des größten Ausschlages erkennen, sonst weicht das Bild nicht wesentlich ab gegen das bei kleinen Geschwindigkeiten. Bei der Aufnahme des Geigerschen Apparates treten dagegen bei der hohen Geschwindigkeit so viele hohe Frequenzen auf, daß das Bild völlig verändert wird. Nach den Angaben kommen Frequenzen über 300 Hz vor. Das Okhuizen-Gerät gibt also nicht viel mehr, als die statischen Spannungen, wie das auf Grund obiger Überlegungen zu erwarten war, da die am Oberbau auftretenden Frequenzen ziemlich hoch zu liegen scheinen. Abschließende Bedeutung ist diesen Versuchen noch nicht beizumessen.

In den an diese Versuche sich anschließenden Erörterungen weist Driessen⁷ darauf hin, daß der Fehler eines Spannungsmessers umgekehrt proportional seiner Meßlänge ist. Daher sind die Messungen mit dem Okhuizen-Gerät viel genauer, als die mit dem Geigerschen; günstig für die Anwendung des Okhuizen-Gerätes ist auch sein geringes Gewicht. Bei dynamischen Messungen zeigt dieses Gerät in der Hauptsache nur Mittelwerte der Spannungen.

In einer Erwiderung darauf erklären Saller und Geiger⁸, daß es bei Spannungsmessungen an Schienen, wie auch sonst, von Bedeutung ist, die äußersten Werte zu ermitteln. Es ist daher nicht zu umgehen, Geräte zu verwenden, die in der Lage sind, diese äußersten Werte anzuzeigen. Da die Spannungsschwankungen mit hohen Frequenzen erfolgen, müssen Geräte Anwendung finden, die prinzipiell als Schwingungsmeßgeräte ausgebildet sind. Dazu bemerkt Driessen⁹ nochmals, daß solche Apparate überhaupt nur benutzt werden können, wenn sie sich eichen lassen.

Die jetzt folgenden Meßmethoden unterscheiden sich von den bisher angegebenen wesentlich dadurch, daß schwingungstechnische Forderungen an ihre Verwendbarkeit gestellt werden. Grundsätzlich wird von Oelschläger¹⁰ untersucht und festgestellt, daß für Messungen hoher Frequenzen nur Überfrequenzinstrumente (Eigenfrequenz oberhalb des Meßbereiches) geeignet sind. Mit dem Geigerschen Vibrographen und Spannungsmesser werden von ihm Messungen an einer Brücke beim Darüberfahren von Zügen angegeben. Es erweist sich auch hier, daß die dynamische Beanspruchung von der statischen stark abweicht. Messungen am Eisenbahnoberbau sind von ihm nicht angestellt worden.

Eine Gegenüberstellung des in der Brückenmeßtechnik angewandten elektrischen und des rein mechanischen Verfahrens wird von Geiger durchgeführt¹¹. Da die Meßverfahren am Eisenbahnoberbau im Prinzip nicht wesentlich von den Brückenmeßverfahren verschieden sind, sei hier kurz auf diese Arbeit eingegangen. Bei dem rein mechanischen Verfahren läßt sich die Eigenfrequenz im Gebrauchszustand des Apparates unmittelbar an Ort und Stelle bestimmen, bei dem elektrischen Verfahren dagegen kann sie erst später nach der Entwicklung

des Registrierfilms abgelesen werden. Die gegen das mechanische Dehnungsmeßverfahren erhobenen Vorwürfe werden in der Arbeit besprochen und Mittel zur Abstellung der Fehler angegeben. Bei einem nach den Entwürfen des Verfassers gebauten Apparat liegt die Eigenfrequenz bei fast 300 Hz. Einige beigegebene Diagramme zeigen die auftretenden Spannungen in der Strebe einer Brücke bei der Überfahrt eines Zuges.

Die schwingungsmeßtechnischen Überlegungen, die für den Bau und die Anwendung solcher Geräte angestellt sind, haben die Konstruktion eines von Wettl¹² durchgeführten Gerätes zur Messung von Schienensenkungen beeinflusst. Die Schienensenkungen werden durch einen Druckhebel in Verbindung mit einem Übersetzungshebel vergrößert aufgezeichnet. Um eine möglichst hohe Frequenz der Eigenschwingungen zu erhalten, ist der Übersetzungshebel kurz ausgeführt; eine Angabe über die Eigenfrequenz ist nicht gemacht. Auf die gute Ausbildung aller Gelenke ist großer Wert gelegt und hierdurch erreicht worden, daß die bei solchen Geräten vorhandenen, durch Spiel in den Gelenken bedingten Fehler nur etwa 4% betragen. Messungen mit diesem Apparat sind vorgenommen worden an dem Gleis auf Federn. Bauart Dr. Wirth. Durch direkte Aufzeichnung der Schienensenkungen — im Vergleich zu den von dem Apparat gelieferten — hat sich die Eignung des Gerätes zur Messung der Schienensenkungen erwiesen. Für Spannungsmessungen, die durch Rechnung aus Senkungen erhalten werden können, sind die Angaben des Instrumentes jedoch zu ungenau. Im allgemeinen hat sich bei den Messungen, deren Anzahl beschränkt ist, ergeben, daß die Senkungen bei Zunahme der Geschwindigkeit größer werden; einen ähnlichen Einfluß üben an den Radreifen vorhandene flache Stellen aus.

In der neuesten Zeit wird von Bloss das optische Verfahren in veränderter Anordnung angewandt¹³. Hierbei besteht das Aufnahmegerät aus zwei Zungen, die in feinen Schneiden enden. Zwischen beiden Schneiden befindet sich der Meßspalt. Mit einem photographischen Apparat wird die veränderliche Höhe dieses Meßspaltes vergrößert auf einen bewegten Film aufgenommen. Da die eine Zunge mit einem festen Punkt, die andere dagegen mit dem bewegten Körper verbunden ist, gibt die jeweilige Höhe des Spaltes die ausgeführte Bewegung wieder. Es erweist sich aber bei den Messungen am Oberbau in ähnlicher Weise wie früher, daß das Bild der Zungenschneide am festen Punkt nicht als Gerade erscheint, sondern infolge der geringen Bewegungen des „festen“ Punktes als Kurve. Man muß daher als Schwingungsausschläge den jeweiligen Abstand des Bildes der Zungenschneide am bewegten Körper von dem der Zungenschneide am festen Punkt bestimmen. Durch Ausbildung starrer Zungen lassen sich die Eigenfrequenzen sehr hoch halten. Schwingungen des Aufnahmeapparates gegen die Zungen sind nicht aufgetreten, würden auch nicht sehr stören, da hierdurch nur die Lage der aufeinanderfolgenden Bilder verschoben wird. Die von der Anordnung auf den Aufnahmen noch aufgelöste Frequenz hängt ab von der Geschwindigkeit, mit welcher der Film bewegt wird. Durch Verwendung einer besonderen Kamera läßt sich eine 70fache Vergrößerung erreichen; für diese Verhältnisse wird die Größe der Fehler diskutiert. Ein Bild einer Messung an einer Schiene beim Darüberfahren eines Zuges ist wiedergegeben; es ergeben sich hierbei starke Oberschwingungen mit einer Frequenz von etwa 200 Hz. Sehr hohe Frequenzen lassen sich nach Ansicht des Verfassers brauchbar nur mit dem elektro-optischen Verfahren messen. Als zweckmäßig wird daher von ihm angesehen, das günstigste Anwendungsgebiet der einzelnen Meßgeräte zu ermitteln. Mit demselben Apparat sind von Faatz¹⁴ an der Strecke Würzburg—Treuchtlingen die Be-

wegungen des Planums — einer Bitumendecke — bei Passieren einiger Züge mit Geschwindigkeiten von 30 bis 75 km/h gemessen worden. Sie erweisen sich als sehr gering. Einige dem Aufsatz außerdem beigegebene Abbildungen zeigen auch die Schwingungen der Schienen, ferner die der Schwellen und des Schotters. Bei einer Zuggeschwindigkeit von 75 km/h treten bei den Schienenschwingungen Frequenzen von etwa 140 Hz auf. Die Versuche sollen, worauf zu Anfang des Artikels hingewiesen wird, nur als Vorversuche gewertet werden.

Ein Gegenstück zu den obigen, in deutschen Zeitschriften veröffentlichten Untersuchungen bilden die amerikanischen Oberbaumessungen. Einen Bericht über diese hat von Gruenewaldt¹⁵ gegeben. Die sehr umfangreichen Untersuchungen reichen bis in das Jahr 1914 zurück und betreffen die Durchbiegungen und Spannungen in Schienen und Schwellen, die Druckübertragung durch die Bettung usw. bei verschiedenen Oberbauarten unter ruhender und bewegter Last. Sie sind durchgeführt von einer besonderen Kommission und unterstützt von den einzelnen Eisenbahngesellschaften und von der Universität Illinois. Über die der Beschreibung der Versuche vorausgehenden theoretischen Überlegungen ist nur erwähnt, daß die Berechnung nach den gleichen Grundsätzen ausgeführt wurde, wie es bei uns üblich ist.

Zur Vornahme der Messungen war die Konstruktion geeigneter Meßinstrumente erforderlich. Für die statische Belastung ist ein „Spannungsdehnungsmesser“ in üblicher Weise benutzt, bei dem die Einstellungen auf einer Meßuhr abgelesen werden. Durchbiegungsmessungen erfolgten mittels „Setzpflöcken“ und „Setzlatten“. Die Drücke in der Bettung werden durch die elastische Durchbiegung einer Stahlplattenfeder an einer Meßuhr bestimmt. Durch lastanzeigende Hebeböcke kann man statische Durchbiegungen erzeugen, die den von ein oder zwei Achsen identisch sind. Für Spannungsmessung bei bewegter Last dient der „Stremmatograph“. Er ist nach dem Prinzip des normalen Spannungsmessers gebaut: auf rauchgeschwärtzter Glasplatte wird die Bewegung einer an der Schiene befestigten Klammer gegen eine andere etwa 10 cm entfernten in natürlicher Größe aufgezeichnet, entsprechend der Verlängerung oder Verkürzung des zwischen beiden Klammern liegenden Schienenstückes. Die Ausführung des Instrumentes ist sehr sorgfältig, um die Instrumentenfehler möglichst klein zu halten. Es ist diese Anordnung gewählt, weil „die Apparate mit optischer Aufzeichnung, die an sich sehr genau arbeiten, als zu kompliziert und zu empfindlich für den rauen Betrieb angesehen worden sind; Instrumente mit Hebelvergrößerung kommen nicht in Betracht, da bei schneller Bewegung der Last durch die Trägheit der Hebel große Ungenauigkeiten entstehen können“. Die Durchbiegungen der Schiene sind photographisch in natürlicher Größe aufgenommen. Von dem zu untersuchenden Schienenstück, auf dem an einzelnen Stellen weiße Kreuzchen angebracht sind, wird eine Aufnahme im unbelasteten Zustand und eine zweite auf dieselbe Platte bei Belastung gemacht. Die Auslösung bei belasteter Schiene erfolgt durch einen elektrischen Kontakt bei einer Belichtungsdauer von 0,001 Sek. Durch Ausmessen der Platte unter dem Mikroskop sind die Abstände der zugehörigen Kreuzchen im unbelasteten und belasteten Zustande mit einer Genauigkeit von 0,25 mm ermittelt. Durch einfache Vorrichtungen werden die seitlichen Bewegungen und das Kippen der Schiene gemessen.

Die Versuche sind ausgedehnt auf eine große Reihe von Bahnen im gewöhnlichen Betriebsgleis, teilweise aber auch unter besonderen Bedingungen. Die umgerechneten Spannungen weisen keine Fehler über 50 kg/cm² auf. Bei der sehr großen Zahl der Messungen werden in den Originalveröffentlichungen im allgemeinen Mittelwerte aus einer Anzahl von Versuchen

angegeben. Die Messungsergebnisse der Senkungen des Gleises bei ruhender Belastung sind in einer Anzahl Diagrammen wiedergegeben. Die hierbei gefundenen Spannungen entsprechen in ihrem Verlauf recht gut den analytisch ermittelten. Auch für die Bettungsziffer sind Diagramme der gefundenen Werte angeführt. Für die Spannungen in den Schienen bei bewegter Last ergeben die Diagramme eine Zunahme bei Vergrößerung der Geschwindigkeit. Bei einer großen Zahl von Versuchen weichen allerdings die beobachteten Werte — teilweise sogar erheblich — von den Mittelwerten ab. Die Ursachen hierfür hat man nicht gefunden: sie können bedingt sein durch den Zustand der Lokomotiven und des Gleises oder auch durch Beobachtungsfehler. Sehr eingehend sind die Zusatzbeanspruchungen infolge unausgeglichener Massen an den Triebrädern von Dampflokomotiven untersucht. Dabei haben sich recht bedeutende Zusatzspannungen ergeben. „Für deutsche Verhältnisse ist ein so starker Einfluß des Massenausgleiches nicht wahrscheinlich, da die Veränderung des Raddruckes durch die Fliehgewichte bestimmungsgemäß in den Grenzen von $\pm 15\%$ gehalten werden muß.“ Bei elektrischen Lokomotiven bleiben die Zusatzspannungen klein: das ist wohl bedingt durch die bessere Massenverteilung. Die Spannungsmessungen am gekrümmten Gleis zeigen eine deutliche Zunahme der Werte gegenüber denen am geraden Gleis. Bei diesen Versuchen ist auch noch die Beanspruchung der Schwellen ermittelt. Es erweist sich hierbei, daß ein leichtes Unterstopfen der Schwellenenden die Biegelinie vollkommen verändert.

In diesem Bericht sind zwei Einrichtungen zur Spannungsmessung an Schienen nicht mitaufgeführt, die ein anderes Meßprinzip aufweisen. Roach¹⁶, Präsident der Reinforced Rail Joint Co., Saint Louis benutzte hierzu ein photographisches Verfahren. Er photographiert gleichzeitig die Lokomotive und die Durchbiegungen, die von ihr in den Schienen hervorgerufen werden. Wie er dabei im einzelnen vorgeht, ist nicht angegeben; es wird nur erwähnt, er verwende eine Kamera mit bewegter Platte, so daß 800 Bilder in der Sekunde bei 400facher Vergrößerung aufgenommen werden können. Auf einigen beigefügten Bildern sieht man eine Lokomotive und mit ihr ein Bild der Spannungen im Gleis. Nach der Ansicht von Roach ist die Einrichtung geeignet, systematische Spannungsuntersuchungen durchzuführen. Bei der zweiten Untersuchungsmethode, die die General Electric Co. angewendet hat, wird als Meßgerät der „Otheograph“ benutzt¹⁷. Dieser Apparat wird an Stelle einer Schwelle eingesetzt. Die Schienen ruhen dabei auf scharfkantigen Eisen, die ihrerseits durch starke Federn gestützt werden: auch seitlich werden sie durch Federn gehalten. Die beim Befahren der Schienen auftretenden Bewegungen der Federn werden durch Schreibstifte vergrößert aufgezeichnet. Es werden einige mit dem „Otheographen“ gemessene Spannungswerte beim Befahren des Gleises mit elektrischen, wie auch mit Dampflokomotiven angegeben. Mit einer Anzahl Otheographen sollen größere Meßreihen aufgenommen werden.

Bei allen diesen angeführten Meßmethoden am Eisenbahnoberbau lassen sich zwei grundsätzlich verschiedene Anordnungen unterscheiden. Bei der einen verwendet man als Übertragungs- und Anzeigevorrichtung gelenkig gelagerte Hebel (Hebelmeßgeräte). Bei der anderen dagegen besteht zwischen Schiene und Registriereinrichtung keine mechanische, sondern eine optische Verbindung. Die Bewegungen der Schiene werden in diesem Falle durch Lichtstrahlen der Registriereinrichtung übermittelt (Lichtbildverfahren). Auf Grund der in den oben erwähnten Veröffentlichungen angeführten Erfahrungen und Ergebnissen sollen beide Anordnungen einer kurzen Betrachtung unterzogen werden.

Bei den Hebelmeßgeräten ist es sehr schwer, die Gelenke der Hebel so auszubilden, daß einerseits leichte Beweglichkeit erzielt wird, andererseits aber Schleudern in den Gelenken nicht auftritt. Außerdem ist es außerordentlich wichtig, die Eigenschwingungen sämtlicher an der Übertragung oder Registrierung beteiligten Hebel zu kennen und sie so zu wählen, daß sie nicht mit den zu messenden Frequenzen in Resonanz treten können. Die Hebel müssen leicht und doch fest sein, damit sie bei schnellen Bewegungen möglichst trägheitslos folgen, ohne jedoch selbst in Schwingungen zu geraten. Von den älteren Ausführungen solcher Geräte werden diese Forderungen nicht annähernd erfüllt. Auch von den neueren sind einige nicht viel günstiger gebaut, so z. B. der Otheograph. Bei den anderen aber ist auf alle diese Forderungen, soweit möglich, eingegangen: es sind auch teilweise entsprechende Angaben so z. B. über Eigenfrequenz des Gerätes gemacht. Allerdings lassen sich diese häufig nicht rechnerisch genau genug erfassen. Deshalb wäre es erforderlich, von einem derartigen Gerät mittels einer geeigneten Einrichtung (Schütteltisch) eine Resonanzkurve aufzunehmen, aus der dann eventl. mehrere Maxima sowie die Dämpfung zu ersehen wären. Um hohe Frequenzen noch gut aufzulösen, muß die Registriereschwindigkeit entsprechend hoch sein. Bei fast allen Geräten ist sie so niedrig, daß von den hohen Frequenzen, die bei den Messungen am Oberbau vorkommen, fast keine auf den Aufnahmen ausmeßbar ist.

Bei den beim Lichtbildverfahren benutzten Instrumenten kommen im allgemeinen keine gelenkig gelagerten Hebel vor. Es fallen daher alle daraus entspringenden Fehler fort. Bei den älteren Anordnungen ist es aber für gewisse Messungen sehr störend, daß die Aufnahmekamera nicht erschütterungsfrei aufgebaut ist. Außerdem bewegt sich bei ihnen die photographische Platte mit zu geringer Geschwindigkeit, so daß höhere Frequenzen nicht aufgelöst werden. Die neueren Anordnungen ermöglichen dynamische Messungen viel besser, da das Bild eines festen Punktes mit aufgenommen wird. Die von diesem „festen“ Punkt in Wirklichkeit ausgeführten Bewegungen können durch geeignete Anordnungen so klein gehalten werden, daß sie die Ergebnisse nicht fälschen. Allerdings haben diese Instrumente einen großen Nachteil. Sie sind im Gegensatz zu den meisten Hebelmeßgeräten erheblich unhandlicher im Gebrauch und z. T. auch in der Bedienung. Für eine Abart dieses Meßprinzipes, für das elektro-optische Verfahren, das bis jetzt nur für Brückenmessungen verwendet ist, sich aber auch auf Oberbaummessungen anwenden läßt, gelten dieselben Betrachtungen. Hinzu kommt nur, daß bei Geräten nach diesem Verfahren die am Träger angeklebten Empfangseinrichtungen mechanische Eigenschwingungen aufweisen können, die sich aber meist leicht berechnen lassen. Bei diesen Instrumenten ist sehr leicht eine Resonanzkurve elektrisch aufzunehmen, so daß man die niedrigste vorkommende Eigenfrequenz kennt und eventuell je nach Höhe der zu messenden Frequenzen ändern muß.

Im Hinblick auf seine Eigenschaften ist das Lichtbildverfahren für die Durchführung wissenschaftlicher Messungen vorwiegend geeignet. Für praktische Messungen aber sind sicher Hebelmeßgeräte wegen ihrer Einfachheit in der Bedienung und wegen ihres geringeren Preises vorzuziehen, sofern es möglich ist, sie mit Hilfe geeigneter Einrichtungen zu eichen.

II. Die dynamischen Theorien des Eisenbahnoberbaues.

Die statische Theorie des Eisenbahnoberbaues hat die ortsfeste Stellung der Lasten zur Voraussetzung. Man berechnet die Formänderungen, die unter den bewegten Lasten auftreten, nach statischen Grundsätzen. Tatsächlich aber erfolgen diese in Form von Schwingungen und weichen von

den statisch berechneten unter Umständen stark ab. Der Zweck einer dynamischen Theorie ist es anzugeben, wie groß diese Abweichungen von den statischen Berechnungen werden können. Saller¹⁸ hat eine dynamische Theorie aufgestellt und sie durch weitere Untersuchungen^{19, 20, 21} ergänzt. Ferner sind diese Fragen von Dreyer in einer größeren Arbeit²² behandelt worden. Auf diese beiden Theorien soll hier nicht näher eingegangen werden.

III. Beschreibung des vom Verfasser benutzten Meßgerätes.

Als Meßgerät für die am Eisenbahnoberbau auftretenden Schwingungen diente für die vorliegende Untersuchung der „Piezoquarz-Beschleunigungsmesser“ der Prospektion G. m. b. H. Göttingen. Dieser Apparat gestattet es, gleichzeitig an sechs Meßstellen die Beschleunigung zu messen und auf einen Papierfilm in Abhängigkeit von der Zeit aufzuzeichnen. Eine genaue Beschreibung dieses Instrumentes hat Ambrohn²³ gegeben. Hier soll nur kurz auf das Wichtigste eingegangen werden.

Im erschütterungsempfindlichen Meßkörper lastet im Ruhezustande unter Druck eine 1 kg schwere Masse auf einem Satz von sieben Quarzplatten. Führt der Meßkörper eine schnelle Bewegung aus, so ändert sich auf Grund der Trägheitswirkung der Masse der Druck auf die Quarze. Infolge des Piezoeffektes treten auf den Quarzplatten elektrische Ladungen mit positiven und negativen Vorzeichen auf. Da der Quarzplattensatz als Kondensator wirkt, entsteht somit eine Spannung zwischen den beiden Belegungen dieses Kondensators. Die eine Belegung ist durch eine hochisolierte, bewegliche Verbindung mit dem Steuergitter einer Doppelgitterröhre (Telefunken RE 074 d) verbunden, die andere mit dem Heizfaden der Röhre. Die Spannungsänderungen des Kondensators bewirken eine Änderung des Anodenstromes der Verstärkerröhre. Als Anzeigergerät dafür dient ein Saitengalvanometer, dessen Saite beleuchtet und durch eine optische Einrichtung auf einem Papierfilm abgebildet wird. Der Papierfilm kann mit beliebiger Geschwindigkeit vorbeibewegt werden, so daß auf dem Film eine Kurve in Abhängigkeit von der Zeit aufgezeichnet wird. Gleichzeitig wird ein elektrisch betriebenes Zeitzeichen auf dem Film mitabgebildet.

Die sechs Meßkörper sind je mit einem Saitengalvanometer verbunden: man erhält somit auf dem Film sechs Kurvenzüge. Das an beiden Rändern des Filmes abgebildete Zeitzeichen, das durch Teilung des Lichtstromes einer Lampe mittels rechtwinkliger Prismen erhalten wird, ermöglicht es, die einem Zeitpunkt zugehörigen Ordinaten der sechs Kurvenzüge abzulesen. Die Ordinaten sind proportional den Beschleunigungen, die die Meßkörper erfahren. Die Proportionalitätskonstante muß durch Eichung gefunden werden.

Jeder Meßkörper wird mittels einer Schraubenfeder geeicht. Hierbei wird der Meßkörper in einem Halter festgeklemmt. Dieser Halter ist in eine Wand fest eingelassen, durch kleine Streben abgestützt, so daß Eigenschwingungen dieses Halters nicht auftreten. Man erhält so die Konstante des Meßkörpers, d. h. eine wie große Spannung in Volt einem bekannten Beschleunigungswerte entspricht.

Um den Frequenzbereich, der mit dem Gerät gemessen werden kann, festzustellen, ist es erforderlich, die Eigenfrequenzen der Einzelteile zu bestimmen.

Als niedrigste Frequenz im Meßkörper kommt die Eigenfrequenz des aus der „Masse“ und den Quarzplatten, die wie eine steife Feder wirken, gebildeten Systems in Frage; die „Masse“ von 1 kg Gewicht besteht aus einem Messingzylinder von 5,9 cm Höhe, die Quarze haben die Abmessungen $1 \times 1 \times 0,2$ cm. Die Eigenfrequenz dieses Systems berechnet sich zu $n = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{q \cdot E}{l \cdot M}}$. ²⁴ q ist der Querschnitt, l die Länge

und E der Elastizitätsmodul des als Feder wirkenden Materials, M die darauf ruhende „Masse“. Für unseren Fall beträgt $q = 1 \times 1 = 1 \text{ cm}^2$, $l = 7 \times 0,2 = 1,4 \text{ cm}$ und E als Elastizitätsmodul von Quarz in Richtung der elektrischen Achse²⁵ $= 0,8 \cdot 10^6 \text{ kg/cm}^2$, $M = \frac{1}{981} \frac{\text{kg} \cdot \text{sec}^2}{\text{cm}}$. Daraus folgt für n :

$$n = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1 \cdot 0,8 \cdot 10^6 \cdot 981}{1,4}} = 3770 \text{ Hz.}$$

Die Eigenfrequenzen der „Masse“ und der Quarze, für sich genommen, liegen erheblich höher. Diese Frequenz von 3770 Hz wird in den Aufzeichnungen sicher nicht zu bemerken sein.

Neben den Eigenschwingungen des aus der „Masse“ und den Quarzen gebildeten Systems treten noch die Eigenschwingungen der Galvanometerfäden auf. Diese Eigenfrequenzen sind experimentell ermittelt worden nach einer von Schering²⁶ angegebenen Methode. Auf die dabei benutzte Versuchsanordnung soll hier nicht weiter eingegangen werden²⁷. Die für die sechs Galvanometerfäden gefundenen Eigenfrequenzen liegen zwischen 400 und 500 Hz. Ob diese Eigenschwingungen sich in den Aufzeichnungen störend bemerkbar machen, muß durch Vorversuche entschieden werden.

Außer diesen angeführten könnten noch die mechanischen Eigenfrequenzen der Elektroden in den Verstärkerröhren von störendem Einfluß sein. Durch das sehr biegsame Verbindungsstück zwischen Meßkörper und Verstärkerröhre ist jedoch erreicht, daß diese Eigenschwingungen nicht angeregt werden, wenn die Röhren selbst weich gelagert werden. Weitere Eigenschwingungen können in der Apparatur nicht auftreten.

Aus diesen Überlegungen erkennt man, daß nur die Eigenschwingungen der Galvanometerfäden unter Umständen die Aufzeichnungen stören können.

IV. Die Messungen am Eisenbahnoberbau.

Einführende Messungen am Eisenbahnoberbau ließen auf das Auftreten von Frequenzen bis etwa 400 Hz schließen. Für die genaue Messung solcher Frequenzen waren die vorhandenen Galvanometerfäden mit den Eigenfrequenzen von 400 bis 500 Hz ungeeignet. Sie sind daher nach einigen Versuchen durch kürzere ersetzt worden; es sind ebenfalls Platinfäden von 3μ Dicke, 4 cm lang. Für diese Fäden sind die Eigenfrequenzen in einfacher Weise dadurch bestimmt, daß die Fäden durch Betätigen eines Schalters plötzlich ein Stück springen und infolgedessen jedesmal zu Eigenschwingungen angeregt werden (s. Textabb. 1). Aus den Aufnahmen läßt sich auch leicht die Dämpfung des Fadens auswerten. Bei den neuen Fäden liegen die Eigenfrequenzen bei höchster Fadenspannung zwischen 900 und 1200 Hz. Mit diesen Fäden sind die Messungen am Oberbau durchgeführt. Bei der Auswertung der Aufzeichnungen muß man die Ausschläge von Frequenzen über etwa 250 Hz unter Verwendung des Vergrößerungsfaktors²⁸ reduzieren.

Aus den Vorversuchen war ferner zu erkennen, daß die Meßkörper nicht einwandfrei arbeiteten. Als Grund hierfür fand sich nach langwierigen Versuchen, die z. T. von der Lieferfirma des Apparates durchgeführt wurden, daß bei starken Beschleunigungen die auf das Gitter der Verstärkerröhren wirkenden Spannungsschwankungen für die benutzten Röhren zu große Werte erreichten. Dieser Übelstand ist beseitigt durch Einbau von Kondensatoren in die Meßkörper. Es sind Plattenkondensatoren mit einem Durchmesser von 4 cm; ihre Kapazitäten sind, dem einzelnen Meßkörper angepaßt, zwischen 300 und 800 cm gewählt. Diese Kondensatoren vergrößern die Kapazität der Quarzplatten; infolgedessen treten am Gitter der Verstärkerröhren erheblich kleinere Spannungsschwankungen auf, so daß der lineare Bereich der Charakteristik der Verstärkerröhren niemals überschritten

wird²⁷. Mit diesem umgebauten Meßkörper sind dann die Messungen ausgeführt worden.

Als Versuchsstrecke wurde auf dem Verschiebebahnhof Hainholz bei Hannover von der Reichsbahndirektion Hannover durch Vermittlung der Hauptverwaltung der Deutschen Reichsbahn ein Gleis zur Verfügung gestellt, das als Durchgangs-

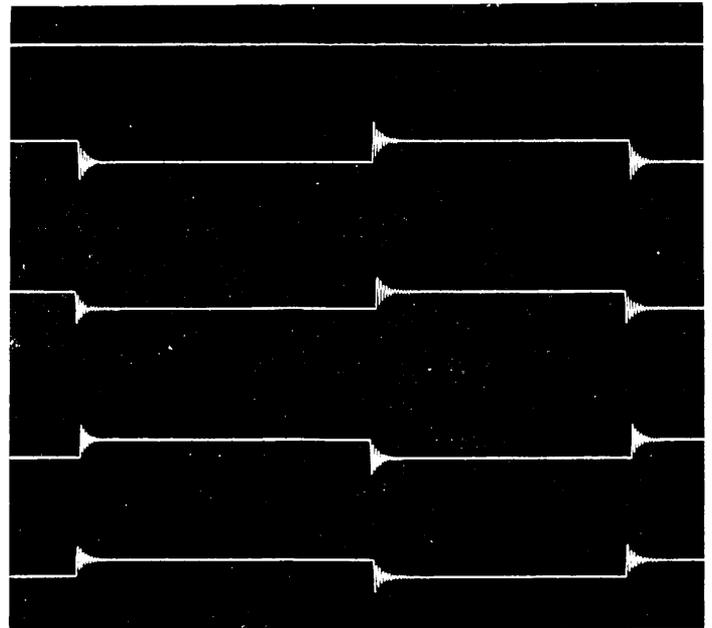


Abb. 1.

gleis für Eilgüterzüge dient. Der Oberbau hat die Form $8b \frac{Br+21E}{15}$, die Laschen die Form 8 A. Die Schienen, deren Kopf etwa 5 mm abgenutzt war, liegen auf eisernen Rippenschwellen, Form 66 b und 71 d, in Kiesbettung. Um die Meßkörper anbringen zu können, war es erforderlich, eine

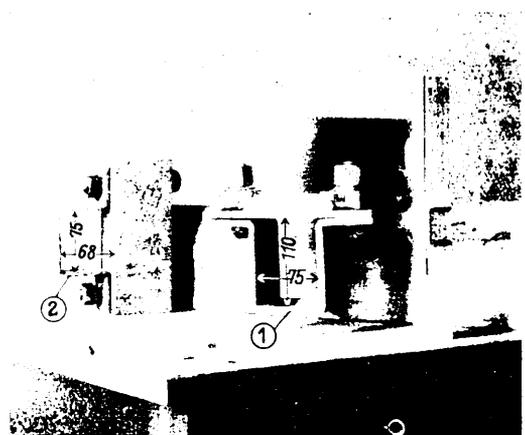


Abb. 2.

Stelle unter dem Gleis bis zu geringer Tiefe (10 bis 15 cm) von dem Bettungsstoff freizumachen. Damit beim Ausheben der Bettungsstoff unter den Schwellen nicht wegrutscht, wurden ungefähr in der Mitte einer Schiene (6830 mm vom Stoß entfernt) an zwei genau um den Schwellenabstand von 67 cm entfernten Schwellen Bleche angebracht. Eine Veränderung des Oberbaues wird an dieser Stelle nicht eintreten.

Die Meßkörper waren an einer Schiene mittels U-förmiger Bügel (1 in Textabb. 2) aus 8 mm starkem Eisenblech be-

festigt. Um auch Meßkörper unmittelbar über einer Schwelle an der Schiene anzubringen (mit den Bügeln kann dies nicht ausgeführt werden), sind durch den Schienensteg über der Schwelle zwei Schraubenbolzen geführt. Mittels einer Klammer (2) in Textabb. 2) wird der Meßkörper an einem Hartholzklötz, durch den die beiden Schraubenbolzen hindurchgehen, festgeklemmt. Das Material für die Befestigungsmittel ist so stark gewählt, daß Störungen durch ihre Eigenschwingungen nicht zu befürchten sind.

An den Versuchstagen war die Strecke für den Durchgangsverkehr gesperrt. Für einige Versuche standen eine

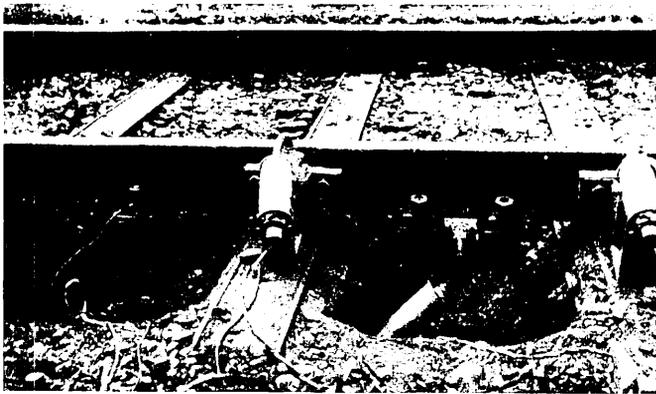


Abb. 3.

Lokomotive und ein beladener offener Güterwagen zur Verfügung, der von der Lokomotive auf die gewünschte Geschwindigkeit gebracht und dann abgestoßen wurde. Eine größere Anzahl Versuche wurden mit einem für diesen Zweck zusammengestellten Zuge, bestehend aus einer Lokomotive

die Meßkörper verschiedentlich unter einander vertauscht. Bei den Aufnahmen ist häufig auch die Filmgeschwindigkeit verändert worden; die kleinste betrug etwa 15 cm/sec, die größte etwa 50 cm/sec. Bei Versuchen mit abgeschalteten Meßkörpern haben sich während der Vorüberfahrt von Fahrzeugen keine Ausschläge der Galvanometerfäden feststellen lassen. Die Fahrzeuge verursachen also keine Störungen am Registrierapparat.

Die folgende Tafel gibt eine Zusammenstellung der Messungen (s. S. 395).

Bei den Messungen wurden an jedem Versuchstage die Eigenfrequenzen der Galvanometerfäden in der oben (S. 393) angegebenen Weise aufgenommen, so daß für alle Messungen die Eigenfrequenzen der Fäden bekannt sind. Ebenfalls an jedem Versuchstage wurde für jeden Meßkörper unter Verwendung entsprechender Aufnahmen berechnet, welche Spannung in Volt am Gitter der Verstärkerröhre einen Ausschlag des Galvanometerfadens von 1 mm in der Aufzeichnung hervorruft; die Kenntnis der Konstante des Meßkörpers ermöglicht dann die Zuordnung eines bestimmten Beschleunigungswertes zu dem Ausschlag von 1 mm in der Aufzeichnung. Die Konstanten der Meßkörper sind vor den Versuchen und ebenfalls unmittelbar hinterher mehrfach bestimmt worden (s. dazu S. 392). Diese Konstanten sind innerhalb ihrer Meßgenauigkeit von etwa 10% unverändert geblieben. Das Zeitzeichen wurde mittels Wechselströmen genau bekannter Frequenzen geeicht und der zeitliche Abstand zu $\frac{1}{51}$ sek gefunden. Dieser Abstand bleibt, wie Kontrollen während und nach den Versuchen bewiesen haben, unveränderlich.

V. Die Auswertung der Aufnahmen.

Die bei den Versuchen erhaltenen Beschleunigungsaufnahmen zeigen im allgemeinen ein sehr verwickeltes Bild. Dies ist bei den vielen in Frequenz und Größe verschiedenen

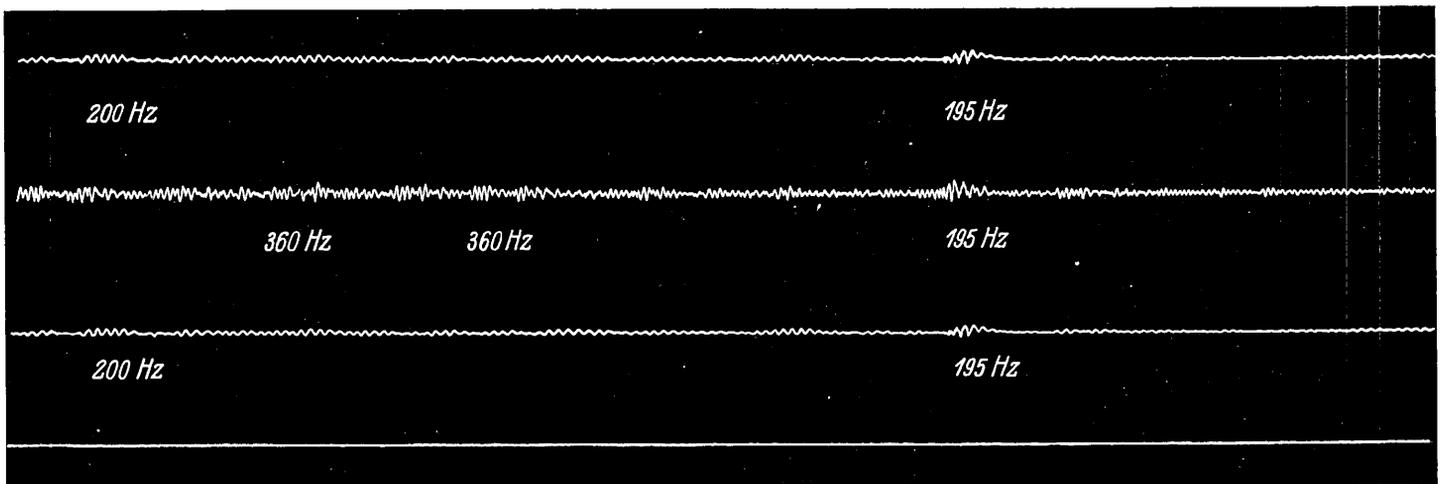


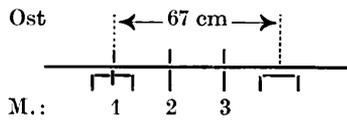
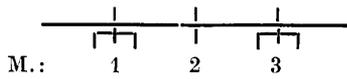
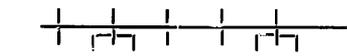
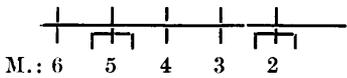
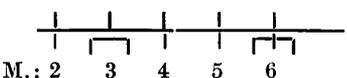
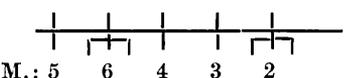
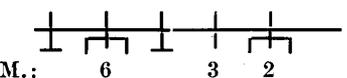
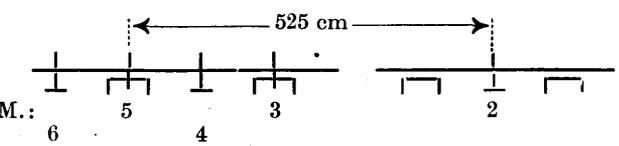
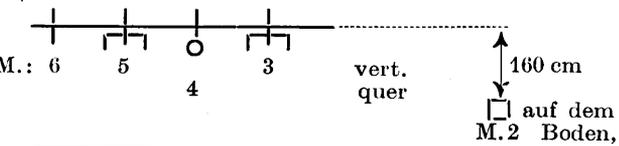
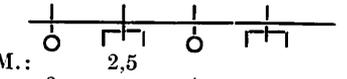
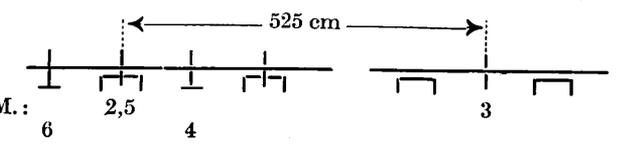
Abb. 4.

und vier gleichen unbeladenen Güterwagen, durchgeführt. In allen Fällen wurde die Geschwindigkeit, mit der die Fahrzeuge über die Meßstellen fuhren, mittels Stoppuhr ermittelt.

Bei allen diesen Versuchen waren zur Messung der vertikalen Beschleunigungen zwei Meßkörper am Schienenstück über je einer Schwelle angebracht, die anderen an der Schiene zwischen den Schwellen. Mit ihnen wurden unter Verwendung der oben angeführten Bügel gemessen die vertikalen sowie die horizontalen Beschleunigungen und zwar sowohl die parallel zur Gleisachse wie auch die senkrecht zu ihr (im folgenden kurz „vert.“, „längs“ und „quer“ genannt.) Ein Anwendungsbeispiel gibt Textabb. 3. Um Fehler zu vermeiden, wurden

Kräften, die am Eisenbahnoberbau wirken, verständlich. Bei der Ausmessung der Aufnahmen ergaben sich verschiedenartige Frequenzen. Um nicht zu geringe Genauigkeit bei ihrer Bestimmung zu erreichen, sind die Frequenzen nur an solchen Stellen auf den Filmen ermittelt worden, bei denen mindestens drei volle Schwingungen dazu benutzt werden konnten. Unter Berücksichtigung dieses Umstandes wurden die Frequenzen an verschiedenen Stellen einer jeden Beschleunigungsaufnahme ausgemessen. Textabb. 4 gibt einen Ausschnitt aus einer Aufnahme (Aufnahme Nr. 7 in der Tafel).

Die Eigenfrequenzen der Galvanometerfäden, die, wie bereits erwähnt, bei den Messungen bekannt waren, liegen

| Tag des Versuches | Nr. der Aufnahme | Art der Fahrzeuge | Geschwindigkeitsbereich km/h | Anordnung der Meßkörper |
|-------------------|------------------|--|------------------------------|---|
| 11. 5. 31 | 1 bis 5 | Abgestoßene Wagen Gew.: 7 t Radst.: 3 m | 6 bis 35 | Ost  West M.: 1 2 3 vert. |
| | 6 bis 9 | | |  M.: 1 2 3 vert. |
| 10. 7. 31 | 10 bis 15 | Abgestoßene Wagen Gew.: 10 t Radst.: 4,5 m | 15 bis 31 |  M.: 2 3 4 5 6 vert. |
| | 16 bis 22 | Lokomotive: Gt 46,17 | 17 bis 40 | |
| 13. 7. 31 | 23 bis 28 | Lokomotive: Gt 46,17 | 17,5 bis 37 | |
| | 29 bis 38 | 4 Rungen-Wagen Gew.: 8,7 bis 10,6 t Radst.: 6 m, 6,5 m Lokomotive: P 35,17 und Tender | 20 bis 34 |  M.: 6 5 4 3 2 vert. |
| 16. 7. 31 | 39 bis 46 | Lokomotive: Gt 46,17 3 G-Wagen Gew.: 10 t Radst.: 4,5 m 1 G1-Wagen Gew.: 12,7 t Radst.: 7 m | 28 bis 36 |  M.: 2 3 4 5 6 vert. |
| 21. 7. 31 | 47 bis 51 | Lokomotive: Gt 46,17 4 G-Wagen Gew.: 9 bis 11,3 t Radst.: 4,5 m | 19 bis 30 |  M.: 5 6 4 3 2 vert. |
| | 52 bis 53 | Lokomotive: Gt 46,17 | 24 bis 34 | |
| | 54 bis 61 | Wie bei 47 bis 51 | 26 bis 36 |  M.: 5 6 4 3 2 vert. längs |
| 25. 7. 31 | 62 bis 66 | Lokomotive: P 35,17 und Tender 4 G-Wagen Gew.: 10,1 bis 11,4 t Radst.: 4 m, 4,5 m | 24,5 bis 43 |  M.: 6 5 4 3 2 vert. längs |
| | 67 bis 73 | Lokomotive: P 35,17 und Tender | Anfahren und Bremsen | |
| | 74 bis 75 | Wie bei 62 bis 66 | 29 |  M.: 6 5 4 3 vert. quer 160 cm □ auf dem M.2 Boden, vert. |
| 28. 7. 31 | 76 bis 83 | Lokomotive: Gt 46,16 4 G-Wagen Gew.: 10,9 t bis 11,3 t Radst.: 4,5 m | 21,5 bis 41,5 |  M.: 6 2,5 4 vert. quer |
| | 83 bis 90 | Desgl. | 34 bis 41,5 |  M.: 6 2,5 4 3 vert. längs |

zwischen 600 und 900 Hz. Die Fäden sind nicht bis an die oberste Grenze gespannt, da bei höchster Fadenspannung die Empfindlichkeit der Fäden ihren Kleinstwert hat.

Um festzustellen, ob eine Abhängigkeit der Frequenzen von der Fahrgeschwindigkeit besteht, sind in Abb. 1, Taf. 29 für die verschiedenen Geschwindigkeiten die ausgemessenen Frequenzen eingetragen; es ist dies für die vier Meßpunkte und zwar: Schiene über der Schwelle, vertikal, ferner freie Schiene, vertikal, außerdem freie Schiene, längs und quer, getrennt geschehen. Wie man sieht, tritt eine bestimmte Frequenz, z. B. 340 Hz, bei verschiedenen Geschwindigkeiten auf. Eine bestimmte Zuordnung von Frequenz und Geschwindigkeit ist nicht erkennbar. Man muß deshalb schließen, daß die Geschwindigkeiten in dem untersuchten Bereich die Frequenzen nicht beeinflussen.

Die gefundenen Frequenzen sind dann geordnet einmal nach den Fahrzeugen, die während der Messung über die Meßpunkte hinwegliefen, also: 1. abgestoßener Güterwagen, 2. Lokomotive und 3. Zug und zweitens nach Meßpunkten und Richtung, also Schiene über der Schwelle und freie Schiene und zwar vertikal, längs und quer (s. dazu S. 394).

Die Abb. 3, Taf. 29 gilt für den Meßpunkt: Schiene über der Schwelle, vertikal. Als Abszisse ist die Frequenz aufgetragen, die Ordinate gibt die Anzahl der auf den Filmen ausgemessenen Stellen an. In Tafelabb. 3a sieht man für den abgestoßenen Güterwagen eine Häufung der Frequenz 180 Hz: an neun Stellen findet sich die Frequenz 180 Hz. Tafelabb. 3b, Lokomotive, gibt ebenfalls ein Überwiegen der Frequenz 180 Hz, ebenso Tafelabb. 3c, Zug. In Tafelabb. 3d sind alle an der Schiene über der Schwelle gemessenen Frequenzen zusammengefaßt. Hierbei ist natürlich ein starkes Überwiegen der Frequenz 180 Hz festzustellen: von 149 insgesamt auf den Filmen ausgemessenen Stellen weisen 61 die Frequenz 180 Hz auf.

Die an der freien Schiene, vertikal, gefundenen Frequenzen sind in Abb. 7a, Taf. 29 für den abgestoßenen Wagen, in Tafelabb. 7b für die Lokomotive, in Tafelabb. 7c für den Zug und in Tafelabb. 7d insgesamt zusammengestellt. In den Tafelabb. 7a und 7c erkennt man ein Überwiegen der Frequenzen 340, 350 und 360 Hz, während in der Tafelabb. 7b die Frequenz 400 Hz stärker hervortritt. Bei der Gesamtdarstellung Tafelabb. 7d sind am häufigsten die Frequenzen 340, 350 und 360 Hz mit 16, 21 und 19 von im ganzen 133 ausgemessenen Filmstellen, dann folgen die Frequenzen 400 und 410 Hz mit neun und acht ausgemessenen Filmstellen. Daß hierbei nicht eine Frequenz besonders stark hervortritt, wie bei der Abb. 3d, Taf. 29 ist dadurch zu erklären, daß die Genauigkeit, mit der die Frequenzen von 340 bis 360 Hz ausgemessen sind, geringer ist, als die der Frequenz von 180 Hz, daß also die Meßwerte bei den höheren Frequenzen stärker streuen.

Die folgende Abb. 4, Taf. 29, gibt die an der freien Schiene, längs, ermittelten Frequenzen wieder. Bei der Tafelabb. 4a, für die Lokomotive, und bei der Tafelabb. 4b, für den Zug, überwiegt die Frequenz 350 Hz, entsprechend auch bei der Tafelabb. 4c, in der die gemessenen Frequenzen zusammengefaßt sind. Hier tritt die Frequenz 350 Hz an 36 von insgesamt 90 ausgemessenen Filmstellen auf, dann folgt die Frequenz 360 Hz an 21 ausgemessenen Filmstellen. Die Abb. 5, Taf. 29, zeigt die an der freien Schiene, quer, gefundenen Frequenzen, die hier nur bei der Vorüberfahrt für den Zug gemessen sind. Die Frequenzen 340 und 330 Hz treten an je 10 von insgesamt 43 ausgemessenen Filmstellen auf, während als nächstfolgende die Frequenz 320 Hz an sechs Filmstellen ermittelt ist.

Ein Übersichtsbild aller an der Schiene über der Schwelle, vertikal, an der freien Schiene, sowohl vertikal wie auch

längs und quer, gefundenen Frequenzen ist in Abb. 6, Taf. 29 gezeichnet. Als Abszisse ist hier die Anzahl der ausgemessenen Filmstellen, als Ordinate die Frequenzen aufgetragen. An der Schiene über der Schwelle, vertikal, überwiegt die Frequenz 180 Hz, es kommen auch die Frequenzen 350 bis 370 Hz vor. Diese Frequenzen treten bei der freien Schiene, vertikal, besonders hervor, während andererseits hier die Frequenzen 180 bis 200 Hz nur vereinzelt gefunden wurden. Die Frequenzen 180 bis 200 Hz werden hier stark von den höheren Frequenzen überlagert. Man muß aus dieser Tatsache schließen, daß die Frequenzen um 180 Hz von der Schwelle hervorgerufen werden. Dafür sprechen auch Beschleunigungsmessungen des Bodens in der Nähe des Gleises, bei denen die Frequenzen 170 und 180 Hz beobachtet wurden. Die Frequenzen um 350 Hz dagegen sind typisch für die freie Schiene, vertikal. Für die freie Schiene, längs, ist die am häufigsten ermittelte Frequenz 350 Hz, dagegen bei der freien Schiene, quer, 310 und 330 Hz; es finden sich in beiden Fällen auch Frequenzen um 180 Hz. An einigen wenigen Filmstellen sind Frequenzen von etwa 500 bis 600 Hz ermittelt, die in Abb. 14 nicht eingetragen werden konnten. Frequenzen unter 160 Hz sind nicht gefunden worden.

Auf den Aufnahmen sind außer den Frequenzen die Größtwerte der Beschleunigungen mit einem Fehler von etwa 10% ausgemessen. Die so erhaltenen Beschleunigungen sind nicht an dem Meßkörper wirklich aufgetreten, sondern in der Aufzeichnung vergrößert wiedergegeben. Die Vergrößerung ist aus dem Verhältnis von aufgezeichneter Frequenz zur Eigenfrequenz des Galvanometerfadens zu berechnen, wozu außerdem die Dämpfung des Galvanometerfadens bekannt sein muß; diese läßt sich aber, wie schon angegeben, aus den Aufnahmen der Eigenfrequenzen der Fäden (s. Abb. 1) ermitteln. Für die verschiedenen Frequenzen sind die Vergrößerungsfaktoren ausgerechnet und damit die zugehörigen Beschleunigungswerte reduziert. Für die Frequenzen bis 200 Hz war eine Reduktion der Beschleunigungen nicht erforderlich, da die Verbesserung innerhalb der Meßgenauigkeit lag. Die Beziehung zwischen diesen Höchstwerten der Beschleunigung und der Fahrgeschwindigkeit zeigt Abb. 2, Taf. 29 getrennt nach den Meßpunkten. Eine Abhängigkeit von der Geschwindigkeit ist hier nicht erkennbar. In der vertikalen Richtung finden sich die größten Beschleunigungen. Die in der Quer-Richtung gemessenen Beschleunigungen scheinen in ihrer Gesamtheit etwas tiefer zu liegen als die in vertikaler und auch in Längs-Richtung. Die ermittelten Beschleunigungen kann man als ein Maß für die an der Schiene bei den angegebenen Frequenzen durch die Bewegungen der Fahrzeuge verursachten Stöße ansehen. Auf Grund der Tafelabb. 2 ist dann festzustellen, daß bei den hohen Frequenzen die größten Stöße in vertikaler Richtung auftreten.

Einige Aufnahmen wurden auch gemacht beim Bremsen und beim Anfahren einer Lokomotive auf der Schiene, an der die Meßkörper angeklemt sind. Vor der Bremsung hatte die Lokomotive eine Geschwindigkeit von etwa 30 km/h. Die Bremsung sollte möglichst kurz erfolgen, was aber nicht immer der Fall war. Die hierbei gemessenen Höchstbeschleunigungen in Längs-Richtung kann man aus Abb. 8, Taf. 29 ersehen. Soweit man aus den wenigen Beschleunigungswerten schließen darf, können beim Anfahren und Bremsen in Längs-Richtung starke Stöße auftreten.

Auf einer Anzahl von Aufnahmen ist es möglich, die Achsfolge des Versuchszuges zu erkennen. Textabb. 5 zeigt einen Ausschnitt einer solchen Aufnahme. Bei diesen Aufnahmen fallen große Beschleunigungswerte auf, die in einer bestimmten zeitlichen Aufeinanderfolge auftreten. Mißt man diese Zeitabstände aus und ermittelt unter Verwendung der mit der Stoppuhr gefundenen Geschwindigkeit die zu-

gehörigen Wegabschnitte, so findet man gerade die Achsabstände des Zuges.

Von großer Bedeutung ist es, festzustellen, ob die gemessenen hohen Frequenzen für die Schiene schädlich werden können. Daher ist im folgenden der Versuch gemacht, die Beanspruchung der Schienen bei den hohen Frequenzen zu ermitteln. Auf einer Aufnahme sind die zu einer bestimmten Zeit an den Meßkörpern aufgetretenen Beschleunigungen bei einer Frequenz von 350 Hz ausgemessen und in der oben angegebenen Weise reduziert. Die Beschleunigungen erfolgen bei allen Meßkörpern in derselben Richtung. Von den fünf Meßkörpern befinden sich zwei an der Schiene über je einer Schwelle, vertikal, und die anderen drei an der freien Schiene, vertikal (s. dazu die Zusammenstellung der Messungen, Aufnahme Nr. 43, Meßkörper 2, 3, 4, 5, 6). Die reduzierten Beschleunigungswerte betragen für die Schiene über der Schwelle 7500 bzw. 7000 cm/sec², für die freie Schiene 13500 bzw. 10000 bzw. 12500 cm/sec². Unter Annahme reiner Sinusschwingungen findet man aus den Beschleunigungen die zugehörigen Bewegungsamplituden zu 0,0015 bzw. 0,0014 cm für die Schiene über der Schwelle, für die freie Schiene zu 0,0028 bzw. 0,0020 bzw. 0,0026 cm bei der Frequenz 350 Hz; die Höchstbeschleunigung *b* einer Sinusschwingung mit Frequenz *n* errechnet sich bekanntlich aus der Bewegungs-

Näherungskurve die Werte der bekannten Durchbiegungen an den fünf Punkten nicht wirklich annimmt, sondern daß sie sich möglichst eng an die wahre Kurve der Durchbiegungen, die ja nicht bekannt ist, anschmiegt. Für die Näherungskurve wird angesetzt eine Kurve dritten Grades von *x*, deren vier Konstanten aus der Bedingung bestimmt werden, daß die Summe der Quadrate der Abweichungen der Näherungskurve von der wahren Kurve ein Minimum werden^{29, 30}. Der Höchstwert des zweiten Differentialquotienten dieser Näherungskurve ergibt, multipliziert mit dem Elastizitätsmodul und dem Trägheitsmoment der Schiene, wie oben den Höchstwert des Momentes und zwar zu: 17800 kg . cm. Daraus folgt für die maximale Beanspruchung unter Verwendung des Widerstandsmomentes

$$\sigma = 100 \text{ kg/cm}^2.$$

Die beiden Zahlenwerte stimmen recht gut überein; trotzdem ist die ermittelte Beanspruchung der Schiene als nicht sehr genau anzusehen, da sie ja unter vereinfachenden Annahmen berechnet ist.

Entsprechend ist die Berechnung der Beanspruchung bei einer Frequenz von 195 Hz durchgeführt. Hierbei standen nur drei Werte für die Durchbiegung zur Verfügung, so daß für die Durchbiegungskurve eine Funktion zweiten Grades von *x* angenommen werden mußte. Für die zweite Ableitung

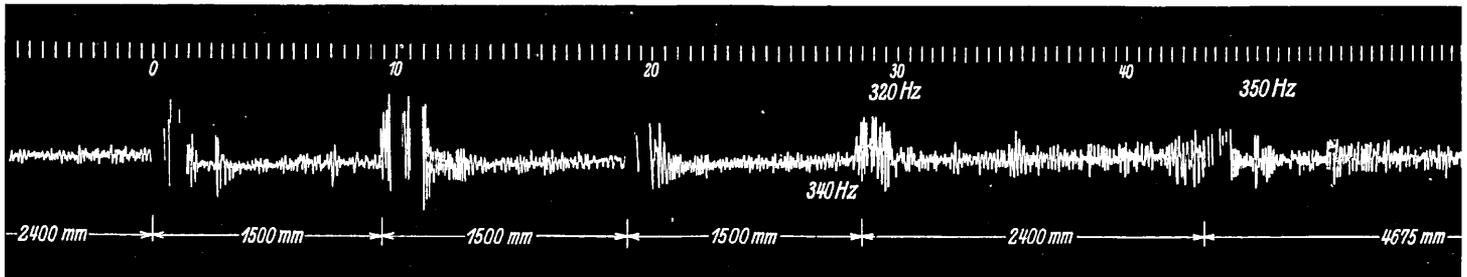


Abb. 5.

amplitude *A* zu: $b = -4\pi^2 \cdot n^2 \cdot A$. Für fünf Punkte eines Schienenstückes, deren Abstände *x* von einander je $\frac{1}{3}$ des Schwellenabstandes, also 22,33 cm, betragen, kennen wir nun für eine bestimmte Zeit die Durchbiegung *y*. Um die einer beliebigen Abszisse *x* zugehörige Durchbiegung *y* zu erhalten, denken wir uns die fünf bekannten Durchbiegungen durch eine Kurve verbunden. Für diese setzen wir eine Funktion vierten Grades von *x* an:

$$y = ax^4 + bx^3 + cx^2 + dx + e.$$

Zur Ermittlung der fünf Konstanten *a* bis *e* dieser Funktion stehen fünf Gleichungen unter Verwendung der bekannten Durchbiegungen zur Verfügung. Nach zweimaliger Differentiation dieser Funktion $y=f(x)$ nach *x* erhalten wir für $\frac{d^2y}{dx^2}$ eine Funktion zweiten Grades von *x*, in der alle Konstanten bekannt sind. In bekannter Weise findet man daraus das

Biegemoment (Absoluter Wert): $M = E \cdot J \cdot \frac{d^2y}{dx^2}$ worin *E* der Elastizitätsmodul zu $2,15 \cdot 10^6 \text{ kg/cm}^2$ und *J* das Trägheitsmoment der abgenutzten Schiene zu 1150 cm^4 genommen ist.

Der Höchstwert des Momentes ist aus der Funktion $\frac{d^2y}{dx^2}$ bestimmt zu 19000 kg . cm . Für die maximale Beanspruchung ergibt sich bei einem Widerstandsmoment der abgenutzten Schiene von $W = 175 \text{ cm}^3$

$$\sigma = 110 \text{ kg/cm}^2.$$

Um die Güte der Näherungskurve vierten Grades übersehen zu können, wurde eine zweite Näherungskurve der Durchbiegungen unter der Voraussetzung entwickelt, daß die

dieser Funktion erhält man dann eine Konstante. Daraus folgt für das Moment ebenfalls ein konstanter Wert:

$$M = 55200 \text{ kg . cm}.$$

Für die Beanspruchung findet man:

$$\sigma = 310 \text{ kg/cm}^2.$$

Für die Genauigkeit dieses Zahlenwertes gilt das Gleiche, welches oben schon gesagt ist. Da hier nur drei Werte für die Durchbiegung vorliegen, läßt sich eine andere Näherungskurve nicht bestimmen.

VI. Vergleich der Messungen mit Angaben aus der Literatur und mit theoretisch berechneten Werten; aus den Messungen gezogene Folgerungen.

Die Messungen am Eisenbahnoberbau mit dem Piezoquarz-Beschleunigungsmesser haben ergeben, daß bei vertikalen Schwingungen Frequenzen von etwa 180 Hz und solche von etwa 350 Hz häufig vorkommen. Zum Vergleich mit diesen Ergebnissen seien Angaben über Messungen mit anderen Instrumenten herangezogen. Bloss¹³ hat eine starke Oberschwingung von etwa 200 Hz festgestellt. Auf den der Arbeit von Saller⁶ beigegebenen Abbildungen finden sich verschiedentlich Frequenzen von etwa 200 Hz. Außerdem gibt noch Faatz¹⁴ Frequenzen von etwa 140 Hz an. In der Arbeit von Saller werden ferner Frequenzen von über 300 Hz erwähnt. In einer anderen Veröffentlichung³¹ sind auf Grund von Riffelbildung an den Schienen Frequenzen von etwa 330 Hz ermittelt. In den Abhandlungen über Riffelbildung werden von verschiedenen Autoren Frequenzen in derselben Höhe als vorhanden angenommen z. B. von Sieber³². Die

mit dem Piezoquarz-Beschleunigungsmesser bei Schwingungen der Schiene in Längsrichtung am häufigsten gefundene Frequenz von 350 Hz und ebenso die bei den Schienenschwingungen in Querrichtung am häufigsten gefundenen Frequenzen 310 und 330 Hz können nicht mit anderen Werten verglichen werden, da in der Literatur über die Eisenbahnoberbaumessungen keine Angaben über Frequenzen horizontaler Schienenschwingungen gefunden sind.

Im folgenden ist der Versuch unternommen, die Frequenzen der vertikalen Schwingungen auf verschiedene Art und Weise zu ermitteln. Erstens ist angenommen: für die Schiene gelte die Differentialgleichung eines freischwingenden Stabes

$$E \cdot J \cdot \frac{d^4 y}{dx^4} + \mu \cdot \frac{d^2 y}{dt^2} = 0,$$

wobei E der Elastizitätsmodul, J das Trägheitsmoment und μ die Masse für die Längeneinheit ist. Als Lösung dieser Differentialgleichung setzt man das Produkt zweier Funktionen X · T an, von denen die eine X nur von der Abszisse x, die andere T nur von der Zeit t abhängt. Als Funktion X ist nun die von Zimmermann³³ berechnete Abhängigkeit der Senkung der Schiene von der Abszisse gewählt: für die Funktion T ist eine einfache periodische Abhängigkeit angenommen. Durch Einsetzen dieser Funktionen in die Differentialgleichung erhält man die Bestimmungsgleichung für die Frequenz der Zeitfunktion in Verbindung mit den Konstanten des Oberbaues. In unserem Falle finden wir für diese Frequenzen etwa 90 Hz. Nimmt man dieselbe Differentialgleichung für die Querschwellen und setzt die entsprechenden Werte ein, so ergibt sich eine Frequenz von etwa 80 Hz. Die gemessenen Frequenzen sind etwa zwei- bis viermal größer als die mit Hilfe obiger Differentialgleichung gefundenen.

Ein anderer Ansatz für die Frequenz geht von der von Saller¹⁸ entwickelten Differentialgleichung für die Schwingungen am Oberbau aus. Aus dieser Differentialgleichung läßt sich die Eigenfrequenz des Oberbaues ausrechnen: es ergibt sich:

$n = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{K}{m}}$, wobei K die sogenannte Wiederherstellungsziffer des Oberbaues (s. dazu Saller¹⁸) und m die schwingende Masse ist. K wird aus den Konstanten des Oberbaues berechnet, dagegen muß m geschätzt werden (s. dazu Saller¹⁸, ²⁰). Nach Einsetzen der Zahlenwerte folgt für n ungefähr 80 Hz. Diese berechnete Frequenz ist etwa viermal kleiner als die gemessene. Die beiden Ansätzen zur Frequenzberechnung zugrunde gelegten Werte für die schwingende Masse würden dann mit den Messungen übereinstimmende Ergebnisse liefern, wenn sie 16 bis 18 mal kleiner angesetzt würden.

Die theoretisch gefundenen Frequenzen geben also keine Übereinstimmung mit den gemessenen Werten.

Die mit dem Piezoquarz-Beschleunigungsmesser gemessenen Beschleunigungswerte können mit Angaben aus der Literatur nicht verglichen werden, da mit den bisherigen Meßverfahren am Eisenbahnoberbau keine Beschleunigungen beobachtet wurden. Die aus den gefundenen Beschleunigungen errechneten Spannungswerte besitzen, worauf oben schon hingewiesen ist, nur eine geringe Genauigkeit. Denn einmal sind die für die Rechnung benutzten Beschleunigungen mit Fehlern, die mit etwa 10% anzugeben sind, behaftet, und zweitens wird durch das Näherungsverfahren ein Fehler hineingebracht, dessen Größe von der jeweils gewählten Näherungskurve bestimmt wird: ein Zahlenwert für diesen Fehler läßt sich nicht angeben. Zum Vergleich mit diesen errechneten Spannungen — 310 kg/cm² bei der Frequenz 195 Hz und 110 bzw. 100 kg/cm² bei der Frequenz 350 Hz — lassen sich Messungen von Saller⁶ heranziehen. Auf einigen

dieser Arbeit beigegebenen Abbildungen lassen sich bei Frequenzen von etwa 220 Hz Spannungen von 400 bis 500 kg/cm² ausmessen. Da die Eigenfrequenz des benutzten Geigerschen Spannungsmessers etwa 190 Hz beträgt, so sind diese Werte zu reduzieren. Als Vergrößerungsfaktor ergibt sich ungefähr 2, so daß die wirklichen Spannungen 200 bis 250 kg/cm² betragen. Frequenzen von 350 Hz sind in den Abbildungen der Arbeit von Saller nicht angegeben: ein Vergleich bei diesen Frequenzen ist daher nicht möglich. In anderen Abhandlungen sind Angaben von Spannungen bei Frequenzen über 150 Hz nicht enthalten.

Auf keiner Aufnahme des Piezoquarz-Beschleunigungsmessers wurden an irgendeiner Stelle Frequenzen unter 160 Hz gefunden. Da bei anderen Messungen vorwiegend Frequenzen bis etwa 100 Hz beobachtet wurden, muß man den Schluß ziehen, daß die Beschleunigung der Frequenzen unter 100 Hz erheblich geringer ist als die der Frequenzen über 180 Hz. Berechnungen auf Grund der Messungen von Wettl¹² ergeben für niedrige Frequenzen bei einer Schienensenkung von mindestens 3 mm Beschleunigungen bis höchstens 1 \bar{g} (1 \bar{g} gleich der Erdbeschleunigung, 981 cm/sec²). Beschleunigungen von dieser Größenordnung sind in der Tat auf den Beschleunigungsaufnahmen kaum erkennbar, da sie im Höchstfall Ausschläge der Galvanometerfäden von $\frac{1}{2}$ mm hervorrufen würden. Die Meßkörper für diese geringen Beschleunigungen empfindlicher zu machen, läßt sich aus folgendem Grunde nicht durchführen. Wollte man kleinere Kondensatoren in die Meßkörper einbauen, so würden die großen Beschleunigungen zu hohe Spannungsschwankungen am Gitter der Verstärkerröhren hervorrufen und dadurch zu Störungen Anlaß geben, eine Erscheinung, auf die schon anfangs hingewiesen ist. Man muß also unbedingt die großen Kondensatoren beibehalten. Daß die Beschleunigungen bei den hohen Frequenzen trotz geringer Bewegungsamplitude sehr groß werden, ist verständlich, da ja, Sinusschwingungen vorausgesetzt, die Beschleunigung proportional dem Quadrat der Frequenz ansteigt. Der Piezoquarz-Beschleunigungsmesser ist daher vorwiegend geeignet zur Untersuchung der hohen Frequenzen am Eisenbahnoberbau.

Aus den bei den hohen Frequenzen errechneten Spannungswerten darf man wohl den Schluß ziehen, daß die Schienen bei den hohen Frequenzen nicht stark beansprucht werden. Es wird daher nicht erforderlich sein, zur Spannungsmessung an den Schienen Instrumente zu bauen, die solche hohen Frequenzen noch einwandfrei aufzeichnen. Es wird genügen, wenn derartige Instrumente noch Frequenzen bis etwa 100 Hz gut erkennbar registrieren. Dafür sind noch Hebelinstrumente geeignet, sofern ihre Konstruktion nach schwingungstechnischen Grundsätzen durchgeführt ist. Wichtig ist natürlich bei diesen Geräten die Kenntnis ihrer Resonanzfrequenzen, die entweder rechnerisch ermittelt oder durch Eichung, z. B. mittels Schütteltisch, gefunden werden.

Literaturverzeichnis.

1. Ast, Beziehungen zwischen Gleis und rollendem Material. Org. Fortschr. Eisenbahnwes. 35 (1898) Beilage.
2. A. Wasjutynski, Beobachtungen über elastische Formänderungen des Eisenbahngleises. Org. Fortschr. Eisenbahnwes. 36 (1899), S. 293.
3. A. Bloss, Beobachtungen am Eisenbahngleis mit dem Lichtbildverfahren. Org. Fortschr. Eisenbahnwes. 57 (1920), S. 140.
4. A. Bloss, Zur Frage des Biegemomentes in den Fahrstienen. Org. Fortschr. Eisenbahnwes. 60 (1923), S. 144.
5. Handbuch der Ingenieurwissenschaften, Teil V, Bd. 2, S. 45. Verlag W. Engelmann, Leipzig 1906.
6. H. Saller, Dynamische Messungen am Eisenbahnoberbau. Org. Fortschr. Eisenbahnwes. 63 (1926), S. 183.

7. Chr. Driëssen, Dynamische Messungen am Eisenbahnoberbau. Org. Fortschr. Eisenbahnwes. 63 (1926), S. 426.
8. H. Saller und J. Geiger, Dynamische Messungen am Eisenbahnoberbau. Org. Fortschr. Eisenbahnwes. 64 (1927), S. 151.
9. Chr. Driëssen, Dynamische Messungen am Eisenbahnoberbau. Org. Fortschr. Eisenbahnwes. 64 (1927), S. 529.
10. J. Oelschläger, Prüfung von Schwingungen und dynamischen Spannungen an Brücken. Bautechn. 6 (1928), S. 297.
11. J. Geiger, Die Aufzeichnung rasch wechselnder Dehnungen mit Hilfe des Extensographen. Bautechn. 7 (1929), S. 840.
12. A. Wettl, Messung senkrechter Schienenbewegungen. Org. Fortschr. Eisenbahnwes. 66 (1929), S. 443 und 457.
13. A. Bloss, Zur Frage der Dehnungs- und Schwingungszeichner. Bautechn. 8 (1930), S. 566.
14. A. Faatz, Schwingungen im Oberbau. Org. Fortschr. Eisenbahnwes. 68 (1931), S. 218.
15. von Gruenewaldt, Amerikanische Oberbauuntersuchungen. Org. Fortschr. Eisenbahnwes. 66 (1929), S. 89 u. 105.
16. Roach, Applying Photographie to the Study of Track Stresses. Rly. Age 72 (1922), S. 916.
17. Device for Determining Stresses in Track. Electr. Rly. J. 62 (1923), S. 249.
18. H. Saller, Einfluß bewegter Last auf Eisenbahnoberbau und Brücken. Verlag Kreidel, München, 1921.
19. H. Saller, Berechnungen am Eisenbahnoberbau unter bewegten Lasten bei Berücksichtigung der Dämpfung der Schwingungen. Org. Fortschr. Eisenbahnwes. 59 (1922), S. 79.
20. H. Saller, Zur Dynamik des Eisenbahnoberbaues. Org. Fortschr. Eisenbahnwes. 63 (1926), S. 149.
21. H. Saller, Dynamik des Eisenbahnoberbaues. Org. Fortschr. Eisenbahnwes. 63 (1926), S. 422.
22. Dreyer, Beiträge zu einer dynamischen Theorie des Eisenbahnoberbaues. Verlag Mahr, München, 1925.
23. R. Ambronn, Über Erschütterungsmessungen und einen neuen Messer für schnelle Schwingungen. Zbl. Bauverw. 50 (1930), S. 754.
24. H. Geiger und K. Scheel, Handbuch der Physik, Bd. VIII, S. 290. Verlag J. Springer, Berlin, 1927.
25. Landolt-Börnstein, Physikalisch-Chemische Tabellen, 2. Teil. Verlag J. Springer, Berlin, 1931.
26. H. Geiger und K. Scheel, Handbuch der Physik, Bd. XVI, S. 326, 1927.
27. W. Zeller, Praktische und theoretische Untersuchung von Schwingungsmessern zur Aufnahme und Beurteilung von Verkehrserschütterungen. Z. Bauwes. 80 (1930), S. 171.
28. H. Steuding, Messung mechanischer Schwingungen. S. 71. VDI-Verlag, Berlin, 1928.
29. H. von Sanden, Mathematisches Praktikum. Verlag G. Teubner, Berlin und Leipzig, 1927.
30. H. Kulka, Beitrag zur Ermittlung von dynamischen Beanspruchungen in eisernen Brücken. Bautechn. 9 (1931), S. 387.
31. H. Saller, Dynamik und Schwingungen des Eisenbahnoberbaues. Zeitschr. VDI. 72 (1928), S. 1323.
32. K. Sieber, Zusehrift zu Geiger, Untersuchung der Riffelbildung mit Hilfe des Torsiographen. Z. VDI. 68 (1924), S. 616.
33. H. Zimmermann, Die Berechnung des Eisenbahnoberbaues. S. 24. Verlag Ernst Korn, Berlin, 1888.
34. C. Risch, Grundsätzliches über Erschütterungswirkungen im Straßenverkehr. Straßenbau 18 (1927), S. 397.
35. C. Risch, Messungen von Verkehrserschütterungen. Verkehrstechn. 10 (1929), S. 707.
36. H. Saller, Stoßwirkung unrunder Räder auf den Eisenbahnoberbau. Zbl. Bauverw. 41 (1921), S. 115.
37. W. Hort, Stoßbeanspruchungen und Schwingungen der Hauptträger statisch bestimmter Eisenbahnbrücken. Bautechn. 6 (1928), S. 37.
38. R. Bernhard, Beitrag zur Brückenmeßtechnik. Stahlbau 1 (1928), S. 145.

Von den Übergangskurven.

Von Dr. Saller, Regensburg.

Daß durch den Weltkrieg und die im Sowjetreich dem Kriege folgenden politischen Verhältnisse fast alle Fäden gelöst worden sind, die die russische Wissenschaft mit dem Ausland verbanden, ist bekannt. Aus dem Bereich der Übergangskurven soll hier unter teilweiser Benutzung russischer Quellen*) einiges mitgeteilt werden, was m. E. auch uns teilweise neue Gesichtspunkte vermittelt.

Fast allgemein werden die Eisenbahngleise unter Verwendung von Kreisbögen verlegt, da diese Verlegung in der Ausübung eine Reihe von Vorteilen bietet. Aber es ergibt sich dabei der Nachteil, daß am Übergang von der Geraden zum Kreisbogen der Halbmesser auf einmal vom Wert ∞ auf einen endlichen, unter Umständen recht geringen Halbmesser springt. Die Überhöhung als Abhängige des Halbmessers macht diesen Sprung mit. Je größer die Geschwindigkeit und je kleiner der Halbmesser, desto mehr gilt es, diesen Übergang zu mildern.

An eine Übergangskurve zwischen einer Geraden und einem Kreisbogen sind mehrfache Anforderungen zu stellen: einmal, daß der Übergang vom Halbmesser ∞ der Geraden auf den endlichen Halbmesser des Kreisbogens allmählich erfolgt, also mit dem Halbmesser ∞ einsetzt. Dieser Bedingung genügen alle Kurven mit Wendepunkt. Die zweite Bedingung ist, daß die Übergangskurve nach einer gewissen Entfernung andererseits sich berührend dem Kreisbogen anschließt. Auch diese zweite Bedingung läßt sich von fast jeder Kurve mit Wendepunkt je nach Wahl der Eigenschaften dieser Kurve erfüllen. So kommt es, daß man in der Theorie der Übergangskurven so ziemlich auf alle bekannten Kurven

mit Wendepunkt trifft, sofern man sich mit obigen zwei Bedingungen begnügt. Es gibt aber noch eine dritte Anforderung, die billigerweise an eine Übergangskurve gestellt werden darf. Diese ist, daß die Übergangskurve ihren Halbmesser nicht beliebig, sondern nach einem ganz bestimmten Gesetz, das wir ihr vorschreiben, ändert. Für diese Anforderung bieten sich drei Möglichkeiten (Abb. 1).

1. Umgekehrte Verhältnissgleichheit des Krümmungshalbmessers an jeder Stelle zum Schatten x des zu ersetzenden Kreisbogens.

2. Umgekehrte Verhältnissgleichheit zur Sehne des Kreisbogens.

3. Umgekehrte Verhältnissgleichheit zur Bogenlänge b .

Man kann diese drei Anforderungsmöglichkeiten wie folgt mathematisch ausdrücken:

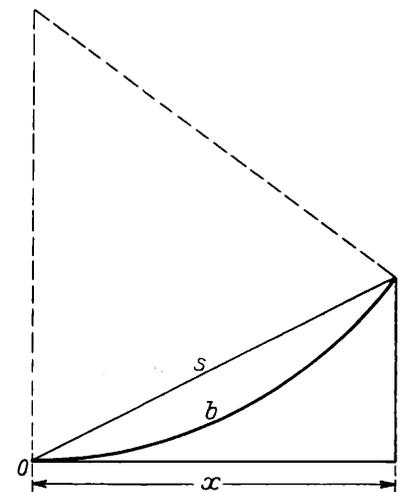


Abb. 1.

$$\varrho = \frac{C}{x} \dots \dots \dots 1)$$

$$\varrho = \frac{C}{s} \dots \dots \dots 2)$$

$$\varrho = \frac{C}{b} \dots \dots \dots 3),$$

*) W. P. Kratschkowsky, Ustroistwo scheljesnodoroschnowo puti.

wobei ρ der Krümmungshalbmesser der Übergangskurve an beliebiger Stelle und C ein Festwert ist.

Bekanntlich ist genau

$$\rho = \frac{\left(1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2\right)^{\frac{3}{2}}}{d^2y/dx^2} \dots \dots \dots 4).$$

Setzt man nach Gl. 1)

$$\frac{\left(1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2\right)^{\frac{3}{2}}}{d^2y/dx^2} = \frac{C}{x} \dots \dots \dots 5),$$

so erhält man eine Übergangskurve, von der aus dem deutschen Schrifttum*) nur bekannt ist, daß sie sich als elastische Linie eines waagrecht eingespannten, am freien Ende belasteten, (ursprünglich) geraden Stabes kennzeichnet, daß aber die Gleichung der Kurve in elementaren Funktionen und in endlicher Form nicht ausgedrückt werden kann.

In russischer Quelle wird dafür ohne weitere Ableitung die Reihenentwicklung gegeben:

$$y = \frac{x^3}{6C} \left(1 + \frac{3x^4}{1 \times 7 \times 4C^2} + \frac{3 \times 3x^8}{2 \times 4 \times 11(4C^2)^2} + \dots \dots \dots 6),$$

eine Reihe, die für $\frac{x^4}{4C^2} < 1$ konvergiert. Für Größen x , die im Verhältnis zu C klein sind, kann man sich mit dem ersten Glied begnügen und dann kommt man zu der bekannten einfachen Gleichung der kubischen Parabel, die man unmittelbar erhält, wenn man in (4) bei bekannter Vereinfachung $\rho = \frac{1}{d^2y/dx^2}$ setzt, nämlich

$$y = \frac{x^3}{6C} \dots \dots \dots 7) \text{ (Abb. 2).}$$

Aber die kubische Parabel befriedigt die Anforderung der umgekehrten Verhältnissgleichheit des Krümmungshalbmessers zum Schatten

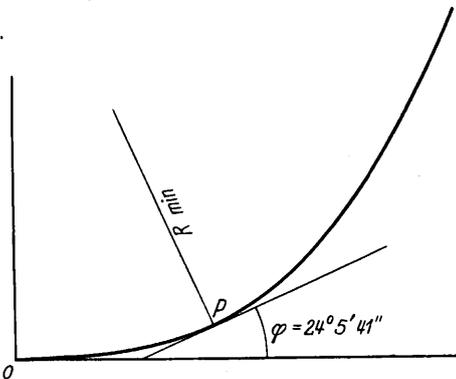


Abb. 2.

des Kreisbogens nur für verhältnismäßig geringe Werte der Abszissen. Für $x = 0$ wird aus Gl.1) $\rho = \infty$. Mit zunehmendem x nimmt der Krümmungshalbmesser ab, aber nur bis zu einer bekannten Grenze. Dann wächst der Krümmungshalbmesser wieder an. Der kleinste Krümmungshalbmesser ist bei einem Punkt P erreicht, der „Gipfel-punkt“ der kubischen Parabel heißt und die Eigenschaft besitzt, daß die hier Berührende mit der Abszissenachse den Winkel $\varphi = 24^\circ 5' 41''$ bildet. Wollte man also, was ja auch zur Erörterung steht und theoretische Vorteile hätte, von der Unregelmäßigkeit einer Kreisbogeneinschaltung mit beiderseitigen Übergängen absehen und bei Umlenkung von einer Geraden auf eine andere nur mit einem einheitlichen Übergangsbögen vorgehen, so wäre das bei der kubischen Parabel nur bis zu einem Winkel $2\varphi \leq 48^\circ 11' 22''$ möglich.

Für die zweite Möglichkeit der umgekehrten Verhältnis-

*) Z. B. Czuber Vorlesungen II. 2. Aufl., S. 416. Kiepert u. Intgr. R. II. 10. Aufl., S. 592.

Gleichung der Lemniskate (Schleifenlinie) von Bernoulli (Abb. 3). Die Lemniskate hat die Form einer langgezogenen gleichheit des Halbmessers zur Sehne, $\rho = \frac{C}{s}$, ergibt sich die

Acht, deren Achse zur Abszissenachse unter 45° geneigt ist. Der Krümmungshalbmesser nimmt von ∞ für $x = 0$ bis zur Spitze S ab, um dann wieder bis ∞ zu wachsen. Die Berührende im Punkte S bildet mit der Abszissenachse einen Winkel von 135° . Man kann also mittels der Lemniskate ohne Kreisbogenzwischenschaltung unmittelbar zwei Geraden verbinden, die um $\leq 270^\circ$ gegeneinander verdreht sind.

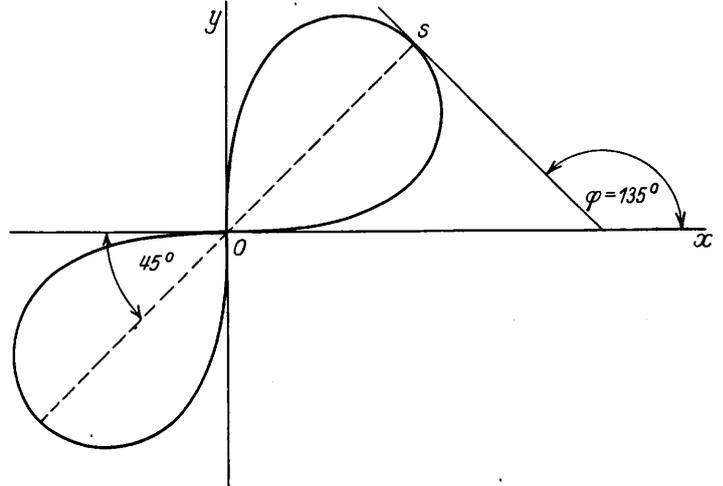


Abb. 3.

Endlich die dritte Möglichkeit der umgekehrten Verhältnissgleichheit des Halbmessers zur Bogenlänge, $\rho = \frac{C}{b}$. Sie ergibt eine Spirale, die im russischen Fachschrifttum als „radioidalne“ Spirale eingeführt wird (Abb. 4). Ob diese Bezeichnung auch im deutschen Fachschrifttum, bzw. welche andere Bezeichnung dafür üblich ist, konnte ich bisher nicht ermitteln. Im Punkt O ist der Wendepunkt und damit der

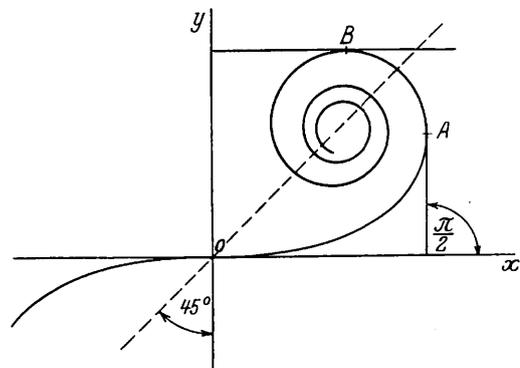


Abb. 4.

Halbmesser ∞ . Bis A nehmen die Koordinaten x und y zu. Für $\varphi = \frac{\pi}{2}$, also Punkt A, ist die Berührende gleichlaufend zur y -Achse und x hat seinen Höchstwert. Wächst φ weiter bis π , so nehmen die x ab und die y wachsen, um in B für $\varphi = \pi$ den GrößtWert zu erreichen, für den die Berührende der x -Achse gleichläuft usw. Es bildet sich eine Spirale mit unendlich vielen Umdrehungen um den Punkt M. Die Spirale kann ohne Winkelbeschränkung angewendet werden. In Amerika sollen ganze Kurven zwischen beliebigen zwei Geraden nach solchen Spiralen verlegt werden.

Die Wahl der Übergangskurven würde sich danach auf drei beschränken. Der Anwendung aller dieser drei Kurven

ist, die neuen zweiachsigen Triebwagen auf Motorleistungen von 120 bis 150 PS bei Eigengewichten von etwa 13 bis 17 t. Die Gewichtersparnisse bei den neuen Triebwagen wurden im wesentlichen dadurch erzielt, daß man von der üblichen Bauweise der Eisenbahnfahrzeuge abwich und zur sogenannten leichten Stahlbauart überging. Hierunter wird eine Kastenkonstruktion verstanden, die aus ganz leichten Profilen zu-

Die Benutzung von Leichtmetall für manche Teile der Innenausstattung, z. B. Gepäcknetzstützen, Sitzfüße usw., hat sich als zweckmäßig erwiesen, während jedoch für die tragenden Konstruktionsteile des Wagenkastens die leichte Stahlbauweise vorteilhafter zu sein scheint, da die durch Leichtmetall erzielbare geringe weitere Gewichtsverminderung in keinem Verhältnis zu den erheblichen Mehrkosten steht. Als zweckmäßigste Wagentypen für den Verkehr auf Nebenbahnstrecken haben sich ein zweiachsiger Wagen mit etwa 40 Sitzplätzen (Abb. 1) und ein vierachsiger Wagen mit etwa 75 Sitzplätzen (Abb. 2) ergeben.

Triebwagen für Hauptbahnstrecken.

Die Deutsche Reichsbahn beabsichtigt, eine größere Zahl vierachsiger Triebwagen mit Fahrgeschwindigkeiten bis zu 100 km/h in Dienst zu stellen, die zur Verdichtung des Verkehrs zwischen näher zusammenliegenden größeren Städten dienen soll. Der Einsatz von schnellfahrenden Triebwagen auf Hauptstrecken, für die außerdem ein großes Platzangebot gefordert wurde, bedingte eine ganz erhebliche Vergrößerung der Motorleistung gegenüber derjenigen bisheriger Triebwagenbauarten. Nachdem zunächst versuchsweise drei derartige Wagen für eine Höchstgeschwindigkeit von 90 km/h gebaut wurden (Abb. 3), die jedoch noch nach normalen für Personenwagen geltenden Grundsätzen und Normen konstruiert waren und infolgedessen ziemlich schwer, nämlich etwa 52 t, ausfielen, wurden von der Reichsbahn zwei neue Wagenbauarten in Auftrag gegeben für Höchstgeschwindigkeiten von 80 und 100 km/h. Bei diesen Fahrgeschwindigkeiten wird ein erheblicher Teil der Leistung benötigt, um den stark ansteigenden Luftwiderstand zu überwinden. Es wurden deshalb die Wagen mit möglichst glatt durchlaufenden Seitenwänden und abgerundeten Stirnwänden ausgeführt. Drehgestelle und unter dem Wagen hängende Apparate werden durch eine ringsum laufende Schürze verdeckt, die eine Wirbelbildung verhindert. Durch diese Maßnahmen kann eine nennenswerte Herabsetzung des Luftwiderstandes

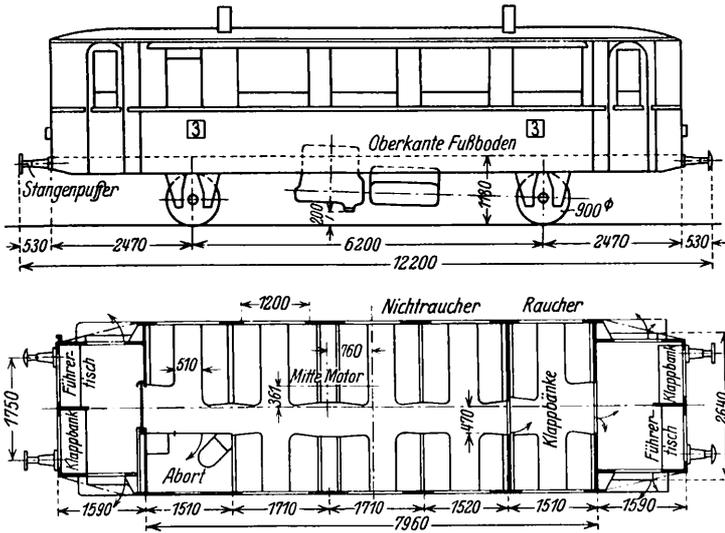


Abb. 1. Zweiachsiger benzol-mechanischer Triebwagen (vergl. Nr. 2 der Zusammenstellung).

sammengesetzt ist. Diese Profile werden meistens aus gebogenen oder gefalteten Blechen hergestellt. Bei der Verbindung der Profile lassen sich durch Anwendung des Schweißverfahrens weitere Gewichtersparnisse erzielen. Eine erhebliche Gewichtsverminderung läßt sich aber noch dadurch erreichen, daß man auf die Forderung verzichtet, die Triebwagen in normale Züge

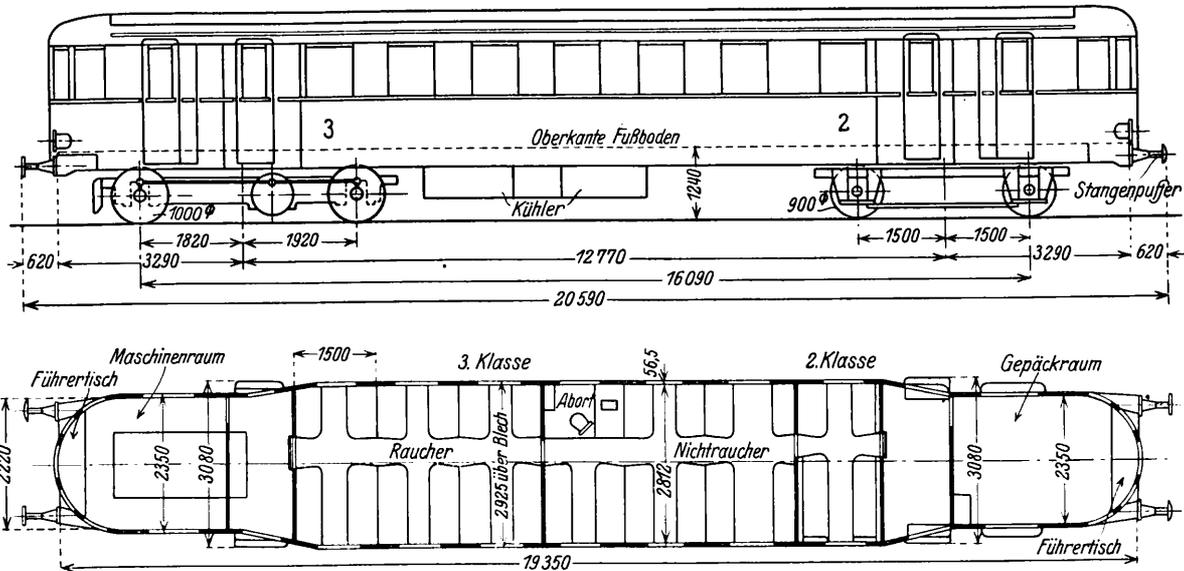


Abb. 2. Vierachsiger diesel-mechanischer Triebwagen (vergl. Nr. 5 der Zusammenstellung).

einstellen zu können, und daß man ihnen als Beiwagen besondere ebenso leicht gebaute Wagen mitgibt. Hierdurch kann man eine viel schwächere Untergestell-Konstruktion anwenden und mit leichteren Zug- und Stoßvorrichtungen auskommen. Die Abkehr von der normalen Bauweise ist am auffälligsten bei einigen von der Deutschen Reichsbahn bestellten sogenannten „Schienenomnibussen“, bei deren Untergestell-Konstruktion normale Teile aus dem Automobilbau Verwendung finden.

erreicht werden, wie durch Modellversuche festgestellt worden ist. Bei den neuen Hauptbahntriebwagen fanden die oben dargelegten Grundsätze des Leichtwagenbaues Anwendung, so daß das Triebwagengewicht auf etwa 42 t herabgebracht werden konnte. Beide Wagen haben ein Fassungsvermögen von etwa 80 Sitzplätzen und 20 Stehplätzen; sie sind in der Lage, einen etwa gleich großen vierachsigen Beiwagen von 18 t Gewicht mitzunehmen. Die eingebauten Motorleistungen

betragen 410 PS bei den Wagen für 100 km Geschwindigkeit und 300 PS bei den Wagen für 80 km Geschwindigkeit.

Schnelltriebwagen.

Besondere Beachtung verdient der Versuch, den die Deutsche Reichsbahn zurzeit mit einem Schnelltriebwagen auf der Strecke Berlin-Hamburg unternimmt. Dieser Triebwagen (Abb. 4) ist für eine betriebsmäßige höchste Fahrgeschwindigkeit von 150 km/h bestimmt, es wird dadurch vor-

mit gußeisernen Bremsklötzen hervorgerufen. Da dies jedoch noch nicht genügen würde, wurden außerdem kräftige elektromagnetische Schienenbremsen angebracht, die unabhängig vom Wagengewicht und der Reibung zwischen Rad und Schiene eine wirksame starke Zusatzbremsung erzeugen.

Motoren.

Als Antriebsmotor bei den Triebwagen der Reichsbahn hat sich der Dieselmotor durchgesetzt; nur noch wenige

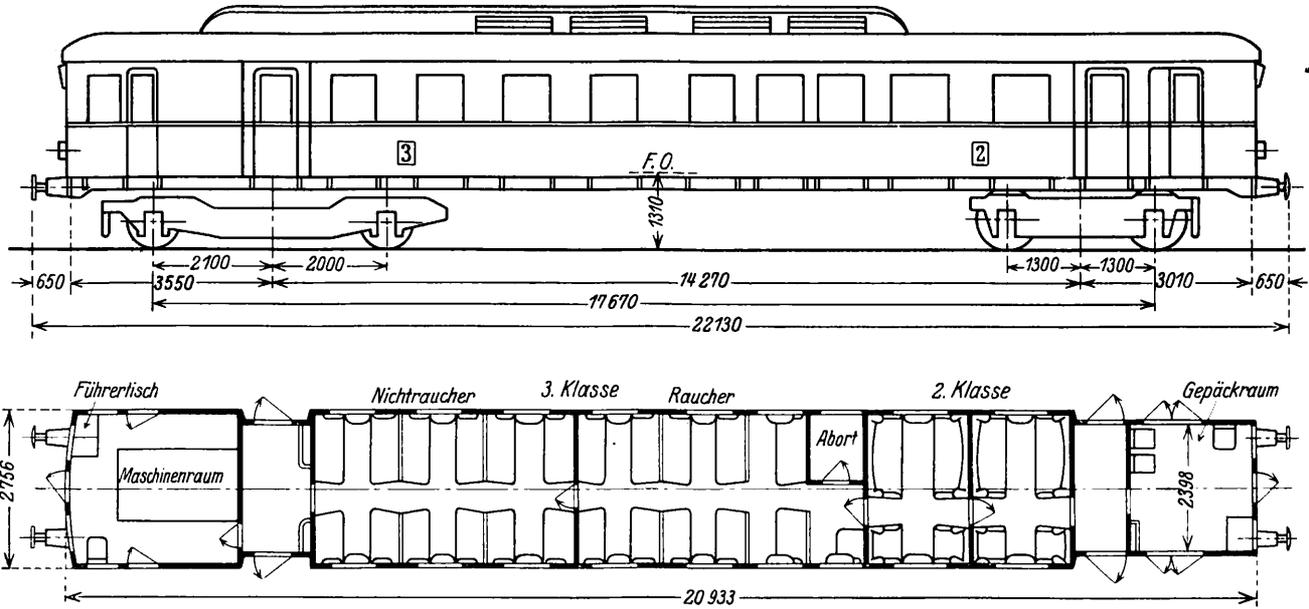


Abb. 3. Vierachsiger diesel-elektrischer Triebwagen (vergl. Nr. 6 der Zusammenstellung).

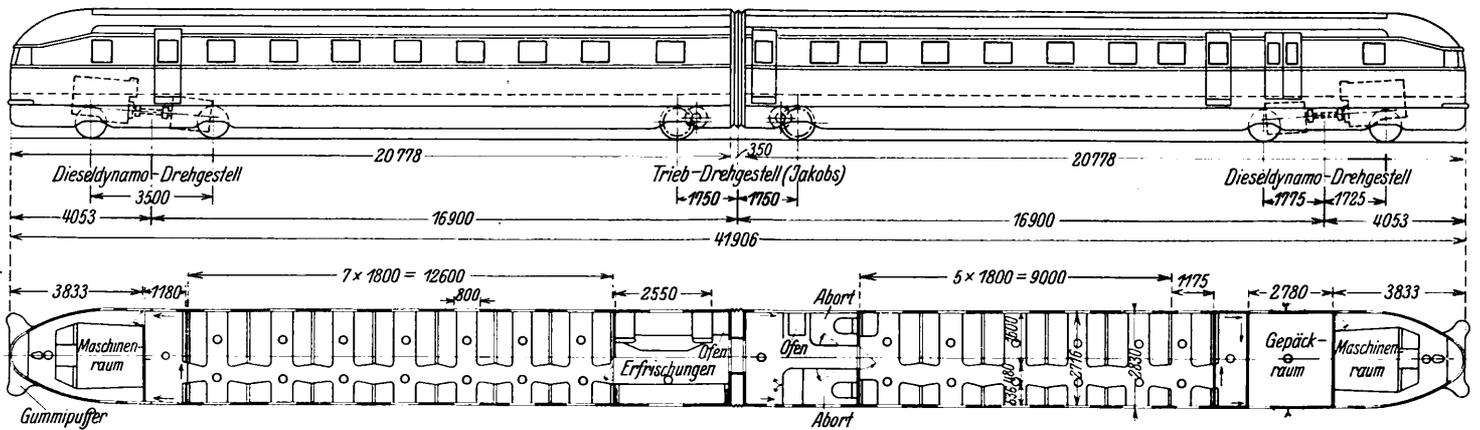


Abb. 4. Diesel-elektrischer Schnelltriebwagen (vergl. Nr. 7 der Zusammenstellung).

aussichtlich eine Reisegeschwindigkeit von 120 km/h erzielt werden, während bisher die schnellsten Züge zwischen Berlin und Hamburg nur 90 km/h Reisegeschwindigkeit erreichen. Der Wagen ist als sechssächiger Gelenk-Doppelwagen mit Jakobs-gestell ausgebildet und erhält seinen Antrieb durch zwei 410 PS-Dieselmotoren gleicher Bauart wie bei dem oben erwähnten 410 PS-Hauptbahntriebwagen. Die günstigste äußere Formgebung des Wagenkastens wurde durch eingehende Windkanalversuche bestimmt. Von den zahlreichen Problemen, deren Lösung die Entwicklung dieses Schnelltriebwagens erforderte, sei besonders die Bremsung erwähnt. Die normale Klotzbremse hätte bei so hohen Fahrgeschwindigkeiten ganz unzulässig lange Bremswege ergeben. Es kommen hier deshalb erstmalig bei einem Reichsbahn-Fahrzeug mit den Rädern verbundene Bremsstromeln zur Anwendung, auf die mit Jurid belegte Bremsbacken wirken. Hierdurch wird bei hohen Fahrgeschwindigkeiten eine wesentlich bessere Bremswirkung als

Typen der Triebwagen kleinerer Leistungen wurden mit Benzolmotoren ausgerüstet. Die neuesten Bauarten jedoch, vor allem die Triebwagen mit großen Leistungen, haben ausschließlich Dieselmotoren. Diese weisen ja gegenüber den Benzolmotoren die bekannten Vorteile auf, nämlich geringeren Brennstoffverbrauch, geringere Brennstoffkosten, höhere Feuer-sicherheit und eine größere Elastizität. Allerdings sind die Beschaffungskosten immer noch verhältnismäßig hoch. Dies gilt besonders für die Motoren größerer Leistung von 300 PS und darüber, bei denen geeignete Bauarten erst seit kurzem erhältlich sind. Da im Triebwagen nicht viel Platz zur Unter-bringung zur Verfügung steht, müssen nämlich die Motoren sehr gedrängt gebaut sein, was wiederum eine verhältnismäßig hoch liegende Betriebsdrehzahl voraussetzt. Durch die hohe Betriebsdrehzahl wird auch gleichzeitig erreicht, daß die für größere Leistung allein in Betracht kommende elektrische Kraftübertragung leichter und billiger wird. Wie weit man in

der Ausnutzung der Fahrzeug-Dieselmotoren bereits gekommen ist, zeigt das Beispiel des Zwölfzylinder-410 PS-Maybachmotors, der für die oben erwähnten Hauptbahntriebwagen mit 100 km/h Fahrgeschwindigkeit gewählt wurde. Er weist ein Gewicht von nur 4 kg je PS auf. Die kleineren Verbrennungsmotoren der zweiachsigen Triebwagen wurden unmittelbar unter dem Wagenkasten aufgehängt. Diese Art der Aufhängung kann aber nur bei sehr ausgeglichen laufenden Motoren zur Anwendung kommen, damit die Übertragung von Schwingungen auf den Wagenkasten ausgeschlossen ist. Bei den größeren Motoren, die bei den vierachsigen Triebwagen verwendet werden, wurde durchweg die Unterbringung von Dieselmotor und Getriebe oder Dieselmotor und elektrischem Generator im Drehgestell gewählt. Hierdurch wird ebenfalls die Übertragung von Motorschwingungen auf den Wagenkasten verhindert und die Platzausnutzung des Wagenkastens verbessert.

Kraftübertragung.

Für die Kraftübertragung vom Verbrennungsmotor zu den Treibachsen kommt bei den Reichsbahn-Triebwagen bis 175 PS Leistung vorwiegend das mechanische Stufen-Getriebe zur Verwendung. Diese Getriebe sind in ihren neuesten Bauarten außerordentlich verbessert worden und haben einen hohen Grad von Betriebssicherheit erreicht. Es sind durchweg Viergang-Getriebe, wobei die Zahnräder der einzelnen Gänge ständig im Eingriff bleiben und für jeden Gang eine besondere kräftige Kupplung vorgesehen ist. Hierfür werden teilweise Lamellen-Kupplungen verwendet, teilweise Kupplungen, deren Hauptelemente aus umlaufenden Trommeln und Bremsbacken bestehen. Zur Steuerung dient Druckluft oder Öldruck.

Für größere Leistungen kommt bisher ausschließlich die elektrische Kraftübertragung in Betracht. Obwohl dies etwas höhere Beschaffungskosten, höheres Gewicht und einen etwas schlechteren Wirkungsgrad hat als ein gleich großes mechanisches Getriebe, weist die stufenlose elektrische Kraftübertragung doch eine Reihe so großer Vorzüge auf, daß sie auch bei einigen Triebwagen kleinerer Leistung zur Anwendung gekommen ist. Der Wirkungsgrad beträgt im Hauptarbeitsbereich etwa 80% gegenüber 85 bis 90%, die beim mechanischen Getriebe zu erreichen sind. Trotzdem ist die mittlere Ausnutzung des Verbrennungsmotors im gesamten Geschwindigkeitsbereich eine bessere, weil ja beim mechanischen Getriebe die volle Motordrehzahl und Motorleistung nur bei der höchsten zu jedem Gang gehörigen Wagengeschwindigkeit erreicht wird (vergl. Abb. 5); bei elektrischer Übertragung dagegen kann der Verbrennungsmotor ständig mit seiner höchsten Drehzahl laufen. Weitere Vorteile sind stoßfreies, ruhiges Anfahren; leichte Bedienbarkeit; es können beliebig viele Treibachsen angetrieben werden, ohne daß man Kuppelstangen verwenden muß; leichte Durchführbarkeit der Fernsteuerung, so daß mehrere Trieb- oder Steuerwagen zu Zügen zusammengestellt werden können; leichtes Anlassen des Verbrennungsmotors unter Verwendung des elektrischen Generators als Anlaßmotor.

Die Aufgabe der elektrischen Kraftübertragung ist es, die Verbrennungsmotorleistung und Drehzahl unabhängig von Fahrgeschwindigkeit und wechselnden Bahnwiderständen konstant zu halten. Die von den elektrischen Fahrmotoren aufgenommene Stromstärke hängt von den auftretenden Fahrwiderständen ab. Es müssen sich also Strom und Spannung selbsttätig derart anpassen, daß das Produkt der beiden der vorhandenen Verbrennungsmotorleistung entspricht. Beim Anfahren wird zunächst eine geringe Spannung und hohe Stromstärke, entsprechend einer großen Anfahrzugkraft des Bahnmotors, vorhanden sein müssen. Mit zunehmender Fahrgeschwindigkeit fällt die erforderliche Zugkraft ab, der Strom wird geringer, und die Spannung steigt. Das Produkt aus

Spannung und Strom muß demnach praktisch konstant bleiben, so daß sowohl bei geringer als bei hoher Geschwindigkeit die Dieselmotorleistung voll ausgenutzt wird.

Es gibt nun eine ganze Reihe elektrischer Übertragungssysteme, bei denen diese Regelung vollkommen selbsttätig vor sich geht. Bei den Reichsbahn-Triebwagen sind hauptsächlich drei Systeme zur Anwendung gekommen: Zunächst das sogenannte „Gebus“- und das „Lemp“-System (Abb. 6 und 7).

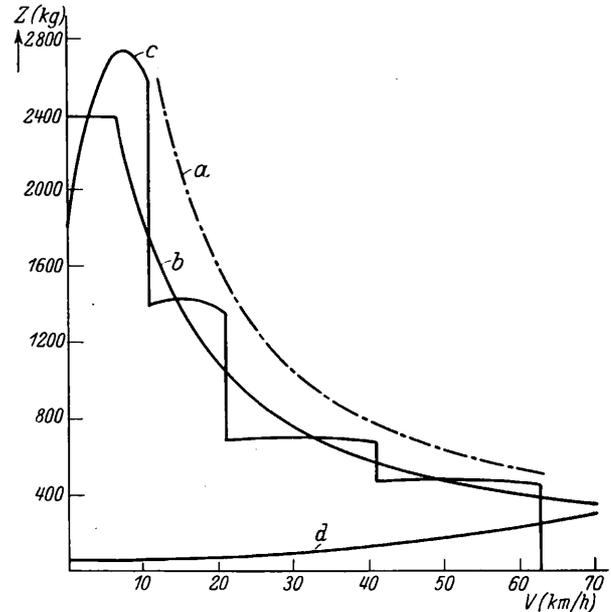


Abb. 5. Zugkraft-Geschwindigkeitskennlinie eines 120 PS-Triebwagens.

- a) ideale Kurve entspr. 100% Motorleistung
- b) elektrische Kraftübertragung
- c) mechanische Kraftübertragung
- d) Fahrwiderstand.

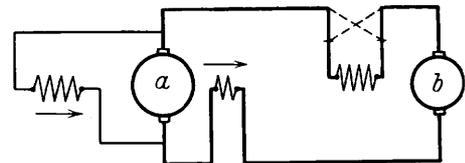


Abb. 6. Grundsätzliche Schaltung des „Gebus“-Systems.

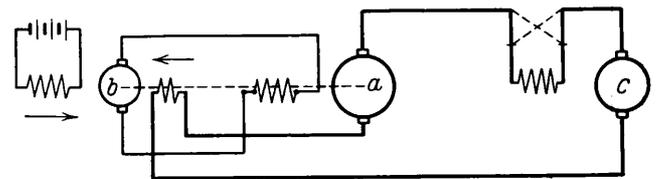


Abb. 7. Grundsätzliche Schaltung des „Lemp“-Systems.

Beide arbeiten mit einem Spezialgenerator, dessen Besonderheit darin besteht, daß bei geringen Drehzahländerungen bereits große Spannungsänderungen auftreten. Die Regelung der Fahrgeschwindigkeit des Triebwagens durch den Führer geschieht bei diesen Steuerungen durch Beeinflussung der Brennstoffzufuhr zum Verbrennungsmotor.

Ein anderes von der Reichsbahn verwendetes Übertragungssystem ist die von der Firma Brown Boveri entwickelte selbsttätige Leonardsteuerung (Abb. 8). Der Generator *a* wird aus einer Erregermaschine *b* fremd erregt. Die Stärke der Erregung wird von einem Leistungsrelais *g* beeinflusst, das die vom Generator abgegebene elektrische Leistung mißt. Hat die vom Generator und damit die vom Dieselmotor abgegebene Leistung den gewollten Wert, so befindet sich das Leistungsrelais in einer

Triebwagenbeschaffung 1931—32. (Stand vom 1. 10. 32.)

Organ für die Fortschritte des Eisenbahnwesens. Neue Folge. LXIX. Band. 21. Heft 1932.

| Nr. | Wagen im Betrieb | | | | | | | Wagen im Bau | | | | | |
|---------------------------------------|----------------------|------------------------------------|-----------------------|------------------------------------|------------------------|------------------------|----------------|----------------------|-------------------------|-----------------------|------------------------|-------------------------|----------------------|
| | für Nebenbahn | | | | Hauptbahn | | | Nebenbahn | | | Hauptbahn | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 |
| Zahl der Wagen | 3 | 3 | 2 | 1 | 5 | 3 | 1 | 3 | 10 | 10 | 20 | 3 | 3 |
| Achsanordnung | A I | A I | A I | A I | B 2 | Bo 2 | 2 Bo 2 | Omnibus B | A I | A I | B 2 | Bo 2 | Bo 2 |
| Firma | Maybach | Vomag | Daimler | Borsig | Maybach | Maybach | Maybach | Henschel | Daimler | M A N | Maybach | M W M | Maybach |
| PS | 100 | 120 | 120 | 100 | 175 | 410 | 2 × 410 | 100 | 120 | 150 | 175 | 300 | 410 |
| Bauart | Benzol | Benzol | Diesel mit Vor-kammer | Dampf-maschine | Diesel mit Kom-pressor | Diesel mit Kom-pressor | Diesel | Vergaser | Diesel mit Vor-kammer | Diesel | Diesel mit Kom-pressor | Diesel mit Vor-kammer | Diesel |
| Drehzahl | 1900 | 1200 | 1700 | — | 1400 | 1400 | 1400 | 1600 | 1700 | 1500 | 1400 | 1100 | 1400 |
| Größte Geschwindigkeit km/h | 65 | 65 | 65 | 65 | 80 | 90 | 150 | 60 | 80 | 70 | 80 | 90 | 100 |
| Wagenlänge über Puffer mm | 12095 | 12200 | 12200 | 12260 | 20590 | 22130 | 41906 | 11460 | 12200 | 12200 | 20590 | 22035 | 21733 |
| Zahl der Sitzplätze 2. Klasse | — | — | — | — | 8 | 16 | 102 | — | — | — | 8 | 14 | 16 |
| Zahl der Sitzplätze 3. Klasse | 36 + 7 ²⁾ | 44 ³⁾ + 2 ²⁾ | 35 + 8 ²⁾ | 42 ³⁾ + 3 ²⁾ | 55 | 56 | — | 41 + 5 ²⁾ | 35 + 5 ²⁾ | 34 + 10 ²⁾ | 55 | 52 | 56 + 6 ²⁾ |
| Zahl der Stehplätze | 36 | 26 | 36 | 28 | 37 | 44 | — | 30 | 30 | 32 | 37 | 44 | 45 |
| Getriebe | Mylius | T. A. G. *) D. W. | — | 2 Zyl. Verb. Dampf-m. | Maybach | — | — | Z. F. | T. A. G. *) D. W. | — | Maybach | — | — |
| elektrische Kraftübertragung | — | — | S. S. W. Gebus | — | — | M. S. W. Leonhard | S. S. W. Gebus | — | — | B. B. C. Leonhard | — | A. E. G. Lemp | B. B. C. Leonhard |
| Gesamtgewicht t ¹⁾ | 13,35 | 13,75 | 15,5 | 14,5 | 28,5 | 52,0 | 74,4 | 11,9 | 14,5 | 17,0 | 28,5 | 42,2 | 41,6 |
| Gewicht des wagenbaul. Teiles t | 10,8 | 10,55 | 10,2 | 11,4 | 23,3 | 36,2 | 54,2 | 10,1 | 10,9 | 10,8 | 23,3 | 29,2 | 30,4 |
| Gewicht der Maschinen-anlage t | 2,55 | 3,2 | 2,3 | 3,1 | 5,2 | 5,0 | 6,6 | 1,8 | 3,6 | 2,6 | 5,2 | 4,5 | 3,4 |
| Gewicht der elektrischen Ausrüstung t | — | — | 3,0 | — | — | 10,8 | 13,6 | — | — | 3,6 | — | 8,5 | 7,8 |
| Heizung | Abgas | Abgas | Frischlufft (Abgas) | Warm-wasser | Narag | Kühl-wasser | Narag | Abgas | Abgas | Kühl-wasser | Narag | Narag | Narag |
| Herstellerfirma des Wagenteils | Wumag | L. H. B. ^{**)} | West-waggon | Wegmann | 3 Wumag 2 Wismar | Wisnar | Wumag | Henschel L. H. B. | L. H. B. ^{**)} | M. A. N. | 5 Wumag 15 L. H. B. | L. H. B. ^{**)} | Wisnar |

1) leer ohne Betriebsstoffe. L. H. B. Linke-Hofmann-Busch-Werke. M. A. N. Maschinenfabrik Augsburg-Nürnberg. S. S. W. Siemens-Schuckertwerke.
 2) Klappsitze. M. S. W. Maffei-Schwartzkopfwerke. B. B. C. Brown-Boveri. A. E. G. Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft.
 3) Wagen hat kein Gepäckabteil. Z. F. Zahnradfabrik Friedrichshafen. D. W. Deutsche Werke. M. W. M. Motorenwerke Mannheim.
 *) Getriebe nach den Patenten der T. A. G. (Triebwagenbau-Aktiengesellschaft Berlin) von den D. W. (Deutsche Werke A.-G. Kiel) gebaut.
 **) Die Lieferung des vollständigen Wagens war der T. A. G. übertragen.

87. Jahrg. Heft 21
1. November 1932

Norden, Die neuen Reichsbahn-Triebwagen mit Verbrennungsmotoren.

Mittellage, bei steigender Leistung geht es in eine Endstellung und bewirkt über besondere Schaltapparate *d* und *f*, daß das Generatorfeld geschwächt wird, bei fallender Leistung wird das Feld verstärkt. Zur Einregulierung der gewünschten Verbrennungsmotorleistung und damit der Fahrgeschwindigkeit kann der Führer die Einstellung des Leistungsrelais und gleichzeitig, entsprechend der abgegebenen Leistung, die Dieselmotor-Drehzahl verändern. Dieses Übertragungssystem erfordert gegenüber den beiden ersten einen etwas leichteren und billigeren Generator, dafür aber einen größeren Aufwand an Schaltapparaten. Allen drei Steuerungssystemen gemeinsam ist die

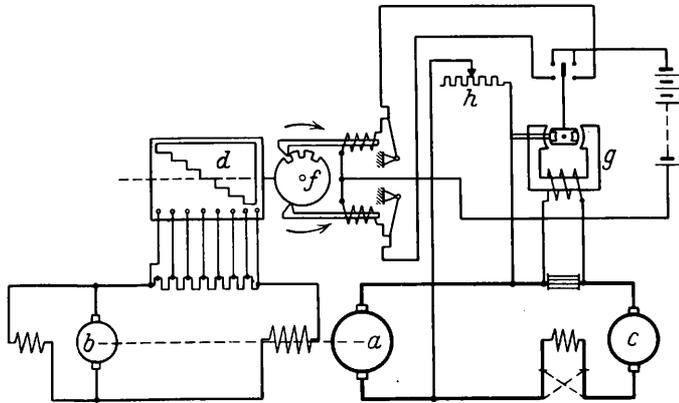


Abb. 8. Grundsätzliche Schaltung der selbsttätigen Leonard-Steuerung.

Möglichkeit, die Dieselmotor-Drehzahl herabzusetzen, wenn nicht die volle Leistung gebraucht wird. Hierdurch wird eine wesentliche Schonung des Dieselmotors erreicht, im Gegensatz zur mechanischen Kraftübertragung, wo ja zwischen Dieselmotor-Drehzahl und Fahrgeschwindigkeit eine feste Beziehung besteht.

Flüssigkeitsgetriebe.

Der Wunsch, die immerhin komplizierte dreifache Energieumwandlung der dieselektrischen Anlage zu vermeiden, und den verhältnismäßig hohen Kapitalaufwand, den die elektrische Ausrüstung erfordert, zu vermindern, ließ die Reichsbahn auch nach anderen Mitteln und Wegen zur Kraftübertragung und zum Antrieb der Triebwagen suchen. Einige Aussicht scheint neuerdings das stufenlose Flüssigkeitsgetriebe zu bieten. Während die bisherigen Bauarten daran krankten, daß der Wirkungsgrad und die Zugkraft bei niedriger Fahrgeschwindigkeit

zu schlecht waren, ist es durch einige Kunstgriffe gelungen, bei neuen Bauarten eine wesentliche Verbesserung zu erreichen. Daher beabsichtigt die Reichsbahn auch, mit einem derartigen Getriebe in der nächsten Zeit Versuche anzustellen.

Dampftriebwagen.

Ein grundsätzlich anderer Weg wurde damit beschritten, daß man wieder zur Dampfmaschine zurückkehrte, um ihre für den Fahrzeugantrieb so vorteilhafte Elastizität und Einfachheit auszunutzen. Wollte man mit dem Verbrennungsmotor in Wettbewerb treten, so mußte man jedoch eine Kesselbauart wählen, die einerseits nur kleinen Raumbedarf hat, andererseits die umständliche Bedienung und Gefährlichkeit normaler Kesselbauarten vermeidet. Eine erfolgreiche Lösung stellt die von Döbel entwickelte Dampfanlage dar, die mit einem ölgeheizten Kessel ohne Dampfraum und mit 100 atm. Druck arbeitet. Die ganze Regelung der Feuerung und Kesselspeise-Einrichtung geschieht vollkommen selbsttätig auf elektrischem Wege. Der Arbeitsweise der Anlage liegt das Kreislauf-System zugrunde, indem der Abdampf der schnellaufenden Dampfmaschine in einem Kühler kondensiert und erneut dem Kessel als Speisewasser zugeführt wird. Die Deutsche Reichsbahn hat eine derartige Anlage versuchsweise in einen Triebwagen einbauen lassen, und man darf auf die Ergebnisse dieses Versuches gespannt sein.

Heizung der Triebwagen.

Bei den verhältnismäßig großen Wärmemengen, die der Verbrennungsmotor ungenutzt in die Abgase und in das Kühlwasser entweichen läßt, lag es nahe, diese Wärmemengen wenigstens für die Wagenheizung nutzbar zu machen. Die Versuche waren aber nicht voll befriedigend, da die Unregelmäßigkeit der Wärmeabgabe, die von der jeweils abgegebenen Motorleistung abhängt, Schwierigkeiten bereitet. Bei Fahrt in Gefällestrecken hört naturgemäß die Wärmeabgabe vollkommen auf. Aus diesem Grunde ist die Reichsbahn bei den zuletzt bestellten Triebwagen zu einer unabhängigen Heizung mittels „Narag“-Ofen übergegangen. Nur einige der leichten Nebenbahn-Triebwagen haben Abgas- oder Kühlwasserheizung erhalten.

Die seit dem Jahre 1930 gebauten oder in Auftrag gegebenen Reichsbahn-Triebwagen sind mit ihren Hauptdaten in der nebenstehenden Aufstellung enthalten. Einige der bemerkenswertesten Bauarten sollen in weiteren Aufsätzen näher beschrieben werden.

Rundschau.

Bahnunterbau, Brücken und Tunnel; Bahnoberbau.

Schweißung von Stahlbauten.

Wenn man die Literatur über die Anwendung der Lichtbogenschweißung bei Stahlbauten aus einem längeren Zeitraum überblickt, so findet man sowohl in den Abhandlungen über Einzelfragen als auch in den zusammenfassenden Baubeschreibungen immer wieder die nämlichen Grundfragen berührt, die trotz der nun schon ziemlich weit verbreiteten Anwendung des Verfahrens immer noch nicht genügend geklärt sind.

Die wichtigste Frage dürfte sein: Welche Güteeigenschaften lassen sich in der Schweißnaht erzielen und wie ändert sich durch die Schweißung die Festigkeit der verschweißten Teile. Eng verknüpft damit zeigt sich die Frage: Welche konstruktiven Eigentümlichkeiten ergeben sich aus der Herstellungsweise und dem Verhalten der Schweißnaht? Zu ihrer Beantwortung setzt vor allem die Arbeit der Technischen Hochschulen ein. Die Technische Hochschule Dresden hat im Auftrag der Deutschen Reichsbahn-Gesellschaft und des Stahlbauverbandes eine Versuchsreihe über Stabanschlüsse durchgeführt. Im „Stahlbau“ 1931, Heft 12 sind die Ergebnisse vom Standpunkt des Statikers und des Konstrukteurs ausgewertet und

geben wertvolle Einblicke in die Leistungsfähigkeit der Schweißverbindungen. An diese Abhandlung knüpft ein Meinungs-austausch über die Ausgestaltung von Rahmenknoten in Heft 21 und 26 des „Stahlbau“, Jahrgang 1931 an. Die Technische Hochschule Stuttgart weist in einer im „Stahlbau“ 1931, Heft 24 veröffentlichten Versuchsreihe durch Prüfung der Dauerfestigkeit nach, daß entgegen der in den Richtlinien vertretenen Ansicht an der Schweißstelle doch eine erhebliche Querschnittsschwächung eintritt. — Eine besondere Rolle bei der Erforschung der erzielbaren Güteeigenschaften der Schweißnaht spielt die Ummantelung der Elektroden. Ein Aufsatz im „Stahlbau“, Heft 23 erklärt die ummantelten Elektroden deshalb für günstiger, weil sie bei geschickter Handhabung ohne Nachteile mit sich zu bringen, eine besonders zähe Schweißung ergeben.

Die Untersuchungen über die zweite Frage lassen deutlich das Bedürfnis nach Sonderprofilen erkennen, die die Vorteile des Schweißverfahrens zur vollen Geltung bringen, am deutlichsten ein Aufsatz im „Stahlbau“ 1931, Heft 13 und der Meinungs-austausch in der „Bautechnik“ 1931, Heft 33 über Blechträger aus halbierten I-Profilen mit zwischengeschweißtem Steg. Ein

Aufsatz über geschweißte Rohrkonstruktionen im „Stahlbau“ 1932, Heft 1, verdient in diesem Zusammenhang besondere Beachtung.

An die Fragen aus der Theorie reiht sich die Frage: Wie stellt man die gleichmäßige Güte der Schweißnaht sicher und wie prüft man sie am fertigen Bauwerk nach? Die Wichtigkeit dieser Frage darf nicht unterschätzt werden. Kann doch eine Fehlschweißung auf einer nur kurzen Strecke den Bestand eines ganzen Bauwerkes gefährden; und daß solche Fehlschweißungen auch bei als zuverlässig bekannten Schweißern dann und wann vorkommen können, zeigt ein Bericht im „Stahlbau“ 1931, Heft 7 über Versuche mit geschweißten Masten.

Die amtlichen Vorschriften suchen solche Fehlschweißungen durch geeignete Auswahl der Arbeiter zu verhüten. Sie verlangen dabei die Herstellung von Probestücken in Kreuzform, die aber infolge anderweitiger Einflüsse kein unbedingt zutreffendes Urteil über die Güte der Schweißarbeit selbst zulassen, wie in einer Abhandlung in Heft 7 des „Stahlbau“, Jahrg. 1931 erläutert ist. Hierzu tritt selbstverständlich eine Prüfung der Schweißnähte am Bauwerk selbst. Kommerell nennt in seinen Erläuterungen zu den Vorschriften für geschweißte Stahlbauten hierfür das Röntgenverfahren, das stichprobenweise Abmeißeln, das Abklopfen und Abhören und das Anfräsen mit Anätzen. Die besondere Eignung des letztgenannten Verfahrens zur Nachprüfung der Baustellenarbeit erläutert sein Urheber im „Stahlbau“ 1932, Heft 2.

Ein besonderes Gebiet sind die Verstärkungen bestehender Bauwerke mittels Lichtbogenschweißung. Dabei tritt die Frage auf, inwieweit sich ältere Eisensorten, insbesondere das Schweißisen, werktechnisch und statisch zum Zusammenschweißen mit den neuzeitlichen Baustählen eignen. Im Heft 23 der „Bautechnik“, Jahrg. 1931, sind Versuche hierüber beschrieben, die an der Bayerischen Landesgewerbeanstalt in Nürnberg vorgenommen wurden. Obwohl die Probekörper so angelegt waren, daß man z. T. den Bruch in der Naht hätte erwarten müssen, brachen die Versuchsstücke stets unmittelbar neben der Naht, wobei es meistens die ungleichmäßige Struktur des Schweißisens war, die den Bruch

veranlaßte. Die Ausführungen geben wesentliche Anhaltspunkte für die richtige Anordnung der Nähte bei solchen gemischten Verbindungen. (Vergl. auch die Aussprache im Heft 44 des Jahrg. 1931 der „Bautechnik“.) Die Auswertung der Ergebnisse durch die Materialprüfungsanstalt selbst im „Stahlbau“ 1931, Heft 7, bestätigt und ergänzt diese Angaben.

In der Frage nach dem geldlichen Ergebnis gehen die Angaben sehr weit auseinander. Ein Bericht im „Stahlbau“ 1931, Heft 7, gibt z. B. für einen Dachbinder an: 24% Stoffersparnis, 18% Lohnersparnis und 20% Gesamtersparnis; er erwähnt aber einen Fall, in dem 18% Mehrkosten gegenüber der Nietung entstanden sind. Daß die Einsparungen nicht immer groß sein müssen, zeigt eine Zusammenstellung im „Stahlbau“ 1931, Heft 23.

So zeigen sich noch vielfach Unklarheiten über verschiedene Grundfragen. Trotzdem ist die Praxis unverzagt vorwärts geschritten.

Eine Neuerung ist die Anwendung der Schweißung auf bewegliche Bauwerke, so bei einem fahrbaren Portalkran mit 21,8 m Stützweite und einem Turmdrehkran, die im „Stahlbau“ 1931, Heft 13 und 1932, Heft 3 beschrieben sind. Allerdings sind bei dem Portalkran besondere Vorsichtsmaßnahmen insofern getroffen, als der Sicherheitsfaktor überall von 4 auf 5 erhöht ist.

Zusammenfassende Berichte finden sich über geschweißte Hochbauten im „Stahlbau“ 1932, Heft 3 (Montagehallen) und 7 (Bahnsteighalle Duisburg), über Ingenieurbauten im „Stahlbau“ 1931, Heft 45 und in der „Bautechnik“ 1931, Heft 42 (Bahnsteigdächer in Bremen-Neustadt und 1932, Heft 5 (Walzträger-einlage einer Betonplatte) und Heft 11 (Ingenieurbauten der Deutschen Reichsbahn-Gesellschaft im Jahre 1931), ferner in der „Schweizerischen Bauzeitung“ 1932, Bd. 99, Nr. 3 (Straßenbrücke bei Lauk und in den Skodawerken). Eine Brückenverstärkung ist im Heft 14 der „Bautechnik“ 1932 beschrieben. Erwähnt sei hier auch, daß im Reichsbahndirektionsbezirk Nürnberg vor kurzem von der MAN eine Gelenkdrehscheibe mit geschweißten Trägern aufgestellt wurde. Sp.

Lokomotiven und Wagen.

Verwendung von Leichtmetallen für Eisenbahnfahrzeuge.

Die Gewichtsverminderung der Fahrzeuge ist um so wünschenswerter geworden, als die Ganzmetallkonstruktionen, welche man der größeren Sicherheit der Fahrgäste und der geringeren Unterhaltungskosten halber mehr und mehr bevorzugt, ein ziemlich hohes Eigengewicht aufweisen. Die Verwendung von Leichtmetallen im Fahrzeugbau ist jedoch bisher über das Versuchsstadium nicht hinausgekommen. In Amerika wie in Europa liegt das Hauptanwendungsgebiet der Leichtmetalle bei den Straßen- und Stadtbahnen; nur sehr vereinzelt haben auch Hauptbahnen Versuche auf diesem Gebiet angestellt, obwohl die bisherigen Erfahrungen ermutigen*).

In Deutschland hat die Berliner Stadtbahn acht Wagen in Dienst gestellt, die nach Entwürfen der Metallgesellschaft in Frankfurt a. M. und der Waggonfabriken Wegmann in Kassel und Busch in Bautzen teilweise aus Leichtmetall ausgeführt sind. Es lassen sich gemischte Konstruktionen aus Leichtmetallen und Stahl verwenden, wobei die verschiedenen Wärmedehnungszahlen bisher kein Hindernis bildeten (Kalt Nietung). Elektrochemische Wirkungen zwischen Aluminium und Eisen werden durch zwischengelegte, mit Mennige getränkte dünne Leinwandstreifen verhütet.

Ein Projekt der beiden erstgenannten Firmen ist ausgearbeitet für Wagen, die mit Ausnahme der Radsätze, Achskisten, Rollenlager, Federn, Federspannschrauben, Drehgestellzapfen, der Zugvorrichtung, Teile der Bremse und eines großen Teils der elektrischen Ausrüstung ganz aus Leichtmetall bestehen. Schwierig ist die richtige Auswahl unter den zahlreichen Aluminiumlegierungen. Nach sorgfältiger Prüfung werden vorgeschlagen:

*) Vergl. auch Org. Fortschr. Eisenbahnwes. 1932, S. 71 und 74.

Zusammensetzung in %.

| | Cu | Zn | Si | Mn | Li | Al von normaler Reinheit |
|--------------------------|-----|----|-----|-----|---------|--------------------------|
| a) für gewalzte Teile: | | | | | | |
| Skleron | 3 | 12 | 0,5 | 0,6 | 0,5—0,1 | 83,4—83,8 |
| Lautal (Aeron) | 4,3 | — | 2 | 0,5 | — | 93,2 |
| Silumin | — | — | 13 | — | — | 87 |
| b) für gegossene Teile: | | | | | | |
| Silumin | — | — | 13 | — | — | 87 |
| Kupfer-Silumin | 0,8 | — | 13 | — | — | 86,2 |
| Cetal | 3 | 10 | 6,5 | — | — | 80,5 |

Skleron und Lautal lassen sich ziehen und walzen und es können daraus Träger, Formstäbe und Bleche hergestellt werden. Lautal kann künstlich gealtert werden, wodurch seine Festigkeit bis auf 42 kg/mm² bei 20% Dehnung steigt. Skleron, eine Art Duralumin, erreicht 45 kg/mm² Festigkeit bei 12% Dehnung. Andere Eigenschaften der genannten Werkstoffe und zum Vergleich von Stahl St 37, der für gleiche Zwecke dient, s. Tab. S. 408.

Für die einer Kaltbearbeitung nicht unterworfenen Formstäbe und Bleche, besonders für hoch beanspruchte Teile, wird Skleron, im übrigen Lautal (Aeron) empfohlen. Der Preis der Leichtlegierungen auf das Volumen bezogen ist das sieben- bis zwölfwache des Stahles St 37. Der Sicherheit der Konstruktion wird am besten die Schwingungsfestigkeit zugrunde gelegt. Die Verbindung erfolgt nur durch Nietung, da Schweißnähte gehämmert werden müßten, was beim Wagenbau meist nicht ausführbar ist. Die projektierten Leichtmetallwagen ergeben folgende Gewichtsersparnis gegenüber Ganzstahlwagen von gleichem Fassungsvermögen:

| | Triebwagen | Anhänger |
|---|------------|----------|
| Sitzplätze | 60 | 61 |
| Stehplätze | 151 | 146 |
| Leergewicht (in Leichtmetall) t | 24,35 | 16,45 |
| Leergewicht (in Stahl) t | 37,6 | 27 |
| Gewichtersparnis % | 35 | 39 |

| Werkstoff | Skleron | Lautal | Silumin (walzbar) | Silumin (gegossen) | Kupfer- Silumin | Cetal | Duralumin | St 37 |
|--|---------|--------|----------------------|-----------------------|--------------------|--------|-----------|-------|
| Spez. Gewicht | 2,95 | 2,75 | 2,65 | 2,65 | 2,5 | ? | 2,8 | 7,85 |
| Zugfestigkeit kg/mm ² | 44—50 | 38—40 | 20—25 | ca. 20 | ca. 21 | ca. 22 | ca. 42 | 37—40 |
| Scheerfestigkeit kg/mm ² | ca. 33 | ca. 29 | ca. 18 | ? | ? | ? | ? | 32 |
| Schwingungsfestigkeit kg/mm ² | 18 | 16 | 8 | 4,5 | 5,5 | 7,0 | 17 | 23 |
| Elastizitätsgrenze kg/mm ² | 18—20 | 12—14 | 4,5 | 3,7 | 4,0 | 5,5 | 17—21 | 19—21 |
| Brinellhärte kg/mm ² | 120 | 120 | 70—80 | 60 | 65 | 80 | 120 | 120 |
| Dehnung % | 15—10 | 25—18 | 8,4 | 5—10 | 3 | 1 | 20 | 25 |
| Wärmeausdehnung cm/10 ⁷ cm °C | 250 | 229 | 222 | ? | ? | ? | ? | 110 |
| Wärmeleitfähigkeit cal/sec °C | 0,23 | 0,34 | 0,39 | ? | ? | ? | ? | 0,16 |

Zieht man den heutigen Stand der tatsächlichen Verwendung von Leichtmetallen im Eisenbahnwagenbau in Betracht, so können daraus folgende Schlüsse gezogen werden:

1. Das Aluminium und einige seiner besonders ausgewählten Legierungen eignen sich sehr gut zur Dachbekleidung, für Decken und Zwischenwände, wo der Werkstoff nicht auf Festigkeit beansprucht wird. Die Bleche scheinen sich auch gegenüber den Angriffen der Atmosphären gut zu halten.

2. Die Gußlegierungen können Bronze und Messing ersetzen bei Griffen, Fensterrahmen, Abortrosten u. ä.

3. Hinsichtlich der auf Festigkeit beanspruchten, nur aus Formstäben und Blechen aus Leichtlegierungen oder aus solchen und Stahl bestehenden Gerüstteile besitzen wir bisher noch nicht genügende Unterlagen über das Verhalten und die Lebensdauer solcher Wagen, ebenso über die in den verschiedenen Fällen zu wählenden Legierungen; auch herrscht noch Unsicherheit über ihre Verarbeitung (Vernietung u. ä.). Was das Gerüst des Wagenkastens und der Drehgestelle aus zusammengesetzten Trägern von Leichtmetall betrifft, so fehlen sichere Angaben über das Verhalten des Materials und es scheint, daß man zu übertriebenen

Abmessungen oder zu verwickelten Konstruktionen greifen muß, um die nötige Festigkeit des Gerippes zu erreichen.

5. Nach amerikanischen Mitteilungen scheint das Gerüst aus Aluminiumlegierungen bei Unfällen große Zähigkeit zu zeigen und starke Formänderungen erleiden zu können ohne zu brechen.

6. Die ausgedehnte Verwendung von Aluminium oder Aluminiumlegierungen erhöht jedenfalls den Preis eines Ganzmetallwagens beträchtlich. Bis die Fragen hinsichtlich des Gerüsts gelöst sind, muß sich die Verwendung von Aluminium auf Verkleidungsbleche oder Zwischenwände ohne besondere Beanspruchung sowie auf den Ersatz von Guß- und Preßteilen aus Bronze und Messing beschränken.

Erwähnt sei noch, daß die amerikanische Alton- und Southern-Bahn anscheinend mit Erfolg Trieb- und Kuppelstangen wie Steuerungsteile einer Verschiebelokomotive aus Aluminium fertigte. Der Vorteil liegt neben der unmittelbaren Gewichtsverminderung in der Verringerung der durch Gegengewichte auszugleichenden bewegten Massen. Bei den Stangen beträgt die Gewichtersparnis 42 %. Die Ausdehnung entsprechender Versuche auf eine 2 D-Schnellzuglokomotive ist im Gang.

(Riv. tecn. Ferr. it. Februar 1932.)

Schn.

Verschiedenes.

Erforschung von Entgleisungsursachen.

Die von der Deutschen Reichsbahn-Gesellschaft eingesetzte Arbeitsgemeinschaft zur Erforschung von Entgleisungsursachen hat, wie die „Reichsbahn“ berichtet, zusammen mit dem Heinrich-Hertz-Institut für Schwingungsforschung an der Technischen Hochschule zu Berlin nach mühevoller Arbeit und Überwindung zahlreicher Hindernisse Meßeinrichtungen entwickelt, die gestatten, die Vorgänge zwischen Rad und Schiene, deren Kenntnis zur Erforschung der Entgleisungsursachen von größter Bedeutung ist, während der Fahrt genau zu erfassen.

Die Vorrichtungen bestehen in der Hauptsache aus Geräten (Verschiebungsmessern, Beschleunigungsmessern und Meßdosen), die die Änderungen in den Pfeilhöhen der Federn und in den lotrechten und waagerechten Belastungen führender Lokomotiv- und Tenderräder aufnehmen und auf Bildstreifen in Oszillographen übertragen.

Mit diesen Vorrichtungen hat die Arbeitsgemeinschaft im Laufe der letzten Wochen Meßfahrten mit zwei C-1-Lokomotiven verschiedener Gattung auf der Strecke Berlin-Güsten und in den Bahnhöfen Bork und Belzig durchgeführt. Es handelte sich dabei vor allem darum, zu ermitteln, inwieweit größere Unstetigkeiten in der Gleislage die Sicherheit des Laufes der Fahrzeuge ungünstig beeinflussen, und ferner darum, die Auswirkung dieser Verhältnisse zahlenmäßig zu erfassen. Zu diesem Zwecke wurden im Gleis Unstetigkeiten in einem Maße hergestellt, wie sie im Betriebe im allgemeinen nicht vorkommen. Es wurden hierzu auf einem der beiden Schienenstränge in der Geraden und im Bogen Absenkungen mit Rampen von 2,50 m Länge und Neigungen bis 1 : 50 eingerichtet. Außerdem wurden Weichenverbindungen und Bögen in Betriebsgleisen befahren. Die Fahrgeschwindigkeit betrug bei den Versuchen 5 bis 85 km/h.

Die Versuche sind am 11. August 1932 vorläufig abgeschlossen worden. Die planmäßige Auswertung der gewonnenen Schaubilder läßt erwarten, in das Gebiet der Raddruckänderungen unter dynamischen Einflüssen nähere Einblicke zu erhalten, in das bisher die rechnerische Behandlung nur vereinzelte Vorstöße gewagt hatte.

Staubtechnische Begriffsbestimmungen.

In Heft 32 der Zeitschrift des Vereins Deutscher Ingenieure, Jahrgang 1932 veröffentlicht der Fachausschuß für Staubtechnik beim Verein Deutscher Ingenieure „Staubtechnische Begriffsbestimmungen“ und empfiehlt deren allgemeine Anwendung. In zwei Abteilungen werden 16 physikalische Begriffe (Staub, Poren, Zwischenräume, spezifisches Gewicht, Raungewicht, Schüttgewicht, Lagergewicht, Rüttelgewicht, spezifisches Volumen, Körpervolumen, Schüttvolumen, Lagervolumen, Rüttelvolumen, Staubmenge, Staubgehalt, Staubzahl) und sieben technische Begriffe (Entstauber, Entstaubungsanlage, Entstaubungsgrad, spezifischer innerer Energieverbrauch des Entstaubers, spezifischer äußerer Energieverbrauch, spezifischer Gesamtenergieverbrauch des Entstaubers, Energieverbrauch der Entstaubungsanlage) in kurzen Worten möglichst erschöpfend und klar umrissen. Soweit erforderlich sind Erläuterungen angefügt, die so gehalten sind, daß sie auch von Fachleuten, die dem engeren Arbeitsgebiet fernstehen, verstanden werden. — Die Ausdrücke sind in den Fällen, in denen die Gleichartigkeit der Erscheinungen dies erlaubt, aus der Kolloidwissenschaft übernommen, zu deren Grenzgebieten die Staubtechnik gehört. — Der Fachausschuß beabsichtigt die Bestimmungen in Form eines Normblattes niederzulegen und ersucht deshalb ergänzende Vorschläge für die vorliegenden sowie für weitere Begriffsbestimmungen an ihn zu richten.

Lettau.