

# Organ für die Fortschritte des Eisenbahnwesens

Technisches Fachblatt des Vereins Mitteleuropäischer Eisenbahnverwaltungen

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

92. Jahrgang

1. April 1937

Heft 7

## Die einheitliche Berechnung des Oberbaues im Verein Mitteleuropäischer Eisenbahnverwaltungen.

Von Ing. Ch. H. J. Driessen, Bahn- und Baudirektor der Niederl. Eisenbahnen.

Hierzu Tafel 15.

Der Technische Ausschuß des VMEV stimmte in Münster am 16./18. September 1930 dem Antrag zu, den Vereinsverwaltungen zu empfehlen, bei Berechnung des Oberbaues bestimmte Formeln und zulässige Beanspruchungen (die beide in dieser Abhandlung weiter erörtert werden sollen) anzuwenden, faßte aber auch den folgenden Beschluß: „Zur weiteren Klärung der Frage der einheitlichen Berechnung des Oberbaues sind noch eingehende Versuche zum Zwecke der Feststellung der Größen der Unterlageziffern bei verschiedenen Bettungsarten von verschiedenen Vereinsverwaltungen nach einheitlichen Gesichtspunkten vorzunehmen“.

Dieser Beschluß war eine Folge davon, daß in den festgestellten Formeln keine Unterlageziffer aufgenommen war, einmal weil bei den Ergebnissen der Spannungsmessungen, die die Unterlagen für die Formeln gebildet haben, kein Einfluß der Bettungsart festgestellt war und weil die Beobachtungen zur Feststellung der Größe der Bettungsziffer ebenso ergaben, daß die Bettungsart verhältnismäßig wenig Einfluß auf die Größe der Unterlageziffer ausübt, wobei sich weiterhin gezeigt hatte, daß die für die Unterlageziffer gebräuchlichen Zahlen zu niedrig gegriffen sind. Der Einfluß der Verschiedenheit der Unterlageziffern auf die errechnete Spannung wird kleiner, je größer die Werte der Unterlageziffern an sich sind.

Nachdem die viel Zeit in Anspruch nehmenden, vom Technischen Ausschuß in Münster gewünschten Versuche durchgeführt waren, hat der Technische Ausschuß in Stockholm am 28./30. Mai 1935 die Ergebnisse der umfangreichen Versuche zur Kenntnis genommen, diese Versuche als abgeschlossen betrachtet und den Vereinsverwaltungen empfohlen, auf Grund der Ergebnisse der Versuche von der Aufnahme einer Unterlageziffer in die Formel für die Berechnung des Oberbaues Abstand zu nehmen.

Hiermit ist die Behandlung der Frage der einheitlichen Oberbauberechnung im Verein abgeschlossen worden. Da bei dieser Behandlung viele Ergebnisse gewonnen wurden und die Beratungen zu vielen Überlegungen Veranlassung gegeben haben, ist es von Bedeutung, daß dieser Gegenstand in einem weiteren Kreise, wie dem der beim Technischen Ausschuß Beteiligten, veröffentlicht wird, womit auch einer Anregung von Dr. Bloss in der Stockholmer Sitzung Folge geleistet wird.

Obwohl so viel wie möglich die in den Berichten und Protokollen aufgenommenen Daten und Schlußfolgerungen gebraucht werden sollen, ist dieser Aufsatz nicht als eine amtliche Äußerung des Vereins anzusehen; es ist also nur der Verfasser verantwortlich für die in diesem Aufsatz geäußerten Meinungen. An dieser Stelle sei noch bemerkt, daß ich einige, schon früher erörterte Angelegenheiten (wie Einrichtung, Wert und Eichung der gebrauchten Spannungsmesser, Einfluß der Schwingungen auf die Ergebnisse usw.) streifen werde, deren Behandlung zum richtigen Verständnis notwendig ist.

Bei der Beurteilung der folgenden Zeilen ist zu beachten, daß das Ziel einer Berechnung des Oberbaues nicht der Versuch sein soll, die in Wirklichkeit auftretenden Spannungen festzustellen, oder, gestützt auf die elastischen Eigenschaften

des Werkstoffes die zulässigen Belastungen zu bestimmen. Vielmehr soll das Ziel sein, ein so einfach mögliches Verhältnis zwischen den Gliedern des Oberbaues (Schiene, Schwelle und Schotterbett) auf der einen Seite und die der Belastung (Gewicht, Achsstand und Geschwindigkeit) auf der andern Seite festzustellen. Wer an eine Berechnung des Oberbaues die Anforderung mathematischer Genauigkeit stellen will, tut besser, diesen Aufsatz nicht weiter zu lesen: er wird sich nur ärgern. Wer sich aber auf den praktischen Standpunkt, wie hier vorn angegeben, stellt und überzeugt ist, daß die Berechnung des Oberbaues nicht auf Grund theoretischer Berechnungen geschehen soll, der lese ruhig weiter.

Schon am 8. Mai 1913 hat die Großherzogliche Eisenbahndirektion Oldenburg sich an die Geschäftsführende Verwaltung gewendet mit dem folgenden Antrag:

„Durch die fortgesetzte Steigerung der Zuggeschwindigkeiten und die immer größer werdenden Raddrücke der Fahrzeuge gewinnt die Frage der Tragfähigkeit des Oberbaues mehr und mehr an Bedeutung; immer häufiger sind die Fragen zu entscheiden, ob ein vorhandener Oberbau den erhöhten Anforderungen des Betriebes noch genügt, wie er etwa zu verstärken oder zu erneuern ist, welche Abnutzung im Betriebe noch zugelassen werden kann usw. Diese Entscheidungen, die in der Regel von großer wirtschaftlicher Tragweite sind, sind meist sehr schwierig zu treffen, da die Grundlagen der hierzu anzustellenden Berechnungen nicht allgemein anerkannt sind, die Technischen Vereinbarungen hierüber keine Angaben enthalten und die Wege, die bei solchen Berechnungen eingeschlagen werden, bei den einzelnen Verwaltungen verschieden sind. Dies führt dann zu einer Unsicherheit in den Ergebnissen, die unter Umständen größer ist als die Änderung der Betriebslasten, und ein Vergleich untereinander ist nicht wohl möglich.“

Es liegt daher nach unserm Dafürhalten ein gewisses Bedürfnis vor nach einem allseitig anerkannten Verfahren, wie die in den einzelnen Teilen des Oberbaues, namentlich der Schienen, unter den bewegten Lasten auftretenden Beanspruchungen in möglichst zutreffender Weise rechnerisch zu ermitteln sind. Daß die rechnerische Ermittlung der tatsächlich auftretenden Beanspruchungen auf sehr große Schwierigkeiten stößt, soll nicht verkannt werden; da aber diese Beanspruchungen unter den in der Praxis gegebenen Verhältnissen bei ein und demselben Oberbau naturgemäß innerhalb weiter Grenzen schwanken, kommt es vielleicht auf eine allzu große Genauigkeit nicht so sehr an, wenn nur die nötige Sicherheit gewahrt wird, und die in Frage kommenden Umstände, so gut es eben möglich ist, in einheitlicher Weise in Rechnung gezogen werden, so daß die Ergebnisse auf eine einheitliche Grundlage aufgebaut und daher untereinander vergleichbar sind.

Wir möchten daher in Anregung bringen, zunächst Erhebungen darüber anzustellen, nach welchen Grundsätzen und in welcher Weise bei den einzelnen Verwaltungen der Oberbau in seinen einzelnen Teilen berechnet wird, wie dabei den dynamischen Wirkungen der Betriebslasten Rechnung getragen wird und welche Rechnungsannahmen im übrigen gemacht werden.

Anschließend daran möchte dann der Versuch gemacht werden, über eine einheitliche, tunlichst vereinfachte Berechnungsweise eine allgemeine Verständigung herbeizuführen.

Sollte dieser Versuch zu einem befriedigenden Ergebnis führen, könnte weiterer Entschließung vorbehalten bleiben, ob die unzureichenden Bestimmungen der Technischen Vereinbarungen entsprechend zu ergänzen sind, oder ob es sich mehr empfiehlt, das Ergebnis der Untersuchungen in einer besonderen Denkschrift niederzulegen.

Die Beratung und Behandlung des Antrages wurde anfänglich einem besonderen Unterausschuß zugewiesen, später aber vom Oberbau- und Bahnbauausschuß übernommen. Mit der Behandlung wurde schon in 1913 angefangen; sie wurde aber durch den Weltkrieg unterbrochen und erst in 1923 wieder aufgenommen.

Schon in der ersten Sitzung kam der Unterausschuß zu der Überzeugung, daß es notwendig sei festzustellen, ob nicht durch ausgedehnte Versuche für die bis dahin angenommenen Festwerte (im besonderen wurde hier an die Untergrundziffer gedacht) zuverlässigere Werte zu ermitteln seien, um durch diese das Mißverhältnis möglichst zu beseitigen, das heute zweifellos zwischen den analytischen Methoden zur Berechnung des Oberbaues und den wirklichen Verhältnissen besteht.

Es wurde denn auch ein sehr ausführliches Versuchsprogramm aufgestellt. Bei Belastung durch einen besonderen Versuchszug sollten Spannungen gemessen werden bei Geschwindigkeiten von 5, 45 und 90 km/h; verschiedene Oberbauarten sollten in die Versuche einbezogen werden; die Messungen sollten bei verschiedenen Schwellenabständen vorgenommen werden; man sollte die Abmessungen der Schwellen berücksichtigen; es sollte ein Unterschied gemacht werden zwischen Schwellen aus Holz, Eisen und Beton; es sollte die Art des Schotterbettes beachtet werden: Schlägelschotter auf Packlage, Schlägelschotter allein, desgl. Kies oder Sand; man sollte den Unterhaltungszustand des Oberbaues beachten, nämlich ob dieser gut, mittelmäßig oder schlecht ist; die Messungen sollten vorgenommen werden in geraden Strecken und in Bogen, in Steigungen und in Gefällen, auch bei Bremsungen. Jeder Versuch soll mindestens dreimal angestellt werden, um Fehlerquellen möglichst auszuschalten und unter Umständen Mittelwerte zu erhalten.

Anschließend an diese Grundversuche sollten später auch Beobachtungen an den Verkehrslasten selbst angestellt werden, wie: Beobachtungen der Druckschwankungen der Wagenfedern, Schwingungszeiten der Wagenkasten, deren Übereinstimmung mit Einflüssen, die vom Oberbau ausgehen u. a. m.

Schon eine erste Versuchsreihe hat gezeigt, daß ein so ausführliches Programm erst durch vieljährige Beobachtungen und mit viel Geldaufwand zu verwirklichen wäre. Außerdem wurde die Überzeugung gewonnen, daß man sich bei der Berechnung des Oberbaues auf einen praktischen Standpunkt stellen muß und man sich beschränken soll auf Erfassung der Hauptsachen: Schwellenabstand, Achsstand und Geschwindigkeit, Faktoren, zu denen sich derzeit noch die Bettung gesellt hat. Nachträglich wurde also beschlossen, ein mehr beschränktes Programm zur Ausführung zu bringen.

Die Spannungen in den Schienen wurden gemessen mit dem Spannungsmesser von Ing. D. Okhuizen. Wie bekannt sind alle Spannungsmesser Dehnungsmesser; sie beziehen sich auf die Formeln:

$$\delta = \frac{Pl}{EF} = \frac{\sigma l}{E}, \quad \text{also: } \sigma = \frac{\delta E}{l},$$

woraus folgt daß die Spannung bei gegebenem Werkstoff und gegebener Meßlänge der gemessenen Dehnung proportional ist.

Bei Spannungs(Dehnungs)messungen in einem gebogenen Träger mißt man die Dehnung der Faser in der das Meßgerät steht. Also ist bei der Messung von Biegungsspannungen, da

ja in jedem Punkte das Moment verschieden ist, eine kleine Meßlänge von großem Einfluß. Im besonderen ist das der Fall bei Spannungsmessungen an Schienen, wo der Abstand der Stützpunkte gering ist und also ein schneller Wechsel der Momente auftritt. Beim Okhuizenschen Apparat ist dementsprechend die Meßlänge nur 6 cm.

Abb. 1 gibt den Umriß des Okhuizenschen Geräts. Wenn  $\Delta a$  die zu messende Dehnung ist, dann ist, bei den in der Abbildung angegebenen Länge der Hebelarme, die Bewegung der Zeigerspitze:

$$\Delta A = \Delta a \times \frac{c}{b} \times \frac{e}{d}.$$

Da  $\delta = \frac{\sigma a}{E}$  und die Länge der

Hebelarme so gewählt ist, daß die Vergrößerung 367fach ist, findet man bei einer gemessenen Spannung von 100 kg/cm<sup>2</sup> und einer Meßlänge von 6 cm eine Bewegung der Zeigerspitze von

$$367 \times \frac{100 \times 6}{2200000} = 0,1 \text{ cm} =$$

= 1 mm. Die Skala hat also eine Millimeterteilung. Abb. 2

ist ein photographisches Bild eines Spannungsmessers, der selbstaufzeichnend ist. Das Papierband wird aber der Einfachheit wegen von Hand gezogen; eine gleichförmige Bewegung ist zur Bestimmung der größten Spannung bei Vorbeigang jeder Achse nicht nötig, da diese sich in der Spannungslinie eindeutig zeigt. Der kleine Zeiger an der rechten Seite zieht die Nulllinie.

Es ist von großer Wichtigkeit, daß untersucht wird, ob die Geräte derart zusammengestellt sind, daß die angebliche Vergrößerung von 367mal auch tatsächlich vorhanden ist. Eichung durch unmittelbare Messung der Hebelarme ist fast unmöglich, jedenfalls sehr schwierig und weniger richtig. Darum wurde zur Eichung der Spannungsmesser ein Gerät nach den Abb. 3 und 4 angefertigt. Das Gerät wurde, wie aus Abb. 4 hervorgeht, auf einem schweren Balken befestigt; es besteht aus einem festen Tischchen h, worauf die eine Spitze des Spannungsmessers bei der

Eichung gestellt wird, während die andere auf der Wiege d steht. Diese Wiege wird durch einen Bügel, mit dem Federn c verbunden sind, nach rechts gezogen. Die Wiege stößt gegen eine Mikrometerschraube e, deren Kopf in 100 Teile geteilt ist. Da der Stich der Schraube 1/2 mm ist und man bis 1/10 Teilstrich abschätzen kann, kann man also eine Bewegung der Zeigerspitze bis

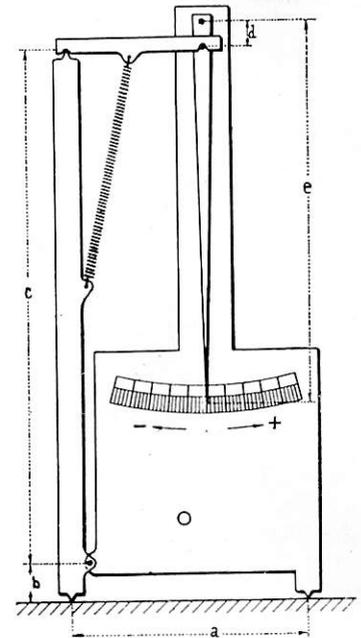


Abb. 1.

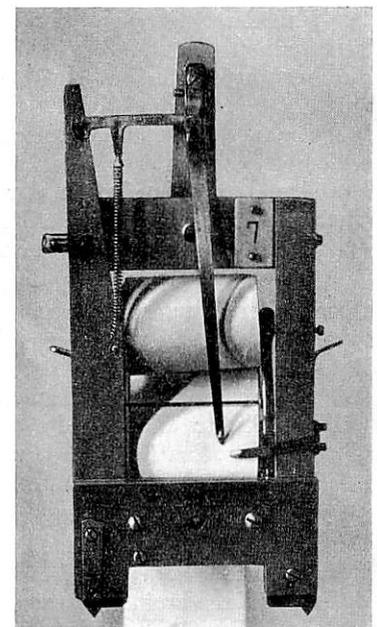


Abb. 2.

$\frac{1}{2} \times \frac{1}{100} \times \frac{1}{10} = \frac{1}{2000}$  mm beobachten. Diese Genauigkeit genügt in Beziehung auf die Skalenteilung des Spannungsmessers, da bei einer Vergrößerung von 367mal, weil  $\frac{1}{367}$  mm =  $\frac{5,45}{2000}$  mm ist, die Bewegung der Zeigerspitze von 1 mm übereinstimmt mit  $\frac{5,45}{10}$  Teilstrich des Mikrometerkopfes.

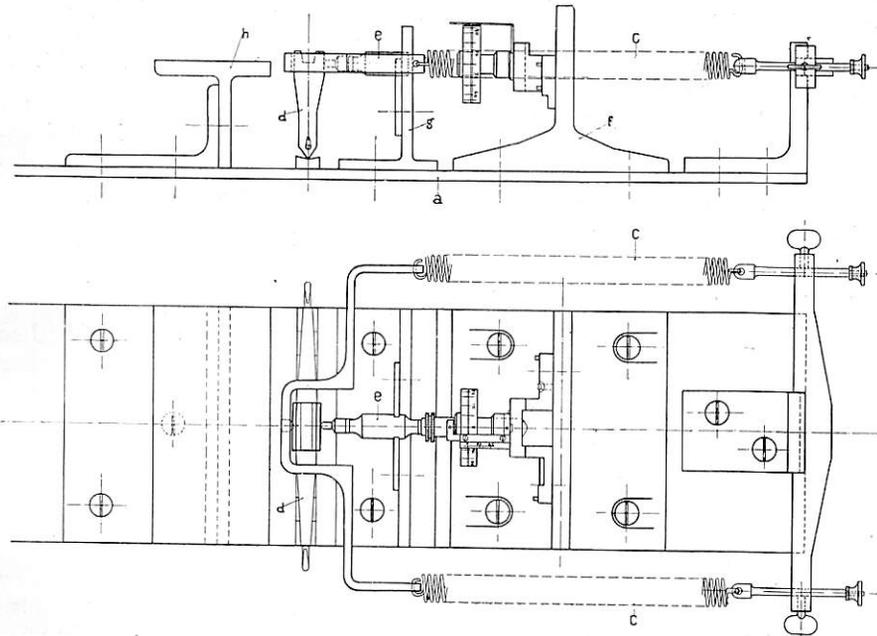


Abb. 3.

größte Wert gemessen wird. Aus diesem Grunde ist der gemessene Spannungswert bei dem in Frage kommenden Schienenquerschnitt mit  $\frac{70}{65}$  zu multiplizieren, da (Abb. 6) bei diesem Querschnitt der Abstand der äußersten Faser zur Biegelinie 70 mm ist, während die Spannungsmesser 5 mm von dieser Faser entfernt angebracht waren.

Die Abb. 7 bezieht sich auf die Verbesserung in bezug auf die Meßlänge. Gezeichnet ist die Momentenlinie zwischen zwei Schwellen; das Moment ist negativ über den Schwellen, positiv in der Mitte des Feldes. Das zu messende Moment ist  $M$ , während gemessen wurde das Moment  $M_1$ , das mittlere Moment über der Meßlänge  $d$ . Wenn die anzubringende Verbesserung  $\Delta M$  ist, so ist

$$M = M_1 + \Delta M.$$

Da das Moment bei freier Auflagerung  $M_0 = \frac{1}{4} P a$  ist und aus der Abbildung abgeleitet wird:

$$\Delta M : M_0 = \frac{1}{2} d : a$$

folgt:  $\Delta M = M_0 \frac{d}{2a} = \frac{1}{8} P d$ . Die bei der gemessenen Spannung anzubringende Verbesserung ist  $\frac{P d}{8 W}$ . Sie ist ein Festwert und nur abhängig von Gerät und Schiene. Diese Verbesserung als einen Prozentsatz der gemessenen Spannung zu verwenden — wie öfters geschehen ist — ist also unrichtig. Für eine Schiene mit  $W = 196 \text{ cm}^3$ , wie sie bei den Messungen in

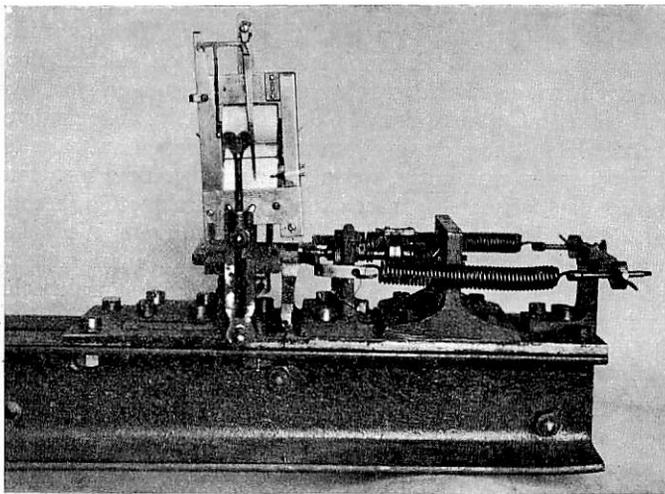


Abb. 4.

Abb. 5 zeigt die Art der Befestigung der Spannungsmesser an der Schiene. Ein Bügel wird an die Schiene geschraubt; zwei Flügel sind an dieser Schraube und am Bügel befestigt; ein stählernes Stäbchen, durch das in den Abb. 1 und 2 sichtbare Loch im Spannungsmesser gesteckt wird durch die Flügel gespannt und drückt den Spannungsmesser gegen den Schienenfuß. Zwischen zwei benachbarten Schwellen wurde beiderseits der zwei Schienen ein Gerät angebracht, so daß in jedem Fach an vier Stellen die Spannung gemessen wurde.

Obwohl die Meßlänge sehr klein ist, wird doch die mittlere Spannung in dieser Länge gemessen, während man die größte kennen will; es ist also notwendig, eine Verbesserung anzubringen. Außerdem sind die Geräte nicht an der äußersten Faser angebracht, so daß auch aus diesem Grunde nicht der

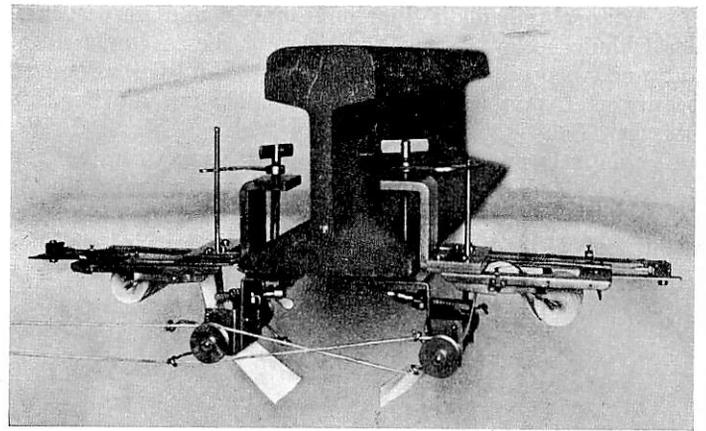


Abb. 5.

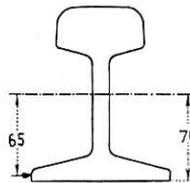


Abb. 6.

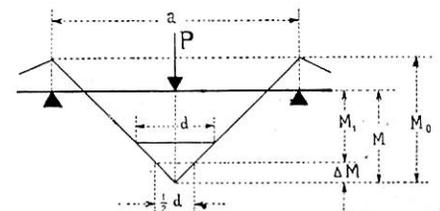


Abb. 7.

Frage kommt, ist, bezogen auf eine Achslast von 1000 kg, die Verbesserung  $\frac{500 \times 6}{8 \times 196} = 1,9 \text{ kg/cm}^2$ .

Bevor die Spannungsmessungen selbst, die Ergebnisse und die daraus zu ziehenden Schlußfolgerungen besprochen werden, ist es angemessen, die Frage zu beantworten, ob das

Okhuizen-Gerät für den Zweck, wozu es dienen soll, geeignet ist. Obwohl feststeht, daß das Okhuizen-Gerät nicht brauchbar ist für dynamische Messungen und die Spannungen in den Schienen unter dem fahrenden Zug gemessen sind, kann doch festgestellt werden, daß der Okhuizen-Spannungsmesser brauchbar war zur Erreichung des Zieles. Um dies darzulegen, müssen zuerst zwei Fragen beantwortet werden, nämlich: Welche Spannungen entstehen in einer Schiene beim Befahren durch Züge? und: Welche Spannungen schreiben die Spannungsmesser und im besonderen der Okhuizensche auf?

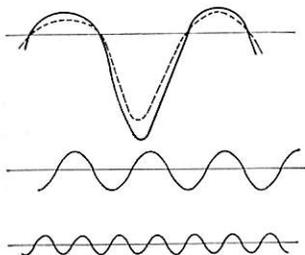


Abb. 8.

Wenn ein Zug mit geringer Geschwindigkeit fährt, hat man es mit einer statischen Belastung zu tun, die eine Spannung hervorruft, dargestellt durch die Punktlinie in Abb. 8. Bei zunehmender Geschwindigkeit wird die Spannung größer, wie angegeben durch die ausgezogene Linie. Beim schnellen Befahren wird aber auch der ganze Oberbau in Schwingungen versetzt, und zwar nicht nur die Schienen und Schwellen, sondern auch der ganze Bahnkörper. Diese Schwingungen sind daher sehr zusammengesetzt, obwohl man es hier im allgemeinen mit sinusförmigen Schwingungen zu tun hat. Die von zwei dieser Schwingungen erregten Spannungen sind ebenfalls in Abb. 8 dargestellt. Setzt man diese Spannungen zusammen mit den der oberen Linie, so bekommt man eine gezackte Linie, wie dargestellt in Abb. 9, die aber die allgemeine Richtung der ausgezogenen Linie aus Abb. 8 beibehalten hat.

Abb. 9. Die zweite Frage ist: Welche Spannungen schreiben die Spannungsmesser und im besonderen der Okhuizensche auf? Was schreibt dieses Gerät zu viel auf und was schreibt es nicht auf? Um diese Fragen zu beantworten muß zurückgegriffen werden auf die Beziehung zwischen Schwingungszahl und Ausschlag (Abb. 10). Wenn auf eine schwere Masse, die in Schwingung geraten kann, z. B. ein Pendel, eine statische Kraft wirkt, wird ein Ausschlag von einer Größe  $a$  auftreten. Wirkt diese Kraft nicht fortwährend, sondern periodisch, dann wird die Masse

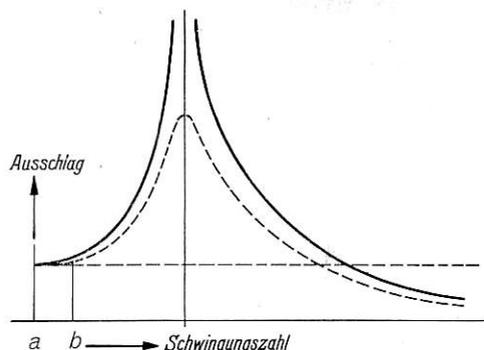


Abb. 10.

in Schwingung geraten, wobei der Ausschlag größer wird. Je mehr sich die Periode der Kraftwirkung der Eigenschwingungszahl des Systems nähert, desto größer wird der Ausschlag, bis er bei Synchronismus theoretisch unendlich groß wird. Werden die Perioden der Kraftwirkung noch kleiner, dann nimmt die Größe der Ausschläge ab; sie nähern sich asymptotisch der Nulllinie, die erreicht werden könnte, wenn die Periode der Kraftwirkung unendlich klein wäre. Das Vorgehen ist in Abb. 10 durch die ausgezogenen Linien dargestellt. Da aber bei jedem System Reibung (Dämpfung)

auftritt, sind die Ausschläge kleiner; in Wirklichkeit verlaufen sie wie durch die Punktlinie dargestellt ist.

Aus der Abb. 10 geht hervor, daß man, wenn Spannungen gemessen werden sollen, die erregt werden durch Schwingungen, deren Anzahl in der Sekunde in der Nähe der Eigenschwingungszahl des Meßgeräts liegt, gänzlich falsche Aufzeichnungen bekommt. Nur in der Zone  $a$  bis  $b$  wird die Wirklichkeit richtig oder wenigstens mit praktisch genügender Annäherung wiedergegeben. Läßt man in der Annäherung 5% Ungenauigkeit zu, dann ist die Zone  $a$  bis  $b$  etwa  $\frac{1}{4}$  der Eigenschwingungszahl des Geräts. Die Zone also, in der die Aufzeichnungen richtig oder wenigstens annähernd richtig sind, steht in einem gewissen Teilverhältnis zur Eigenschwingungszahl des Meßgeräts. Wenn man ein Gerät hat mit einer Eigenschwingungszahl von 10000 Hertz, dann werden nur Schwingungen bis 2500 Hertz mit keinem größeren Fehler als 5% aufgezeichnet.

Nun hat das Okhuizen-Gerät eine Eigenschwingungszahl von 1750 Hertz somit kann es mit genügender Genauigkeit nur Spannungen aufzeichnen, die von Schwingungen erzeugt werden nicht schneller als ungefähr 450 Hertz. Da im Oberbau Schwingungen bis 10000 Hertz auftreten, muß die Folgerung gezogen werden, daß der Spannungsmesser von Okhuizen nicht imstande ist, die in den Schienen auftretenden Spannungen mit genügender Genauigkeit aufzuzeichnen.

Daß trotzdem die mit diesem Apparat gemessenen Spannungen ohne weiteres als Grundlage für eine Oberbauberechnung dienen können kommt daher, daß man für diesen Zweck die von den oberen Schwingungen erzeugten Spannungen gar nicht zu wissen braucht, es im Gegenteil vorteilhaft ist, sie auszuschalten. Was man kennen muß sind Mittelwerte und diese werden vom Okhuizenschen Gerät schon deshalb geliefert, weil die durch die Oberschwingungen erzeugten Spannungen nicht erfaßt werden (vergl. Abb. 9 mit Abb. 8). Wenn man weiter die Schlüsse nicht aus einer einzelnen Beobachtungsreihe zieht, sondern aus den Mittel aus vielen solchen Beobachtungen, wie es nach den folgenden Ausführungen geschehen ist, so bekommt man Zahlen, die dem gesteckten Ziele genügen. Denn die Kenntnisse der größten in den Schienen auftretenden Spannungen ist nur nötig, wenn die zulässige Beanspruchung auf die elastischen Eigenschaften des Werkstoffes bezogen wird. Es wird nachher gezeigt, daß auf diesem Wege kein brauchbares Ergebnis zu bekommen ist und man sich zur Feststellung der zulässigen Belastungen nur auf den praktischen Standpunkt stellen kann.

Ob das Okhuizensche Gerät die Zunahme der Spannung durch plötzliches Auftreten der Belastung — das ist also der direkte Einfluß der Geschwindigkeit, den man als eine dynamische Wirkung ersten Grades betrachten kann — aufschreibt, ist eine Frage, die nicht unbedingt bejaht werden kann, da Vergleichsmessungen fehlen. Bei den Messungen ist eine Zunahme der Spannungen mit der Geschwindigkeit festgestellt und es wurde hiernach eine bestimmte Abhängigkeit zwischen beiden angenommen (Geschwindigkeitsbeiwert). Sollte später, wenn sich die Meßtechnik weiter entwickelt hat, ein Meßgerät hergestellt werden, das bei den für Schienen geeigneten kleinen Meßlängen ganz zuverlässige Ergebnisse liefert (ein solches Gerät gibt es jetzt nicht), dann braucht nur auf Grund der neuen Zahlen ein anderer Geschwindigkeitsbeiwert eingeführt zu werden, ohne daß dadurch die Berechnung selbst geändert zu werden braucht.

Es kann also die Folgerung gezogen werden, daß der Spannungsmesser von Okhuizen geeignet ist zur Bestimmung der mittleren Werte der Spannungen (andere Werte sind nicht nötig und nicht gefordert) unter Berücksichtigung der Geschwindigkeit (letzteres mit einigem Vorbehalt). Im übrigen ist kein besseres Gerät bekannt, das für Messungen an Schienen,

für die eine kleine Meßlänge unbedingt notwendig ist, für den beabsichtigten Zweck zu brauchen sei.

Mit dem beschriebenen Gerät wurden sowohl auf deutschen, wie auf holländischen Bahnen Spannungsmessungen gemacht bei verschiedenen Querschwellenabständen und Geschwindigkeiten, während der Einfluß der Achsstände durch die Zusammenstellung des Belastungszuges berücksichtigt wurde. Die Spannungen wurden in Holland gemessen auf Strecken mit einem Schotterbett bestehend aus einem Gemisch von Sand und Kies; in Deutschland in Gleise mit Steinschlag auf gutem Untergrund, mit Steinschlag auf moorigen Boden und mit Steinschlag auf einer Packlage. An dieser Stelle möchte schon bemerkt werden, daß nicht der mindeste Einfluß des Untergrundes oder des Schotterbettes auf die Spannungen festgestellt wurde.

Bei jeder Beobachtungsreihe, die alle unter sich verschieden waren in Querschwellenentfernung und Geschwindigkeit, wurden, soweit möglich, neun Fahrten gemacht. Für jede Achse wurde also, da sich in einem Querschwellenfach vier Geräte befanden, 36 Zahlen erhalten, aus denen der mittlere Wert berechnet wurde, so daß wohl angenommen werden kann, daß Zufälligkeiten ausgeschaltet wurden. Schließlich hat man über etwa 21000 Spannungswerte verfügt. Da sich ziemlich viel Fehlbeobachtungen zeigten und da, wenn dies der Fall war, eine ganze Reihe von Beobachtungen unbrauchbar war, ist die Arbeit viel größer gewesen als durch die Zahl der 21000 Spannungswerte ausgedrückt wird.

endgültigen Spannungen beziehen sich also auf eine Achslast von 1000 kg.

Die in den Tafeln eingetragenen Mittelwerte wurden für jede Beobachtungsreihe bildlich dargestellt; Abb. 13 stellt das Ergebnis für einige Reihen dar. Die stark ausgezogenen Linien, die die schraffierten Flächen begrenzen, stellen die Mittelwerte der Spannungen, für die verschiedenen Achsgruppen, bezogen auf 1000 kg Achsbelastung dar. Es kommt deutlich heraus, daß je größer die Achsstände sind, desto größer die Span-

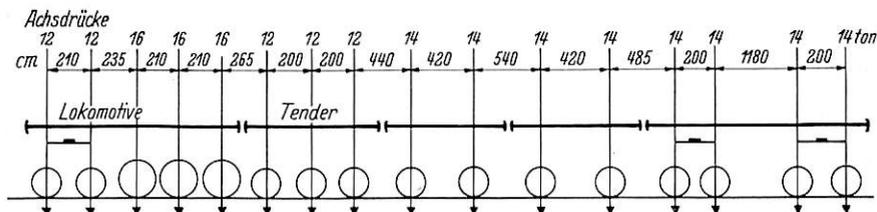


Abb. 11.

nungen werden. Beim Drehgestellwagen, unter dem die Spannungen kleiner sind als beim gewöhnlichen Güterwagen, hat man zwar einen Achsstand von 2 m, aber nur einseitig; der sehr große Achsstand von 11,80 m hat den größeren Einfluß. Ein kleiner Achsstand ist also günstig für die Spannung, so daß man für die Triebachsen der Lokomotive die gewöhnlich nahe aneinander stehen, größere Achsbelastungen zulassen kann, als für die Achsen der Güterwagen.

Die nächste Aufgabe war, die gemessenen Spannungen mit den Ergebnissen von Berechnungen zu vergleichen. Dazu

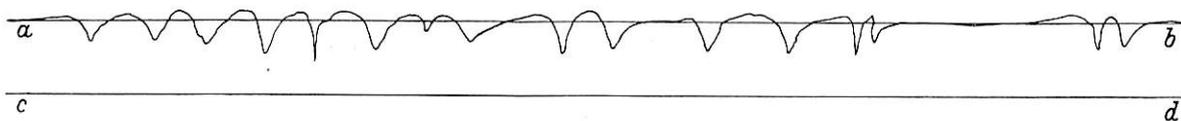


Abb. 12.

In Holland und in Deutschland wurde bei den Messungen ein Belastungszug verwendet, der nahezu dieselbe Zusammenstellung hatte. Die Abb. 11 gibt die Achsstände und die Achsdrücke; aus der Abbildung geht hervor, daß den verschiedenartigen Achsständen und Achsdrücken Rechnung getragen ist. In Abb. 12 ist das Ergebnis einer Messung eingetragen; c bis d ist die Nulllinie; die Gerade a bis b ist nachträglich eingezeichnet; sie soll der Linie c bis d parallel sein; wenn dies nicht der Fall war, wurde die Messung ausgeschaltet. Die Belastung durch jede Achse zeichnet sich deutlich ab, woraus hervorgeht, daß es für das bezweckte Ziel nicht nötig ist das Band mit gleichmäßiger Geschwindigkeit durch ein Uhrwerk zu bewegen.

Die Schienen werden außer in lotrechter auch in waagerechter Richtung gebogen. Beim Berechnen der Mittelwerte werden indessen die Spannungen durch die waagerechte Biegung beseitigt, so daß die Mittelwerte sich nur auf die lotrechte Belastungen beziehen. Wenn nämlich  $\sigma_v$  die durch die lotrechte Belastung erzeugte Spannung ist,  $\sigma_h$  desgleichen für die waagerechte Belastung, dann ist die Spannung an der einen Seite der Schiene  $\sigma_v + \sigma_h$ , an der anderen Seite  $\sigma_v - \sigma_h$ ; somit ist das Mittel die in Frage kommende Spannung  $\sigma_v$ .

Die 21000 gemessenen Spannungen wurden in Tafeln eingetragen. Diese Spannungen wurden durch die Radlast dividiert und das Ergebnis mit den beiden oben erwähnten Verbesserungen versehen. Zur besseren Übersicht sind die Achsen des Belastungszuges in sechs Gruppen eingeteilt: Die Drehgestellachsen der Lokomotive, die Treibachsen, die Tenderachsen, die Achsen der gewöhnlichen Güterwagen und zwei Gruppen von Achsen des Drehgestellwagens, welche zwei Gruppen indessen besser zu einer hätten vereinigt werden können. Alle

sind deren drei gewählt worden, nämlich die Berechnung nach Zimmermann (Punkt-Strichlinie) und die nach Winkler (punktierete Linie), die die zwei Hauptrichtungen in dieser Angelegenheit vertreten und die Berechnung nach van Dijk (Kreuzlinie), die sich zwar auf die Zimmermannsche Annahme von nachgiebigen Stützen gründet, aber die die einzige bis daher bekannte Berechnung ist, die Rücksicht nimmt auf die Achsstände.

Wenn man die Ergebnisse der Berechnungen nach Winkler, Zimmermann und van Dijk mit denen der Messungen vergleicht, geht hervor, daß Zimmermann und van Dijk beide zu große Werte ergeben, daß aber van Dijk sehr gut die Änderung der Spannungen als Folge der verschiedenen Achsstände ausdrückt. Die Werte nach Winkler folgen diesen Änderungen nicht; sie stimmen aber im Mittel mit den gemessenen Werten überein.

Die Schlußfolgerungen, die man hieraus machen kann sind: Erstens, daß es erwünscht ist die Achsstände in der Berechnung zu berücksichtigen (van Dijk); zweitens, daß sich zu hohe Werte ergeben, wenn mit der Nachgiebigkeit der Stützen gerechnet wird (Zimmermann und van Dijk) und drittens, daß man im Mittel richtige Werte bekommt, wenn man eine Unterlageziffer nicht in der Berechnung einbezieht (Winkler).

Wenn man also bei einer Berechnung annimmt, daß die Schwellen sich nicht oder alle um ein gleiches Maß eindrücken, also keine Unterlageziffer in die Berechnung einführt und wenn man außerdem Rücksicht auf die Achsstände nimmt, bekommt man Werte, die sich am besten den beobachteten Spannungen anpassen. Auf diese Überlegung stützt sich die neue, jetzt zu entwickelnde Berechnung.

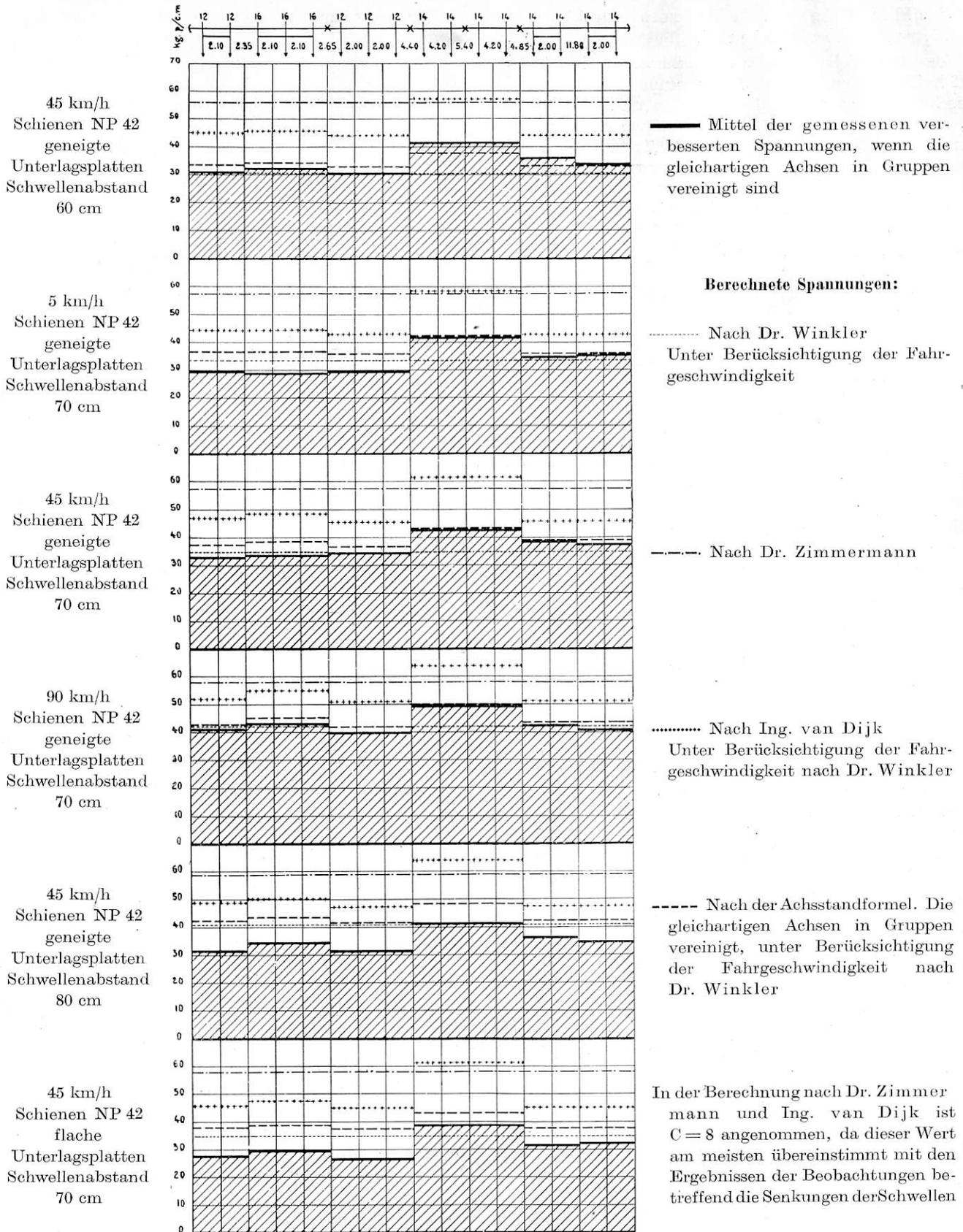


Abb. 13.

Bei jeder Berechnung des Oberbaues sind selbstverständlich vereinfachte Annahmen zu machen. So wird vorausgesetzt, daß alle Achslasten gleich groß sind. Aus der Einflußlinie des Momentes für einen Punkt in der Mitte zwischen zwei Schwellen ist ja deutlich zu ersehen, daß der Einfluß einer an dieser Stelle stehenden Achse weit überragend ist und der Einfluß der

benachbarten, einige Belastungsfelder weiter stehenden Achslasten nur sehr gering ist. Die Annahme gleich großer Achslasten kann also ohne Bedenken gemacht werden.

Weiter wurde — damit das Problem mathematisch lösbar ist — davon ausgegangen, daß der unendliche Träger mit einer unendlich langen Reihe von Lasten belastet ist. Der hierdurch

gemachte Fehler ist verschwindend klein, da der Einfluß der Achslasten, die die zweite und die weiter entfernten Stellen einnehmen, gerechnet von der Achse, unter der das Moment berechnet wird, vernachlässigt werden kann.

Zum Schlusse wurde angenommen, daß sich alle Achsen mitten zwischen den Schwellen befinden. Diese Annahme liegt weniger nahe; es wird aber weiter gezeigt werden, daß der sich aus dieser Annahme ergebende Fehler zulässig ist.

Damit die ungleichen Radstände in der Berechnung berücksichtigt werden, wurde mit einer Lastenreihe gerechnet, die abwechselnd einen Achsstand von  $m$  Mal und  $n$  Mal den Querschwellenabstand hat. In diesem Falle kommen die Lasten von selbst mitten zwischen die Querschwellen.

Wenn sich die Schwellen bei Belastung nicht oder alle um ein gleiches Maß senken, bleibt die Schiene nur mit den beiden Schwellen unmittelbar beiderseits der Lasten in Berührung (Abb. 14). Hierbei wird vom Einfluß des Eigengewichts des



Abb. 14.

Oberbaues abgesehen, eine Vereinfachung, die bei jeder Oberbauberechnung gemacht wird und die bei der jeder dieser Berechnung anhaftenden Annäherung zulässig ist, obwohl die Vernachlässigung nicht von so geringer Bedeutung ist, wie man oft meint.

Zu berechnen ist also der nach Abb. 15 belastete Träger; man hat es mit gleichen Lasten  $G$  bei wechselnden Achsständen

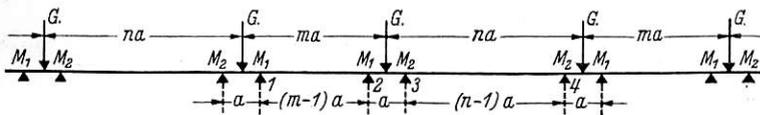


Abb. 15.

$ma$  und  $na$  zu tun, wobei  $a$  der Querschwellenabstand ist, und einer regelmäßigen Abwechslung der Feldlängen von  $a$ ,  $(m-1)a$ ,  $a$  und  $(n-1)a$ . Die Dreimomentengleichung gibt für die Stützpunkte 1, 2 und 3 und für die Punkte 2, 3 und 4:

$$(m-1)a M_1 + 2ma M_1 + a M_2 = -\frac{3}{8} G a^2$$

$$a M_1 + 2na M_2 + (n-1)a M_2 = -\frac{3}{8} G a^2$$

woraus sich errechnet:

$$M_2 = \frac{3m-2}{3n-2} M_1$$

und

$$M_1 = -\frac{3n-2}{8\{3mn-(m+n)\}} G a$$

und

$$M_2 = -\frac{3m-2}{8\{3mn-(m+n)\}} G a.$$

Für das Moment  $M_0$  unter der Last findet man hieraus:

$$M_0 = \frac{1}{4} G a - \frac{M_1 + M_2}{2} = \frac{12mn-7(m+n)+4}{16\{3mn-(m+n)\}} G a.$$

Wenn man  $m = \infty$  setzt, entsteht die Formel für das Moment unter der ersten oder letzten Last einer Belastungsreihe zu:

$$M_0 = \frac{12n-7}{16(3n-1)} G a.$$

Wie schon gesagt, liegt es weniger nahe anzunehmen, daß alle Lasten sich mitten zwischen den Schwellen befinden. Man muß sich also Rechenschaft geben, welcher Fehler durch diese vereinfachende Annahme entstehen kann. Der größte Unterschied mit der Annahme tritt auf, wenn jede zweite Last sich nicht in der Mitte zwischen zwei Querschwellen befindet, sondern gerade über einer Schwelle. Zu vergleichen sind also die beiden Belastungsfälle, die in Abb. 16 gezeichnet sind. Die Berechnungen sind durchgeführt für den Fall gleicher Achs-

stände; bei ungleichen Achsständen würde man kein wesentlich anderes Ergebnis bekommen:

Im ersten Fall findet man für das Moment unter der Last:

$$M_{01} = \frac{2n-1}{8n} G a,$$

im zweiten Fall für das Moment unter der Last, die zwischen den Querschwellen steht:

$$M_{02} = \frac{2n+1}{4(2n+3)} G a.$$

Der Unterschied ist:

$$M_{01} - M_{02} = \frac{2n-3}{8n(2n+3)} G a.$$

Dieser Unterschied ist, wie eine einfache Differentiation zeigt, am größten für  $n = 3,62$ ; in diesem Falle ist  $M_{01} = 0,216 G a$  und  $M_{01} - M_{02} = 0,0143 G a$ , das ist 6,6% von  $M_{01}$ , ein Unterschied, der für eine Oberbauberechnung ohne weiteres vernachlässigt werden kann. Außerdem führt die Annahme zu den größeren Momenten, sie ist also auf der sicheren Seite.

Der Einfluß der Geschwindigkeit wurde erörtert, indem die gemessenen Spannungen bei verschiedenen Geschwindigkeiten aber unter sonst gleichen Verhältnissen verglichen wurden. Auf diese Weise ist man zu einer rein praktischen Formel des Geschwindigkeitsbeiwertes gekommen:

$$1 + \frac{v^2}{30000},$$

worin  $v$  in km/h auszudrücken ist. Bei einer Geschwindigkeit von 90 km/h ist der Beiwert 1,27; bei einer Geschwindigkeit von 100 km/h ist er 1,33.

Die nach der hier entwickelten Berechnung festgestellten Werte sind in der Abb. 13 eingetragen (stark ausgezogene Strichlinie). Aus der Abbildung geht hervor, daß die berechneten Werte den gemessenen Spannungen auf befriedigende Weise nahekommen.

Zur Berechnung eines Schienenprofils oder zur Beurteilung, ob eine gewisse Belastung mit Rücksicht auf die Schienen zugelassen werden kann, muß noch die zulässige Spannung bestimmt werden. Wie groß diese Spannung sein darf, hängt von der Berechnungsweise ab. Daß eine solche Abhängigkeit besteht, braucht nicht zu wundern, da ja schon festgestellt wurde, daß bei der Berechnungsweise nach Zimmermann und

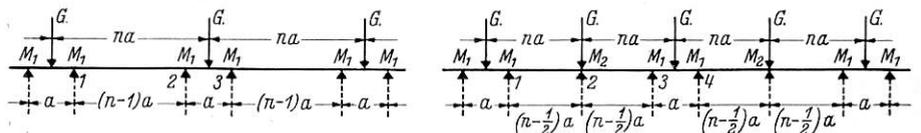


Abb. 16.

van Dijk höhere Spannungen gefunden werden, wie bei der Berechnung nach Winkler. Auch in anderen Fällen, z. B. bei Brückenberechnungen ist die zulässige Spannung höher zu nehmen, wenn der Winddruck oder die Zusatzkräfte in der Berechnung berücksichtigt werden, als wenn dies nicht geschieht. Es muß also festgestellt und ausdrücklich betont werden, daß eine bestimmte zulässige Spannung nur für eine gegebene Formel Geltung hat, d. h. daß eine zulässige Beanspruchung nur zu einer bestimmten Rechnungsweise gehört.

Es fragt sich nun, wie hoch die zulässige Spannung bei der oben entwickelten Berechnungsweise sein soll. Auf die elastischen Eigenschaften des Werkstoffes kann man sich nicht beziehen; man muß hier den Weg der Erfahrung betreten. Die Berechnungsweise soll also in Beziehung zu den Erfahrungsergebnissen gebracht werden. Dabei ist man auf folgenden Weg verfahren: Die verschiedenen Verwaltungen des Vereins wurden befragt, welche ihrer Oberbauarten an der Grenze der

Tragfähigkeit waren und welche Belastungen und Geschwindigkeiten darauf zugelassen werden. Auf alle diese Oberbauarten wurde die oben entwickelte Berechnungsweise angewendet. Die Ergebnisse wurden untereinander verglichen, wobei sich ergab, daß die Streuung in den berechneten Spannungen, die also an der oberen Grenze liegen, nicht groß war und daß festgestellt werden konnte, daß bei der Grenze der Tragfähigkeit des Oberbaues die nach den neuen Formeln errechneten Spannungen bei abgenutzten Profilen zwischen 1500 und 1600 kg lagen. Da es aber viel bequemer ist mit den Widerstandsmomenten der neuen Profile zu rechnen und sich ergeben hat, daß im allgemeinen das Widerstandsmoment der ausgebauten Schienen 10% kleiner ist als das der neuen, kann die zulässige Beanspruchung bezogen auf neue Profile auf 1350 bis 1450 kg/cm<sup>2</sup> festgestellt werden.

Daß zwei Werte für die zulässige Beanspruchung genannt werden, geht hervor aus der Überlegung, daß man bei Nachrechnung eines Gleises für regelmäßig verkehrender Belastungen eine kleinere Spannung zulassen muß, als für den Fall, daß eine Belastung nur dann und wann verkehrt. Die zulässige Belastung von 1500 kg gilt also für den regelmäßigen Gebrauch; ausnahmsweise kann man höher gehen, bis zu 1600 kg. Beim Entwerfen eines neuen Oberbaues soll selbstverständlich eine niedrigere zulässige Spannung gewählt werden; sie wurde auf 1100 kg/cm<sup>2</sup> festgesetzt. Berechnungen haben gelehrt, daß die oben genannten Werte den praktischen Anforderungen genügen.

Ein sehr wichtiger Faktor in bezug auf die Kosten der Unterhaltung der Gleise ist der zulässige Schwellendruck; je geringer dieser ist, desto billiger wird die Unterhaltung sein. Bei einer Berechnungsweise mit einer Unterlageziffer kommt ein größter Druck je cm<sup>2</sup> der Schwelle auf das Schotterbett heraus; bei der hier entwickelten, neuen Berechnungsweise ist das nicht der Fall. Zur Feststellung des zulässigen Schwellendruckes ist man einen einfachen, praktischen Weg gegangen, auf dem man zu der gewünschten Beziehung zwischen Belastung und Schwellendruck kommt. Man kann, ebenso gut wie man bei einer Berechnung unter Zuziehung einer Unterlageziffer einen gewissen Druck je cm<sup>2</sup> auf das Schotterbett zuläßt, einen bestimmten Druck für die ganze Schwelle zulassen, da ja bei den Hauptbahnen die Abmessungen der Querschwellen nahezu immer dieselben sind. Die weiter zu gebenden Zahlen sind also nicht gültig für Schmalspurbahnen; für diese kann man aber auf demselben Weg die entsprechenden Werte feststellen. Nennen wir  $G$  den Achsdruck,  $d$  den Achsstand und  $a$  die Querschwellenentfernung; das Gewicht zweier aufeinander folgenden Achsen wird getragen von  $d/a = n$  Querschwellen, da sich ja in der Achsstandsänge  $d$  eine Anzahl von  $\frac{d}{a}$  Schwellen befindet. Deshalb kommt auf jede Schwelle ein Druck  $\frac{G}{n} = \frac{G a}{d}$ . Hat man es mit einem Lastenzug zu tun, dann muß man bestimmen, unter welchen Achsen der Wert  $\frac{G a}{d}$  am größten ist, wobei, wenn die zwei aufeinander folgenden Achsen ungleich sind, der Mittelwert aus beiden genommen wird.

Zur Feststellung des zulässigen Schwellendruckes wurde gleichfalls eine Umfrage an die Vereinsverwaltungen gerichtet. Aus dieser Umfrage hat sich ein zulässiger Schwellendruck von 13000 kg ergeben; für einen neu zu entwerfenden Oberbau wurde dieser auf 10000 kg angesetzt. Die errechneten Schwellendrucke müssen mit dem Geschwindigkeitsbeiwert multipliziert werden.

Auf Grund der oben erwähnten Berechnungen und Betrachtungen lautet der Beschluß des Technischen Ausschusses in Münster:

1. Es wird den Vereinsverwaltungen empfohlen, bei Berechnung des Oberbaues folgende Formeln anzuwenden:

a) für Zwischenachsen:

$$M = \frac{12 m \cdot n - 7 (m + n) + 4}{16 \{3 m \cdot n - (m + n)\}} G \cdot a$$

$$\sigma_2 = \frac{12 m \cdot n - 7 (m + n) + 4}{16 \{3 m \cdot n - (m + n)\}} \frac{G \cdot a}{W}$$

b) für Endachsen

$$M = \frac{12 n - 7}{16 (3 n - 1)} G \cdot a$$

$$\sigma_e = \frac{12 n - 7}{16 (3 n - 1)} \frac{G \cdot a}{W}$$

In den Formeln bedeuten:

$M$  = das Biegemoment in kg/cm

$\sigma$  = die größte Spannung in kg/cm<sup>2</sup>

$m$  und  $n$  = das Verhältnis der Achsstände beiderseits der betreffenden Last zum Schwellenabstand

$G$  = die Radlast (ha be Achslast) in kg

$a$  = den Schwellenabstand in cm

$W$  = das Widerstandsmoment des Schienenquerschnitts in cm<sup>3</sup>.

c) Die nach a) oder b) gefundenen Werte sind mit dem Geschwindigkeitsbeiwert  $k_v = 1 + \frac{v^2}{30000}$  zu multiplizieren, wobei  $v$  die Fahrgeschwindigkeit in km/h bedeutet.

2. Es wird empfohlen, als höchstzulässige Beanspruchung der Schienen anzunehmen:

a) bei bestehenden Gleisen (abgenutzte Schienen) unter Berücksichtigung der Fahrgeschwindigkeit 1500 bis 1600 kg/cm<sup>2</sup>.

b) beim Entwurf eines neuen Oberbaues unter Berücksichtigung der Fahrgeschwindigkeit 1100 kg/cm<sup>2</sup>.

3. Es wird empfohlen, den größten Schwellendruck wie folgt zu bestimmen:

Wenn  $G$  der mittlere Achsdruck zweier benachbarter Achsen in kg ist,  $d$  deren Achsstand in cm,  $a$  der Schwellenabstand in cm und  $n = \frac{d}{a}$ , so ist der größte Schwellendruck für das jeweils in Betracht kommende Fahrzeug der GrößtWert von  $\frac{G}{n}$  in kg.

Dieser Wert ist zu multiplizieren mit dem unter 1 c) angegebenen Geschwindigkeitsbeiwert.

4. Es wird empfohlen, als höchstzulässigen Schwellendruck anzunehmen:

a) bei bestehenden Gleisen unter Berücksichtigung der Fahrgeschwindigkeit 13000 kg.

b) beim Entwurf eines neuen Oberbaues unter Berücksichtigung der Fahrgeschwindigkeit 10000 kg.

Mit Hilfe der zeichnerischen Darstellung (Taf. 15) ist es sehr einfach, den Wert der Funktion von  $m$  und  $n$  zu ermitteln. Ist z. B. bei einem Schwellenabstand von 70 cm der Achsstand an der einen Seite 4,60 m, an der anderen Seite 3,50 m, so ist  $m = 6,6$  und  $n = 5,0$ . In der Darstellung findet man, wenn man die Ordinate von 6,6 nach oben bis an die krumme Linie verfolgt, wo 5,0 angeschrieben ist, rechts und links in der Waagerechten durch den Schnittpunkt  $F$  ( $m, n$ ) = 0,228. Die Funktion ( $n$ ) für die Endachsen kann natürlich ähnlich dargestellt werden. An dieser Stelle sei bemerkt, daß das eigenartige der Berechnungsweise ist, daß der Beiwert niemals größer als 0,25 sein kann, welcher Wert bei Belastung durch eine Achse auftritt.

Ausdrücklich sei nochmals betont, daß die gegebenen Zahlen — wie immer bei dergleichen Berechnungen — nur

Vergleichswert haben und nur für diese Berechnung dienen können.

Außer den Spannungsmessungen wurden zu gleicher Zeit auch mit einer ziemlich primitiven Einrichtung, die hier nicht beschrieben werden soll, einige Beobachtungen zur Feststellung der Unterlageziffer gemacht. Die Ergebnisse dieser Beobachtungen zeigten, daß die bis jetzt üblichen Werte für die Unterlageziffer viel zu niedrig gegriffen sind und daß an erster Stelle nicht die Bettung, sondern der Untergrund den größten Einfluß auf den Wert der Unterlageziffer ausübt.

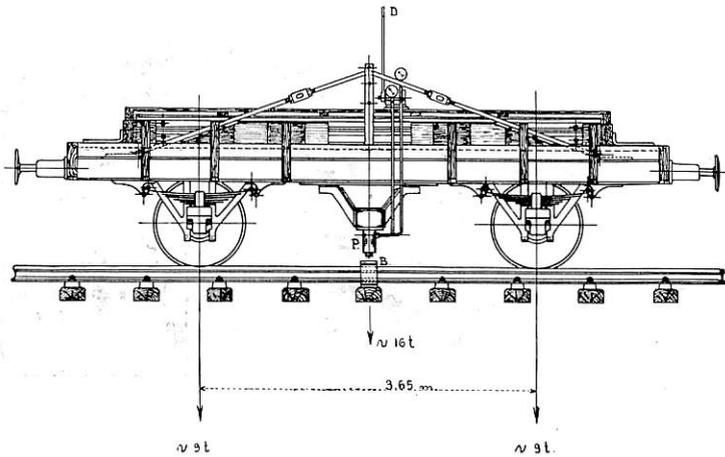


Abb. 17.

Wenn dies tatsächlich der Fall ist, so ist es unmöglich für einen bestimmten Oberbau (Schienen, Schwellen und Schotterbett) eine Berechnung auf Grund einer Unterlageziffer zu machen, ja das kann nicht einmal für den Oberbau auf einer bestimmten Strecke geschehen, da die Beschaffenheit des Untergrundes sich auf die Länge der Strecke ändern kann und sich an vielen Stellen auch tatsächlich ändert, so daß man unter Umständen für jeden Kilometer andere rechnungsmäßige Spannungen bekommen würde.

Die Zahl der Beobachtungen zur Feststellung der Unterlageziffer war jedoch zu gering, um einen so weitgehenden Schluß zu ziehen. Daher kommt es, daß der Technische Ausschuß in Münster den Beschluß faßte, wie er am Anfang dieses Aufsatzes angeführt wurde.

Die weitere Aufgabe war also, so genau wie möglich unter verschiedenen Verhältnissen und bei verschiedenen Verwaltungen festzustellen, wie groß die Eindrückung einer Querschwellen unter einer bestimmten Belastung ist. Von vornherein wurde festgestellt, daß die Beobachtungen vorgenommen werden sollten an Schwellen, wie sie im Gleise lagen, also ohne jede Vorbereitung und daß die Belastung mit der im Betrieb üblichen übereinstimmen sollte.

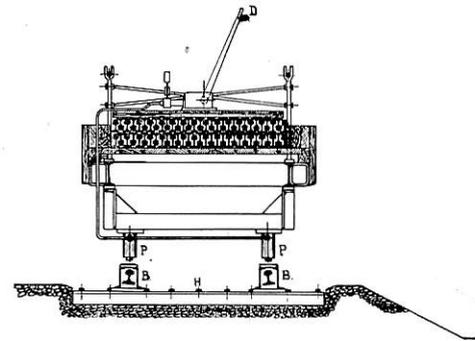
Für die Beobachtungen wurde ein für den gewöhnlichen Betrieb nicht mehr brauchbarer, aber noch mit guten Radsätzen versehener Güterwagen zum Belastungswagen umgebaut (Abb. 17 und 18). Der Wagen ist mit Schienen in vier Schichten beladen. Auf den Schichten ist ein Holzboden verlegt zur Aufstellung einer Druckpumpe D, deren Leitungen zu zwei hydraulischen Pressen P führen, von denen je eine unter der Mitte der Längsträger des Wagens angebracht ist. In der Nähe der Pumpe befindet sich in jeder Druckleitung ein Manometer um beobachten zu können, ob die beiden hydraulischen Pressen gleichmäßig arbeiten.

Das Gewicht des Wagens wurde auf einer genauen Gleiswaage zu 17995 kg festgestellt. Hierzu ist das Gewicht des Mannes, der die Druckpumpe bedient, mit etwa 80 kg zuzurechnen und das Gewicht der Achse mit Rädern und Achsbüchsen, das auf einer Dezimalwaage mit 1960 kg festgestellt

wurde, abziehen. Das auf einer Schwelle lastende Gewicht beträgt also  $17995 + 80 - 1960 = 16115$  kg.

Zur Vorbereitung der Messungen waren folgende Arbeiten erforderlich:

Nachdem die Unterlegplatten oder Gußstühle von der zu messenden, in ihrer ursprünglichen Lage verbleibenden Schwelle entfernt sind, werden auf die Schwelle schwere Bügel B (Abb. 17) gestellt, die die Schiene auch bei Senkung der Schwelle nicht berühren. In die Oberfläche der Holzschwelle werden neun Holzschrauben H (Abb. 19) eingedreht, deren flach gefeilter



Kopf Körner hat, die als Meßpunkte dienen. Bei Eisenschwellen wird die Markierung der Meßpunkte auf der Schwellendecke selbst angebracht.

Beiderseits des Gleises werden nach Abb. 19 zwei etwa 1,80 m lange Eisenpfähle in den Boden gerammt; über das aus dem Boden herausragende Ende eines jeden Pfahles wird ein Lager L geschoben (siehe auch Abb. 20), das mit zwei Schrauben am Pfahl festgeklemmt werden kann. Zwischen den

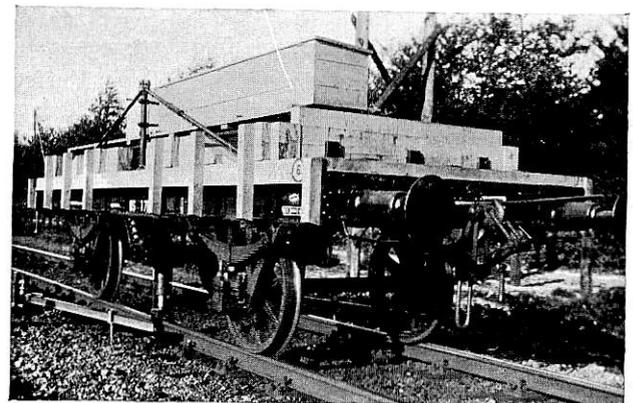


Abb. 18.

Lagerstellen ist eine Mikrometerschraube M eingeschaltet, die mit einer schneidenförmig ausgebildeten Stütze für das eine Ende des aus einem Doppel-T-Eisen gebildeten Lineals T verbunden ist. Das andere Ende des Lineals wird durch einen auf dem Lineal verschiebbaren Stahlstift S unterstützt. Dieser Stift wird bei den Messungen auf die Holzschraube H oder bei Eisenschwellen auf die gezeichneten Meßstellen aufgesetzt. Das Lineal wird mit einer sehr empfindlichen Wasserwaage mittels der Mikrometerschraube M waagrecht eingestellt. Die Mikrometerschraube hat 2 mm Ganghöhe, der Kopf ist in 20 Teile geteilt, so daß ein Teilstrich einer lotrechten Verschiebung von  $\frac{1}{10}$  mm entspricht. Da auf den zehnten Teil

der Teilstriche genau geschätzt werden kann, ist eine Ablesung bis  $\frac{1}{100}$  mm möglich.

Zur Durchführung der Messung wird der stählerne Stift der Reihe nach auf die verschiedenen Meßpunkte H der Schwelle gestellt. Mit dem Lineal auf der einen Seite des Gleises werden die Punkte 1 bis 5, mit dem Lineal auf der anderen Seite die Punkte 5 bis 9 gemessen. Punkt 5 wird also von beiden Seiten aus bestimmt, was eine sehr erwünschte Kontrolle ergibt.

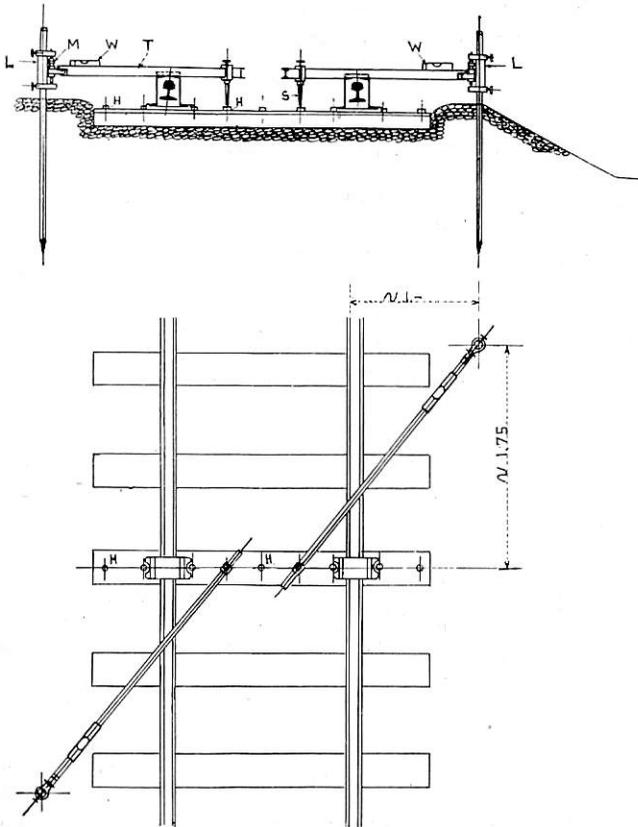


Abb. 19.

Bei der Messung selbst wird, wie folgt, vorgegangen:

Zuerst wird, während der Wagen in größerer Entfernung steht, bei der unbelasteten Schwelle die genaue Höhenlage der neun Meßpunkte in bezug auf die Festpunkte an den eisernen Pfählen bestimmt. Zu diesem Zweck werden die Stahlspitzen auf jeden der Meßpunkte der Schwelle gestellt und die Mikrometerstellung bei Einspielen der Wasserwaage abgelesen. Gleichzeitig wird die Höhenlage der Festpunkte an den Pfählen mit einem Nivellierinstrument abgelesen. Dann wird der Wagen bis über die zu messende Schwelle gefahren, bis die Stempel des Wagens sich über den auf die Schwelle gestellten Bügeln befinden. Mit der Druckpumpe werden dann die hydraulischen Pressen in Tätigkeit gesetzt, wodurch der ganze Wagen allmählich angehoben wird. Die Tragfedern heben sich von den Achsbüchsen ab, so daß das ganze Wagengewicht mit Ausnahme der Räder, Achsen und Achsbüchsen von der Schwelle getragen wird. Alsdann wird für jeden Meßpunkt wieder die genaue Höhenlage in bezug auf die Festpunkte festgestellt und ebenfalls die Höhenlage der Festpunkte mit dem Nivellierinstrument. Alsdann werden die Bügel durch Senkung des Wagens entlastet, dieser wird weggefahren. Dann wird wie bei der ersten Ablesung die Höhenlage der neun Meßpunkte und der zwei Festpunkte zum dritten Male abgelesen. Die Unterschiede der zweiten und der dritten Ablesung der Höhenlage der neun Meßpunkte der Schwelle, wenn nötig vermehrt

um den zu gleicher Zeit gemessenen Höhenunterschied der Festpunkte, geben die lotrechten Verschiebungen der Oberkante der Schwelle bei der Gesamtlast an, die, wenn beide Manometer während des Druckes gleiche Werte gezeigt haben, als gleichmäßig auf die beiden Stützpunkte verteilt angesehen werden kann. Die Unterschiede der ersten und der zweiten Ablesung wurden als Kontrolle benutzt.

Die nachstehende Zahlentafel mit den zugehörigen Abb. 21 und 22 zeigen ein Beispiel, auf welche Weise für jede gemessene

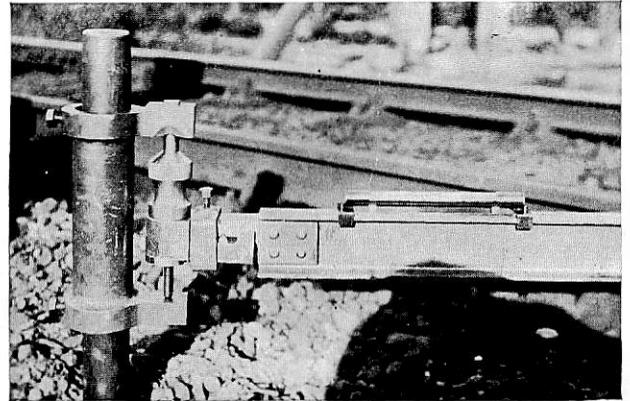


Abb. 20.

Schwelle die Beobachtungen eingetragen wurden; V und V<sub>1</sub> sind die Festpunkte (Pfähle). Nebenbei sei bemerkt, daß, obwohl das Schotterbett nur aus Kies besteht, eine Untergrundziffer von nicht weniger als 14,7 gefunden wurde, welcher

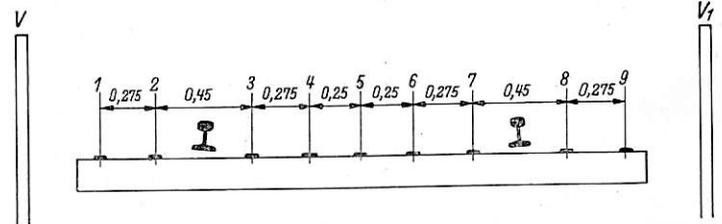
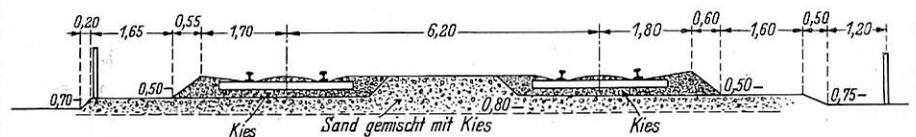


Abb. 21.

hohe Wert zweifellos dem Einfluß des sehr guten Untergrundes zuzuschreiben ist.

An jeder Stelle wurde, jedesmal mit einer andern Schwelle,



Strecke: Amersfoort—Zwolle  
 Bahnhof Ermelo-Veldwijk  
 Oberbau mit Stuhlplatten  
 Kiefern-Schwellen  
 Schotterbett: Kies  
 Untergrund: Fester Sand

Abb. 22.

wenn möglich sechs, meistens vier und nur selten zwei oder eine Beobachtung gemacht. Im ganzen sind, sowohl auf holländischen, wie auch auf deutschen und schweizerischen Strecken, an 104 verschiedenen Stellen 385 Messungen durchgeführt. Da diese Messungen sehr viel Zeit und Geldaufwand forderten und nicht erwartet werden konnte, daß eine Fortsetzung der Beobachtungen einen besseren Einblick in diesen Gegenstand geben würde, wurde beschlossen, die Messungen mit der Zahl von 385 abzuschließen.

Bei den Messungen zeigten die verschiedenen Oberbauformen und Schwellenarten, sowie das Alter des Oberbaues und die Zeit der letzten Durcharbeitung keine gesetzmäßigen Verschiedenheiten in der Einsenkentiefe der Schwellen. Ebenso

Ab- meß- und Trag- fläche		Meßpunkt										Mittlere Ein- drückung in mm	V	V <sub>1</sub>	Mittlere Ein- senkung V und V <sub>1</sub>	Mittlere Gesamt- ein- drückung	Belastung in kg/cm <sup>2</sup>	Berechnete Untergrund- ziffer
		1	2	3	4	5	5	6	7	8	9							
2,72 × 0,26 × 0,16 <sup>b</sup> Kieferschwellen	Unbelastet	24 <sup>77</sup>	27 <sup>94</sup>	33 <sup>34</sup>	29 <sup>97</sup>	31 <sup>90</sup>	22 <sup>42</sup>	23 <sup>26</sup>	24 <sup>12</sup>	21 <sup>90</sup>	22 <sup>93</sup>	15,35 : 9 = = 1,70			0,20	1,90	16115 : 5772 = 279	1000 × 2,79 = 190 = 14,7
	Belastet	25 <sup>71</sup>	29 <sup>98</sup>	36 <sup>0</sup>	32 <sup>04</sup>	33 <sup>64</sup>	24 <sup>14</sup>	24 <sup>91</sup>	26 <sup>14</sup>	23 <sup>74</sup>	23 <sup>81</sup>							
	Unbelastet	24 <sup>81</sup>	28 <sup>00</sup>	33 <sup>31</sup>	30 <sup>09</sup>	32 <sup>0</sup>	22 <sup>46</sup>	23 <sup>36</sup>	24 <sup>10</sup>	21 <sup>97</sup>	23 <sup>0</sup>							
	Unter- schied	0,90	1,98	2,69	1,95	1,64 1,68 1,66	1,55	2,04	1,77	0,81	0,1 0,3							

wurde festgestellt, daß auch die Art der Bettung nicht von entscheidendem Einfluß auf die Nachgiebigkeit der Stützen ist. So liegt die auf Grund der Messungen errechnete Unterlageziffer  $C = \frac{P}{y}$

bei gewalzter Steinschlagbettung zwischen 5,68 und 45,2  
 „ gestampfter „ „ „ 7,69 „ 55,4  
 „ geschütteter „ „ „ 6,00 „ 32,8  
 „ Kiesbettung „ „ „ 7,90 „ 22,0

Auch kann die Unterlageziffer nicht in eine Abhängigkeit von der Form des Bahnkörpers gebracht werden. Sie schwankt bei den Bahnkörpern

in Geländehöhe zwischen 8,0 und 32,8  
 im Einschnitt zwischen 6,0 „ 55,4  
 und auf Damm zwischen 5,68 „ 37,2

selbst bei gleicher Höhe des Dammes.

Aus der großen Zahl der Messungen geht hervor, daß für die Größe der Unterlageziffer von ausschlaggebender Bedeutung die Art des Untergrundes, d. h. die Bodenart und der Feuchtigkeitsgehalt des Untergrundes ist und daß von einer guten oder schlechten Entwässerung die Einsenkung des Gleisgestänges wesentlich abhängt. Doch läßt sich auch für die Beschaffenheit des Untergrundes eine Gesetzmäßigkeit oder Regel nicht aufstellen.

Setzt man die auf Grund der Einsenkungsmessungen bei gleicher Bettung für die Bettungsziffer C errechneten Werte, z. B. 5, 10, 15, 20, 40, 60 in die Zimmermannsche Formel für den Oberbau mit Reichsbahnschiene S 49

bei  $G = 12500$  kg Raddruck,  
 $a = 65$  cm Schwellenabstand,  
 $b = 26$  cm Schwellenbreite,  
 $u = 50$  cm Überstand,  
 $E = 2200000$  kg/cm<sup>2</sup>,  
 $I = 1781$  cm<sup>4</sup>,  
 $W = 234$  cm<sup>3</sup>

ein, so erhält man die in nachstehender Tabelle errechneten Spannungswerte.

C	B	D	m	kg/cm <sup>2</sup>
5	85 605	13 000	333 586	1426
10	85 605	26 000	292 238	1249
15	85 605	39 000	265 641	1135
20	85 605	52 000	247 032	1056
40	85 605	104 000	207 595	887
60	85 605	156 000	189 717	811

Man könnte danach, wenn man nur die Bettung und nicht auch den Unterbau berücksichtigt, jeden für die gleiche Bettungsart gefundenen C in die Berechnung einsetzen und würde, je nachdem man eine höhere oder eine niedrigere Ziffer annimmt, nach Belieben eine niedrigere oder höhere Spannung

der Schiene errechnen können. Andererseits kann man aber unmöglich auf die verschiedenen Untergrundverhältnisse, von denen in erster Linie die verschiedenen Einsenkungsziffern abhängen, Bedacht nehmen, da man bei der Aufstellung der Rechnung nicht weiß, ob der Oberbau später auf einen starren oder nachgiebigeren Bahnkörper verlegt werden wird, während man bei Prüfung einer bestimmten Strecke für eine gewisse Belastung in Unsicherheit schwebt, wie die Beschaffenheit des Untergrundes ist und man nicht weiß, mit welcher Unterlageziffer zu rechnen sei. Es liegt also im allgemeinen an sich schon eine große Unsicherheit darin, daß man keine bestimmte Unterlagen dafür hat, welchen Wert der Ziffer man zweckmäßig in die Formel einsetzen soll.

Da festgestellt wurde, daß die Art des Untergrundes von ausschlaggebender Bedeutung für die Größe der Unterlageziffer ist, lag es nahe zu untersuchen, welcher Art diese Abhängigkeit zwischen Untergrund und Unterlageziffer ist und ob es nicht richtig wäre einen Teil der für die verschiedenen Unterbauarten gefundenen Unterlagezahlen als nicht ausschlaggebend auszuschalten.

Die Oberbauberechnung, bei der mit einer Unterlageziffer gerechnet wird, stützt sich, wie bereits erwähnt, auf die Annahme, daß die Bettung und der Untergrund in der Weise elastisch sind, daß die Größe der Eindrückung eines bestimmten Punktes einer Schienenunterlage in die Bettung dem Drucke proportional ist, also

$$p = C y \text{ ist.}$$

Zimmermann sagt in seiner Abhandlung im Handbuch der Ingenieurwissenschaften, zweite Auflage, 5. Teil, Band II, Seite 7:

„Es liegt nun nahe, das, was für den ganzen Bereich einer starren Fläche als zulässig erkannt ist, auf die einzelnen Teile einer biegsamen Fläche auszudehnen, also anzunehmen, daß bei einer solchen in jedem Punkte der Druck p auf die Flächeneinheit der Senkung y dieses Punktes proportional sei.“

Die Berechnung einer Schwelle als eines elastisch gelagerten Stabes von endlicher Länge mit zwei gleichen und gleichweit von der Mitte entfernten Lasten (Querschwellen) und auch die des Stabes auf elastischen Einzelstützen mit gleichen Mittelfeldern (Schiene auf Querschwellen) ist auf obengenannten Gedanken gegründet.

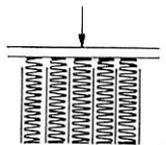


Abb. 23.

Dabei wurde angenommen, daß die Einsenkung einer kleinen Teilfläche der durch die belastete Schwelle gedrückten Bettungsoberfläche praktisch nicht von der Wirkung anderer, nebenan angreifenden Lasten beeinflusst wird, daß also die Senkung eines Bodenzylinders, wie bei nebeneinanderstehenden Federn, ohne Reibung stattfindet (Abb. 23).

Diese Annahme entspricht sehr oft nicht der Wirklichkeit. Die zwei in Abb. 24 gezeichneten Fälle geben die Annahme und die Wirklichkeit schematisch wieder. Eine Schiene ist

an einer Stelle belastet; die Schwellen werden durch Federn ersetzt gedacht. Im ersten Fall, wo der Untergrund starr

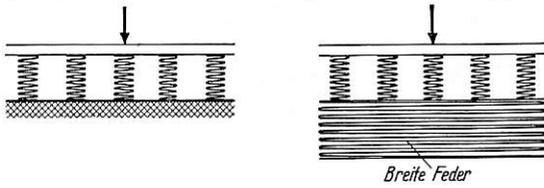


Abb. 24.

gedacht ist, erleiden die neben der Last liegenden oberen Punkte der Federn eine Senkung nur durch die Starrheit der Schiene,

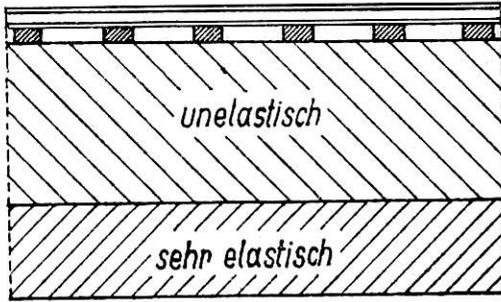


Abb. 25.

Im zweiten Falle aber, wo der elastische Untergrund durch eine breite Feder dargestellt ist, wird auch diese Feder, und zwar ungleichmäßig, eingedrückt, so daß also die oberen Punkte der kleinen Federn ihre Senkung nicht allein durch die Starrheit der Schiene erhalten, sondern auch durch die Eindrückung der breiten Feder.

Wendet man diese theoretischen Betrachtungen auf die Wirklichkeit an, so ist es einleuchtend, daß bei einer Bodenbeschaffenheit, wie sie in Abb. 25 dargestellt ist, die auf Grund der gemessenen Eindrückung berechnete Unterlageziffer ebenso groß sein kann, wie bei der in Abb. 26 dargestellten; aber bei der ersten wird eine auf einen Stützpunkt wirkende Last auf eine größere Entfernung die Höhenlage anderer in der Nähe gelegenen Stützpunkte beeinflussen als bei der zweiten.

Es sind nun einige Versuche angestellt worden um festzustellen, ob diese Betrachtungen ihre Bestätigung in der Praxis finden. Von diesen Versuchen sollen hier einige, die in ihren Ergebnissen kennzeichnend sind, angeführt werden.

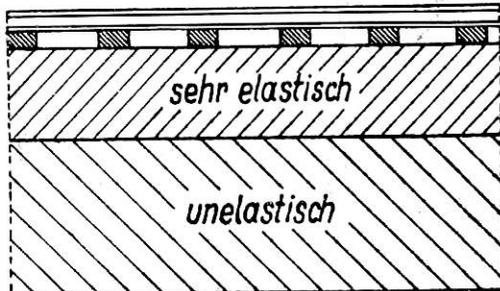


Abb. 26.

Bei einem dieser Versuche (Abb. 27) wurde die Höhenlage der Punkte 1 und 9 der Schwelle X mit Hilfe der Lineale mit der Wasserwaage und außerdem die der übereinstimmenden Punkte A und B der benachbarten Schwellen in bezug auf die beiden Festpunkte V und V<sub>1</sub> (Pfähle) festgelegt, und zwar zuerst bei unbelastetem Gleis. Alsdann wurde der Wagen mit der Mitte über der Schwelle X aufgestellt, die Gußstühle wurden

von den Schwellen A, B und X fortgenommen, so daß gar keine Berührung mehr zwischen diesen Schwellen und den Schienen bestand; alsdann wurde zum zweiten Male abgelesen. Die dritte Ablesung geschah, nachdem das Gewicht des Wagens mittels der Stempel auf der Schwelle X übertragen war.

Die Höhenlage der Pfähle V und V<sub>1</sub> wurde bei jeder Messung (also ebenfalls dreimal) mit dem Nivellierinstrument abgelesen; die Einsenkung der Pfähle beim Heranführen des Wagens betrug 1,70 mm, ihre Hebung beim Übertragen des Gewichtes auf die Tragbügel über der Schwelle war unmeßbar klein.

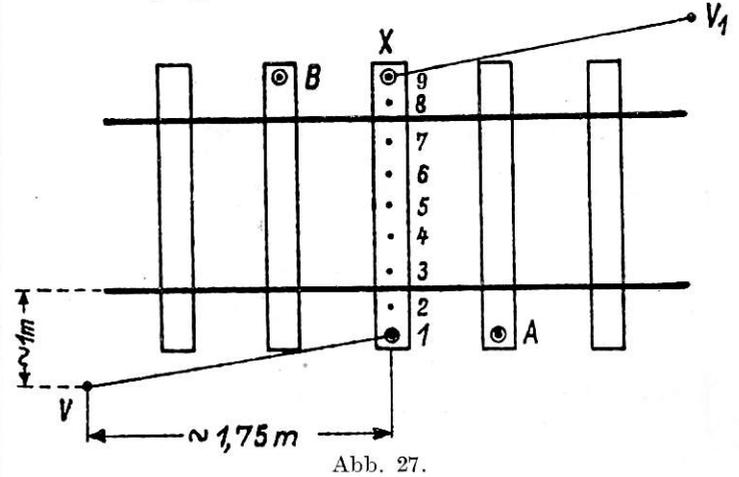


Abb. 27.

Abgelesen wurde:

	Bei unbesetztem Gleis	Bei Aufstellen des Wagens über der Schwelle X	Senkung mm	Nach Übertragung des Gewichtes	Senkung mm
Punkt 1	6,36	6,42	0,06 + 1,70 = 1,76	7,20	0,84 + 1,70 = 2,54
„ 9	17,52	17,65	0,13 + 1,70 = 1,83	18,65	0,93 + 1,70 = 2,63
„ A	3,62	4,34	0,72 + 1,70 = 2,42	4,36	0,74 + 1,70 = 2,44
„ B	23,81	24,21	0,40 + 1,70 = 2,10	24,24	0,43 + 1,70 = 2,13

Bei einem anderen Versuch (Abb. 28) wurde die Höhenlage der Punkte 1—2—3—4—5 von den Schwellen A—B—C—D—E und die des Pfahles V (einer der Festpunkte zur Bestimmung der Senkungen der üblichen neun Meßpunkte der Schwelle A) bei unbelastetem Gleis bestimmt, in bezug auf einen Pfahl a, dessen Senkung mit einem Nivellierinstrument abgelesen wurde. Alsdann wurde der Wagen angefahren, die Schwelle A in der üblichen Weise mit Hilfe der Bügel belastet, nachdem auch die Schwellen B—C—D—E ganz von den Schienen gelöst waren, und wieder die Höhenlage der Punkte 1 bis 5 bestimmt in bezug auf den Pfahl a. Die Beobachtungen sind (in mm):

	Ablesung in bezug auf Pfahl a						Senkung Pfahl a (Nivellierinstrum.)
	1	2	3	4	5	V	
Gleis unbesetzt . . .	7,39	14,68	7,43	2,53	3,03	31,40	0
Wagengewicht auf Schwelle A . . . .	8,89	15,86	8,19	2,95	3,36	32,05	0,80
Unterschied . . . .	1,50	1,18	0,76	0,42	0,33	0,65	0,80

In Abb. 29 sind diese Schwellensenkungen zeichnerisch dargestellt.

Diese Versuche, die beide in einem Gleis mit sehr schlechtem, aber in Wirklichkeit häufig vorkommenden Untergrund

ausgeführt wurden, zeigen deutlich, daß sich nicht nur die mit den Stempeln des Wagens belasteten, sondern auch die benachbarten, gänzlich von den Schienen gelösten Schwellen, ja sogar die Festpunkte (Pfähle), die mit dem Gleis in keinerlei Beziehung stehen, lediglich durch Einfluß des Untergrundes senken.

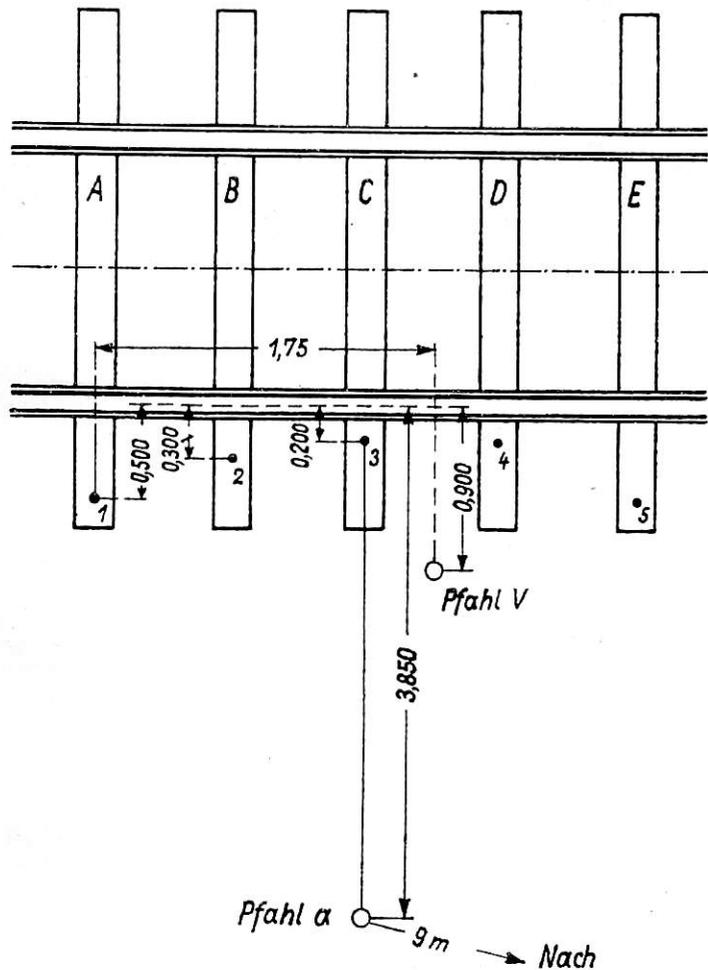


Abb. 28.

Nun ist für die Berechnung der Spannungen in den Schienen nicht die absolute Senkung der Schwellen maßgebend, aber selbstverständlich die Form der elastischen Linie, d. h. die relative Senkung benachbarter Schwellen. Man kann einer solchen Berechnung jedoch nicht eine Unterlageziffer zugrundelegen, die aus der auf einen in der Höhe unverrückbaren Punkt bezogenen Einsenkung der belasteten Schwelle errechnet wurde, sondern man muß auch Rücksicht nehmen auf die Senkung der benachbarten Schwellen infolge der Zusammendrückung des Untergrundes. Man könnte sich vorstellen, daß der Untergrund so schlecht ist, daß die benachbarten Schwellen sich ebensoviel senkten wie die belastete, ohne daß die Schiene hierbei kraftvermittelnd mitwirkt; es würde dann ein Zustand eintreten, der für die Schienen gleich einer starren Auflagerung betrachtet werden könnte, da es für die Spannung der Schiene an sich gleichgültig ist, ob die Schwellen sich gar nicht oder alle um ein gleiches Maß senken. Dieser Grenzfall wird zwar niemals voll zur Geltung kommen, er kann aber bei sehr schlechtem Untergrund angenähert eintreten, so daß man in diesem Falle zwar nicht wie beim Grenzfall mit einer Unterlageziffer gleich unendlich rechnen müßte, aber doch mit einem sehr hohen Wert.

Aus obigem geht also hervor, daß auf die Spannung der

Schiene nur die relative Senkung der belasteten Schwelle gegenüber den benachbarten von Einfluß ist. Aus der Messung der absoluten Senkung der Lastschwelle darf die Unterlageziffer nicht errechnet werden. Man dürfte bei einer Oberbauberechnung, die sich auf eine Unterlageziffer stützt, nicht mit dem absoluten Wert dieser Ziffer rechnen, aber mit dem relativen, der jedenfalls höher und in vielen Fällen sehr viel höher ist als der absolute.

Bei der Berechnung der Unterlageziffer  $C = 9,5$  auf Grund der beobachteten Senkungen der neun Meßpunkte der Schwelle X (Abb. 27) liegt für die Punkte 1 und 9 eine absolute Senkung von 2,54 und 2,63 mm zugrunde, im Mittel 2,585 mm. Berücksichtigt man jedoch auch den aus den beiden gemessenen Einsenkungen 2,44 und 2,13 mm gemittelten Wert der absoluten Einsenkung der Punkte A und B der Nachbarschwellen 2,285 mm, so erhält man für die belastete Schwelle einen relativen Wert von nur  $2,585 - 2,285 = 0,30$  mm. Die relative Senkung der belasteten Schwelle ist also 0,30 mm, die relative Unterlageziffer berechnet sich dann zu  $\frac{2,585}{0,30} \times 9,5 = 82$ .

In gleicher Weise würde man im Falle der Abb. 28 die relative Unterlageziffer berechnen müssen. Für die Schwelle A wurde in der üblichen Weise ebenfalls eine Unterlageziffer  $C = 9,5$  gefunden, der für den Punkt 1 eine absolute Senkung von  $1,50 + 0,80 = 2,30$  mm zugrunde liegt. Der Punkt 2 der benachbarten Schwelle zeigt eine Senkung von  $1,18 + 0,80 = 1,98$  mm; die relative Senkung ist also  $2,30 - 1,98 = 0,32$  mm. Hätte man diese als Grundlage genommen, so wäre eine relative Unterlageziffer von  $\frac{2,30}{0,32} \times 9,5 = 68$  gefunden worden.

Eine genauere relative Untergrundzahl würde sich in beiden oben erwähnten Fällen natürlich ergeben haben, wenn an den zwei benachbarten Schwellen die Senkung aller neun Punkte beobachtet worden wäre. Es würden aber dann zweifellos Zahlen gefunden sein, die nur wenig von den oben berechneten abweichen und die jedenfalls von derselben Größenordnung gewesen wären.

Aus diesen Beispielen ersieht man, daß bei diesem nachgiebigem Untergrund die relative Senkung der Schwellen sehr gering und somit die errechnete, zugehörige Unterlageziffer C sehr groß ist, daß sie sich also dem Fall nähert, in dem alle Schwellen eine gleiche Senkung zeigen, dem Falle also, der für die Spannungen der Schiene einer starren Unterlage gleichzusetzen ist.

Um auch ein Urteil über die bei besserem Untergrund herrschenden Verhältnisse zu erhalten, wurden noch an einigen anderen Stellen Beobachtungen gemacht. Sie lieferten alle

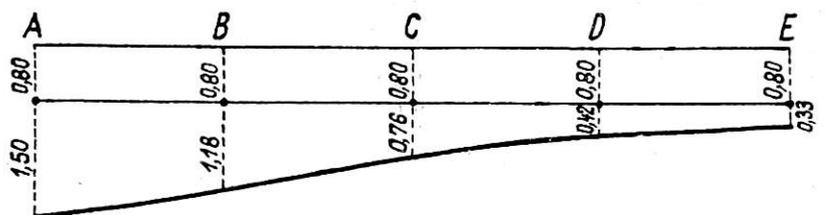


Abb. 29.

gleichartige Ergebnisse, so daß die Erwähnung einer dieser Beobachtungen genügen dürfte.

Es wurde von einer Schwelle A (Abb. 30) die Unterlageziffer auf Grund der Senkungen der bekannten neun Meßpunkte wieder auf 9,5 festgestellt. Dann wurde für diese Schwelle und für die beiderseitigen zwei benachbarten Schwellen die Höhenlage von einem Punkt oberhalb der Schwellenenden in bezug auf einen Festpunkt (Pfahl) festgestellt, einmal bei unbelasteten Schwellen und sodann, nachdem der Wagen an-

gefahren und die Belastung mittels der Stempel auf die Schwelle A aufgebracht war, während auch die vier anderen Schwellen gänzlich von den Schienen getrennt waren. Die in den Abbildungen eingetragenen Zahlen sind die Unterschiede beider Höhenlagen für die zwei Schwellenenden, während für die Senkung des Festpunktes mittels Nivellierinstrument 0,40 mm beobachtet wurde. Die absolute Senkung der Schwelle A, der die Untergrundzahl  $C = 9,5$  zugrunde liegt, ist also:

$$\frac{2,67 + 3,07}{2} + 0,40 = 3,27 \text{ mm.}$$

Die mittlere Senkung der benachbarten Schwellen ist:

$$\frac{1,38 + 1,08 + 1,04 + 1,08}{4} + 0,40 = 1,55 \text{ mm.}$$

Die relative Senkung ist also  $3,27 - 1,55 = 1,72$  mm und somit die relative Untergrundziffer  $\frac{3,27}{1,72} \times 9,5 = 18$ , also nahezu das Doppelte der absoluten.

Die Beobachtungen und Messungen wurden bei ruhender Belastung ausgeführt. Es ist nicht ausgeschlossen, daß bei

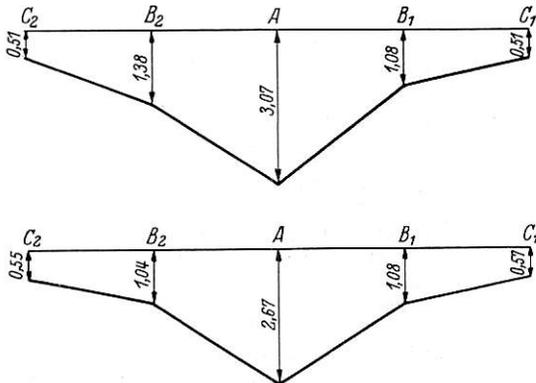


Abb. 30.

schnell bewegten Lasten die Zeit, in der die Belastung wirkt, nicht genügt, um die bei ruhender Last festgestellten Senkungen ganz zustande kommen zu lassen. Wenn dies der Fall ist, so sind die wirklich auftretenden Eindrückungen noch geringer, also die Unterlageziffern, mit denen zu rechnen wäre, wenn diese Ziffer in der Berechnung berücksichtigt würde, noch größer als die beobachteten.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, daß die umfangreichen Versuche gezeigt haben, daß für das Absinken der Schwelle aus der Ruhelage in die durch eine Belastung erzwungene Lage nicht so sehr die Art und der Zustand der Bettung als vielmehr die Art des Untergrundes maßgebend ist. Ferner wurde nachgewiesen, daß nicht nur die unmittelbar belastete Schwelle, sondern auch die Nachbarschwellen sich senken, ohne daß darauf durch Vermittlung der sich durchbiegenden Schienen eine Belastung übertragen wird. Es darf daher bei der Bestimmung der Unterlageziffer nicht mit der absoluten Einsenkung der belasteten Schwelle gerechnet werden, sondern mit der relativen Einsenkung der Schwellen, das heißt mit dem Unterschied zwischen den Einsenkungen der belasteten und der benachbarten Schwellen.

Bei nachgiebigem Untergrund, bei dem nicht nur die belastete, sondern auch die benachbarten Schwellen erheblich einsinken, ist die Veränderung der gegenseitigen Höhenlage dieser Schwellen verhältnismäßig gering und daher die aus dieser relativen Einsenkung errechnete Unterlageziffer groß.

Bei festem Untergrund ist die Nachgiebigkeit der belasteten und der benachbarten Schwellen und auch der Unterschied zwischen den Einsenkungen beider sehr gering; somit ergibt sowohl die aus der absoluten als auch aus der relativen Einsenkung der Schwelle errechnete Unterlageziffer hohe Werte.

Da nun einerseits bei Anwendung von Oberbauformeln, in denen die Nachgiebigkeit der Schwellen berücksichtigt wird, durch hohe Unterlageziffern die in den Schienen auftretenden Spannungen nur in sehr geringem Maße beeinflusst werden, jedenfalls viel weniger, als durch die Verschiedenartigkeit der Achsstände, die Entfernung der Schwellen und durch die Fahrgeschwindigkeit und besonders, da bei den Versuchen in der Größe der errechneten Unterlageziffer eine Gesetzmäßigkeit oder Regelmäßigkeit, die durch die Art der Bettung oder durch die Beschaffenheit des Untergrundes begründet sein könnte, nicht festgestellt wurde, empfiehlt es sich, bei der Berechnung des Oberbaues von der Einfügung einer Unterlageziffer abzusehen.

Gemäß dem Antrage des Oberbau- und Bahnbaufachausschusses faßte der Technische Ausschuß in Stockholm 28./30. Mai 1935 den Beschluß, auf Grund der Ergebnisse der Versuche den Vereinsverwaltungen zu empfehlen, von der Aufnahme einer Unterlageziffer in die Formel für die Berechnung des Oberbaues Abstand zu nehmen.

Hiermit ist die jahrelange Behandlung dieser Frage im Verein Mitteleuropäischer Eisenbahn-Verwaltungen nach den bisherigen Erkenntnissen zum Abschluß gekommen. Zahlreiche Messungen und Beobachtungen, sowie der Gedankenaustausch in den Ausschüssen des Vereins haben zu richtigeren Ansichten als bisher und zu einer Berechnung geführt, die ausreichende Annäherungswerte ergibt und die den Anforderungen der Praxis entsprechen dürfte. Wenn diese Berechnungsweise von den bisherigen Anschauungen dadurch abweicht, daß der Unterlagezahl kein ausschlaggebender Wert beigemessen wird, so soll dadurch das große Verdienst der Forscher nicht geschmälert werden, die ihre Theorien auf der Nachgiebigkeit der Bettung aufgebaut haben. Ganz besonders sei hier der Name des Altmeisters des Oberbaues Dr. H. Zimmermann genannt, dessen Berechnung des mit zwei Lasten belasteten, elastisch gelagerten Stabes grundlegend ist und immer bleiben wird.

Obwohl in den Ausschüssen des Vereins nicht über die Berechnung der Lasche verhandelt wurde, seien hier über diesen Gegenstand einige Bemerkungen gemacht. Es wurde wohl behauptet, daß eine Oberbauberechnung nicht vollständig ist, wenn sie nicht auch eine Berechnung der Lasche gibt. Es muß aber bei den veränderten Ansichten wohl zugegeben werden, daß, wenn sich schon eine Berechnung der durchgehenden Schiene als so äußerst schwierig ergeben hat und dabei nur einige wenige Faktoren erfaßt werden können, eine einigermaßen richtige, Berechnung der Lasche, wobei die Verhältnisse noch viel schwieriger zu erfassen sind, wohl als ausgeschlossen betrachtet werden kann. Die Laschenfrage muß als eine reine konstruktive Frage angesehen werden, deren Lösung (wenn es überhaupt eine gibt und nicht mehr als ein Ausgleich oder Kompromiß, der ja nie als eine „Lösung“ angesehen werden kann, erreicht wird) nur auf praktischem Weg verfolgt werden kann. Es ist in dieser Hinsicht lehrreich, daß bei den vielen, neuen Laschenformen, die in den letzten Jahren veröffentlicht wurden, soweit mir bekannt, niemals ein Versuch zur rechnerischen Begründung der Zusammenstellung gegeben wurde.

# Rundschau.

## Allgemeines.

### Große Leipziger Technische Messe und Baumesse 1937.

Die diesjährige Messe vom 28. Februar bis 7. März war an Ausstellern und Besuchern die bisher stärkste Messe. Von den gesamten 8893 Messe-Ausstellern entfielen 3235 auf die Technische Messe. 16 Hallen waren voll belegt. Die Beteiligung des Auslandes war sehr stark. Die Besucher aus dem Auslande wurden zu 33 000 aus 22 verschiedenen Ländern angegeben. Die Elektrizitäts- und Werkzeugmaschinen-Industrie war so stark vertreten, daß zur Unterbringung der Aussteller auf je zwei Hallen zurückgegriffen werden mußte. Ein besonderes Merkmal der Messe war im Sinne des neuen deutschen Vierjahresplanes die Zurschaustellung vieler neuer Werkstoffe auf heimischer Rohstoff-Grundlage, der zu ihrer Herstellung erforderlichen Maschinen und der bereits weitgehenden Verwendung der neuen Werkstoffe in den verschiedensten Erzeugnissen.

Die Werkzeugmaschinen für die Metallbearbeitung zeigten viele Verbesserungen zur höchsten Leistung und Genauigkeit der Arbeit, zur leichten Umstellung auf verschiedene Werkstoffe und Werkzeuge mit Einstellung der besten Drehgeschwindigkeit, zur sicheren und bequemen Bedienung. Einige neue Einzelheiten seien angeführt. Bei der Wagenratsatzdrehbank von Wilhelm Hegenscheidt, Ratibor, war eine neue Vierbackenmitnahme angeordnet, bei der der Ratsatz bereits vor Beginn des Drehens endgültig gespannt wird und nicht erst durch die Drehkraft wie bisher, wobei bereits durch den Spannvorgang seitliche Verschiebungen des Ratsatzes stattfinden können. Mit der neuen Spannvorrichtung wird die Bearbeitungsgenauigkeit des Ratsatzes größer, ohne daß die Leistung der Maschine beeinträchtigt wird. Hahn & Koplowitz, Neiß, haben für ihre Radscheiben-Drehbank von 300 mm Sp. H. einen Antriebsräderrahmen entwickelt, bei dem die Drehzahlen im Bereich von 6,6 bis 320 Umdr./Min. unmittelbar an der Hebelstellung des Verschiebehebels abgelesen werden können. Der Räderrahmen kann 12 bis 15 PS übertragen. Die Deutschen Niles Werke, Berlin-Weißensee führten eine neue Einständer-Karusselldrehbank mit einem Planscheibendurchmesser von 1010 mm und Planscheibendrehzahlen von 6 bis 150 Umdr./Min. für Widia-Verwendung und Leichtmetallbearbeitung vor. Collet & Engelhard, Offenbach (Main), zeigten eine tragbare Waagerechte-Stoßmaschine, die zum Einarbeiten von Flächen in größere, schlecht zu bewegende Werkstücke dient. W. Ferd. Klingenberg Söhne, Remscheid, stellten eine Zahnrad-Läppmaschine nach dem Schwingungsläppverfahren aus, in der Kegelräder, Stirn- und Schraubenträger während des Läppens künstlich in solche Verlagerungsstellen gebracht werden, wie sie sie infolge von Einbaufehlern, Nachgiebigkeit, Abnutzung der Lagerung bei ihrer Verwendung, besonders im Kraftwagen, später einnehmen können. Die Zahnräder erhalten eine verfeinerte Oberfläche, vor allem aber die Verlagerungsempfindlichkeit, die zu ruhigem, einwandfreiem Laufen notwendig ist. Für die Holzbearbeitungsmaschinen ist eine Neuerung, das Werkzeug mit wenig Schneiden, das gute Einstellbarkeit und hohe Schnittgeschwindigkeit zuläßt, wie die schraubenförmig eingesetzten Messer bei Messerköpfen. Um zu hohen Drehzahlen zu kommen, wird neuerdings der Kurzriemenantrieb dem Frequenzumwandler und dem Doppelmotor vorgezogen. Ein Beispiel ist die Oberfräse von Kirchner & Co. Bei den Schleifmaschinen bedeutet es eine neue Entwicklung, runde Kanten und geschweifte Teile zu schleifen. Benutzt werden als Werkzeug eine große Scheibe mit kleinen Schleifmittelscheiben am Umfang und aufpumpbare Gummihüllen mit Schleifpapier. Für den Wagenkastenbau ist wichtig die Bogenhobelmaschine für zweiseitiges Bearbeiten gekrümmter Teile von A. Knoevenagel, Hannover-Hainholz, die das Abrichten und Hobeln in einem Arbeitsgang über einen gekrümmten Tisch vornimmt.

In der elektrotechnischen Industrie hatten die SSW drei neue Expansionsschalter für 10 kV, 100 und 200 MVA Abschaltleistung und für 20 kV, 100 MVA Abschaltleistung in einheitlicher Säulenbauform, die AEG neue kompressorlose Druckgasschalter der Reihe 10 mit 100 MVA Abschaltleistung ausgestellt. Bei letzteren wird unter der Einwirkung des Lichtbogens aus gewissen neuartigen, festen Isolierstoffen Gas in der Schaltkammer erzeugt,

unter dessen Überdruck der Lichtbogen erlischt. Zu Aluminium- und Kupferkabeln entwickelte die AEG Klein-Endverschlüsse für Niederspannung und Spannungen bis zu 20 kV, die nur aus einem Gehäuse aus Isolierpreßstoff mit Löt- und Stopfbuchse und druckfestem und öldichtem Abschluß der isolierten Adern durch biegsame Schläuche bestehen. Auf dem BBC-Stand war ein Gleichrichter zum Speisen eines Gleichstrommotors zu sehen, bei dem ein Gleichrichter- und ein Wechselrichtergefäß vorhanden ist. Dies erübrigt eine Umschaltung, die erforderlich ist, wenn dasselbe Gefäß für Stromabgabe und Stromrückgewinnung beim Bremsen dienen soll. Der Gleichrichter speist bei Vorwärtsbetrieb, der Wechselrichter bei Energierückgabe also bei Bremsbetrieb. Die Umkehr der Energierichtung wird an einem Voltmeter sichtbar. Die Stromrichtung ist durch die Ventile vorgeschrieben und bleibt unverändert.

Entsprechend dem Befürfnis, stärkere Schweißdrähte mit hoher Lichtbogenspannung zu verschweißen, wodurch sich die gesamte Schweißzeit eines Werkstückes erheblich vermindern läßt, hat die BBC einen Hochleistungs-Schweißumformer MGS II, 114/64 für 400 A entwickelt. Dieser ermöglicht, Bleche von mittlerer Stärke nach einem besonderen Verfahren sehr schnell zu verschweißen. Eine Arbeitersparnis von mehr als 50% soll erreicht werden. Die SSW haben einen neuen fahrbaren Eingehäuseschweißumformer in fünf Größen geschaffen, der neben den über den ganzen Regelbereich sehr guten Schweißseigenschaften, die auch leichtes Verschweißen von dünnen, nackten Elektroden ermöglichen, den Vorteil hat, daß er selbst bei höchster Reglerstellung im Dauerhandschweißbetrieb nicht gefährdet wird. Ein Umklemmen der Kabel beim Übergang auf einen anderen Elektrodendurchmesser ist nicht erforderlich. Zum Schweißen sperriger Werkstücke, wie sie vielfach im Fahrzeugbau bei Blechverkleidungen vorkommen, sind Punktschweißzeuge in der Ausführung als Stoßeletrode und Punktschweißzange mit kardanischer Aufhängung von Vorteil. Die Entwicklung der Preßmantelelektroden für hochbeanspruchte Schweißverbindungen ist wie bei Rheinmetall-Borsig (Marke Rex Universal), bei der Westfälischen Union (Marke SH) fortgeschritten. Die Preßmantelelektroden SH-Gelb und SH-Lila sind nunmehr für Brückenschweißungen an Baustahl St 37 und St 52 zugelassen. Die Dampfkesselelektrode SH-Schwarz mit dem Gütefaktor 0,9 wird ebenfalls als Preßmantelelektrode hergestellt. Neu entwickelt wurde für Sonderstähle höherer Festigkeit (60 bis 80 kg/qmm) eine umhüllte Elektrode SH-Lila R und für den warmfesten Sonderstahl Th 30 und Th 31 der Vereinigten Stahlwerke die beiden Elektroden SH-Lila Th 30 und SH-Lila Th 31.

Unter den heimischen Werkstoffen trat besonders die fortschreitende Verwendung von Kunstharz-Preßstoffen und synthetischem Gummi in Erscheinung. Metall- und Stahleinlage ermöglicht die Herstellung von hochbeanspruchten Werkstücken aus Kunstharz-Preßstoff (AEG, Aug. Nowack A. G. u. a.). Für den Lagerbau wurden im Aufbau neue Preßstoffe entwickelt, die den besonderen Beanspruchungen der Lager durch höhere Temperaturen, Drücke usw. Rechnung tragen, wie das „Thesit“ der Preßwerk A. G. Essen. Auch konstruktiv sucht man hier Erfolge zu erzielen, wie die neue Bauart der Lagerschale für Feldbahnwagen zeigte, bei der nur der Grundkörper aus Stahl und die Lagerlauffläche aus Kunstharzpreßstoff besteht. Ein Nachteil des Preßstoffs, die schlechte Wärmeleitung, wird dadurch gemildert. Die Ausführung erinnert an das Ausschleudern der Lager mit Thermitmetall (Friedrich-Wilhelmshütte, Mühlheim/Ruhr), bei dem die schweren Metall-Bestandteile an die Außenseite des Lagers gedrückt werden, während das leichtere Zinn die Lauffläche bildet. Der Verbrauch an devisengebundenem Rohstoff wird dadurch wesentlich herabgedrückt. Denselben Zweck verfolgt das Spezialgußeisen Wanheim (Eisenwerk Wanheim, Duisburg-Wanheim), das für Lagerschalen aller Art bereits in sehr großem Umfang als Ersatz für Metallguß Verwendung findet. Hierher gehören auch die verschiedenen Verfahren zur Oberflächenvergütung von Stahl und Aluminium. Besondere Beachtung verdienen hier die Verfahren der Firma Friedr. Blasberg, Solingen-Merscheid, ins-

besondere die Hartverchromung von Wellen bzw. Lagern usw., wobei es auch möglich ist, billigere Stähle an Stelle von teuren legierten Stählen zu verwenden. Auch das Metallisieren von Oberflächen hat sich fortentwickelt. Gespritzte Zinküberzüge von 0,2 mm Stärke reichen als Korrosionsschutz für Stahl aus und können an Stelle der teuren Kadmiunniederschläge treten. Auf Al-Zylinder und Al-Kolben lassen sich Stahlschichten aufspritzen, die bessere Gleitfähigkeit und besseres Ölhaltevermögen geben. Sehr beachtlich ist das Autogen-Härten mittels der Azetylen-Sauerstoff-Flamme mit besonderen Härtemaschinen und Härtebrennern (Griesogen, Messer & Co., Frankfurt/M.) für Kreuzkopfpapfen, Zahnräder, Gleitbahnen für Kreuzköpfe, Kurbelwellen usw. Die großen Fortschritte in der Verwendung synthetischen Gummis „Buna“ waren bei Continental und Franz Clouth zu sehen, die besonders durch die Ölbeständigkeit dieses neuen deutschen Werkstoffs gefördert werden. Continental liefert jetzt sein sogenanntes Schwingmetall, eine Verbindung von Gummi und Metall, durch Verwendung von Buna in ölbeständiger Qualität. Auch wird neuerdings Kunststoff benutzt. Ferner wurde der neue ölbeständige Keilriemen gezeigt. Aus der Schau von Clouth seien nur die neuen „Durabilit“-Schutzbeläge zum Schutz von Eisenteilen erwähnt. Ein neuer Kunstgummiwerkstoff ist das „Guttasyn“ (H. Rost & Co., Harburg-Wilhelmsburg), das auch als Ausgangspunkt der Herstellung Azetylen benutzt, und infolge vieler Vorzüge gegenüber Naturgummi wie z. B. Fehlens der Alterung für Maschinenschläuche, Dichtungen usw. in Betracht gezogen werden kann.

Mit der Werkstofffrage ist die Werkstoffprüfung eng verbunden. Siemens & Halske haben als besonders handliches Gerät zum Untersuchen von elektrischen Apparaten unmittelbar am Einbaort einen tragbaren Oszillographen mit drei Meßschleifen und einen tragbaren Elektronenstrahl-Oszillographen als vollwertiges Be-

triebsmeßgerät geschaffen. Auf dem Stande von Carl Schenk, Darmstadt war eine besondere Neuheit, die Groß-Wuchtmaschine mit offener Rollenlagerung und verstellbarer Federung für die Auswuchtung großer Prüfkörper bis zu 3000 kg. Sie arbeitet nach dem Doppelpendelprinzip im Auslaufverfahren und stellt gegenüber den früheren Maschinen mit geschlossener Lagerung und austauschbaren Federn durch die bei der Einlagerung gewonnene Zeit einen Fortschritt dar.

Auf dem Baumessefreigelände führten die Deutsche Werke Kiel eine Normal-Diesellokomotive Typ D 200 von 200 PS<sub>e</sub> Leistung und 25 t Dienstgewicht mit vier Fahrgeschwindigkeiten bis 50 km/h vor, die sich für Rangierzwecke wie zur Verwendung im Personenverkehr auf Kleinbahnen eignet. Humboldt-Deutz hatten Diesel-Feldbahnlokomotiven in 12,24 und 75 PS Leistung, wie eine Rangierlokomotive zu 12 und 165 PS Leistung ausgestellt. Beachtenswert war eine 80 PS-Diesel-Lokomotive der Ardetwerke, Eberswalde, für Rangier- und Streckenbetrieb mit einem Getriebe, das gestattet, von einer Geschwindigkeitsstufe zur anderen ohne Zugkraftunterbrechung zu schalten. Auf dem Gebiet des Eisenbahn-Signalwesens hatte die Felten & Guillaume Carlswerk A. G. Köln-Mühlheim den Neptun-Schienenstromschleifer ausgestellt, der auf Wunsch der Deutschen Reichsbahn nach einer für die heutigen Betriebsverhältnisse zweckmäßigeren Ausführung entwickelt wurde. Der Apparat arbeitet nach dem neuartigen Doppelkammersystem mit geringer Quecksilbermenge zur Kontaktgebund. Die Betätigung erfolgt durch die von den Fahrzeugen hervorgerufene Schienendurchbiegung. Ebenfalls im Sinne der Aufrechterhaltung der Sicherheit des Eisenbahnbetriebes dienen die neuen S. & H.-Endverschlüsse mit Ölolation an der Bahnstrecke für Fernmeldekabel, die dauernd hohe Isolation und damit gute Gesprächsverständigung gewährleisten.

Przygode VDI. VDE.

## Bahnunterbau; Brücken und Tunnel, Bahnoberbau.

### Trockenlegung des Bahnkörpers einer nordamerikanischen Eisenbahn.

Infolge der erhöhten Zuggeschwindigkeiten und vergrößerten Achslasten hat sich die Pennsylvania-Eisenbahn veranlaßt gesehen, die auf ihren Linien bestehende unzureichende Entwässerung des Bahnkörpers in großzügiger Weise zu verbessern. Die getroffenen Maßnahmen sind den bei der Deutschen Reichsbahn üblichen in vielen Fällen ähnlich, bieten jedoch manches, was der Erörterung wert ist.

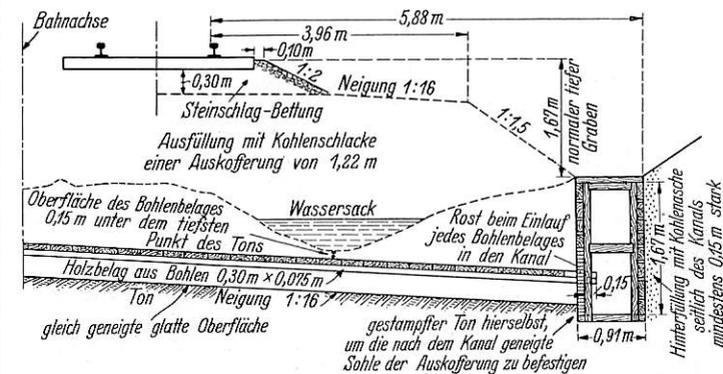
Die Gleise wurden dadurch gehoben, daß eine Lage von Kohlen Schlacke unter die Gleisbettung gebracht wurde. Einschnitte wurden erweitert und die Neigung der Böschungen abgeflacht. Die Bahngräben wurden erweitert, vertieft und neu befestigt. Zur Drainage wurden nicht nur durchlöcherzte Zementrohre, sondern auch Kanäle aus imprägniertem Holz verwendet. Bei mehr als 3000 km Gleisen wurde Bettungserneuerung vorgenommen. In erheblichem Umfange ist auch eine Reinigung der alten Bettung erfolgt. Abfanggräben am oberen Rande der Einschnittsböschungen wurden dort angelegt, wo das Gelände nach der Eisenbahn zu geneigt war. Neue Durchlässe wurden angelegt und bestehende erweitert. Die vorgenannten Verbesserungen erstreckten sich fast über sämtliche Linien; auf einem Teil der Strecke brachte noch der ungünstige Untergrund des Bahnkörpers eine besondere Verschlechterung in der Gleislage mit sich, die durch dauernde Durchnässung der Bettung und Bildung von Wassersäcken verursacht wurde.

Wo keine sonstige Böschungsbefestigung erforderlich war, wurden tiefwurzelnde Gräser angesät, die vielfach mit einer Schicht von Kohlenasche überdeckt wurde, um ein Abspülen zu verhüten. Zur Beschleunigung des Treibens der Saat wurde in einigen Fällen Komposterde auf die besäte Fläche aufgebracht. Auch eine Bepflanzung mit Geißblattgebüsch diente zur Befestigung neuangelegter Böschungen.

Die Arbeiten wurden an Unternehmer vergeben, und es ist bemerkenswert, daß ein Verkehr von Arbeitszügen oder sonstige Behinderung des Betriebes bei den Erdarbeiten kaum erforderlich waren, da für sie besonders eingerichtete fahrbare Kräne und Bagger dienten, die am oberen Rande der Einschnittsböschungen liefen und die gewonnenen Erdmassen entweder als Aussatzboden

oder zur anderweitigen Verwendung auf Landfuhrwerk (Autos) abladen.

Manchmal wurden auch wenig benutzte Nebengleise aufgenommen, um für eine Grabenanlage Platz zu gewinnen und Grunderwerb zu vermeiden. Besonders ungünstige Verhältnisse lagen im westlichen Bezirk vor, in welchem die Bahn durch Flachland läuft. Die hier infolge schwachen Grabengefälles an sich mangelhafte Entwässerung wurde dadurch noch besonders erschwert, daß der Untergrund aus undurchlässigem Ton besteht, der bei Feuchtigkeit quillt und geringen Widerstand gegen Ver-



drückung und Auftreibung bietet. Die Folge war eine derartige Durchnässung des Bahnkörpers und besonders die Bildung so zahlreicher Wassersäcke, das die Strecke mit Langsamfahrstellen übersät war, auf denen manchmal nur eine Zuggeschwindigkeit von 24 km/h zugelassen war, und die Stöße dreimal in der Woche gehoben werden mußten.

Vor Inangriffnahme der kostspieligen Entwässerungsarbeiten auf dieser Strecke wurde unter Zuhilfenahme zeichnerischer Darstellungen eine Übersicht darüber aufgestellt, welche Höhe die jährlichen Unterhaltungskosten der Strecke in diesem Bezirk gegenüber den normalen Unterhaltungskosten erreichten; an manchen Stellen war es das sieben- bis achtfache. An Hand dieser Übersichten wurden dann die Entwässerungsarbeiten nach der Reihenfolge ihrer Dringlichkeit in Angriff genommen. Vor

stehende Abbildung zeigt den Querschnitt der Entwässerung eines Wassersacks. Das Gleis ruht auf Steinschlagbettung; die unter der Bettung hergestellte mit Kohlenschlacke ausgefüllte Auskofferung ruht auf einer nach dem Bahngraben zu geneigten Fläche aus imprägnierten Holzbohlen. Die unterhalb der Bohlen in der gleichen Neigung 1:16 liegende festgestampfte Tonfläche dient gleichfalls zur Abführung des Wassers in den Bahngraben. Der Zwischenraum zwischen Holzbohlen und gestampfter Tonfläche ist mit Kohlenschlacke ausgefüllt. Die Bahngräben sind an dieser Stelle unter der normalen Tiefe ausgeführt, mit imprägnierten Holzbohlen ausgesteift und an der Außenseite mit Kohlenschlacke hinterfüllt. Sie haben eine solche Breite erhalten, daß sie begehbar sind, um die erforderlichen Reinigungen auszuführen. An manchen Stellen war es notwendig, die Gräben zur Wasserabführung zwischen die Gleise zu legen, wenn der für die Seitengräben erforderliche Raum fehlte, z. B. bei Bahnhofsgleisen, Bahnsteigen und sonstigen Bauwerken.

Die durch die Entwässerung erzielten Vorteile lassen sich nicht sämtlich in Geldwert ausdrücken. Es ist jedoch von Interesse, daß die jährlichen Kosten der laufenden Unterhaltung auf den verbesserten Strecken auf etwa  $\frac{1}{3}$  gegenüber dem alten Zustand gesunken sind; dies ergibt eine jährliche Ersparnis von 14 Millionen Dollars. Für den Betrieb fällt die durch den verbesserten Zustand des Gleises erhöhte Betriebssicherheit und die durch Fortfall der zahlreichen Langsamfahrstellen verbesserte Fahrgeschwindigkeit ins Gewicht.

Rly. Age.

Sr.

### Amerikanische Versuche über die Seitenbeanspruchung des Gleises.

Von erheblicher praktischer Bedeutung sind Versuchsfahrten gewesen, welche die Pennsylvania-Eisenbahn mit einer Anzahl elektrischer Lokomotiven auf einer Strecke in der Nähe von

Prüfung des Verhaltens elektrischer Lokomotiven auf einer nordamerikanischen Eisenbahnstrecke.

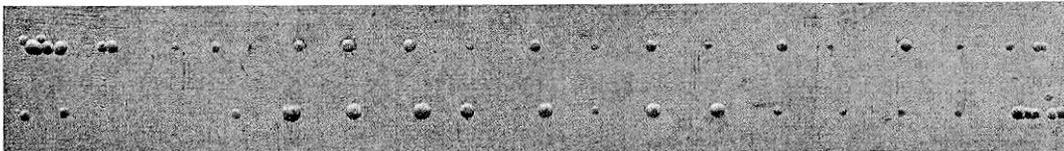


Abb. 1 a.

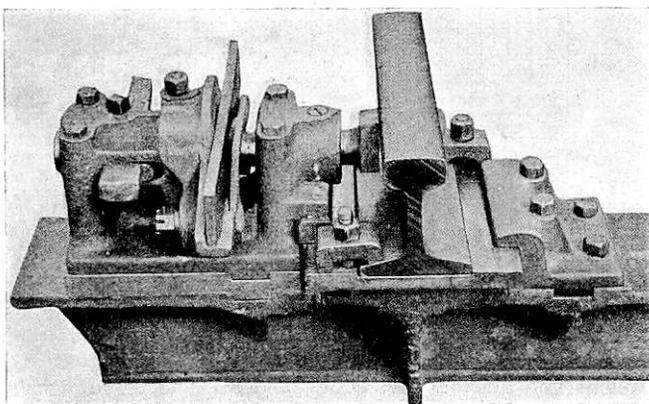


Abb. 1 b.

Abb. 1. Brinell-Vorrichtung zur Messung von Seitenstößen.

New York in den letzten Jahren ausgeführt hat. Zweck der Versuche war, festzustellen, in welcher Anzahl und Stärke Seitenstöße durch schnellfahrende Lokomotiven auf die Schienen ausgeübt, wie die Seitenstöße durch Erhöhung der Fahrgeschwindigkeit beeinflußt und welche Erfolge durch Änderungen an den Lokomotiven erzielt wurden. Außerdem ergab sich hieraus die zulässige Höchstgeschwindigkeit der Lokomotiven. Die Feststellungen wurden teils durch Vorrichtungen gemacht, die auf den Schwellen angebracht waren, teils durch solche, die sich an

den Lokomotiven selbst befanden. Beide sind unabhängig voneinander.

Die Vorrichtungen an dem Versuchsgleis, das nach dem Erfinder „Brinell-Strecke“ genannt wurde, sind in Abb. 1b dargestellt. Die bisherigen Holzschwellen wurden gegen eiserne Schwellen ausgewechselt. Jede zweite Schwelle wurde an beiden Enden mit je einer Vorrichtung versehen. Bolzen, die in geeigneten Lagern ruhen und sich senkrecht zur Schiene frei bewegen können, stoßen gegen den äußeren Schienenkopf und tragen am anderen Ende eine Kugel aus gehärtetem Stahl von 2,5 cm Durchmesser. Diese Kugel stößt gegen eine Platte aus ausgeglühtem Kesselblech, die durch einen anderen Bolzen mittels Keil gegen die Kugel gepreßt wird. Beim Befahren der Versuchsstrecke durch eine Lokomotive treiben die auf die Schiene ausgeübten Seitenschläge die harte Stahlkugel in die weiche Stahlplatte; die Tiefe der Einpressung gibt dann die Stärke des größten der von den Rädern der Lokomotive ausgeübten Seitenschläge an. Abb. 1 zeigt die „Brinell“-Vorrichtung, ferner die weiche Stahlplatte mit den durch die Kugel hervorgerufenen Einpressungen. Auf sämtlichen Schwellen der Versuchsstrecke ruhen die Schienen auf Walzenlagern, so daß sie in der Querrichtung beweglich sind, und die auf die Schiene ausgeübten Seitenstöße durch die „Brinell“-Kugel aufgenommen werden.

Die Geschwindigkeit bei den Versuchsfahrten wurde durch Schienenkontakte festgestellt.

Die ursprünglich einwandfreie Gleislage auf der Versuchsstrecke wurde künstlich verschlechtert und in diesem Zustande erhalten, um hierdurch Seitenstöße für die Messungen hervorzurufen.

Bei den Fahrten mit der ersten Versuchslokomotive, die im April 1933 aufgenommen wurden, zeigte sich, daß die Einpressungen durch die „Brinell“-Kugel bei mäßiger Geschwindigkeitserhöhung sich nur wenig vergrößerten, bei sehr hohen Geschwindigkeiten jedoch in erheblich schnellerem Verhältnis, als die Geschwindigkeiten zunahmen.

Die zeichnerisch durch Kurven usw. dargestellten Ergebnisse der Versuchsfahrten wurden ausgewertet, um Änderungen zwecks Verringerung der Seitenstöße an verschiedenen Arten von Lokomotiven anzubringen und durch Versuchsfahrten zu erproben.

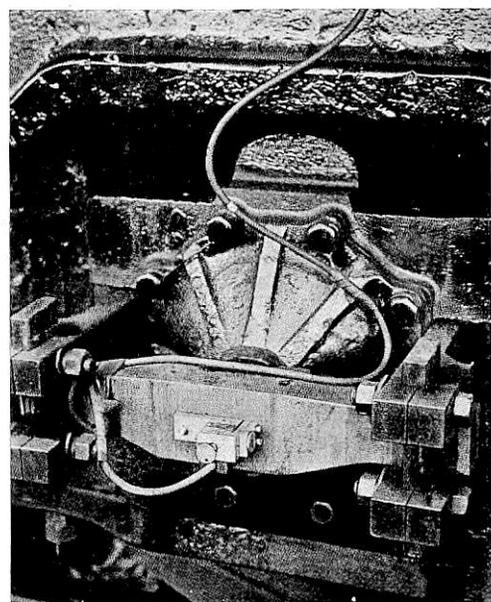


Abb. 2.

Magnet-elektrische Vorrichtung zur Messung von Seitenstößen.

Die Federung wurde zehn verschiedenen Änderungen unterworfen, ferner wurden an den Drehgestellen Vorrichtungen zur Herab-

minderung der Seitenstöße angebracht. Außerdem wurde das Gewicht der Lokomotive durch Entlastung der Treibräder mehr auf die Laufräder verteilt. Die erste Versuchslokomotive wurde unverändert gelassen, um bei Versuchsfahrten mit verbesserten Lokomotiven Vergleiche anstellen zu können. Hierbei zeigte sich, daß die unveränderte Versuchslokomotive bei einer Geschwindigkeit von 125 km/h die gleichen Seitenstöße ausübte, wie eine verbesserte Lokomotive der gleichen Bauart bei einer Geschwindigkeit von 158 km/h.

Die geschilderten Versuchsfahrten waren natürlich auf Strecken beschränkt, die mit „Brinell“-Schwellen ausgerüstet waren. Zwecks Ermöglichung von Versuchsfahrten auf anderen Strecken zur Messung von Seitenstößen sind einige Versuchslokomotiven mit Vorrichtungen versehen, die an beiden Enden der Treibachsen angebracht sind\*). Abb. 2 zeigt eine solche Vorrichtung; vor der Achsbüchse liegt ein Querbalken aus verchromtem Nickelstahl. Der Spielraum zwischen Achszapfen und Querbalken ist der gleiche, wie er sonst zwischen ersterem und dem Rahmen der Lokomotiven üblich ist. Stößt bei seitlichen Schwankungen der Lokomotive der Zapfen gegen den Querbalken, so wird dieser Stoß auf magnetelektrischem Wege einer Anzeigevorrichtung zugeleitet, welche die Stöße als laufendes Band aufzeichnet. Da die Meßvorrichtungen beiderseits der Achse angebracht sind, so weicht bei Schwankungen der Lokomotive nach der einen Seite die aufgezeichnete Linie nach oben, bei Schwankungen nach der anderen Seite nach unten von der Geraden ab. Jede Treibachse ist mit zwei Meßvorrichtungen versehen, so daß bei drei Treibachsen sechs Bänder aufgezeichnet werden. Es sei erwähnt, daß diese Bänder an die im Oberbaumeßwagen der Deutschen Reichsbahn hergestellten Aufzeichnungen erinnern.

Die praktische Auswertung der Ergebnisse erfolgte in ähnlicher Weise wie bei dem „Brinell“-Verfahren.

Die Westinghouse-Gesellschaft hat außerdem an den Lokomotiven noch Vorrichtungen angebracht, durch die die Geschwindigkeitszunahme sowie die gegenseitigen Bewegungen der einzelnen Teile der Lokomotive zueinander während der Fahrt festgestellt und durch Anzeigevorrichtungen, die in einem besonderen Prüfungswagen hinter der Lokomotive untergebracht sind, aufgezeichnet werden.

Sr.

Rly. Age, September 1936.

### Ausgedehnte Streckenverlegungen auf einer nordamerikanischen Eisenbahn.

Durch umfangreiche Anlagen von Talsperren im Staate Ohio fielen eine Anzahl Eisenbahnstrecken in deren Überflutungsgebiet und mußten daher verlegt werden. Einige Besonderheiten bei diesen Verlegungsarbeiten seien nachstehend wiedergegeben. Als Planungsbreite für eine eingleisige Strecke wurde auf Dämmen 6 m, in Einschnitten 7,8 m vorgesehen; die Abmessungen sind größer, als bei den verlassenen Strecken, um erhöhter Unterhaltung der Neuanlagen dadurch zu begegnen. Den Ansprüchen der Eisenbahnen wegen erhöhter Unterhaltung der neugeschütteten

\*) Ähnliche Untersuchungen sind auch von der Deutschen Reichsbahn durchgeführt worden, hier in einer Form, die dem zweiten in diesem Bericht beschriebenen Verfahren entspricht. Sie wurden im Org. Fortschr. Eisenbahnwes. 1934, Seite 349 „Untersuchungen über das Kraftspiel zwischen Fahrzeug und Oberbau“ veröffentlicht. Weitere Versuche in dieser Richtung sind im Gange.

Dämme sollte dadurch vorgebeugt werden, daß die Dämme in einzelnen Lagen von 30 cm geschüttet und jede Lage durch Dampfwalzen festgewalzt würde. Die Verwendung von Dampfwalzen erübrigte sich jedoch dadurch, daß zur Erdschüttung Maschinen und Förderwagen mit breiter Lauffläche und von erheblichem Gewicht benutzt wurden. Hierdurch wurde eine Zusammenpressung der geschütteten Bodenmassen in einem solchen Grade erreicht, daß auf das sonst übliche Sackmaß bei der Schüttung verzichtet werden konnte. Bei Planübergängen wurde eine Betonplatte unter der Bettung angebracht.

Sämtliche Brücken haben offene Fahrbahn mit imprägnierten Holzschnellen. Der auf Abb. 1 dargestellte Viadukt zeigt als Besonderheit, daß an den Endauflagern die Böschungen rings um

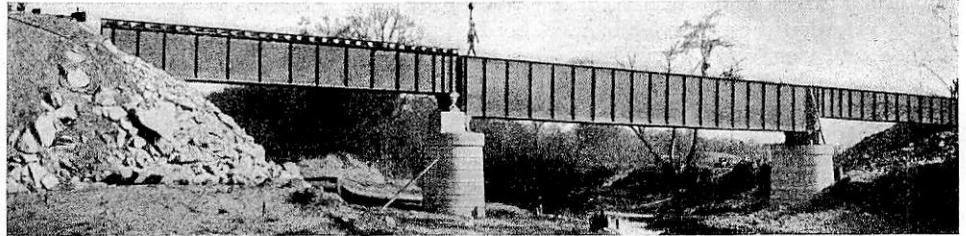


Abb. 1. Brücke über einen Wasserlauf.

die Widerlager durchgeführt sind. Zur Sicherung dieser Böschungen gegen Abrutschen sind sie aus Felsgestein geschüttet, und zwar bis zu einem Abstände von 7,5 m vom Ende der eisernen Überbauten.

Die je nach Lage des tragfähigen Baugrundes zur Gründung oder als Gerüstböcke benutzten eisenbewehrten Betonpfähle wurden an den Baustellen hergestellt und sind von eisernen Rohren mit rillenförmiger Oberfläche umgeben; letztere verjüngen sich

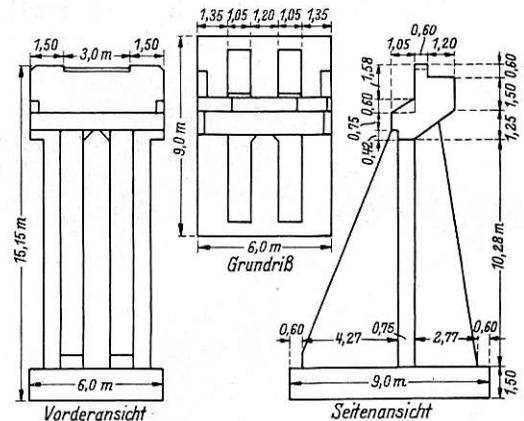


Abb. 2. Endwiderlager für kleinere Brücken.

bei einer Pfahlänge von 12 m von 45 cm Durchmesser am oberen bis auf 20 cm Durchmesser am unteren Ende, das mit einer kräftigen Stahlspitze versehen ist. Die über dem Erdboden befindlichen Teile der Rohre wurden noch mit einem Betonmantel von 10 cm Stärke umhüllt.

Abb. 2 zeigt noch die bei Ausführung der Verlegungsarbeiten übliche Gestaltung eines Endwiderlagers für kleinere Brücken; sie weicht von den bei den Brücken der Deutschen Reichsbahn gebräuchlichen Formen erheblich ab.

Sr.

Rly. Age, 5. September 1936.

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

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

Als Herausgeber verantwortlich: Direktor bei der Reichsbahn Dr. Ing. Heinrich Uebelacker in Nürnberg. — Verlag von Julius Springer in Berlin.  
Druck von Carl Ritter G. m. b. H. in Wiesbaden.