

Organ für die Fortschritte des Eisenbahnwesens

Technisches Fachblatt des Vereins Deutscher Eisenbahn-Verwaltungen

Schriftleitung: Dr. Ing. H. Uebelacker, Nürnberg, unter Mitwirkung von Dr. Ing. A. E. Bloss, Dresden

87. Jahrgang

15. März 1932

Heft 6

Versuche über die Wirkung von Längskräften im Gleis.

IV. Teil.

Von Prof. Dr. Ing. O. Ammann und Privatdozent Dr. Ing. C. v. Gruenewaldt, Technische Hochschule Karlsruhe*).

Hierzu Tafel 11.

Seit dem letzten Bericht sind die Versuche auf dem Gleisprüfstand fortgesetzt und vor allem umfassende Knickversuche im Betriebsgleis durchgeführt worden. Gleichzeitig wurde die Frage der Knicksicherheit von Gleisen auch rechnerisch untersucht**).

I. Versuche am Gleisprüfstand.

A. Widerstand gegen Querverschieben.

Auf dem Gleisprüfstand wurden die Versuche mit Querverschieben eines 5 m langen Gleisstücks mit und ohne Belastung für den Reichsoberbau K auf Holzschwellen wiederholt, wobei sich sehr gute Übereinstimmung mit den bereits veröffentlichten Werten ergab, insbesondere zeigte sich noch, daß der Einfluß des zwischen den einzelnen Schwellen eingefüllten Schotters auf die Widerstandsfähigkeit gegen Querverschieben sehr bedeutend ist.

B. Temperaturdehnungen.

Dehnungsmessungen am 45 m langen Gleis, das durch festes Anziehen der Laschenschrauben der 15 m-Gleisjoche zu einem praktisch lückenlosen Gleis gemacht war, bei gleichzeitiger Temperaturmessung bestätigten einerseits den durch unmittelbare Messung gefundenen Widerstand des unbelasteten Gleises des Reichsoberbaues K auf Holzschwellen gegen Längsverschiebung von 800 kg/m und ergaben andererseits die Richtigkeit der im Organ 1929, S. 240 ff. abgeleiteten Beziehungen zwischen Temperaturänderung, Dehnung und Spannung, wie aus folgender Zusammenstellung hervorgeht, in der die gemessenen Längenänderungen des 45 m langen Gleisstücks mit den unter der Voraussetzung eines Gleiswiderstandes gegen Längsverschiebung von 800 kg/m errechneten Werten verglichen werden:

Temperaturabnahme seit der Verlegung in °C	Gemessene Verkürzung d. Schiene in mm	Errechnete Verkürzung d. Schiene in mm	Unterschied in %	Bemerkung
8	2,77	2,77	0	Zusammenziehung der ganzen Schiene
10,2	4,02	3,96	1,49	
12,7	5,38	5,31	1,30	
13,2	5,48	5,58	-1,82	
13,2	5,63	5,58	0,89	Dehnung nur der Schienenenden
6,6	3,64	3,52	3,30	
4,6	2,28	2,09	8,35	Zusammenziehung nur der Schienenenden
6,7	2,74	2,71	1,09	
7,2	3,24	3,05	5,86	

Die Übereinstimmung der gemessenen und der errechneten Werte ist demnach sehr gut.

*) Vergl. Org. Fortsch. Eisenbahnwes. 1928, S. 308 ff.; 1929, S. 239 ff. und S. 471 ff.

**) Vergl. Org. Fortsch. Eisenbahnwes. 1931, S. 109 ff.; 292 ff. und 298.

C. Bestimmung des Trägheitsmomentes des Gleises.

Das Trägheitsmoment eines Gleises bezogen auf die waagerechte Schwerachse ist gleich der Summe der Trägheitsmomente beider Schienen bezogen auf die waagerechte Schwerachse. — Das Trägheitsmoment des Gleises bezogen auf die senkrechte Schwerachse läßt sich nicht so einfach angeben: sein Mindestwert wäre gleich der Summe der Einzelträgheitsmomente beider Schienen (bei S 49 z. B. $2 \cdot 319 = 638 \text{ cm}^4$), sein Höchstwert bei Annahme einer starren Verbindung der Schienen durch die Schwellen rund $J = \left(\frac{s}{2}\right)^2 \cdot 2F + 2J_1$, wo s die Spurweite des Gleises, F die Querschnittsfläche und J_1 das Trägheitsmoment einer Schiene sind (bei S 49 ergibt diese Gleichung $J = 700000 \text{ cm}^4$). Daß dieser Höchstwert nicht annähernd erreicht werden kann, ist klar, denn die Verbindung zwischen Schiene und Schwelle erfolgt im wesentlichen durch Reibung, bei Rippenplatten z. T. auch durch Einspannung; sie ist also keineswegs starr — es muß also versucht werden,

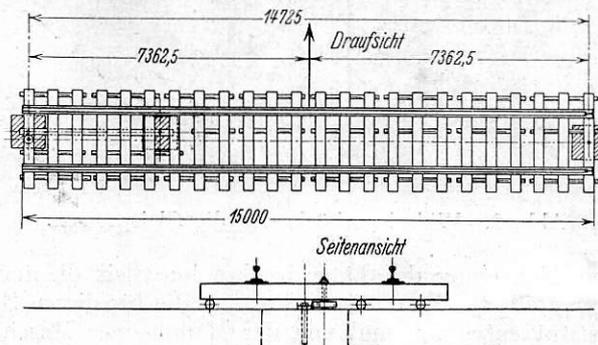


Abb. 1. Versuchsanordnung zur Bestimmung des Trägheitsmomentes eines Gleises, bezogen auf die senkrechte Schwerachse.

das Trägheitsmoment des Gleises bezogen auf die senkrechte Schwerachse durch Versuche zu ermitteln.

Die Versuchsanordnung ist so gewählt worden, daß das Trägheitsmoment aus der Durchbiegung des Gleises bestimmt wird. Zu diesem Zwecke wurde ein Gleisjoch auf Rollen gelegt und an einem Ende um eine Achse drehbar befestigt, während das andere Ende sich mit einer Rolle längs einem Träger bewegen konnte (s. Textabb. 1). Auf diese Weise ergab sich ein frei aufliegender Träger auf zwei Stützen, aus dessen Biegungsprofil sich das Trägheitsmoment berechnen läßt. Die zum Verbiegen erforderliche Kraft wurde mittels Flaschenzugs auf die Mitte des Gleisjochs ausgeübt (Einzellast in der Mitte).

Bisher konnten die Versuche erst mit dem Reichsoberbau K auf Holzschwellen durchgeführt werden, wofür ein 15 m langes Gleisjoch verwandt wurde.

Bei diesen Versuchen zeigte sich, daß schon bei verhältnismäßig geringen Durchbiegungen (3 bis 4 cm) bleibende Formänderungen auftraten, so daß eine ganz genaue Bestimmung des Trägheitsmomentes bezogen auf die senkrechte Schwerachse schwierig ist. Auch im elastischen Bereich ist

das Trägheitsmoment nicht konstant, da der Einspannungsgrad der Schienen an den Schwellen, auch bei gleichmäßig angezogenen Hakenschrauben, veränderlich ist.

Es läßt sich also zunächst nur die Größenordnung des Trägheitsmomentes eines Gleises bezogen auf seine senkrechte Schwerachse bestimmen. Die bei den Versuchen für ein Gleisjoch des Oberbaues K auf Holzschwellen, dessen Hakenschrauben mit einem Drehmoment von 2000 bis 3000 kg/cm (alle Schrauben gleich) angezogen waren, gefundenen Werte liegen zwischen rund 20000 und 40000 cm⁴.

Ob diese Werte auch bei starken Ausbiegungen, wie solche bei den später beschriebenen Gleisknickversuchen eintraten, wesentlich unter- oder überschritten werden, soll noch untersucht werden.

II. Knickversuche an Betriebsgleisen.

A. Die Versuchsanordnung.

Die Knickversuche wurden auf dem Rangierbahnhof Karlsruhe an längere Zeit liegendem badischen Oberbau mit 140 mm hohen Schienen auf Eisenschwellen in Gleisen der Richtungsgruppe und mit eigens zu diesem Zweck verlegtem Reichsoberbau K auf Eisen- und Holzschwellen in einem Gleis der Ein- und Ausfahrgruppe durchgeführt. Die Versuchsgleise verlaufen alle fast genau von Westen nach Osten.

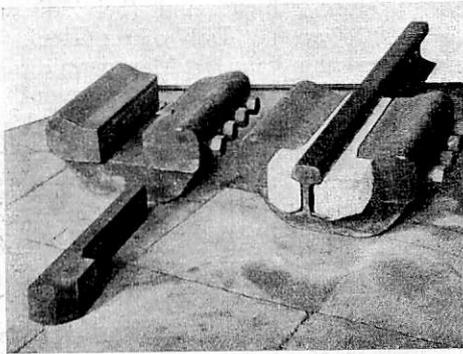


Abb. 2. Widerlagerböcke für die Gleispresen.

Zur Erzeugung des Längsdruckes im Gleis dienten besondere profilfreie hydraulische Pressen, die für diesen Zweck im Institut entworfen und von der Mannheimer Maschinenfabrik Mohr und Federhaff gebaut wurden. Beiderseits jeder Schiene wird je eine dieser Pressen angeordnet; sie bestehen aus langen Zylindern mit Kolben (Auszug bis 500 mm), von denen je zwei zusammen normalerweise einen Druck von 120 t auszuüben gestatten (eine Drucksteigerung um etwa 20% ist möglich); der gesamte auf das Gleis ausgeübte Druck kann daher 240 t und erforderlichen Falles bis zu 290 t betragen. Die Pressen übertragen den Druck auf das Gleis durch Widerlagerböcke aus Stahlguß, die sich ihrerseits gegen Keilhaken stützen, die von vier Schrauben in die Laschenkammern der Schienen gepreßt werden (Textabb. 2). Die Übertragung des Druckes erfolgt ausschließlich durch Reibung, so daß eine Beschädigung der Schienen nicht eintritt und die Anbringung der Pressen an jedem beliebigen Schienenstoß (bei Schienen mit entsprechend gebauter Laschenkammer) ohne besondere Vorbereitungen möglich ist. Der Stoß, an dem die Pressen eingebaut sind, wird mit Ausziehlaschen versehen.

Die Anordnung der Preßzylinder im Gleis ist aus den Textabb. 3 und 4 ersichtlich.

Die Pumpe, die bei einem Pressendruck von je 60 t (normaler Höchstdruck) mit 600 atü arbeitet, ist gesondert von den Preßzylindern aufgestellt und mit diesen über einen auf einer gemeinsamen Grundplatte mit der Pumpe an-

gebrachten Ventilkasten durch kupferne Rohrleitungen verbunden.

Bei allen Versuchen waren die Stoßlücken der Schienen durch eingelegte Blechstreifen geschlossen, um auf diese Weise ein praktisch lückenloses Gleis zu schaffen und eine zu starke Längsverschiebung des Gleises zu verhindern.



Abb. 3. Eingebaute Gleispresen für einseitiges Drücken. (Die als Widerlager dienenden Lokomotiven sind entfernt.)

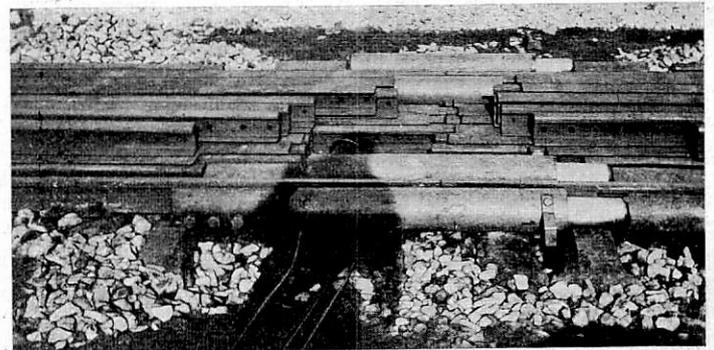


Abb. 4. Eingebaute Pressen für Drücken nach beiden Seiten.

Der den Pressen zunächst liegende Teil des untersuchten Gleises wurde bei allen Versuchen durch aufgelegte Schienen von rund 12 m Länge mit einem Gesamtgewicht von 10 bis 15 t belastet, um ein Ausknicken des Gleises an den Pressen selbst (wo die Längskraft im Gleis am größten ist) zu verhindern; dies geschah erstens, um eine Beschädigung der Pressen durch das mit großer Gewalt erfolgende Ausknicken zu verhüten, zweitens,

um den Beginn der Knickwelle nicht an eine Stelle zu verlegen, an der das Gleis tatsächlich unterbrochen war, wo-

durch die Form der Knickbiegeline und damit der ganze Knickvorgang anders geworden wäre als beim Knicken aus dem endlosen Gleis (Textabb. 5).

Bei den Versuchen ohne Befahren der Prüfstrecke wurde nur das vorwärts der Pressen liegende Gleis untersucht, während das Gleis rückwärts durch zwei unmittelbar hinter den Pressen aufgestellte Lokomotiven von je rund 130 t Gewicht zu einem praktisch unbeweglichen Widerlager ausgebildet wurde.

Bei den Versuchen wurden die Längs- und Querver-schiebung des Gleises, seine Hebungen und die Spannung in den Schienen gemessen, wobei alle diese Werte als Funktion des Druckes der Pressen bestimmt wurden.

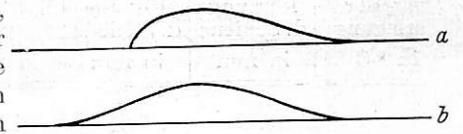


Abb. 5. Formen der Knickbiegeline. a) bei Knicken im Stoß, b) bei Knicken aus der Schienenmitte.

Die Längs- und Querverschiebungen wurden durch einen mit dem Prüfgleis verbundenen Schreibstift unmittelbar auf ein Papier, das festlag, aufgezeichnet. Eine Nachgiebigkeit des Stiftes gegenüber senkrechten Verschiebungen des Gleises war durch geeignete Vorrichtungen ermöglicht. Die Markierung der jeweiligen Druckstufen erfolgte durch elektrischen Kontakt,



Abb. 6. Verschiebungsmesser.

wobei der durch einen Magneten bewegte Schreibstift einen kurzen Strich senkrecht zur Gleisrichtung zog. Der Strom wurde der Bahnhofslichtleitung entnommen. Die Apparatur ist aus Textabb. 6 ersichtlich.

Die Hebung des Gleises wurde durch Nivellement festgestellt, wobei die Nivellierlättchen quer zum Gleis pendelnd aufgehängt waren (vergl. Textabb. 7 und 8).

Zur Messung der Spannung in der Schiene dienen Spannungsdehnungsmesser (Textabb. 9), die auf dem Kopf der Schiene und beiderseits auf dem Fuß aufgesetzt waren (vergl. Textabb. 7 und 8). Aus den Ablesungen läßt sich die mittlere Schienenspannung und damit der bis zur Meßstelle wirksame Widerstand gegen Längsverschieben berechnen.

Die ganze Versuchsanordnung ist in Textabb. 10 schematisch dargestellt und zwar für den Versuch mit Oberbau K auf Holzschwellen mit 30 m langen Schienen.



Abb. 7. Versuchsstrecke mit eingebauten Meßinstrumenten.

B. Ergebnisse der Gleisknickversuche.

1. Badischer Oberbau.

Am badischen Oberbau mit 12 m langen, 140 mm hohen Schienen auf Eisenwellen wurden Versuche im geraden Gleis ohne und mit Befahren der unter Spannung stehenden Strecke und im gekrümmten Gleis durchgeführt.

a) Gerades Gleis.

Bei den Versuchen wurde der Druck in den Pressen so lange gesteigert, bis das Gleis ausknickte, vorher wurden bei bestimmten Druckstufen Messungen der Gleislage und der Spannungen im Gleis vorgenommen.

Die Querverschiebungen des geraden Gleises waren unbedeutend, praktisch gleich Null, die Längsverschiebungen

entsprachen der Zusammendrückung des Gleises und der Verkürzung infolge Hochhebens der Gleise. Dieses Hochheben begann in der Nähe der Pressen schon bei geringen Drücken, um sich mit zunehmendem Druck auf größere Längen auszudehnen (Abb. 11, Taf. 14). Interessant war dabei die Erscheinung, daß das Gleis sich nicht gleichmäßig

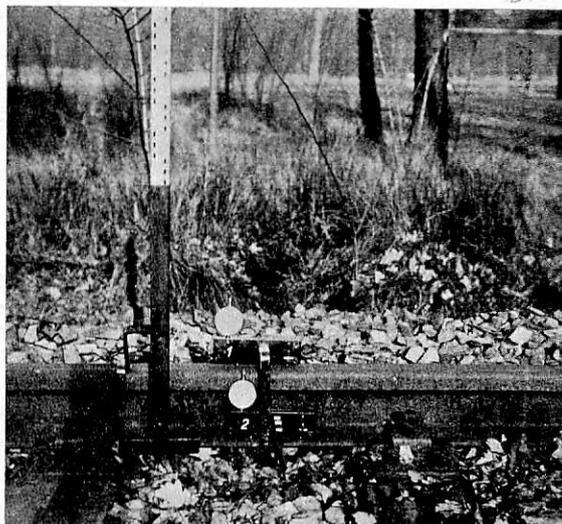


Abb. 8. Nivellierlättchen und Spannungs-Dehnungsmesser.

hochbog, sondern in der Mitte der einzelnen Gleisjoche wesentlich stärker als an den Schienenstößen. Der Grund hierfür

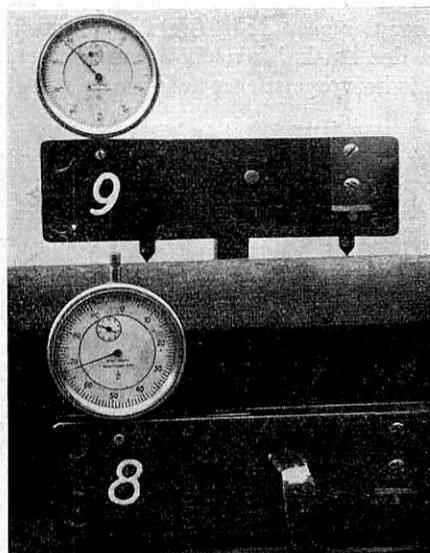


Abb. 9. Gruppe von Spannungs-Dehnungsmessern.

liegt wohl hauptsächlich darin, daß die Schienen schon vorher an den Stößen hinuntergedrückt sind, ferner aber auch darin, daß das Gewicht dieses Gleises am Stoß größer ist als in der freien Schiene, und daß auch das Trägheitsmoment hier trotz des kleineren Schwellenabstandes etwas größer ist (Laschenpaar $J = 1514 \text{ cm}^4$, Schiene $J = 1460 \text{ cm}^4$). Infolge der dichteren Schwellenlage an den Stößen ist hier der Widerstand gegen Verschieben wohl auch etwas stärker.

Das Ausknicken des geraden Gleises des badischen Oberbaues trat bei Pressendrücken von 186 und 194 t (im Gleis) ein, wobei in beiden Fällen das Gleis sich zunächst schlagartig senkrecht nach oben ausbog, einen Augenblick in dieser Lage verharrete, um dann seitlich zu Boden zu fallen und im Bogen liegen zu bleiben (Textabb. 12).

Die Sehnenlänge des Bogens des bei 186 t Druck ausgeknickten Gleises betrug rund 30 m, der Bogenpfeil rund 0,70 m, beim Ausknicken mit 194 t Druck war die Sehnenlänge 31 m, der Bogenpfeil 0,785 m.

Die Spannungsmessungen an den Schienen ergaben entsprechend dem Hochbiegen der einzelnen Schienen starke Biegungsspannungen. Da an drei Stellen des Schienenquerschnitts gemessen wurde, so ließ sich die übertragene Druckspannung berechnen. Bei kleinen Pressendrüken entsprach der Druckabfall im Gleis bis zur Knickstelle den auf dem Gleisprüfstand ermittelten Widerständen gegen Längsverschieben des Gleises, bei größeren Pressendrüken war er geringer, was sich durch die Abnahme des Widerstandes (infolge Hochhebens der Schwellen aus der Bettung) erklärt.

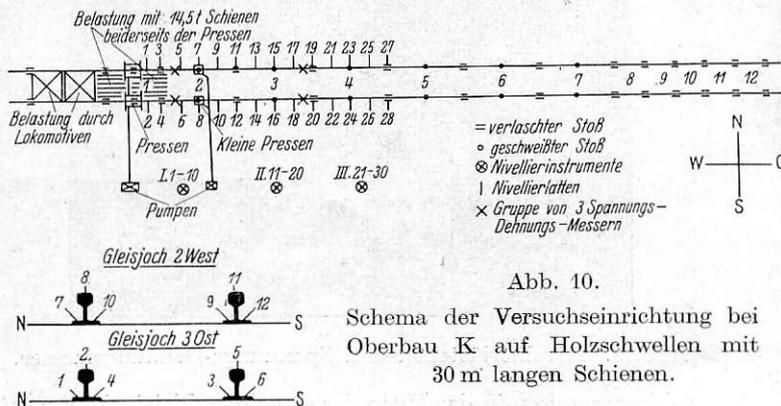


Abb. 10.

Schema der Versuchseinrichtung bei Oberbau K auf Holzschwellen mit 30 m langen Schienen.

Die Versuche mit Befahren des Gleises sollten darüber Aufschluß geben, ob infolge der Erschütterungen durch das über das gespannte Gleis hinüberrollende Fahrzeug ein Auslösen des Ausknickens bei merklich kleinerem Längsdruck im Gleis hervorgerufen würde als im unbefahrenen Gleis.

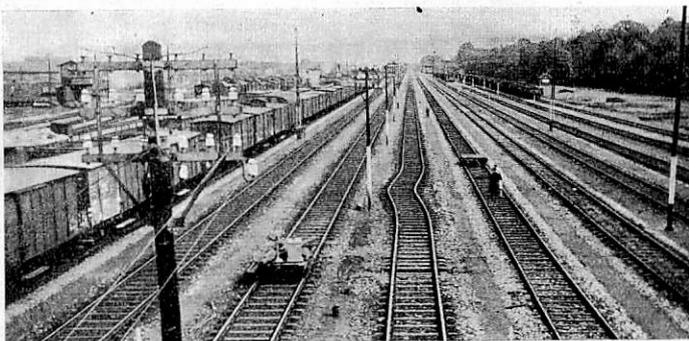


Abb. 12. Ausgeknicktes Gleis des badischen Oberbaues.

Diese Versuche wurden auf zweierlei Art durchgeführt, wobei das Gleis beiderseits der Pressen unter Druck gesetzt und am Ausknicken in der Nähe der Pressen durch aufgelegte Schienen verhindert war (Textabb. 4).

Beim ersten Versuch wurde ein mit Schotter beladener Wagen von rund 25 t Gesamtgewicht über das gespannte Gleis abgestoßen und zwar bei 140 t Pressendruck (im Gleis) mit 20 km/h Geschwindigkeit
 „ 150 t „ „ „ 30 km/h „
 „ 160 t „ „ „ 30 km/h „

Bemerkenswert war, daß das Gleis sich bei geringen Längsdrücken deutlich sichtbar unter dem Rade durchbog, bei stärkeren Längsdrücken (160 t Pressendruck) sich aber im Ganzen unter dem Wagen senkte. Aus dieser Erscheinung kann wohl der Schluß gezogen werden, daß sich bei dem Versuch mit stärker gespanntem Gleis bei 25 t-Wagen vor oder hinter dem Rade keine Welle bilden kann, die genügend hoch wäre, um ein frühzeitigeres Ausknicken des Gleises zu veranlassen.

Der Druck von 160 t, bei dem der Wagen über das Gleis rollte, ohne seine Lage ungünstig zu beeinflussen, ist schon recht bedeutend.

Um die Schlagwirkung des Fahrzeuges zu verstärken (die Schläge durch eine Lokomotive sind wesentlich stärker als durch einen Wagen, auch bei gleichem Achsdruck), wurden bei einem zweiten Versuch die Wagen auf der Versuchsstrecke, und zwar in dem am stärksten gespannten Teil durch Hemmschuhe aufgefangen.

Bei verschiedenen Pressendrüken und zwar bei 120, 150 und 170 t im Gleis wurde ein mit Schotter beladener offener Wagen von 23 t Gesamtgewicht mit Hilfe einer Lokomotive von Westen her auf das Versuchsgleis abgestoßen und rund 30 m vor den Pressen durch einen Hemmschuh aufgefangen.



Abb. 13. Kurvengleis vor der Prüfung.

Etwa 10 m vor den Pressen lag noch ein zweiter Hemmschuh auf dem anderen Schienenstrang, um den Wagen mit Sicherheit noch vor den Pressen zum Halten zu bringen.

Die Geschwindigkeit des Wagens betrug:
 beim 1. Abstoßen bei 120 t Pressendruck/Gleis: 28,8 km/h
 „ 2. „ „ 150 t „ „ 30,85 „
 „ 3. „ „ 170 t „ „ 28,8 „

Die Bremsstrecke betrug 25 bis 30 m.

Jedesmal, nachdem der Wagen zum Stillstand gekommen war, fuhr die 120 t-Lokomotive über das gespannte Gleis an ihn heran, um ihn abzuschleppen und ihn dann nach weiterer Erhöhung der Gleisspannung wieder auf das Versuchsgleis abzustößen. Zwischen den einzelnen Fahrten wurde das Gleis bis auf etwa 120 t Pressendruck entspannt, um die Hemmschuhe ohne Gefahr neu auflegen zu können.

Wie bei allen bisherigen Versuchen zeigte sich auch hier mit steigender Belastung ein Aufbiegen des Gleises nach oben, das deutlich erkennbar in der Mitte der einzelnen Schienen größer war, als an den Stößen. Da das westlich vom Pressenstoß gelegene Gleisstück durch den darüber fahrenden Schotterwagen und die ihn zurückholende Lokomotive belastet wurde, wurde dort das Gleis stets wieder etwas niedergedrückt.

Eine frühere Auslösung der Knickung wurde durch die Stöße beim Fangen des Wagens mit dem Hemmschuh bei einer Belastung des Gleises bis zu 170 t nicht verursacht. Das Ausknicken erfolgte erst bei einem Pressendruck von 194 t, und zwar im unbefahrenen Teil des Gleises östlich der Pressen.

b) Gekrümmtes Gleis.

Das gekrümmte Gleis, das zum Ausknicken gebracht wurde, lag in einem Bogen von rund 260 m Radius, an den sich nach 96 m (vom Pressenstoß an gerechnet) eine Gerade anschloß (Textabb. 13).

Da anzunehmen war, daß sich die beiden Schienen des Gleises in der Waagerechten parallel verschieben würden,

wurden die zehn vorhandenen Vorrichtungen zur Messung der Längs- und Querverschiebungen an der Innenseite des Bogens angebracht, um bei einem Ausknicken des Gleises nach außen die Instrumente nicht zu gefährden.

Die Anordnung der Meßapparate und Nivellierlatten am Gleis war die gleiche wie bei den früheren Versuchen.

Die Messungen der Höhenveränderungen, Verschiebungen und Spannungen des Gleises wurden ebenso wie bei den vorherigen Versuchen durchgeführt.

Die Hebungen des Gleises wurden mit steigendem Pressendruck immer größer, wobei sich ebenso wie beim geraden Gleis jede Schiene einzeln hochwölbte. Am stärksten waren die Hebungen der Gleisjoche 2 und 3, die bei 160 t Längsdruck im Gleis über 40 mm betragen.

Zu erwähnen ist noch, daß die Hebungen des inneren Schienenstranges die des äußeren während des Versuches übertrafen, was so erklärt werden kann, daß die schwach abwärts geneigten Schwellenenden sich bei seitlicher Bewegung des Gleises

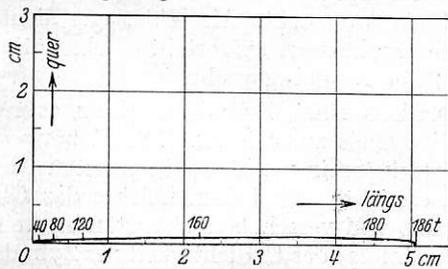


Abb. 14. Bewegung eines Punktes des geraden Gleises beim Drücken.

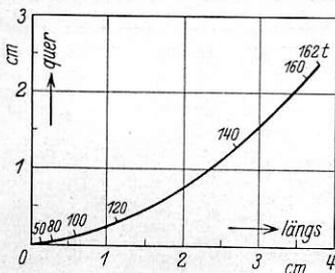


Abb. 15. Bewegung eines Punktes des gekrümmten Gleises beim Drücken.

außen in den Schotter einzudrücken suchten, während sie innen über ihn hochgezogen wurden.

Während bei allen Versuchen an geraden Gleisen vor dem Ausknicken nur ganz unbedeutende Querverschiebungen (unter 1 mm) festzustellen waren, zeigte dieser Versuch an einem gekrümmten Gleis, daß ein solches sich bei Längsbelastung von vornherein vom Krümmungsmittelpunkt fort verschiebt (Textabb. 14 u. 15).

Bei 162 t Pressendruck gab die Bettung unter dem am stärksten gehobenen Gleisjoch 2 nach, so daß es waagrecht nach außen ausknickte (Textabb. 16).

Dieser Druck ist merklich kleiner als der, der zum

Ausknicken des geraden Gleises nach oben erforderlich ist (186 t und 194 t), was bei der scharfen Krümmung des Bogens und der geringen Seitensteifigkeit des badischen Oberbaues zu erwarten war.

2. Reichsoberbau K.

Die Versuche am Reichsoberbau K wurden mit geraden Gleisen auf Holz- und Eisenschwellen durchgeführt und zwar mit Schienen (S 49) von 15 m, 30 m und 60 m Länge. Die Versuchsstrecke war in ein westöstlich verlaufendes Einfahrgleis des Rangierbahnhofs Karlsruhe eingebaut und am 13. Juli 1931 in Betrieb genommen worden; die Versuche fanden im Oktober, November und Dezember 1931 statt.

Bei diesen Versuchen wurden die Messungen der Höhenänderungen und Spannungen des Gleises in der gleichen Weise wie bei den früheren Versuchen durchgeführt, nur waren die Vorrichtungen zum Messen der waagerechten Verschiebungen nicht mehr eingebaut, da diese Verschiebungen beim geraden Gleis, wie die früheren Versuche gezeigt haben, nicht von Bedeutung sind.

Das Gleis mit 15 m langen Schienen auf Holzschwellen hob sich zunächst infolge des Längsdruckes ebenso wie beim badischen Oberbau in der Mitte der Schienen stärker als an

den Stößen, wenn auch in geringerem Maße, von 200 t Druck an aber begann es sich in einzelnen Stößen unter einem Winkel nach oben zu verbiegen (Abb. 17, Taf. 11). Am stärksten waren die Hebungen am Stoß zwischen dem dritten und vierten Gleisjoch von den Pressen. Sie erreichten dort unmittelbar vor dem Hochknicken des Gleises, das später auch an dieser Stelle erfolgte, eine Höhe von 97 mm. Dieses abweichende Verhalten, das sich auch bei dem weiter beschriebenen Versuch mit dem Oberbau K auf Eisenschwellen beobachten ließ, beruht wohl darauf, daß beim Reichsbahnoberbau K das Verhältnis des Trägheitsmomentes des Laschenpaares zum Trägheitsmoment der Schiene nur 0,159, beim badischen Oberbau aber 1,036 beträgt. Zu bemerken ist noch, daß die Hebung in beiden Schienensträngen ungleich war — im südlichen Strang merklich größer als im nördlichen (bei 220 t Druck 63 mm gegen 37 mm).

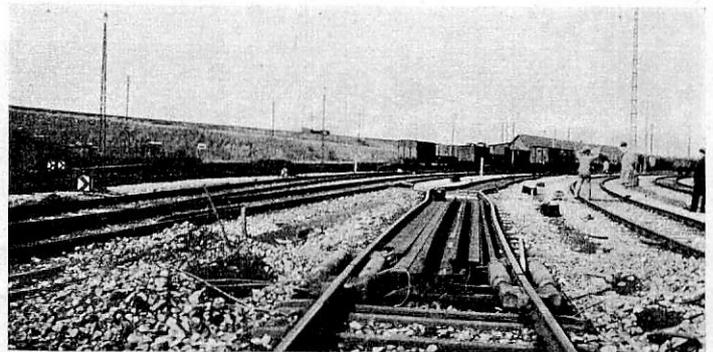


Abb. 16. Ausgelenktes Kurvengleis.

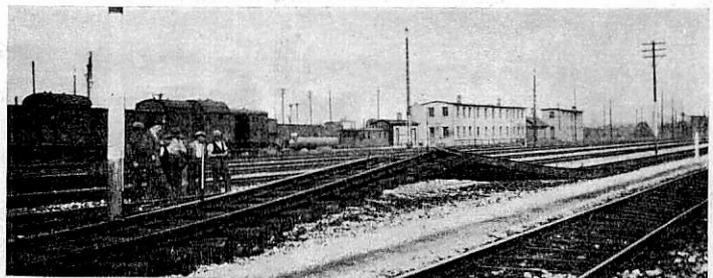


Abb. 18. Ausgelenktes Gleis des Oberbaues K auf Holzschwellen mit 15 m Schienen.

Die Knickung fand bei einem Pressendruck von 226 t im Gleis statt. Auf einer Länge von rund 30 m knickte das Gleis im Stoß zwischen dem dritten und vierten Gleisjoch spitz nach oben aus. Die Höhe der Ausknickung betrug rund 850 mm; die Stoßlasche wurde hierbei stark verbogen und zeigte Risse. Im Gegensatz zum badischen Oberbau fiel das hochgebogene Gleis nicht seitwärts um, sondern verharrte in der hochgehobenen Lage, wobei es sich nur wenig zur Seite neigte (Textabb. 18).

Dieses Verhalten erklärt sich durch die größere Seitensteifigkeit des Oberbaues K gegenüber dem badischen Oberbau; auch waren vor dem Versuch noch alle Schwellenschrauben sorgfältig nachgezogen worden.

Nach dem Ausknicken war noch ein Pressendruck von 60 t vorhanden. Der Auszug der Pressen betrug 85 mm, was etwa der Zusammendrückung der Schienen und der Verkürzung des Gleises infolge des Hochbiegens entspricht (Δl).

Das hochgebogene Gleis konnte nach vollkommenem Ablassen des Druckes und Lockern der Befestigungsschrauben in sein altes Bett zurückgedrückt werden.

Auch beim Oberbau auf Eisenschwellen erfolgte das Ausknicken wieder an einem Stoß und zwar an dem zwischen

dem vierten und fünften Gleisjoch. Auch hier bildete sich nach oben eine Spitze von 1400 mm Höhe; die Länge des ausgeknickten Gleises betrug rund 30 m.

Der Verlauf der Hebungen des Gleises in Abhängigkeit vom Pressendruck ist in Abb. 19, Taf. 11 dargestellt. Diesmal war die Hebung in der Mitte des zweiten Gleisjoches auch recht stark (bei 240 t Druck in der südlichen Schiene 87 mm gegenüber 88 mm im Stoß zwischen dem vierten und fünften Gleisjoch), so daß es bis zum letzten Moment ungewiß erschien, an welcher Stelle das Ausknicken eintreten würde. Der Unterschied in der Hebung des südlichen und nördlichen Schienenstranges war hier sehr viel kleiner als beim Oberbau K auf Holzschwellen — bei 240 t Druck am südlichen Strang im Stoß, wo das Ausknicken erfolgte, 88 mm, im nördlichen 80 mm.

Die Hebungen des Gleises auf Eisenschwellen sind trotz des größeren Widerstandes gegen Längsverschiebung merklich

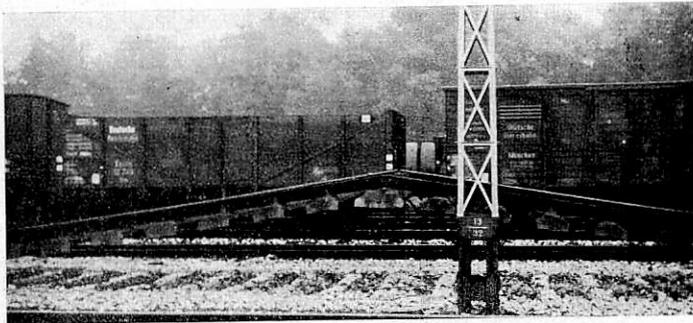


Abb. 20. Ausgeknicktes Gleis des Oberbaues K auf Eisenschwellen mit 15 m Schienen.



Abb. 21. Ausgeknicktes Gleis des Oberbaues K auf Eisenschwellen mit 15 m Schienen.

stärker als beim Gleis auf Holzschwellen, was z. T. wohl durch die schräge Form der Schwellenwände bedingt ist, die sich auf den Schotterbänken hochschieben können, ohne den Schotter vor sich her zu drücken.

Der Pressendruck beim Ausknicken war, wie zu erwarten, größer als beim Gleis auf Holzschwellen und betrug 242 t im Gleis; durch das Knicken des Gleises ging er auf 40 t zurück. Auch bei diesem Versuch wurden die Laschen beim Ausknicken stark verbogen und z. T. vollständig durchgebrochen (Textabb. 20 und 21).

Ein weiterer Doppelversuch sollte die Verhältnisse an dem mit 30 m langen Schienen verlegten Reichsbahnoberbau K auf Eisen- und Holzschwellen klären. Dazu war das Gleis durch Zusammenschweißen von je zwei 15 m-Schienen zu 30 m-Schienen umgebaut worden. Die Schweißungen wurden nach dem Thermit-Schweißverfahren der Elektro-Thermit GmbH. ausgeführt. Die an den zu verschweißenden Stößen vorhandenen Doppelschwellen wurden vor der Schweißung durch zwei Einzelschwellen ersetzt, die nach Verschieben der

Nachbarschwellen auf einen normalen Abstand gebracht wurden.

Die Versuchsanordnung war die gleiche wie beim Versuch mit 15 m langen Schienen.

Für den Fall, daß die zum Ausknicken des Versuchsgleises nötige Kraft von den Pressen nicht erreicht werden würde, wurden in der Mitte des zweiten Gleisjoches, das voraussichtlich am meisten gefährdet war, zwei kleine hydraulische Pressen eingebaut, um im Notfalle das Ausknicken des Gleises durch geringes Anheben einzuleiten. Diese Pressen wurden so weit seitlich aufgestellt, daß eine nennenswerte Schwächung des Unterbaues und Verminderung der Widerstände nicht eintreten konnte. Der Druck der Pressen wurde durch eine quer zum Gleis angeordnete, zwischen den Schwellen unter dem Gleis hindurchgehende 6 m lange Eisenbahnschiene direkt auf die beiden Schienen des zu hebenden Gleisjoches übertragen.

Zunächst wurde das auf Eisenschwellen verlegte, westlich der Pressen gelegene Gleis untersucht. Als Widerlager dienten wie bisher zwei östlich der Pressen aufgestellte Lokomotiven von zusammen rund 260 t Betriebsgewicht.

Wegen Undichtwerdens eines Zylinders gelang es nur, den Druck auf 250 t im Gleis zu steigern. Die Hebung des Gleises war dabei am stärksten in der Mitte des zweiten Gleisjoches, wo sie 69 mm erreichte. Trotzdem knickte das Gleis noch nicht aus, doch hob und verschob es sich ständig weiter bei diesem Druck. Da es infolge der Undichtigkeit des Zylinders nicht möglich war, den Pressendruck über 250 t hinaus zu steigern, wurden nun die kleinen, in der Mitte des zweiten Gleisjoches angebrachten Pressen eingesetzt. Die Druckkraft der beiden kleinen Pressen zusammen betrug im Augenblick des Ausknickens 1,9 t. Der Pressenangriff fand nicht an der

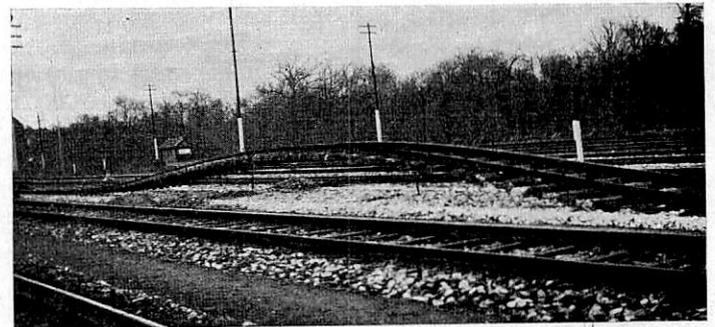


Abb. 22. Ausgeknicktes Gleis des Oberbaues K auf Eisenschwellen mit 30 m Schienen.

Stelle der stärksten Hebung des Gleises statt, sondern 7,5 m von dieser entfernt. Die Stelle der stärksten Hebung lag 18,5 m vor den großen Pressen, der Angriffspunkt der kleinen Pressen 26 m vor ihnen.

Das zweite Gleisjoch knickte nach Hebung durch die kleinen Pressen auf einer Länge von 30 m hoch und bildete einen 1,032 m hohen Bogen (Textabb. 22), der scharfwinklig im Stoß des zweiten zum dritten Gleisjoch endete (Abb. 23, Taf. 11). Die Stoßlaschen in diesem Stoß wurden durch die Beanspruchung verbogen und z. T. angebrochen, eine Hakenschraube, die die nördliche Schiene an der Endschwelle festgehalten hatte, riß durch, so daß die Mutter mit dem abgerissenen Stück des Schraubenbolzens etwa 1 1/2 m weit fortgeschleudert wurde (Textabb. 24).

Im Augenblick des Ausknickens kam der Bogen nicht gleich zur Ruhe, sondern schwankte erst einige Sekunden in der Längsrichtung des Gleises hin und her. Auch bei diesem Versuche fiel das hochgebogene Gleis nicht wie beim badischen Oberbau seitwärts um, sondern behielt seine hochgebogene

Lage. Erwähnt sei dazu, daß vor dem Versuch alle Schwellenschrauben gut nachgezogen worden waren.

Eine Seitwärtsneigung des hochgebogenen Gleises war nicht festzustellen (Textabb. 25).

Durch das Ausknicken ging der Pressendruck von 250 t auf 60 t zurück; der Pressenauszug betrug 166 mm.

Nach Beendigung dieses Versuches wurde das Gleis nach Ablassen des Druckes und Lockern der Schwellenschrauben wieder in sein Bett zurückgedrückt. Dabei senkte sich das Gleis in seine alte Lage, nur in der Längsrichtung des Gleises war eine geringe bleibende Verschiebung zu bemerken.

Das auf Holzschwellen verlegte Gleis mit 30 m-Schienen knickte bei einem Druck von 230 t im Gleis aus, und zwar nicht nach oben, sondern seitlich, indem es eine 38 m lange

Umbau unterzogen. Die Schienen wurden zu 60 m Länge zusammengeschweißt, nachdem zwei bisher geschweißte 30 m-Schienen, die beim letzten Versuch stark verbogen worden waren (Abb. 28, Taf. 14), durch gewalzte 30 m-Schienen ersetzt worden waren. Es entstanden so nach beiden Seiten hin drei 60 m lange Schienen, die je aus vier 15 m langen Schienen zusammengeschweißt waren, mit Ausnahme der beiderseits ersten 60 m-Schienen, die aus je einer 30 m langen gewalzten Schiene und zwei 15 m langen Schienen bestanden. Die Schweißungen wurden wieder nach dem Thermitverfahren ausgeführt. Die unter den Schweißstellen liegenden Doppelschwellen wurden gegen je zwei Einzelschwellen ausgewechselt und alle Schwellen auf den für 60 m-Schienen normalen Abstand gebracht.

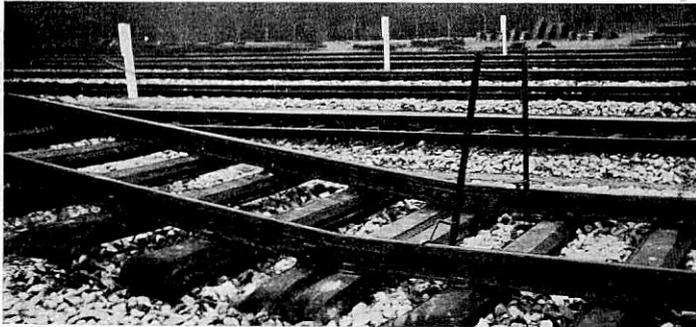


Abb. 24. Ende der Knickwelle im Stoß des Gleises des Oberbaues K auf Eisenschwellen mit 30 m Schienen.

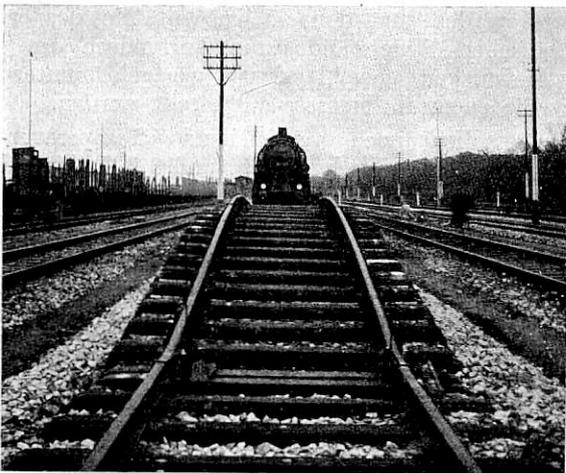


Abb. 25. Ausgknicktes Gleis des Oberbaues K auf Eisenschwellen mit 30 m Schienen.

Wellenlinie bildete (Textabb. 26). Nach dem Versuch betrug der restliche Pressendruck 60 t und der Pressenauszug an der südlichen Schiene 160 mm, an der nördlichen 151 mm.

Die am meisten beanspruchten Holzschwellen spalteten sich dort, wo die Rippenplatten für die Schienen aufgeschraubt waren, der Länge nach (Textabb. 27), so daß sich die Rippenplatten verdrehten und die Schienen gegen Verbiegen keinen Halt mehr fanden.

Sehr interessant war bei beiden Versuchen die Feststellung, daß die Schweißstellen keine Schwächung, sondern eher eine Verstärkung der Schienen zeigten. Irgendwelche Beschädigungen zeigten sich an den Schweißstellen weder beim Hochheben, noch beim waagerechten Verbiegen, obgleich im letzteren Fall die Schienen über die Elastizitätsgrenze hinaus beansprucht waren.

Um den Reichsbahnoberbau K mit 60 m langen Schienen untersuchen zu können, wurde das Gleis noch einmal einem

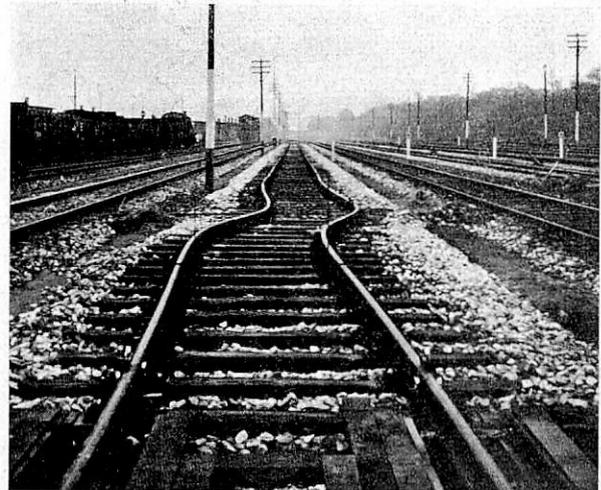


Abb. 26. Ausgknicktes Gleis des Oberbaues K auf Holzschwellen mit 30 m Schienen.



Abb. 27. Beim Ausknicken des Gleises des Oberbaues K auf Holzschwellen mit 30 m Schienen gerissene Schwellen.

Das auf Eisenschwellen verlegte, westlich der Pressen gelegene Gleis wurde wieder zuerst untersucht. Mit steigendem Pressendruck zeigte es sich, daß sich — wohl infolge ungleichen Bettungswiderstandes — die nördliche Schiene des Versuchsgleises stärker hob als die südliche. Die größte Hebung entstand bei dem ersten 60 m-Gleisjoch 7,5 m von seinem Stoß mit dem kurzen mit Schienen belasteten Joch hinter den Pressen entfernt. An dieser Stelle betrug die Hebung der nördlichen Schiene kurz vor dem Knicken 98 mm, die der südlichen 93 mm (Abb. 29, Taf. 11). Bei 220 t Pressendruck knickte das Gleis bogenförmig nach oben aus. Der ausgknickte Gleisbogen hatte seine größte Höhe 15 m vom ersten Stoß entfernt. Dort stand die nördliche Schiene 628, die südliche 460 mm höher, als vor Versuchsbeginn (Textabb. 30). Auch der seitliche Pfeil infolge Schräghängens war am größten

bei 15 m Entfernung vom ersten Stoß und betrug 755 mm. Die Gesamtlänge des hochgeknickten Gleisbogens betrug 36 m (Textabb. 31). Durch das Ausknicken war der Pressendruck auf 70 t zurückgegangen. Der Pressenauszug betrug nach dem Knicken bei der nördlichen Schiene 155, bei der südlichen 125 mm (bei Beginn des Versuchs 6 und 5 mm).

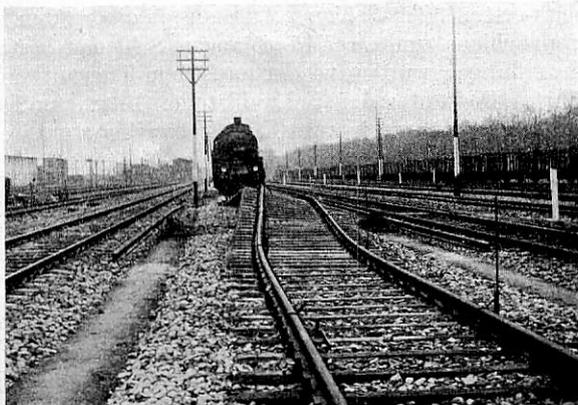


Abb. 30. Ausgeknicktes Gleis des Oberbaues K auf Eisen-
schweller mit 60 m Schienen.

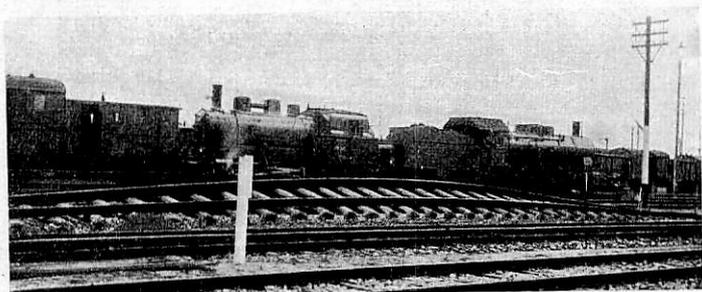


Abb. 31. Ausgeknicktes Gleis des Oberbaues K auf Eisen-
schweller mit 60 m Schienen.

Das auf Holzschwellen verlegte Gleis knickte bei einem Druck von 214 t aus und zwar wieder nicht nach oben, sondern zur Seite, eine 26 m lange Wellenlinie bildend (Abb. 32, Taf. 11). Die größte Hebung vor der Knickung zeigte das Gleis 7,5 m von seinem ersten Stoß entfernt. Die nördliche Schiene hatte sich unmittelbar vor der Knickung um 52, die südliche um 47 mm gehoben. Nach dem Ausknicken betrug der Pressendruck noch 120 t, der Pressenauszug 126 und 123 mm.

Die Form der waagerechten Biegelinie bei diesem Versuch ist eine andere als beim vorhergehenden — sie besteht aus drei Halbwellen und nicht aus zwei, wie beim ersten Male.

Die bei diesen Versuchen zutage getretene größere Seitensteifigkeit des Oberbaues K auf Eisenschwellen beruht einmal darauf, daß wegen der günstigen Krampenwirkung der Eisenschwellen, der Widerstand gegen seitliche Verschiebung beim Hochheben nicht so stark verringert wird wie beim Oberbau auf Holzschwellen, zum anderen darauf, daß die aufgeschweißten Rippenplatten sich auf den Schwellen nicht verschieben können.

Die wichtigsten Ergebnisse der Gleisknickversuche sind in untenstehender Übersicht zusammengefaßt:

Diese Versuche haben über alle wesentlichen, mit der Knicksicherheit der Gleise bei Temperaturspannungen zusammenhängenden Fragen Aufschluß gegeben. Um aber noch über verschiedene Einzelheiten weitere Klarheit zu gewinnen, sind noch einige Versuche geplant, und zwar sollen zunächst Knickversuche an Gleisen des Oberbaues K mit 120 m langen Schienen vorgenommen werden, ferner Versuche an längere Zeit im Betrieb gewesenen Gleisen, bei denen der Widerstand gegen Längs- und Querverschiebung vermutlich größer ist, als bei dem Gleis auf dem Prüfstand und den nur kurze Zeit befahrenen Versuchsgleisen auf dem Rangierbahnhof Karlsruhe.

Ferner soll der Einfluß der Art der Einbettung auf den Widerstand gegen Längs- und Querverschiebung noch weiter untersucht werden, vor allem auch für das Gleis auf Eisenschwellen, sowie mit besonderen Schwellenformen (Holzschwellen mit angeschraubten Winkeln u. a.).

Die Versuche zur Bestimmung des Trägheitsmomentes des Gleises bezogen auf die senkrechte Schwerachse sollen fortgesetzt werden und danach Kurventafeln der erforderlichen seitlichen Widerstände zum Verhindern des waagerechten Ausknickens sowohl gerader wie gekrümmter Gleise von verschiedenem Halbmesser aufgestellt werden.

Weiter sollen noch vergleichende Temperatur- und Dehnungsmessungen durchgeführt und, falls erforderlich, einige weitere Versuche unternommen werden.

C. Auswertung der Gleisknickversuche.

Im Organ 1931, S. 109 ff. ist die Berechnung der Knicksicherheit eines unter Temperaturspannung stehenden lückenlosen Gleises, also unter der Annahme einer gleichmäßigen Spannung im ganzen Gleis, durchgeführt worden.

Bei den Versuchen trifft diese Annahme nicht ganz zu: die Spannung im Gleis nimmt von den Pressen her ab, da die Pressen einen einseitigen Druck auf das Gleis ausüben, so daß an der Knickstelle der Druck geringer ist als an den Pressen. Wie die nachstehenden Ausführungen zeigen, ist dieser Unterschied praktisch nicht von Bedeutung.

Oberbau	Länge der Gleisjoche m	Pressen- druck im Gleis t	Länge der Knickwelle m	Größter Pfeil der Knickwelle m	Form der Knickwelle	Richtung des Ausknickens	Bemerkungen
Badischer Oberbau aus 140 mm hohen Schienen auf Eisen- schweller $g = 2,02 \text{ kg/cm}$	12	186	30	0,70		senkrecht	} das hochgebogene Gleis kippte nach der Seite um Kurve $R = 260 \text{ m}$
	12	194	31	0,785		„	
	12	162	~ 24	~ 0,50		waagrecht	
Reichsoberbau K auf Eisen- schweller $g = 2,42 \text{ kg/cm}$	15	242	~ 30	1,40		senkrecht	} 1,9 t Hub durch kleine Pressen
	30	250	30	1,032		„	
	60	220	36	0,93		„	
Reichsoberbau K auf Holz- schweller $g = 2,55 \text{ kg/cm}$	15	226	30	0,85		senkrecht	
	30	230	38	0,40		waagrecht	
	60	214	26	0,20		„	

1. Ausknicken senkrecht nach oben.

Bei dem Ausknicken senkrecht nach oben ist der Vergleich zwischen den rechnerisch bestimmten und durch die Versuche ermittelten Werten verhältnismäßig einfach. Vor dieser Vergleichsrechnung sollen noch einige Berechnungen durchgeführt werden, die das schon veröffentlichte Verfahren ergänzen.

a) Berechnung des ausgeknickten Gleises als Bogen.

Im Aufsatz über die Knicksicherheit des lückenlosen Gleises ist das zum Verhindern eines Ausknickens nach oben erforderliche Gleisgewicht unter der Voraussetzung bestimmt worden, daß die im ausgebogenen Teil des Gleises herrschende Achsenkraft P_e denjenigen Wert hat, bei dem das Gleisgewicht g ein relatives Maximum wird (Bestimmung von P_e aus $\frac{dg}{dP_e} = 0$).

Statt dessen kann man auch $P_e = H$ setzen, gleich der waagerechten Seitenkraft des hochgebogenen Gleises — der Bogenkraft, da dies die wahrscheinliche Größe dieser Achsenkraft ist. Beim eingespannten Bogen ergibt sich

$$H = \frac{\int_0^l \mathfrak{M} y \, dx}{\int_0^l y^2 \, dx} \dots \dots \dots 1)$$

Wird wie bisher angenommen, daß das Gleisgewicht g sich gleichmäßig auf die Sehnenlänge des Bogens verteilt, was bei einem flachen Bogen zulässig ist, so ist das Moment

$$\mathfrak{M} = \frac{g x}{2} (1 - x).$$

Die Ordinate des Bogens ist

$$y = f \cdot \sin^2 \frac{\pi x}{l}.$$

Durch Einsetzen dieser Werte in die Gleichung 1) und Integration wird die Bogenkraft

$$H = \frac{g l^2}{9 f} \dots \dots \dots 2)$$

gefunden. (Bei einem Parabelbogen ist $H = \frac{g l^2}{8 f}$).

Wird dieser Wert $P_e = H = \frac{g l^2}{9 f}$ in die Gleichungen zur Bestimmung von g eingesetzt [8'] und Gleichung ohne Nummer zwischen 13) und 14) auf Seite 110 f. Organ 1931] und werden unter Berücksichtigung der Beziehung $\Delta l = \frac{\pi^2 f^2}{4 l}$ einige Umformungen vorgenommen, so findet sich

$$f = 0,5 l \sqrt{\frac{n}{E F}} \sqrt{P_t + 1,2 P_k} \dots \dots \dots 3)$$

und es ergibt sich nun entsprechend der Gleichung 16) des erwähnten Aufsatzes das Gleisgewicht

$$g = \frac{1,7}{l} \sqrt{\frac{n}{E F}} \sqrt{P_t + 1,2 P_k} (P_t - 2 P_k) \dots \dots 4)$$

Die Sehnenlänge l wird wie bisher aus der Bedingung $\frac{dg}{dl} = 0$ bestimmt und zu

$$l = 4,6 \pi \sqrt{\frac{E J}{P_t}} \dots \dots \dots 5)$$

gefunden.

Nach Einsetzen dieses Ausdruckes in die Gleichung 4) ergibt sich das Gleisgewicht, das erforderlich ist, damit ein Gleichgewichtszustand des ausgebogenen Gleises möglich ist, zu

$$g = \frac{0,081 \sqrt{n}}{E \sqrt{F} \cdot J} P_t^2 \dots \dots \dots 6)$$

Der Wert n wird ebenso wie auf Seite 111, Organ 1931 gefunden:

$$n = \frac{P_t - P_e}{p l} + 1 = \frac{P_t - \frac{g l^2}{9 f}}{p l} + 1 \dots \dots \dots 7)$$

Durch Einsetzen der Werte für f , l und g aus den Gleichungen 3), 4) und 5) in Gleichung 7) ergibt sich

$$n = \frac{0,766 P_t}{p l} + 1 \dots \dots \dots 8)$$

Wie eine numerische Berechnung, die sowohl für den badischen Oberbau mit 140 mm hohen Schienen, wie für einen Oberbau mit Schienen S 49 durchgeführt wurde, gezeigt hat, stimmen die nach dieser Gleichung 6) gefundenen Schienengewichte g fast genau mit den früher unter der Voraussetzung $\frac{dP_e}{dg} = 0$ ermittelten Werten überein. Die folgenden Berechnungen sind auf Grund dieser neuen Gleichungen durchgeführt worden.

b) Beziehungen zwischen Gleisgewicht, Temperaturspannung und Widerständen.

Um einen Überblick über die Wirkung der beiden für das Ausknicken maßgebenden Faktoren: des Widerstandes der Bettung gegen Längsverschiebung des Gleises und des Temperaturunterschiedes zu gewinnen, ist das Gleisgewicht, das erforderlich ist, um ein Ausknicken nach oben zu verhindern, sowohl für ein Gleis mit 140 mm hohen Schienen (badischer Oberbau), wie für ein Gleis aus Schienen S 49 bei verschiedenen Annahmen des Widerstandes p und des Temperaturunterschiedes Δt berechnet worden; die gefundenen Werte sind in Kurventafeln zusammengestellt.

Die Achsenkraft ist:

$$P_t = \alpha E F \Delta t \dots \dots \dots 9)$$

wo die Dehnungszahl $\alpha = 0,000012$ und Δt der Temperaturunterschied ist.

Hieraus und aus den Gleichungen 6) und 8) ergibt sich das erforderliche Gleisgewicht

$$g = \frac{0,081 \sqrt{\frac{\alpha E F \Delta t \sqrt{\alpha E F \Delta t}}{6 \pi p \sqrt{E J}} + 1}}{E \sqrt{F J}} (\alpha E F \Delta t)^2 \dots \dots 10)$$

Aus dieser Gleichung ist zu ersehen, daß das erforderliche Gleisgewicht g sehr stark vom Temperaturunterschied abhängt, dagegen verhältnismäßig wenig vom Widerstand gegen Längsverschiebung beeinflusst wird.

In Abb. 33 und 34, Taf. 11 sind die Werte für das zur Verhinderung des Ausknickens nach oben erforderliche Gleisgewicht g für Temperaturunterschiede Δt von 25 bis 55°C, und die entsprechenden Achsenkräfte, sowie für Widerstände p von 6 kg/cm bis 20 kg/cm für beide Schienenarten dargestellt.

In Abb. 33 sind die Gleisgewichte für Oberbau K auf Holz- und Eisenschwellen als horizontale Gerade eingetragen. Wie ersichtlich, erfolgt das Ausknicken bei diesen Gleisgewichten und den angenommenen Widerständen gegen Längsverschiebung bei Temperaturen, die um rund 42 bis 51°C über der Verlegungstemperatur liegen.

Wollte man sich — entgegen den sonst gegen Knickung geforderten hohen Sicherheitsgraden — bei Eisenbahngleisen nur mit einer zweifachen Sicherheit begnügen, so müßte das Gewicht eines lückenlos verlegten Oberbaues mit Schienen S 49 bei diesen Temperaturdifferenzen, wie sie in Deutschland wohl vorkommen können, etwa doppelt so groß sein als das des Oberbaues K, oder die Temperaturdifferenzen dürften höchstens 32 bis 39°C betragen, die nach den Tafeln gegen Ausknicken nur die Hälfte des tatsächlichen Gewichts des Oberbaues K erfordern.

In Abb. 34 ist entsprechend das Gleisgewicht des badischen Oberbaues mit 140 mm hohen Schienen auf Eisenschwellen als horizontale Gerade eingetragen. Hier würde das Ausknicken beim vorhandenen Gleisgewicht bei Temperaturerhöhungen von 41 bis 49°C erfolgen, während die Temperaturdifferenzen bei gleichem Sicherheitsgrad wie oben nur 31 bis 36°C betragen dürften. Für beide Oberbauarten gelten diese Zahlen nur für gut verlegte und einwandfrei unterhaltene lückenlose Gleise; für weniger gut unterhaltene Gleise solcher Art wäre die Knickgefahr noch größer.

Es sei hier bemerkt, daß eine Erhöhung des Gewichtes zweckmäßig nicht durch entsprechend schwerere Schienen angestrebt werden sollte, da damit auch wieder die Längskräfte anwachsen würden, sondern vor allem durch Erhöhung des Gewichtes der Schienenunterlagen (schwerere Schwellen, Betonplatten). Eine Verminderung der Temperaturdifferenzen könnte durch entsprechende Wahl der Einbautemperatur und durch Einfüllung der Gleise bis zu den Schienenköpfen angestrebt werden.

Zur Ergänzung sind in den Abb. 35 und 36, Taf. 11 noch für Gleise dieser beiden Schienenarten die Sehnenlänge des ausgebogenen Gleisteils, die größte Ordinate des Bogens und der Unterschied zwischen Bogenlänge und Sehnenlänge des ausgebogenen Gleisteils bei Temperaturänderungen von 25 bis 55° und bei Widerständen gegen Längsverschiebung von p = 6 bis 20 kg/cm aufgetragen.

c) Vergleich der Versuchsergebnisse mit den rechnerisch bestimmten Werten.

Wird für den Vergleich der Versuchsergebnisse mit den rechnerisch bestimmten Werten angenommen, daß die Form der Biegelinie die gleiche ist, wie beim Ausknicken infolge gleichmäßiger Spannung im ganzen Gleis, so ergeben sich für Ausknicken senkrecht nach oben aus Gleichung 13) auf Seite 112, Organ 1931:

$$g = \frac{\pi}{2l} \sqrt{\frac{\Delta l}{l}} (P_t + P_e - 2 P_k)$$

bei $P_e = \frac{g l^2}{9 f}$ und bei $\frac{\Delta l}{l} = \frac{\pi^2 f^2}{4 l^2}$ folgende einfache Gleichungen, die zur Nachprüfung der Versuchswerte dienen können:

$$g = \frac{3,4 f}{l^2} (P_t - 2 P_k) \dots \dots \dots 11)$$

und hieraus

$$P_t = \frac{0,29 g l^2}{f} + 2 P_k \dots \dots \dots 12)$$

Bei dem ersten Versuch mit badischem Oberbau waren die in Betracht kommenden Werte:

- Trägheitsmoment des Gleises. J = 2900 cm⁴
- Gleisgewicht g = 2,02 kg/cm
- Sehnenlänge des ausgeknickten Gleises . . l = 3000 cm
- Bogenhöhe des ausgeknickten Gleises . . f = 70 cm*).

Nach Gleichung 12) ergibt sich die zum Ausknicken erforderliche Achsenkraft zu

$$P_t = 129000 \text{ kg}$$

Dieser Wert entspricht nach Abb. 34 einem Widerstand gegen Längsverschiebung von rund 12 kg/cm, also dem Widerstand, der bei einem Oberbau auf Eisenschwellen zu erwarten ist.

Diese Achsenkraft kann verglichen werden mit der Achsenkraft, die in der Mitte des ausgebogenen Gleises beim Versuch tatsächlich aufgetreten ist. Diese Kraft ist gleich dem Pressendruck abzüglich der bis zur Mitte des ausgebogenen Gleises überwundenen Widerstände. Wird der Reibungsbeiwert

*) Der Pfeil des senkrechten Bogens ist gleich dem Pfeil des waagerechten Bogens des umgekippten Gleises angenommen worden.

zwischen belastetem Gleis und Bettung mit $\mu = 1,1$ angesetzt, wie durch die Versuche auf dem Gleisprüfstand bestimmt, und der Widerstand des Gleises gegen Längsverschiebung mit 6 kg/cm (wegen Hochhebens des Gleises ist nur der halbe Widerstand angenommen), so ergibt sich bei einer Schienenaufkast von P = 10000 kg und einer Entfernung der Bogenmitte von den Pressen $l_1 = 2700$ cm die Achsenkraft $P_t' = 186000 - 10000 \cdot 1,1 - 2700 \cdot 6 = 158800$ kg d. i. um 23 % höher als rechnerisch ermittelt.

Beim Oberbau K mit 15 m langen Schienen läßt sich die Nachprüfung nicht durchführen, da das Ausknicken im Stoß bei Bruch der Laschen erfolgte, also unter ganz anderen Bedingungen, als sie der Rechnung zugrunde gelegt sind, und nach einer ganz anderen Form; immerhin aber entspricht die Größe des Pressendrucks der unter Berücksichtigung der Widerstände zum Ausknicken erforderlichen Längskraft.

Ebenso ist beim Versuch mit den 30 m langen Schienen auf Eisenschwellen die Nachrechnung nicht möglich, da sich hier die Knickwelle nicht zu voller Länge entwickeln konnte, sondern im Stoß brach und eine Form entsprechend Abb. 5a annahm.

Beim Versuch mit 60 m langen Schienen auf Eisenschwellen waren

- J = 3562 cm⁴
- g = 2,42 kg/cm
- l = 3600 cm
- f = 93 cm

Aus Gleichung (12) ergibt sich die erforderliche Knickkraft zu $P_t = 144000$ kg,

was nach Abb. 33 einem Widerstand gegen Längsverschiebung von rund 12 kg/cm entspricht.

Die in der Mitte des ausgebogenen Gleisteils tatsächlich vorhandene Achsenkraft ergibt sich bei P = 14500 kg, $\mu = 1,1$, einem Widerstand gegen Längsverschiebung von 6 kg/cm (unter Berücksichtigung der Verminderung durch Hochheben des Gleises) und bei $l_1 = 2900$ cm zu

$$P_t' = 220000 - 14500 \cdot 1,1 - 2900 \cdot 6 = 186600 \text{ kg,}$$

d. i. 30,5% mehr als rechnerisch ermittelt, also etwas mehr als beim badischen Oberbau, was auf die größere Schienenaufkast und wohl auch auf die ungleichmäßige Hebung des Gleises zurückzuführen ist.

Die gegenüber der rechnerisch ermittelten Knickkraft um 23 bis 30% größere tatsächlich vorhandene Achsenkraft ist darauf zurückzuführen, daß die Knickbiegewelle z. T. unter die Schienenbelastung hineinragt, das beim Knicken zu hebende Gewicht also größer ist als das reine Gleisgewicht, das allein in die Rechnung eingesetzt war. In Anbetracht dieses Umstandes muß, bei der bekannten Schwierigkeit einer exakten Bestimmung der Knickbedingungen, die Übereinstimmung der Versuchswerte mit den rechnerisch abgeleiteten Werten beim Ausknicken nach oben als sehr gut bezeichnet werden.

Die Knicksicherheit eines Gleises beim Ausknicken senkrecht nach oben läßt sich daher mit den sehr einfachen von den Verfassern aufgestellten Formeln oder den danach gezeichneten Kurventafeln bestimmen.

2. Waagerechtes Ausknicken.

Beim waagerechten Ausknicken sind die Verhältnisse verwickelter als beim senkrechten Ausknicken nach oben. Wie die Versuche gezeigt haben, können sich hier verschiedene Formen der Biegelinie ausbilden: außer der einfachen Welle (entsprechend Organ 1931, S. 112, Fall II. 2) wie bei der 30 m-Schiene, noch eine anderthalbfache Welle wie bei der 60 m-Schiene (Abb. 32, Taf. 11).

a) Berechnung des waagerechten Ausknickens in einer 1,5fachen Welle.

Sieht man von den Verzerrungen infolge des einseitigen Drucks ab und nimmt man eine symmetrische Gestaltung an, wie sie bei gleichmäßiger Spannung im Gleis auftreten würde, so läßt sich auch für die letztere Form der Biegelinie eine Gleichung aufstellen: und zwar ist für $x = 0$ bis $x = \frac{1}{4}$

und für $x = \frac{3}{4} l$ bis $x = l$:

$$y_1 = \frac{f}{2} \left(1 - \cos \frac{4\pi x}{l} \right) \dots \dots \dots 13)$$

und für $x = \frac{1}{4} l$ bis $x = \frac{3}{4} l$:

$$y_2 = -f \cdot \cos \frac{4\pi x}{l} \dots \dots \dots 13')$$

Untersucht man diese Biegelinie (Textabb. 37) in der gleichen Weise, wie die Biegelinie nach Abb. 2 auf S. 112 (Organ 1931), so ergeben sich folgende Ausdrücke:

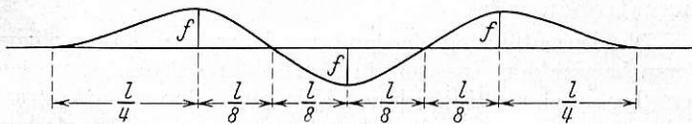


Abb. 37. Kniekbiegelinie nach Gleichung 13).

Der Unterschied zwischen Bogenlänge und Sehnenlänge des ausgebogenen Gleises ist

$$\Delta l = \frac{5 f^2 \pi^2}{2 l} \dots \dots \dots 14)$$

wo f die größte Pfeilhöhe des Bogens und l die Sehnenlänge ist. Hieraus ergibt sich die Pfeilhöhe

$$f = \frac{1}{\pi} \sqrt{\frac{2}{5} l \cdot \Delta l} \dots \dots \dots 14')$$

Die im ausgebogenen Gleis herrschende Achsenkraft, bei der der erforderliche seitliche Widerstand gegen Verschieben p_v ein relatives Maximum wird, ist

$$P_e = \frac{2 P_t}{3} \dots \dots \dots 15)$$

wo P_t die im nicht ausgebogenen Teil des Gleises herrschende, die Ausbiegung bewirkende Achsenkraft ist ($P_t = \alpha E F \Delta t$).

Die Sehnenlänge der Biegelinie ist

$$l = 4 \pi \sqrt{\frac{2 E J_1}{P_t}} \dots \dots \dots 16)$$

wo J_1 das Trägheitsmoment des Gleises bezogen auf die senkrechte Schwerachse ist.

Der zur Ermöglichung eines Gleichgewichtszustandes erforderliche seitliche Widerstand ist

$$p_v = \frac{0,190 \sqrt{n}}{E \sqrt{F \cdot J_1}} P_t^2 \dots \dots \dots 17)$$

c) Beurteilung der Versuchsergebnisse.

Die bisher angegebenen Rechnungsverfahren setzen voraus, daß die beim Knicken in den Schienen auftretenden Spannungen unterhalb der Elastizitätsgrenze bleiben. Nun ergibt aber die Berechnung, daß beim waagerechten Ausknicken bei den angenommenen Kräften und den vorhandenen

*) Zum Vergleich mit den Zahlenwerten auf S. 112, Org. Fortschr. Eisenbahnwes. 1931, sei die Größe dieses Widerstandes für ein Gleis aus Schienen S 49 angegeben, wenn das Trägheitsmoment, bezogen auf die senkrechte Schwerachse, gleichgesetzt wird dem Trägheitsmoment bezogen auf die waagerechte Schwerachse. Bei dieser Annahme ergibt sich $p_v = 439 \text{ kg/m}$.

Trägheitsmomenten, Widerständen und Schienenquerschnitten die Spannungen in der Schiene weit über der Elastizitätsgrenze des Schienenstahls liegen würden. Die Versuche haben auch gezeigt, daß beim waagerechten Ausknicken des Oberbaues K auf Holzschwellen bleibende Formänderungen auftraten — die Elastizitätsgrenze also überschritten war.

Die vorstehend angegebenen Formeln können daher nicht ohne weiteres zur Nachprüfung der beim waagerechten Ausknicken sich ergebenden Kräfte, Widerstände, Wellenlängen und -höhen verwandt werden. In Ergänzung und Erweiterung der Berechnungsweise für das Ausknicken bei Materialbeanspruchung unterhalb der Elastizitätsgrenze ist aus ihr ein Näherungs-Verfahren entwickelt worden, das eine Berechnung der Knickkräfte usw. auch bei Überschreiten der Elastizitätsgrenze ermöglicht. Wegen des beschränkten Raumes kann diese neue Berechnungsweise hier nicht gebracht werden, sondern soll in einer besonderen Abhandlung später veröffentlicht werden.

Das wichtigste Ergebnis der Versuche ist, daß für das Ausknicken in waagerechter Richtung bei gut verlegtem und unterhaltenem Oberbau K auf Holzschwellen, also bei genügendem Widerstand gegen Längs- und Querverschiebung, praktisch etwa dieselbe Knickkraft erforderlich ist, wie für das Ausknicken senkrecht nach oben erforderlich wäre: das Ausknicken des Oberbaues K auf Holzschwellen erfolgte bei 15 m langen Schienen nach oben bei 226 t Pressendruck und 185,5 t Achsenkraft an der Knickstelle
30 m langen Schienen zur Seite bei 230 t Pressendruck und 198,4 t Achsenkraft an der Knickstelle
60 m langen Schienen zur Seite bei 214 t Pressendruck und 185,3 t Achsenkraft an der Knickstelle.

Weiter ist festzustellen, daß zum Verhindern des unelastischen waagerechten Ausknickens ein merklich größerer seitlicher Widerstand bei gleicher Achsenkraft erforderlich ist als unter der Voraussetzung des elastischen Ausknickens errechnet wurde; immerhin liegt dieser Widerstand bei den vorkommenden Temperaturspannungen noch unter dem vorhandenen seitlichen Widerstand eines gut verlegten Gleises, wenn es am Hochheben verhindert ist. Das waagerechte Ausknicken ist bei den Versuchen dadurch hervorgerufen worden, daß der Widerstand infolge des hierbei eingetretenen Hochhebens des Gleises stark vermindert worden war.

Bei den Versuchen bildeten sich die waagerechten Knickwellen unsymmetrisch aus und waren auch kürzer als sich nach der Berechnung erwarten ließ (ganz genaue Nachrechnungen sind nicht möglich, da sich der seitliche Widerstand des hochgehobenen Gleises nur schätzen läßt). Die Erklärung für diese Erscheinungen liegt darin, daß die Knickwelle in den zur Sicherung der Pressen besonders belasteten Teil des Gleises hineinragt, wo der Widerstand gegen seitliche Verschiebung rund 20 kg/cm beträgt gegenüber etwa 4 kg/cm im hochgehobenen Gleisteil.

Bei einer Nachprüfung dieser Ergebnisse mit der noch nicht veröffentlichten Berechnungsmethode unter Berücksichtigung des Überschreitens der Elastizitätsgrenze hat sich eine gute Übereinstimmung der rechnerisch und experimentell gefundenen Werte gezeigt, so daß es auch beim waagerechten Ausknicken möglich sein wird, die Knicksicherheit eines Gleises nach einfachen Formeln oder danach aufgestellten Kurventafeln zu bestimmen.

III. Zusammenfassung und Schlußfolgerungen.

Durch die früheren Versuche waren die Widerstände des Gleises gegen Längs- und Querverschiebung bestimmt

worden. Mit Hilfe dieser Werte konnten die beim Knicken auftretenden Achsenkräfte, Widerstände, Wellenlängen und -höhen berechnet werden. Die Gleisknickversuche haben nun gezeigt, daß die bei diesen Versuchen gefundenen Werte für die Praxis genügend genau mit den Werten übereinstimmen, die sich aus den theoretisch abgeleiteten Formeln ergeben, aus denen das Gleisgewicht und der seitliche Widerstand bestimmt werden, die erforderlich sind, um ein Ausknicken des Gleises nach oben und zur Seite zu verhindern. Die für das Ausknicken nach oben durchgeführten Vergleichsrechnungen ergaben Abweichungen von 23 bis 30%, die durch die Versuchsanordnung ihre Erklärung finden.

Für das waagerechte Ausknicken konnte die Vergleichsrechnung noch nicht vorgeführt werden, da einerseits beim badischen Oberbau das Trägheitsmoment bezogen auf die senkrechte Schwerachse noch nicht ermittelt ist (Kurvengleis), und andererseits die theoretische Berechnung für unelastisches Ausknicken, die die Grundlage für den Vergleich bildet, wegen Raummangels nicht gleichzeitig veröffentlicht werden kann. Die auf dieser Methode durchgeführten Vergleichsrechnungen zeigen aber auch für diesen Fall gute Übereinstimmung der Rechnungs- und Versuchsergebnisse.

In Einzelheiten zeigten die Knickbiegelinien manche Verschiedenheit, die auf besondere Verhältnisse der untersuchten Gleise zurückzuführen sind, diese Verschiedenheiten sind aber ohne Bedeutung für die Bestimmung der Knickkraft oder der das Knicken verhindernden Gleisgewichte und seitlichen Widerstände.

Die Berechnungen und Versuche ergeben, daß bei Temperatursteigerungen, wie sie noch in unserem Klima vorkommen können, insbesondere wenn die Gleise bei einer verhältnismäßig niedrigen Temperatur verlegt sind (unter +20°C), ein Ausknicken sowohl des badischen Oberbaues mit 140 mm

hohen Schienen, wie des Oberbaues K bei lückenloser Verlegung eintreten würde und zwar würde das Ausknicken bei gut verlegten und unterhaltenen geraden Gleisen in der Regel nach oben erfolgen, bei weniger gut unterhaltenen geraden und bei Kurvengleisen von kleinem Halbmesser zur Seite.

Aus vorstehendem folgt, daß ein lückenlos verlegter badischer Oberbau oder Reichsoberbau K nicht genügend knicksicher wäre, doch ließe sich diese Knicksicherheit durch geeignete Maßnahmen erreichen*).

Sowohl das seitliche Knicken wie jenes nach oben kann, soweit nicht die Temperaturdifferenz durch Einfüllen des Gleises genügend herabgesetzt werden kann, mit Sicherheit nur entweder durch starke Vergrößerung des Gleisgewichts oder durch Verankerung des Gleises nach unten verhindert werden, wobei unter Umständen bei hölzernen Schwellen noch durch Anbringung besonderer Winkel an der Unterseite, die ähnlich wie die Endkappen der Eisenschwellen günstig wirken würden, eine Erhöhung des seitlichen Widerstandes anzustreben wäre.

Die Durchführung der umfangreichen und kostspieligen Versuche war dem Institut für Straßen- und Eisenbahnwesen der Technischen Hochschule Karlsruhe durch tatkräftige Unterstützung seitens der Hauptverwaltung der Deutschen Reichsbahn-Gesellschaft, der Reichsbahn-Direktion Karlsruhe, der Notgemeinschaft der Deutschen Wissenschaft und des Stahlwerkverbandes ermöglicht, wofür auch an dieser Stelle der wärmste Dank ausgesprochen sei.

* Voraussetzung ist, daß durch das Zusammenwirken der Temperaturkräfte und der Verkehrslasten keine unzulässigen Spannungen in den Schienen entstehen.

Beiträge zum Nalenz-Höfer-Verfahren.

Von Ing. Ludwig Weiß, Selztal.

Im August 1930 ist in dieser Zeitschrift ein Aufsatz von Dr. Ing. Schramm erschienen, der die Theorie des Nalenz-Höfer-Verfahrens auf eine neue Grundlage stellt. Es ist zu wünschen, daß diese Abhandlung dazu beiträgt, das Verfahren zu verbreiten und die Vorurteile, die dagegen noch immer vorherrschen, abzuschwächen. Die nachfolgenden Zeilen bezwecken, in Ergänzung dieses Aufsatzes einige wesentliche Punkte des Verfahrens zu untersuchen und klarzustellen, sowie eine einfache Ableitung der Methode zu entwickeln.

Es ist heute allgemein üblich, den Bogen in Abschnitte von 5 m Länge einzuteilen und mit 20 m Sehnenlänge die Pfeilhöhen zu messen. Die in Gl. 12) des obengenannten Aufsatzes angeführte Konstante c_4 wird also mit 4 angenommen. Das ist ein praktischer Wert, der aber bisher nirgends theoretisch begründet wurde. Es ist ebenso gut möglich, eine andere Ziffer zu wählen. Es sei also die Frage aufgeworfen, wie sich die Sehnenlängen \bar{s} zur Bogenteilung $\Delta \bar{l}$ verhalten sollen.

Schramm nimmt an, daß der Bogen auf die Länge $\Delta \bar{l}$ einem reinen Kreisbogenstück gleichgesetzt werden kann. In Abb. 1 ist der Fall $c_4 = 2$, d. h. die Sehnenlänge ist doppelt so groß wie die Bogenteilung, in Abb. 2 $c_4 = 4$, d. h. die Sehnenlänge ist viermal so groß wie die Bogenteilung, für den gleichen Bogen und die gleiche Sehnenlänge dargestellt. Im ersten Fall werden nur in den Punkten P_0, P_2, P_4, \dots die Pfeilhöhen gemessen und es wird dabei angenommen, daß diese für die Bogenstücke $P_{-1}-P_1, P_1-P_3, \dots$ gelten, im zweiten Fall werden die Pfeilhöhen für alle Punkte P_0, P_1, P_2, \dots ermittelt und es wird die Annahme getroffen, daß sie für die Bogenstücke $a-b, b-c, c-d, \dots$

gelten. So ist also im Falle 1 die Pfeilhöhe des Punktes 4, die wir h_4 nennen, die Pfeilhöhe des Bogens P_3-P_5 , im zweiten Fall aber gilt sie nur für den Bogen $e-f$, während

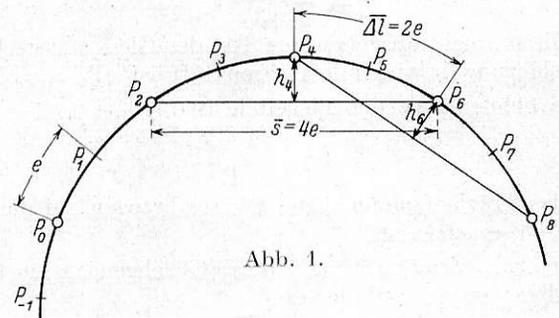


Abb. 1.

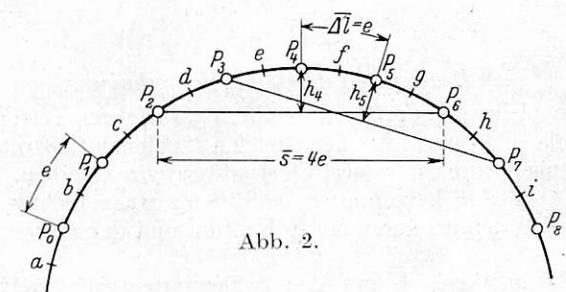


Abb. 2.

in den anschließenden Bogenstücken schon die Pfeilhöhen der Punkte P_3, P_5 maßgebend sind. Daraus ergibt sich klar, daß für beide Fälle auch die Bildlinien und schließlich bei Annahme des gleichen Entwurfes auch die Summenlinien

verschieden ausfallen müssen und daß die Ergebnisse überhaupt für jeden Wert der Konstanten c_4 andere sein müssen. Für welchen Wert c_4 erhalten wir nun das richtige Resultat?

Es könnte scheinen, daß das Ergebnis um so genauer wird, je kleiner $\Delta \bar{l}$ oder je größer c_4 angenommen wird, daß also das genaueste Resultat beim Wert $c_4 = \infty$ erzielt wird. Wenn dem aber so ist, dann könnten wir der Behauptung nicht beistimmen, daß die Methode „eine regelrechte, klare und eindeutige Neuabsteckung“ liefert, sie wäre vielmehr nur ein Näherungsverfahren. Wenn nun auch der Wert $c_4 = \infty$ — d. h. die Pfeilhöhe wird in allen Punkten gemessen, was praktisch nur mit dem Oberbaumeßwagen möglich ist — richtige Werte liefert, so bleibt noch die Frage offen, wie groß die Sehnenlänge \bar{s} für diesen Fall angenommen werden muß. Denn es bedarf keines weiteren Beweises, daß die Bildlinie sich bei Annahme einer kleineren oder größeren Sehne wesentlich ändert.

Alle diese Fragen entspringen aus der im Verfahren getroffenen Annahme, daß die in einem Punkte gemessene Pfeilhöhe ein Maß für den Krümmungsradius in diesem Punkte ist. Dem ist aber nicht so. In Abb. 3 sei ein Stück eines

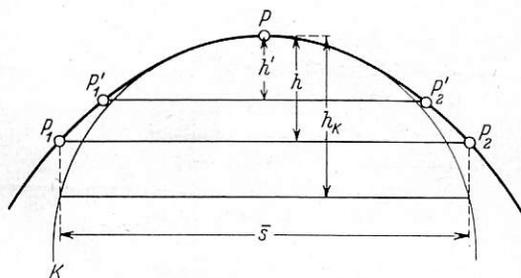


Abb. 3.

sehr unregelmäßigen Bogens betrachtet, in dem zu beiden Seiten eines scharf gekrümmten Kurvenstückes zwei Flachstellen liegen. K ist der Krümmungskreis in Punkte P. Die mit der Sehne \bar{s} gemessene Pfeilhöhe h ist in diesem Falle kleiner als die Pfeilhöhe h_K des Krümmungskreises. h gibt vielmehr nur das Bild der Krümmung eines durch die Punkte P_1, P, P_2 gelegten Kreises. Wird \bar{s} kleiner angenommen, z. B. gleich der Strecke $P_1' - P_2'$, so stellt die gemessene Pfeilhöhe h' die Krümmung eines durch die Punkte P_1', P, P_2' gelegten Kreises dar, der natürlich vom Kreis P_1, P, P_2 und auch vom Krümmungskreis verschieden ist. Welche Sehnenlänge \bar{s} sollen wir also wählen, um praktisch brauchbare und richtige Werte zu erhalten?

Da müssen wir uns zuerst die Frage vorlegen, welche Kontrolle wir überhaupt haben, ob die mit dem Nalenz-Höfer-Verfahren ermittelten Verschiebungswerte richtig sind. Es wäre möglich, den abgesteckten Bogen in der Natur mit dem Instrument zu kontrollieren oder die Pfeilhöhen nochmals zu messen und auf ihre Richtigkeit zu überprüfen. Das ist aber nicht nötig. Denn was wir in der Natur machen, läßt sich auch auf dem Papier durchführen.

In Abb. 4 stellt K den fehlerhaften, K' den richtigen Bogen dar. Die Maße, um welche die Punkte $n-2, n-1, n$ des falschen Bogens verschoben werden müssen, um den richtigen zu erhalten, betragen v_{n-2}, v_{n-1}, v_n , die im Punkt $n-1$ gemessene Pfeilhöhe des ursprünglichen Bogens h_{n-1} , die des richtigen Bogens h_{n-1}' .

Wenn wir nun die Annahme treffen — eine Grundbedingung des Verfahrens —, daß die Verschiebungen sehr klein sind und die Strecke von $n-2$ bis n der Länge $(n-2)'$ bis n' gleichgesetzt werden kann, sowie daß die Verschiebungen nahezu parallel sind, so läßt sich eine einfache Beziehung aufstellen:

$$v_{n-1} + h_{n-1}' = h_{n-1} + \frac{v_{n-2} + v_n}{2} \dots 1)$$

Wenn wir also auf Grund des Nalenz-Höfer-Verfahrens die Verschiebungen bestimmt haben, so müssen die Verschiebungen von je drei um das Maß $\Delta \bar{l}$ entfernten Punkten der Gl. 1) Genüge leisten. Das ist die Kontrolle, die wir vor Absteckung durchzuführen hätten, und die einer neuerlichen Pfeilhöhenmessung am abgesteckten Bogen gleichkommt.

Aus Gl. 1) läßt sich eine einfache Ableitung des Nalenz-Höfer-Verfahrens geben. Wir erhalten:

$$(v_{n-1} - v_{n-2}) + 2 h_{n-1}' = 2 h_{n-1} + (v_n - v_{n-1})$$

Setzen wir für

$$\left. \begin{aligned} v_{n-1} - v_{n-2} &= \Delta v_{n-1} \\ v_n - v_{n-1} &= \Delta v_n \end{aligned} \right\} \dots 2)$$

so ergibt sich

$$\Delta v_n = \Delta v_{n-1} + 2 h_{n-1}' - 2 h_{n-1} \dots 3)$$

Sind nun die Verschiebungen der beiden ersten Punkte $v_0 = 0$ und $v_1 = 0$ und ist somit auch $\Delta v_1 = 0$, so erhalten wir:

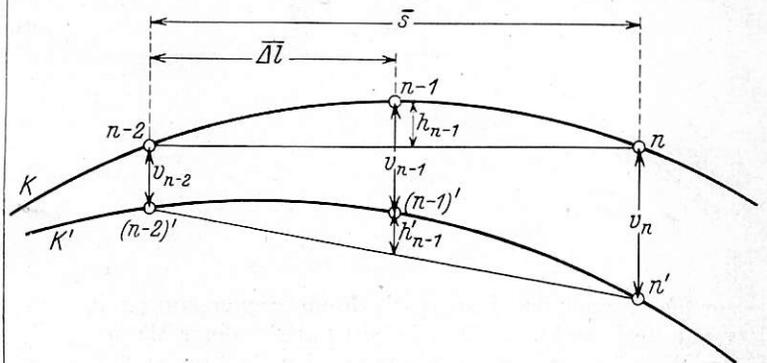


Abb. 4.

$$\begin{aligned} \Delta v_2 &= \frac{2 h_1'}{1} - \frac{2 h_1}{1} \\ \Delta v_3 &= \Delta v_2 + 2 h_2' - 2 h_2 = 2 (h_1' + h_2') - 2 (h_1 + h_2) \\ \Delta v_n &= \frac{2 \sum_1^{n-1} h'}{1} - \frac{2 \sum_1^{n-1} h}{1} \dots 4) \end{aligned}$$

Tragen wir $\sum h$ für jeden Punkt auf, so erhalten wir nichts anderes als die Bildlinie der fehlerhaften Kurve, $\sum h'$ ist die Bildlinie der richtigen Kurve, die „Entwurf“ genannt wird. Die Differenzen

$$d = \sum h' - \sum h \dots 5)$$

sind also gleich

$$d = \frac{\Delta v}{2}$$

Aus den Δv ergeben sich durch einfache Addition auch die Verschiebungen selbst. Aus den Gl. 2) erhalten wir:

$$\begin{aligned} v_2 &= v_1 + \Delta v_2 = \Delta v_2 \\ v_3 &= v_2 + \Delta v_3 = \Delta v_2 + \Delta v_3 \\ v_4 &= v_3 + \Delta v_4 = \Delta v_2 + \Delta v_3 + \Delta v_4 \\ v_n &= \sum_1^n \Delta v \dots 6) \end{aligned}$$

Die Summenlinie ist dargestellt durch die Formel

$$\sum d = \sum \frac{\Delta v}{2} \dots 7)$$

und gibt also die halben Verschiebungswerte $\frac{v}{2}$ an.

Vorstehende Ableitung für das Verfahren dürfte wohl eine der einfachsten sein. Sie verzichtet sowohl auf den Begriff der Evolvente als auch auf die höhere Mathematik.

Aus ihr ergibt sich aber eine wichtige Schlussfolgerung. Gl. 1) gilt nur für je drei Punkte, die um das Maß $\frac{\bar{s}}{2}$ entfernt

sind, d. h. sie gilt für die Annahme $c_4 = 2$. Unter dieser Annahme wurde die Methode in Gl. 4) und 6) abgeleitet. Es muß also das Verfahren für $c_4 = 2$ richtige Werte liefern, da diese der Gl. 1), die wir als Kontrollbedingung aufgestellt haben, genügen müssen. Nach obigem gibt es aber nur einen richtigen Wert für die Konstante c_4 und dieser muß somit

$$c_4 = 2$$

sein.

Jeder andere Wert ergibt nur Näherungen, also auch der heute allgemein übliche Wert $c_4 = 4$.

Dieser Schluß mag im ersten Augenblick überraschen, ist aber bei näherer Überlegung sehr einleuchtend. Die um das Maß $\frac{\bar{s}}{2}$ voneinander entfernten Punkte P_1, P_2, P_3, \dots eines Bogens sind durch die Pfeilhöhen vollkommen eindeutig festgelegt, denn sind die Punkte P_1 und P_2 bekannt, so lassen sich alle übrigen nach Abb. 5 konstruieren. Also genügen

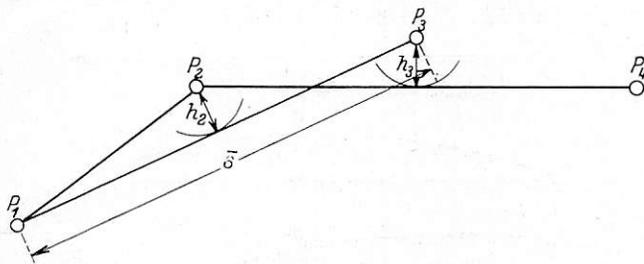


Abb. 5.

zur Festlegung des Bogens die Pfeilhöhenmessungen in vor- genannten Punkten. Die Einbeziehung anderer Werte, z. B. der Pfeilhöhen von dazwischenliegenden Punkten stellt bereits eine Überbestimmung dar.

Die genauen Verschiebungswerte erhalten wir allerdings nur in Punkten, in denen wir die Pfeilhöhen gemessen haben und nicht in den Zwischenpunkten. Für diese müßte entweder bei regelmäßigen Bogen interpoliert werden oder es könnten beliebig viele Punkte von der Sehne aus nach den üblichen Methoden abgesteckt werden. Bei der bisher geübten Methode des Nalenz-Höfer-Verfahrens wird ausschließlich interpoliert. Darum wurde auch von Schramm die Bedingung aufgestellt, daß der Bogen keine scharfen Knicke aufweisen darf, wenn das Verfahren richtig sein soll. Nach obigem ist es aber vollständig gleichgültig, wie der Bogen zwischen den Teilpunkten aussieht, ob er unregelmäßig ist oder nicht. In den Teilpunkten erhalten wir auf jeden Fall den richtigen Verschiebungswert.

Mann kann aber ohne weiteres die Einteilung des Bogens auch in kleineren Abständen als $\frac{\bar{s}}{2}$ durchführen, doch die Summierung darf dann nur für jene Punkte vorgenommen werden, die den Abstand $\frac{\bar{s}}{2}$ voneinander haben. Bei der Annahme $c_4 = 4$ z. B. müssen die Pfeilhöhen für die geraden und ungeraden Punkte getrennt summiert werden. Dementsprechend erhält man auch zwei verschiedene Bildlinien, die man von der gleichen Achse aus auftragen kann. Auch bei der Konstruktion der Summenlinie müssen zuerst die Abstände d der geraden (ungeraden) und dann der ungeraden (geraden) Punkte summiert werden. Das Ergebnis sind nach Gl. 4) bis 7) die halben — nicht die doppelten — Verschiebungen. Bemerkenswert ist, daß die getrennte Summierung für gerade und ungerade Punkte auch bei der heute üblichen Kontrolle der Pfeilhöhenmessung: „Die Summe der geraden muß gleich der Summe der ungeraden Pfeilhöhen sein“ durchgeführt wird; dies in der richtigen Erkenntnis,

daß die Messung der Pfeilhöhen in jedem zweiten Punkte zur Festlegung des Bogens genügt.

Nun sei noch ein Wort zum sogenannten Aufbaufehler gesagt. Die Bildlinie eines Bogens, der keinen Übergangsbogen besitzt, wird heute an den Enden korrigiert. Diese Korrektur ergibt sich eben aus der Annahme, daß die gemessenen Pfeilhöhen ein Bild des Krümmungsradius geben müssen; da dieser bei einem reinen Kreisbogen plötzlich von 0 auf einen endlichen Wert in Bogenanfang und Bogenende übergeht, muß die Bildlinie an diesen Punkten offenbar einen Knick aufweisen. Wenn wir uns aber an obige Darstellung halten und die Pfeilhöhen als Abstand eines Punktes von der Verbindungslinie der beiden Nachbarpunkte auffassen, so ergibt sich durchaus keine Notwendigkeit zur Korrektur der gemessenen Bildlinie. Der sogenannte Aufbaufehler tritt ja auch gar nicht nur beim Übergang von der Geraden zum reinen Kreisbogen auf, sondern in jedem Korbbogen beim Übergang von einem Radius zum anderen und selbstver-

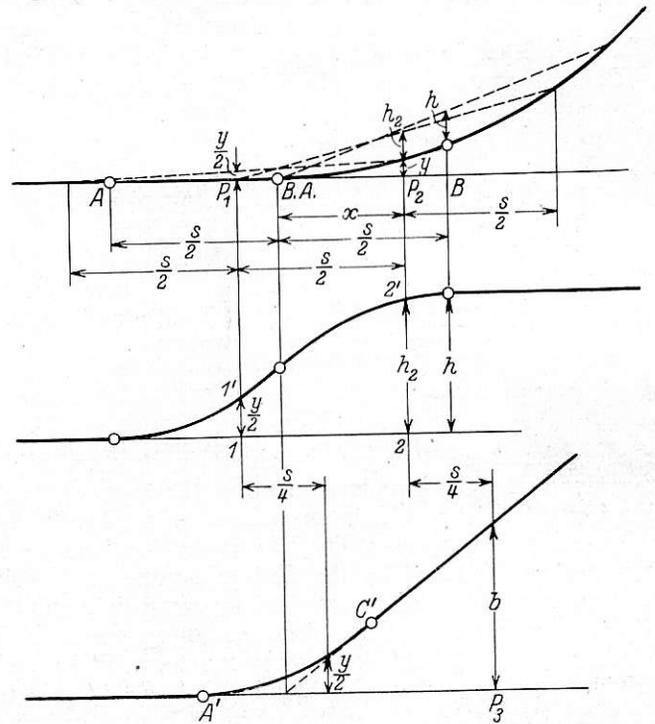


Abb. 6.

ständig auch beim Übergang von der Geraden zum Übergangsbogen und von diesem zum reinen Kreisbogen. Man berücksichtigt diesen Fehler nur deshalb bei der Übergangskurve nicht, weil er so klein ist, daß er praktisch nicht ins Gewicht fällt. Nun ist diese Korrektur, wie sie vorgenommen wird, aber durchaus eine Sache des Gefühls und weist keine besondere Genauigkeit auf. Es ist also besser, wenn wir in unserer einmal gefundenen Bildlinie nichts ändern, dafür aber die Bildlinie des Entwurfes richtig zeichnen. Diese ist angeblich bei einem einfachen reinen Kreisbogen eine Gerade, da ja der Radius im ganzen Bogen der gleiche ist. Denken wir aber daran, daß die Bildlinie nur ein Bild der Pfeilhöhen und nicht der Krümmungen gibt, so sehen wir ein, daß die Bildlinie eines Kreises an den Enden von der Geraden abweicht. Denken wir uns mit der Sehne s in jedem Punkt die Pfeilhöhe gemessen, so haben die Pfeilhöhen bereits vor Bogenanfang einen endlichen Wert. Im Punkt A (Abb. 6) ist er 0. Für den Punkt P_1 erhalten wir unter der gleichen Voraussetzung, die oben für Gl. 4) angenommen wurde,

$$h_1 = \frac{y}{2}$$

Setzen wir den Kreis im ersten Teil der Parabel gleich, so erhalten wir für die Pfeilhöhen von A bis B.A.

$$h_1 = \frac{x^2}{4r}$$

Im Punkt P₂ ergibt sich, wenn wir die Pfeilhöhen in Richtung der Ordinaten messen

$$h_2 = \frac{\left(x + \frac{s}{2}\right)^2}{4r} - \frac{x^2}{2r}$$

also ebenfalls eine Parabel, die schließlich bei $x = \frac{s}{2}$ (Punkt B) in den Wert

$$\frac{s^2}{4r} - \frac{s^2}{8r} = \frac{s^2}{8r}$$

der Formel für die Pfeilhöhe eines Kreises übergeht.

Die Bildlinie stellt die Summenlinie der aufeinanderfolgenden Pfeilhöhen dar, in Abständen $\frac{s}{4}$ von dem vorhergehenden Teilpunkt aufgetragen. Daher ist von Punkt A' bis C' die Bildlinie eine mit der Parabel A—B.A identische

Kurve. Im Punkt P₃ muß die Bildlinie sich aus der Summe der beiden Ordinaten 1—1' und 2—2' ergeben. Daraus ergibt sich

$$b = \frac{y}{2} + h_2, \quad b = \frac{x^2}{4r} + \frac{\left(x + \frac{s}{2}\right)^2}{4r} - \frac{x^2}{2r} \\ = \frac{s}{4r} \left(x + \frac{s}{4}\right)$$

Das ist die Gleichung einer Geraden.

Die Bildlinie eines reinen Kreisbogens ist also eine Gerade, die an den Enden durch eine Parabel von der Länge $\frac{s}{2}$ ausgerundet ist. Diese Konstruktion zur Berücksichtigung des Aufbaufehlers dürfte logischer, vor allem aber genauer sein.

Ähnlich wie hier läßt sich auch der Übergang bei Korbbögen ableiten.

Vorstehende Zeilen sollen nur ein Beitrag sein und wollen nicht als erschöpfende Darstellung des Verfahrens aufgefaßt werden. Hoffentlich haben sie zur Klärung der Theorie und zur praktischen Verwendung beigetragen.

Persönliches.

Ministerialrat Ing. Robert Engels

ist mit Ende 1931 in den dauernden Ruhestand getreten.

Ministerialrat Ing. Robert Engels wurde am 6. August 1880 in Wien als der Sohn eines Offiziers geboren, bezog nach Absolvierung der Realschule die Technische Hochschule (Maschinenbau) in Graz und trat nach Beendigung seiner Studien mit 1. September 1901 in die Lokomotivfabrik Floridsdorf als Konstrukteur ein, wo er bis 31. Juli 1902 blieb. Dann trat er in den Dienst der damaligen k. k. österr. Staatsbahnen, wurde im ausübenden Dienst in der Werkstätte Wien und im Heizhaus Wien II verwendet und im Jahre 1909 in das damalige k. k. Eisenbahnministerium einberufen, wo er dem Konstruktions-Departement zugeteilt wurde. Im Jahre 1921 wurde er zum Stellvertreter des Departement-Vorstandes bestellt. Bei Gründung des Wirtschaftskörpers „Österr. Bundesbahnen“ im Jahre 1923 wurde Engels Vorstand des Büros VIII b der Generaldirektion der Österr. Bundesbahnen und später Vorstand der Abteilung V/2 für den gesamten Konstruktionsdienst. Engels hat die ÖBB viele Jahre im VDEV und im IEV vertreten. Im TA des VDEV war Engels eine markante Persönlich-

keit, hat viele Jahre im Wagenbauausschuß gearbeitet und wiederholt den Vorsitz in Sonderausschüssen geführt, so im Ausschuß für zweiteilige Bremsklötze und im Heizkuppelungsausschuß. Ministerialrat Engels wurde auch vom TA als persönliches Mitglied in den Sonderausschuß für die Neubearbeitung der TV und Grundzüge gewählt. Engels ist noch persönliches Mitglied des Preisausschusses des VDEV. Im IEV hat Engels seit Gründung dieses Verbandes ständig die ÖBB in der fünften Kommission vertreten und hat die Arbeiten in mehreren Unterausschüssen als Vorsitzender geleitet, so im Unterausschuß für zweiteilige Bremsklötze, im Unterausschuß für Heizkupplungen und im Unterausschuß für die Neubearbeitung der TE im Eisenbahnwesen.

Ministerialrat Engels hat sich insbesondere mit der Wagenkonstruktion beschäftigt und mehrere bahnbrechende Erfindungen auf dem Gebiet des Wagenbaues, insbesondere Bremse und Heizung, gemacht. Anlässlich des Übertritts in den Ruhestand wurde Ministerialrat Engels zum Generalsekretär-Stellvertreter des Europäischen Waggonkartells nach Paris berufen.

Rundschau.

Bahnhöfe nebst Ausstattung.

Ein neuer Stückgutbahnhof unter dem höchsten Warenhochhaus Chicagos *).

Im Mai 1931 hat die Chicago- und North Western-Bahn einen neuen Stückgutbahnhof unter dem 18 Stockwerke hohen, etwa 130 m breiten und 200 m langen Großhandelshochhaus zwischen der Franklin-Orleans-Straße und der Wells-Straße am Chicagofluß im Zentrum der Stadt an einer der zahlreichen, Chicago durchquerenden zweigleisigen Industrie-Verbindungsbahnen eröffnet. Die Höhenlage der vorhandenen Bahn und der sie kreuzenden Franklin-Orleans- und Wells-Straße gestattete, den Stückgutbahnhof zum großen Teil unter dem Erdgeschoß des von diesen Straßen zugänglichen Handelshochhauses ohne Höhenveränderung bestehender Verkehrswege auszubilden. Mit Rücksicht auf die Lichthöhen der Chicagoflußbrücken liegen die genannten Straßen schon in einer für Straßenüberführungen ausreichenden Höhe über der am Fluß entlang ziehenden zweigleisigen

Bahn. Rampen führen von allen Hauptzufahrtstraßen zu den tiefliegenden Ladestellen des Güterbahnhofs. Der unter dem Großhandelshaus gelegene Teil enthält eine für den öffentlichen Verkehr bestimmte Versand- und eine Empfangsladebühne mit den zugehörigen teils stumpf teils beiderseits an die durchgehenden Hauptgleise angeschlossenen Ladegleisen, und eine besondere ausschließlich für den Stückgutverkehr der Firma Marshall Field & Co. bestimmte Ladebühne. Die Versandbühne, an der täglich bis 1000 t verarbeitet werden müssen, hat entsprechend diesem stärkeren Verkehr bequemere Straßenzufahrten als die nur für 600 t täglich bestimmte Empfangsbühne. Die vorhandenen Ladegleise (1, 2, 3) gestatten die gleichzeitige Aufstellung von 93 Wagen im Versand und die Ladegleise 4 und 5 50 Wagen im Empfang. Versand- und Empfangsbühne mit Bodenbelag aus Holzpflaster auf Beton sind beide unterkellert und die so entstehenden z. T. als Lagerräume benutzten Untergeschosse sind durch einen 60 m langen, etwa 2,50 m breiten und ebenso hohen Stückguttunnel verbunden, der den Austausch von Gütern

*) Vergl. Railway Age Nr. 26 vom September 1931, S. 471 ff.

zwischen beiden Seiten des Güterbahnhofes gestattet. Auch die schmalspurige Güteruntergrundbahn*) Chicagos, deren ausgedehntes Netz sich in rund 10 m Tiefe unter den Straßen über das gesamte Geschäftsviertel verzweigt und alle Güter- und Personenbahnhöfe untereinander und auch mit den unterirdischen Ladestellen der Industrie verbindet, ist in jedes dieser Kellergeschosse

Besonders erwähnt sei noch der auf der Empfangsbühne befindliche bis in deren Untergeschoß reichende Kühlraum für leicht verderbliche Güter.

Der beschriebene Bahnhof — eine Vereinigung einer öffentlichen Stückgutverkehrsanlage mit einem Privatgleisanschluß — ist in seiner Gesamtanordnung für die beengten Platzverhältnisse

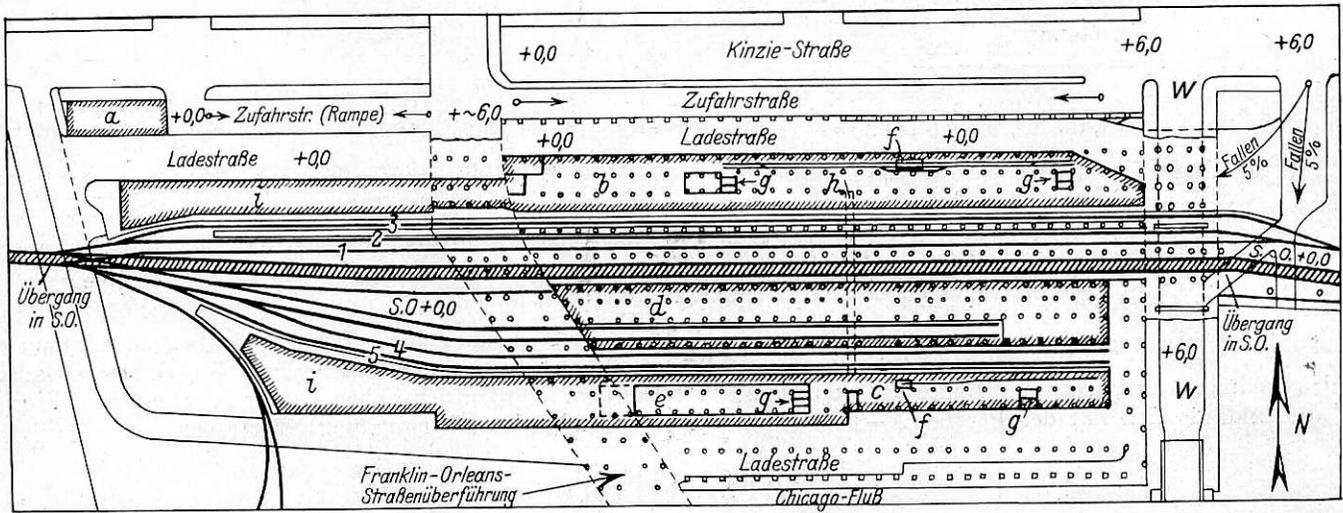


Abb. 1. Grundriß des Stückgutbahnhofes in Chicago.

W = Wells-Straße.

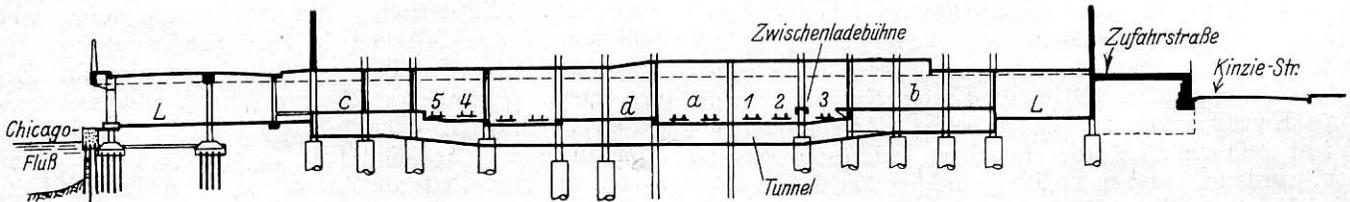


Abb. 2. Querschnitt durch den Stückgutbahnhof in Chicago.

unter den Ladebühnen geführt. Die Schmalspurwagen werden dort durch je einen Aufzug von 500 kg Tragfähigkeit zwischen Tunnelgleisen und Bühnenflächen, auf denen jeweils das für 60 Untergrundbahnwagen nötige Schmalspurgleis liegt, befördert. Es ist somit eine bequeme unmittelbare Umladung zwischen Voll- und Schmalspur über die Bühnen weg möglich gemacht.

Die Ladebühne der Firma Marshall Field ist nur kopfseitig von Straßenfahrzeugen erreichbar, sonst allseitig von Wänden mit Ladetoren nach den Gleisen umschlossen. Es besteht keinerlei Verbindung zwischen den Ladeanlagen dieser Firma und den Anlagen für den öffentlichen Verkehr; nur zwischen den Obergeschossen des Handelshochhauses und den Ladeanlagen der genannten Firma besteht Verbindung durch verschiedene Aufzüge. Die im Sockelgeschoß des Hochhauses gelegenen Ladebühnen für Versand und Empfang für den öffentlichen Verkehr sind östlich ins Freie verlängert, dort nach der Straße durch Tore abgeschlossen, nach den Ladegleisen jedoch ganz offen, aber in ganzer Breite überdacht.

Die Kellergeschosse der Ladebühnen haben u. a. die wichtige Aufgabe, die Be- und Entlüftungskanäle für die durch das Hochhaus überbauten Verkehrsanlagen, deren Luft durch die Straßenfahrzeuge verschlechtert wird, aufzunehmen. Durch Roste in der Fahrbahn der Bühnen hindurch wird vermittelt elektrisch angetriebener Lüfter schlechte Luft abgesaugt, während durch andere Lüfter aus den Tunneln der Güteruntergrundbahn, die, wie früher schon gesagt, in die Kellergeschoßräume mündet, frische Luft zugeführt wird. Nach Reinigung und Heizung wird die Frischluft auf die unterirdischen Verkehrsanlagen durch Roste in den die Decke der Belüftungsräume bildenden Fußböden verteilt.

amerikanischer Großstädte kennzeichnend. Da es die unterirdische Anlage erlaubte, den Bahnhof im Zentrum der Stadt anzulegen, wickelt sich der Güterumschlag zwischen den Kunden und der Bahn ohne weite Straßentransporte ab. Beachtenswert ist auch die Heranführung der Güteruntergrundbahn an die Hauptbahn, wodurch eine weitere Beschleunigung des Stückgutverkehrs nach und von entfernten Stadtteilen und anderen Bahnhöfen ermöglicht wird.

Spamer.

Geschweißte Stellerei auf Hauptbahnhof Dresden.

Auf Hauptbahnhof Dresden wurde die neue Stellerei 6/7 als Stahlskelettbau unter teilweiser Anwendung des Schweißverfahrens ausgeführt. Bei diesem Bau sind die in der Fachpresse bekannt gegebenen und im eigenen Direktionsbezirk bestätigten Erfahrungen an geschweißten Hochbauten nutzbringend verwendet worden. Diese Erfahrungen haben gezeigt, daß es zuweilen viel vorteilhafter sein kann, gewisse Verbindungen nicht zu schweißen, sondern zu schrauben. Das gilt besonders für die auf der Baustelle herzustellenden Anschlüsse.

Bei vollständig geschweißten Hochbauten bieten die Arbeiten auf der Baustelle heute noch manche Erschwernisse. Abgesehen von den an sich umständlichen Baustellenschweißungen, vor allem Überkopfschweißungen, wird auch die Aufstellung des Bauwerkes gegenüber genieteten oder geschraubten Konstruktionen verzögert.

Man kann beim Zusammenbau verschieden vorgehen. Wird, wie das noch häufig geschieht, mit Heftscheidungen gearbeitet, so entspricht das bei genieteten Konstruktionen einer Montage mit Heftnietung. Daraus ersieht man am besten das Unzweckmäßige dieser Ausführung. Der Zusammenbau wird verzögert, denn die starre Heftung erschwert das Ausrichten des Baues. Auf die Montage folgt dann noch die endgültige Schweißung der Verbindungen.

Beim Zusammenbau mit Heftschrauben hat man zwar ein

*) Vergl. Röll, Enzyklopädie des Eisenbahnwesens, Bd. 3, 1912.

flottes Arbeiten bei der Montage, aber auf diese folgt dann wieder die zeitraubende Schweißung der Verbindungen.

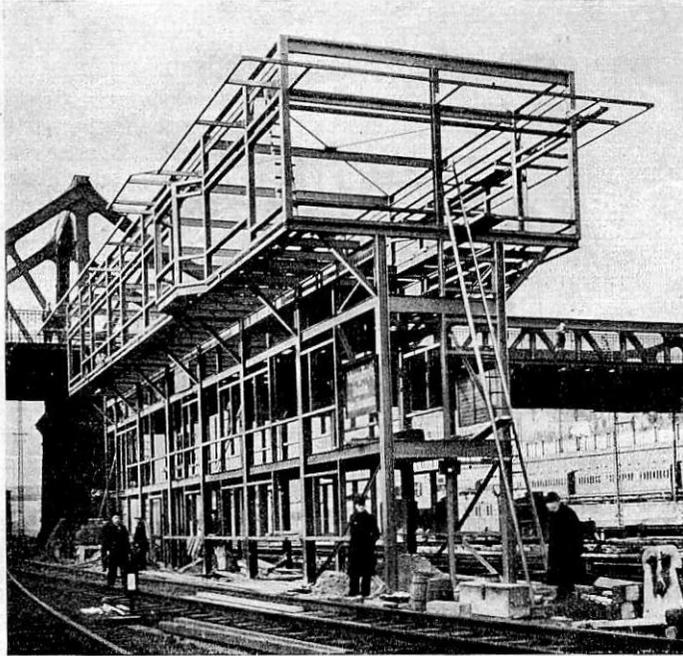


Abb. 1. Der fertige Stahlskelettbau.

Werden dagegen die Baustellenverbindungen von vornherein als Schraubenverbindungen vorgesehen, so kann das Bauwerk in

einem Zuge fertiggestellt werden. Ob die Verbindungen durch Schrauben gehäftet oder gleich als vollwertige Schraubenanschlüsse ausgebildet werden, bildet in der Arbeitsleistung kaum einen Unterschied.

Beim vorliegenden Stellereigebäude wurde dieses Verfahren angewandt. Was sich in der Werkstatt schweißen ließ, wurde dort geschweißt. Auf der Baustelle wurden diese Teile dann durch Schraubenverbindungen zusammengefügt.

Geschweißt wurden die Rahmen, geschraubt wurden die Verbindungsteile zwischen den Rahmen.

Abb. 1 zeigt den fertigen Stahlskelettbau. In der Werkstatt wurden die Rahmen in zwei Teilen geschweißt. Beim unteren Teil, der die beiden Untergeschosse und das niedrige Zwischengeschoß umfaßt, wurden der Kopf und der Fußträger, in Abb. 2 gestrichelt gezeichnet, wegen der Transportverhältnisse zunächst weggelassen. Sie wurden später auf einem der Baustelle benachbarten Bahnsteigende an den fertigen Teil angeschweißt, also nicht als eigentliche Baustellenarbeit.

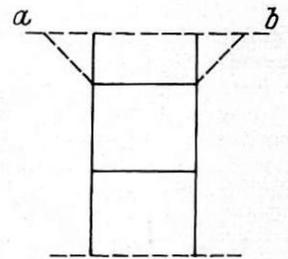


Abb. 2.

Der obere Rahmen wurde in der Werkstatt zusammenschweißt. Auf der Baustelle wurde er mit dem unteren Rahmen an den Punkten a und b der Abb. 2 verschraubt.

Durch diese Art der Ausführung ist die wirtschaftlich günstigste Lösung erzielt worden. Es wurde nur dort geschweißt, wo die Vorteile des Schweißverfahrens, Materialersparnis, voll ausgenutzt werden konnten; und es wurde dort nicht geschweißt, wo sich dieses Verfahren nachteilig ausgewirkt hätte.

Die Arbeiten wurden von der Firma Kelle & Hildebrandt in Niedersiedlitz ausgeführt. Reichsbahnrat Weiß, Dresden.

Lokomotiven und Wagen.

Leichtmetall-Schienenautobus mit Dieselantrieb.

Auf der französischen Südbahn wird gegenwärtig ein Schienen-Autoomnibus erprobt, der sowohl in technischer Hinsicht wie auch als Beispiel deutsch-französischer Zusammenarbeit Aufmerksamkeit verdient. In technischer Beziehung ist zunächst der Charakter des Fahrzeugs von Interesse: es handelt

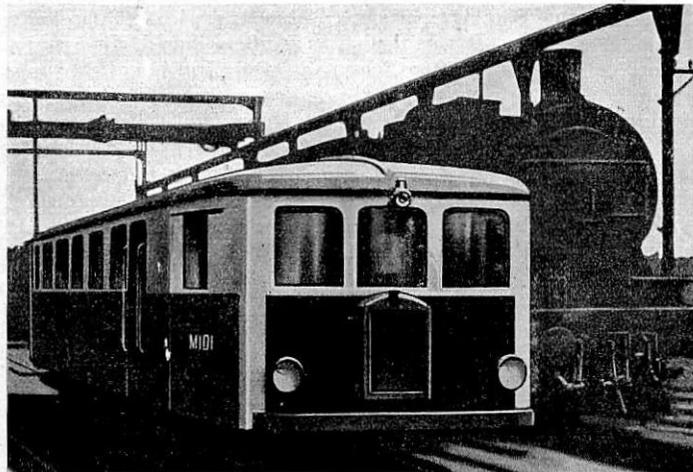


Abb. 1. Französischer Schienenautobus mit Junkers-Peugeot-Dieselmotor.

sich um einen auf Schienen laufenden und weitgehend dem Betrieb auf der Schiene angepaßten Personenomnibus, der mit einem Motor von verhältnismäßig geringer Leistung und sehr niedrigem Brennstoffverbrauch verhältnismäßig große mittlere Geschwindigkeiten erzielen kann. Derartige Fahrzeuge, die der Schiene eine Reihe von Vorteilen des motorisierten Straßenfahrzeugs nutzbar machen, eignen sich besonders für die häufige Verkehrsbedienung von Eisenbahnlinien in dünnbesiedelten Gebieten, z. B. für Nebenbahnstrecken und dergleichen.

Der in Abb. 1 und 2 dargestellte Schienenautobus enthält 61 Sitzplätze und gegebenenfalls 10 bis 20 weitere Sitzplätze oder 1000 kg Gepäck. Er faßt eine Nutzlast von rund $5\frac{1}{2}$ t und hat

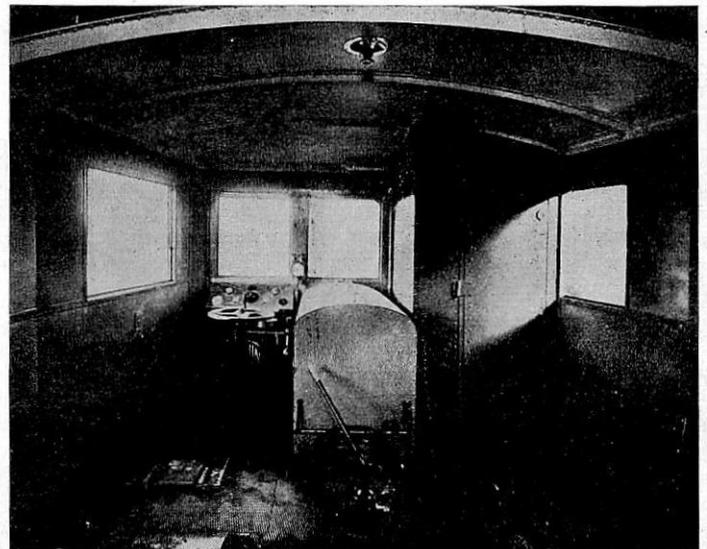


Abb. 2. Blick in den Führerraum des Schienenautobus.

ein Leergewicht von nur $6\frac{1}{2}$ t, vermag also 85% seines Leergewichts an Nutzlast zu befördern.

Dieses überaus günstige Verhältnis von Nutz- zu Totlast, das bisher noch niemals bei Fahrzeugen dieser Art verwirklicht werden konnte, wurde durch zwei konstruktive Maßnahmen erzielt: einmal durch die Ausführung des Fahrgestells und des gesamten Aufbaus in Leichtmetall und zweitens durch die Anwendung eines leichten, schnelllaufenden Dieselmotors. Gestell und Aufbau bestehen ganz aus Duralumin, das die Festigkeitseigenschaften eines Stahles mittlerer Güte aufweist, obwohl

es $2\frac{1}{2}$ mal weniger wiegt. Der Aufbau ist als blockförmiger Kastenwagen ausgeführt und so durchgebildet, daß alle Aufbauelemente zur Erzielung einer möglichst großen Steifigkeit in der Längs- und Querrichtung beitragen. Man erhält hierdurch die gleiche Sicherheit wie bei der normalen Wagenkonstruktion, jedoch mit einem stark verringerten Gesamtgewicht. Bei einer Länge des Fahrzeugs von 12 m und einer Breite von 2,8 m wiegen Gestell und Aufbau zusammen weniger als 3 t.

Als Antrieb findet ein in Junkers-Lizenz gebauter schnelllaufender Dieselmotor von 75 PS Verwendung, dessen Nettogewicht einschließlich Schwungrad nur 480 kg beträgt. Dieses günstigste Leistungsgewicht des Dreizylinder-Motors mit 80 mm Bohrung ist auf das Konstruktionsprinzip des mit direkter Einspritzung arbeitenden Junkersschen Doppelkolben-Dieselmotors zurückzuführen, bei dem jeder Zylinder zwei gegenläufig bewegte, auf eine gemeinsame Welle arbeitende Kolben besitzt. Bei dieser Konstruktion werden die nach oben und unten wirkenden Explosionsdrucke auf der gemeinsamen Welle ausgeglichen, so daß keine einseitigen Druckbeanspruchungen von den Grundlagern, Zylinderdeckeln und dem Motorgehäuse aufgenommen zu werden brauchen. Dadurch ist man in der Lage, diese Teile entsprechend leichter auszuführen. Der Motor arbeitet über ein Getriebe auf die Treibachse, das im ersten Gang 24 km/h, im zweiten 54,2 km/h und im direkten 100 km/h Geschwindigkeit zu erreichen gestattet. Die mittlere Geschwindigkeit des Fahrzeugs beträgt auf Strecken mit bis zu $17\frac{0}{100}$ Steigung 60 km/h und auf solchen mit bis zu $33\frac{0}{100}$ Steigung 40 km/h.

Bemerkenswert sind die Ergebnisse der ersten Versuchsfahrten, die mit dem vollbelasteten Fahrzeug über mehrere hundert Kilometer ausgeführt wurden. Auf der Strecke Bordeaux bis Tarbes (278 km), betrug bei einer mittleren Geschwindigkeit von 60 km/h der Verbrauch an Gasöl 47 l und an Schmieröl 1 l, das heißt, es wurden nur 17 l Gasöl für 100 km verbraucht, obwohl unterwegs zahlreiche Anfahrversuche vorgenommen wurden. Auf der Rückfahrt wurden auf einer Gesamtstrecke von 292 km bei dreimaligem Halt nur 15,5 l Gasöl für 100 km verbraucht. Das entspricht einem Brennstoffverbrauch von weniger als einem viertel Liter je Fahrgast und 100 km Strecke. Ein mittlerer Gebrauchswagen, mit vier Personen (= 300 kg Belastung) besetzt,

hat auf der Landstraße bei gleicher mittlerer Geschwindigkeit einen mindestens ebenso hohen Verbrauch an hochwertigem niedrigsiedendem Motortreibstoff, wie das mit Gasöl betriebene, 5,5 t Nutzlast befördernde Schienenauto.

Italienische Turbolokomotiven.

Die Lokomotivfabrik von Breda hat eine neuartige Turbolokomotive nach den Entwürfen von Ing. Belluzzo fertiggestellt. Sie ist von der Kupplung 1 D 1. Turbine, Getriebe, Kondensator und Rückkühler sind sämtlich auf der Lokomotive untergebracht, der Tender ist somit von gewöhnlicher Bauart. Dadurch weicht diese Lokomotive von allen bisherigen ab.

Die Turbine ist vierfach unterteilt, in eine Hochdruck-, eine Mitteldruck- und zwei Niederdruckturbinen, die zu beiden Seiten des Kessels zwischen der zweiten und der dritten Kuppelachse außen an den Rahmenwangen sitzen und mittels eines zwischen dem Rahmen angeordneten doppelten Zahnradübersetzungsgetriebes eine Blindwelle antreiben. Unter der Rauchkammer liegt ein Oberflächen-Abdampfvorwärmer für das Speisewasser und unter diesem, gerade über der ersten gekuppelten Achse, der wassergekühlte Röhrenkondensator für den Turbinenabdampf. Die Rückkühlanlage für das Kondensator Kühlwasser ist an der Stirnseite der Lokomotive untergebracht. Eine einzige Hilfsturbine treibt mittels mechanischer Kupplungen die Lüfter des Rückkühlers, die Kühlwasserumwälzpumpe und den Saugzylinder an. Das Blasrohr ist in mehrere Düsen aufgeteilt. Die verbrauchte Kühlluft verläßt die Lokomotive in einem zweiten Kamin, der vor jenem für die Verbrennungsabgabe liegt. Der Kessel ist im wesentlichen jener der Lokomotiven Gruppe 685, während die Lokomotive sonst der Gruppe 746 entspricht. Die Lokomotive macht seit Sommer 1931 Versuchsfahrten.

Eine Lokomotive Gruppe 685 wird für die Italienischen Staatsbahnen in eine Turbolokomotive umgebaut, ebenfalls nach Angaben von Ingenieur Belluzzo. Die Änderung beschränkt sich auf den Vorderteil, wo an Stelle der Zylinder die Turbine, das doppelte Übersetzungsgetriebe und die Blindwelle angeordnet werden. Die Turbine ist in der Rauchkammer untergebracht, aus der nur die Lager mit den Getriebekästen hervorragen. Schn.

(Riv. tecn. Ferrovie Ital. Juli-Augustheft 1931.)

Bücherschau.

Vorschriften für geschweißte Stahlbauten, Ausgabe 1931, Berlin 1931, Verlag von Wilhelm Ernst & Sohn. Einzelpreis 0.80 *R.M.*

Die Vorschriften gelten für das gesamte Deutsche Reichsgebiet; sie wurden in gemeinsamer Arbeit durch Vertreter von Behörden und Verbänden sowie der erzeugenden und verarbeitenden Industrie unter Führung des Fachausschusses für Schweißtechnik beim Verein Deutscher Ingenieure, des Ausschusses für einheitliche technische Baupolizeibestimmungen (ETB) und der Deutschen Reichsbahn-Gesellschaft geschaffen.

Der I. Teil behandelt die Hochbauten. Er gilt auch für die Brückenbauten, da für beide Bauweisen gemeinsam zutreffende Bestimmungen mit eingearbeitet sind. Im Teil II: „Brückenbauten“ sind daher lediglich Ergänzungsbestimmungen für Brücken aufgenommen. Als Anlage sind Sinnbilder für Schweißnähte in mustergültiger Zusammenstellung veröffentlicht.

Dr. Ing. Kommerell, Direktor bei der Reichsbahn, hat für diese Vorschriften

Erläuterungen mit Beispielen für die Berechnung und bauliche Durchbildung ausgearbeitet. Davon ist die dritte neu bearbeitete und erweiterte Auflage mit 82 Textabbildungen ebenfalls im Verlage von Ernst & Sohn, Berlin 1931 erschienen. Preis geheftet 3.20 *R.M.*

Belastungsglieder. Von Prof. Dr.-Ing. A. Kleinlogel. Vierte, vollständig neubearbeitete Auflage. Berlin 1931. Verlag von Wilhelm Ernst & Sohn. Preis geh. 7.80 *R.M.*, geb. 9.— *R.M.*

Mit den in den Gleichungen der statischen Größen vorkommenden für die verschiedensten Belastungsfälle, d. h. allgemein, gültigen Belastungsgliedern, die identisch mit den Kreuzlinienabschnitten der graphischen Statik sind, erreicht der Ver-

fasser eine wesentliche Erweiterung des Anwendungsgebiets seiner für die Berechnung von Rahmen und durchlaufenden Balken bewährten Formelbücher. Außer diesen Belastungsgliedern enthält die Veröffentlichung die Querkräfte und Biegemomente für 104 Belastungszustände des einfachen Balkens. Für veränderliche Lasten werden als neues Hilfsmittel die sogenannten ω — Steigungszahlen eingeführt, mit denen sich das Auftragen von Einflußlinien erheblich einfacher gestaltet als mit den bisher gebräuchlichen Müller-Breslauschen ω -Werten. Außerordentlich genaue Zahlentabellen erhöhen den praktischen Wert des mustergültig ausgestatteten Buches. Schbg.

Die Echelsbacher Brücke, der weitest gespannte Melanbogen. Von Dr.-Ing. Ferdinand Düll, Regierungsbaurat, und Dipl.-Ing. Rudolf Gerhart. Mit 88 Textabb. Berlin 1931. Verlag von Wilhelm Ernst & Sohn. Preis geh. 8.40 *R.M.*

Von den Erfahrungen bei der Konstruktion und Ausführung großer Bauwerke gehen oft für die Entwicklung des Herstellungsverfahrens bedeutungsvolle Anregungen aus. Aus diesem Grunde ist es zu begrüßen, daß der Fachwelt im vorliegenden Buch eine eingehende, lückenlose Darstellung von dem Werdegang der 130 m weitgespannten, steif bewehrten und ohne Lehrgerüst ausgeführten Zweigelenkbogenbrücke bei Echelsbach geboten wird. Es wird der Beweis erbracht, daß die Herstellung großer Wölbbrücken auch ohne Pressenausrüstung sich in wirtschaftlichen Grenzen halten kann und daß der Melanbogen in Verbindung mit der Spangenbergischen Kiesvorbelastung erfolgreich mit Eisen in Wettbewerb treten kann, wenn statt des freien Vorbaues Hilfsgerüste für die Aufstellung des Eisengerippes verwendet werden und eine den wirklichen statischen Verhältnissen entsprechende Ausnutzung der Baustoffe ermöglicht wird. Schbg.