

Neues Verfahren zur Ermittlung der Schienenwanderung.

Von Dipl.-Ing. Georg Eicher, Inspektor der kön. ung. Staatseisenbahnen.

Hierzu Tafel 1.

I. Einleitung.

1. Das bisherige Verfahren zur Ermittlung der Schienenwanderung und die Notwendigkeit des neuen Verfahrens.

In Fachkreisen ist allgemein wohlbekannt, welche unangenehme Erscheinung die Schienenwanderung ist und wie kostspielig ihre Bekämpfung ist.

Die Abwehr der schädlichen Wirkungen der Schienenwanderung war bisher hauptsächlich darum so unsicher und wenig erfolgreich, weil man bisher eigentlich gar nicht in der Lage war, die Größe und Richtung, d. h. die Bestimmungswerte der Wanderung für eine jede beliebige Stelle der Bahnstrecke unzweifelhaft zu ermitteln.

Hauptsächlich vermag man aber nicht unzweifelhaft zu ermitteln, an welcher Stelle sich die Schienenwanderung im größten Maße (als Maximum) entwickelt hat?

Mit Hilfe der nur stellenweise auf mehrere 100 m, ja sogar vielfach auf mehrere 1000 m Entfernung versetzten Beobachtungspflöcke kann höchstens die Wandergröße und Wanderrichtung jener Bahnstellen ermittelt werden, wo zufällig die Beobachtungspflöcke versetzt worden sind. Über die Wanderverhältnisse aller anderen Bahnstellen aber geben sie überhaupt keine Auskunft und liefern hauptsächlich keinen Beweis darüber, ob der Höchstwert der Wandergröße gefunden wurde oder nicht.

Dieses Verfahren könnte nur dann den gewünschten Erfolg haben, wenn alle Gleisfelder der Bahnstrecke mit Beobachtungspflöcken versehen wären. Das würde aber dieses Verfahren nicht nur sehr kostspielig machen, sondern auch sehr umständlich, mühsam und schwerfällig.

Man mußte sich deswegen damit begnügen, die Beobachtungspflöcke nur in größeren Entfernungen voneinander zu versetzen.

Da aber nicht alle Fahrschienen eines Wanderabschnitts im gleichen Maße wandern, ist es sehr leicht möglich, daß die Beobachtungspflöcke gerade an solchen Stellen versetzt worden sind, wo sich überhaupt gar kein oder nur ein geringes Wandern entwickeln konnte, da die Versetzung der Beobachtungspflöcke ja nur willkürlich durchgeführt werden kann.

An den nicht beobachteten Stellen des Wanderabschnitts kann sich aber eventuell ein starkes Wandern entwickeln.

Das bisherige Ermittlungsverfahren mit Hilfe der Beobachtungspflöcke gibt daher keinen festen Anhaltspunkt zur Abwehr der schädlichen Wirkungen der Schienenwanderung.

Diesen unzweifelhaften Mangel versucht die vorliegende Untersuchung zu beheben. Außer der allgemeinen Erläuterung der Schienenwanderung wird nämlich darin zur Ermittlung der Wanderwerte einer jeden beliebigen Bahnstelle ein neues Verfahren veröffentlicht.

Das neue Ermittlungsverfahren kann rechnerisch und zeichnerisch durchgeführt werden. Das rechnerische Verfahren liefert zwar sehr genaue Ergebnisse, sein Vollzug ist aber mühsam und langwierig. Darum wird in der Praxis hauptsächlich das zeichnerische Verfahren zweckmäßig angewendet werden können.

Dieses Verfahren ermöglicht es nämlich, die Bestimmungswerte der Schienenwanderung mit geringerer, aber den prak-

tischen Anforderungen noch hinlänglich entsprechender Genauigkeit ohne großen Mühenaufwand zeichnerisch zu ermitteln.

Es kann ferner damit das sogenannte Wanderbild einer Bahnstrecke konstruiert werden, durch das sämtliche Wanderverhältnisse der Bahnstrecke in einem gut übersichtlichen und lehrreichen Bilde dargestellt werden.

Bevor an die Erläuterung des Verfahrens gegangen wird, sollen einige Grundbegriffe der Schienenwanderung festgesetzt werden.

2. Die Begriffsbestimmung der Schienenwanderung.

Die Erfahrung zeigt, daß das Element des Eisenbahnoberbaues, die Fahrschiene des Gleises nicht ständig auf jener Stelle liegen bleibt, wo sie ursprünglich verlegt (eingebaut) wurde, sondern daß sie sich mit der Zeit in der Richtung ihrer Längsachse nach irgend einem Schienenende mehr oder weniger bewegt.

Die Ursache dieser Längsbewegung ist die mit der Längsachse der Fahrschiene gleichlaufende Komponente jener resultierenden Kraft, die durch die auf die Fahrschiene im Raume gleichzeitig wirkenden, verschiedenen Kräfte gebildet wird.

Solche Kräfte sind hauptsächlich: 1. die Walzwirkung der rollenden Fahrzeuge (siehe „Organ für Fortschritte des Eisenbahnwesens“ Heft 20 vom Jahre 1913); 2. die Schubwirkung der Räder beim Überlaufen der Stoßlücken; 3. die Bremswirkung der gebremsten Räder; 4. die Schubwirkung der durch die Temperaturschwankungen hervorgerufenen Längenänderung der Schienen.

Der Begriff der Schienenwanderung kann daher folgenderweise bestimmt werden:

Unter Schienenwanderung ist jene Längsbewegung der Fahrschienen zu verstehen, die durch die mit der Längsachse der Fahrschiene gleichlaufende Komponente der auf die Fahrschiene wirkenden, resultierenden Kraft verursacht wird.

3. Die Bestimmungswerte der Schienenwanderung.

Die Bestimmungswerte der Schienenwanderung oder kurz die Wanderwerte sind dieselben wie die einer Bewegung, nämlich Größe und Richtung.

Die Größe der Schienenwanderung ist gleich jener Längsbewegung der Fahrschiene, die seit ihrer Verlegung (Einbau) eingetreten ist. Die Richtung der Schienenwanderung aber ist gleich der Richtung der Längsbewegung der Fahrschiene.

Da sich die Fahrschiene aber in ihrer Längsachse in zwei Richtungssinnen bewegen kann, so soll in den folgenden Erläuterungen festgesetzt werden, daß sich die Schienenwanderung nach vorwärts, oder in $+$ -Richtung entwickelte, wenn die Bewegung gegen den Endpunkt der Bahnstrecke und nach rückwärts, oder in $-$ -Richtung, wenn dieselbe gegen den Anfangspunkt der Bahnstrecke stattgefunden hat.

4. Die Entstehung des Wanderabschnitts.

Unter der Wirkung der Wanderkräfte steht nicht nur die einzelne Fahrschiene, sondern auch die ganze Reihe der aufeinander folgenden Fahrschienen, der sogenannte Schienen-

strang des Gleises, und zwar der Erfahrung nach im Bereiche eines Streckenabschnitts zumeist alle in derselben Richtung.

Es gibt aber auf einer Bahnstrecke auch solche Stellen, wo die Wanderung überhaupt nicht oder nur in so geringem Maße eintritt, daß sie praktisch vernachlässigt werden kann.

Solche Stellen, wo die Fahrschienen in ihrer Lage bleiben, sollen nachstehend feste Bahnstellen genannt werden.

Der zwischen zwei feste Bahnstellen befindliche Streckenabschnitt, wo Wanderung mehr oder weniger eintreten kann, soll Wanderabschnitt genannt werden.

In einem Wanderabschnitt bewegen sich anfänglich die einzelnen Fahrschienen voneinander unabhängig. Jede Fahrschiene bewegt sich anfangs unter der Wirkung der verschiedenen großen Wanderkräfte mit verschiedener Geschwindigkeit.

Im Laufe der Zeit aber kommen die sich mit verschiedenen großer Geschwindigkeit bewegenden Fahrschienen wegen der Beschränktheit der Stoßlückengröße und des Maßes der Schienenbohrung miteinander in Berührung und hiernach bewegen sie sich einander gegenseitig unterstützend.

Die am Schienenstoß angewendete Stoßlücke u und die Schienenbohrung $b = b' + b'' = \alpha u$ ist in Abb. 1 dargestellt.

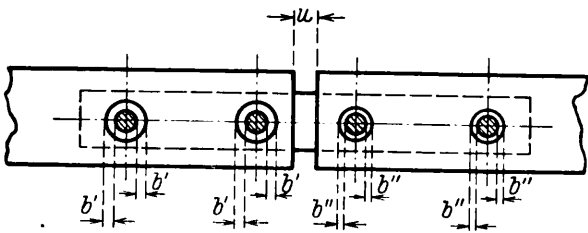


Abb. 1.

Wie sich mit der Zeit die Kräftewirkungen der einzelnen Fahrschienen während des Wanderns summieren können, soll nachstehend erklärt werden.

In Abb. 2 bedeute die Gerade M—N einen Teil des einen Schienenstranges (Wanderabschnitt) vom Gleise. Es wird

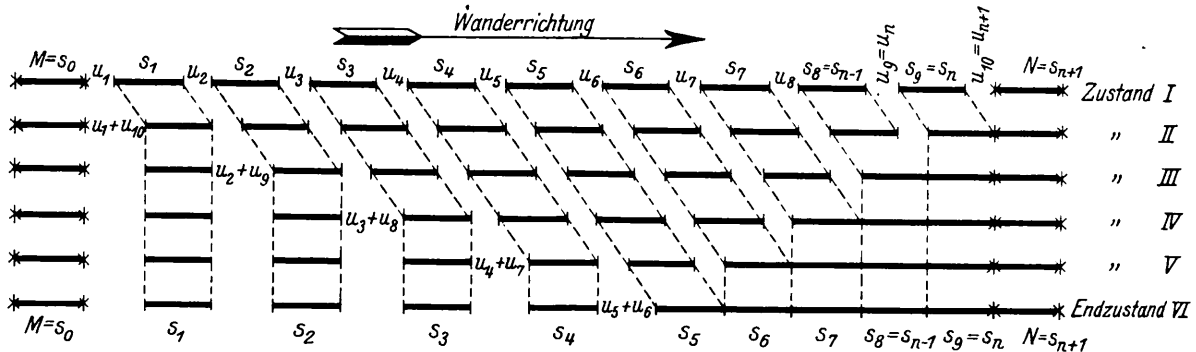


Abb. 2.

angenommen, daß die Fahrschiene $M = s_0$ und $N = s_{n+1}$ feste Bahnstellen sind, ferner, daß die Fahrschienen $s_1 = s_2 = s_3 = \dots = s_i = \dots = s_n = s_9$ gleiche Längen haben und unter gleicher Kraftwirkung in gleichem Maße (gleicher Geschwindigkeit) wandern, d. h. die Stoßlücken $u_1 = u_2 = u_3 = \dots = u_i = \dots = u_n = u_9 = u_{n+1} = u_{10} = u$ gleiche Werte haben, die der normalen Stoßlücke u gleich sind. Das Maß der Schienenbohrung sei gleich der normalen Stoßlücke $b = u$.

Es wird also angenommen, daß der Oberbau auf dem Streckenabschnitt M—N ganz vorschriftsmäßig verlegt (eingebaut) wurde.

In diesem Wanderabschnitt wird sich das Wandern folgenderweise entwickeln.

Anfangs wird sich jede Fahrschiene unter der Wirkung der gleich großen Wanderkräfte unabhängig voneinander in

der Richtung der wirkenden Kraft (im angenommenen Falle von links nach rechts) bewegen.

Die Bewegung wird so lang dauern, bis die Fahrschiene $s_9 = s_n$ an der Fahrschiene der festen Stelle $N = s_{n+1}$ anstößt, wodurch die Stoßlücke $u_{10} = u_{n+1}$ verschwindet.

Da laut Annahme auch die übrigen Fahrschienen unter derselben Kraftwirkung wandern, wie die Fahrschiene $s_9 = s_n$, so mußten auch diese in demselben Maße wandern und alle übrigen Stoßlücken mußten einander gleich bleiben. Nur die erste Stoßlücke u_1 mußte sich in demselben Maße vergrößern, mit dem sich die letzte Stoßlücke $u_{10} = u_{n+1}$ vermindert hat, d. h. mit der ganzen Lückengröße, wodurch die Stoßlücke u_1 verdoppelt worden ist.

Der Zustand I geht daher nach einer gewissen Zeit in den Zustand II über.

Unter der Wirkung der Wanderkräfte entwickelt sich das Wandern immer weiter. Die Fahrschienen s_1 und $s_9 = s_n$ können jedoch nicht mehr weiter wandern und werden daher auch fest, weil die Fahrschiene s_1 durch die Laschenschrauben an die feste Stelle $M = s_0$ gebunden ist. Die Fahrschiene $s_9 = s_n$ ist aber an die feste Stelle $N = s_{n+1}$ geschoben worden.

Die Wanderkräfte wirken aber auch auf die zwei letzt-erwähnten Fahrschienen (s_1 und $s_9 = s_n$) fortwährend, wodurch die Fahrschiene s_1 auf Zug, die Fahrschiene $s_9 = s_n$ auf Druck in Anspruch genommen wird.

Die inneren Fahrschienen $s_2, s_3, \dots, s_5, \dots, s_8 = s_{n-1}$ können frei weiter wandern, so lang, bis die Fahrschienen s_2 und $s_8 = s_{n-1}$ auf das Hindernis der festen Fahrschienen s_1 und $s_9 = s_n$ treffen.

Damit ist der Zustand II in den Zustand III übergegangen.

Im Laufe der Zeit geht ferner der Zustand III in den Zustand IV über, dieser aber in den Zustand V und dieser in den Zustand VI, der im gegenwärtigen Fall zugleich als Endzustand zu betrachten ist.

In diesem Endzustand ist die Hälfte der Stoßlücken des Wanderabschnitts verschwunden, die andere Hälfte hat sich hingegen an Größe verdoppelt und alle Fahrschienen sind in

eine solche Lage gekommen, daß sie nicht mehr wandern können, also eine feste Lage angenommen haben.

Das Maß der Wanderung beträgt bei:

der Fahrschiene 5	$w_5 = 5 u$
„	4 und 6	$w_4 = w_6 = 4 u$
„	3 „ 7	$w_3 = w_7 = 3 u$
„	2 „ 8	$w_2 = w_8 = 2 u$
„	1 „ 9	$w_1 = w_9 = 1 u$

Da die Größe der Wanderung in gleicher Entfernung von der Fahrschiene 5 rechts und links dieselbe ist, kann sie in diesem Falle durch ein gleichschenkeliges Dreieck (Abb. 3) dargestellt werden.

Die Grundlinie des Dreiecks ist in einem bestimmten Maßstabe gleich der Gesamtlängen der $n + 1 = 9 + 1 = 10$ gleich langen Fahrschienen, die Höhe aber mit der Wander-

größe der im größten Maße gewanderten (mittleren) Fahrschienen.

Dieses Bild liefert zugleich auf den an den Endpunkten der Fahrschienen gezogenen Senkrechten im angenommenen Maßstab die Größe der Wanderung der betreffenden Fahrschiene.

Trotz der festen Lage werden aber die Wanderkräfte weiterwirken und diese Wirkung wird sich darin äußern, daß die Fahrschienen mit den großen Stoßlücken bestrebt sind, sich voneinander zu entfernen und die Fahrschienen ohne Stoßlücken bestrebt sind, sich noch mehr aneinander zu schieben, so daß in den ersten Stellen Zugspannungen, in den letzten Druckspannungen verursacht werden. Diese Spannungen sind um so größer, je näher die betreffende Fahrschiene zu den festen Bahnstellen M und N liegt.

Der Wert der Spannung ist in dem Punkte O (Abb. 4), d. i. in der Mitte des Wanderabschnitts M—N Null, in den Punkten P und R aber am größten und kann hier mit gleichem, aber entgegengesetztem Werte angenommen werden.

Die Schienenreihe mit Zugspannungen wird gezogener Teilabschnitt genannt, die mit Druckspannungen gepreßter Teilabschnitt.

Die Schienenwanderung wird sich aber in Wirklichkeit nur im seltensten Fall in solcher ideal-normaler Weise und in so großem Maße entwickeln. Sie wird sich unter Einwirkung verschiedener Umstände fast immer willkürlich, aber doch der erläuterten Art sehr ähnlich entwickeln, wie es nachstehend noch deutlicher ersichtlich gemacht wird.

II. Die Ermittlung der Wanderwerte mit dem neuen Verfahren.

5. Die Ableitung des neuen Verfahrens.

Nachstehend wird ein Verfahren abgeleitet, mit Hilfe dessen für eine jede Fahrschiene der Bahnstrecke die Wanderwerte ermittelt werden können, falls die Wanderwerte zweier

Es sei auf einer Bahnstrecke, die einen Wanderabschnitt bildet, die Entfernung zweier festen Bahnstellen M—N (Abb. 5).

Die Länge des angenommenen Wanderabschnitts sei L, die Anzahl der Fahrschienen in dem einen Schienenstrang

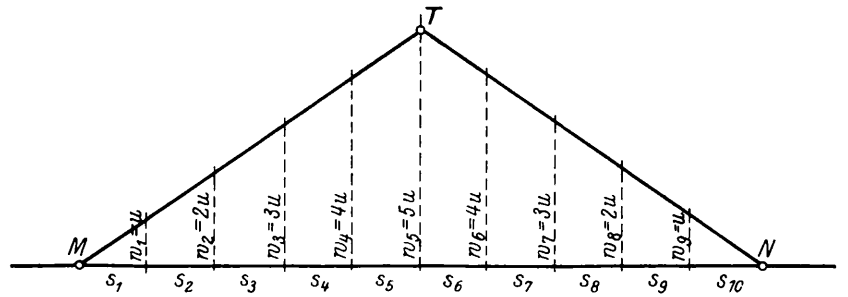


Abb. 3.

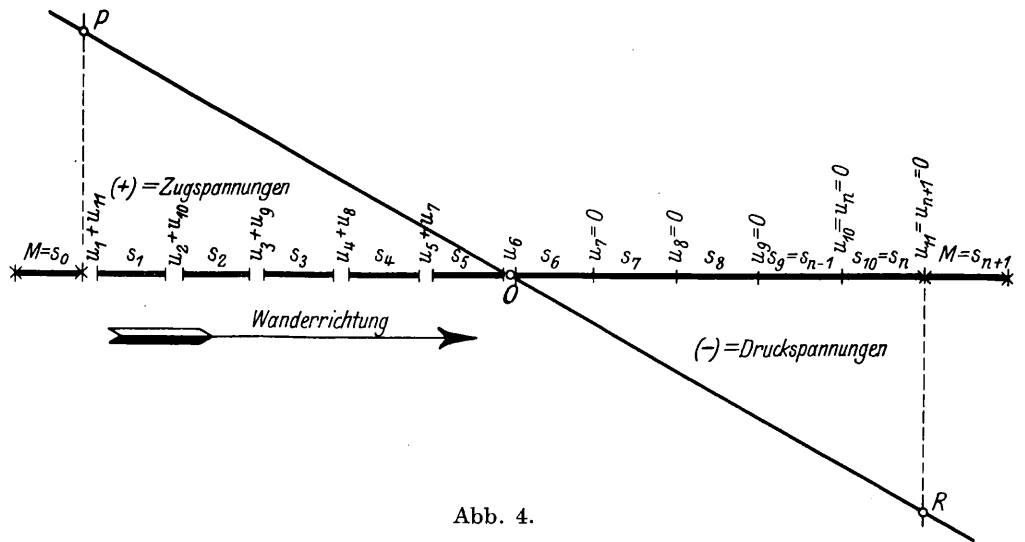


Abb. 4.

des Abschnitts sei n, die Anzahl der Stoßlücken des Abschnitts ist n + 1, der Größenwert der einzelnen Stoßlücken sei: $u_1 u_2 u_3 \dots u_i \dots u_n u_{n+1}$, deren Werte verschieden groß sind, wenn sich in dem Schienenstrang Wanderung entwickelt hat. Ferner wird angenommen, daß die Größen aller Stoßlücken bei ständig gleicher Temperatur durch genaues Messen bestimmt wurden.

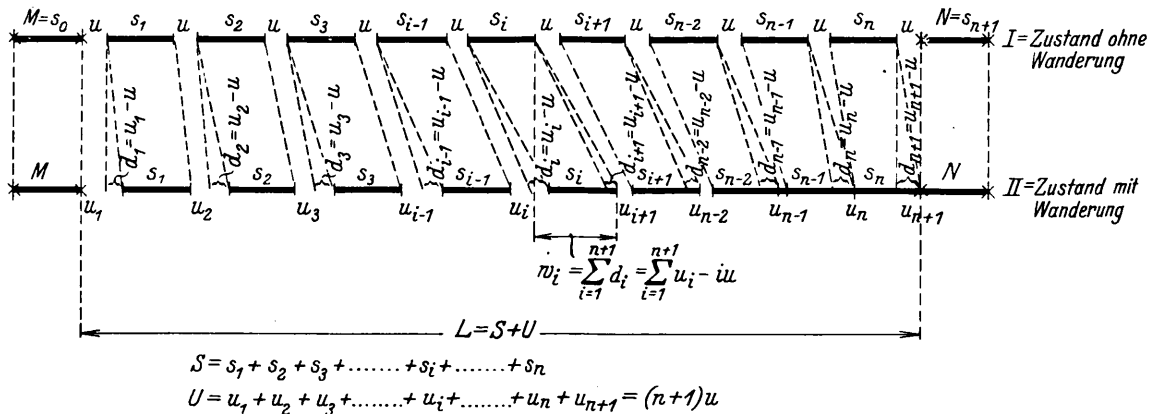


Abb. 5.

voneinander nicht allzu fernliegenden Punkte des Schienenstranges bekannt sind.

Einstweilen wird der Einfachheit halber angenommen, daß die zwei Punkte der zu untersuchenden Bahnstrecke feste Bahnstellen sind und daher nicht gewandert sind, d. h. daß $w_0 = w_{n+1} = 0$ ist.

Wenn die verschieden großen Werte aller Stoßlücken des angenommenen Wanderabschnitts summiert werden und ihre Summe durch die Zahl der Stoßlücken n + 1 dividiert wird, so erhält man offenbar als Durchschnittswert die Größe der normalen Stoßlücke, oder eigentlich jener Stoßlücke, mit der seinerzeit der Oberbau verlegt wurde; diese sind gleich, wenn

die Verlegung des Oberbaues regelmäßig vollzogen wurde, was den praktischen Anforderungen entsprechend fast immer genügend genau angenommen werden kann.

Die Größe der Durchschnittsstoßlücke soll mit u bezeichnet werden. Dann ist:

$$u = \frac{u_1 + u_2 + u_3 + \dots + u_i + \dots + u_n + u_{n+1}}{n + 1}$$

$$u = \frac{\sum_{i=1}^{n+1} u_i}{n + 1}$$

Wenn $\sum_{i=1}^{n+1} u_i = U$ ist, so ist:

$$u = \frac{U}{n + 1} \dots \dots \dots 1)$$

Das heißt: die Größe der Durchschnittsstoßlücke eines Wanderabschnitts ist gleich der Summe aller vorhandenen Stoßlücken dividiert durch die Anzahl der Stoßlücken des Wanderabschnitts.

Wenn man diese Durchschnittsstoßlücke mit den gemessenen Stoßlücken vergleicht, so kann festgestellt werden, daß sie im allgemeinen verschieden groß sind.

Es müssen daher die Differenzen zwischen den Größenwerten der durchschnittlichen (normalen) und der gemessenen (tatsächlich vorhandenen) Stoßlücken ermittelt werden.

Wenn man diese sämtlichen Differenzen von einer festen Bahnstelle als Anfangspunkt aus mit Berücksichtigung des Vorzeichens summiert, so erhält man offenbar den Größenwert der Verschiebung (Wanderung) der betreffenden letzten Fahrschiene (Abb. 5).

Die einzelnen Differenzen sind:

$$\begin{aligned} d_1 &= u_1 - u \\ d_2 &= u_2 - u \\ d_3 &= u_3 - u \\ &\vdots \\ d_i &= u_i - u \\ &\vdots \\ d_n &= u_n - u \\ d_{n+1} &= u_{n+1} - u \\ w_i &= \sum_{i=1}^{n+1} d_i = \sum_{i=1}^{n+1} u_i - i u \dots \dots \dots 2) \end{aligned}$$

Das ist die Grundformel des neuen Ermittlungsverfahrens.

Die Summen der einzelnen Differenzen sind:

$$\begin{aligned} w_0 &= 0 \\ w_1 &= d_1 \\ w_2 &= d_1 + d_2 \\ &\vdots \\ w_i &= d_1 + d_2 + \dots + d_i = \sum_{i=1}^i d_i = \sum_{i=1}^{n+1} u_i - i u \\ &\vdots \\ w_n &= d_1 + d_2 + \dots + d_i + \dots + d_n = \sum_{i=1}^n u_i - n u \\ w_{n+1} &= d_1 + d_2 + \dots + d_i + \dots + d_n + d_{n+1} = \sum_{i=1}^{n+1} u_i - (n + 1) u. \end{aligned}$$

Der Wert des letzten Gliedes $w_{n+1} = \sum_{i=1}^{n+1} u_i - (n + 1) u$

gibt die Wandergröße des Endpunkts oder der anderen festen Bahnstelle.

Dieser Wanderwert muß aber wegen der angenommenen festen Lage dieses Punktes Null sein. Es ist also:

$$\begin{aligned} w_{n+1} &= \sum_{i=1}^{n+1} u_i - (n + 1) u = 0 \\ \sum_{i=1}^{n+1} u_i &= (n + 1) u = U \\ u &= \frac{U}{n + 1}. \end{aligned}$$

6. Die Durchführung des neuen Ermittlungsverfahrens.

Die Durchführung des neuen Ermittlungsverfahrens gründet sich auf die Grundformel $w_i = \sum_{i=1}^{n+1} u_i - i u$.

Die Wanderwerte (Größe und Richtung der Schienenwanderung) können daraus ermittelt werden, wenn die Anzahl und Größe der im Wanderabschnitt vorhandenen, sämtlichen Stoßlücken (i und u_i), ferner die Größe der normalen (durchschnittlichen) Stoßlücke u bekannt ist.

Diese Zahlen sind teilweise durch Abzählen und Messen, teilweise aber durch Rechnen zu bestimmen. Sie machen daher a) äußere oder Aufnahmemarbeit und b) innere oder Kanzleiarbeit nötig und sind zweckmäßig in ein Feldbuch nach Muster Anlage I und II, Taf. 1 einzutragen.

a) Die Durchführung der Aufnahmemarbeit umfaßt folgende Verrichtungen:

1. die Bestimmung der Ordnungszahlen der im Wanderabschnitt vorhandenen Stoßlücken;
 2. das Messen des Größenwertes der im Wanderabschnitt vorhandenen Stoßlücken.
- Ferner ist es noch zweckmäßig, zur Kontrolle zu bestimmen:
3. die Länge aller Fahrschienen im Wanderabschnitt;
 4. die Stationierung der den Streckenabteilungszeichen zunächstliegenden Stoßlückenpaare und zugleich das Maß der Verdrehung beider Stoßlücken gegeneinander.

Die wichtigste Verrichtung der Aufnahmemarbeit ist das Messen der Stoßlücken. Von der Genauigkeit dieser Meßarbeit hängt nämlich die Genauigkeit des zu ermittelnden Größenwertes der Schienenwanderung ab. Deswegen muß diese Messung mit besonderer Sorgfalt ausgeführt werden. Es ist daher zweckmäßig, diese Meßarbeit von den vorerwähnten, weniger heiklen Meßarbeiten unabhängig zu vollziehen.

Es ist wohl allgemein bekannt, daß sich der Größenwert der Stoßlücken mit der Temperatur ändert (und zwar im umgekehrten Verhältnisse).

Die Änderung des Größenwertes der Stoßlücken während der Meßarbeit würde aber in dem Endresultat einen groben Fehler verursachen, der um so größer sein würde, je größer die Temperaturschwankung, und damit der Größenwert der Stoßlücken ist.

Zwecks Verstopfung einer größeren Fehlerquelle muß daher angestrebt werden, daß die im Wanderabschnitt vorhandenen Stoßlücken womöglich bei gleichbleibender Temperatur gemessen werden.

Daraus folgt:

1. Die Stoßlücken sind — besonders in längeren Wanderabschnitten — womöglich zu einer solchen Tageszeit zu messen, in der eine größere Änderung der Temperatur nicht zu erwarten ist. Deshalb ist z. B. trübe Witterung am geeignetsten dazu, oder die Morgendämmerung vor Sonnenaufgang. Dann sind nämlich die Schienen der Hitze der Sonnenbestrahlung nicht ausgesetzt. Im Notfall kann diese Meßarbeit auch an sonnigen Tagen zu einer solchen Tageszeit ausgeführt werden, in der die Temperatur schon das Tagesmaximum erreicht hat und sich daher die Schienen nicht mehr weiter dehnen können, also ungefähr zur Mittagszeit, etwa von vormittags 10 bis 11 Uhr bis nachmittags 2 bis 3 Uhr. Es ist aber darauf zu achten, daß in dem sonnenbestrahlten Wanderabschnitt keine Spannungen vorhanden sind.

2. Das begonnene Messen der Stoßlücken in einem Wanderabschnitt ist ohne Unterbrechung fortzusetzen und so rasch als möglich zu beenden.

3. Es ist erwünscht, während dieser Meßarbeit an einem Thermometer etwaige Temperaturänderung zu beobachten. Ändert sich die Temperatur während der Meßarbeit um mehr als 1° bis 2° C, so ist dieser Umstand beim Ausarbeiten des Endresultats zu berücksichtigen.

4. Das Messen der Stoßlücken ist zweckmäßig mit Hilfe des in Abb. 6 dargestellten Meßkeiles durchzuführen mit einer Genauigkeit von wenigstens ± 0,2 mm.

Ein Messungsleiter (Ingenieur oder Bahnmeister) kann mit zwei Hilfsarbeitern in einer Stunde durchschnittlich auf einer 2 km langen Strecke das Messen der Stoßlücken vollenden.

b) Die Kanzleiarbeit umfaßt folgende Verrichtungen:

1. Die Ergänzung des Feldbuches durch Eintragen der Neigungs- und Krümmungsverhältnisse, die aber nur zur Kontrolle nötig sind;

2. das Abschließen aller Spalten des Feldbuches durch entsprechendes Addieren;

3. die Ermittlung der Summen:

$$\sum_{i=1}^n s_{l,i}, \sum_{i=1}^n s_{r,i}, D_l, D_r, \sum_{i=1}^{n+1} u_i = U \quad \text{und} \quad \sum_{i=1}^{n+1} u_{r,i} = U_r, i;$$

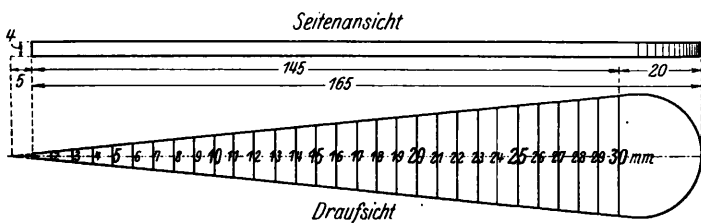


Abb. 6.

4. die Bestimmung der Größe der normalen (durchschnittlichen) Stoßlücke des Wanderabschnitts:

$$u_l = \frac{\sum_{i=1}^{n+1} u_{l,i}}{n+1} + \frac{U_l}{n+1} \quad \text{und} \quad u_r = \frac{\sum_{i=1}^{n+1} u_{r,i}}{n+1} = \frac{U_r}{n+1}$$

wenigstens mit der Genauigkeit von ± 0,1 mm.

Hierauf kann das Ermittlungsverfahren nach zwei Arten durchgeführt werden, und zwar rechnerisch und zeichnerisch.

7. Das rechnerische Ermittlungsverfahren und seine Anwendung.

Das rechnerische Verfahren kann nach der Grundformel $w_i = \sum_{i=1}^{n+1} u_i - iu$ durchgeführt werden. Die Durchführung ist zwar sehr einfach und liefert ein sehr genaues Resultat, jedoch ist sie etwas langwierig und mühsam.

Daher ist das rein rechnerische Verfahren hauptsächlich nur zur Kontrolle des nachstehend erläuterten, zeichnerischen Ermittlungsverfahrens zweckmäßig zu verwenden.

8. Das zeichnerische Ermittlungsverfahren und die Anwendung desselben.

Die Grundformel der Wanderwerte $w_i = \sum_{i=1}^{n+1} u_i - iu$ kann in folgende Form gebracht werden:

$$iu = \sum_{i=1}^{n+1} u_i - w_i.$$

An der Anfangsstelle des Wanderabschnitts ist laut Annahme $iu = \sum_{i=0} u - 0 = 0$ und an der Endstelle des Wanderabschnitts ist: $iu = (n+1)u = \sum_{i=n+1} u_i - 0 = U.$

Da auf den Bahnstrecken bereits ausschließlich gleich lange Schienen und daher auch gleich große Stoßlücken verwendet werden, so kann zwischen der Länge des Wanderabschnitts und den Summen der Stoßlücken mit der den praktischen Anforderungen so gut wie immer genügenden Genauigkeit folgende Proportion festgestellt werden (Abb. 7):

$$L : (n+1)u = L_i : iu, \quad \text{oder} \\ L : (n+1)u = L_i : \sum_{i=1}^{n+1} u_i - w_i.$$

Wenn man also die Länge des Wanderabschnitts L in einem bestimmten Maßstab auf eine Gerade als Abszissenachse aufträgt und in den Anfangs- und Endpunkten (Grenzpunkten) die zu ihnen gehörenden bekannten Werte iu auf die zur Abszissenachse senkrechten Ordinatenlinien, d. i. im Anfangspunkt den Wert $iu = 0$ und im Endpunkt $iu = (n+1)u = \sum_{i=1}^{n+1} u_i = U$ in einem bestimmten Maßstab absetzt und weiter die dadurch erhaltenen zwei Punkte M und O mit einer Geraden verbindet, dann kann offenbar die Wandergröße als ein Längenstück der Ordinatenlinien im gewählten

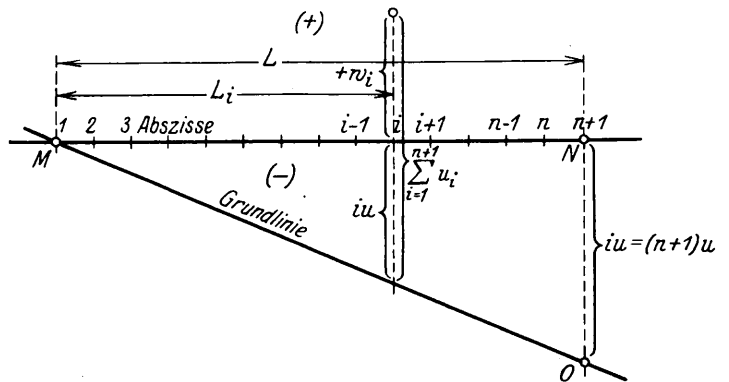


Abb. 7.

Maßstab ermittelt werden und zwar dadurch, daß die Werte $\sum_{i=1}^{n+1} u_i$ als Ordinaten von der Geraden M-O als von der Grundlinie aus auf die Ordinatenlinien aufgetragen werden.

Die Wandergröße w_i kann bei Annahme der Grundlinie M-O auf derselben Seite der Abszissenachse M-N in drei Lagen ermittelt werden.

Nachstehend soll die Grundlinie M-O immer unter der Abszissenachse angenommen werden.

1. Wenn $\sum_{i=1}^{n+1} u_i > iu$ ist, d. h. die Richtung der Schienenwanderung ist (+) positiv, dann ist in Abb. 7:

$$L : (n+1)u = L_i : \left(\sum_{i=1}^{n+1} u_i - w_i \right).$$

In diesem Fall ergibt sich die Wandergröße w_i als ein Längenstück der Ordinatenlinie oberhalb der Abszissenachse M-N und zwar muß das Vorzeichen + sein.

2. Wenn $\sum_{i=1}^{n+1} u_i < iu$ ist, also die Richtung der Schienenwanderung (-) negativ ist, dann ist in Abb. 8.:

$$L : (n+1)u = L_i : \left[\sum_{i=1}^{n+1} u_i + (-w_i) \right].$$

In diesem Fall ergibt sich die Wandergröße w_i als ein Längenstück der Ordinatenlinie unter der Abszissenachse M-N und die Wanderrichtung muß das Vorzeichen - haben.

3. Wenn $\sum_{i=1}^{n+1} u_i = iu$ ist - es ist also keine Wanderung vorhanden - dann ist in Abb. 9:

$$L : (n+1)u = L_i : iu \quad \text{und die Wandergröße } w_i = 0.$$

a) Das Konstruieren der Wanderlinie eines Wanderabschnitts.

Wenn man nun die Länge des angenommenen Wanderabschnitts L in einem gewählten Maßstab auf gleich lange, entsprechend kleine Teile (z. B. auf $\frac{L}{ms}$, wo s die Schienenlänge und m den Vergleichskoeffizienten bedeutet) aufteilt und für einen jeden Teil die Wanderwerte nach den obigen Erläuterungen ermittelt und die dadurch erhaltenen Punkte mit Geraden oder besser mit entsprechend gebogenen Linienzügen verbindet, so können durch Interpolieren auch für Punkte, die sich zwischen den Einteilungspunkten befinden, die Ordinatenstücke als Wanderwerte ermittelt werden.

Der erhaltene Linienzug, der die Wanderwerte eines Schienenstranges im Wanderabschnitt darstellt, soll Schienenwanderungslinie oder kurz Wanderlinie genannt werden.

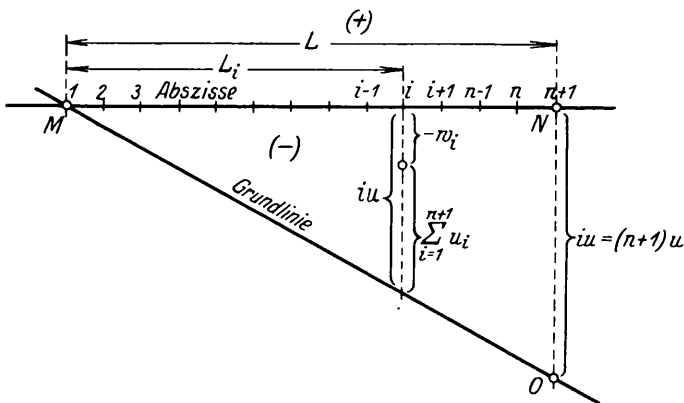


Abb. 8.

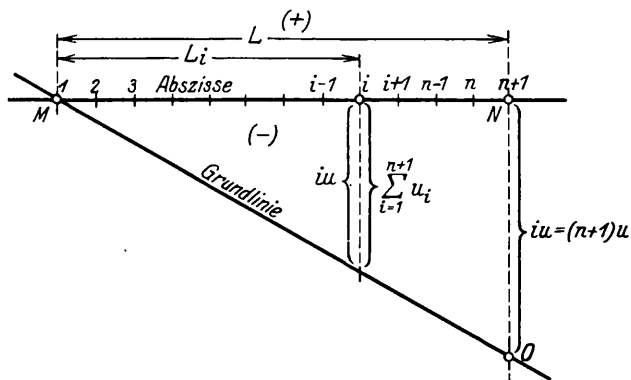


Abb. 9.

b) Das Konstruieren des Wanderbildes einer Bahnstrecke.

Wenn man für beide Schienenstränge des Wanderabschnitts die Wanderlinien konstruiert und auffallend bezeichnet (z. B. mit verschiedenen Farben, oder mit verschieden gestalteten Linienzügen), so erhält man über die Wanderhältnisse des ganzen Wanderabschnitts ein sehr übersichtliches und für die praktischen Zwecke genügend genaues Bild, das Schienenwanderungsbild oder kurz Wanderbild genannt werden soll. In Abb. 18 sind z. B. die in der Anlage II Taf. 1 beispielsweise angedeuteten Meßergebnisse zeichnerisch dargestellt.

9. Die Verallgemeinerung des neuen Ermittlungsverfahrens.

Es kommt häufig vor, daß die als Grenzpunkte des angenommenen Wanderabschnitts gewählten, sogenannten festen Bahnstellen auch nicht immer ganz unbeweglich sind, wie das bisher der Einfachheit halber angenommen wurde.

Es kann vielmehr der eine oder andere mehr oder weniger gewandert sein, vielleicht auch beide.

An diesen Stellen ist aber die Größe und Richtung der Schienenwanderung aus der relativen Lage des Eisenbahnoberbaues im Gleise fast immer ermittelbar.

In solchen Fällen muß sich in der Formel der normalen Stoßlücke:

$$u = \frac{\sum_{i=1}^{n+1} u_i}{n+1} = \frac{U}{n+1}$$

der Wert des Zählers ändern, weil dadurch, daß ein Grenzpunkt des Wanderabschnitts in irgendeiner Richtung gewandert ist, sich auch der Wert des Zählers $\sum_{i=1}^{n+1} u_i = U$ ändern muß und zwar folgenderweise:

Wenn die Grenzpunkte des Wanderabschnitts in irgendwelcher Richtung mit $\pm w_0$ und $\pm w_{n+1}$ gewandert sind, so mußte sich die Summe $U = \sum_{i=1}^{n+1} u_i$ um die Werte $\pm w_0$ und $\pm w_{n+1}$ vermindern oder vergrößern und umgekehrt. Es wird also:

$$U \mp (\pm w_0) \pm (\pm w_{n+1}) = U - w_0 + w_{n+1}$$

$$U - w_0 + w_{n+1} = U' = \sum_{i=1}^{n+1} u_i - w_0 + w_{n+1} = \sum'_{i=1}^{n+1} u_i$$

Daraus folgt:

$$U = U' + w_0 - w_{n+1} = \sum_{i=1}^{n+1} u_i = \sum'_{i=1}^{n+1} u_i + w_0 - w_{n+1}$$

wo $U' = \sum'_{i=1}^{n+1} u_i$ die Summe der nach Änderung der ursprünglichen Stoßlücken tatsächlich vorhandenen Stoßlückengrößen bedeutet und im allgemeinen ist:

$$u = \frac{U}{n+1} = \frac{U' + w_0 - w_{n+1}}{n+1} = \frac{\sum'_{i=1}^{n+1} u_i + w_0 - w_{n+1}}{n+1} \dots 3)$$

Wenn die Grenzpunkte des Wanderabschnitts in irgendeiner Richtung gewandert sind, wird der Größenwert der normalen Stoßlücke so ermittelt, daß man unter Berücksichtigung des Vorzeichens zur Summe der im Wanderabschnitt tatsächlich vorgefundenen Stoßlückengrößen die Wandergröße des Anfangspunktes addiert und die Wandergröße des Endpunktes von ihr subtrahiert und das erhaltene Resultat mit der Anzahl der im Wanderabschnitt befindlichen Stoßlücken dividiert.

10. Die praktische Durchführung des neuen Ermittlungsverfahrens.

Nach Ermittlung des Größenwertes der normalen Stoßlücke kann das Verfahren wieder rechnerisch und zeichnerisch durchgeführt werden.

a) Mit dem rechnerischen Verfahren.

Das rechnerische Verfahren ist schon unter Ziffer 7 erläutert worden. Es muß nur noch darauf geachtet werden, daß eine Wandergröße des Anfangspunktes (mit dem richtigen Vorzeichen) immer zur Wandergröße sämtlicher Fahrschienen addiert werden muß. Es ist also:

$$w_i = \pm w_0 + \sum_{i=1}^{n+1} u_i - iu \dots 4)$$

b) Mit dem zeichnerischen Verfahren.

Auch die Durchführung des zeichnerischen Verfahrens unterscheidet sich nicht wesentlich von dem unter Ziffer 8 eingehender erläuterten Ermittlungsverfahren.

Der einzige Unterschied besteht darin, daß auch die Wandergrößen der Grenzpunkte des angenommenen Wander-

abschnitts in Betracht zu ziehen sind. Dies geschieht dadurch, daß die Lage der Grundlinie M-O von den Wandergrößen $\pm w_0$ und $\pm w_{n+1}$ abhängig gemacht wird, wie das in den nachstehenden Abb. 10-17 erläutert werden soll.

1. Wenn $w_0 > 0$ und $w_{n+1} = 0$ ist, wird
im Falle $\sum_{i=1}^{n+1} u_i > iu$, $w_i = w_i' + w_0'$; und
„ „ $\sum_{i=1}^{n+1} u_i < iu$, $w_i = w_i' - w_0'$

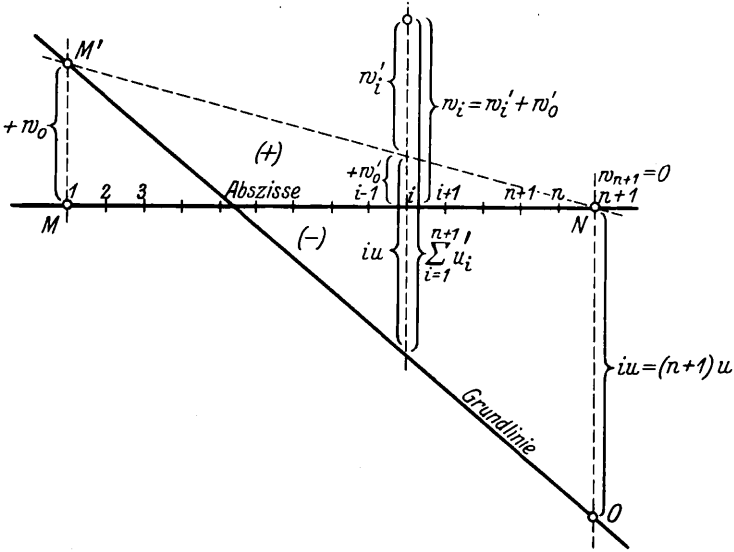


Abb. 10.

2. Wenn $w_0 = 0$ und $w_{n+1} > 0$ ist, wird
im Falle $\sum_{i=1}^{n+1} u_i > iu$, $w_i = w_i' + w_{n+1}'$; und
„ „ $\sum_{i=1}^{n+1} u_i < iu$, $w_i = w_i' - w_{n+1}'$

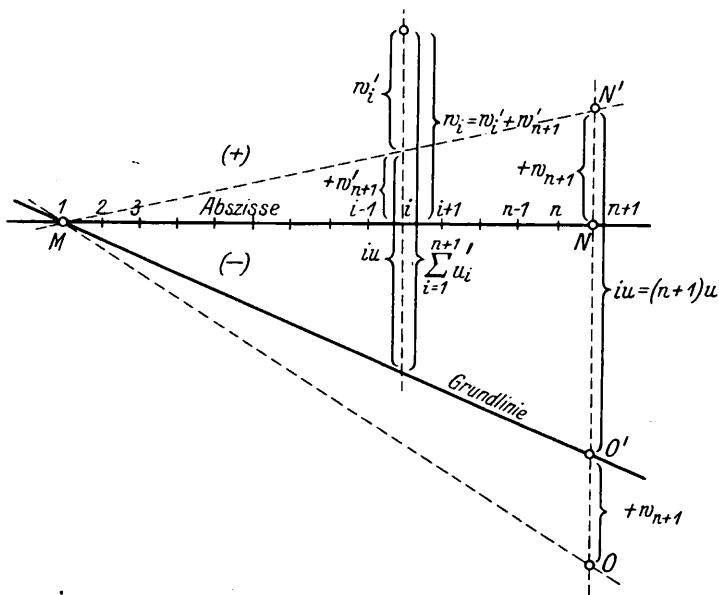


Abb. 11.

3. Wenn $w_0 > 0$ und $w_{n+1} > 0$ ist, wird
im Falle $\sum_{i=1}^{n+1} u_i > iu$, $w_i = w_i' + w_0' + w_{n+1}'$; und
„ „ $\sum_{i=1}^{n+1} u_i < iu$, $w_i = w_i' - w_0' - w_{n+1}'$

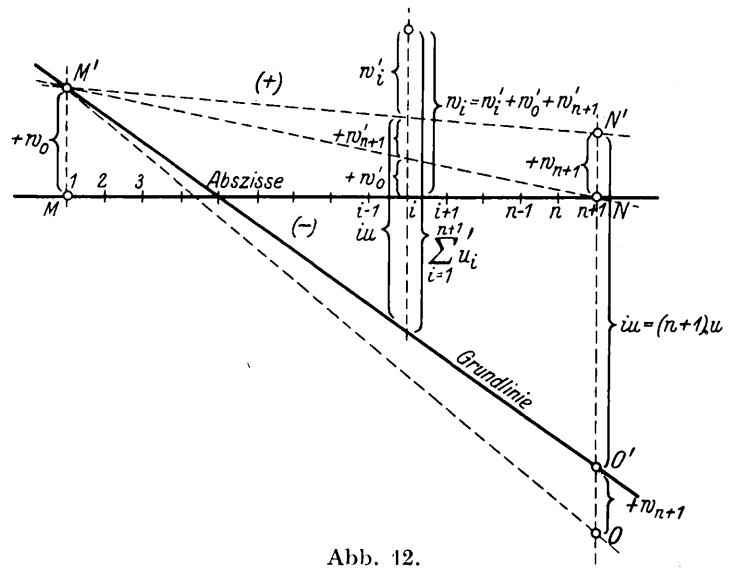


Abb. 12.

4. Wenn $w_0 < 0$ und $w_{n+1} = 0$ ist, wird
im Falle $\sum_{i=1}^{n+1} u_i > iu$, $w_i = w_i' - w_0'$; und
„ „ $\sum_{i=1}^{n+1} u_i < iu$, $w_i = w_i' + w_0'$

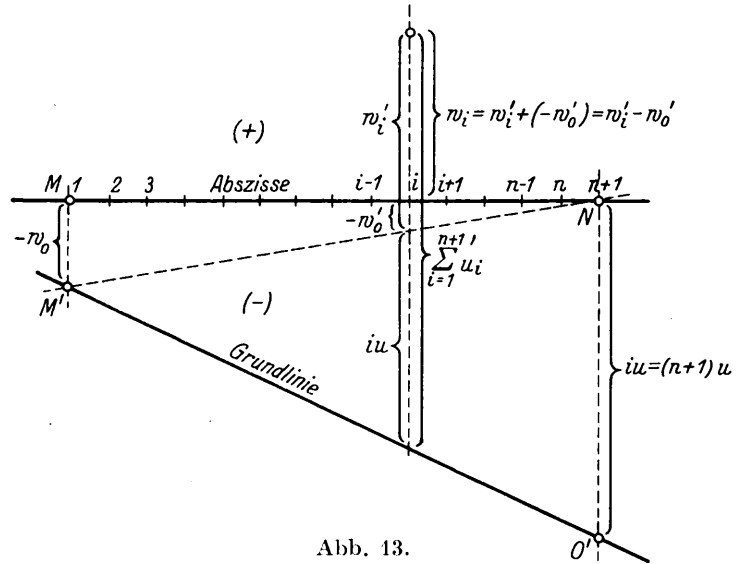


Abb. 13.

5. Wenn $w_0 = 0$ und $w_{n+1} < 0$ ist, wird
im Falle $\sum_{i=1}^{n+1} u_i > iu$, $w_i = w_i' - w_{n+1}'$; und
„ „ $\sum_{i=1}^{n+1} u_i < iu$, $w_i = w_i' + w_{n+1}'$

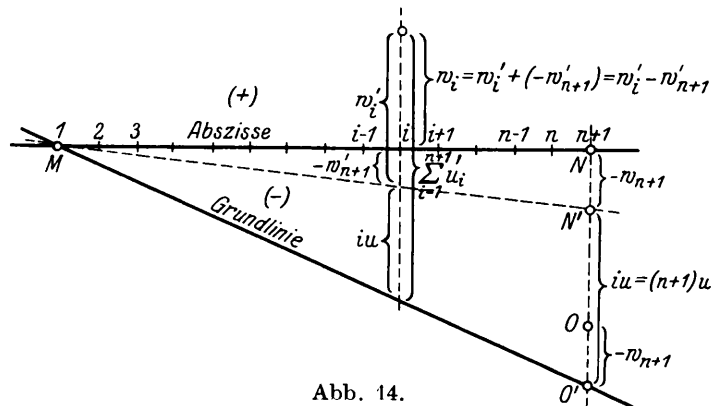


Abb. 14.

6. Wenn $w_0 < 0$ und $w_{n+1} < 0$ ist, wird
 im Falle $\sum_{i=1}^{n+1} u_i > iu$, $w_i = w_i' - w_0' - w_{n+1}'$; und
 „ „ $\sum_{i=1}^{n+1} u_i < iu$, $w_i = w_i' + w_0' + w_{n+1}'$

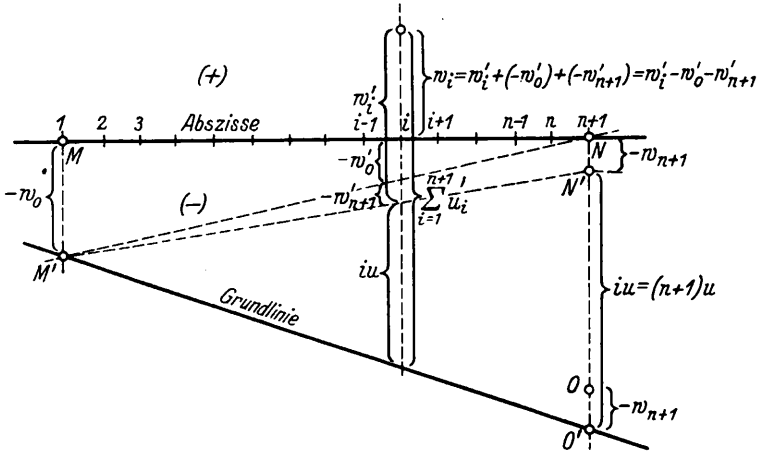


Abb. 15.

7. Wenn $w_0 > 0$ und $w_{n+1} < 0$ ist, wird
 im Falle $\sum_{i=1}^{n+1} u_i > iu$, $w_i = w_i' + w_0' - w_{n+1}'$; und
 „ „ $\sum_{i=1}^{n+1} u_i < iu$, $w_i = w_i' - w_0' + w_{n+1}'$

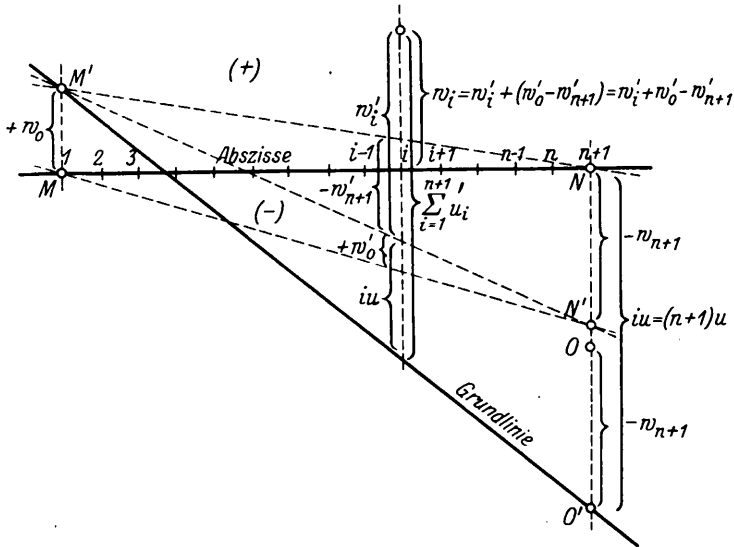


Abb. 16.

8. Wenn $w_0 < 0$ und $w_{n+1} > 0$ ist, wird
 im Falle $\sum_{i=1}^{n+1} u_i > iu$, $w_i = w_i' - w_0' + w_{n+1}'$ und
 „ „ $\sum_{i=1}^{n+1} u_i < iu$, $w_i = w_i' + w_0' - w_{n+1}'$.

Die Lage der Grundlinie M—O kann daher so ermittelt werden, daß die Wandergröße der Grenzpunkte w_0 und w_{n+1} mit Rücksicht auf das Vorzeichen auf die Ordinatenlinien der Grenzpunkte aufgetragen werden; die Grundlinie ist dann die Gerade, zwischen den zwei Punkten M—O' oder M'—O'.

Nach Ermittlung der Grundlinie folgt der weitere Vorgang so, wie dies unter Ziffer 8 erläutert wurde, mit dem Unterschied jedoch, daß statt der Werte $\sum_{i=1}^{n+1} u_i$ die Werte $\sum_{i=1}^{n+1} u_i'$ aufzutragen sind.

Wenn es also gelungen ist, an zwei Stellen einer Bahnstrecke die Wanderwerte irgendwie zu ermitteln, so können auch diese Werte für alle Fahrstrecken der Zwischenstellen leicht ermittelt werden und zwar sowohl mit rechnerischem als auch mit zeichnerischem Verfahren.

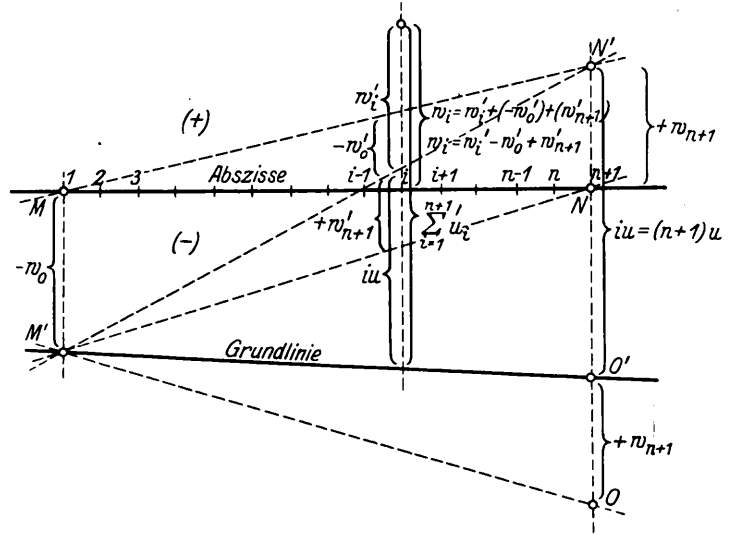


Abb. 17.

Die Genauigkeit des erhaltenen Resultats hängt aber von der Entfernung der Grenzpunkte (Anfangs- und Endpunkte) ab. Diese Entfernung soll womöglich nicht größer sein, als 4 bis 5 km. Das heißt, der angenommene Wanderabschnitt soll die Länge von 4 bis 5 km nicht überschreiten.

Als Grenzpunkte können auch die auf der Bahnstrecke vorhandenen Beobachtungspflöcke angenommen werden, aber nur dann, wenn aus ihnen die Wanderwerte mit genügender Genauigkeit und Verlässlichkeit ermittelt werden können. Als verlässlich können nur solche Beobachtungspflöcke angesehen werden, die noch vor Beginn der Wanderung gegen Verrückung gut gesichert (womöglich in Beton gelagert) versetzt worden sind.

Wenn aber keine verlässlichen Beobachtungspflöcke vorhanden sind, ist das Ziel gewöhnlich mit Hilfe der sogenannten festen Bahnstellen zu erreichen. Solche sind die in der Strecke verlegten Weichen (Weichenspitzen und Kreuzungen), auf den längeren, eisernen Brücken verwendete Schienenstöße oder Ausziehvorrichtungen und eventuell mit fester Decke versehene, schon seit Verlegung des Oberbaues bestehende schienengleiche Wegübergänge.

An der Stelle dieser Objekte kann die Richtung und Größe der Schienenwanderung gewöhnlich mit genügender Genauigkeit durch einfache Besichtigung ermittelt werden. An diesen Stellen ist im allgemeinen gar keine (d. i. $w_0 = w_{n+1} = 0$), oder eine verhältnismäßig sehr geringe, nur wenige Zentimeter betragende Wanderung vorhanden. Für gewöhnlich sind solche Stellen in genügender Zahl auf der Bahnstrecke aufzufinden.

III. Erläuterung praktischer Beispiele und Schlußfolgerungen.

11. Praktische Ermittlung der Wanderwerte eines Wanderabschnitts mit dem zeichnerischen Verfahren.

In Abb. 18 ist die Ermittlung der Wanderwerte praktisch durchgeführt. Die Länge des angenommenen Wanderabschnitts ist $L = 948,25$ m. Die Anzahl der Stoßlücken ist laut Anlage II Taf. 1 $n + 1 = 107$.

Den Anfangspunkt bildet ein Schienenstoß auf einer eisernen Brücke als feste Bahnstelle, den Endpunkt N aber

die Spitze der Weiche Nr. 1 eines Bahnhofes, die gleichfalls als feste Bahnstelle gelten kann.

Die Wandergröße und Richtung des Anfangspunktes im linken Schienenstrang ist $w_{l,0} = 0$ mm und die des Endpunktes $w_{l(n+1)} = +20$ mm.

Die Wandergröße und Richtung des Anfangspunktes im rechten Schienenstrange ist $w_{r,0} = -90$ mm und die des Endpunktes ist $w_{r(n+1)} = 0$ mm.

Die Wandergröße und Richtung für jeden 50 m langen Teil des ganzen Wanderabschnittes (für beide Schienenstränge) ist zur Kontrolle in der Anlage II beispielsweise auch mit dem rechnerischen Verfahren ermittelt worden; ferner wurden in den ersten Hektometern des Wanderabschnittes dieselben auch für alle Fahrshienen ermittelt.

Das zeichnerische Ermittlungsverfahren wird praktisch folgend ausgeführt:

1. Das Feldbuch wird — wie in der Anlage II, Tafel 1 — aufgestellt.

Auf die Abszissenachse wird die Stationierung des Wanderabschnittes in einem entsprechenden Maßstab — im Falle der Abb. 18 im Maßstab 1:10000 — aufgetragen. Der Wanderabschnitt wurde hier in 50 m lange Teile eingeteilt. Es könnte praktisch auch die Teilung in 100 m genügen.

3. Auf den Ordinatenlinien bei den Grenzpunkten M und N wurde mit Rücksicht auf das Vorzeichen die Wandergröße des betreffenden Grenzpunktes im Maßstabe 1:5 (Höhenmaßstab) aufgetragen. Die Wandergröße des Endpunktes $w_{l(n+1)} = +20$ mm im linken Schienenstrang wird vom Punkte N nach aufwärts aufgetragen, wodurch der Punkt N_1 erhalten wurde. Die Wandergröße des Anfangspunktes $w_{r,0} = -90$ mm im rechten Schienenstrange wird aber vom Punkte M nach abwärts aufgetragen, wodurch der Punkt M_r erhalten wurde.

4. Von dem Punkte N_1 wurde die Länge von $i u_l = (n+1) u_l = 502$ mm im Maßstabe 1:5 nach abwärts aufgetragen. Dadurch wurde der Punkt O_l erhalten. Die Verbindung dieses Punktes mit dem Punkte M gibt die Grundlinie für den linken Schienenstrang.

Von der Grundlinie werden auf die Ordinatenlinien im Maßstabe 1:5 die entsprechenden Summen $\sum_{i=1}^{n+1} u_{l,i}$ aus der Spalte 12 des Feldbuches aufgetragen.

Die auf den Ordinatenlinien erhaltenen Schnittpunkte sind die Punkte der Schienenwanderungslinie (Wanderlinie) für den linken Schienenstrang. Durch die Verbindung dieser Punkte mit einem fortlaufenden Linienzug erhält man die Wanderlinie des linken Schienenstranges.

Die Ordinatenlängen der Wanderlinie bedeuten die Wandergröße (in diesem Falle im Maßstabe 1:5) der betreffenden Stelle. Die erhaltenen Punkte befinden sich in diesem Falle ohne Ausnahme alle oberhalb der Abszissenachse, was die Wanderrichtung mit dem Vorzeichen + bedeutet, d. h. der linke Schienenstrang wandert in diesem Falle gegen den Endpunkt der Bahnstrecke.

5. Von dem Punkte N wurde die Länge von $i u_r = (n+1) u_r = 536$ mm im Maßstabe 1:5 nach abwärts aufgetragen, weil

$w_{n+1} = 0$ ist. Dadurch wurde der Punkt O_r erhalten. Die Verbindung desselben mit dem Punkte M_r gibt die Grundlinie für den rechten Schienenstrang.

Von dieser Grundlinie aus wurden auf die Ordinatenlinien im Maßstabe 1:5 die entsprechenden Summen $\sum_{i=1}^{n+1} u_{r,i}$ in der Spalte 15 des Feldbuches (Anlage II) aufgetragen.

Die auf den Ordinatenlinien erhaltenen Schnittpunkte sind Punkte der Wanderlinie für den rechten Schienenstrang. Diese Wanderlinie ist zwecks auffallenden Unterschiedes mit gestricheltem Linienzug ausgezogen, hingegen die des linksseitigen Schienenstranges mit vollem Linienzug.

Schienenwanderungsbild
Maßstab { Längen 1:10000
Höhen 1:5

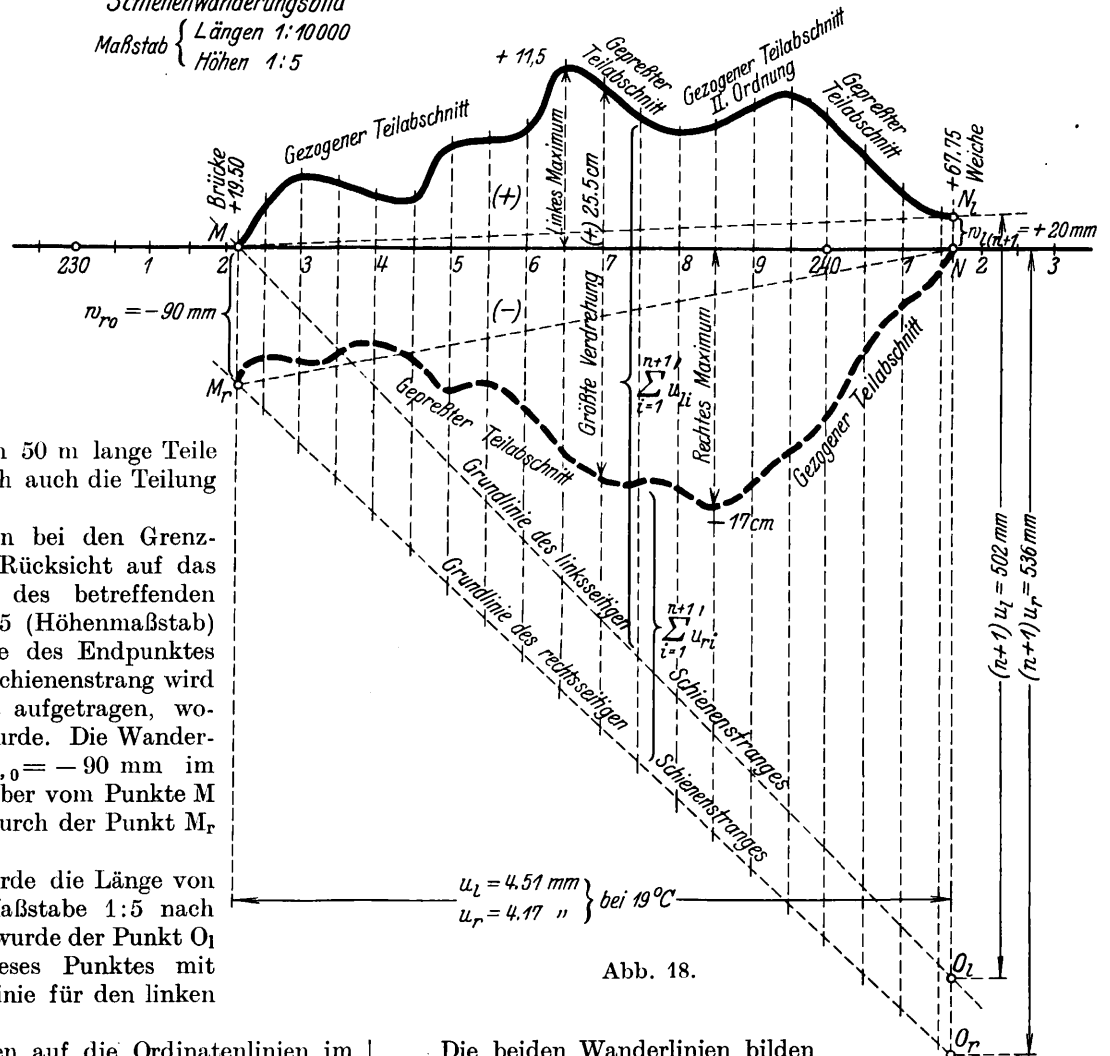


Abb. 18.

Die beiden Wanderlinien bilden zusammen das sogenannte Schienenwanderungsbild (Wanderbild) des angenommenen Wanderabschnittes, durch das sämtliche Wanderverhältnisse der betreffenden Bahnstrecke sehr übersichtlich dargestellt werden und zwar:

1. Das Wanderbild liefert die Größe und Richtung der Schienenwanderung für jede Stelle beider Schienenstränge im Bereiche des Wanderabschnittes. In dem erläuterten Beispiel tritt die größte Wanderung des linken Schienenstranges bei $236 + 50$ m mit $+11,5$ cm auf (d. i. nach vorwärts, wie auch der ganze linke Schienenstrang nach vorwärts wandert). Der rechte Schienenstrang ist hingegen bei $238 + 50$ m am meisten gewandert und zwar um -17 cm, also nach rückwärts, d. i. gegen den Anfangspunkt der Bahnstrecke, wie allgemein jede Stelle des rechten Schienenstranges. Die beiden Schienenstränge wanderten daher in diesem Falle in entgegengesetzter Richtung.

2. Ferner kann hieraus auch das Maß der Verdrehung der Stoßlückenpaare ermittelt werden. Dies ist nämlich gleich jener maßstäblichen Länge, die auf der betreffenden Ordinatenlinie zwischen beide Wanderlinien fällt. So tritt in dem erwähnten Beispiel das größte Maß der Verdrehung der Stoßlückenpaare bei 237 + 00 m mit + 25,5 cm auf. Das bedeutet, dass sich die linke Stoßlücke dort von der rechten in 25,5 cm Entfernung gegen den Endpunkt der Bahnstrecke befindet.

3. Das Wanderbild zeigt ferner auch die Stelle und Länge des gezogenen und gepreßten Teilabschnitts im Bereich des Wanderabschnitts. Dort nämlich, wo die Wanderlinie von links nach rechts steigt, befindet sich der gezogene Teilabschnitt; wo sich die Wanderlinie senkt, liegt der gepreßte Teilabschnitt. Je steiler ein Teil der Wanderlinie ist, in einem um so größeren Maße ändern sich dort die Stoßlückengrößen, d. i. desto rascher wächst die Stärke und Größe der Schienenwanderung oder nimmt ab.

12. Bildliche Darstellung der Wanderverhältnisse einer ganzen Eisenbahnstrecke.

Wenn man für alle Wanderabschnitte einer Bahnstrecke das Wanderbild konstruiert, so erhält man das Wanderbild der ganzen Eisenbahnstrecke.

In der Anlage III Taf. 1 ist beispielsweise ein Teil des Wanderbildes einer eingleisigen (also in beiden Richtungen befahrenen), regelspurigen Bahnstrecke 2. Ordnung, in der Anlage IV Taf. 1 ein Teil des Wanderbildes einer zweigleisigen, daher regelmäßig nur in einer Richtung befahrenen, regelspurigen Hauptbahnstrecke mit internationalem Verkehr dargestellt. Auf der zweigleisigen Bahnstrecke ist das Linksfahren im Gebrauch.

Sämtliche Grenzpunkte der Wanderabschnitte wurden in beiden Fällen mangels verlässlicher Beobachtungspflöcke als feste Bahnstellen, zumeist Weichen in den Hauptgleisen, auf einigen Stellen auch Schienenstöße auf eisernen Brücken und feste, schon seit der Verlegung des Oberbaues bestehende, schienengleiche Wegübergänge gewählt.

An diesen Stellen konnte nämlich die Wandergröße und Richtung aus der relativen Lage des Gleises mit genügender Genauigkeit ermittelt werden.

Die in der Anlage III dargestellte Schienenwanderung hat sich im Laufe von 10 Jahren, die der Anlage IV aber in beiden Gleisen in 25 Jahren entwickelt.

An zwei Stellen des Wanderbildes in der Anlage IV sind auffallende, zur Abszissenachse senkrecht stehende Teillinien zu sehen. Solche Unstetigkeiten bedeuten, daß an der betreffenden Stelle im Laufe der Zeit (im gezogenen Teilabschnitt) längere, oder (im gepreßten Teilabschnitt) kürzere Schienen verlegt wurden, wahrscheinlich darum, um die im gezogenen Teilabschnitt entstandenen, großen Stoßlücken zu mäßigen oder die im gepreßten Teilabschnitt gänzlich fehlenden Stoßlücken wieder herbeizuführen. Dadurch wurde aber die Arbeit der Wanderkräfte wesentlich erleichtert und die Entwicklung der Wanderung begünstigt.

Das Aufsuchen solcher Fahrschienen von abweichender Länge macht das Messen der Längen sämtlicher Fahrschienen im Wanderabschnitt nötig, wie das unter Ziffer 6 schon erwähnt wurde.

13. Allgemeine Regeln über die Entwicklung der Schienenwanderung.

Mit Hilfe des erläuterten Ermittlungsverfahrens, besonders aber der Wanderbilder, könnten bezüglich der Entwicklung der Schienenwanderung folgende Erfahrungstatsachen angegeben werden.

Auf eingleisigen Bahnstrecken mit Dampfbetrieb zeigt die Richtung der Schienenwanderung in Neigungen im allgemeinen nach abwärts; der in der Talrichtung linke Schienenstrang wandert fast ohne Ausnahme immer nach abwärts, der rechte Schienenstrang aber wandert nur auf den Bahnstrecken mit größerer Neigung (rund mehr als 10⁰/₀₀) nach abwärts, aber in bedeutend kleinerem Maße als der linke Schienenstrang. Auf Bahnstrecken mit geringer Neigung (weniger als rund 10⁰/₀₀) wandern aber beide Schienenstränge im allgemeinen in entgegengesetzter Richtung, d. h. der rechte Schienenstrang wandert auch bergaufwärts.

2. Auf eingleisigen, waagerechten Bahnstrecken oder mit geringer Neigung (weniger als rund 10⁰/₀₀) wandert der linke Schienenstrang in der Fahrrichtung (nach vorwärts), der rechte Schienenstrang aber entgegengesetzt (nach rückwärts).

3. In den nach beiden Richtungen befahrenen Gleisen der Bahnhöfe und Haltestellen entwickelt sich die Schienenwanderung im allgemeinen von beiden Einfahrten in der Richtung nach dem Halteplatz der Züge.

4. In den durchgehenden Hauptgleisen der zweigleisigen d. i. regelmäßig nur in einer Richtung befahrenen Gleisstrrecken entwickelt sich die Schienenwanderung mit geringen Ausnahmen fast immer in der Richtung der regelmäßigen Fahrten. Die Wanderung des linken Schienenstranges ist aber in der regelmäßigen Fahrtrichtung gewöhnlich bedeutend größer als die des rechten Schienenstranges.

5. Der tatsächliche Höchstwert der Schienenwanderung erreicht den möglichen Höchstwert der Schienenwanderung nur sehr selten.

6. Die Größe der Schienenwanderung kann einen um so größeren Wert annehmen, je länger der Wanderabschnitt ist, d. h. der zu erwartende Größenwert der Schienenwanderung steht mit der Länge des Wanderabschnitts in geradem Verhältnis.

7. Umstände, welche die Entwicklung der Schienenwanderung im allgemeinen fördern, sind folgende:

- a) Wenig feste Bahnstellen,
- b) Starke Neigung,
- c) Wenig Bogen (besonders solche mit kleinen Halbmessern),
- d) Große Fahrgeschwindigkeit,
- e) Rollige oder mangelhafte Bettung (z. B. aus Gruben- oder Flußschotter),
- f) Schwacher Oberbau.

8. Umstände, welche die Entwicklung der Schienenwanderung im allgemeinen hemmen, sind folgende:

- a) Viele feste Bahnstellen,
- b) Viele und scharfe Bogen,
- c) Geringe Fahrgeschwindigkeit,
- d) Aus scharfkantigen Teilchen bestehende, vollständige Bettung (Steinschlag),
- e) Starker Oberbau.

In den Gleisen der Bahnstrecken der Kön. Ung. Staatsbahnen wandert der in der Fahrtrichtung linke Schienenstrang im allgemeinen fast immer mehr als der rechte. Ausnahmen, die aber besondere Gründe haben, sind sehr selten.

Die Ursache dieser sonderbaren Erscheinung liegt höchstwahrscheinlich darin, daß die rechte Triebmaschine (Triebzylinder) der zur Zeit im Gebrauche stehenden Dampflokomotiven der linken größtenteils voreilt. Durch dieses Voreilen wird nämlich in der waagerechten Ebene auf der rechten Seite ein stärkeres Schwerpunktdrehmoment hervorgerufen als auf der linken Seite, wodurch auf der linken Seite eine stärkere Walzwirkung hervorgerufen wird, welche die Fahrschiene stärker nach vorne schiebt als auf der rechten Seite. Diese Ursache wurde angeblich auch schon vom österreichischen Ingenieur Spitz auf den österreichischen Bahnen festgestellt.

14. Abwehrvorkehrungen gegen die schädlichen Wirkungen der Schienenwanderung.

Den schädlichen Wirkungen der Schienenwanderung rechtzeitig Gegenwehr zu leisten, bildet die elementare, aber verantwortungsvolle Obliegenheit der Bahnunterhaltung.

Diese hat rechtzeitig Maßnahmen zu treffen dafür, daß sich einerseits die Schienenwanderung nicht ungehindert entwickeln kann, und andererseits, daß die durch die Schienenwanderung verursachten, schädlichen Wirkungen rechtzeitig behoben werden.

Die erste Vorkehrung, die eigentlich nur Vorbeugungsmaßnahmen enthält, bildet die eigentliche Abwehr der Schienenwanderung, die andere bedeutet das Beheben der durch die Schienenwanderung verursachten Gleisveränderungen, d. i. das Regulieren der Stoßlückengrößen.

Die nötige Vorbedingung zur erfolgreichen Ausführung beider Vorkehrungen ist aber, daß die Bahnerhaltung genau festzustellen vermag, wo und in welchem Maße sich die Schienenwanderung entwickelt hat, und wo, ferner in welchem Maße die Geneigtheit zur Entstehung solcher vorhanden ist. Denn gegen das drohende, oder vorhandene Übel kann der Kampf nur dann erfolgreich aufgenommen werden, wenn Ort und Größe der Störung bekannt sind.

Die Ermittlung der Wanderwerte ist daher eine sehr notwendige und wichtige Aufgabe der Bahnunterhaltung.

a) Die Vorkehrungen zur Abwehr der Schienenwanderung:

Zur Abwehr der Schienenwanderung dient die Verwendung verschiedener Wanderschutzmittel.

Ihre Wirkungsweise gründet sich darauf, daß die Entstehung der Wanderkraft $W = H - R$ durch die entsprechende Steigerung der Reibungskraft R verhindert werden soll. H aber bedeutet die mit der Längsachse der Fahrschiene gleich-

laufende Komponente jener resultierenden Kraft, die durch die auf die Fahrschiene gleichzeitig wirkenden Kräfte gebildet wird.

Die Steigerung der Reibungskraft R kann am einfachsten durch die unbewegliche Verbindung der Schwellen mit der Fahrschiene erreicht werden, deren vollkommene Durchführung aber keine leichte Aufgabe ist.

b) Das Beheben der durch die Schienenwanderung verursachten Gleisveränderungen, oder das Regulieren der Stoßlückengrößen:

Wenn auf einer Bahnstrecke die durch die Schienenwanderung verursachten Gleisveränderungen so stark aufgetreten sind, daß dadurch eine wesentliche Verminderung der Betriebssicherheit zu befürchten ist, wenn ferner in den gepreßten Teilabschnitten der Bahnstrecke schon bei mittlerer Temperatur derjenige Spannungszustand eingetreten ist, der bei Eintritt wärmerer Jahreszeit Gleisverwerfung befürchten läßt, so sind durch entsprechendes Zurückziehen der gewanderten Fahrschienen auf dem ganzen Streckenteil womöglich die ursprünglichen (normalen) Stoßlücken wieder herzustellen und durch Anbringen entsprechender Wanderschutzmittel zu erhalten.

Wie viel Wanderschutzmittel anzubringen sind, um das Wandern verhindern zu können, kann nur durch Versuche unzweifelhaft ermittelt werden.

Zur Durchführung dieser Versuche bietet das erläuterte neue Ermittlungsverfahren gleichfalls ein wertvolles Hilfsmittel.

Ferner kann das Verfahren auch noch zu anderen Zwecken praktisch verwendet werden, z. B. zur Überprüfung neu verlegter Oberbaustrecken, und zwar darauf, ob die Verlegung mit den vorgeschriebenen Größen der Stoßlücken genügend genau geschehen ist, und ob die Stoßlücken genügend gleichmäßig verteilt worden sind oder nicht.

Neue Zielrichtungen im Oberbau.

Von Reichsbahnrat Dr. Ing. Bäseler, München.

Die Befestigung der Schiene auf der Schwelle ist eine alte Grundfrage des Oberbaus. Wir haben zweifellos Fortschritte darin gemacht und besitzen heute verschiedene gute Befestigungen. Dabei müssen wir feststellen, daß neben ausgebildeten Formen auch die einfachsten Mittel noch nicht verlassen sind, sondern sich an ihrem Platze gut bewähren. Hakennägel sind in Europa auf Strecken von einiger Bedeutung wohl kaum mehr in Verwendung; hingegen ist in Frankreich die Schwellenschraube, mit der die Schiene unmittelbar auf die Schwelle geschraubt wird, noch auf langen Strecken in Gebrauch und liefert einen vorzüglichen Oberbau. Allerdings setzt unmittelbare Auflagerung der Schiene auf der Schwelle besonders breiten Schienenfuß und Hartholz voraus. Für Weichholzschwellen sind Unterlegplatten notwendig, für andere immerhin oft erwünscht. Hier hat sich neuerdings die Trennung der beiden Befestigungen, Unterlegplatte auf Schwelle und Schiene auf Unterlegplatte, durchgesetzt. Für die erstere dienen meist vier Schwellenschrauben, z. T. auch Dübel, für die letztere Hakenschrauben.

Beim Stuhloberbau wird die erste Befestigung ähnlich behandelt; die zweite ergibt sich einfacher als Keil, sei es, wie in England durchweg, aus Holz, sei es, wie in Frankreich, als Stahlfeder. Dabei hat diese eine Wandlung durchgemacht; während sie zuerst Anzug hatte wie ein richtiger Keil, wird sie neuerdings, auf Cadis Vorschlag, mit parallelen Begrenzungsflächen geliefert, weil die Keilform die Neigung hat, die Schienenstühle auf der Schwelle zu verdrehen.

Für Eisenschwellen ergeben sich ohne weiteres die gleichen Teile für die zweite Verbindung, wenn die Unterlegplatte oder der Stuhl auf die Schwelle aufgeschweißt wird.

Allerdings ist das teuer. Ungeschweißt hat eine Platte auf der Eisenschwelle keinen Zweck, da sie nur locker wird und weitere Verschleißflächen gibt; sie entfällt besser ganz und es ergeben sich unmittelbare Befestigungsarten, die größtenteils auf der Hakenschraube beruhen.

Eine entscheidende Hilfe zur Vereinfachung des Oberbaus ist die Abschaffung der Spurerweiterung bis herab zu 300 m Halbmesser, wie sie in Deutschland durchgeführt ist. Dadurch werden praktisch auf der freien Strecke alle Schwellen gleich; sie können, bei Holzschwellen, vorher gebohrt und mit Unterlegplatten versehen werden; bei Eisenschwellen entfällt die Notwendigkeit verschiedener Klemmplatten.

Fragen wir, was für Anforderungen an eine gute Schienenbefestigung gestellt werden, so werden wir sagen: Sie soll einfach sein, billig, dauerhaft, nicht locker werdend oder, da das im allgemeinen doch nicht ganz gelingt, nachziehbar, falls sie nicht federt. Dabei müssen wir aber doch die Entwicklungsrichtungen in Betracht ziehen, die sich im Oberbau ankündigen. Wir gehen, zur Einschränkung der Stöße, auf möglichst lange Schienen. Wie sich nun auch die zulässigen Längen mit Rücksicht auf die Wärme ergeben, ob die praktisch schon erreichten 30 m überall ohne Gefahr anwendbar, ob darüber hinaus 45 oder 60 m möglich sind; sicher ist, daß wir viel weiter und sicherer gehen können, wenn wir das Gleis einbetten. Dann wird die Wärme besser abgeführt, die Schienen können sich nicht so stark erhitzen; sollten sie doch ausknicken wollen, so hindert sie daran die Beschwerung mit Bettungstoff.

Wenn wir das Gleis einbetten, wird allerdings die Rostfrage entscheidungsvoll. Zwar sind auch jetzt schon erhebliche

Teile der Schwellen eingebettet; doch müssen wir damit rechnen, daß die Verrostung unter Umständen erheblich zunimmt, wenn das Gleis bis etwa zur Unterkante des Schienenkopfes eingebettet wird. Allgemeine Zahlen wird man darüber einstweilen nicht angeben können; es sind zuviel unbekannte Umstände von Einfluß. Immerhin ist das Einbetten bei der heutigen guten Steinschlagbettung, die sehr luftdurchlässig ist, eher möglich als früher. Wir würden vielleicht auch, für den Vorteil der größeren Schienenlängen im eingebetteten Gleis und der daraus entspringenden Gewinne in der Unterhaltung an Schienenstößen und Fahrzeugen, in Kauf nehmen, daß die Liegedauer des Gleises um ein oder zwei Jahre zurückgeht. Sollten trotzdem Schwierigkeiten entstehen, so dürfen wir immerhin mit der Möglichkeit rechnen, daß es der so weit fort-

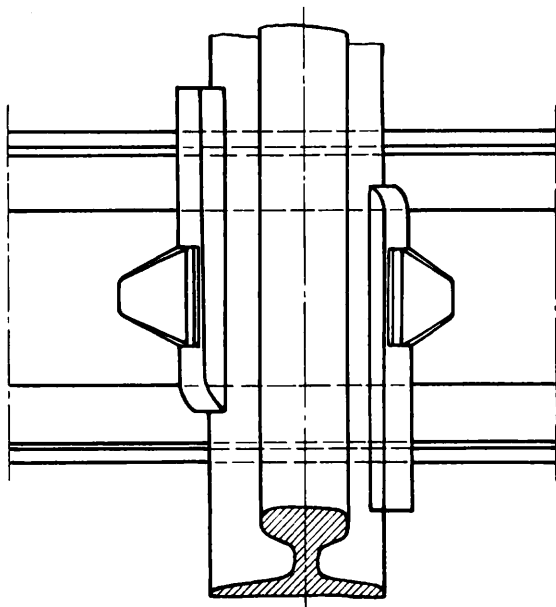
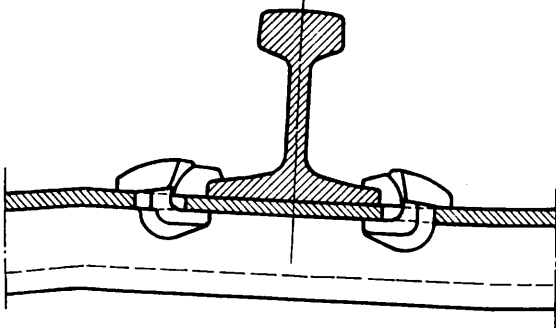


Abb. 1. Belgischer Keiloberbau.

geschrittenen metallurgischen Chemie in absehbarer Zeit gelingt, rostfestere Stähle zu entwickeln, die auch nicht teurer sind. Und auf diese Möglichkeit hin könnte man immerhin schon größere Versuche mit eingebetteten Gleisstrecken machen, um die sonstigen Bedingungen festzustellen.

Wesentlicher ist die Rostfrage bei den Befestigungsmitteln. Es ist nicht unmöglich, Hakenschrauben, wie an den Überwegen, durch Kappen gegen Rost zu sichern. Aber immerhin entstehen dadurch Kosten und Mehrarbeit. Hier drängt sich die Forderung nach einer einfacheren Befestigung auf.

Bei eingebettetem Gleis macht auch das Nachziehen der Schrauben Mehrarbeit, weil erst die Bettung beseitigt werden muß. Mindestens bei Anwendung von Unterlegplättchen aus Pappelholz, die sich allmählich eindrücken, muß das Anziehen in gewissen Abständen wiederholt werden, oder

sollte es wenigstens. Dieser Grund drängt in der gleichen Richtung wie oben. Die Befestigung muß unbedingt sicher sein und muß das Nachziehen entbehrlich machen.

Hier tritt der Keil in den Vordergrund. Er ist unbedingt rostunempfindlich. Der Keil ist auf den ersten Blick ein ungewein naheliegendes und bestechendes Befestigungsmittel, und es ist wohl nur dem Mißerfolg bestimmter Ausführungsformen zuzuschreiben, daß er in Vergessenheit geraten ist. Bekannt ist er beim Stuhlschienenoberbau. Hier bedarf er in der Form des Holzkeils allerdings häufigen Nachziehens: mit Stahlfederkeilen könnte es zugedeckt gehen. Aber der Keil erlaubt auch noch andere Anwendungen, die wenig bekannt sind, obwohl sie sich recht gut bewährt haben.

Das beste Beispiel ist zur Zeit der belgische Keiloberbau. Als die belgischen Staatsbahnen im Jahre 1927 zum ersten

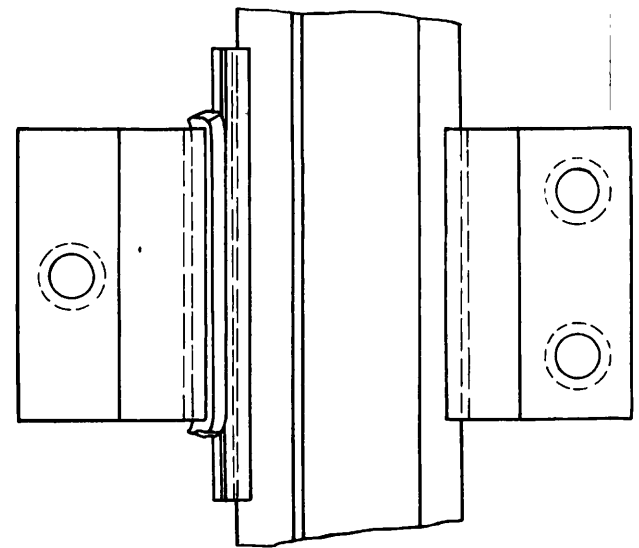
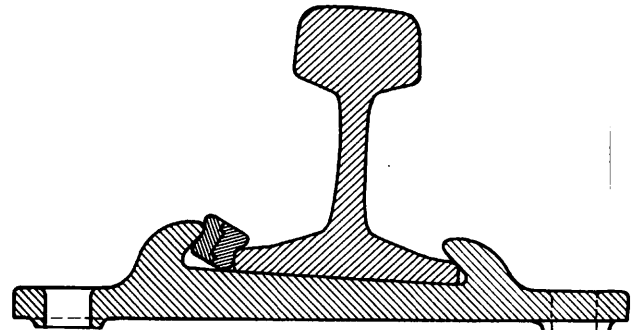


Abb. 2a. Federoberbau mit Doppelfeder.

Male Eisenschwellen einbauten, versuchten sie gleichzeitig, eine der Eisenschwelle besonders angepaßte Befestigungsart zu finden. Sie wählten die in Abb. 1 dargestellte Form, die von der Firma Ougrée in Lüttich erfunden ist. Die Schwellendecke ist gelocht. In die Löcher werden Bügel (Agraffen genannt) eingesetzt, die unter die Schwellendecke fassen. Zwischen Agraffe und Schienenfuß wird ein Keil geschlagen. Sein Anzug ist 1:40.

Die Erfolge mit diesem Oberbau waren so ausgezeichnet, daß man noch einen Schritt weiter ging. Um die Schwellendecke nicht lochen zu müssen, wurde auf die Schwelle eine Unterlegplatte aufgeschweißt, die beiderseits des Schienenfußes Rippen aufweist, die nachträglich nach innen gebogen werden, so daß sie dem Keil etwa denselben Gegenhalt bieten wie die Agraffe. Auch diese Form hat sich ausgezeichnet bewährt.

Der Verfasser hatte kürzlich Gelegenheit, Versuchsstrecken zu besichtigen. Die Hauptfrage nach dem etwaigen Lösen der Keile wurde folgendermaßen beantwortet: Auf der 1 km langen Versuchsstrecke mit dem Agraffenoberbau haben sich nach etwa 2 Jahren vier Keile gelöst. Einige andere Keile hatten sich zwar nicht gelöst, konnten aber mit dem Hammer nachgetrieben werden. Die Besichtigung ergab ohne weiteres, daß sich die Keile ausgezeichnet halten. Von den wenigen eben genannten abgesehen, waren an ihnen keine Schrammen zu bemerken, ein Zeichen, daß sie seit dem Einbau des Oberbaus unverändert am Platz geblieben sind. Auffallend war auch ihre durchaus gleichmäßige Lage: man hätte bei dem flachen Anzug von 1:40 erwarten sollen, daß ihre Stellung sehr verschieden sei. Dem Oberbau werden große Steifigkeit, geringe Unterhaltungskosten und, sehr begreiflich, ausgezeichneter

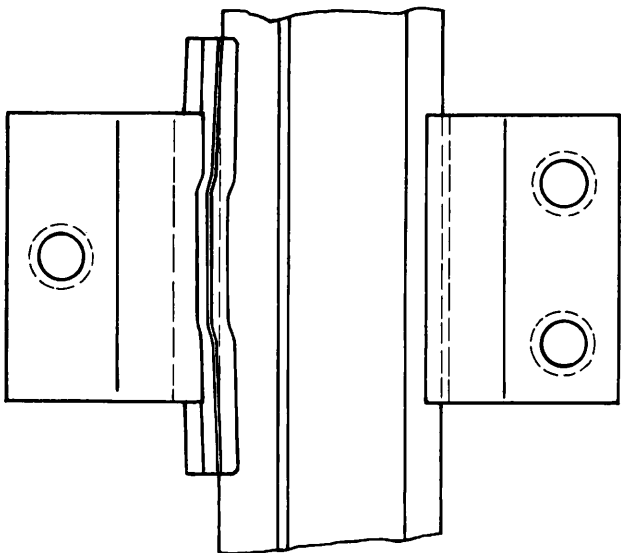
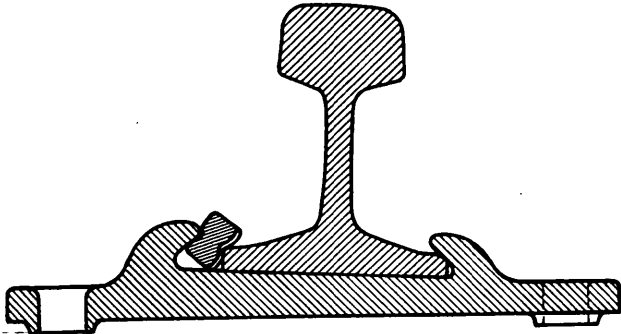


Abb. 2 b. Federoberbau mit einfacher Feder.

Wanderschutz nachgerühmt. Die zweite Form des Keiloberbaus mit aufgeschweißten Platten liegt erst ein halbes Jahr. Sie ist noch steifer als die erste. Ergebnisse lassen sich bei der kurzen Liegedauer noch nicht angeben, doch spricht der Augenschein auch für eine Bewährung.

Die belgischen Staatsbahnen haben im letzten Jahr auch eine Versuchsstrecke gebaut, die unserem Oberbau K mit aufgeschweißten Rippenplatten ähnlich ist, mit kleinen Abweichungen in den Maßen.

Sehr bemerkenswert ist der Vergleich der drei Bauarten. Der Keiloberbau kostet etwa 300 Frs für das laufende Meter, der Rippenplattenoberbau etwa 320 Frs. Der letzte braucht aber nach belgischer Ansicht auch noch Wanderschuttklemmen, die ihn weiter verteuern. Außerdem macht er mehr Arbeit in der Unterhaltung wegen des Nachziehens der Schrauben. Nach Ansicht der belgischen Fachleute ist es zur

Zeit nicht zweifelhaft, daß sich der Keiloberbau namentlich in der zweiten Form als wesentlich überlegen erweisen wird. Man wird dem wohl immerhin entgegenhalten müssen, daß der Oberbau K Doppelschwellen am Stoß ermöglicht, die für die Mehrkosten entscheidend sind, aber zweifellos eine große Verbesserung darstellen. Wieweit Doppelschwellen beim Keiloberbau möglich sind, werden wohl nur eingehendere langjährige Versuche erweisen können.

Es wird genauerer Untersuchungen bedürfen, um festzustellen, warum sich der Keiloberbau in vielen anderen Fällen — er ist oft versucht worden — nicht bewährt hat. An den belgischen Erfahrungen ist jedenfalls nicht vorbeizukommen. Besonderen Eindruck macht auf den Besucher die äußerst einfache und robuste Form dieses Oberbaus, insbesondere der Befestigungsmittel. Übrigens ist der Keiloberbau in ähnlicher Form auch in Indien weit verbreitet.

Der Keiloberbau ist nach seiner ganzen Art zum Einbetten besonders geeignet. Freilich läßt sich nicht ohne weiteres sagen, ob die Keile unter dem Schotter ebenso gut erhalten werden wie im Freien. Sie bleiben länger feucht, außerdem erhalten sie Schläge von den darüber lagernden Steinen, die sie vielleicht eher lockern könnten. Auch bleibt, ehe man sehr umfangreiche Erfahrungen hat, das mißliche Empfinden, daß sich unter dem Schotter doch in größerem Maße Keile lösen könnten, und man daher über den Zustand der Befestigungsmittel nie Bescheid weiß, sondern immer in einer gewissen Unsicherheit ist. Trotzdem sollte mit Versuchen nicht gezögert werden.

Der Keiloberbau erlaubt wirtschaftlich noch weitere Vorteile. Wenn man versucht, die Verbindungsteile zwischen Schiene und Schwelle auf eine Mindestzahl herunterzudrücken, so ist die Agraffe und die aufgeschweißte Platte schon zuviel. Außerdem erfordert die Agraffe eine Lochung der Schwelle, deren gewöhnlicher Hauptnachteil, das Entstehen von Einrissen, zwar durch geeignete Herstellung des Loches vermieden werden kann, die aber immer noch eine Schwächung der Schwelle bleibt. Als die eigentliche, natürliche und wirtschaftlichste Form, die Anlagen für den Schienenfuß zu gewinnen, erscheint daher das Herauspressen der Rippen aus der Schwellendecke. Die deutsche Stahlindustrie hat darüber in den letzten Jahren umfangreiche Versuche gemacht und ist zu einem befriedigenden Ergebnis gekommen. Ferner braucht man, wenn man die Spurerweiterung abschafft, auch nicht zwei Keile, sondern nur einen. Für die andere Seite des Schienenfußes genügt ein Haken, in den die Schiene durch den Keil auf der anderen Seite hineingepreßt wird. Die festhaltenden Kräfte sind dieselben wie bei zwei Keilen. Die Schwelle mit herausgepreßten Rippen, auf der die Schiene mit einem Keil festgeschlagen wird, ist mit das Einfachste, was man sich denken kann, und wird auch in der Billigkeit von älteren Oberbauformen, die mit gelochter Schwelle und Klemmplatten arbeiteten, wohl nur wenig unterschritten.

Eine andere Befestigungsform, die mit dem Keiloberbau in eine Linie gestellt werden muß, ist die Niederhaltung des Schienenfußes durch eine Feder.

Der Verfasser hat einen Federoberbau entwickelt, der in Abb. 2 dargestellt ist und der nach seiner Meinung die Aufgabe einfach löst, zugleich auch eine sehr kräftige Feder gestattet. Die Schiene wird wieder von zwei umgebogenen Rippen eingefast, die aus der Schwellendecke herausgepreßt oder, bei Verwendung von Unterlegplatten, durch Umbiegen der gewalzten Rippen entstanden sind. Zwischen diese und den Schienenfuß legt sich eine einfache oder doppelte Stabfeder von biskuitförmigem Querschnitt. Die dargestellte Federform ergibt 1340 bzw. 780 kg Anpressungsdruck bei nur 6500 kg/cm² Anstrengung des Materials. Der Federoberbau dürfte eine Form sein, die das Einbetten ohne jede Sorge gestattet.

Einheitliche Berechnung des Eisenbahnoberbaues*).

Von Dr. Saller, Regensburg.

Im Verein deutscher Eisenbahnverwaltungen spielt seit langer Zeit die insbesondere für den Übergang der Verkehrsmittel wichtige Frage der Vereinheitlichung der Oberbauberechnung. Sie geht auf folgenden Antrag der früheren großherzoglichen Eisenbahndirektion Oldenburg, abgefaßt von dem bekannten, kürzlich verstorbenen Geheimrat E. Schmitt, vom Jahre 1913 zurück:

„Durch die fortgesetzte Steigerung der Zuggeschwindigkeiten und die immer größer werdenden Raddrücke der Fahrzeuge gewinnt die Frage der Tragfähigkeit des Oberbaues immer mehr an Bedeutung; immer häufiger sind die Fragen zu entscheiden, ob ein vorhandener Oberbau den erhöhten Anforderungen des Betriebs noch genügt, wie er etwa zu verstärken und 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 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 der Ergebnisse untereinander ist nicht wohl möglich.“

Es liegt daher nach unserem 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

*) Der Aufsatz: „Zur Frage der Oberbauberechnung“ von Ing. Nemcsek in Heft 5, Jahr 1930 des Organs fiel in die Zeit meines Aufenthaltes in Moskau. Ich habe die Abhandlung damals wegen Mangel an Zeit und Gelegenheit, auf die Quellen zurückzugehen, nur flüchtig gesehen und nicht durchgearbeitet. Nach Einreichung der vorliegenden Abhandlung wurde ich durch die Schriftleitung auf die Abhandlung von Ing. Nemcsek aufmerksam gemacht. Die etwas schwer zu durchschauende Abhandlung, deren Quellen allgemein nicht leicht zugänglich sein dürften, stellt einen bedeutsamen Versuch dar, den Querschwellenoberbau in der Berechnung durch einen stellvertretenden Langschwellenoberbau zu ersetzen. Sie geht dabei von amerikanischen Grundlagen aus. An den dem Aufsatz zugrunde liegenden zwei Schienendruckmessergebnissen scheint zu beanstanden, daß für die schwerere und wohl auch steifere Schiene die kürzere Länge der Durchbiegungswelle sich ergibt. Das deutet wohl darauf hin, daß beide Schienen auf verschiedenen, nicht miteinander vergleichsfähigen Grundlagen ruhen. Die unmittelbare Einführung des Schwellenwiderstandsmomentes in die Schlußgleichung scheint demselben kleinen Denkfehler zu unterliegen, den ich Haarmann zugeschrieben habe. Das Trägheits- oder Widerstandsmoment der Schwelle darf nur in D , in der Größe L_1 , eingeführt werden. In der Vereinfachung $D = 2 C b_1$ verschwindet allerdings L_1 wieder. Eine andere Vereinfachung zu finden, die L_1 beibehält, wäre Sache von Versuchen und vielleicht nicht schwer zu erreichen. Die Theorie scheint hier vor allem deshalb so verwickelt zu sein, weil sie alle theoretisch möglichen, wenn auch tatsächlich nicht vorkommenden Fälle in sich begreift. In der Wirklichkeit hat man es im allgemeinen nur miteinander recht ähnlichen Belastungsfällen zu tun. Die Zusammendrückbarkeit der Holzschwellen in die Berechnung einzuführen scheint mir vor Anstellung von Versuchen entbehrlich und die Sache vorderhand unnötig zu verwickeln. Das Bettungsprofil unterscheidet bekanntlich nicht zwischen Holz- und Eisenquerschwellen. Wo im einen Fall der nachgiebige Baustoff Holz sich befindet, ist im anderen der gegenüber Druck wohl nicht minder nachgiebige Baustoff Schotter vorhanden.

innerhalb weiter Grenzen schwanken, kommt es vielleicht auf eine allzugroße Genauigkeit gar 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.“

Der zur Behandlung der Frage in Blankenburg eingesetzte Unterausschuß regte in seiner ersten Sitzung in Amsterdam, Dezember 1913, auf Grund der Meßversuche der an den Schienenstößen auftretenden Spannungen, die von der Holländischen Eisenbahngesellschaft mit dem Spannungsmesser von Okhuizen ausgeführt wurden, zu weiteren ausgedehnten Versuchen an. Es sollten dadurch für die bis dahin angenommenen Festwerte zuverlässigere Werte erhalten und dadurch das Mißverhältnis beseitigt werden, das bisher zwischen den Verfahren zur Berechnung des Oberbaues und den wirklichen Verhältnissen besteht. Gerade letztere Tatsache habe zur Stellung des zur Behandlung stehenden Antrages geführt und es müsse wohl eine der nächsten Aufgaben sein, die auftretenden Spannungen im Oberbau richtig zu erfassen. Jedenfalls werde man bei der Aufstellung einer neuen Berechnungsart für den Oberbau die Geschwindigkeit und die Achsfolge nicht unberücksichtigt lassen dürfen.

Der Weltkrieg und seine Folgeerscheinungen haben wie anderwärts auch in dieser Frage den Fortgang der Arbeiten auf Jahre gehemmt.

In der Sitzung des TA in Heidelberg im Oktober 1922 wurde angeregt, der Klärung der Aufgabe durch Versuche näherzukommen.

Die vorliegende Aufgabe gliedert sich in zwei Teile:

1. die Anstellung von Versuchen zur Feststellung der im Oberbau unter bewegten Lasten tatsächlich auftretenden Spannungen und

2. die Aufstellung einer Berechnungsart, die bei aller bei einer angesehenen Körperschaft, wie es der Verein deutscher Eisenbahnverwaltungen ist, unerlässlich vorauszusetzenden Wissenschaftlichkeit in möglichst weitgehender Einfachheit auch die Geschwindigkeit und die Achsfolge mit zu berücksichtigen gestattet und sich in möglichster Übereinstimmung mit den Versuchen befindet.

In beiden Richtungen ist in der Folgezeit ungemein fleißig und gründlich gearbeitet worden und zwar waren daran nicht nur Dienststellen der Deutschen Reichsbahn, Reichsbahndirektion Dresden und Oldenburg, Reichsbahnzentralamt, sondern in höchst dankenswerter, verdienstvoller Weise auch die Niederländischen Bahnen beteiligt.

Die Anstellung von Versuchen stand von allem Anfang an unter dem Zeichen der Ermanglung eines für die hier vorliegenden dynamischen Messungen geeigneten Meßgerätes zur umwegfreien Feststellung der unter bewegten Lasten in der Schiene auftretenden Höchstspannungen. Das Preisausschreiben der Reichsbahn für Meßgeräte, dessen Entscheidung Ende 1926 fiel, ist bekannt. Es hatte zunächst nur Brücken-

meßgeräte im Auge, aber es war selbsttätig auch für den Oberbau von Bedeutung, denn der Oberbau ist auch nichts anderes als eine Brücke, nur von besonderer Form. Der Erfolg des Ausschreibens war verneinend, aber das Ausschreiben war nicht umsonst. Es hat in Verbindung mit Versuchen, die mit dem bekannten, mit großen Erwartungen aufgenommenen Geigerschen Spannungsmesser (Organ 1926, Heft 10) am Oberbau vorgenommen wurden, immer mehr die Augen dafür geöffnet, daß wenigstens für die so ausgesprochen dynamischen Beanspruchungen, wie sie am Eisenbahnoberbau unter bewegten Lasten auftreten, mit mechanisch arbeitenden Meßgeräten bei der immer wieder störenden Massenträgheit nicht durchzukommen ist und dass man andere Wege (elektrische oder optische) einzuschlagen habe. Neueste Versuche mit elektrischen Meßgeräten unter bewegten Zügen bei Verwendung von Oszillographen scheinen endlich eine Lösung zu bringen. Sie versprechen, Grundlagen in bestmöglicher Verfassung zu liefern, die für die Aufstellung von Festwerten zur Berücksichtigung der Lastbewegung erforderlich sind. Sie wurden durch bedeutsame Versuche unter den Stößen unrunder Bremsräder ergänzt. Es ist noch verfrüht, diese zur Zeit noch laufenden Versuche zu veröffentlichen. Sie versprechen, Grundlagen in bestmöglicher Verfassung zu liefern, die für die Aufstellung von Festwerten zur Berücksichtigung der Stoßdrücke und der Geschwindigkeit der bewegten Lasten erforderlich sind.

Die Versuche sind nicht Selbstzweck. Sie haben hier nur soweit Wert, als es gelingt, auch den zweiten Teil der Aufgabe zu lösen, nämlich eine Berechnungsart zu finden, die alle oben angeführten Eigenschaften besitzt, und genügende Übereinstimmung dieser Berechnungsart mit den Versuchen nachzuweisen, bzw. herbeizuführen. In der Zeitschrift „Der Bahnbau“ 1930, Nr. 42, wurden die Grundlagen einer Oberbauberechnung einer kritischen Prüfung unterzogen und ihre allgemeine Unsicherheit und Wandelbarkeit vor Augen geführt. Es wurde aus den dortigen Darstellungen die Warnung abgeleitet, den Oberbauberechnungen ein Gewicht zuzuschreiben, das sie nach Lage der Verhältnisse nicht haben können. Es wurde auf die daraus abzuleitende Selbstverständlichkeit hingewiesen, daß es unter diesen Umständen keinen Wert hat, sehr verwickelte, umständliche Rechnungsarten anzuwenden. Es wurde weiter ausgeführt, daß die alte, äußerst ursprüngliche Winklersche Berechnungsweise, die, aus der ersten Anfangszeit stammend, die Schiene des Querschwellenoberbaus einfach als zusammenhängenden Träger betrachtet, dessen Querschwellenstützpunkte als völlig unnachgiebig angenommen werden, heutzutage nicht mehr befriedigen kann, wo wir doch wissenschaftlich hochstehende Theorien von Dr. Zimmermann, Prof. Timoschenko u. a. haben und wo wir über Dynamik des Oberbaues und Nachgiebigkeit der Schwellenunterlage ein reiches Schrifttum besitzen. Es wurde ferner dargelegt, daß die Zimmermannsche Theorie bei Berücksichtigung der Querschwellen, um für die Ausübung genügend einfach zu bleiben, weitgehende Einräumungen und Vernachlässigungen zulassen muß. In dieser Verwässerung hat die streng wissenschaftliche Theorie so viel von ihrer Stoßkraft eingebüßt, daß sie nicht mehr genügend Anhang findet. Sie scheint auch in der in der Ausübung eingeführten Form zu Ergebnissen zu führen, die mit den tatsächlichen Beobachtungen nicht mehr hinreichend übereinstimmen. Es wurde weiter in dem angeführten Aufsatz auf die unüberwindlichen Schwierigkeiten hingewiesen, die sich der Berücksichtigung des Umstandes, daß man es mit bewegten Lasten zu tun hat, der Einführung der Dynamik in die Oberbauberechnung entgegenstellen, und die auf mathematischem Gebiet, in der beschränkten Lösbarkeit von Differentialgleichungen liegen. Es wurden die in dieser Richtung von Prof. Petrow unternommenen,

in die Ausübung nicht durchgedrungenen, theoretischen Versuche erwähnt.

Wie man bei einer Nebeneinanderstellung der erwähnten drei Hauptarten der Oberbauberechnung erkennt, beruhen alle diese Verfahren auf ganz verschiedenen Grundlagen. Es ist nicht möglich und nicht zulässig, ihre Ergebnisse irgendwie miteinander zu vergleichen. Es tritt dies ganz auffällig in den weit voneinander abweichenden, zulässigen Beanspruchungen zutage, die bei diesen verschiedenen Berechnungen angewendet werden. Die zulässige Beanspruchung des Eisenbahnoberbaus ist unter diesen Umständen überhaupt kein absoluter Begriff, sondern der Begriff hängt völlig von der Berechnungsart ab. Zu jeder Berechnungsweise und Formel gehören besondere Werte der zulässigen Beanspruchung.

Neben diesen ausgesprochen wissenschaftlichen Verfahren sind, eine Geburt der Not, noch die Versuche, mit reinen Erfahrungsformeln der Lösung der Aufgabe näher zu kommen, zu erwähnen. Daß bei der Vielseitigkeit der am Oberbau einwirkenden Einflüsse reine Erfahrungsformeln nur ein „Fischen im Trüben“ sein können, liegt auf der Hand. Es gibt völlig auf der Höhe stehende Oberbautheorien, die der tatsächlich vorhandenen und nicht abzustreitenden Nachgiebigkeit der Unterlagen Rechnung tragen. Es handelt sich nur darum, diese Theorie geschickt anzuwenden und in eine Form zu kleiden, die sich durch möglichste Einfachheit für die Ausübung empfiehlt und vor allem auch die Achsfolge in einfacher Weise zu berücksichtigen gestattet.

Ein solcher Weg, auf den schon viele (Flamache, Timoschenko) außer dem Verfasser hingewiesen haben, ist der, den Oberbau als Langschwellenoberbau zu berechnen, d. h. die Querschwellen auf Langschwellen umzurechnen und sich dann die viel einfachere Berechnungsweise des Langschwellenoberbaus zunutze zu machen. Auch unser Altmeister auf dem Gebiet der Oberbauberechnung, Dr. Zimmermann, ist, wie ich aus Unterhaltung mit ihm zu wissen glaube, für diesen Ausweg. Flamache gibt an, daß der Fehler dieser Vereinfachung der Rechnungsweise nur 1% ausmache, während Ungleichheiten des Stopfens und Ungenauigkeiten der Schienen 50% Abweichungen von der Berechnung herbeiführen können, abgesehen von den Stößen, die das Zweieinhalbfache der ruhenden Beanspruchungen erreichen. Die theoretisch und praktisch geringen Durchbiegungen, die der Oberbau zwischen den einzelnen Schwellen erfährt, treten, zumal bei der Steifheit neuzeitlicher Schienen und bei schnell bewegten Lasten, gegenüber der Gesamtdurchbiegung, die auf der Nachgiebigkeit der Unterlage beruht, völlig zurück. Es ist fast unfaßlich, daß man immer noch an der selbst bei größter Einschränkung der Zahl der Stützpunkte kaum genießbaren Theorie der Querschwellenunterstützung in der Oberbauberechnung festzuhalten sucht. Müssen wir uns denn, bildlich gesprochen, allzuweit von dem auf unendlicher Kette von Querschwellen aufgelegten Oberbau aufstellen, um zu erkennen, daß wir den Querschwellenoberbau für Oberbauberechnungen ruhig als ein durchlaufend gestütztes Band, mit anderen Worten als Langschwellenoberbau betrachten können? Der Langschwellenoberbau beruht glücklicherweise bei völlig wissenschaftlicher Herleitung auf viel einfacheren Rechnungsgrundlagen als der Querschwellenoberbau und ist geeignet, zu viel einfacheren Endformeln zu führen. Ein Versuch, die Langschwellentheorie auf den Querschwellenoberbau anzuwenden und insbesondere auf die Berücksichtigung der ungemein maßgebenden Achsfolge auszudehnen, hat zu überraschend einfachen Ergebnissen geführt, die im folgenden vorgeführt werden sollen. Daß die Achsfolge einen großen Einfluß auf die Beanspruchungen des Oberbaus hat, wußte oder ahnte man längst. Um welche große Einflüsse es sich dabei handelt, erschließt sich erst auf Grund einer ganz ein-

fachen Rechnungsweise. Es wird dies an Beispielen gezeigt werden.

Für eine Umrechnung des Querschwellenoberbaus auf Langschwellenoberbau hat schon Haarmann einen Vorschlag gemacht. In seinem bekannten Sammelwerk „Das Eisenbahngeleise“, kritischer Teil, S. 104, sagt er: „So einfach beim Langschwellenoberbau mit seiner kontinuierlichen Stützung der Schiene durch die Schwelle und dieser durch die Bettung für die Beurteilung der Tragfähigkeit des Gestänges brauchbare Verhältniszahlen sich aus den statischen Momenten der einzelnen Teile ermitteln lassen, so verwickelt gestaltet sich die Bestimmung ähnlich brauchbarer Werte beim Querschwellenoberbau. Aber man kann doch einen für praktische Verhältnisse anwendbaren Vergleich der einzelnen Eisenquerschwellen-Oberbauanordnungen miteinander in bezug auf ihre Stabilität im neuen Zustande ermöglichen, wenn man unter Berücksichtigung der Länge der Schwellen und ihres durchschnittlichen Mittelabstandes die der Längeneinheit der Schiene zukommenden Verhältniswerte der lotrechten Trägheits- und Widerstandsmomente der Schwelle bestimmt und denen der Schiene hinzufügt.“

Dieser Vorschlag eines alten Praktikers im Eisenbahnoberbauwesen ist äußerst einfach und verlockend und auch der Verfasser ist ihm schon mehrfach gefolgt, aber es liegt ihm ein kleiner Denkfehler zugrunde. Die senkrecht zu den Schienen liegenden Querschwellen können theoretisch zu den Trägheits- und Widerstandsmomenten der Schienen keine Beiträge liefern. Im russischen Schrifttum, das der Verfasser an Ort und Stelle kennen zu lernen Gelegenheit hatte, findet sich, vollständig auf wissenschaftlicher Grundlage aufgebaut, ein ungleich besserer Vorschlag von Prof. Timoschenko*). Daß dieser Vorschlag nicht früher bei uns bekannt wurde, hängt offenbar mit den politischen Verhältnissen zusammen. Timoschenko setzt in dem bekannten, für die Oberbauberechnung maßgebenden Grundwert

$$L = \sqrt[4]{\frac{4 E J}{C b}} \dots \dots \dots 1),$$

in dem E der Elastizitätsmodul, I das Trägheitsmoment der Schiene, C die Bettungsziffer und b die Schwellenbreite ist, an Stelle von Cb den Wert $\frac{D}{l}$ ein. D ist der Druck der Schiene

auf die halbe Querschwelle, der die Schwelle um ein l cm niederdrückt und l der Schwellenabstand. Nach Zimmermann, Berechnung des Eisenbahnoberbaus, S. 76, ist bei Annahme gleichmäßiger Unterstopfung der Schwelle auf die ganze

$$\text{Länge } D = \frac{C b L_1}{[\eta_e]}. \text{ Dabei ist } L_1 = \sqrt[4]{\frac{4 E_1 L_1}{C b}} \text{ (} E_1 \text{ Elastizitäts-}$$

ziffer und J_1 Trägheitsmoment der Schwelle). $[\eta_e]$ ist ein ganz verwickelter Ausdruck, der selbst bei Anwendung von Tabellen die Annahme der Rechnungsweise in der Ausübung ausschließen würde. Aber wir kennen für D bewährte Vereinfachungen. Das Reichsbahnzentralamt setzt nach Diehl

$$D = 2 C b \ddot{u} \dots \dots \dots 2),$$

wo \ddot{u} der Überstand der Schwelle über Schienenmitte ist (siehe auch Hütte, 25. Aufl., Band III, S. 758). Eine andere Vereinfachung bringt Timoschenko:

$$D = C b \frac{s}{2} 0,89 \dots \dots \dots 3),$$

wobei s die Schwellenlänge ist. Dabei scheint die Zahl 0,89**) eine aus der Schwellendurchbiegung sich ergebende Reduktions-

*) Jetzt Michigan, U.S.A.

**) Nach Dr. Janicssek (siehe Organ 1930, S. 78) ist statt 0,89 genauer $\frac{1}{0,65 + \frac{40}{L}}$ zu setzen.

ziffer zu sein, deren Grundlage aus dem mir zur Verfügung stehenden Schrifttum zu ergründen, mir leider bisher versagt war. Beide Vereinfachungen führen zu genügend ähnlichen Ergebnissen. Es soll vorderhand $D = 2 C b \ddot{u}$ gesetzt werden. Man erhält damit den für die Umstellung auf Langschwellenberechnung maßgebenden Wert

$$L = \sqrt[4]{\frac{2 E J l}{C b \ddot{u}}} \dots \dots \dots 4)$$

Für die Größtspannung in der Schiene, die an einem Lastpunkt zu erwarten ist, gilt

$$\sigma = \frac{M}{W} \dots \dots \dots 5)$$

Das Moment M unter einer Last P ist streng wissenschaftlich (Zimmermann, S. 24/25)

$$M = \frac{P L}{4} \mu = \frac{P L}{4} e^{-\xi} (\cos \xi - \sin \xi) \dots \dots \dots 6),$$

wobei $\xi = \frac{x}{L}$ (x die Abszisse der Kurve). Der in ihr veränderliche Teil

$$\mu = e^{-\xi} (\cos \xi - \sin \xi) \dots \dots \dots 7)$$

ist nach Zimmermann Tafel III (Einflußlinie für die Biegung) in Abb. 1 dargestellt. Die Formel (6) ist ebenfalls so verwickelt, daß sie den Ansprüchen an Einfachheit, die hier gestellt werden müssen, nicht genügt. Sie hat zunächst aber den Vorteil, daß sie für den Lastpunkt selbst, also für

$\xi = \frac{x}{L} = 0$ den Ausdruck $\mu = 1$ werden läßt. Damit ergibt sich für die Einzellast die einfache Formel

$$M = \frac{P L}{4} \dots \dots \dots 8)$$

Weiter aber ist glücklicherweise die in der Abb. 1 dargestellte Einflußlinie gar nicht in ihrer ganzen Ausdehnung benötigt. Da die Lasten an Kleinstabstände von 1,40 bis 1,50 m gebunden sind, kommt, wie noch zu zeigen sein wird, in Wirklichkeit der ganze mittlere Teil, der große nach abwärts weisende Pfeil, nicht in Betracht. Benötigt werden nur die beiderseits abfallenden Zweige. Diese aber können im Rahmen des vertretbaren Genauigkeitsanspruchs durch abfallende Gerade ersetzt werden. Die Gerade sei unter dem Vorbehalt späterer Verbesserung zunächst als Verbindung des Punktes A (Ordinate = 0) mit dem Punkt B (höchster Kurvenpunkt) gelegt (Abb. 1).

Der Ausdruck 7) gibt die Ordinate = 0 für $\cos \xi = \sin \xi$,

$$\text{d. i. für } \xi = \frac{\pi}{4}, \frac{5\pi}{4} \dots \dots$$

Für den Punkt A ist $\xi = \frac{x}{L} = \frac{5\pi}{4}$ oder $x = \frac{5\pi L}{4} = 3,927 L$.

Die Abszisse des Punktes B wird erhalten durch Nullsetzung des ersten Differentialquotienten aus 6):

$$\begin{aligned} \frac{dM}{d\xi} &= \frac{P L}{4} (-e^{-\xi} \sin \xi - e^{-\xi} \cos \xi - e^{-\xi} \cos \xi + e^{-\xi} \sin \xi) = \\ &= -\frac{P L}{2} e^{-\xi} \cos \xi = 0. \end{aligned}$$

Dies tritt ein für $\xi = \frac{x}{L} = \frac{\pi}{2} = 1,5708$ oder $x = 1,5708 L$.

1,5708 L ergibt sich in Wirklichkeit immer kleiner als der kleinste Radstand. Z. B. für den Reichsbahnoberbau ist L laut folgendem Beispiel für $C = 7,5 \text{ kg/cm}^3$ gleich 82,5 cm, für gestampfte Bettung mit $C = 15 \text{ kg/cm}^3$ gleich 69,5 cm, also $1,5708 \cdot 82,5 = 129,6 \text{ cm}$ bzw. $1,5708 \cdot 69,5 = 109,2 \text{ cm}$. Bei schwächeren Oberbauformen nimmt L mit dem Trägheitsmoment ab.

Die Ordinate von B ergibt sich durch Einsetzung von $\xi = \frac{\pi}{2}$ in 7) zu $-\frac{1}{e^{1,5708}} = -\frac{1}{4,8103} = -0,2079$.

Damit ergibt sich in Abb. 2, groß gezeichnet, das Dreieck ABC. Um die abfallende Gerade mehr in Übereinstimmung mit der Kurve zu bringen und, zur Sicherheit, die hier negativen Beiträge zu den Momenten nicht zu groß werden zu lassen, wird sie unter Festhaltung von B etwas steiler gestellt und nach BA' gedreht. Um in der Endformel im Nenner zu einer runden Zahl zu kommen, sei CA' = 2,1828 L, der Gesamt-

$z: 0,2079 = (3,7536 L - a): 2,1828 L$. Da $0,2079 = \frac{1}{4,8103}$, wird

$$z = \frac{3,7536 L - a}{4,8103 \cdot 2,1828 L} = \frac{3,7536 L - a}{10,5 L}$$

Zunächst scheint es wichtig, die Übereinstimmung der Rechnung mit der Wirklichkeit durch einfache Versuche am bestehenden Gleis zu überprüfen und darnach dann nötigenfalls die Gl. 10) in bessere Übereinstimmung mit der Wirklichkeit zu bringen. Diese Versuche hätten sich

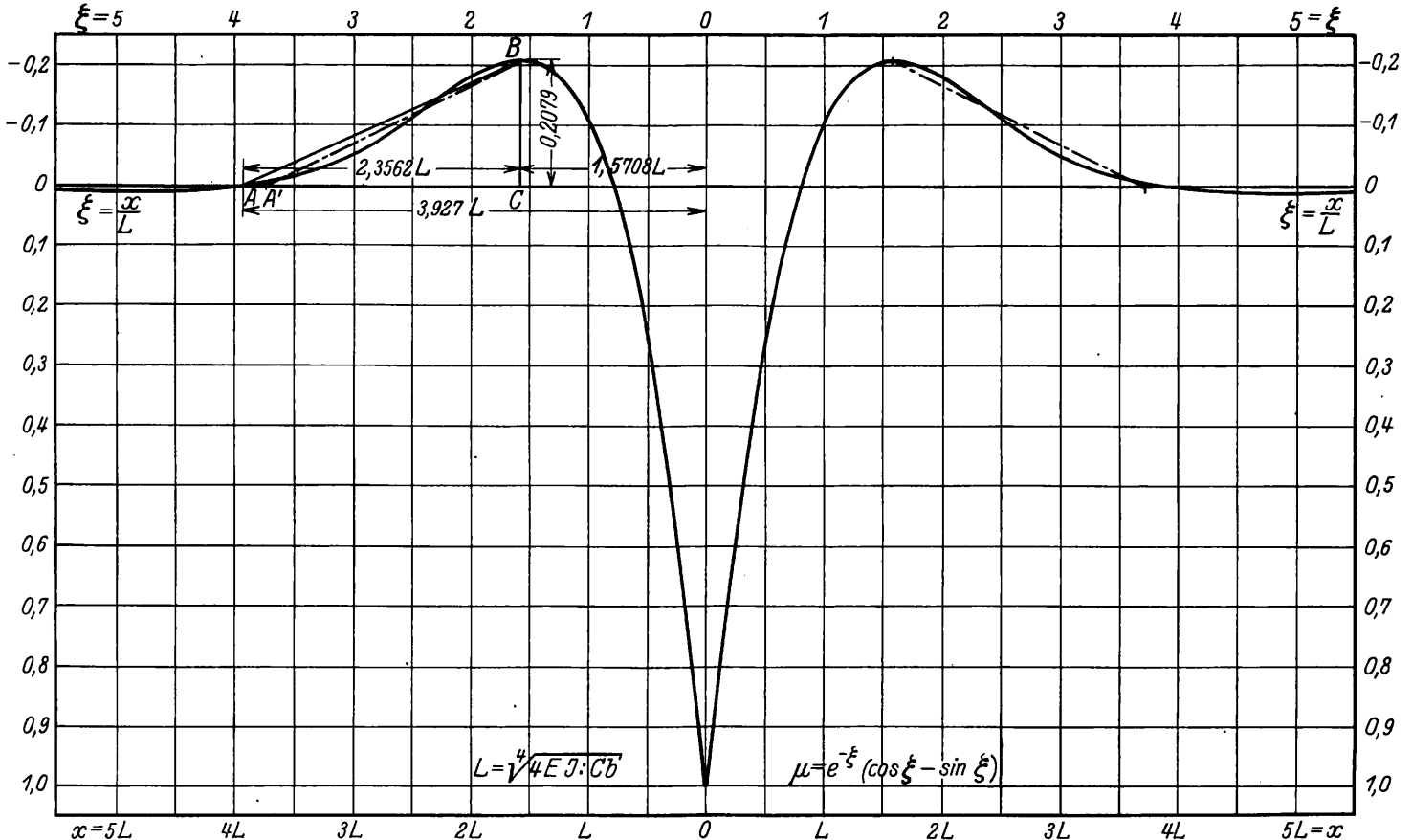


Abb. 1.

abstand $1,5708 L + 2,1828 L = 3,7536 L$. In Abb. 1 ist sie so beiderseits einpunktirt zum Vergleich mit der Kurve, die sie zu vertreten hat. Man erkennt, daß es sich um geringe, praktisch völlig vertretbare Abweichungen handelt. Man könnte, um die Anpassung der Geraden an die Kurve noch weiter zu verbessern, sogar mit B noch etwas weiter nach außen gehen und gleichzeitig A noch etwas nach innen verschieben.

Sind Nachbarlasten vorhanden, so können für jede derselben solche Einflußlinien für die Biegung gezeichnet und die Ordinaten zusammengezählt bzw. abgezogen werden. In den Abb. 3 und 4 ist dies unter der Annahme, daß die Lasten alle gleich groß sind, an Beispielen gezeigt. Da die Momente nicht nur ihre Größe, sondern auch ihr Vorzeichen wechseln, sind die Grundlagen für die Entstehung von Schwingungsbrüchen gegeben.

Befindet sich im Abstand a von P_0 eine Nachbarlast P_1 (Abb. 2), so trägt diese mit dem negativen Moment $-\frac{P_1 L}{4} z$ zu dem Moment in P_0 , das für Einzellast nach obigem $\frac{P_0 L}{4}$ ist, bei. Man kann sich davon leicht überzeugen, wenn man auch für P_1 die Einflußlinie der Biegung zeichnet. z ist aus dem Dreieck A'BC:

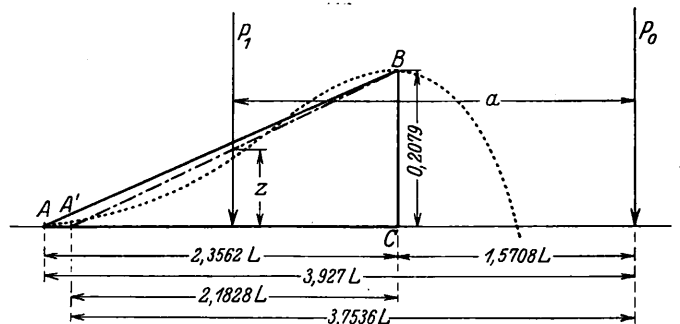


Abb. 2.

vor allem auf die Bestimmung der Werte C b zu beziehen und zwar an Hand der für Langschwellenoberbau gültigen Formel $y_0 = \frac{P}{2 C b L}$ (Zimmermann, S. 25). Entwickelt man L, so ergibt sich

$$C b = \frac{P}{4 y_0} \sqrt[3]{\frac{P}{y_0 E J}}$$

Damit wird das Moment im Lastpunkt P_0 bei Berücksichtigung der Nachbarlast P_1 im Abstand a:

$$M = \frac{P_0 L}{4} - \frac{P_1 L (3,7536 L - a)}{4 \cdot 10,5 L} = \frac{P_0 L}{4} - \frac{P_1 (3,7536 L - a)}{42} \dots 9)$$

Diese Berechnungen gehen von der Annahme aus, daß der Langträger mit der elastischen Unterlage fest verbunden ist, so daß bei der Hebung der Schiene die Unterlage Widerstand leistet. Diese Annahme wird aber bei der tatsächlichen Mangelhaftigkeit der Befestigung der Schiene auf der Schwelle in der Regel nicht zugelassen. Es wird vielmehr angenommen, daß die Verbindung zwischen Schiene und Schwelle (durch Schraube oder Nagel) in Wirklichkeit eine Hebung der Schiene allein nicht aufhalten könne. Es wäre dann dem Moment nach

$$M = 1,09 \left[\frac{P_0 L}{4} - \frac{P_1 (3,75 L - a) + P_2 (3,75 L - b) + P_3 (3,75 L - c) + \dots}{42} \right] \dots 10^*)$$

Darin ist also M das gesuchte Moment im Lastpunkt P_0 .

$P_1, P_2, P_3 \dots$ in den Abständen $a, b, c \dots$ von P_0 sind die Nachbarlasten in dem Einflußbereich $3,75 L$ beiderseits des Lastpunktes P_0 . L ist aus Gl. 4) gegeben.

Durch Versuche in der Wirklichkeit, die den Umweg über die Durchbiegungslinie zu nehmen haben werden, wird vielleicht

Winkler (Vorträge über Brückenbau, Theorie der Brücken. 1. Heft. Äußere Kräfte der Balkenträger. 3. Auflage. Wien 1886. S. 184) die Wertziffer 1,09 anzufügen. Inwieweit diese Wertziffer auch bei neuzeitlichen Oberbauten noch am Platz ist und inwieweit sie in den noch weiter für Stoßdruck und Geschwindigkeit einzuführenden Beiziffern verschwinden wird, muß sich aus den Versuchen noch herausstellen.

Kommen weitere Nachbarlasten $P_2, P_3, P_4 \dots$ in Abständen $b, c, d \dots$ im Bereich $3,75 L$ hinzu, so ergibt sich die einfache Schlußformel:

noch beigefügt werden. Das Verfahren besteht einfach darin, daß in die Schlußformel 10) in den Zähler des zweiten Bruches alle im Bereich $3,75 L$ vorhandenen Nachbarlasten P_x mit dem Summanden $P_x (3,75 L - x)$ eingesetzt werden. Sind keine Nachbarlasten da, so gibt die Formel selbsttätig die Einzellast. Die Schwierigkeit der Berechnung von Einzel-, Grenz- und Gruppenlast ist durch eine einfache Formel erledigt.

Beispiele.

Der Einfachheit halber sollen alle Beispiele auf den Reichsbahnoberbau K auf Holzschwellen bezogen werden. Um die Wirkung der Achsfolge etwas mehr hervortreten zu lassen und die bei der Reichsbahn eingeführte, sonst aber nicht übliche Stampfung und Walzung der Bettung nicht zu verallgemeinern, sei mittlere Bettung mit $C = 7,5$ angenommen.

Es ist nach 4): $L = \sqrt[4]{\frac{2 E J l}{C b \ddot{u}}}$, worin

- $E = 2\,150\,000 \text{ kg/cm}^2$;
- $J = 1781 \text{ cm}^4$;
- $W = 234 \text{ cm}^3$;
- $l = 65 \text{ cm}$;
- $c = 7,5 \text{ kg/cm}^3$;
- $b = 26 \text{ cm}$;
- $\ddot{u} = 130 - 75 = 55 \text{ cm}$.

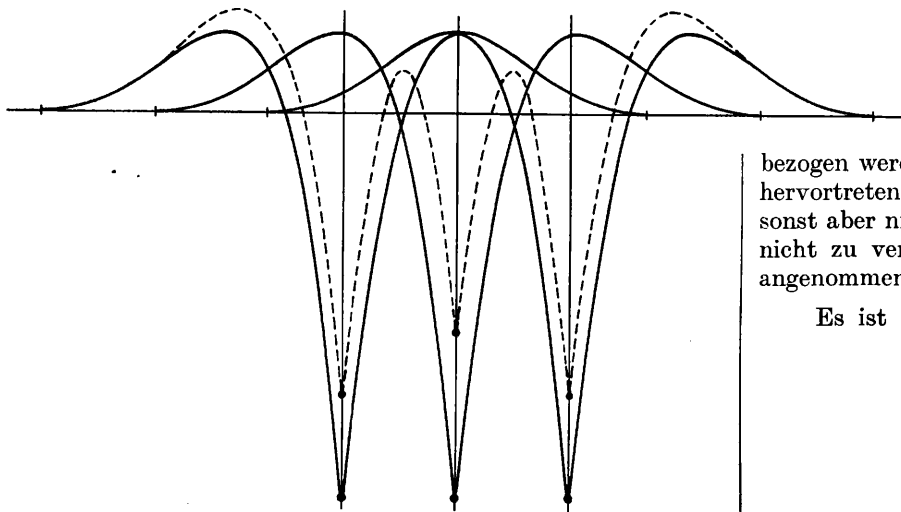


Abb. 3.

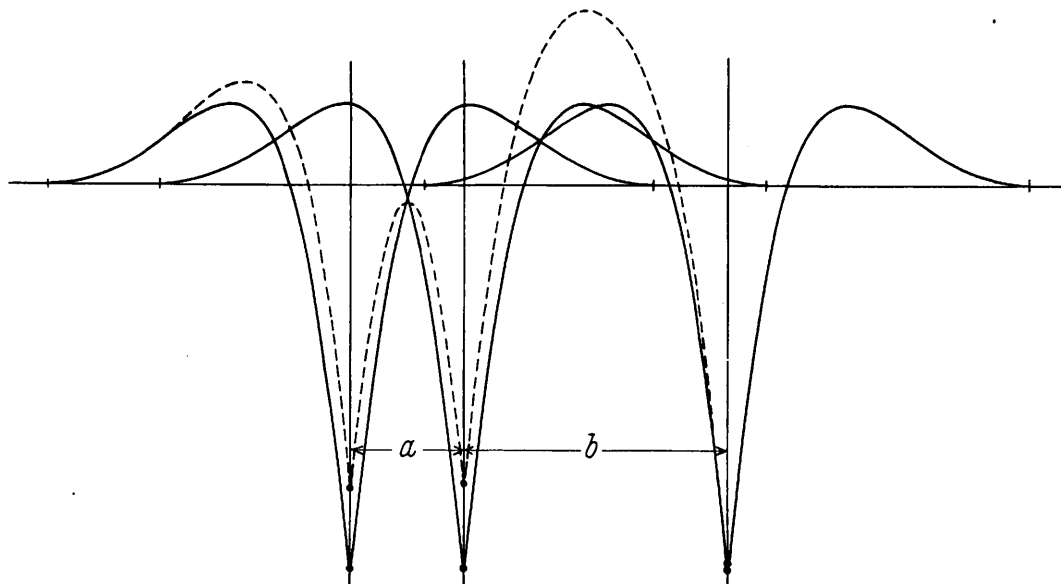


Abb. 4.

die theoretische Einflußlinie des Biegemomentes mit der wirklichen verglichen und, wenn nötig, verbessert werden können.

Es handelt sich also hier um ein streng wissenschaftliches Verfahren, das mit ganz geringen Vereinfachungen überraschend schnell zum Ziele führt und jede Lastenfolge, Einzelast, Grenzlast, Gruppe in einem umfaßt. Beiwerte für Geschwindigkeit und Stoßdrücke müßten aus den Versuchen

(Timoschenko setzt statt $2 \ddot{u}$ ein: $\frac{s}{2} 0,89 = 116 \text{ cm}$, s die Schwellenlänge gleich 260 cm .)

*) Kommen kleinere Achsstände als etwa $1,5 \text{ m}$ und steifere Oberbauformen als etwa der Reichsoberbau K nicht vor, so kann man in 10) die Gerade der Kurve noch etwas genauer anschmiegen, wenn man $3,62 L$ statt $3,75 L$ und im Nenner 35 statt 42 setzt.

$$L = \sqrt[4]{\frac{2 \cdot 150000 \cdot 1781 \cdot 65}{7,5 \cdot 26 \cdot 55}} = 82,5 \text{ cm}$$

und $3,75 \cdot 82,5 = 310 \text{ cm}$.

Beispiel 1 (Abb. 5).

Vorderste Achsen einer elektrischen Lokomotive. Gesucht das Moment im Lastpunkt P_2 . Es ergibt sich, da P_1 und P_3 noch im Bereich 3,10 m liegen:

$$M = 1,09 \left[\frac{P_2 L}{4} - \frac{P_1 (310 - 280) + P_3 (310 - 190)}{42} \right]$$

$$= 1,09 \left[\frac{9000 \cdot 82,5}{4} - \frac{7000 \cdot 30 + 9000 \cdot 120}{42} \right] =$$

$$= 173758 \text{ kg cm}$$

und $\sigma = \frac{173758}{234} = 742 \text{ kg/cm}^2$.

Unter der Einzellast P_2 hätte sich $\sigma = \frac{202331}{234} = 865 \text{ kg/cm}^2$ ergeben.

$$M = 1,09 \left[\frac{P_4 L}{4} - \frac{P_2 (310 - 300) + P_3 (310 - 150) + P_5 (310 - 150) + P_6 (310 - 300)}{42} \right]$$

$$= 1,09 \left[\frac{8000 \cdot 82,5}{4} - \frac{7850 (310 - 300) + 7950 (310 - 150) + 7950 (310 - 150) + 7800 (310 - 300)}{42} \right] =$$

$$= 1,09 [165000 - 64298] = 109765 \text{ kg cm.}$$

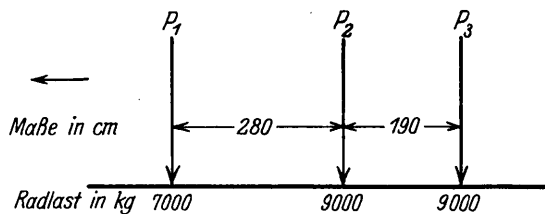


Abb. 5.

Hieraus $\sigma = \frac{109765}{234} = 469 \text{ kg/cm}^2$.

Für eine Einzellast P_4 würde sich $\sigma = \frac{179850}{234} = 769 \text{ kg/cm}^2$ ergeben haben. Die Einwirkung der Lastenfolge ist hier besonders auffällig.

Beispiel 4.

Für die gleiche Lokomotive gesucht das Moment für die Grenzlast P_1 . In den Bereich fallen noch die Lasten P_2 und P_3 .

$$M = 1,09 \left[\frac{P_1 \cdot 82,5}{4} - \frac{P_2 (310 - 143) + P_3 (310 - 293)}{42} \right]$$

$$= 1,09 \left[\frac{6700 \cdot 82,5}{4} - \frac{7850 \cdot 167 + 7950 \cdot 17}{42} \right] =$$

$$= 1,09 [133188 - 34431] = 107645 \text{ kg cm.}$$

Die Nachfrage nach verschleißfesten Schienen ist in den letzten Jahren immer stärker geworden. Die Bestrebungen, die Schienen im ganzen widerstandsfähiger zu machen, wiesen auf die Verwendung von Elektro Stahl oder auf Zusätze von Mangan, Nickel und Chrom. Diese Stahlsorten sind aber zu teuer und führen zu Schwierigkeiten bei der Bearbeitung; außerdem war es fraglich, ob der Schienenfuß die erforderliche Zähigkeit behalten werde. Nach der Art, wie sich die Druck- und Zugbeanspruchungen in der Schiene äußern und wie sie sich über den Schienenquerschnitt verteilen, muß man anstreben, nur den Kopf aus hartem, druckfestem Stahl herzustellen, für den Fuß aber einen weicheeren, zähen Stahl zu verwenden. Eine Annäherung an diese Forderung besteht darin, an Schienen, die durchweg aus Kohlenstoffstahl üblicher Zusammensetzung gewalzt werden, den Kopf noch in der Walzhitze durch Abschrecken zu härten.

Osnabrücker Verbundguß-Schienen.

Die ältesten Schienen, die in Kopf und Fuß verschiedene Festigkeit aufwiesen, wurden in den siebziger Jahren als „Eisenschienen mit Stahlkopf“ eingeführt. Der Stahl des Kopfes wurde dabei aus einzelnen Stäben zusammengeschweißt; im Betriebe traten aber oft Längsrisse auf, weil sich mangelhaft verschweißte Stäbe voneinander lösten. Die ersten Versuche, eine wirkliche Verbundstahlschiene herzustellen, gingen von Melaun aus: in die Kokille des Walzblocks wurde zuerst der weichere, kurz darauf der härtere Stahl eingegossen. Das Verfahren Melauns hat jedoch nicht zum Erfolge geführt.

Seit einigen Jahren fertigen die Klöckner-Werke unter dem Namen „Osnabrücker Verbundguß-Schienen“ verschleißfeste Schienen an, die im Kopfe aus hartem Stahl (Festigkeit 110 bis 140 kg/mm²) bestehen, während im Steg und im Fuß ein weicher, zäher Stahl auftritt, dessen Festigkeit 45 bis 60 kg/mm² beträgt.

Beispiel 2.

Wie vor. Gesucht Moment unter der Grenzlast P_1 . Nur P_2 fällt in den Bereich.

$$M = 1,09 \left[\frac{P_1 L}{4} - \frac{P_2 (310 - 280)}{42} \right] =$$

$$= 1,09 \left[\frac{7000 \cdot 82,5}{4} - \frac{9000 \cdot 30}{42} \right] = 150361 \text{ kg cm}$$

und $\sigma = \frac{150361}{234} = 643 \text{ kg/cm}^2$.

Für die Einzellast P_1 hätte sich $\sigma = \frac{157369}{234} = 672 \text{ kg/cm}^2$ ergeben.

Beispiel 3 (Abb. 6).

Für die enge Gruppenlaststellung einer Würt. K Lokomotive G 67.16 auf Reichsoberbau gesucht das Moment unter Lastpunkt P_4 . In den beiderseitigen Bereich von 310 cm fallen noch P_2 , P_3 , P_5 und P_6 .

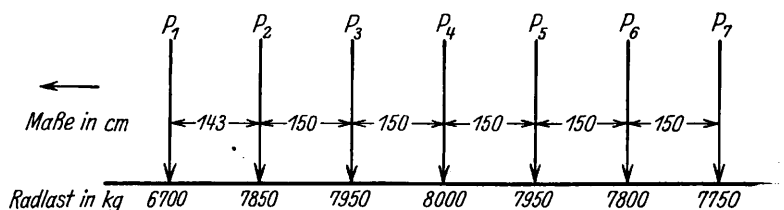


Abb. 6.

$\sigma = \frac{107645}{234} = 460 \text{ kg/cm}^2$.

Für die Einzellast P_1 wäre $\sigma = \frac{145175}{234} = 620 \text{ kg/cm}^2$.

Insbesondere wenn die Werte L für die Oberbauten der einzelnen Verwaltungen vorausgerechnet sind, ist die Berechnung jedes Moments bei beliebiger Lastenfolge das Werk weniger Minuten.

Die Berücksichtigung der Achsfolge äußert sich immer in einer Abminderung des Moments. Für die Berechnung des Oberbaues selbst wird immer die Einzellast maßgebend bleiben. Die Lastenfolge wird für die Bemessung von Gruppen- und Grenzlasten, also für den Lokomotiv- und Wagenbau von Gewicht sein. Man wird bei solchen Lasten mit den Achsgewichten höher gehen dürfen.

Der Unterschied gegenüber dem Verfahren Melauns scheint darin zu bestehen, daß die Verbindung der beiden verwendeten Stahlorten noch im flüssigen Zustande im Rohstahlblock herbeigeführt wird. Auf diese Weise entsteht ein allmählicher Übergang zwischen den beiden Stahlorten, der im Schienenquer-

in großer Zahl durchgeführt wurden, ist nie eine Trennung an der Übergangsstelle zu verzeichnen gewesen.

Die Osnabrücker Verbundguß-Schienen sind bereits in größerem Umfange verwendet worden: von der Hamburger Hochbahn A.-G. durchgängig in den Bogenstrecken einer Neubaulinie, von der Deutschen Reichsbahn-Gesellschaft stellenweise auf den Stadtbahnen in Hamburg und Berlin sowie auf einer Güterzugstrecke in Oberschlesien. Vorteile versprechen die Verbundguß-Schienen für Backenschienen, Flügel- und Knieschienen stark beanspruchter Weichen; auch diese Verwendungsart hat bei der Deutschen Reichsbahn-Gesellschaft bereits Eingang gefunden.

Der Preis der Osnabrücker Verbundguß-Schienen beträgt etwa das Doppelte von dem der gewöhnlichen. Die wirtschaftlichen Aussichten der neuen Schienenart sind trotz dem Aufpreise

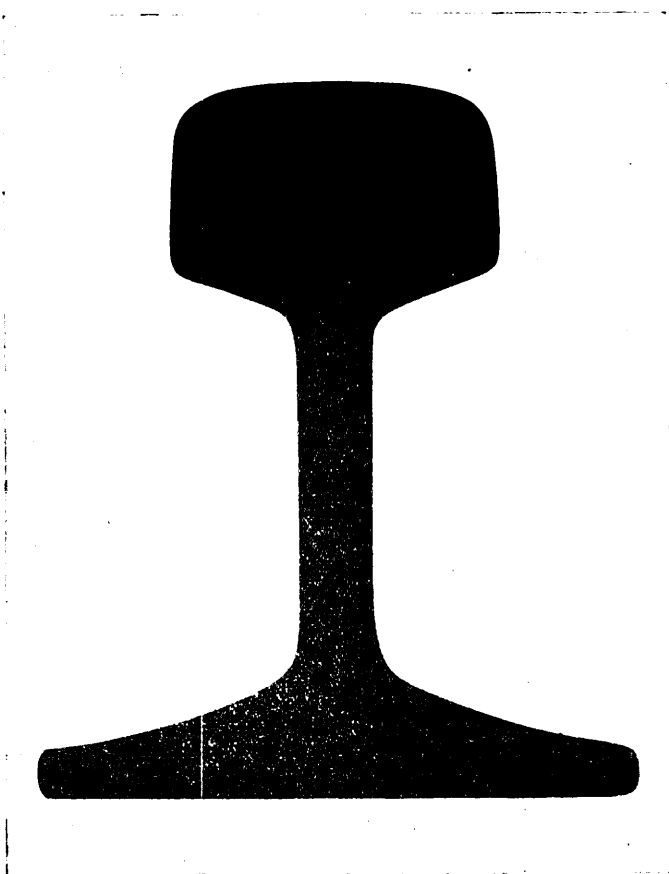


Abb. 1. Ätzbild eines Schienenquerschnittes (Reichsbahn S 49).

schnitt an günstiger Stelle liegt; in dem Ätzbilde Abb. 1 und in dem Dünnschliff Abb. 2 ist er deutlich ausgeprägt. Der innige Zusammenhang zwischen der harten und der weichen Zone ist ausschlaggebend für die Bewährung der Verbundschiene. Bei Zerreißproben, die aus Osnabrücker Verbundguß-Schienen der Höhe nach (vom Kopf bis zum Fuß) herausgeschnitten wurden, trat der Bruch stets im weicheren Teile ein, nicht an der Übergangsstelle. Auch bei den Schlagproben, die im Abnahmeverfahren

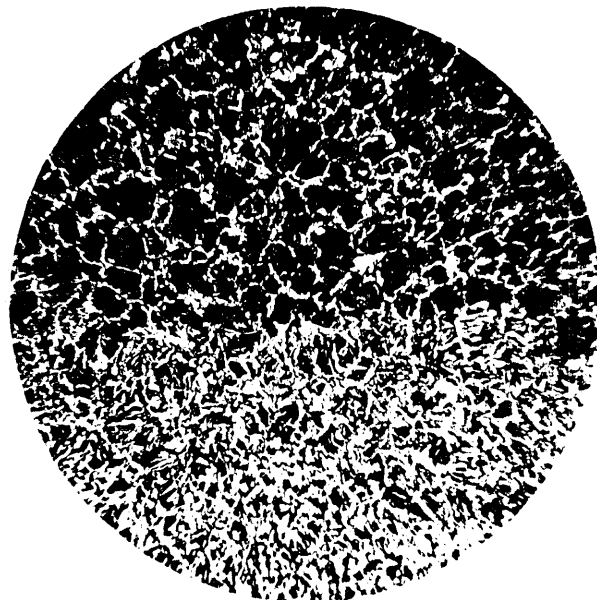


Abb. 2. Dünnschliff der Übergangsstelle (50x).

sehr günstig. Nach Versuchen, die auf der Amslerschen Verschleißmaschine angestellt wurden, ist der Widerstand gegen Abnutzung bei den Verbundguß-Schienen etwa fünfmal größer als bei gewöhnlichen. Die Lebensdauer hängt allerdings im Betriebe noch von anderen Einflüssen ab. Die Hamburger Hochbahn A.-G. nimmt an, daß die Lebensdauer der Verbundguß-Schienen viermal so hoch sein wird wie die gewöhnlicher Schienen.

Dr. Bl.

Buchbesprechungen.

Schutz der Bauwerke gegen chemische und physikalische Angriffe.
Herausgegeben von Otto Graf und Hermann Goebel.
Berlin 1930, Verlag von Wilhelm Ernst u. Sohn. Preis geb. 22,— *R.M.* 217 S. mit 243 Textabb.

Neun Fachleute auf dem Gebiete der Baustoffkunde und der angewandten Chemie haben sich zu diesem Buche zusammengetan. Der tiefere Sinn des Buches erhellt aus zwei Zitaten: „Es ist ein Irrtum, anzunehmen, daß mit der Standsicherheit eines Gebäudes alles getan sei. . . . Bauwerke verhalten sich hier (bei chemischen Angriffen) wie ein lebender Organismus gegenüber schleichenden Krankheiten“. Und der gesunde Zustand wie die Krankheitserscheinungen nebst Vorbeugungs- und Schutzmitteln werden in durchwegs fesselnder Darstellung behandelt für natürliche Bausteine, Bindemittel, Mörtel und Beton, Mauerwerk, Bauwerke aus Beton, Eisenbeton und Mauerwerk, Metalle und Holz. Der Abschnitt „Holz“ ist leider etwas knapp geraten, gern verweilte man länger dabei. Für Eisenbahningenieure sei

besonders hervorgehoben, daß Schächterle-Stuttgart anregende und aufschlußreiche Abschnitte über Schutz der Stein-, Beton- und Eisenbetonbrücken, über Schutz der Tunnel und über Schutz der eisernen Brücken beigesteuert hat. Alles in allem: ein wichtiges Buch, an dem weder der beim Neubau noch der im Unterhaltungsdienste tätige Ingenieur vorbeigehen kann.

Dr. Bl.

Kröhnkes Taschenbuch zum Abstecken von Bögen, herausgegeben von R. Seifert, 17. Auflage. Leipzig und Berlin 1929. Verlag von B. G. Teubner. Preis geb. 4,80 *R.M.*

Das einfach und übersichtlich gegliederte Hilfsbuch hat als seine Besonderheit das Abstecken von der Tangente aus für Bogenpunkte gleichen Abstandes beibehalten und wird deshalb manchem erwünscht und nützlich sein. Die neuen Oberbauvorschriften der Deutschen Reichsbahn sind — auf Anregung der Schriftleitung des Organs — in einem Nachtrage berücksichtigt.

Dr. Bl.