

### Anwendung von Schwingungsmessern im Eisenbahnwesen.

Eine kritische Zusammenstellung\*).

Von Dr. Ing. H. W. Koch und Dr. Ing. Dr. W. Zeller.

Inhalt:	Seite
I. Meßgeräte . . . . .	385
A. Relativ-Verschiebungsmesser . . . . .	385
B. Dehnungsmesser . . . . .	386
C. Seismographen, Beschleunigungs- und Stoßmesser . . . . .	387
II. Anwendung der Meßgeräte . . . . .	388
A. Am Eisenbahnoberbau . . . . .	388
a) Spannungsermittlung . . . . .	388
b) Andere Messungen . . . . .	389
B. An Brücken . . . . .	389
a) Spannungs- und Durchbiegungsmessung . . . . .	389
b) Andere Messungen . . . . .	390
C. Am Fahrzeug . . . . .	390

In den letzten Jahren haben sich auch im Eisenbahnwesen Schwingungsuntersuchungen als notwendig erwiesen. Zur Messung stehen sehr viele Möglichkeiten zur Verfügung. Bei der Ausführung der Untersuchungen sind auch tatsächlich die verschiedensten Methoden angewendet worden. Bei der Vielheit der Messungen ist es nicht leicht, zu einheitlichen Gesichtspunkten und zu einer einheitlichen Beurteilung zu gelangen. Es dürfte daher eine kritische Zusammenstellung der Meßmethoden und ihrer Anwendungen förderlich sein.

Wir gehen in unserer Darstellung von rein meßtechnischen Gesichtspunkten aus, werden die bisher im Eisenbahnwesen benutzten Methoden zusammenstellen und kurz kritisieren und schließlich zweckmäßige Verwendungsmöglichkeiten auch anderer Methoden zeigen.

#### I. Meßgeräte.

##### A. Relativverschiebungsmesser.

Zu dieser Gruppe gehören alle Geräte, die die Durchbiegung an einer Stelle gegen einen Bezugspunkt messen.

##### 1. Der Durchbiegungsmesser nach Bloss.

Bei dem älteren Verfahren<sup>1)</sup> wird fortlaufend der Abstand zweier Stahlkugeln, von denen die eine die zu messende

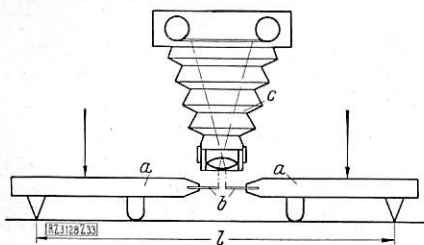


Abb. 1. Schema des optischen Spaltmeßverfahrens.

a Zungen, b Schneiden, c Photographisches Aufnahmegerät.

Bewegung mitmacht, fotografiert. Bei dem neueren optischen Spaltmeßverfahren<sup>2)</sup> sind die Kugeln durch zwei starre Stahlzungen ersetzt; die Eigenfrequenzen liegen also sehr hoch, so daß sie die Aufzeichnung nicht stören.

Die Registriergeschwindigkeit kann man so hoch wählen,

\* Aus der Forschungsstelle, Abteilung für mechanische Schwingungen, an der Technischen Hochschule Hannover, Prof. Dr. Ing. C. Risch.

<sup>1)</sup> A. Bloss, Beobachtungen am Eisenbahngleis mit dem Lichtbildverfahren. Org. Fortschr. Eisenbahnwes. 57, 1920, S. 140.

<sup>2)</sup> A. Bloss, Zur Frage der Dehnungs- und Schwingungszeichner. Bautechn. 8, 1930, S. 566.

daß auch hohe Meßfrequenzen noch aufgelöst werden. Die Vergrößerung ist veränderlich zwischen 0,5- und 20fach. Bei Verwendung eines Mikro-Objektivs kann die Vergrößerung bis 70fach gesteigert werden.

Mit dem älteren Verfahren hat Bloss auch Biegemomente gemessen, indem er die Bewegung einer Stahlkugel gegen zwei andere beobachtet hat.

##### 2. Der Brückendurchbiegungsmesser System Kulka-Zeiß<sup>3)</sup>.

Der zeitliche Durchbiegungsverlauf an einzelnen Punkten wird synchron auf einem einzigen Film photographisch aufgezeichnet. Bei der Befestigung der Spiegel an den Meß-

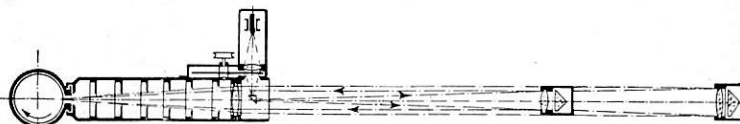


Abb. 2. Brückendurchbiegungsmesser System Kulka-Zeiß.

Rechts: Beleuchtung und Registriergerät, links: Spiegel an den Meßpunkten.

punkten ist darauf zu achten, daß keine störenden Eigenschwingungen der Befestigungsmittel auftreten können. Einer der Meßpunkte dient als Bezugspunkt. Das Aufnahmegerät wird seitlich in Längsrichtung der Brücke in einiger Entfernung aufgestellt. Vorteilhaft ist die Möglichkeit der gleichzeitigen Durchbiegungsmessung und die hohe Ausmeßgenauigkeit. Die Durchbiegungen lassen sich bis auf  $\frac{1}{20}$  mm genau bestimmen. Eine etwas umständliche Bedienung des Gerätes ist in Kauf zu nehmen.

##### 3. Der Durchbiegungsmesser nach Elsässer.

Die Bewegung des Meßpunktes verändert den Widerstand eines Schleifdrahtes in den Zweigen einer Wheatstoneschen Brückenschaltung. Die entsprechenden Stromänderungen

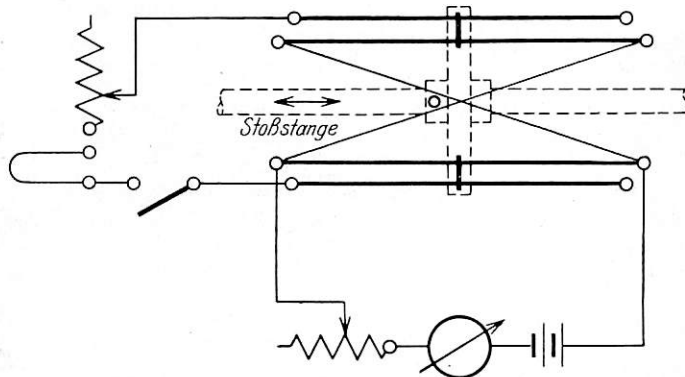


Abb. 3. Schaltbild des Durchbiegungsmessers nach Elsässer.

werden oszillographisch aufgezeichnet. Eine hinreichende Genauigkeit ist nur bei größeren Ausschlägen und beim Anwenden bestimmter Vorsichtsmaßregeln zu erzielen<sup>4)</sup>.

<sup>3)</sup> H. Kulka, Beitrag zur Ermittlung von dynamischen Beanspruchungen in eisernen Brücken. Bautechn. 9, 1931, S. 387.

<sup>4)</sup> Vergl. S. 47 in: F. Lutteroth und O. Putze, Behandlung der Personenwagen in der Wagenversuchsabteilung Grunewald der D.R.G. Org. Fortschr. Eisenbahnwes. 69, 1932, S. 41.

#### 4. Der Teleos-Schwingungsmesser von Metzeltin<sup>5)</sup>.

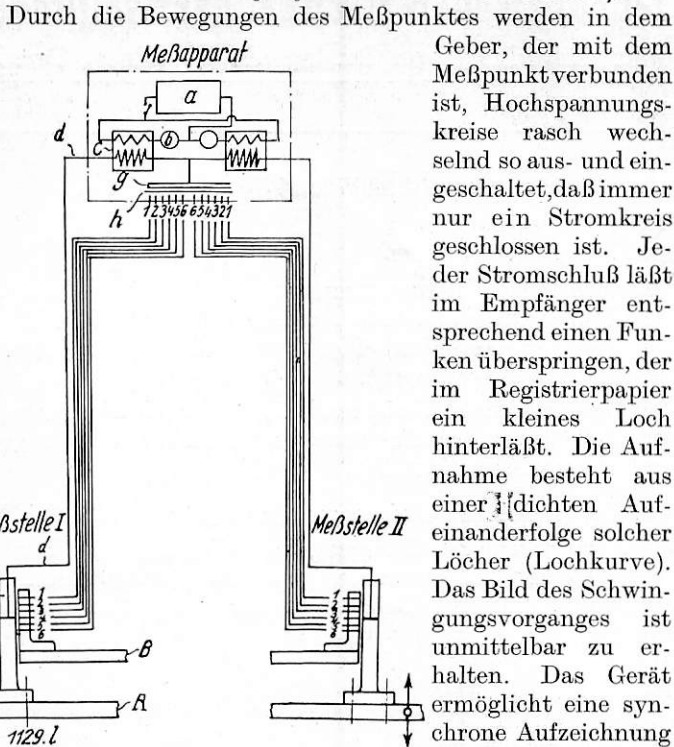


Abb. 4. Teleos-Schwingungsmesser nach Metzeltin.

- |                |                  |
|----------------|------------------|
| a Batterie     | e Metallstück    |
| b Unterbrecher | f Hartgummistab  |
| c Zündspule    | g Massestange    |
| d Kabel        | h Papierstreifen |

Die Relativbewegung zwischen A und B wird gemessen.

Geber, der mit dem Meßpunkt verbunden ist, Hochspannungskreise rasch wechselnd so aus- und eingeschaltet, daß immer nur ein Stromkreis geschlossen ist. Jeder Stromschluß läßt im Empfänger entsprechend einen Funken überspringen, der im Registrierpapier ein kleines Loch hinterläßt. Die Aufnahme besteht aus einer dichten Aufeinanderfolge solcher Löcher (Lochkurve). Das Bild des Schwingungsvorganges ist unmittelbar zu erhalten. Das Gerät ermöglicht eine synchrone Aufzeichnung der Durchbiegungen mehrerer Meßstellen. Bewegungen unter 0,1 mm können nicht mehr gemessen werden. Da das Gerät neu ist, sind bis heute erst wenige Anwendungen bekannt geworden.

#### 5. Der Schienensenkungsmesser von Wettl<sup>6)</sup>.

Die Senkungen der Schiene werden durch einen Druck- und Übersetzungshebel vergrößert aufgezeichnet. Die Fehler, die durch Spiel und Reibung in den Gelenken und Reibung an der Schreibspitze auftreten können, werden weitgehend vermieden. Über die Höhe der Eigenfrequenzen sind keine Angaben vorhanden.

#### 6. Das kinematographische Verfahren von Roach<sup>7)</sup>.

In rascher Bildfolge, 800 je Sek., werden bei 400facher Vergrößerung Durchbiegungen photographisch festgehalten. Einzelheiten des Verfahrens sind nicht bekannt geworden.

#### 7. Der Geigersche Durchbiegungsmesser<sup>8)</sup>.

Die Durchbiegungen werden mit einem Winkelhebel vergrößert oder verkleinert auf den Registrierteil des Geigerschen Vibrographen übertragen. Fehlerquellen sind vorhanden in den Eigenfrequenzen der wenig starren Hebel und in der mechanischen Aufzeichnung (Reibung). — Das Gerät ist nur in einzelnen Fällen zu gebrauchen.

### B. Dehnungsmesser<sup>9)</sup>.

Die wechselnde Längenänderung einer Meßstrecke wird fortlaufend registriert. Wenn man das Hookesche Gesetz

<sup>5)</sup> R. Wichtendahl, Das Flattern der Vorderräder bei Automobilen. Automob.-techn. Z. 35, 1932, S. 409.

<sup>6)</sup> A. Wettl, Messung senkrechter Schienenbewegungen. Org. Fortschr. Eisenbahnwes. 66, 1929, S. 443 und 457.

<sup>7)</sup> Roach, Applying photographic to the study of tracks stresses. Rly. Age 72, 1922, S. 916.

<sup>8)</sup> Siehe S. 236 in J. Geiger, Mechanische Schwingungen und ihre Messung. Berlin: Julius Springer 1927.

<sup>9)</sup> Vollständige Zusammenstellung der Dehnungsmeßverfahren: E. Lehr, Meßgeräte für Dehnungsmessungen. Masch.-Bau 10, 1931, S. 711.

als gültig voraussetzt, geben die Aufnahmen unmittelbar auch ein Bild der Spannungen.

#### 1. Der Geigersche Extensograph<sup>10)</sup>.

Eine Meßstange von 20 oder 40 cm Länge ist an einem Ende fest, am andern beweglich gelagert. Die Relativbewegungen der beiden Endpunkte werden 55- bis 440fach vergrößert und mit Hilfe des Geigerschen Registriergerätes<sup>8)</sup> aufgezeichnet; so werden die Dehnungen in einer ideellen Faser, in der sich die Meßstange befindet, gemessen. Die Eigenfrequenz liegt bei 190 Hz<sup>11)</sup>, nach neueren Mitteilungen bei 300 Hz<sup>10)</sup>; das Dämpfungsverhältnis beträgt etwa 3:1 (ohne Dämpfungseinrichtung). Der Meßbereich ist groß und beginnt für Stahl bei etwa 5 kg/cm<sup>2</sup>. Zur Messung von Dehnungsschwingungen mit niedriger Frequenz (bis etwa

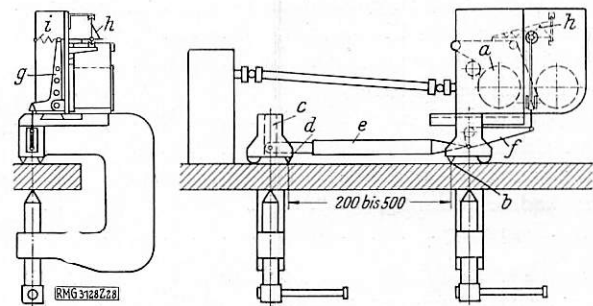


Abb. 5. Schema des Geigerschen Extensographen.

- |                   |                  |
|-------------------|------------------|
| a Registriergerät | f, g Winkelhebel |
| b, d Meßschneiden | h Schreibhebel   |
| c Brücke          | i Feder          |
| e Stoßstange      |                  |

100 Hz) ist das Gerät geeignet; alle früheren mechanischen Dehnungsmesser (z. B. Okhuizen-Huggenberger, Fränkel-Leuner u. a.) sind für statische Versuche gebaut und haben eine viel zu niedrige Eigenfrequenz. Deshalb liefern sie bei dynamischen Vorgängen falsche Ergebnisse.

#### 2. Der Glasritz-Dehnungsschreiber der D.V.L.<sup>12)</sup>.

Das Gerät ist ein mechanischer Dehnungsmesser mit einer normalen Meßlänge von 20 cm. Vom Geigerschen Extensographen unterscheidet es sich dadurch, daß es in einer Randfaser mißt und die Dehnungsvorgänge in natürlicher Größe in Glas mit einem Diamanten einritz. Die Strichstärke beträgt 1 bis 2  $\mu$ . Die Aufzeichnungen werden unter dem Mikroskop bei 200- bis 800facher Vergrößerung ausgemessen. Bei 200facher Vergrößerung lassen sich die Spannungen bei Stahl bis auf etwa 20 kg/cm<sup>2</sup> genau bestimmen. Da keine Übersetzungshebel angewendet werden, ist die Eigenfrequenz des Gerätes sehr hoch; Zahlenangaben darüber fehlen noch. Bringt man im Instrument eine geringe Vergrößerung an, so kann die Meßlänge bis auf 2 cm herabgesetzt werden. Dabei muß man aber eine niedrigere Eigenfrequenz in Kauf nehmen. Bei Registrierung auf einer Glasplatte von 25 mm nutzbarer Länge ist die Ablaufzeit zwischen 1 Sek. und 6 Std. regulierbar; bei Verwendung eines Glaszylinders kann man die Registrierdauer auf 22 und mehr Stunden ausdehnen. Über die Verwendbarkeit in verschiedenen Frequenzbereichen sind bis heute nur wenig praktische Erfahrungen veröffentlicht worden.

<sup>10)</sup> J. Geiger, Die Aufzeichnung rasch wechselnder Dehnungen mit Hilfe des Extensographen. Bautechn. 7, 1929, S. 840.

<sup>11)</sup> H. Saller, Dynamische Messungen am Eisenbahnoberbau. Org. Fortschr. Eisenbahnwes. 63, 1926, S. 193. Erwiderung: Org. Fortschr. Eisenbahnwes. 64, 1927, S. 151.

<sup>12)</sup> F. Seewald, Messungen mit dem Glasritz-Dehnungsschreiber der D.V.L. Masch.-Bau 10, 1931, S. 725.

3. Der Kohledehnungsmesser<sup>13)</sup>.

Das Meßprinzip beruht auf der Änderung des elektrischen Widerstandes einer Säule aus Kohleplättchen unter dem Einfluß von Druckänderungen. Die Widerstandsänderungen

ein zwischen den beiden Magneten beweglicher Anker befestigt. Bei Längenänderung der Meßstrecke wird bei dieser Anordnung die Selbstinduktion der einen Spule erhöht, die der andern verkleinert. Mit Hilfe einer Wechselspannung

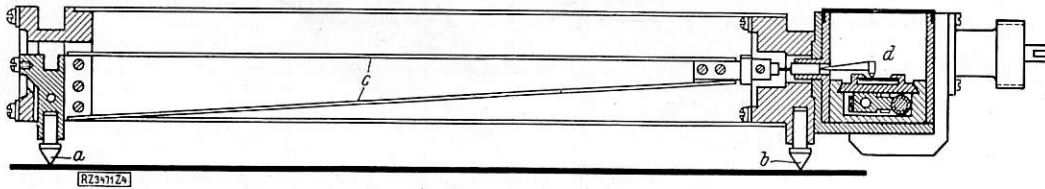


Abb. 6. Der Glasritz-Dehnungsschreiber.  
a, b Schneiden; c dünner Blechträger; d Ritzschreibgerät.

werden in einer Wheatstoneschen Brückenschaltung mit Hilfe eines Oszillographen gemessen. Angaben über die Eigenfrequenzen der Kohlesäulen liegen nicht vor. Bei einer Meßlänge von 20 cm sind Spannungsänderungen von etwa 5 kg/cm<sup>2</sup>

(Frequenz 1000 Hz) werden die Selbstinduktionsänderungen in einer Brückenschaltung oszillographisch registriert. Ein Kondensator muß für Phasengleichheit zwischen Schleifenstrom und Felderregung im Oszillographen sorgen. Mit dieser Anordnung sind Frequenzen bis etwa 1/10 der Brückenspannungsfrequenz zu messen, also höchstens bis 100 Hz. Über die Empfindlichkeit liegen noch keine Angaben vor.

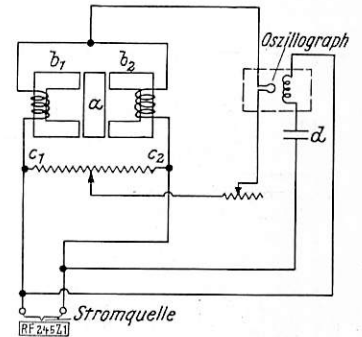


Abb. 8. Schema des induktiven Dehnungsmessers der Westinghouse Electric Co.  
a Anker  
c<sub>1</sub>, c<sub>2</sub> Ohmsche Widerstände  
b<sub>1</sub>, b<sub>2</sub> Hufeisenmagnete  
d Kondensator

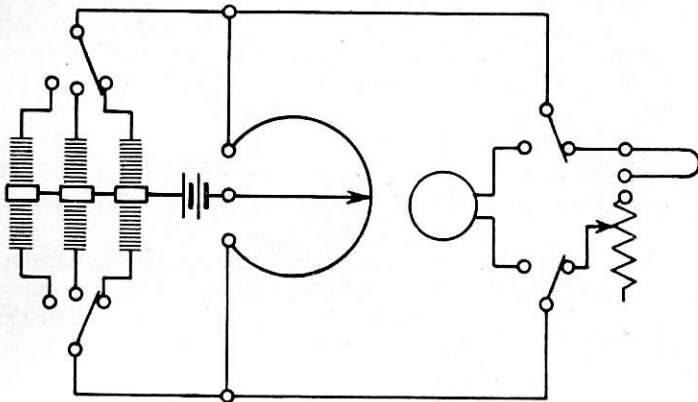


Abb. 7. Schaltbild des Kohledehnungsmessers.

bei Stahl nachweisbar. Ein Vorzug des Gerätes ist die synchrone Registrierung von sechs Meßstellen, ein Vorteil, der in der elektrischen Meßmethode begründet liegt. In geeigneter Anordnung ist das Gerät auch als Beschleunigungsmesser verwendbar<sup>14)</sup>.

4. Der kapazitive Dehnungsmesser nach Thoma<sup>15)</sup>.

An den Endpunkten einer Meßstrecke wird je eine Kondensatorplatte angebracht. Die durch die Längenänderungen der Meßstrecke erzeugten Kapazitätsschwankungen werden durch eine Hochfrequenzanordnung unter Verwendung der Schaltung der halben Resonanzkurve oszillographisch aufgezeichnet. Einem Ausschlag von 1 mm im Oszillographen entspricht eine Längenänderung der Meßstrecke von 10<sup>-6</sup> mm. Zahlenangaben über die Länge der Meßstrecke und über die Eigenfrequenz sind nicht veröffentlicht. Hochfrequente Dehnungsschwingungen sind mit dem Gerät exakt gemessen worden. Bei Messungen im Freien ist besonders darauf zu achten, daß durch Witterungseinflüsse keine Störungen eintreten.

5. Der induktive Dehnungsmesser der Westinghouse Electric Co.<sup>16)</sup>.

Bei diesem Gerät verursacht die Längenänderung einer Meßstrecke eine entsprechende Änderung der Selbstinduktionen zweier Spulen. Die Eisenkerne der beiden Spulen sind als Hufeisenmagnete ausgebildet und mit dem einen Ende der Meßstrecke verbunden; am andern Ende der Meßstrecke ist

C. Seismographen, Beschleunigungs- und Stoßmesser.

a) Seismographen.  
Zur Messung von Schwingungen an Brücken und in den Fahrzeugen lassen sich grundsätzlich auch Seismographen verwenden. Da es sich hier jedoch fast immer um nichtstationäre Vorgänge handelt, ist die richtige Auswertung der Seismogramme schwierig und oft überhaupt nicht möglich<sup>17)</sup>.

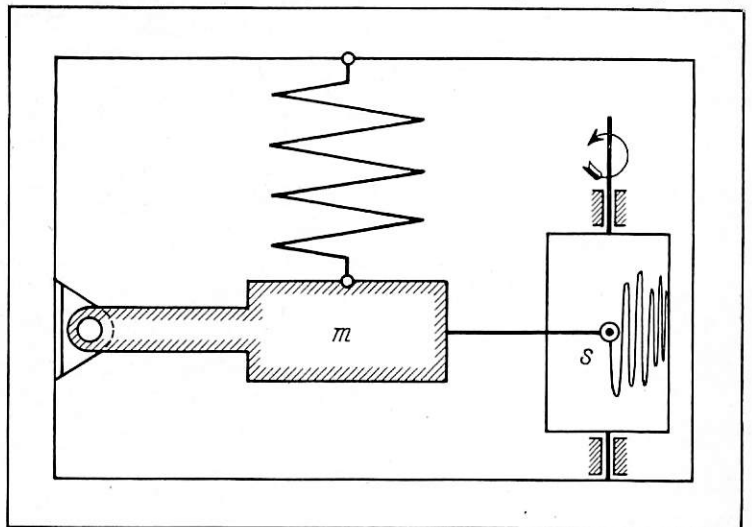


Abb. 9. Schema des Seismographen.

Aus diesem Grunde macht man zweckmäßig von dieser Instrumentengruppe hier keinen Gebrauch. Der technisch am besten durchgebildete Seismograph ist der optische Drei-

<sup>13)</sup> R. Bernhard, Beitrag zur Brückenmeßtechnik. Stahlbau 1, 1928, S. 145.

<sup>14)</sup> Vergl. S. 48 der in Fußnote 4 genannten Arbeit.

<sup>15)</sup> H. Thoma, Aufzeichnung schneller Schwingungen. Z. VDI 73, 1929, S. 639. — Aufzeichnung der Schienenbeanspruchung unter schnellfahrenden Zügen. Z. VDI 77, 1933, S. 873.

<sup>16)</sup> Bericht in: Forschg. Ing.-Wes. 2, 1931, S. 379.

<sup>17)</sup> H. W. Koch und W. Zeller, Die Genauigkeit von seismographischen Messungen nichtstationärer Vorgänge. Z. techn. Physik 14, 1933, S. 162.

komponentenerschütterungsmesser<sup>18)</sup>, der von den Askania-Werken in Berlin-Friedenau seit einigen Jahren gebaut wird. Die Eigenfrequenz liegt bei 6 Hz, die Dämpfung ist beliebig einstellbar.

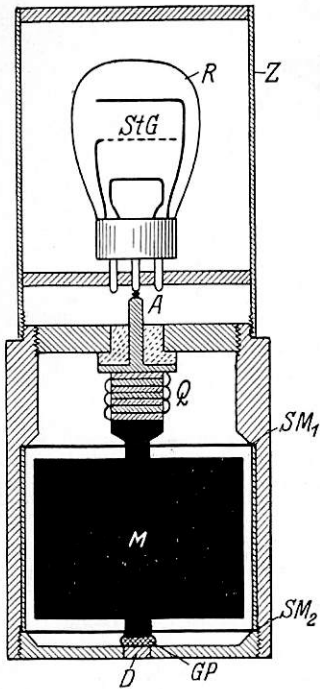


Abb. 10. Schema eines Meßkörpers des Piezoquarz-Beschleunigungsmessers.

Q Quarze, M Masse  
SM Stahlmembranen  
GP Gummipuffer

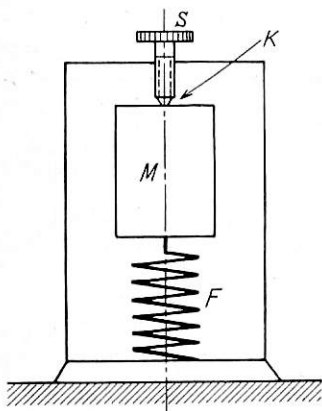


Abb. 11. Schema des Maximalbeschleunigungsmessers.  
M Masse, F Feder, S Schraube,  
K Kontaktstelle.

beschleunigung einen elektrischen Kontakt. Die Prospektion G. m. b. H. Göttingen hat einen Maximalbeschleunigungsmesser herausgebracht, bei dem die Kontaktöffnung durch das Aufleuchten eines Lämpchens angezeigt wird. Die Grenzbeschleunigung ist einstellbar zwischen etwa 50 und 4000 cm/sec<sup>2</sup>. Ein registrierendes Gerät, das nach diesem

b) Beschleunigungsmesser.

Die Schwierigkeiten bei der Auswertung fallen bei der Messung von Beschleunigungen weg. Es kann daher oft vorteilhaft sein, den Beschleunigungsverlauf in einem Schwingungsvorgang zu messen.

1. Der Piezoquarz-Beschleunigungsmesser<sup>19)</sup> der Prospektion G. m. b. H. Göttingen ermöglicht je nach seiner Ausführung eine gleichzeitige Messung an mehreren (bis zu 6) Stellen in einer beliebigen Richtung. Die Meßkörper lassen sich aber ebensogut an einer Stelle in drei Komponentenrichtungen anordnen. Die Beschleunigungen werden in den Meßkörpern mit Hilfe des Piezoeffektes in elektrische Spannungsschwankungen umgewandelt und über eine Verstärkereinrichtung mit einem Saitengalvanometer optisch registriert. Die niedrigste Eigenfrequenz in einem Meßkörper liegt bei etwa 4000 Hz; für die Aufzeichnung maßgebend ist jedoch die Eigenfrequenz der Galvanometerfäden, die niedriger liegt und zwar einstellbar zwischen 200 und 1200 Hz. Bei 1200 Hz und unter Verwendung von Zusatzkapazitäten im Meßkörper läßt sich die Empfindlichkeit so weit herabdrücken, daß 1 mm Ausschlag einer Beschleunigung von etwa 2000 cm/sec<sup>2</sup> (ungefähr  $2\bar{g}$ ) entspricht. Die Höchstepfindlichkeit bei einer Fadeneigenfrequenz von 200 Hz beträgt für 1 mm Ausschlag etwa 5 cm/sec<sup>2</sup>.

2. Ein anderes Prinzip zur Messung von Beschleunigungen liegt dem Maximalbeschleunigungsmesser<sup>20)</sup> zugrunde. Eine durch Federkraft gehaltene Masse wird dem Beschleunigungsvorgang ausgesetzt und öffnet infolge ihrer Trägheit beim Überschreiten einer bestimmten Beschleunigung einen elektrischen Kontakt. Die Prospektion G. m. b. H. Göttingen hat einen Maximalbeschleunigungsmesser herausgebracht, bei dem die Kontaktöffnung durch das Aufleuchten eines Lämpchens angezeigt wird. Die Grenzbeschleunigung ist einstellbar zwischen etwa 50 und 4000 cm/sec<sup>2</sup>. Ein registrierendes Gerät, das nach diesem

Meßprinzip gebaut ist, wurde von Langer und Thomé<sup>21)</sup> in Aachen ausgebildet. Das Öffnen der Kontakte einer Anzahl verschieden eingestellter Maximalbeschleunigungsmesser wird auf einem bewegten Papierstreifen markiert. Die Kontakte sind bei diesem Gerät besonders gut gearbeitet. Die Kontaktwege sind so klein gehalten, daß bis zu 40 Beschleunigungsstöße in der Sekunde noch registriert werden können. Der Meßbereich ist sehr groß, von wenigen cm/sec<sup>2</sup> bis zu Vielfachen der Erdbeschleunigung. Heute kann das Gerät an Stelle der Registriereinrichtung auch mit einem Zählwerk versehen werden. Damit läßt sich zahlenmäßig angeben, wie oft während der Beobachtungszeit eine bestimmte Beschleunigung erreicht oder überschritten worden ist.

3. Zur fortlaufenden Beschleunigungsregistrierung kommen außerdem noch Seismographen in Beschleunigungsschaltung in Betracht. Die Masse des Seismographen muß dabei an einer so steifen Feder aufgehängt werden, daß die Eigenfrequenz des Gerätes wesentlich höher liegt als der Meßfrequenzbereich. Man arbeitet dabei in dem Bereich der Resonanzkurve des Gerätes, in dem die Ausschläge verkleinert wiedergegeben werden. Solange dieses Stück der Resonanzkurve durch eine Parabel ersetzbar ist, besteht eine lineare Beziehung zwischen Aufzeichnung und Beschleunigung in dem zu messenden Schwingungsvorgang. Ein Gerät dieser Art ist das „Meßgerät Bauart Grunewald“<sup>22)</sup>, Angaben über seine Konstanten sind nicht veröffentlicht.

c) Stoßmesser.

In letzter Zeit sind auch Stoßmesser<sup>23)</sup> konstruiert worden, die darauf beruhen, daß durch den Stoß eine Masse aus ihrer Ruhelage getrieben wird. Der Größtausschlag der Masse wird gemessen. Unter der Voraussetzung, daß der Stoßmesser ein ballistisches Instrument ist, d. h. daß der Stoß vorbei ist, bevor die Masse ihre Ruhelage verlassen hat, ist die Anzeige des Gerätes dem Quadrat des Ausdruckes  $\int_0^{\tau} b dt$  ( $\tau$  = Stoßdauer) proportional. Verläßt die Masse schon

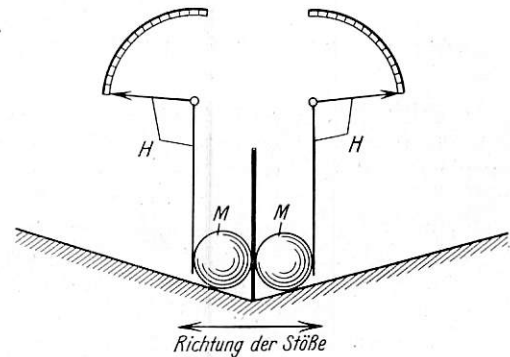


Abb. 12. Schema des Stoßmessers. M Massen, H Hebel.

während des Stoßes ihre Ruhelage, dann ist das Instrument allgemein nicht brauchbar und könnte nur für eine bestimmte Stoßdauer empirisch geeicht werden.

II. Anwendung der Meßgeräte.

A. Am Eisenbahnoberbau.

a) Spannungsermittlung.

1. Bisher benutzte Meßmethoden.

Die bisherigen dynamischen Messungen am Oberbau hatten im allgemeinen die Ermittlung von Spannungen in

<sup>21)</sup> P. Langer und W. Thomé, Stoßhaftigkeit von Straßen und Verkehrserschütterungen durch Straßenfahrzeuge. Z. VDI 72, 1928, S. 1561.

<sup>22)</sup> Vergl. S. 44 der in Fußnote 4 genannten Arbeit.

<sup>23)</sup> Siehe z. B.: C. Supper, Einrichtung zur Aufzeichnung von horizontalen Prallstößen an Fahrzeugen bei der Eisenbahn. Ztg. Ver. mitteleurop. Eisenverw. 72, 1932, S. 1003.

<sup>18)</sup> Siehe z. B.: Z. VDI 75, 1931, S. 916.

<sup>19)</sup> R. Ambronn, Über Erschütterungsmessungen und einen neuen Messer für schnelle Schwingungen. Zbl. Bauverw. 50, 1930, S. 754.

<sup>20)</sup> R. Ambronn, Der kleine Erschütterungsmesser der Prospektion G. m. b. H. Z. techn. Physik 8, 1927, S. 160.

der Schiene zum Ziel. Man hat die Spannungen entweder unmittelbar gemessen oder auf dem Umweg über Durchbiegungsmessungen ermittelt.

Zur unmittelbaren Spannungsmessung hat man den Extensographen und den kapazitiven Dehnungsmesser nach Thoma benutzt. Der Extensograph ist für solche Messungen geeignet; die Eigenfrequenz muß jedoch so hoch sein, daß die für die Beanspruchung wichtigen Frequenzen (bis etwa 100 Hz) unverzerrt wiedergegeben werden. Dabei ist aber Resonanz mit den höheren Schienenfrequenzen [300 bis 400 Hz<sup>24)</sup>] zu vermeiden. Alle anderen mechanischen Spannungsmesser, die für die Messung statischer Spannungen gebaut sind, haben eine viel zu niedrige Eigenfrequenz. Bei dynamischer Belastung der Schiene durch einen rollenden Zug treten immer Schwingungen auf. Bei der sehr niedrigen Eigenfrequenz dieser Meßgeräte ist einmal die Gefahr sehr groß, daß eine wichtige Meßfrequenz mit der Eigenfrequenz übereinstimmt (Resonanz). Das Meßgerät liefert dann stark vergrößerte Ausschläge. Andererseits aber werden Meßfrequenzen, die größer sind als die Eigenfrequenz, stark verkleinert wiedergegeben. Solche Meßgeräte müssen daher bei dynamischer Schienenbelastung versagen, gleichgültig ob man „statische“ oder „dynamische“ Spannungen messen will [z. B. Okhuizen im Vergleich zum Extensographen<sup>11)</sup>]. Das Thomasche Meßverfahren entspricht allen Anforderungen, ist aber nicht einfach zu bedienen und muß für die praktischen Messungen sehr sorgfältig ausgebildet sein, damit keine äußeren Einflüsse die Messungen fälschen.

Zur indirekten Spannungsermittlung hat man Schienendurchbiegungen oder Beschleunigungen von Schienenschwingungen gemessen. Bloss hat mit seinem älteren Verfahren für eine Anzahl Belastungsfälle die Momente bestimmt durch Messung der relativen Durchbiegung eines Punktes gegenüber der Verbindungslinie zweier anderer. Da die Genauigkeit der Einzelmessung gering ist, hat Bloss eine größere Anzahl von Messungen an einer Stelle durchgeführt. Bei dem neueren optischen Spaltmeßverfahren ist die Genauigkeit recht gut. Allerdings muß man synchron an mehreren Stellen messen, wenn man aus der Durchbiegung Spannungen ermitteln will. Eine solche synchrone Messung ist schwierig und bis jetzt noch nicht gemacht worden. Alle Durchbiegungsmesser, die nicht die gleichzeitige Messung der Durchbiegungen an mindestens drei Stellen ermöglichen, sind für die Spannungsermittlung nicht brauchbar, z. B. das für Durchbiegungsmessung an einer Stelle wohl geeignete Gerät von Wettl. Eine synchrone Messung an mehreren Stellen läßt sich ohne weiteres mit dem Piezoquarz-Beschleunigungsmesser anstellen. Seine Bedienung ist allerdings nicht ganz einfach. Aus einer solchen Beschleunigungsmessung werden unter der zulässigen Annahme von Sinusschwingungen die Durchbiegungen und daraus mit Hilfe von Näherungskurven die Momente und Spannungen gefunden<sup>24)</sup>. Die Genauigkeit ist dabei nicht schlecht. Etwas Rechenarbeit ist stets erforderlich, um von den Durchbiegungen auf die Spannungen zu kommen, mögen nun die Durchbiegungen unmittelbar gemessen oder auf einfache Weise aus den Beschleunigungen errechnet werden.

Schienendurchbiegungsmessungen sind auch von Roach mit seinem kinematographischen Verfahren durchgeführt worden, jedoch ist Näheres darüber nicht bekannt.

## 2. Zweckmäßige Verwendungsmöglichkeit anderer Meßverfahren.

Zur unmittelbaren Spannungsmessung an der Schiene ließe sich auch der Kohledehnungsmesser verwenden. Auch das Blossche Gerät wäre dazu geeignet, wenn man die beiden

<sup>24)</sup> H. W. Koch, Messung von Schwingungen am Eisenbahnoberbau. Org. Fortschr. Eisenbahnwes. 69, 1932, S. 389.

Zungen mit den Enden einer Meßstrecke in einer Schienenfaser verbinden würde, wie es von Bloss beabsichtigt ist. Sehr zweckmäßig hierfür erscheint vor allem auch der Glasritz-Dehnungsschreiber in beiden Ausführungen. Registriert man z. B. über einen ganzen Tag, so erhält man ein Bild der zeitlichen Verteilung der Schienenbeanspruchung an der Meßstelle. Die langzeitige Registriermöglichkeit ist ein besonderer Vorteil dieses Gerätes. Als Mehrfachdurchbiegungsmesser zur indirekten Spannungsermittlung kommt auch der Durchbiegungsmesser System Kulka-Zeiß in Frage. Ferner könnte der Teleos-Schwingungsmesser von Metzeltin hierbei Verwendung finden. Bei diesen beiden Meßgeräten ist in einfacher Weise eine synchrone Aufzeichnung mehrerer Meßstellen gewährleistet.

Grundsätzlich kann man mit diesen Methoden ebenso wie mit dem Piezoquarz-Beschleunigungsmesser auch an der Schwelle messen. Die Wahl des Gerätes hängt nur von dem verfügbaren Raum ab.

### b) Andere Messungen.

Außer den Spannungsmessungen an Schiene und Schwelle beim Oberbau können noch Messungen an der Bettung und am Planum von Bedeutung sein. Dazu ist schon der Blossche Relativverschiebungsmesser benutzt worden<sup>25)</sup>. Je nach dem Ziel der Messung lassen sich hierfür auch andere Durchbiegungsmesser, Seismographen oder Beschleunigungsmesser anwenden.

## B. An Brücken<sup>26)</sup>.

### a) Spannungs- und Durchbiegungsmessungen.

Gelegentlich nahm man zu unmittelbaren Spannungsmessungen an Brücken den Geigerschen Extensographen<sup>10)</sup>; in den letzten Jahren wurden solche Messungen sehr häufig mit dem Kohledehnungsmesser ausgeführt. Dieses Instrument gestattet die Messung auch hochfrequenter Spannungsschwingungen. Es hat sich dabei herausgestellt, daß die zusätzlichen dynamischen Beanspruchungen bei diesen hohen Frequenzen im allgemeinen gering sind.

Solche Messungen geben Aufschluß über die dynamischen Spannungen in einzelnen Brückenteilen. Die Schwingungen einer Brücke als Ganzes werden gemessen mit dem Brückendurchbiegungsmesser System Kulka-Zeiß. Auf Grund der synchronen Aufzeichnung der Bewegungen einzelner Knotenpunkte kann man die Durchbiegungen bestimmen und daraus die Biegemomente berechnen. Durchbiegungsmessungen an einer Stelle geben nur Aufschluß über die Durchbiegung selbst. Synchrone Mehrfachdurchbiegungsmessungen sind hier schwieriger durchzuführen als am Oberbau. Nur bei einem optischen Verfahren ist das Beziehen aller Meßstellen an der Brücke auf einen gemeinsamen Punkt unschwer möglich. Auf dem Umweg über die Beschleunigungsmessung kann man, solange es sich um Sinusschwingungen handelt, die Durchbiegungen an mehreren Stellen z. B. mit Hilfe des sechsfachen Piezoquarz-Beschleunigungsmessers ebenfalls ermitteln. Zur Messung der Spannung in Einzelstäben könnte man auch einen Spannungsmesser, der auf dem Piezoeffekt beruht<sup>27)</sup>, verwenden.

Ein möglichst vollständiges Bild über die dynamischen Vorgänge in Brücken ergibt sich, wenn man die Messung sowohl auf die ganze Brücke als auch auf Einzelteile erstreckt.

<sup>25)</sup> A. Faatz, Schwingungen im Oberbau. Org. Fortschr. Eisenbahnwes. 68, 1931, S. 218.

<sup>26)</sup> Während des Entstehens der vorliegenden Zusammenstellung ist ein Buch: „Mechanische Schwingungen der Brücken“, Berlin 1933 von der Deutschen Reichsbahn-Gesellschaft herausgegeben worden. Wir fassen uns daher in diesem Abschnitt kürzer.

<sup>27)</sup> J. Kluge und H. E. Linckh, Piezoelektrische Messung mechanischer Größen. Forsch. Ing.-Wes. 2, 1932, S. 153.

b) Andere Messungen.

Um die Erregung einer Brücke in Resonanz vermeiden zu können, ist die Kenntnis von Eigenfrequenz und Dämpfung der Brücke erforderlich. Zu diesem Zwecke erregt man bei verschiedenen Frequenzen die Brücke mit einer Schwingungsmaschine<sup>28)</sup> und bestimmt die Leistungsaufnahme des Erregermotors in Abhängigkeit von der Frequenz. Aus solchen Leistung/Frequenzkurven läßt sich Eigenfrequenz und Dämpfung der Brücke entnehmen.

C. Am Fahrzeug.

Die Schwingungen am Fahrzeug interessieren aus vier Gründen; Schwingungen und Stöße wirken sich aus:

1. auf die Werkstoffe, besonders auf die Federn,
2. auf die im Fahrzeug befindlichen Menschen,
3. auf die im Fahrzeug befindlichen Güter,
4. auf den Ober- und Unterbau.

Zur Messung der dynamischen Federzusammendrückung ist der Durchbiegungsmesser nach Elsässer geeignet und von der Wagenversuchsabteilung in Berlin-Grünwald benutzt worden<sup>4)</sup>. Stoß- und Schwingungsmessungen an den Achsen werden zweckmäßig mit dem Beschleunigungsmesser von Langer-Thomé durchgeführt. Für etwaige Spannungsmessungen an Wagenteilen kommt der Kohledehnungsmesser in Betracht, da dieses Gerät gleichzeitige Messungen an mehreren Stellen bei elektrischer Fernübertragung gestattet.

Zur Feststellung der Schwingungen des Wagenkastens bei normalem Lauf stehen Seismographen und Beschleunigungsmesser zur Verfügung. Seismographen werden aus den oben angegebenen Gründen im allgemeinen auszuschließen sein. Zweckmäßiger sind Beschleunigungsmesser, und zwar wenn man an mehreren Stellen des Wagenkastens gleichzeitig

<sup>28)</sup> W. Späth, Neuere Schwingungsprüfmaschinen. Z. VDI 75, 1931, S. 83.

messen will, der Piezoquarz-Beschleunigungsmesser oder der Kohledehnungsmesser mit mehreren Meßstellen. Die Messung an einer Stelle in drei Komponenten genügt im allgemeinen zur Beurteilung der Einwirkung von Schwingungen auf Reisende und Ladegut. Dazu sind die genannten Beschleunigungsmesser ebenfalls geeignet. Außerdem sind hierzu auch Seismographen in Beschleunigungsschaltung bei richtiger Wahl der Apparatkonstanten zu brauchen<sup>29)</sup>. Die Untersuchung der Einwirkung von Schwingungen und Stößen auf Menschen und Ladegut ist heute noch nicht so weit fortgeschritten, daß man eindeutig angeben könnte, welche dynamische Größe von ausschlaggebender Bedeutung ist<sup>29)</sup>. Mit Beschleunigungsmessern mißt man den zeitlichen Verlauf oder den Maximalwert der Beschleunigung im Stoß. Die neuerdings konstruierten Stoßmesser liefern unter den oben genannten Voraussetzungen einen Ausschlag, der von dem Quadrat des zeitlichen Integrales der Beschleunigung über die Stoßdauer abhängt.

Bei Schwingungsmessungen muß man sich, um brauchbare Meßergebnisse zu bekommen, stets Klarheit darüber verschaffen, welche Größen letzten Endes gesucht sind und in welchem Bereich die vorkommenden Frequenzen liegen. Zur Ermittlung des Frequenzbereiches sind unter Umständen Vorversuche erforderlich. Man muß dann das Meßverfahren so wählen, daß störende Fehler vermieden werden. In der Nähe der Resonanz (Meßfrequenz  $\approx$  Eigenfrequenz des Gerätes) treten Fehler auf durch stark veränderliche Vergrößerung und nicht-konstante Phasenverschiebung. Ferner werden die Aufzeichnungen um so stärker verkleinert, je mehr die Meßfrequenz über der Eigenfrequenz liegt, ausgenommen bei Seismographen. Dies ist besonders bei der Messung hoher Frequenzen zu beachten.

<sup>29)</sup> Vergl. hierzu: W. Zeller, Die Wirkung von mechanischen Bewegungen auf den menschlichen Organismus. Mitt. Straßenforschungsstelle von Prof. Dr. Ing. C. Risch, Techn. Hochsch. Hannover Heft 2, 1933. Im Selbstverlag.

### Zur Frage der einheitlichen Berechnung des Eisenbahnoberbaues.

Von Dr. Saller, Regensburg.

Die Ausführungen von Dr. Janicsek im Organ 1933, Heft 9, bedeuten einen bemerkenswerten Beitrag zur Lösung der Frage der einheitlichen Oberbauberechnung. Sie haben einige Überraschungen gebracht, die hier besprochen werden sollen.

Daß die Amerikaner engere Schwellenlage haben als wir, ist bekannt. Auch die unsere ist schon genügend eng, um unbedenklich zu der Langträgerberechnung auf elastischer Unterlage übergehen zu können.

Dr. Janicsek macht dem von mir vertretenen Verfahren nach Timoschenko den Vorwurf, daß es die entschieden maßgebenden Einflüsse der Querschwellen nicht in Rechnung ziehe. Wenn das zuträfe, wäre das natürlich ein großer Fehler. Es kann da wohl nur ein Mißverständnis vorliegen.

$$\text{In der Zimmermannschen Langträgerformel } L = \sqrt[4]{\frac{4 E J}{C b}}$$

beziehen sich E, J und b auf den Langträger, das ist auf die Schiene. Wir hätten also eine einfache Schiene, die mit ihrem Fuß von der Breite b unmittelbar auf elastischer Unterlage, der Bettung mit der Kennziffer C aufliegt. Das entspricht nicht den tatsächlichen Verhältnissen des Eisenbahnquerschwellen-Oberbaues, sondern tatsächlich liegt die Schiene auf der Bettung durch Vermittlung der Querschwellen auf. Das Verfahren nach Timoschenko besteht nun darin, daß es

C b einfach durch  $\frac{D}{l}$  ersetzt. Es führt damit die Querschwellen

mit ihrer elastischen Trageigenschaft, die sie in der Linie des Schienenlangträgers ausüben, in die Berechnung ein. Er

denkt sich also nicht wie dies Janicsek-Nemcsek entbehrlicher Weise tun, eine besondere, tatsächlich nicht vorhandene Langschwelle, sondern er bleibt bei dem theoretisch einfachen Fall des unmittelbar auf nachgiebiger Unterlage ruhenden Langträgers. Während Janicsek mit drei Baugliedern (Schiene, gedachte Langschwelle, Bettung) rechnen muß, rechne ich nach Timoschenko nur mit zweien (Schiene und gedachte, gleichmäßig tragende Unterlage). Die Theorie nach Timoschenko bleibt also der des gleichmäßig aufgelagerten Langträgers viel näher und ist viel einfacher.

D ist dabei =  $\frac{C b_1 L_1}{[\eta_e]}$  (Zimmermann S. 76. Index 1 bezieht

sich immer auf die Querschwellen) oder, da  $L_1 = \sqrt[4]{\frac{4 E_1 J_1}{C b_1}}$ , ist

$$\frac{D}{l} = \frac{C b_1 \sqrt[4]{\frac{4 E_1 J_1}{C b_1}}}{[\eta_e] l} \dots \dots \dots 1).$$

Damit werden alle maßgebenden Eigenschaften der Querschwellen in die Rechnung eingeführt, die Breite b<sub>1</sub>, die Elastizitätszahl E<sub>1</sub> des Schwellenstoffes, das Trägheitsmoment J<sub>1</sub> und der Schwellenabstand l. Die Berücksichtigung der Zusammendrückbarkeit der Schwelle halte ich aus den im Organ 1932, Heft 1, Anm. S. 14 gegebenen Gründen für entbehrlich. Es bleibt nur noch die Schwellenlänge, die offenbar in  $[\eta_e]$  steckt. Die Diehlsche Vereinfachung D = 2 C b<sub>1</sub>ü, die ich mit deutlichem Vorbehalt und in Ermanglung von Besserem an-

wendete, brachte diese Berücksichtigung wenigstens damit, daß der Überstand  $\bar{u}$  der Schwelle über die Schienenmitte in Rechnung gestellt wurde, schaltete dagegen wieder  $E_1$  und  $J_1$  aus. Die Tragweite dieser Ausschaltung darf nicht überschätzt werden. So verschieden die Werte  $E_1$  und  $J_1$  für verschiedene Schwellenbaustoffe (Holz, Eisen usw.) sein können, so tritt doch im Produkt  $E_1 J_1$  wieder ein gewisser Ausgleich ein. Daher mag es kommen, daß wie im weiteren noch gezeigt wird, die Diehlsche Vereinfachung gar keine schlechten Ergebnisse liefert. Allein diese Diehlsche Vereinfachung ist und will nicht mehr sein als ein Behelf, dessen Schwächen Diehl selbst kennt. Es standen ihm ja zur Aufstellung dieser vereinfachenden Formel keinerlei Versuche zur Verfügung.

Die Anwendung der Diehlschen Vereinfachung hat mit dem Verfahren nach Timoschenko nichts zu tun und das Verfahren ist an diese Vereinfachung in keiner Weise gebunden. Die Verwendung dieser Vereinfachung hat offenbar durch Mißverständnis zu dem Vorwurf geführt, daß das Verfahren nach Timoschenko maßgebende Eigenschaften der Querschwellen nicht in Rechnung ziehe. Wenn Janicsek für  $[\eta_e]$  als Rettung die einfache und doch genügend genaue Formel  $[\eta_e] = \frac{29,4}{s} + \frac{0,723}{s} L_1$  bringt ( $s$  = halbe Schwellenlänge), dann kann das Timoschenko-Verfahren ohne weiteres auf den Diehlschen Notbehelf verzichten. Sollte sich die Janicsekische Abkürzung in eine einheitliche Berechnung einführen, so wäre es dankenswert, wenn eine durchsichtige Ableitung der Formel nachgeholt würde.

Es ergibt sich mit der Janicsekschen Vereinfachung

$$\frac{D}{l} = \frac{C b_1 L_1}{\left(\frac{29,4}{s} + \frac{0,723}{s} L_1\right) l} = \frac{C b_1}{\left(\frac{29,4}{s \sqrt[4]{\frac{4 E_1 J_1}{C b_1}}} + \frac{0,723}{s}\right) l}$$

Es wird dann das neue  $L$

$$L = \sqrt[4]{\frac{4 E J l}{C b_1} \left(\frac{29,4}{s \sqrt[4]{\frac{4 E_1 J_1}{C b_1}}} + \frac{0,723}{s}\right)} \dots 2).$$

Diese Gleichung hätte an Stelle meiner Gleichung 4) im Organ 1932, Heft 1, S. 16 zu treten. Auch die neue Gleichung 2) gibt für den im Organ 1933, Heft 9, Tafel 16, Abb. 1 angestellten Vergleich eine Bettungsziffer 6, wie solche dort (S. 186) angenommen wurde. Die ganzen weiteren Ausführungen daselbst sind eine Anwendung des Berechnungsverfahrens des auf ganze Länge gleichmäßig unterstützten Langträgers und bleiben unverändert. Für die Beispiele ändert sich die Größe  $L$ . Zu den im Organ 1932, S. 18 schon angegebenen Größen fügen wir als neu benötigt hinzu:

Für Holzquerschwellen  $s = 130$  cm;  $E_1 = 120\,000$  kg/cm<sup>2</sup>;

$$J_1 = \frac{1}{12} b h^3 = \frac{1}{12} \cdot 26 \cdot 16^3 = 8875 \text{ cm}^4; \quad b_1 = 26 \text{ cm.}$$

Für Eisenquerschwellen  $s = 125$  cm;  $E_1 = 2\,150\,000$  kg/cm<sup>2</sup>;  
 $J = 339$  cm<sup>4</sup>;  $b_1 = 26$  cm;  $l = 65$  cm;  $C = 7,5$  kg/cm<sup>3</sup>.

Für Holzschwellen ergibt sich aus Gl. 2)  $L = 82,0$ , für Eisenschwellen  $L = 83,6$  cm. Bei der Diehlschen Vereinfachung waren die betreffenden Werte 82,5 und 84,5 cm, also nicht viel anders. Für  $C = 15$ , also für bessere Bettung, wird aus Gl. 2)  $L = 70,0$  und 71,6 cm. Bei besserer Bettung wird  $L$  kleiner. Nach Diehl ergäbe sich 68,9 und 70,3; also auch hier greift Diehl gar nicht schlecht. Es wäre immer noch die Frage, ob man es bei dieser Diehlschen Vereinfachung nicht belassen könnte.

Daß das Trägheitsmoment der zur Schiene senkrecht liegenden Querschwellen das Trägheitsmoment der Schiene

nicht erhöht und daß es ein grobes Handwerksverfahren ist, das Trägheitsmoment der Querschwellen einfach gleichmäßig auf das Trägheitsmoment der Schiene auszuschlagen, hat schon der alte Praktiker Haarmann gespürt. Er hat ganz vorsichtig (vergl. Organ 1932, S. 16) diese Umrechnung als „für einen für praktische Verhältnisse anwendbaren Vergleich der einzelnen Eisenquerschwellen-Oberbauanordnungen miteinander geeignet“ bezeichnet. Es besteht keine Veranlassung, sich über Haarmann hinaus für dieses Handwerksverfahren ins Zeug zu legen. Im übrigen wird durch das Vorhandensein von Querunterstützungen selbstverständlich die Steifigkeit des ganzen Tragwerks erhöht. Es ist ein Streit um des Kaisers Bart, ob man diesen Steifigkeitszuwachs in ein gedachtes größeres Trägheitsmoment der Schiene umrechnen will oder nicht. Wissenschaftlich einwandfreier und einfacher ist jedenfalls weitaus das Verfahren nach Timoschenko. Es läßt die Schwellen da, wo sie liegen, nämlich in der Bettung, dem Organ der gleichmäßigen Langträgerunterstützung und vermeidet den überflüssigen Weg über eine besondere, tatsächlich nicht vorhandene Langschwelle.

Mit der Änderung von  $L$  ändert sich an der einfachen Grundformel 10), die ich im Organ 1932, S. 18 angegeben habe, gar nichts. Was ich im Organ 1933, Heft 9 über die Möglichkeit der praktischen Anwendung der Formel und ihre Übereinstimmung mit zwei Wirklichkeitsversuchen angeführt habe, bleibt unberührt.

Die Grundformel 10) hat allerdings nur dann Berechtigung, wenn die Entfernung zweier aufeinanderfolgender Achsen  $a > 1,571 L$  ist. Das ist für meine Beispiele Organ 1932, Heft 1 durchweg der Fall. In dem von Janicsek bemerkten Bereich zwischen  $L = 80$  und  $90$  cm ist  $1,571 \times 80 = 125,68$  cm und  $1,571 \times 90 = 141,39$  cm, also beide noch kleiner als der kleinste Radstand von 143 cm in dem von Janicsek beanstandeten Beispiel der Württ. K-Lokomotive. Rechnet man  $L$  statt mit der Diehlschen Vereinfachung mit obiger Gleichung 2), so wird für meine Beispiele bei Holzschwellen  $L = 82$  cm und bei Eisenschwellen  $L = 83,6$  cm. Es wird  $1,571 \cdot 82 = 129$  cm und  $1,571 \cdot 83,6 = 131,5$  cm, also beide kleiner als der kleinste bei Vollbahnen regelmäßig vorkommende Radstand. Nach dem Merkbuch für die Fahrzeuge der Deutschen Reichsbahn, 1931, kommt bei den Einheitslokomotiven der Reichsbahn kein geringerer Achsstand vor als 170 cm mit Ausnahme lediglich der kleinen nebensächlichen Verschiebelokomotive D-h 2 und der Hafenbahnlokomotive E-h 2, die beide zu 140 cm Achsstand herunter gehen. Bei Wagen, besonders auch bei Drehgestellen, sind die Achsstände allgemein größer. Außergewöhnlich kleine Achsstände kommen nur ganz ausnahmsweise bei Privat- und Spezialtiefadewagen, Rohrtransportwagen vor (bis zu 108 cm herunter). Eine einheitliche Formelgebung wird auf solche Ausnahmefälle ja wohl keine Rücksicht nehmen. Mit Verbesserung der Bettung und zunehmender Bettungsziffer wird  $L$  kleiner und die Wahrscheinlichkeit, daß die Achsstände  $1,571 L$  nicht erreichen, noch weiter verringert. Ich halte daher nach wie vor eine Erweiterung meiner Grundformel für entbehrlich. Sollten aber bei einer Anwendung der Formel auf einheitliche Berechnung des Oberbaues innerhalb eines größeren Kreises von Verwaltungen Fälle nachgewiesen werden, bei denen Achsstände  $< 1,571 L$  nicht vereinzelt vorkommen, so hätte auch ich kein Bedenken, die Biegemomentenlinie noch mit einer zweiten Geraden zu umgrenzen. Es ergäbe sich dann statt Abb. 2 im Organ 1932, Heft 1, S. 17 die nachstehende Abb. 1. Die neue zweite Umgrenzungslinie braucht sich nur in der Nähe von B der Momentenlinie anzuschmiegen, da die Lasten ja doch an einen Mindestabstand gebunden sind. Die Neigung der beiden Umgrenzungslinien wird durch die Wahl von  $0,612 L$  gleich. Es ergibt

sich damit wieder der Nenner 42 und damit eine Formelvereinfachung.

Es wird aus Abb. 1

$$z' : 0,2079 = (0,612 L + a') = 2,1828 L$$

$$M = \frac{P_0 L}{4} - \frac{P_1 (3,75 L - a) + P_2 (3,75 L - b) + \dots + P_1' (0,612 L + a') + P_2' (0,612 L + b') + \dots}{42} \dots 2).$$

$P_1, P_2 \dots, a, b \dots$  beziehen sich dabei auf die Lasten, die beiderseits  $> 1,571 L$  von dem Lastpunkt entfernt sind, für den das Moment gerechnet werden soll,  $P_1', P_2' \dots, a', b' \dots$  auf die beiderseits  $< 1,571 L$  entfernten Lasten. Vorderhand vermute ich, wie gesagt, daß sich eine solche Erweiterung der Formel erübrigt.

$$M = \frac{P_3 \cdot 82}{4} - \frac{P_1 (3,75 \cdot 82 - 288) + P_4 (3,75 \cdot 82 - 180) + P_2 (0,612 \cdot 82 + 108)}{42} = 143\,500 - 50\,833 = 92\,667 \text{ kg/cm}$$

und

$$\sigma = \frac{92\,667}{234} = 396 \text{ kg/cm}^2.$$

Für Einzellast  $P_3$  würde sich  $\frac{143\,500}{234} = 613 \text{ kg/cm}^2$  ergeben haben.

Der Bemerkung Janicseks, daß die Verfahren Nemesek und Saller nur Festwertunterschiede in unbedeutendem Maße aufweisen, darf ich kurz widersprechen. Die beiden Verfahren sind unabhängig voneinander entstanden und dem-

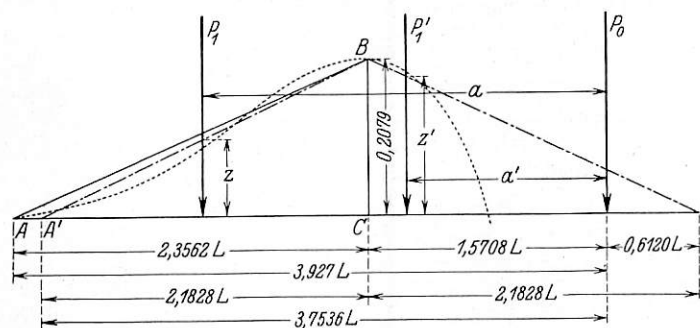


Abb. 1.

entsprechend auch in Entwicklung und Formel verschieden ausgefallen, wenn auch beiden als selbstverständliche, allgemein bekannte Voraussetzung die Summierung der Einflüsse der Nachbarlasten gemeinschaftlich ist.

Eine Frage, die bei allem dem noch zu erörtern sein wird, ist die, ob die allgemeine Annahme für den Bettungsdruck,  $p = C y$ , die Zimmermann seiner Langträgertheorie zugrunde gelegt hat, richtig ist. Neuere Versuche von Prof. Dr. Ammann, Karlsruhe, scheinen dafür  $p = C_0 + C_1 y$  zu setzen. Damit würde sich an Stelle der Grunddifferentialgleichung  $\frac{d^4 y}{d x^4} = K y$  ergeben  $\frac{d^4 y}{d x^4} = q + K y$ . Diese Differentialgleichung ist ebenfalls lösbar. Da aber für die Ausübung die fraglichen Werte  $C_0$  und  $C_1$  noch nicht zugänglich sind, soll die Sache vorderhand nicht weiter berührt werden.

Für Bettungsdruck und Einsenkung ist, wie Janicsek richtig hervorhebt, nicht die Einzel-, sondern die Gruppenlast maßgebend. In Abb. 8 bei Janicsek scheint  $z$  in die  $P$ -Linie zu gehören.

Es ist ein ungemein einfaches Verfahren, das sich damit für die einheitliche Berechnung des Oberbaues anbietet, zumal wenn die einzelnen Verwaltungen die Werte  $L$  für die bei ihnen vorkommenden Oberbauformen und für verschiedene Bettung vorrechnen oder in Schaubildern darstellen. Aber ist es eine Oberbauberechnung im vollen wissenschaftlichen Sinne des Wortes? Ist eine solche Berechnung beim Oberbau

und nach Umformung

$$z' = \frac{0,612 L + a'}{10,5 L}.$$

Die Grundgleichung bekäme damit folgendes Aussehen:

$$M = \frac{P_0 L}{4} - \frac{P_1 (3,75 L - a) + P_2 (3,75 L - b) + \dots + P_1' (0,612 L + a') + P_2' (0,612 L + b') + \dots}{42} \dots 2).$$

Als Beispiel für Gl. 2) sei die eine Hälfte des schon erwähnten achtachsigen Rohrtransportwagens mit  $1,08$  m kleinstem Radstand (Abb. 2) gewählt, ein ganz ausnahmsweiser Fall. Das Moment soll für Lastpunkt  $P_3$  berechnet werden.  $L$  bleibt nach Gl. 1)  $= 82$  cm.  $W = 234 \text{ cm}^3$ .

überhaupt möglich? Was hier berechnet wurde, ist die Durchbiegung des Oberbaues unter den lotrechten Kräften. Man könnte sagen, daß damit von den Beanspruchungen des Eisenbahnoberbaues als Langträger auf nachgiebiger Unterlage das herausgegriffen ist, was auf Grund vorhandener, einigermaßen sicherer Grundlagen am Eisenbahnoberbau überhaupt berechnet werden kann. Darüber hinaus aber gibt es unbestreitbar eine ganze Reihe von Beanspruchungen, die einer Berechnung mehr oder weniger unzugänglich sind, weil sichere Grundlagen fehlen.

Bekanntlich haben die Amerikaner (American Society of Civil Engineers und American Railway Engineering Association) im Jahre 1914 große Arbeiten zur Untersuchung der Spannungen im Oberbau eingeleitet, die von einem Special Committee on Stress in Track durchgeführt wurden und 1929 noch fort dauerten. Sie haben sich dabei eines Meßgeräts bedient, des Stremmatographen, der in der Verwendung für dynamische Messungen inzwischen längst überholt ist. Daher kommt es wohl, daß die Amerikaner auf eine verhältnismäßige Zunahme der Spannungen in der heißen Schiene mit der Geschwindigkeit kommen, wo neuere Messungen (Organ 1933, Heft 9, Tafel 16) nicht zum gleichen Ergebnis gelangen. Es liegt eine Tragik darin, daß große, mit ungeheuren Mitteln geleistete Forschungsarbeiten teilweise entwertet werden können, wenn sie sich ungeeigneter Meßwerkzeuge bedienen. Aber die allgemeinen Gesichtspunkte, zu denen diese umfangreichen Arbeiten geführt haben, können auch uns verwertbar erscheinen, wenn wir nicht, wozu uns ja schon die Mittel fehlen, den ganzen Weg dieser amerikanischen Forschungen nochmals gehen wollen.

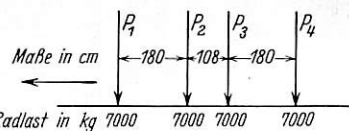


Abb. 2.

Die American Society of Civil Engineers kommt in Transactions Paper 1420 vom Jahr 1917 zu dem Schluß\*), daß den Ergebnissen der Oberbauberechnung, wie sie etwa oben angestellt wurde, vier Wertziffern beizufügen sind:

$$f = f_0 (1 + a) (1 + b) (1 + c) (1 + d), \text{ wobei}$$

- 1 + a eine Wertziffer ist, die den Einfluß der Zuggeschwindigkeit darstellt
- 1 + b eine Wertziffer ist, die den Einfluß der Seitenkräfte darstellt
- 1 + c eine Wertziffer ist, die den Einfluß des Gleiszustandes darstellt
- 1 + d eine Wertziffer ist, die den Einfluß der Spannungsschwingungen unter dynamischer Lastwirkung bei sonst normalen Verhältnissen darstellt.

\*) In Ermanglung der Möglichkeit, Einsicht in die amerikanische Urquelle zu erhalten, berichte ich hier auf Grund eines ausländischen (russischen) Auszugs.



Die Zuggeschwindigkeit und ihr Einfluß auf die Spannungen in heiler Schiene wurden schon Organ 1933, Heft 9, S. 186 behandelt. Die Gleisstütze verhalten sich freilich wesentlich anders als die heile Schiene und bedürfen zu ihrer Berücksichtigung der Beigabe einer nicht geringen Wertziffer.

Der Einfluß der Seitenkräfte wird von den Amerikanern bis zu 50% Spannungssteigerung und mehr geschätzt. Unsere Versuche haben dies entschieden bestätigt.

Der Einfluß des Gleiszustandes kann nach Angaben der Amerikaner bei ungleichen Höhenlagen der Schienen schon bei 8 km/Std. Geschwindigkeit 15% Spannungsmehrung herbeiführen, bei 97 km/Std. 20 bis 35%, unter der ersten führenden Achse sogar 43%. Bei Nebenbahnen mit schlechter Bettung kann der Einfluß noch größer sein. Die Amerikaner schlagen ihn im allgemeinen auf 20 bis 40% an.

Der Einfluß der Spannungsschwingungen wird von den Amerikanern für Güterwagen zu 40%, für Lokomotiv-

laufachsen zu 30% Mehrung gegenüber den Spannungen, die bei 8 km/Std. Geschwindigkeit auftreten, angegeben.

Alles in allem sind das Hundertzahlen, die in ihrer Summierung auf das Ergebnis der eigentlichen Berechnung erdrückend wirken, auch wenn nicht alle gleichzeitig in Höchstbeträgen auftreten. Sie entziehen sich genauer Berechnung, weil sichere Grundlagen nicht zu erreichen sind. Man käme damit zu der Anschauung, die der Verfasser immer schon vertreten hat, daß der Eisenbahnoberbau in streng technisch-wissenschaftlichem Sinne überhaupt nicht berechnet werden kann, und daß das, was am Oberbau einwandfrei berechnet werden kann, mehr nur genügt, um Vergleiche zwischen verschiedenen Oberbauarten anzustellen. Diese Anschauung würde aber gleichwohl nicht hindern, daß die mitteleuropäischen Eisenbahnverwaltungen, um gleiche Grundlagen für ihre Verkehrsbeziehungen zu bekommen, sich in der Annahme eines gemeinsam anzuerkennenden Rechnungsverfahrens einigen.

## Grenzleistung von Eisenbahnstrecken.

Von Dr. techn. Ing. Robert Pfungen.

In der vorliegenden Arbeit soll die Leistungsfähigkeit von Eisenbahnstrecken untersucht werden. Dazu sind jene Bedingungen aufzuzeigen, unter denen sie einen Höchstwert erreicht, ferner soll diese Höchstleistung für Vollbahnen näherungsweise ermittelt werden.

### 1. Allgemeines.

Es soll untersucht werden, wieviele Wagenmeter (als Längeneinheit) in der Stunde (als Zeiteinheit) eine Strecke durchfahren können, wenn die Länge der Züge, der zulässige Bremswiderstand und die Fahrgeschwindigkeit gegeben sind. Dann soll auch abgeleitet werden, wie eine Änderung dieser Größen die Streckenleistung beeinflusst.

Die Angabe der Leistung in Wagenmeter auf die Stunde genügt zugförderungstechnisch für die Beurteilung der Leistungsfähigkeit einer Eisenbahnstrecke, obwohl diese Angabe nicht die volumetrischen Leistungsunterschiede erfaßt, die sich aus der Verschiedenheit des Wagenquerschnittes ergeben. Ist aber durch Festlegung des Querschnitts das Volumen auf den laufenden Meter eines Zuges bestimmt, so kann das Maß „Wagenmeter in der Stunde“ als Maß der Leistungsfähigkeit im zugförderungstechnischen Sinne ohne weiteres angewendet werden.

Ebenso erscheint auch der Einwand gegenstandslos, daß dabei der Längenteil der Lokomotive nicht berücksichtigt ist, da bei langen Zügen dieser Anteil bei überschlägigen Rechnungen nur klein ist und vernachlässigt werden kann, während bei kurzen Zügen die Anwendung von Triebwagen diesen Längenteil gleich Null werden läßt.

### 2. Streckenbedarf.

Betrachtet man die Länge der Strecke, die ein Zug von der Länge L Meter während seiner Fahrt zur Verfügung haben muß, um ungehindert seine Fahrt fortsetzen zu können und auch den vorher fahrenden Zug nicht zu gefährden, so muß in jedem Augenblicke seiner Fahrt vor der Zugspitze mindestens der Bremsweg frei vorhanden sein, weshalb der Zug die Strecke im Ausmaß seiner eigenen Länge, vermehrt um den Bremsweg vor der Zugspitze in jedem Augenblicke seiner Fahrt besetzt (Abb. 1).

Sein Streckenbedarf S ist daher gleich Zuglänge L plus Bremsweg  $s_b$

$$S = L + s_b \dots \dots \dots 1)$$

Der Bremsweg  $s_b$  ergibt sich nach der Näherungsformel

$$s_b = 4 \frac{V^2}{W} \dots \dots \dots 2)$$

die sich aus der Energiegleichung  $\frac{m v^2}{2} = p \cdot s$  ableiten läßt, indem man in der Energiegleichung die Kilogrammmasse m durch die Masse von einer Tonne des Zuges und die Geschwindigkeit v in m/sec durch die Fahrgeschwindigkeit V in km/h entsprechend dem Verhältnis  $V = 3,6 v$  ersetzt.

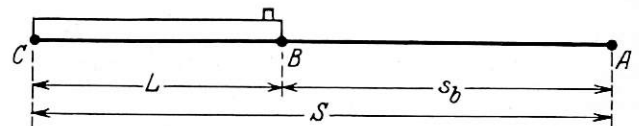


Abb. 1.

Dann wird aus der Kraft p in kg der Bremswiderstand W in kg für 1 Tonne Zugsgewicht, der über dem Bremsweg s in Metern den Zug zum Stillstand bringt. Die Formel nimmt dann die Gestalt an

$$W \cdot s = \frac{1000 \cdot 1}{2g} \left( \frac{V}{3,6} \right)^2$$

$$W \cdot s = 3,93 V^2$$

und nach einer Näherung

$$W \cdot s \doteq 4 V^2,$$

daraus der Bremsweg

$$s_b = \frac{4 V^2}{W}.$$

Im absoluten Maßsystem entspricht dem Bremswiderstand W in kg/t gemäß der Schwerkraft eine Bremsverzögerung nach der Gleichung  $1000 \text{ kg/t} = 9,81 \doteq 10 \text{ m/sec}^2$ .

Der ideale Punkt A, die Streckenbedarfsspitze (Abb. 1), eilt mit der Fahrgeschwindigkeit im Abstände  $s_b$  vor der Zugspitze voraus, bleibt aber — wie schon aus der Definition des Streckenbedarfes hervorgeht — bei Beginn der Bremsung sofort stehen, bis dann bei Stillstand des Zuges die Zugspitze B die Streckenbedarfsspitze A erreicht hat.

Dies ist aus Abb. 2 ersichtlich, auf welcher ein Wegzeit-schaubild der Fahrt und des Bremsvorganges eines Zuges von 800 m Länge dargestellt ist, der sich mit der Geschwindigkeit von 60 km/h fortbewegt und vom Augenblick an, in dem die Zugspitze B das Vorsignal VS erreicht hat, mit einer Bremskraft von  $22 \text{ kg/t} = 0,22 \text{ m/sec}^2$  gebremst wird. Dies ergibt einen Bremsweg von 700 m und eine Bremszeit von 82 Sek. Die Standorte von Vor- und Haltsignal sind 700 m voneinander entfernt; der Streckenbedarf des Zuges reicht in dem Augenblick, in dem er in voller Fahrt das Vorsignal VS erreicht hat, bis zum Hauptsignal HS, was sich aus der Auf-

stellung des Vorsignales ergibt, da die Strecke A—B dem Bremsweg gleich ist. Setzt die Bremsung von der Vorbeifahrt am Vorsignal an ein, so wird entsprechend der Geschwindigkeitsabnahme der zur jeweiligen Geschwindigkeit gehörende Bremsweg immer kleiner (vergl. Abb. 3), bis er für  $V=0$  selbst Null wird, was vor dem Haltsignal eintritt. Daraus ergibt sich der Knick der Kurve und der plötzliche örtliche Stillstand von A.

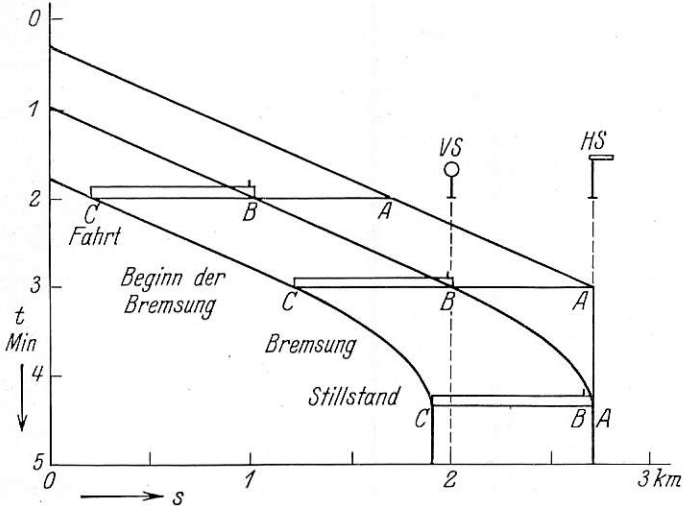


Abb. 2.

Soll der Zug aber seine Fahrt ungehindert fortsetzen können, so muß nicht nur die Strecke A—B frei sein, sondern auch das nächste Haltsignalbild erst hinter A liegen, im Grenzfall mit A stets zusammenfallen und mit der Fahrgeschwindigkeit weiter wandern.

Gl. 2) in Gl. 1) eingesetzt, ergibt für den Streckenbedarf

$$S = L + \frac{4 V^2}{W} \dots \dots \dots 3)$$

Es ist somit der Streckenbedarf S zusammengesetzt aus einem konstanten Glied L und einem Ausdruck, der proportional dem Quadrat der Fahrgeschwindigkeit V und verkehrt proportional dem Bremswiderstand W in kg/t sich ändert (Abb. 3).

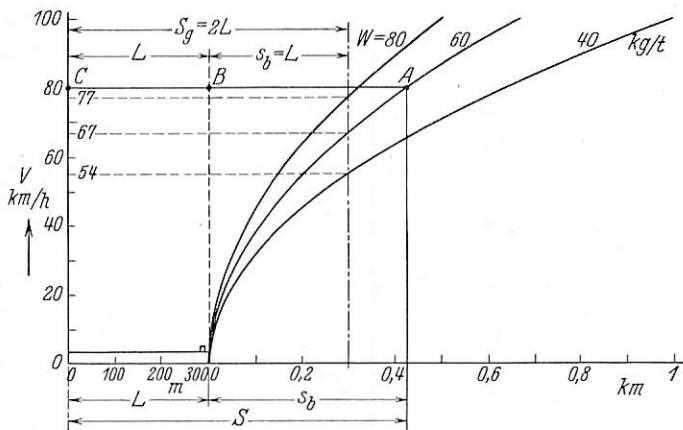


Abb. 3.

In Abb. 3 ist die Abhängigkeit des Streckenbedarfes eines Zuges mit der Länge  $L = 300$  m von der Fahrgeschwindigkeit bei den Bremswiderständen von 40, 60 und 80 kg/t dargestellt. Der Streckenbedarf für 80 km/h bei einem Bremswiderstand von 60 kg/t ist herausgezeichnet.

Allgemein ergibt sich gemäß verschiedenen Bremswiderständen als geometrischer Ort für die Spitze des Streckenbedarfes eine Schar von Parabeln, deren Scheitel mit der

Zugspitze zusammenfällt und entsprechend verschiedenen Zuglängen sich verschiebt.

### 3. Günstigste Geschwindigkeit.

Im Idealfalle können so viele Züge die Strecke in einer Stunde durchfahren, als sie Streckenbedarfslängen in einer Stunde durchfahren können, da jedem Zuge die Länge seines Streckenbedarfes zur Verfügung stehen muß.

Dies gilt unter der Voraussetzung, daß die Signalanlage es ermöglicht, daß sich eine Streckenbedarfslänge lückenlos an die nächste anschließen kann, was nur dann möglich ist, wenn die Signalabstände vernachlässigbar klein sind. Auch sei hier angenommen, daß der Wechsel des Signalbildes und das Umstellen der Signale ohne Zeitverlust vor sich geht, was bei selbsttätigen Signalen nahezu der Fall ist.

Je kürzer daher die Zeit t in Sek. ist, die ein Zug zum Durchfahren des Streckenbedarfes benötigt, der sich aus der Zuglänge und dem Bremswiderstand bei veränderlicher Fahrgeschwindigkeit ergibt, desto mehr Züge (und Streckenbedarfslängen) können die Strecke in der Stunde durchfahren.

Daher gilt

$$z = \frac{3600}{t}; \dots \dots \dots 4)$$

die Zugzahl auf die Stunde z wird dann ein Maximum erreichen, wenn t ein Minimum wird.

Die Durchfahrzeit t des Streckenbedarfes ist nach der Gleichung  $s = v \cdot t$

$$t = \frac{s}{v} = \frac{3,6 S}{V} \dots \dots \dots 5)$$

und für S die Gl. 3) eingesetzt

$$t = \frac{3,6 \left( L + \frac{4 V^2}{W} \right)}{V}$$

$$t = \frac{3,6 L}{V} + \frac{14,4 V}{W} \dots \dots \dots 6)$$

Um das Minimum für t zu erhalten, wird die Gl. 6) nach V differenziert

$$\frac{dt}{dV} = -\frac{3,6 L}{V^2} + \frac{14,4}{W} \text{ und gleich Null gesetzt}$$

$$\frac{3,6 L}{V^2} = \frac{14,4}{W}$$

$$V^2 = \frac{3,6 L \cdot W}{14,4}$$

$$V = \sqrt{\frac{L \cdot W}{4}} = \frac{1}{2} \sqrt{L \cdot W}$$

Der zweite Differentialquotient

$$\frac{d^2 t}{dV^2} = + 2 \frac{3,6 L}{V^3}$$

ist positiv, wodurch das Minimum für diese Stelle nachgewiesen ist.

Die Fahrgeschwindigkeit, bei der die maximale Streckenleistung erzielt wird, soll als günstigste Geschwindigkeit  $V_g$  bezeichnet werden. Es ist

$$V_g = \frac{1}{2} \sqrt{L \cdot W} \dots \dots \dots 7)$$

Der Streckenbedarf bei der günstigsten Geschwindigkeit ist somit

$$S_g = L + \frac{4 V_g^2}{W}$$

$$S_g = L + \frac{4}{W} \left( \frac{1}{2} \sqrt{L \cdot W} \right)^2 = L + \frac{4 L W}{4 W} = L + L$$

$$S_g = 2 L \dots \dots \dots 8)$$

Bei  $V_g$  ist somit  $L = s_b = \frac{4 V^2}{W}$ .

Der Streckenbedarf bei der günstigsten Fahrgeschwindigkeit ist gleich der doppelten Zuglänge, was auch in Abb. 3 eingezeichnet ist. Umgekehrt kann die günstigste Geschwindigkeit  $V_g$  für eine gegebene Zuglänge und einen bestimmten Bremswiderstand direkt aus der Parabelschar abgelesen werden, indem man die jeweilige Zuglänge vor der Zugspitze aufträgt, im gefundenen Punkt eine Normale errichtet und diese mit den Parabeln der Streckenbedarfspitze A zum Schnitt bringt. Diese Schnittpunkte ergeben, auf die V-Achse hinübergelotet, die entsprechende günstigste Geschwindigkeit  $V_g$ .

Das Minimum für t kann man auch aus der geometrischen Deutung der Gl. 6) gewinnen, da diese Gleichung

$$t = \frac{14,4 V}{W} + \frac{3,6 L}{V} = t_1 + t_2$$

die Gleichung einer Summenkurve darstellt (Abb. 4). Allgemein

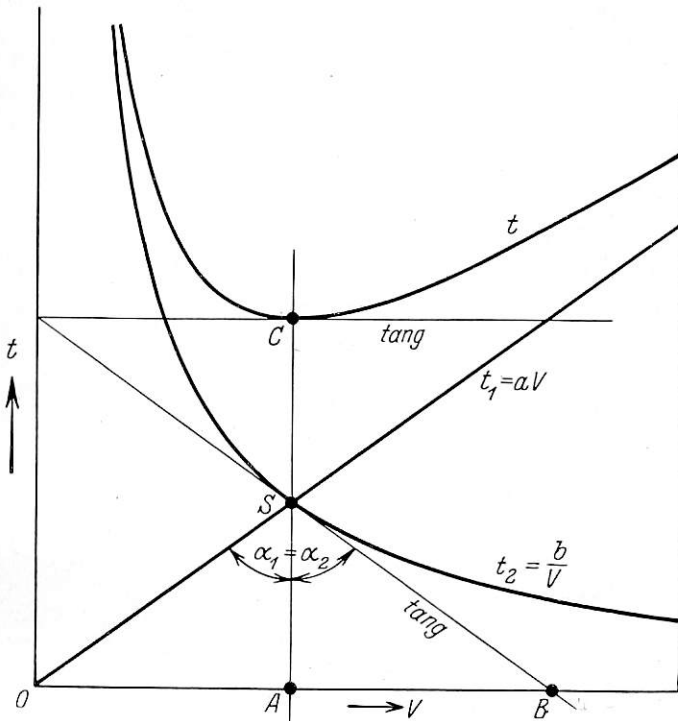


Abb. 4.

lauten die Summanden:  $t_1 = a \cdot V$ ; dies ist die Gleichung einer Geraden, die durch den Ursprung geht, und  $t_2 = \frac{b}{V}$ , die Gleichung einer gleichseitigen Hyperbel. Daher ist

$$t = t_1 + t_2 = aV + \frac{b}{V}$$

Eine Kurve hat dort ein Minimum (oder Maximum), wo sie eine horizontale Tangente hat; ferner gilt der Satz, daß die Tangente an eine Summenkurve gleich der Summenkurve der Tangenten an die beiden Teilkurven ist. Es müssen daher an jeder Stelle, an der die Summenkurve ein Minimum (oder Maximum) hat, die Tangenten an die Teilkurven mit der Ordinate der betreffenden Stelle entgegengesetzt gleiche Winkel einschließen.

Dies trifft im vorliegenden speziellen Fall für die Abszisse des Schnittpunktes S der beiden Teilkurven zu, da bei der gleichseitigen Hyperbel für jeden beliebigen Kurvenpunkt die Länge der Subtangente AB gleich der Abszisse OA dieses Punktes ist. Für die Abszisse OA des Schnittpunktes S gilt die Beziehung:  $AC = 2 AS$  aus der Addition.

Im Schnittpunkte sind die Werte der beiden Teilkurven gleich, d. h. für das Minimum gilt  $aV = \frac{b}{V}$  oder  $\frac{14,4 V}{W} = \frac{3,6 L}{V}$

und daraus

$$V_g = \sqrt{\frac{L \cdot W}{4}} = \frac{1}{2} \sqrt{L \cdot W}$$

Gl. 7) und 8) in Gl. 5) eingesetzt, ergibt

$$\text{tg} = \frac{3,6 S_g}{V_g} = \frac{2 \cdot 3,6 \cdot 2 L}{\sqrt{L \cdot W}}$$

$$\text{tg} = 14,4 \sqrt{\frac{L}{W}} = \frac{7,2 L}{V_g} \dots \dots \dots 9)$$

und dies in Gl. 4) eingesetzt, liefert die größtmögliche Zugzahl in der Stunde  $z_g$ , die als Maximum befördert werden kann.

$$z_g = \frac{3600}{\text{tg}} = \frac{3600}{14,4} \sqrt{\frac{W}{L}} = 250 \sqrt{\frac{W}{L}} \dots \dots \dots 10)$$

$$\text{oder } z_g = \frac{3600}{7,2 L} V_g = 500 \frac{V_g}{L} \dots \dots \dots 11)$$

#### 4. Theoretisch größte Streckenleistung.

Die größte Leistung der Strecke  $N_g$  ausgedrückt durch die Zahl der Wagenmeter, die in der Stunde mit der Geschwindigkeit  $V_g$  befördert werden können, erhält man, indem man die Zugzahl  $z_g$  mit der Zuglänge L multipliziert.

$$N_g = z_g \cdot L = 250 L \sqrt{\frac{W}{L}} = 250 \sqrt{L \cdot W} \dots \dots 12)$$

$$\text{oder } N_g = 500 \frac{V_g}{L} \cdot L = 500 V_g \dots \dots \dots 13)$$

Die Leistungsfähigkeit der Strecke ist nach Gl. 13) um so größer, je höher die günstigste Geschwindigkeit ist, oder nach Gl. 12) je größer die Zuglänge und der Bremswiderstand sind.

Dies soll natürlich kein Argument gegen Kurzzüge und Triebwagen sein, die ja Zuggattungen darstellen, die besonders kleine Transportleistungen noch wirtschaftlich durchführen können.

Auch ist die günstigste Geschwindigkeit  $V_g$  nicht jene Geschwindigkeit, bei der die größte Reisegeschwindigkeit erzielt werden kann, sondern jene Geschwindigkeit, bei welcher die größtmögliche Streckenleistung in Wagenmeter auf die Stunde erreicht werden kann.

Für verschiedene Zuglängen und Bremswiderstände sind die nach Gl. 7) günstigsten Geschwindigkeiten  $V_g$  in nachfolgender Zahlentafel zusammengestellt, woraus sich nach Gl. 13) die maximalen Wagenmeterleistungen leicht rechnen lassen.

Zahlentafel für  $V_g$ .

		W in kg/t						
		20	34	40	60	80	100	150
L in m	50	16	19	22	27	32	35	43
	100	22	27	32	39	45	50	61
	200	32	39	45	55	63	71	87
	300	38	47	54	67	77	87	106
	500	50	61	71	87	100	112	137
	800	63	77	89	109	126	141	173
	1100	74	91	109	128	148	160	203

Aus der Zahlentafel ist ersichtlich, daß stark gebremste Personenzüge und schwächer gebremste Güterzüge durchschnittlicher Länge ungefähr bei einer Geschwindigkeit von 75 km/h ihre günstigste Geschwindigkeit haben.

Ferner ist zu entnehmen, daß kurze Züge beispielsweise  $L = 50$  m überhaupt nicht mehr die Leistung langer Züge erreichen können, da der Faktor L im Wurzel Ausdruck so

klein geworden ist, daß auch eine Steigerung von W auf 100 bis 150 kg/t nicht mehr genügt, um die günstigste Geschwindigkeit  $V_g$ , die nach Gl. 13) ein Maß der Leistungsfähigkeit ist, noch auf den Wert der üblichen Fahrgeschwindigkeiten zu bringen.

### 5. Signalanlage.

Diese theoretisch gefundene Streckenleistung kann praktisch nicht erreicht werden, da sie eine Signalanlage zur Voraussetzung hat, bei welcher der Signalabstand praktisch gleich Null ist. Eine solche Signalanlage würde aber infolge der großen Signaldichte derart hohe Kosten verursachen, daß an ihre Ausführung nicht gedacht werden kann.

Eine mögliche Näherung ist die Anordnung des Signalabstandes gleich dem Bremsweg,  $D = s_b$ , was den Vorteil hat, daß die Vorsignale am Mast des vorherliegenden Haltsignales angebracht werden können. Dies ist besonders bei Lichttages-Signalen leicht möglich und es werden bei dieser Anordnung übergreifende Signalschaltungen vermieden, die sich bei einer näheren Zusammenrückung der Signale ergeben würden.

Da nach Früherem bei  $V_g$  der Bremsweg  $s_b = L$  ist, so gilt  $D = L = s_b$  . . . . . 14)

Es soll ferner der Signalabstand so gewählt werden, daß ein vor einem Haltsignal stehender Zug nicht mehr als einen Blockabschnitt besetzt, so daß zu dem nach Gl. 14) gefundenen Signalabstände noch Längenzuschläge gegeben werden müssen, die sich daraus ergeben, daß 1. das auslösende Signalmittel, der Isoierstoß J, nicht unter, sondern um die Entfernung c hinter dem Haltsignal angebracht werden muß, 2. der Zug dieses auch um die Strecke b überfahren haben muß und 3. daß der Zug auch nicht unter, sondern um die Strecke a vor dem Haltsignal zu stehen kommt (Abb. 5).

Es gilt somit allgemein

$$D > L \text{ und daher auch } D > s_b \text{ . . . . . 15)}$$

und zwar:

$$D = L + a + b + c \text{ . . . . . 16)}$$

Nimmt man  $a = 10$  m,  $b = 30$  m und  $c = 20$  m an, so ist  $D = L + 60$  m . . . . . 17)

### 6. Zugfolge.

Für die Ableitung der Beziehungen für die Zugfolge muß noch der Umstand berücksichtigt werden, daß das Vorsignal schon eine gewisse Zeit, die Sichtzeit, vor der Vorbeifahrt des Zuges auf Freie Fahrt zeigen muß, damit es vom Lokomotivführer noch gut wahrgenommen werden kann. Daraus ergibt sich nach der Gleichung

$$s = v \cdot t = \frac{V \cdot t}{3,6}$$

z. B. für eine Sichtzeit von 7 Sek. ein Sichtabstand von

$$d = \frac{V \cdot 7}{3,6} = 2 V \text{ . . . . . 18)}$$

so daß man den Sichtabstand leicht durch Verdopplung der Fahrgeschwindigkeit in km/h erhält. Es muß also der Wechsel des Signalbildes von Vorsicht auf Freie Fahrt in einem Zeitpunkt erfolgen, in welchem der Folgezug noch 2 V Meter = d vom Vorsignal entfernt ist. Ein Heruntergehen unter diesen Wert dürfte für Hauptbahnen nicht ratsam sein. Der Sichtabstand wird bei der früher hervorgehobenen Geschwindigkeit von 75 km/h

$$d = 2 V = 2 \cdot 75 = 150 \text{ m . . . . . 19)}$$

Für die Zugfolge ergibt sich der Mindestabstand zweier hintereinander fahrender Züge, wenn man den ungünstigsten Fall, d. h. den Augenblick herausgreift, in dem die Züge notwendig den größten Abstand voneinander haben müssen. Dies ist dann der Fall, wenn der vorher fahrende Zug gerade mit seiner letzten Achse den rückliegenden Blockabschnitt verläßt,

d. h. mit seiner letzten Achse den Isolierstoß J überfährt. Dies ist auch jener Zeitpunkt, in dem für den nächsten Zug der Signalbildwechsel eintritt, wonach entsprechend den Pfeilen in Abb. 6 das von links erste Signal Freie Fahrt und das zweite, welches den ersten Zug decken muß, Halt zeigt.

Der Zugabstand  $A'$ , das ist der Abstand zwischen zwei hintereinander fahrenden Zügen, ist nach Abb. 6

$$A' = d + 2 D + c \text{ . . . . . 20)}$$

und der Spitzenabstand A, das ist die Entfernung von Zugspitze zu Zugspitze

$$A = d + 2 D + c + L \text{ . . . . . 21)}$$

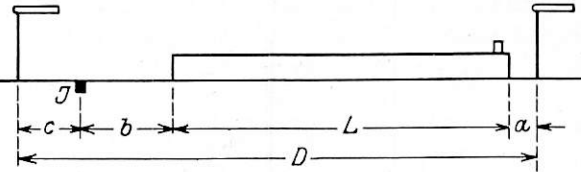


Abb. 5.

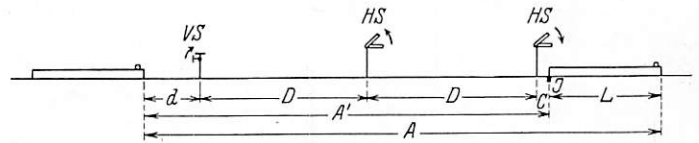


Abb. 6.

Unter Anwendung von Gl. 17) und 19) wird

$$A = 150 + 2 L + 120 + 20 + L$$

$$A = 3 L + 290 \text{ . . . . . 22)}$$

Da sich die Zuglänge L ungefähr in der Größenordnung dieser Konstanten bewegt, kann für überschlägige Rechnungen gelten:

$$A = 4 L \text{ . . . . . 23)}$$

### 7. Praktisch größte Streckenleistung.

Da nach Früherem für die theoretisch größtmögliche Zugfolge der Spitzenabstand gleich dem Streckenbedarf  $S_g = 2 L$  war, praktisch aber ein Zug die Strecke in einer Länge von  $4 L$  besetzt, so kann mit einer praktisch ausführbaren Signalanlage nur rund die Hälfte der theoretisch größten Leistung erreicht werden. Es ergibt sich nach Gl. 12) und 13) als obere Leistungsgrenze für Vollbahnen mit Zügen normaler Länge und Geschwindigkeit unter genügender Annäherung

$$N_P = 0,5 N_g = 125 \sqrt{L \cdot W} \text{ . . . . . 24)}$$

$$N_P = 250 V_g \text{ . . . . . 25)}$$

und beispielsweise bei einer günstigsten Geschwindigkeit von 75 km/h  $N_P = 250 \times 75 = 18750$  Wagenmeter in der Stunde, das sind

62,5	Züge von 300 m Länge bei $W = 80$ kg/t, 57,5 sec/Zug,
37,5	„ „ 500 „ „ „ $W = 40$ „ „ , 1,6 min/Zug,
23,5	„ „ 800 „ „ „ $W = 30$ „ „ , 2,55 „ / „
17,0	„ „ 1100 „ „ „ $W = 20$ „ „ , 3,53 „ / „

entsprechend der früher angegebenen Zahlentafel.

Selbstredend erfordert eine derart dichte Zugfolge besonders dafür ausgebaute Bahnhofsanlagen, deren Fassungsvermögen ausreicht, um die anrollenden Züge aufnehmen und abfertigen zu können.

Die im Vorstehenden gemachten Leistungsangaben beziehen sich auf einen Betrieb mit Zügen, deren Länge, Bremswiderstand und Geschwindigkeit untereinander gleich sind; für jeden speziellen Fall müssen die Werte nach den vorstehenden Gleichungen ermittelt und die Signalabstände eingehalten werden oder es ist die Signalanlage nach der größten Zuglänge zu bemessen.

Für Stadtschnellbahnen hoher Leistung sollen diese Untersuchungen und Vergleiche mit derzeit ausgeführten Bahnanlagen, sowie die Ausmittlung der Stationsgröße die Grundlage einer weiteren Abhandlung bilden.

## Die Warnsignalanlage der Österreichischen Bundesbahnen beim schienengleichen Wegübergang in km 65,220 Bludenz—Lindau.

Von Zentralinspektor Ing. Hans Rumpf.

Als im Jahre 1923 die Verordnung des Österreichischen Bundesministeriums für Handel und Verkehr bezüglich der Zulässigkeit von Schrankenauflassungen bei Vorhandensein genügender Sicht vom Weg auf die Bahn erschien, stellte Punkt 6 dieser Verordnung ausdrücklich fest, daß die Schranken auch bei ungünstiger Sicht dann aufgelassen werden können, wenn die Übersetzungsstelle durch eine Signaleinrichtung gesichert wird, die nach jeder vom Übergang ausgehenden Wegrichtung selbsttätig auf die Dauer der Gefahrzeit auch bei Tag deutlich wahrnehmbare rote Lichtzeichen sendet.

Damit war die Aufgabe der Schaffung von Warnsignalanlagen (Wegesicherungen) gestellt und es wurden auch die erforderlichen Versuche zur Lösung dieser Aufgabe sofort in Angriff genommen. Hierbei war zweierlei zu erwägen:

Soll das Warnlicht lediglich die nicht vorhandene und bei der Zugsannäherung daher nicht geschlossene Abschrankung ersetzen oder aber soll dem Benutzer des Wegüberganges die Möglichkeit des ungefährdeten Passierens und bei Zugsannäherung der Gefahrzustand mitgeteilt werden? Die erste Erwägung zeitigte den ersten Versuch mit sogenannten Arbeitsstromanlagen, bei denen der Zug das Gefahr-signal bei Annäherung ein- und beim Erreichen des Wegüberganges wieder ausschaltete. Solche Anlagen waren zwar billiger, zeigten aber verschiedene Nachteile. Die Einschaltvorrichtungen (Kontakte, Isolierschienen) waren Fehlerquellen und es fehlte eine ständige Überprüfung des unversehrten Zustandes der Anlage. blieb daher bei einem Versagen der Anlage das Gefahr-signal aus, so zeigte der Wegübergang bei Zugsannäherung einen Zustand, der fälschlich ein gefahrloses Überqueren des Wegüberganges erwarten ließ. Diese erkannten Nachteile führten dazu, daß auch die Österreichischen Bundesbahnen grundsätzlich zu ständig überprüften Ruhestromanlagen übergingen, die den Zustand der Möglichkeit eines gefahrlosen Überschreitens des Wegüberganges durch ein Zugs-pausensignal anzeigten und die jedwede Störung oder eine Zugsannäherung durch das Gefahr-signal (rotes Blinklicht) mitteilten. Die erste dieser Anlagen wurde im Jahr 1930 nächst dem Bahnhof Hainfeld der Linie St. Pölten—Leobersdorf nach der in Schweden weit verbreiteten Bauart der Firma AGA errichtet. Diese Anlage arbeitet bis heute ohne irgendeine ernste Störung, hat aber den allerdings nicht allzu schwer ins Gewicht fallenden Nachteil, daß das Gefahr-signal bei kurzen Zügen (Lokfahrten, Triebwagen usw.), so lange nachblinkt, bis auch die Schaltstrecke der Gegenrichtung verlassen ist.

Es wurde daher bei einer der nächsten Warnsignalanlagen — und zwar einer solchen der Bauart Siemens & Halske — nächst dem Bahnhof Perchtoldsdorf der Strecke Liesing—Kaltenleutgeben auf Beseitigung dieses Übelstandes, sowie auf strengere Schaltungseinzelheiten und auch darauf gesehen, daß die Abschaltung des Gefahrlichtes erst dann erfolgt, wenn die letzte Achse des Zuges den Wegübergang verlassen hat. Abb. 1 zeigt die Schaltung dieser Warnsignalanlage und Abb. 2 die Schaltung ihres Lichtstromkreises. Wir bringen diese Schaltungen deshalb hier zur Darstellung, weil sie den Ausgangspunkt für die nachstehend zu beschreibende Warnsignalanlage beim Wegübergang in km 65,220 der Linie Bludenz—Lindau bilden. Dieser Wegübergang nächst der Haltestelle Nüziders bei Bludenz besitzt die erste Wegsicherungsanlage, die in einer elektrisch betriebenen Strecke (15000 Volt Einphasen-Wechselstrom-Fahrdrahtspannung und  $16\frac{2}{3}$  Hertz Nennfrequenz) mit

Schienenrückleitung des Fahrstroms errichtet wurde. Gelegentlich einer Besichtigung der schwedischen Wegsicherungs-einrichtungen wurde festgestellt, daß zwar selbsttätige Warn-signalanlagen der Bauart AGA auch in Strecken mit elek-trischer Zugförderung verwendet werden, daß aber in diesen Strecken eine eigene Fahrstromrückleitung mit Saugtrans-formatoren besteht. Im nördlichen Schweden aber, wo für die Rückleitung des Fahrstroms die Schienen verwendet werden, wird die Schaltung der Warnsignalanlagen nicht mehr durch Gleichstrom in isolierten Schienenstrecken be-wirkt, sondern es wird der Schaltstrom durch Vermittlung isolierter Schieneneinzelfelder mit Kabeln zu den Schalt-relais geleitet. Solche Anlagen sind naturgemäß kostspielig und beeinträchtigen dadurch den wirtschaftlichen Erfolg der

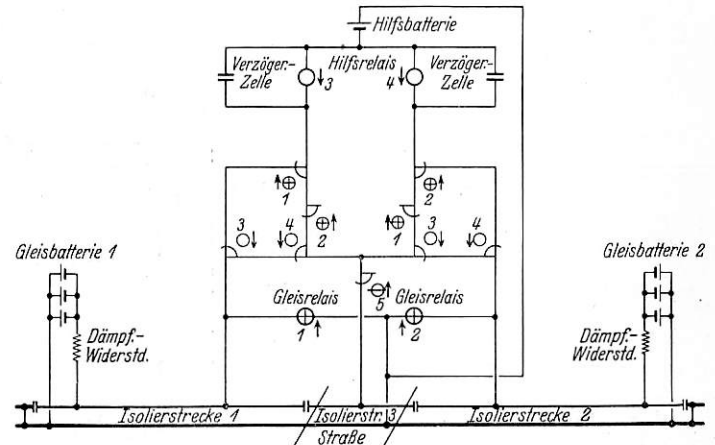


Abb. 1. Schaltplan der Steuerstromkreise der Warnsignalanlage nächst Perchtoldsdorf.

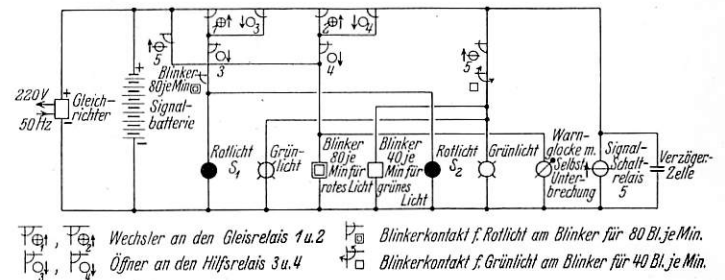


Abb. 2. Schaltplan des Lichtstromkreises.

Schrankenauflassung und deren Ersatz durch eine Wege-sicherungsanlage. Es war daher erklärlich und naheliegend, die Frage aufzuwerfen, ob nicht auch im Fall der Benutzung der Schienen als Fahrstromrückleiter diese Schienen trotzdem und gleichzeitig auch als Leiter für den Schaltstrom einer Warnsignalanlage Verwendung finden könnten. Für alle jene Fälle, wo es sich um Gleichstrombahnen handelt, ist ja be-kanntlich dieses Problem schon einwandfrei gelöst, indem für die Betätigung der Warn- (oder Streckenblock-) Anlage Wechselstrom verwendet wird, der an den Isolerstellen durch Drosselstöße abgeriegelt wird, während dem Rückleitungs-gleichstrom der Weg ungehindert offen steht. Die Öster-reichischen Bundesbahnen versuchten nunmehr diese Aufgabe für Strecken mit Einphasen-Wechselstrom-Fahrleitungen der früher erwähnten Spannung und Frequenz in grundsätzlich ähnlicher Weise zu lösen. Naturgemäß kam in diesem Fall als Betätigungsstrom für die Warnsignalanlage nur Gleich-strom in Betracht. Mit Rücksicht auf die doppelte Verwendung

der Schienen als Fahrstromrückleiter und als Leiter des Schaltstroms der Warnsignalanlage und im Hinblick auf die Notwendigkeit, die isolierte Strecke für den Gleichstrom wirklich abzuschließen, dem Fahrleitungsrückstrom aber den ungehinderten Durchgang zu ermöglichen, ergab sich die Bedingung einer einseitigen Isolation der Schaltstrecke für die Warnsignalanlage. Das hatte zur weiteren Folge, daß längs dieser isolierten Strecke der Fahrleitungsrückstrom nur den anderen, nicht isolierten Schienenstrang benutzen durfte. Dieser wurde, ebenso wie der isolierte Strang, zwecks Herabsetzung des Leitungswiderstands an allen Gleisstößen durch

130, bzw. 95 Volt. Es würde zu weit führen und kann nicht Aufgabe dieses Aufsatzes sein, diese theoretischen Überlegungen eingehender zu behandeln. Die Österreichischen Bundesbahnen haben es aber als Pflicht empfunden, diese theoretischen Ergebnisse vor allem praktisch zu überprüfen und zu diesem Zweck nach gründlicher Vorbereitung Versuche an einer 780 m langen isolierten Strecke, die später zur Betätigung der in Rede stehenden Warnsignalanlage verwendet wurde, durchzuführen. In dieser Strecke wurden sowohl im isolierten, als auch im Rückleitungsschienenstrang alle Stöße mit Längsverbindern gut leitend überbrückt. — Anordnung und

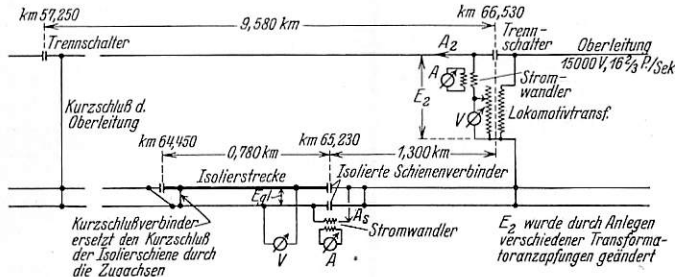


Abb. 3. Vorbereitende Messungen mit Zuhilfenahme eines Lokomotivtransformators.

	Ergebnisse:				Ergebnisse*):	
	E <sub>2</sub> Volt	A <sub>2</sub> Amp.	A <sub>s</sub> Amp.	Egl Volt	A <sub>s</sub> Amp.	Egl Volt
1	220	246	177	26	60	8
2	265	304	219	34	126	17
3	290	349	247	40,6	144	19,6
4	335	408	288	48,6	168	24,2
5	—	—	—	—	186	27,8

\*) Die Messung wurde an der Isolierstrecke im Betrieb wiederholt.

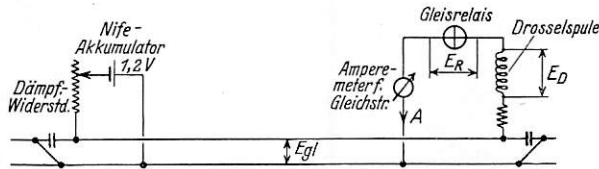


Abb. 4. Vorbereitende Messungen im Betrieb.

Ergebnisse:

- ER = 0,32 V Gleichspannung
- ED = 0,08 V „
- Egl = 0,62 V „
- A = 0,132 A Gleichstrom

Die am Gleis auftretende Wechselfspannung legt sich fast ganz an die Drosselspule. Bei einer Zugfahrt von Ludesch nach Bludenz zeigte sich kurzzeitig eine Wechselfspannung von max. 7 Volt, bei einer Zugfahrt in der anderen Richtung max. 5,2 Volt.

kupferne Längsverbinder überbrückt. Bei dieser Sachlage war damit zu rechnen, daß innerhalb der isolierten Strecke verschiedene Spannungen in den beiden Schienensträngen besonders dann auftreten würden, wenn die erste Achse des Zuges in die Isolierstrecke einfuhr und damit den isolierten Strang zum Mitrückleiter des Fahrstroms machte. Es wurde daher vor allem im Zentrallaboratorium der Siemens & Halske A.G. in Berlin durch Herrn Obering. Zastrow eine theoretische Untersuchung dieser Frage durchgeführt, die rechnermäßig zum Zeitpunkt der Einfahrt des Zuges in die Isolierstrecke am Ende derselben eine Spannungsdifferenz von 26 Volt bei Annahme eines Fahrstroms von 200 Ampere ergab. Für den Fall, daß eine Überbrückungsleitung neben dem isolierten Schienenstrang verlegt wird, würde sich diese Differenzspannung auf 19 Volt herabmindern. Im Kurzschlußfall (Annahme 1000 Ampere) errechnete sich eine Differenzspannung von

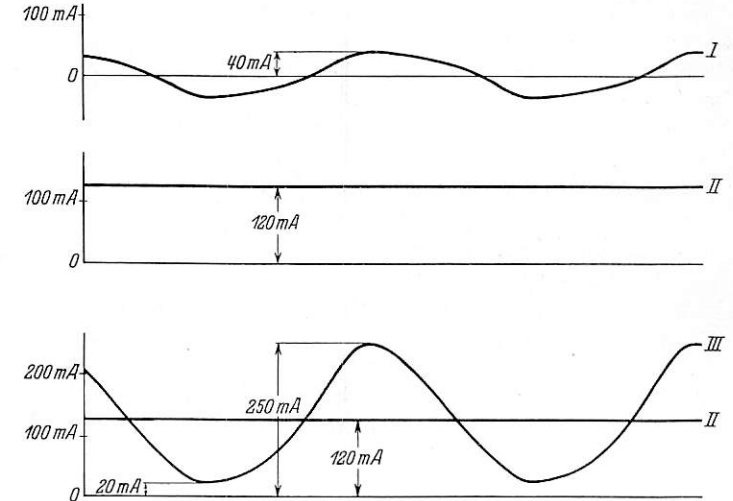


Abb. 5. Oszillogramm der Wirkung der Schutzdrossel.

Ergebnisse der Messungen sind in Abb. 3 und 4 niedergelegt. Die Versuchsergebnisse zeigen im allgemeinen eine volle Bestätigung der Ergebnisse der theoretischen Voruntersuchung. Wir wollen im nachstehenden die Differenzspannung zwischen den beiden Schienen als „Schrittspannung“ bezeichnen, obwohl dieser Ausdruck bei dem Verhältnisse der Spurweite zur normalen Schrittweite nicht ganz zutreffend ist. Für Vieh aber kommt diese Differenzspannung tatsächlich als Schrittspannung in Betracht, weil im Falle des gleichzeitigen Berührens beider Schienenstränge ein Strom mit einer Spannung der beschriebenen Größe durch den Körper gehen könnte. Ebenso aber mußte in Betracht gezogen werden, daß auch ein Strom der gleichen Spannung durch die die beiden Schienen verbindenden Schaltrelais durchgehen würde. Über die wirkliche Größe der Differenzspannung wird später noch gesprochen werden. Jedenfalls aber erstreckte sich in der Folge die nächste Aufgabe darauf, einen Durchgang des Einphasen-Wechselstroms der in Betracht kommenden Spannung durch die Schaltrelais nach Tunlichkeit zu verhindern. Zu diesem Zweck wurde im Wiener Werk der Siemens & Halske A.G., das auch die früher erwähnten Versuche im Einvernehmen mit den Österreichischen Bundesbahnen durchführte, eine Drossel konstruiert, welche die erwähnte Aufgabe zu erfüllen hatte und — wie sich in der Folge zeigte — auch wirklich erfüllte, indem sich das Relais beim Vorschalten der Drosselspule gegen die wirklich auftretende Wechselstromspannung praktisch unempfindlich zeigte. Über die Wirkungsweise dieser Drosselspule geben die in Abb. 5 dargestellten Oszillogramme Aufklärung. Die im Werk durchgeführten Versuche mit der Drosselspule und dem zur Verwendung kommenden Gleichstromschaltrelais ergaben, daß das Relais im angezogenen Zustande (angezogen durch Gleichstrom mit einer Spannung von 0,6 bis 0,9 Volt) bei Anlegung der praktisch zu erwartenden Spannung von 30 Volt, überhaupt nicht reagierte und erst bei wesentlicher Erhöhung dieser Spannung zu zittern begann, ohne daß jedoch

hierbei die Relaiskontakte geöffnet wurden. Der Versuch wurde bis zu einer Maximalspannung von 90 Volt mit demselben Erfolg durchgeführt. Die Kurve 1 der Abb. 5 zeigt den Verlauf des die Drosselspule durchfließenden Stroms, wenn an die Drosselspule eine Wechselspannung von 30 Volt eff.,  $16\frac{2}{3}$  Hertz angelegt wird.

Liegt an der Drosselspule eine Gleichspannung von 0,1 Volt, dann ergibt sich ein Strom von 120 mA, der in Kurve 2 dargestellt erscheint.

Ein dritter Versuch, bei dem an die Drosselspule gleichzeitig eine Gleichspannung von 0,1 Volt und eine Wechselspannung von 30 Volt eff.,  $16\frac{2}{3}$  Hertz, gelegt wurde, ergab die Kurve 3. Sie zeigt den Verlauf des Gesamtstroms in seinen Augenblickswerten und gibt ein Bild darüber, wie sich infolge der Gleichstromvormagnetisierung der Wechselstromanteil verändert. Der Haltestrom des Gleisrelais liegt ungefähr bei 40 mA; das Oszillogramm zeigt als Tiefstwert 20 mA. Trotzdem tritt infolge der Abfallverzögerung des

Zusammenstellung.

Meßergebnisse der Schrittspannung im Probebetrieb der Warnsignalanlage.

Differenzspannungen in der isolierten Strecke der Warnsignalanlage Nüziders.

Tag	Zeit	Zug	Gemessene Schrittspannungen in Volt		
			km 65,567	km 65,220	km 64,450
2. VI.	8,20	316	8,0	3,5	—
„	8,32	343	3,0	2,5	—
„	10,03	348	4,7	6,0	—
„	10,16	D-39	12,5	5,5	—
„	10,25	311	2,8	4,0	—
„	10,32	D-122	10,8	13,0	—
„	10,41	8373	5,0	3,4	—
„	11,28	346	3,2	3,6	—
„	11,53	380	4,0	4,0	—
„	12,07	8282	4,4	4,8	—
„	12,18	346/II	6,2	5,4	—
„	12,35	379	2,0	2,5	—
„	12,47	345	3,0	2,5	—
„	13,50	314	6,2	4,6	—
„	14,35	313	12,0	8,0	—
„	16,40	342	2,4	2,0	3,4
„	16,50	347	4,6	—	3,2
„	17,05	385 h	1,8	2,0	2,5
„	18,07	312	4,8	2,6	5,5
5. VI.	10,15	311	2,5	6,5	7,0
„	10,35	D-122	6,4	6,5	5,2
„	11,05	348	10,5	8,4	5,0
„	11,22	346	3,0	2,0	1,5
6. VI.	10,25	311	2,4	6,0	8,0
„	10,35	D-122	15,0	9,0	12,0
„	10,45	D-59	4,4	4,0	4,0
„	11,30	346	2,0	2,4	2,4
„	15,03	313	5,0	4,4	6,0
„	16,30	444	2,4	3,0	2,5
7. VI.	14,35	313	1,5	1,5	7,0
„	14,45	444	5,2	2,6	3,0
„	15,45	494	4,4	3,0	4,0
„	16,36	342	8,2	6,0	6,5
„	16,50	347	3,1	3,0	3,5
„	17,00	465	3,0	2,5	2,5
8. VI.	6,47	450	4,0	2,5	3,5
„	7,06	331	3,5	3,8	3,4
„	7,30	L-130	7,0	4,4	7,5

In der Zwischenzeit schwankt die Spannung von 0 bis 3 Volt.

Gleisrelais ein Vibrieren oder Öffnen der Kontakte in diesem Fall nicht ein.

Auf Grund der Ergebnisse aller dieser Vorarbeiten und Vorversuche wurden nunmehr nochmals, ausgerüstet mit Drosselspule und Gleichstromrelais, neuerliche Versuche an Ort und Stelle im praktischen Betrieb durchgeführt und hierbei abermals die auftretenden Schrittspannungen gemessen. Die Versuchsergebnisse sind in Abb. 3 und 4 niedergelegt.

Nunmehr wurde die Warnsignalanlage fertiggestellt und Anfangs März 1933 in Probebetrieb genommen. Während

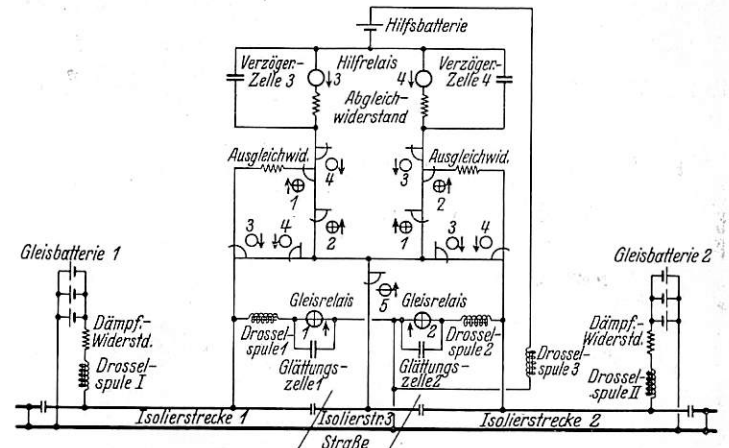


Abb. 6. Schaltplan der Steuerstromkreise der Warnsignalanlage nächst Nüziders.

dieser Probebetriebszeit erfolgten neuerlich Messungen der praktisch auftretenden Schrittspannungen. Das Ergebnis dieser an drei verschiedenen Stellen durchgeführten Messungen ist der Zusammenstellung zu entnehmen und zeigt, daß die Durchschnittsspannung rund 4,8 Volt und die nur äußerst

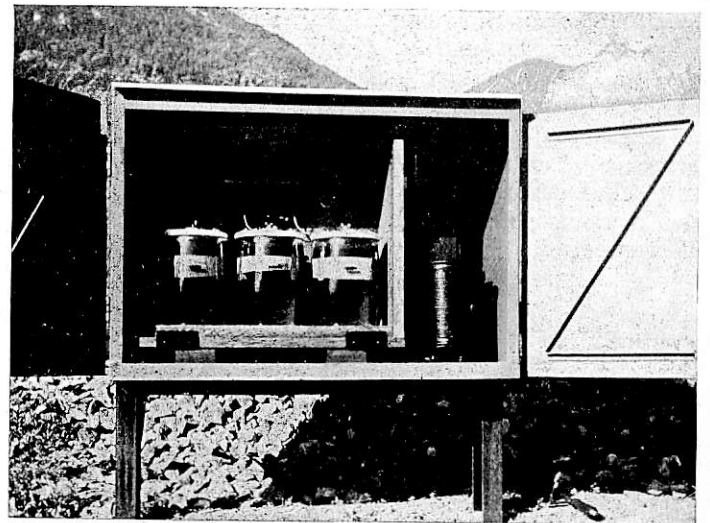


Abb. 7.

selten und nur beim Zusammentreffen ungünstiger Verhältnisse auftretende Maximalspannung 12 bis 15 Volt (letztere ist bei annähernd 100 Meßfällen nur einmal aufgetreten) betrug, somit in allen Fällen weit unter der von der Eisenbahnaufsichtsbehörde verlangten Maximalgrenze von 40 Volt gelegen war.

Die Schaltung der Anlage ist in Abb. 6 dargestellt. Man ersieht daraus die Entwicklung der Schaltung aus der in Abb. 1 dargestellten Anlage. Die Schaltung des Lichtstromkreises blieb gegenüber jener in nicht elektrisierten Strecken vollständig ungeändert (s. Abb. 2). Im folgenden seien noch Einzelheiten der Anlage besonders angeführt, obwohl in dieser

Hinsicht keine Änderung gegenüber jenen Anlagen eintritt, die sich in nicht elektrisierten Strecken befinden. Die Streckenbatterien bestehen aus je drei parallel geschalteten Carbonelementen von ungefähr je 500 Amp. Std. Kapazität und sind unmittelbar beim Beginn der isolierten Strecke in einem Kasten (s. Abb. 7) untergebracht, in welchem sich auch die Drosselspule befindet. Wie schon früher erwähnt, sind beide Schienenstränge längs der isolierten Schienenstrecke an allen

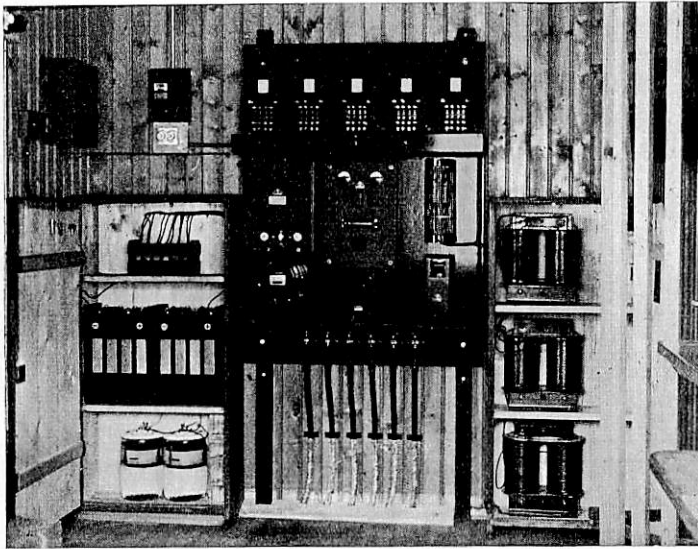


Abb. 8.

Stößen gut leitend überbrückt, also auch jener Schienenstrang, welcher der durchgehenden Fahrstromrückleitung dient. Die vorhandenen fünf Schaltrelais sind im Gebäude der Haltestelle Nüziders auf einer Schalttafel untergebracht. Von diesen fünf Relais dienen vier als Streckenrelais hauptsächlich für Zwecke der Ein- und Ausschaltung, während dem fünften Relais die Aufgabe zufällt, als Signalschaltrelais zu dienen. Der für die Betätigung der Lampen erforderliche Strom wird dem Lichtnetz entnommen und die Netzspannung von 220 Volt Wechselstrom auf eine Spannung von 10,5 Volt gleichgerichtet. Für den Fall des Ausbleibens des Netzstroms steht eine durch einen Trockengleichrichter in Pufferschaltung geladene Akkumulatorenbatterie der Type Nife P<sub>e</sub> 8 H mit einer Klemmen-

spannung von 10,5 Volt und einer Kapazität von 80 Amp. Std. zur Verfügung. Die Blinkzahl des Zugspausensignals (grünes Licht) beträgt in der üblichen Weise 40 je Minute, während jene des Gefahrensignals (rotes Licht) mit 80 je Minute festgesetzt erscheint. Hinsichtlich der Optik der verwendeten Laternen wäre zu bemerken, daß diese Autonomallampen und Spiegelreflektor besitzen und durch einfache grüne und weiße Gläser abgeschlossen sind, wobei das weiße Glas mit einer roten Cellonscheibe zur Erzeugung des Rotlichtes überdeckt ist. Das Blinken des Grünlichtes wird durch einen Relaisblinker, das des roten Lichtes durch einen Quecksilberthermoblinker erzeugt. Abb. 8 zeigt die Anordnung des Schaltbrettes und der Drosseln für die Mittelrelais, Abb. 9

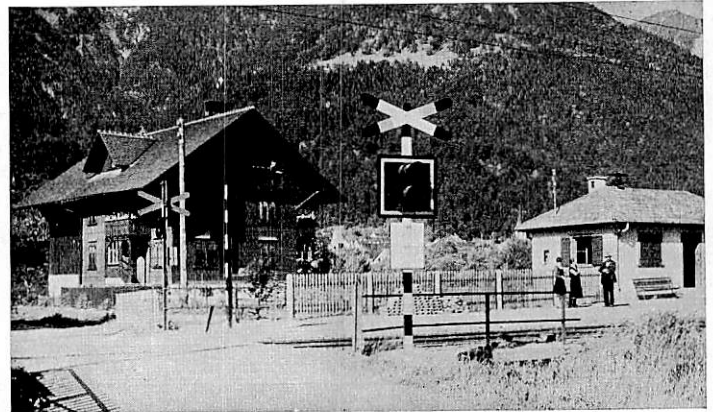


Abb. 9.

eine Übersichtsansicht der Warnsignalanlage, vollständig gleichartig mit jenen Anlagen ausgebildet, die in nicht elektrisierten Strecken verwendet werden.

Die Anlage befand sich zur Zeit der Abfassung dieses Aufsatzes dreieinhalb Monate in Probebetrieb, ohne daß sich ein nennenswerter Anstand ergeben hat. Wenn dies — wie zu erwarten steht — auch weiterhin der Fall ist, so wäre damit für Warnsignalanlagen in Strecken mit elektrischer Zugförderung eine Lösung geschaffen, die an Wirtschaftlichkeit jede andere bisher bekannte Lösung übertrifft. Auf Grund des anstandslosen Probebetriebs wurde die Anlage im Juli l. J., in den endgültigen Betrieb übernommen.

## Drehwinkel am Halbkreisshuppen.

Von Dr. Ing. Bloss, Dresden.

Hierzu 5 Abbildungen auf Tafel 25.

In Heft 18, 1931 des Org. Fortsch. Eisenbahnwes. hat Georg Rosenkranz (Kassel) mehrere bemerkenswerte Bauweisen angegeben, die bei beengten Platzverhältnissen eine Verlängerung von Drehscheiben an Lokomotivschuppen ermöglichen. Ergänzend soll im folgenden noch auf die von Rosenkranz nur gestreiften Vorteile des einarmigen Drehwinkels (auch Sektorscheibe oder Drehweiche genannt) hingewiesen werden.

Voraussetzung für die Verwendung solcher Scheiben ist, wie schon Rosenkranz für einen Sonderfall hervorhebt, daß der Drehwinkel beiderseitig an das Durchlaufgleis angeschlossen wird. Es entsteht dann nach Abb. 1 eine Art Wendedreieck, in dessen Scheitel der Drehwinkel liegt. Schließt man an den Drehwinkel die Strahlengleise des Rundschuppens an, so können mit dem Drehwinkel die Lokomotiven stets in die richtige Lage gebracht werden: Lokomotiven, die mit dem Tender vorn ankommen, fahren durch die Weiche 1 auf den Drehwinkel, Lokomotiven mit Schornstein voran durch Weiche 2.

Die Anordnung mit dem geringsten Raumbedarf ist für gerade Strahlengleise in Abb. 2 dargestellt. Es ist angenommen, daß eine besondere Entschlackungsanlage vorhanden ist, so daß man am Schuppen keine Schlackengrube braucht. Die Auffahrt auf den einarmigen Drehwinkel geht über das äußere Ende. Das andere Ende des Tragwerks ist durch hohe Radvorleger oder durch eine Pufferwehr gegen Überfahren gesichert. Dadurch ist zugleich der Schuttkreis festgelegt und deutlich bezeichnet. Mit der Reichsbahnweiche 1:6,6 kann man für 23 m Scheibenlänge bei geradliniger, übersichtlicher Gleisanordnung das Durchlaufgleis schon in rund 9,0 m Entfernung vom Drehpunkt anordnen, so daß man im Vergleich selbst zu einer kleineren Drehscheibe mindestens den Raum für ein Gleis gewinnt.

Abb. 3 zeigt dieselbe Anordnung für den Fall, daß am Schuppen ausgeschlackt wird. Es wird in jedem der beiden Zufahrtgleise eine Schlackengrube erforderlich. Bei rund 14 m Abstand des Durchlaufgleises vom Drehpunkte kann man bereits ein Schlackenladegleis S anordnen, das in zufrieden-



stellende Lage zu den Reinigungsgruben kommt. Auch der Anschluß eines zweiten Schuppens gestaltet sich einfach und übersichtlich.

Sind die Platzverhältnisse weniger beschränkt, so kann man den Drehwinkel auch zweiarmig ausführen (Abb. 4). Die Auffahrt geht am zweckmäßigsten über den längeren Arm des Drehwinkels. Auch auf diese Lösung hat Rosenkranz bereits hingewiesen.

Der zweiarmige Drehwinkel ist auch für Schuppen mit gekrümmten Strahlengleisen verwendbar. In diesem Falle ist aber nur die Auffahrt über den kurzen Arm brauchbar, weil sich andernfalls verwickelte Anschlußverhältnisse in den Zufahrgleisen ergeben würden. Der Tragkörper des Drehwinkels muß zwei gekrümmte Gleisstränge aufnehmen, die

auf der Scheibe einen spiegelgleichen (symmetrischen) Weichen-  
eingang bilden; die Herzstücke dazu liegen bei den üblichen Anordnungen in den Strahlengleisen. Es ist jedoch auch denkbar, die Zungenvorrichtung der Weiche in das Zufahrgleis vor den Drehwinkel zu legen. In Abb. 5 ist ein solcher zweiarmiger Drehwinkel dargestellt und zwar für 26 m Länge bei 16,5 m Abstand vom Drehpunkt bis zum nächsten Gleise. Bei der durchgängigen Krümmung der Gleise werden an der Übergangsstelle von dem Drehwinkel auf die Strahlengleise erhebliche Seitendrucke entstehen. Es wird sich daher empfehlen, für das Befahren nicht nur das Tragwerk des Drehwinkels gegen das Mauerwerk der Grube festzulegen, sondern auch die Schienenlücken durch Schublaschen zu decken.

## Rundschau.

### Selbsttätige Warnlichtanlagen an schienengleichen Wegübergängen.

Nachdem nunmehr in Deutschland die Warnlichtanlagen über die ersten Versuche hinausgekommen sind, hat im vergangenen Jahr die Hauptverwaltung der Deutschen Reichsbahn-Gesellschaft die Einrichtung von etwa 100 derartigen Anlagen beschlossen, die größtenteils bis Mitte dieses Jahres fertiggestellt worden sind. Von genannter Zahl wurden die meisten an unbeschränkten, nur einige dagegen an bisher beschränkten Überwegen eingerichtet. Für die Ausführung und den Betrieb dieser Anlagen sind Grundsätze und Richtlinien aufgestellt, deren Hauptgesichtspunkte im folgenden dargelegt seien.

Die Warnlichter leuchten — im Gegensatz zu einigen ausländischen Einrichtungen — nicht nur bei Annäherung eines Zuges auf, sie geben vielmehr in den Zuspähen das sogenannte Betriebszeichen, ein weißes Blinklicht von etwa 45 Perioden/Min. Das Warnzeichen dagegen, das im allgemeinen etwa 30 Sek. vor Befahren des Wegübergangs durch einen Zug erscheint, ist ein rotes Blinklicht von etwa 90 Perioden/Min.

Die Schaltungen für die Anlagen sind derart durchgeführt, daß bei Störungen irgendwelcher Art — Ausbleiben des Stroms, Drahtbruch, Schienenbruch usw. — keinesfalls zur Unzeit das Betriebszeichen erscheint. Durch Verwendung von Primärelementen, einer Pufferbatterie und Doppelfadenlampen ist ferner weitgehend Vorsorge gegen Erlöschen der Lampen getroffen. Um jedoch darüber hinaus noch eine Kontrolle über das Arbeiten der Anlage zu haben, sind bei vielen Anlagen Überwachungseinrichtungen eingebaut, die an kleinen, nur minimalen Stromverbrauchenden Glimmlampen dem Beamten des nächsten Bahnhofs anzeigen, ob die Warnlichter überhaupt brennen, ob sie das Betriebszeichen oder das Warnzeichen zeigen. Die Erhebungen, ob es zweckmäßig ist, auch dem Lokomotivpersonal ein Zeichen zu geben, ob die Anlage einwandfrei arbeitet, sind noch nicht abgeschlossen.

Dem Wegbenutzer erscheinen die Lampen auf schwarzem Hintergrund, einer meist unterhalb des Warnkreuzes angebrachten, von rot und weißem rückstrahlenden Blech umrandeten Metalltafel.

Von den mannigfachen Schaltungen und Systemen, die die ausführenden Firmen in Zusammenarbeit mit dem RZB. herausgebracht haben, sind folgende zwei am gebräuchlichsten: das sogenannte „Liniensystem“ und das intermittierende Liniensystem.

Das erstere wird wegen seiner einfacheren Schaltung und seiner geringeren Kosten bevorzugt. Bedingung ist jedoch Holzschwellenoberbau und gut isolierende Bettung. Sind diese Bedingungen nicht gegeben, oder befinden sich in der Nähe des Überwegs Bahnhöfe, Anschlußgleisweichen oder andere Wegübergänge, muß man zum intermittierenden Liniensystem greifen.

Beide Systeme arbeiten nach folgendem Grundsatz:

In einer von der höchsten Zuggeschwindigkeit abhängigen Entfernung vom Wegübergang wird durch Befahren einer isolierten Schienenstrecke (Einschaltisolierung) durch die erste Zugachse das Warnzeichen und — je nach Schaltung — bei Erreichen oder nach Verlassen des Wegübergangs durch die letzte Achse

wieder das Betriebszeichen eingeschaltet. Der Unterschied der beiden Systeme besteht äußerlich darin, daß die Einschaltisolierung beim Liniensystem von genannter Einschaltstelle bis zum Wegübergang reicht — also z. B. bei  $V = 50$  km/h etwa 375 m lang ist. Beim intermittierenden Liniensystem dagegen ist sie nur etwa 15 m lang, jedoch ist daran anschließend noch eine ebensolange zweite Isolierung notwendig, die für die Züge der Gegenrichtung das Wiedereinschalten des Warnlichts verhindert. Auf und neben dem Wegübergang befinden sich die Ausschaltisolierungen, nach deren Verlassen durch die letzte Zugachse das Warnzeichen aus- und das Betriebszeichen wieder eingeschaltet wird.

Die Schaltrelais, der Blinker, die Pufferbatterie usw. werden in einem in der Nähe des Wegübergangs aufgestellten Schaltschrank vereinigt, so daß die Unterhaltung erleichtert wird. An diesen Schrank wird der zur Aufladung der Batterie notwendige Starkstrom geführt, von hier aus gehen die Kabel zu den isolierten Schienenstrecken und den Warnlichtern. Lediglich beim Liniensystem sind die sogenannten Gleisbatterien, die den Gleisstrom liefern, in besonderen, jeweils in der Nähe der Einschaltstelle stehenden Batterieschränken untergebracht. Für diese Gleisbatterien werden Carbonelemente mit je 500 Ah Kapazität verwendet. Die Erneuerung des Zinkzylinders und der Ätznatronlauge wird bei drei parallelgeschalteten Elementen bei mittlerem Bettungswiderstand erst in Zwischenräumen von 200 bis 300 Tagen notwendig.

Zur Ermöglichung des Blinkens zweier sich wie 1:2 verhaltenden Frequenzen wird der sogenannte Thermoblinker verwendet, dessen Wirkungsweise darin besteht, daß in den beiden nach oben gehenden Schenkeln eines im unteren Teil mit Quecksilber, im oberen mit einem Gas gefüllten U-förmigen Rohres durch Heizdrähte abwechselnd das Gas im einen und anderen Schenkel erwärmt wird. Hierdurch pendelt das Quecksilber hin und her und schließt in seiner oberen Lage den Stromkreis für das Licht. Dadurch, daß die Leitung für das Warnzeichen in beide Schenkel, die für das Betriebszeichen nur in der einen eingefüllt ist, erhält man bei ersterem die doppelte Frequenz.

Da die Einschaltisolierungen dauernd unter Spannung stehen (Ruhestromprinzip), ist zur Vermeidung von Stromverlusten auf guten Isolationswiderstand derselben Bedacht zu nehmen. Ferner muß bei Oberbauarbeiten zur Verhinderung unzeitigen Warnzeichens die Anlage abgeschaltet oder der Wegübergang zum mindesten bewacht werden. Betriebliche Sonderanweisungen sind außerdem nötig für Teilfahrten, die zwischen oder auf den Isolierstrecken halten und für Kleinwagenfahrten, die infolge ihres geringen Gewichts und zum Teil ihrer Konstruktion keinen sicheren Stromschluß zwischen den Fahrstrecken verbürgen. Um bei Gleiskrafträdern, Rollwagen usw. diesem Mißstand zu begegnen, werden zweckmäßig Fahrzeuge verwendet, die mit Holzspeichen versehen sind oder in anderer Weise Kurzschluß zwischen beiden Schienen von vornherein verhindern.

Wo elektrischer Strom nicht zur Verfügung steht, sind in einzelnen Fällen Anlagen mit Gasbeleuchtung nach Art der Seezeichen gebaut, die sich ebenfalls gut bewährt haben.

Für den Kraftfahrer ist das Warnlicht auf mindestens 100 m

sichtbar, gerade durch den Blinkcharakter fällt es leicht in die Augen, ganz besonders bei trübem Wetter, in der Dämmerung und Nachts, zumal die Lichtstärke bei Dunkelheit nicht gemindert wird. Andererseits sind Klagen über Blendung der Kraftfahrer bisher nicht laut geworden.

Es unterliegt wohl keinem Zweifel, daß von den in § 18 (3) der BO als Ersatz für Schranken zugelassenen anderen Sicherungen

die in Deutschland gebauten Warnlichtanlagen die zweckmäßigsten sein dürften, ja aus den Kreisen der Kraftfahrer hört man nicht selten von der Überlegenheit der Warnlichtanlagen über die Schranken, ein Wort, dessen Berechtigung man immer wieder dann erkennt, wenn die Zeitungen von Unfällen und Gefährdungen berichten, die durch Hineinfahren von Kraftfahrzeugen in geschlossene Schranken entstanden sind. Winter.

## Bücherschau.

**Das Kinematische Verfahren in der Baumechanik in Verbindung mit graphischer Kinematik und Statik ebener Getriebe.** Von Ing. J. M. Rabinowitsch, Dozent an der höheren technischen Schule in Moskau (russisch). Moskau 1928.

Schon im Organ 1925, Heft 1, habe ich auf Aufforderung der Schriftleitung ein bedeutsames Werk des gleichen Verfassers über durchlaufende Balken besprochen und schon damals darauf hingewiesen, daß die langjährige Unterbrechung in der Übermittlung wissenschaftlicher Fortschritte in Rußland an das Ausland manche Lücke geschaffen hat und daß an Übertragung wichtiger russischer wissenschaftlicher Werke manches nachzuholen ist. Das gilt auch heute noch, wenn man auch die Ergiebigkeit des russischen Schrifttums für unsere Zwecke im allgemeinen nicht überschätzen darf. Die geäußerte Anschauung hat sicher auch Bezug auf das neue Buch von Rabinowitsch, das mir gelegentlich persönlicher Bekanntschaft mit dem Verfasser in Moskau zukam. Der Verfasser, dem große Erfahrung in der Forschung und ein ungewöhnliches ingenieurwissenschaftliches Rüstzeug zu Gebote steht, bringt außer einer eingehenden allgemeinen Beleuchtung der Aufgabe der Anwendung der Kinematik auf die Berechnung von Ingenieurbauten und auf die Baumechanik offenbar viel Neues, namentlich in der Theorie der Systeme mit zwei und mehr Freiheitsgraden. Auf dem Gebiete der zweifach veränderlichen Getriebe sind gewisse Eigenschaften ihrer Geschwindigkeitspläne offenbar erstmals nachgewiesen, ebenso erstmals die Statik dieser Getriebe auf Grundlage des Prinzips der möglichen Verschiebungen gegeben. Unter den Anwendungen auf die Bautheorie werden auch die zwei und mehrfach veränderlichen Getriebe gezeigt. Vorgeführt wird die Gleichgewichtstheorie einer neuen Trägerform, des zwei- und mehrstöckigen Seilvielecks. Besonders eingehend ist der kinematische Bau der Einflußlinien für statisch bestimmte Systeme behandelt. Erstmals sind auch einige Anwendungen der graphischen Kinematik der Getriebe auf statisch unbestimmte Systeme (durchgehende Balken und Rahmen) vorgeführt und entwickelt.

Wer die heutigen Verhältnisse in der Sowjetunion kennt, wird dem, was dort vielfach im Stillen und oft unter nicht geringen Schwierigkeiten geleistet wird, Anerkennung und Mitgefühl zollen.

Dr. Saller.

**Mechanische Schwingungen der Brücken von E. Homann und R. Bernhard.** Mit einem Geleitwort von G. Schaper, herausgegeben von der Deutschen Reichsbahn-Gesellschaft, Berlin 1933, Verlag der Verkehrswissenschaftlichen Lehrmittelgesellschaft bei der Deutschen Reichsbahn.

Die technischen Probleme der Gegenwart haben das Studium der physikalischen Grundlagen und der mathematisch-theoretischen Methoden der Schwingungslehre wesentlich gefördert. Während sich diese jedoch im Maschinenbau und in der Elektrotechnik bereits vor Jahren durchgesetzt haben, ist die Übertragung mechanischer Energie auf Bauwerke noch vor kurzer Zeit nur in Verbindung mit Fundamentalschwingungen verfolgt worden. Die Literatur der jüngsten Vergangenheit enthält zahlreiche ausgezeichnete Arbeiten, die gerade in der gemeinsamen Betrachtung mechanischer und elektrischer Schwingungen, also in der Beschreibung und Anwendung allgemein gültiger Gesetze, eine Erweiterung und Vertiefung technisch-wissenschaftlicher Erkenntnis suchen. Da jedoch die Gedankenwelt des Bauingenieurs durch berufliche Erziehung im wesentlichen auf statische Betrachtungen eingestellt ist und Vorträge über Dynamik der Baukonstruktionen erst in der jüngsten Zeit in den Vorlesungsverzeichnissen deutscher technischer Hochschulen erscheinen, so bereitet das Verständnis für dynamische Vorgänge auf allgemeiner Grundlage dem Mann

der Praxis oft genug Schwierigkeiten. Die Bedeutung der Energieübertragung auf Brücken durch die Stoßwirkung bewegter Fahrzeuge und durch erzwungene Schwingungen sowie ihre Beziehungen zur Dauerfestigkeit des Baustoffs zwingen jedoch immer mehr, die statischen Untersuchungen ebenso wie im Maschinenbau durch dynamische Untersuchungen zu ergänzen, um sich über die Sicherheit der Bauteile Rechenschaft zu geben. Diesem Bedürfnis kommt die Arbeit der beiden Verfasser in ausgezeichnete Weise entgegen. Sie erleichtert Studium und Verständnis der Schwingungslehre durch die Beschreibung und mathematische Untersuchung des Bewegungszustandes von Brücken und sichert sich auf diese Weise das dauernde Interesse des Lesers auch für theoretische Betrachtungen und die in ihren physikalischen Grundlagen nicht immer einfache Meßtechnik. Der Leser wird dabei durch reichhaltiges und anschauliches Bildmaterial unterstützt, das nicht allein die Methoden, sondern auch die Messungen beschreibt und erläutert. Die ausführliche Begründung aller theoretischen Betrachtungen liegt im Wesen der Arbeit, um den Leser nicht allein formal über Schwingungsfragen zu unterrichten, sondern ihn vor allem über den physikalischen Sinn der Vorgänge aufzuklären und deren Übertragung auf praktische Aufgaben zu erleichtern.

Die ersten beiden Abschnitte sind der physikalischen Beschreibung und der Ableitung der mathematischen Zusammenhänge gewidmet. Sie behandeln die Schwingung einzelner Massen, die Eigenschwingungen der Saite und des biegesteifen Stabes und enthalten ausführliche Angaben über die harmonische Analyse periodischer Funktionen. Die Abschnitte III und IV sind der Meßtechnik und den zur Messung von Brückenschwingungen brauchbaren Geräten gewidmet. Sie bilden daher eine wertvolle Ergänzung des bekannten, vom VDJ. herausgegebenen Buches von H. Steuding. Der Inhalt verwertet die Erfahrungen der Deutschen Reichsbahn-Gesellschaft und gewinnt dadurch auch für die künftige Entwicklung der Brückenmeßtechnik Bedeutung. Er behandelt nicht allein die Eignung, die Fehlerquellen und die Eichung der Geräte, sondern gibt außerdem noch Auskunft über die Ausführung der Messungen und über die Verwertung der Ergebnisse zur Beurteilung des Bauzustandes der Brücken.

Das Buch ist alles in allem ein wertvolles Hilfsmittel zur Einführung des Ingenieurs in das Wesen der Schwingungen, das sich durch einfachen und klaren Text auszeichnet und dabei auf solche Betrachtungen beschränkt ist, die immer das Interesse des technisch eingestellten Lesers finden werden.

Prof. Dr. K. Beyer.

**Statik**, früher „Statik für Baugewerkschulen und Baugewerkmeister“, herausgegeben von Karl Zillich, Reg.- und Baurat i. R., zweiter Teil: Festigkeitslehre, zehnte neubearbeitete Auflage. Berlin: Wilhelm Ernst & Sohn 1933 mit 104 Abbildungen im Text, 160 Seiten. Preis kartoniert 3,40 R.M.

**Der Eisen-Betonbau.** Ein Leitfaden für Schule und Praxis, herausgegeben von C. Kersten, Teil I: Ausführung und Berechnung der Grundformen, mit 298 Textabbildungen, 23 Zahlentafeln und 28 Zahlenbeispielen. Vierzehnte neubearbeitete Auflage. 262 Seiten. Berlin: Wilhelm Ernst & Sohn 1933. Preis geheftet 7,20 R.M.

**Dritte Studienkonferenz der Deutschen Reichsbahn-Gesellschaft.** Die Investierungspolitik der Deutschen Reichsbahn von L. Röbe, Reichsbahndirektor und Mitglied der Hauptverwaltung der Deutschen Reichsbahn-Gesellschaft, 59 Seiten. Verlag der verkehrswissenschaftlichen Lehrmittelgesellschaft m. b. H. bei der Deutschen Reichsbahn.