

### Schlingerbewegungen von Drehgestellwagen.

Von Caesar, Vizepräsident der Reichsbahndirektion Essen.

Hierzu Tafel 37.

Für die wissenschaftliche Erkenntnis der Wechselwirkungen zwischen Rad und Schiene sind in den letzten Jahrzehnten bemerkenswerte Beiträge von Helmholtz, Jahn, Boedecker, Uebelacker und Heumann geliefert worden.

Helmholtz sagt in der Zeitschrift des V. D. I. von 1880, Seite 336: „Jeder Radsatz hat das Bestreben geradeaus zu laufen, d. h. sich in jedem einzelnen Augenblick rechtwinklig zu seiner Achse einzustellen;“ das bedeutet, er verzichtet von vornherein auf Untersuchungen, die auf die kegeligen Radreifen Rücksicht nehmen wollen. Uebelacker geht in der Beilage zum Organ 1903 bei seinen Betrachtungen von der Annahme aus, daß die Räder keine kegelige, sondern zylindrische Gestalt haben. Jahn und Heumann legen ähnliche Annahmen zugrunde. Boedecker entwickelt im Organ 1915, Heft 1, seine Gleichungen zwar unter Berücksichtigung der verschiedenen großen Rollkreise der Räder, schaltet dann aber diese Annahme wieder aus, indem er einen Gleichgewichtszustand der Lage des Wagens annimmt, der allmählich nach Einlaufen des Wagens in Krümmungen eintreten soll, was indessen nicht zutrifft und nur richtig wäre für vollständig steifachsige Fahrzeuge.

Da Lokomotiven zu den steifachsigen Fahrzeugen gehören, scheiden sie für die nachfolgenden Betrachtungen über Wellenbewegungen aus, während zweiachsige Wagen und Drehgestellwagen den Gesetzen der Bewegung kegeliger Räder mit den aus der Rechnung sich ergebenden Einschränkungen unterworfen sind. Wie die Bilder der Schlingerbewegungen zeigen werden, pendeln die Drehgestellwagen in bestimmten Wellenlängen auch in Krümmungen bis zu gewissen Grenzen je nach dem vorhandenen meßbaren Spiel der Achsbüchsen zwischen den Führungen nebst dem durch elastische Veränderungen der Drehgestelle hervorgerufenen Spiel dauernd um die Mittellinie des Gleises hin und her.

Meine Untersuchungen über den Lauf „frei rollender Achsen“ im Organ 1920, Heft 1, haben im letzten Jahre durch Aufzeichnungen von Schlingerbewegungen an Drehgestellwagen eine derartige Übereinstimmung mit der Wirklichkeit ergeben, daß scheinbare Abweichungen der unter den Wagen rollenden Achsen bei höheren Geschwindigkeiten mich zu ergänzenden Untersuchungen veranlaßt haben, deren Ergebnis für die Beurteilung der Wechselwirkungen zwischen Rad und Schiene neu ist und durch Abweichung von den Folgerungen der genannten Verfasser, soweit Wagen in Frage kommen, für die Weiterentwicklung des Baues von Wagen und insbesondere Drehgestellwagen nicht übergangen werden darf.

#### Abschnitt I.

##### Vorbemerkungen über die Versuche.

Vor der Durchführung der neuen Rheingoldzüge zwischen Holland und der Schweiz sind durch Versuchsfahrten die senkrechten und wagrechten Schlingerbewegungen an einem Schlußwagen über den neuen Drehgestellen aufgezeichnet worden. Nur die wagrechten Bewegungen sind Gegenstand der folgenden Betrachtungen, da die senkrechten Stöße eine Folge der Unebenheiten von Schienen, ihrer Auflager und Verbindungen sind.

Das Hauptergebnis meiner Untersuchungen vom Jahre 1920 läßt sich in den Satz zusammenfassen: „Der Schwerpunkt einer Achse mit gleichmäßig kegeligen Reifen beschreibt eine Wellenlinie unveränderlicher Wellenlänge und zwar unabhängig von dem Maße der Ablenkung der Achse aus ihrer Mittellage.“ Die Wellenlänge wurde im erwähnten Aufsatz durch Näherungsverfahren zu  $4 \times 4,21 = 16,84$  m ermittelt, wenn der Laufkreis-halbmesser der Räder = 500 mm, die Kegelneigung der Radkränze 1:20 im Laufkreis und das übrige Profil den deutschen Vorschriften für Radreifen entspricht. An Stelle des Näherungsverfahrens ist es gelungen eine mathematische Lösung zu finden, die im Abschnitt A näher behandelt ist. Danach ist die Wellenlänge 16,92 m.

Da die rechnerische Auswertung der Gleichungen wegen der sehr kleinen Winkel der Krümmungshalbmesser der Schwerpunktsbahn unter Benutzung von siebenstelligen Logarithmentafeln ungenau wird, außerdem die Behandlung der ebenfalls vorkommenden natürlichen Logarithmen gewisse Schwierigkeiten bietet, habe ich die Rechnungsergebnisse zeichnerisch in Abb. 3 aufgetragen, wodurch auch ein besserer Überblick über die Einzelwerte ermöglicht wird.

##### Die im fahrenden Zuge aufgenommenen Bewegungen der Schwingungsvorrichtung.

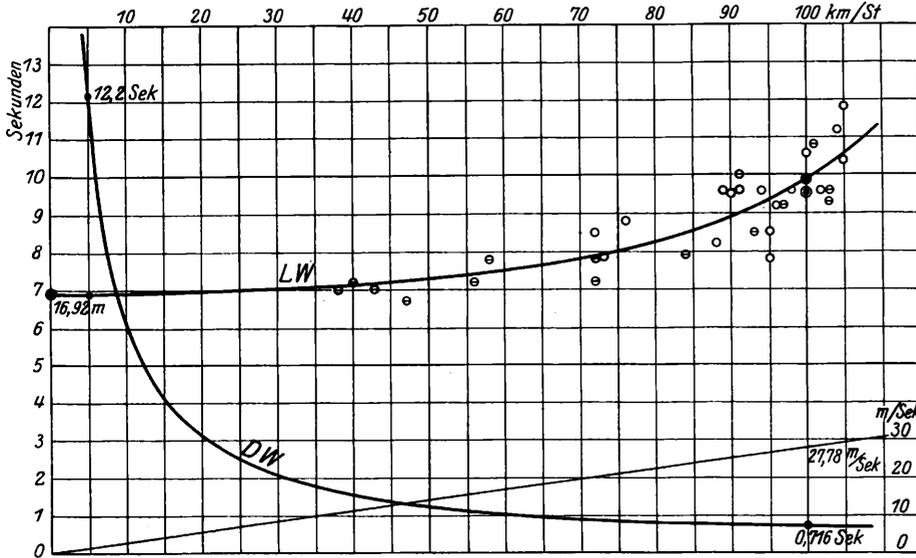
Die Tafel zeigt die Aufzeichnungen einer nachfolgend beschriebenen Vorrichtung. Ein an einer Feder aufgehängtes Gewicht schwingt in wagrechter Richtung senkrecht zur Wagenlängsachse und überträgt durch schreibende Zeiger seine Bewegungen auf ein Papierband. Dieses Band wird durch eine Welle von einer ungebremsten Wagenachse aus mit einem Vorschub von 36 mm je Kilometer weiter bewegt, zeigt also nicht zeitlich, sondern im Längenmaß zur Strecke die wagerechten Ausschläge. Zählt man die Ausschläge nach einer Seite über 36 mm Papierbandlänge, so hat man die Zahl der Schlingerwellen auf 1 km Streckenlänge, oder 1000 m durch die so gefundene Zahl der Ausschläge geteilt, gibt die Länge der Welle, in der das Wagenende im Gleis hin und her pendelt.

Aus den Diagrammen der Zugfahrt Elten—Düsseldorf und zurück sind für die verschiedensten Geschwindigkeiten die Wellenlängen ermittelt, in die Zusammenstellung eingetragen und durch Abb. 1 ergänzt. Darin ist von einer Wellenlänge = 16,92 m zu Beginn der Bewegung ausgehend eine mittlere Linie LW für die sämtlichen gefundenen Punkte eingezeichnet. Diese Linie zeigt 19,9 m Wellenlänge bei einer Geschwindigkeit von 100 km/Std. Für die Abweichung der Wellenlänge von dem Anfangswert von 16,92 m bei hohen Geschwindigkeiten ist damals von mir Seite 6 die Erklärung gegeben worden, daß bei sehr hohen Geschwindigkeiten der Einfluß der Fliehkraft der Achsen auf Beibehaltung ihrer Drehungsebenen merkbar sein dürfte, mit andern Worten: die umlaufenden Radmassen in der jeweiligen augenblicklichen Drehungsebene müssen auf den Schienen einen Schlupf der Räder herbeiführen, der die Wellenlinie weitet und die Länge derselben dadurch vergrößert. Der rechnerische Nachweis ist nunmehr in Abschnitt B geführt.

Zu Abb. 1 der Wellenlängen sind einige allgemeine Bemerkungen von Wichtigkeit. Von den 32 Punkten des Bildes

für die Wellenlängen sind 14 — mit wagrechtem Querstrich im Kreis gekennzeichnet — in Krümmungen ermittelt, deren Halbmesser zwischen 500 und 1500 m schwanken. Die Wellenlängen bei 11 dieser Punkte liegen etwas unter den Mittelwerten, was darin seinen Grund hat, daß die Räder mit ihren

stimmten Geschwindigkeiten bestimmte Größe haben, beweist unwiderleglich, daß entgegen der allgemeinen Annahme das Drehgestell oder der Wagen sich in Krümmungen nicht nach einem festen Krümmungsmittelpunkt einstellt, sondern genau wie in der Geraden pendelt. Während in der Geraden die



Mittellinie dieser Wellenbewegungen mit der Gleismitte zusammenfällt, ist es in den Krümmungen ein aus der Gleismitte nach außen verschobener Kreisbogen mit dem gleichen Mittelpunkt für den Halbmesser der Gleiskrümmung. Außer den Wellenlängen — Linie LW — ist die Dauer einer Welle bei Geschwindigkeiten bis zu 100 km/Std. berechnet und eingetragen. Während die Linie DW z. B. bei 5 km/Std. zeigt, sinkt bei 100 km/Std. die Dauer einer Welle auf 0,716 Sek. Diese kleinen Zeiten beeinflussen ganz wesentlich die Größe des Schlupfes der Räder auf den Schienen, wie im Abschnitt C gezeigt wird.

Abb. 1. Wellenlänge und Wellendauer der Schlingerbewegungen aus den Versuchen und aus der Rechnung.

**Abschnitt II.**

**Unterlagen und Berechnungen.**

Um einerseits die Gleichungen und die Beweise meines früheren Aufsatzes nicht wiederholen zu müssen, andererseits aber zu ermöglichen, ohne jene Vorgänge die neuen

Ergebnisse zu verfolgen, habe ich die sowohl früher wie jetzt verwendeten Zeichen und, soweit sie als nicht veränderlich angenommen werden, ihre Werte nachfolgend zusammengestellt.

Abb. 2 enthält die hauptsächlichsten Zeichen:

- r Halbmesser des Laufkreises der Räder = 500 mm.
- s Spurweite der Laufkreise einer Achse = 1500 mm.
- 1:n Kegelneigung der Spurkränze im Laufkreis = 1:20,
- $\varphi$  Neigungswinkel der im Schwerpunkt der Achse senkrecht zur Achsmittellinie errichteten Ebene zu der in der Gleisachse senkrecht zur Schienenoberkante stehenden Ebene,
- l Halbmesser des Kreises, in dem sich die Kegelflächen der Spurkränze von der Neigung 1 : n in der Achsmittelle schneiden  
 $= r + \frac{s}{2n} = 537,5$  mm. (Vermerk: In der Zusammenstellung II, Seite 4, Nr. 1 des Organ 1920 fehlt die Angabe, daß l=537,5 mm ist!)
- R Halbmesser eines Kreises, der die Schienenoberkanten berührt und durch die Spitze des Winkels  $\varphi$  geht,
- v Verschiebung der Räder auf den Schienen in wagrechter Richtung im Berührungspunkt, dem Laufkreis,
- y Verschiebung des Achsschwerpunktes in wagrechter Richtung  
 $= \frac{2(2R - l)}{s\sqrt{1-n^2}} \cdot v = 0,96546 v$ ,  
 (Vermerk: der Seite 3 im Organ 1920 angegebene Wert  $v=1,031 y$  bezieht sich auf  $r=450$  mm),
- $\rho$  Krümmungshalbmesser der Bahn des Achsschwerpunktes,
- $\alpha$  Winkel, den der Krümmungshalbmesser  $\rho$  mit einer auf der Gleismittellinie senkrecht stehenden Ebene bildet, oder anders ausgedrückt der Neigungswinkel, den die Achswellenmittellinie während ihrer Bewegung von 0 bis  $\alpha_{max}$  durchläuft. (Vermerk: Dieser jetzt  $\alpha_{max}$  allgemein bezeichnete Winkel wurde früher mit  $\alpha_0$  bezeichnet, um seine Zugehörigkeit zu  $\rho_0$  zu kennzeichnen),
- P Druck des Rades auf die Schienen in kg.
- Q Größe der Kraft im Laufkreis des Rades, die den Schlupf erzeugt, in kg.
- E Elastizitätsmaß = 2200000 kg/cm<sup>2</sup>.
- G Gleitmaß = 850000 kg/cm<sup>2</sup>.

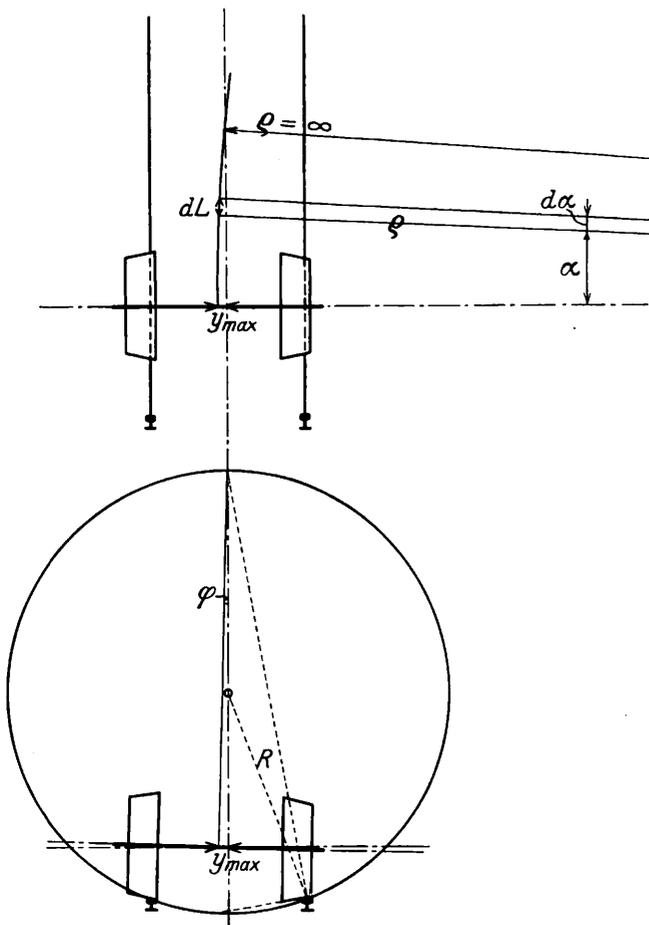


Abb. 2. Schema für die wichtigsten Werte.

Hohlkehlen schärfer anlaufen und die Wellenlänge verkürzen. worüber besondere Untersuchungen von mir angestellt worden sind, deren Umfang indessen über den verfügbaren Raum und Zweck dieses Aufsatzes hinausgeht. Das Ergebnis der Untersuchungen dieses Aufsatzes, daß die Wellenlängen bei be-

S Schlupf des Rades auf den Schienen in der Längsrichtung im Verhältnis zum durchlaufenen Weg.  
 Ⓢ und Ⓢ' der Schlupf auf eine bestimmte durchlaufene Wegstrecke.

Wo in der Rechnung nichts anderes angegeben sind die Werte in m, die Winkel in Bogenlängen des Halbmessers eingesetzt.

Gleichung 11) zur Ermittlung des Winkels  $\alpha$  lautet:

$$-\ln \cos \alpha - 2 \cos \varphi - \frac{1}{4R} \ln (\sin \varphi + 2l \cos \varphi - 4R \cos^2 \varphi) + \left( \sin \varphi - \frac{l^2}{4R} \right) \frac{1}{\sqrt{l^2 + 4 \sin R}} \cdot \ln \frac{\sqrt{l^2 + 4 \sin R} - l + 4R \cos \varphi}{\sqrt{l^2 + 4 \sin R} + l - 4R \cos \varphi} + C = 0.$$

**A. Wellenlänge.**

Die Auswertung der Gl. 11) meines früheren Aufsatzes im Bild führte nicht nur zur einfachen Darstellung der Werte  $y, v, \rho, -\ln \cos \alpha$  und des Winkels  $\alpha_{\max}$ , sondern ergab auch einfache Beziehungen zwischen dem Krümmungshalbmesser der Bahn  $\rho$  und dem Ausschlagwinkel  $\varphi$ .

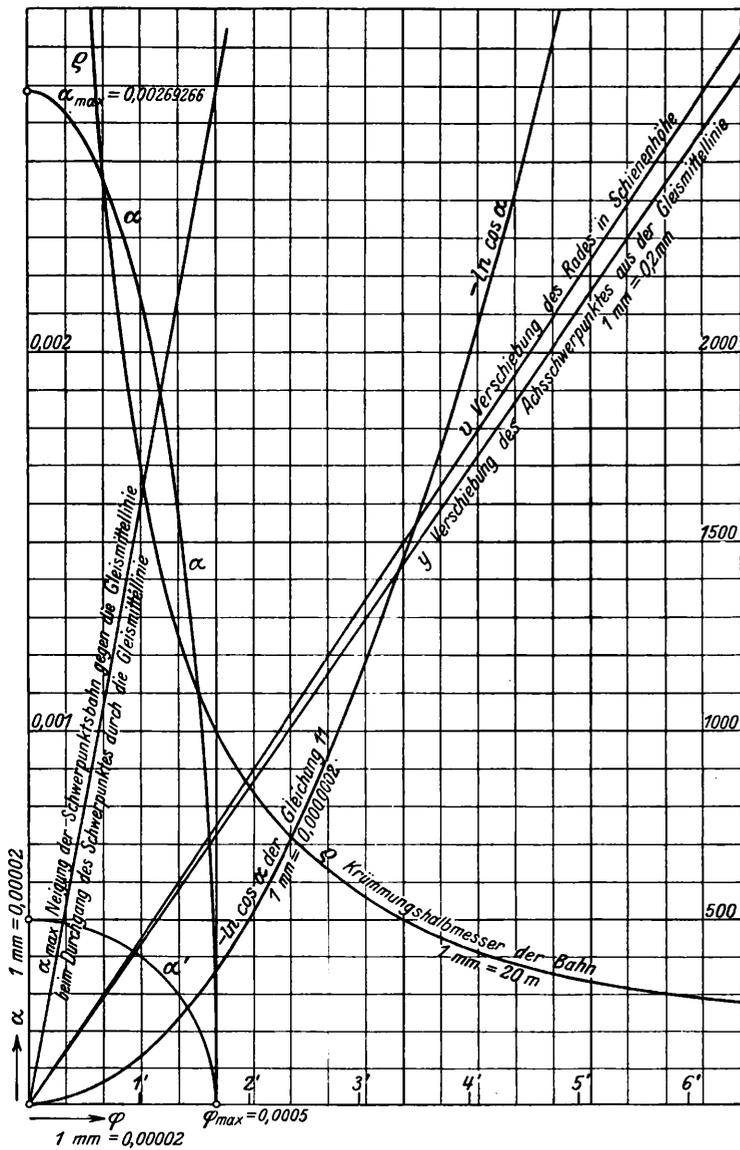


Abb. 3. Auswertung der Gleichung 11) im Bilde.

Abb. 3 stellt die Ergebnisse meiner früheren Untersuchungen zusammen. Als Abszissen sind die Kreisbogen der Winkel  $\varphi$  für den Halbmesser 1 im Maßstab 1 mm = 0,000 02 gewählt. Aus Gl. 11) ist als Ordinate die Linie  $-\ln \cos \alpha$

dargestellt. Die Neigung der Schwerpunktsbahn gegen die Gleismittellinie beim Durchgang durch letztere ist in der Linie  $\alpha_{\max}$  gegeben. Die Verschiebung der Achse in der Ebene der Schienenoberkante ist mit  $v$ , die für die Rechnungen maßgebende Verschiebung des Achsschwerpunktes mit  $y$  eingetragen.

Trägt man zu allen Werten von  $\varphi$  vom größten Ausschlag der Achse aus der Mittellage ( $\varphi_{\max}$ ) bis 0 die zugehörigen Werte  $\alpha$  des Ausschlages der Achsmittellinie von 0 bis  $\alpha_{\max}$  beim Durchgang der Wellenlinie durch die Gleismittellinie auf, so ergibt sich die einfache

$$\text{Gl. 17) } \dots \dots \frac{\varphi^2}{\varphi_{\max}^2} + \frac{\alpha^2}{\alpha_{\max}^2} = 1,$$

also eine Ellipse. Eine solche Ellipse ist für einen Ausschlag  $\varphi = 25 \text{ mm} = 0,0005$  Kreisbogenlänge (entsprechend einem Winkel von  $1'45''$ , 19) eingetragen. Für die späteren Betrachtungen empfiehlt es sich die Ordinaten der Winkel  $\alpha$  nicht in dem gleichen Maßstab wie  $\varphi$ , sondern in einem Maßstab aufzutragen, der die Gleichung der Ellipse 17) zu einem Kreis werden läßt. Dies tritt ein, wenn für  $\alpha$  der Maßstab 1:5,3852 gewählt wird. Die Ellipse — Linie  $\alpha$  — wird zum Kreis  $\alpha'$ . Schließlich ist der Krümmungshalbmesser der Schwerpunktsbahn  $\rho$  über den Abszissen  $\varphi$  in Maßstab 1 mm = 20 m aufgetragen, womit alle Größen für die Rechnungen dieses Abschnittes bildlich dargestellt sind.

Die Gleichung für  $\rho$  ist aus der Beziehung [Gl. 8)

$$\text{Organ 1920, Seite 2]} \rho = \frac{1. n + 2l \cos \varphi - 4R \cos^2 \varphi}{2 \sin \varphi} \text{ so ab-}$$

zuleiten, daß bei der geringen Größe des Winkels  $\varphi$  dessen  $\cos = 1$  gesetzt wird und  $\sin \varphi = \text{dem Bogen } \varphi$ . Der Fehler beträgt bei einem Ausschlag von  $\varphi = 6'$  nur 3 Millionstel, ist für den vorliegenden Zweck ohne Bedenken zulässig. Man erhält  $\rho = \frac{\sin \varphi + 2l - 4R}{2 \varphi}$ . Der Wert im Zähler  $\sin \varphi + 2l - 4R$

beträgt für  $\varphi = 6'$  in m gemessen 1,000 08 und nähert sich mit kleiner werdendem  $\varphi$  immer mehr der 1. Deshalb wird  $\rho \cdot 2 \varphi = 1$ . Die obige Gleichung für  $\rho$  lautet deshalb

$$\text{Gl. 18) } \dots \dots \dots 2 \rho \cdot \varphi = 1.$$

Das ist die Gleichung einer gleichseitigen Hyperbel. Sie ist in dieser Form dadurch so wertvoll geworden, weil sich mit ihrer Hülfe die Längen der Einzelabschnitte der Wellenlinie rechnerisch ermitteln lassen. Die Länge eines Teiles der Wellenlinie ist nach Abb. 2 d  $L = \int \rho d\alpha$ .

Aus Gl. 17)  $\frac{\varphi^2}{\varphi_{\max}^2} + \frac{\alpha^2}{\alpha_{\max}^2} = 1$  erhält man durch Differenzieren  $2\varphi d\varphi = -2\alpha d\alpha \frac{\varphi_{\max}^2}{\alpha_{\max}^2}$ . Mithin  $d\alpha = -\frac{2\varphi d\varphi \alpha_{\max}^2}{2\alpha \cdot \varphi_{\max}^2}$

da  $\alpha = -\frac{\alpha_{\max}}{\varphi_{\max}} \sqrt{\varphi_{\max}^2 - \varphi^2}$  und  $2\rho\varphi = 1$  ist, wird

$$\int \rho d\alpha = \int -\frac{\alpha_{\max}}{2\varphi_{\max}} \cdot \frac{d\varphi}{\sqrt{\varphi_{\max}^2 - \varphi^2}}. \text{ Dies integriert liefert}$$

$$\int \rho d\alpha = \int \frac{\alpha_{\max}}{2\varphi_{\max}} \cdot \frac{\arccos \frac{\varphi}{\varphi_{\max}}}{\varphi_{\max}} + C. \text{ Für } \varphi = \varphi_{\max} \text{ wird}$$

$\cos \frac{\varphi}{\varphi_{\max}} = 1$ , der Winkel wird = 0 und  $C = 0$ .

$\frac{\varphi_{\max}}{2\varphi_{\max}}$  wird aus Gl. 11) für die in Frage kommenden

Werte = 2,6926, so daß die Gleichung für Teilstrecken  $L_t$  der Wellenlinie lautet:

$$\text{Gl. 19) } L_t = 2,6926 \int \arccos \frac{\varphi}{\varphi_{\max}}. \text{ Für die Viertel-}$$

wellenlänge wird ohne Berücksichtigung der Beschleunigungs-

kräfte  $L_{t1} = 2,6926 \int_{\varphi=0}^{\varphi=\varphi_{\max}} \frac{\varphi}{\varphi_{\max}} \arccos \frac{\varphi}{\varphi_{\max}} + 2,6926 \cdot \frac{\pi}{2} = 4,2296\text{m}$   
 und die Gesamtwellenlänge das Vierfache oder  $L = 16,918\text{ m}$ .

Bestimmung der Wellenlänge für eine Geschwindigkeit von 100 km/Std.

Der Gang der Rechnung soll im Einzelnen an Hand der Abb. 4 durchgeführt und erläutert werden.

Die größte Seitenverschiebung der verwendeten Achsen aus der Gleismitte im geraden Gleis mit 1435 mm Spurweite

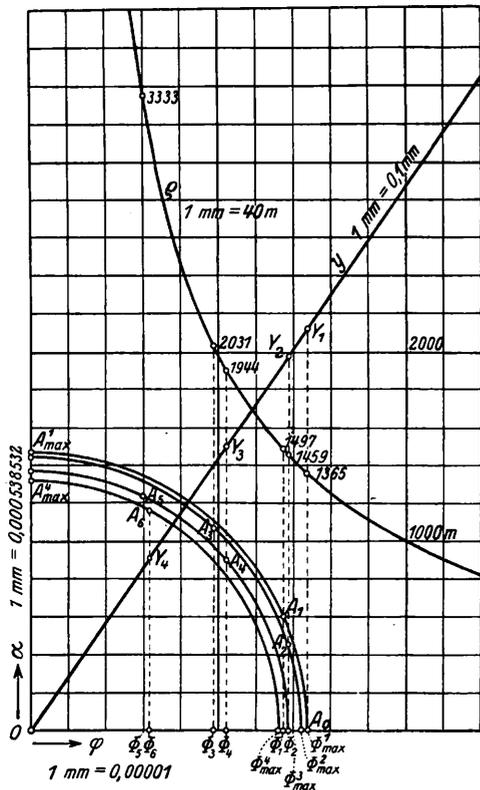


Abb. 4. Erläuterndes Bild für die Rechnung der Wellenlänge bei 100 km/Std.

wird zu 5,5 mm in Schienenhöhe angenommen. Die Verschiebung des Achsschwerpunktes ist  $y=0,96546 v$ ; mithin  $y=0,96546 \cdot 5,5 = 5,31003\text{ mm}$ . Zu diesem  $y_{\max}$  durch Punkt  $Y_1$  gekennzeichnet, gehört ein  $\varphi_{\max}$  von 0,0003662036: in dem für  $\varphi$  verwendeten Maßstab von 1 mm = 0,00001 wird  $\varphi_{\max}$  in der Abb. = 36,6 mm, — mit  $\Phi^1_{\max}$  bezeichnet.

Ein Kreis mit diesem Halbmesser und dem Koordinatenanfangspunkt als Mittelpunkt stellt die Beziehung der Gl. 17)  $\frac{\varphi^2}{\varphi_{\max}^2} + \frac{\alpha^2}{\alpha_{\max}^2} = 1$  dar, worin  $\varphi$  die Abszissen und  $\alpha$  die Ordinaten sind. Darin ist  $\alpha$  im 5,38532fachen Maßstab von  $\varphi$  aufgetragen, wie oben näher begründet.

Für  $\varphi=0$  wird  $\alpha=\alpha_{\max}$  oder in der Abb. 36,6 mm. Dies ist  $\alpha_{\max}=0,000005 \cdot 5,38532 \cdot 36,62036 = 0,001972124$ , in der Abbildung Punkt  $A^1_{\max}$ .

Zur Ermittlung der durch die Beschleunigungskräfte entstehenden Abweichung der Wellenlinie werden vier Teilstrecken der Viertelwelle näher untersucht. Nimmt man für die erste Teilstrecke den Ablenkungswinkel  $\alpha_1$  in dem gewählten Maßstab zu 15 mm an oder  $\alpha_1=0,00080775$  dann wird diese Teilstrecke  $L_t^1$  einerseits durch die Punkte  $A_0$  und  $A_1$  für  $\alpha_1$ , andererseits durch die entsprechenden Punkte  $\Phi^1_{\max}$  und  $\Phi_1$  für  $\varphi$  bestimmt und ist nach Gl. 19)

$$L_t^1 = 2,69266 \int_{\varphi=0}^{\varphi=\varphi_1} \frac{\varphi}{\varphi_{\max}} \arccos \frac{\varphi}{\varphi_{\max}}$$

Einem  $\alpha_1 = 0,00080775$  entspricht ein  $\varphi_1$  von 0,0003340774, in der Abbildung Punkt  $\Phi_1$ . Damit wird

$$L_t^1 = 2,69266 \cdot \arccos \frac{0,0003340774}{0,0003662036}$$

Der Winkel hierzu ist  $24^{\circ}10'43'' \cdot 37$ , Der  $\arccos = 0,4219982$  und  $L_t^1 = 2,69266 \cdot 0,4219982 = 1,1363005\text{ m}$ . Für die weiteren Berechnungen, für die das Abgreifen der Maße aus dem Bilde einen Überschlagn. aber keine genügend genauen Werte ergibt, sind folgende Beziehungen, die sich aus Gl. 11) des früheren Aufsatzes für  $-\ln \cos \alpha$ ,  $\varphi$  und  $y$  ergeben, wichtig.

Gl. 20)  $\frac{\varphi_{\max}}{\alpha_{\max}} = 0,18569$ , der reziproke Wert  $\frac{\alpha_{\max}}{\varphi_{\max}} = 5,38532$ .

Gl. 21)  $\frac{\varphi}{y} = 0,0000689645$ .

Das berechnete Wellenstück  $L_t^1$  von 1,1363005 m wird bei dem Ablenkungswinkel  $\alpha_1=0,00080775$  durch einen

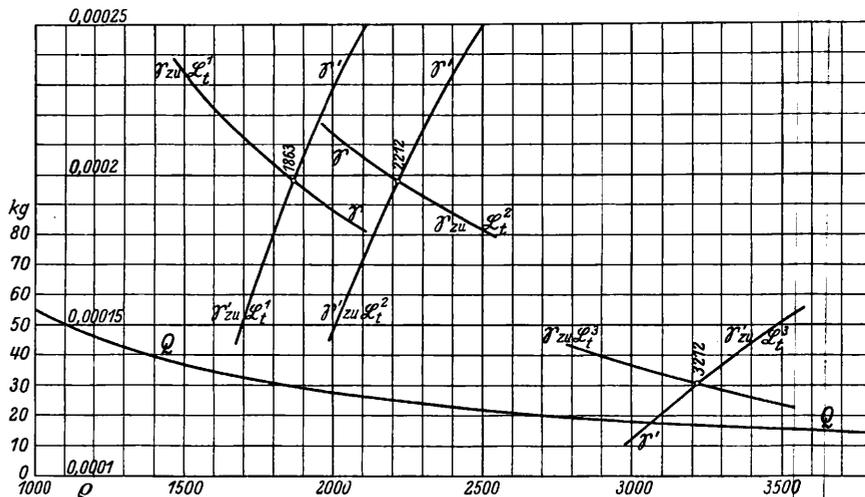


Abb. 5. Kräfte, die den Schlupf herbeiführen und Größe des Schlupfes.

mittleren Krümmungshalbmesser  $\varrho_1$  durchlaufen, der sich aus  $L_t^1 = \varrho_1 \cdot \alpha_1$  ergibt:

$$\varrho_1 = \frac{1,1363005}{0,00080775} = 1407\text{ m}$$

Wie die Abb. 4 zeigt, ist der Unterschied zwischen dem kleinsten Halbmesser  $\varrho$  (bei  $\alpha=0$ ) mit 1365 m und dem größten Halbmesser  $\varrho$  (bei  $L_t^1 = 1,1363\text{m}$ ) mit 1497 m im Verhältnis zum mittleren Halbmesser während der ganzen Bewegung im ersten Wellenabschnitt  $L_t^1$  genügend klein, um für die Berechnung des Schlupfes mit diesem mittleren Halbmesser zu rechnen, ohne merkbare Fehler aufkommen zu lassen.

In Abschnitt C ist durch Gleichung 24) der Schlupf auf 1 m Länge der Bewegung zu 0,0000044115 Q bestimmt. Der Schlupf auf die erste Teilstrecke  $L_t^1$  beträgt deshalb  $1,1363 \cdot 0,0000044115 Q = 0,0000050128 Q$ . Für die verschiedensten  $\varrho$  wird nun das zugehörige Q berechnet. Aus den Gl. 23) und 24) werden  $\mathcal{S}$  und  $\mathcal{S}'$  bestimmt und in Abb. 5 über den Abszissen von  $\varrho$  die zugehörigen Werte von  $\mathcal{S}$  einerseits und  $\mathcal{S}'$  andererseits aufgetragen. Als Schnittpunkt der Linien, die die verschiedenen Werte von  $\mathcal{S}$  bzw.  $\mathcal{S}'$  verbinden, liefert die Abb. den Wert für  $\varrho=1863\text{ m}$ , d. h. unter Einwirkung der Beschleunigungskräfte wird der erste Teilweg der Welle nicht mit dem Krümmungshalbmesser von 1407 m abrollen, wie sich oben für eine Bewegung der Achse ohne Beschleunigungseinwirkung ergab, sondern mit 1863 m. Der

Ablenkungswinkel  $\alpha'_1$  verkleinert sich dann von 0,000 807 75 auf 1,1363 : 1863 = 0,000 609 93 entsprechend 2'5'', 8.

Der größte Ausschlag  $y$  des Achsschwerpunktes aus der Gleismitte war 0,005 310 03 m. Nach Abb. 6 ist  $AB = 1863 - 1863 \cos \alpha'_1$ . Den  $\cos$  von 2'5'', 8 mit 0,999 999 813 99 eingesetzt, liefert  $AB = 0,000 346 52$ . Der Ausschlag des Achsschwerpunktes aus Gleismitte  $y_1$  hat sich mithin von 0,005 310 03 auf  $y_2 = 0,005 310 03 - 0,000 346 52 = 0,004 963 51$  verringert — siehe Punkt  $Y_2$ , Abb. 4 —. Der Schnittpunkt der Senkrechten durch  $Y_2$  — 49,6 mm Höhe der Ordinate — mit dem Ablenkungswinkel  $\alpha'_1 = 0,000 609 93$ , der im gewählten Maßstab mit 11,3 mm eingetragen ist, ergibt den Endpunkt  $A_2$  der Wellenlinie für das erste Teilstück  $L_t^1$  unter Einwirkung der Beschleunigungskräfte. Ein Kreis durch diesen Punkt  $A_2$  mit dem Koordinatenanfangspunkt als Mittelpunkt liefert die Werte  $\varphi$  und  $\alpha$  für die weitere Rechnung. Der Halbmesser dieses Kreises  $\varphi_{\max}^2$  ist = 0,000 360 379 — Punkt  $\Phi_{\max}^2$  —. Zu dem  $y_2 = 0,004 963 51$  gehört ein  $\varphi_2 = 0,000 342 313$  — Punkt  $\Phi_2$  —. Die zweite Teillänge der Wellenlinie  $L_t^2$  beginnt bei dem oben bestimmten Ablenkungswinkel  $\alpha'_1 = 0,000 609 93$  — Punkt  $A_2$  — und reicht bis zu einem um 0,000 807 75 größeren Winkel  $\alpha_3$  — Punkt  $A_3$  — mit  $0,000 609 93 + 0,000 807 75 = 0,001 417 68$ . Diesem  $\alpha_3$  entspricht ein  $\varphi_3$  von 0,000 246 116, in der Abb.  $\Phi_3 = 24,6$  mm. Damit wird die zweite Teilstrecke  $L_t^2 = 2,69266 \left[ \frac{\arccos \frac{0,000 342 313}{0,000 360 379}}{\arccos \frac{0,000 246 116}{0,000 360 379}} \right] = 1,3491274$  m.

Bei der durchlaufenen Strecke von 1,349 m und dem Winkel  $\alpha_2 = 0,000 807 75$  wird der mittlere Krümmungshalbmesser ohne Berücksichtigung der Beschleunigungskräfte  $1,349 : 0,000 807 75 = 1670$  m. Der kleinste und größte Halbmesser ist nach der Abbildung 1459 und 2031 m. Der Schlupf  $S_{\max}$  wie oben = 0,000 004 411 Q und  $\mathcal{S} = 1,349$ ,  $S_{\max} = 0,000 005 95$  Q.

Nach Berechnung mehrerer Werte für  $\varrho$ , Q,  $\mathcal{S}$  und  $\mathcal{S}'$  (Abb. 5) liegt der Schnittpunkt für den Krümmungshalbmesser  $\varrho$  unter Berücksichtigung der Beschleunigungskräfte bei 2212 m. Der Ablenkungswinkel  $\alpha'_2$  ist mithin  $1,349 : 2212 = 0,000 609 855$ .

Zur Weiterberechnung ist der neue Kreis (Ellipse) zu bestimmen sowie  $y$ ,  $\varphi$  und  $\alpha$ .

In Abb. 6 ist  $\alpha'_1 = 0,000 609 93$ ,  $\alpha'_2 = 0,000 609 855$ ,  $y_3 = CD = CE - DE = 2212 (\cos \alpha'_1 - \cos [\alpha'_1 + \alpha'_2])$ . Die Werte von  $\cos \alpha'_1$  mit 0,999 999 813 99 und  $\cos (\alpha'_1 + \alpha'_2)$  mit 0,999 999 256 07 eingesetzt, liefert eine Verschiebung des Achsschwerpunktes  $y$  von 0,001 234 119 m. Es verbleibt damit eine Verschiebung aus Gleismitte von  $y_3 = 0,004 963 51 - 0,001 234 119 = 0,003 729 39$  m — siehe Punkt  $Y_3$  der Abb. 4 —. Die Senkrechte durch  $Y_3$  schneidet eine in der Entfernung  $(\alpha'_1 + \alpha'_2)$  zur Abszissenachse gezogene Parallele im Punkt  $A_4$ . Dieser Punkt ist dann der Endpunkt für die Berechnung des Teilstückes  $L_t^2$  unter Einwirkung der Beschleunigungskräfte.

Ein Kreis durch diesen Punkt  $A_4$  liefert die Werte für die weitere Rechnung. Zu  $y_3 = 0,003 729 38$  gehört ein  $\varphi_4 = 0,000 257 195$  und ein  $\varphi_{\max}^3 = 0,000 342 713$ . Siehe die Punkte  $Y_3$  Abb. 4, sowie  $A_4$ ,  $\Phi_4$  und  $\Phi_{\max}^3$ .

Für die Berechnung des dritten Teilstückes der Wellenlinie  $L_t^3$  ist als Anfangswert  $\varphi_4$  zu nehmen: als Endpunkt nehme ich  $\varphi_5 = 0,000 15$  — in Abb. 4 ist dies 15 mm vom Koordinatenanfangspunkt. Nach Gl. 19) wird dann

$$L_t^3 = 2,69266 \int \arccos \frac{\varphi}{\varphi_{\max}} = 2,69266 \left[ -\arccos \frac{0,000 257 195}{0,000 342 713} + \arccos \frac{0,000 15}{0,000 342 713} \right].$$

Der positive Wert liefert den Winkel  $64^\circ 2' 35''$ , 4, der negative  $41^\circ 22' 8''$ , 8; als Unterschied bleibt der Winkel  $22^\circ 40' 26''$ , 6 mit einem Bogen von 0,395 7369. Dies mal 2,692 66 gibt  $L_t^3 = 1,065 585$  m.

Zu  $\varphi_5$  — Punkt  $\Phi_5$  — gehört ein Winkel  $\alpha_5$  — Punkt  $A_5$  —, der sich nach Abb. 4 ergibt aus  $(\varphi_{\max}^3)^2 - (\varphi_5)^2 = (\alpha_5)^2$ . Dies ist 0,000 308 143 im Maßstab von  $\varphi$ , oder in der Größe der Winkel  $\alpha = 0,000 308 143 \cdot 5,38532 = 0,001 659 45$ ; diese Strecke ist  $\Phi_5 A_5 = \alpha_5$ . Da  $\Phi_4 A_4 = 0,001 219 785 = \alpha'_1 + \alpha'_2$  ist, wird  $\alpha_3 = 0,001 659 45 - 0,001 219 785 = 0,000 439 665$ . Die Nachprüfung der Werte nach Gl. 17)  $\frac{\varphi^2}{\varphi_{\max}^2} + \frac{\alpha^2}{\alpha_{\max}^2} = 1$  ergibt die Richtigkeit  $0,808 433 + 0,191 567 = 1$ .

Der mittlere Krümmungshalbmesser der Schwerpunktsbahn wird  $\varrho = 1,065 585 : 0,000 439 665 = 2424$  m.

Der Schlupf ist wie oben  $S_{\max} = 0,000 004 4115$  Q und nach Gl. 24)  $\mathcal{S}' = 1,065 585$ ,  $S_{\max} = 0,000 004 7003$  Q.

Durch die Berechnung mehrerer Werte für  $\varrho$ , Q,  $\mathcal{S}$  und  $\mathcal{S}'$  geben — Abb. 5 — die beiden Linienzüge  $\mathcal{S}$  und  $\mathcal{S}'$  als Schnittpunkt  $\varrho_3 = 3212$  m. Der Ablenkungswinkel  $\alpha'_3$  ist mithin  $1,065 585 : 3212 = 0,000 331 7506$ .

Nach Abb. 6 ist  $y = FG = FH - GH = 3212 [\cos (\alpha'_1 + \alpha'_2) - \cos (\alpha'_1 + \alpha'_2 + \alpha'_3)]$ .

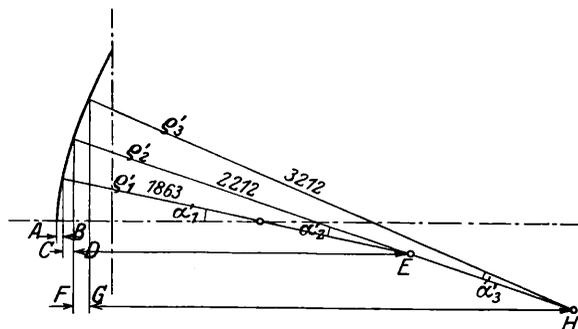


Abb. 6. Verschiebung des Achsschwerpunktes senkrecht zur Gleismittellinie vom größten Ausschlag bis zu 0.

Die Werte von  $\cos (\alpha'_1 + \alpha'_2) = 0,999 999 256 07$  und  $\cos (\alpha'_1 + \alpha'_2 + \alpha'_3) = 0,999 998 796 36$  eingesetzt, gibt  $y_4 = 0,001 476 588$ . Es verbleibt eine Verschiebung aus Gleismitte von  $0,003 729 39 - 0,001 476 59 = 0,002 252 8$  m. Diesem  $y_4$  — Punkt  $Y_4$  der Abb. 4 — entspricht ein  $\varphi_6 =$  Punkt  $\Phi_6$  — wie oben bei  $A_4$  und  $A_2$  ermittelt — liefert  $\varphi_{\max}^4 = 0,000 327 33$  bei Punkt  $\Phi_{\max}^4$ . Aus diesen Werten ist die vierte und letzte Teilstrecke  $L_t^4$  zu bestimmen. Sie ist

$$L_t^4 = 2,69266 \left[ -\arccos \frac{0,000 155 3674}{0,000 327 33} + \arccos \frac{0}{0,000 327 33} \right] = 2,69266 \left( \frac{\pi}{2} - \arccos 61^\circ 39' 48'', 31 \right) = 1,3317011 \text{ m.}$$

Für diese letzte Teilstrecke der Wellenlinie die Verlängerung durch die Einwirkung der Beschleunigungskräfte zu bestimmen ist nicht möglich, da die Krümmungshalbmesser der Bahn sich rasch dem Unendlichen nähern, wodurch gleichzeitig die den Schlupf herbeiführenden Kräfte Q außerordentlich klein werden. Der Versuch hierzu ist aber auch zwecklos, da infolge der großen Halbmesser  $\varrho$  der Bahn selbst eine wesentliche Vergrößerung von  $\varrho$  auf den Rest der Wellenlänge keinen nennenswerten Einfluß ausübt.

Als Gesamtergebnis vorstehender Rechnungen ergibt sich für die Viertelwellenlänge  $L_t = L_t^1 + L_t^2 + L_t^3 + L_t^4 = 1,136 30 + 1,349 13 + 1,065 59 + 1,331 70 = 4,882 72$  und für die ganze Wellenlänge das Vierfache oder

$$L = 19,531 \text{ m.}$$

Dieser Punkt ist mit einem Doppelkreuz in Abb. 1 eingetragen und weicht von der aus den Versuchsfahrten sich ergebenden Mittellinie LW nur unbedeutend ab.

Der Unterschied erklärt sich daraus, daß bei Ermittlung der lebendigen Kräfte im Abschnitt B nicht berücksichtigt

sind die Massen des Drehgestells, das gegebenenfalls bei kleinem Krümmungshalbmesser  $\rho$  der Schwerpunktsbahn der Achsen ebenfalls zu drehen ist. Rechnungsmäßig ergibt sich bei dem an dem Drehgestell festgestellten Spielraum von insgesamt 2,4 mm zwischen Achshaltern und Achsbüchsen und einem Abstand der Achshaltermitten von 1762 mm sowie einem Achsstand von 3600 mm der kleinste Halbmesser  $\rho$  von Krümmungen, in denen die Achsen ihre Wellenlinien noch unbehindert durchlaufen können, zu  $\rho = \frac{1,762 \cdot 3,600}{2 \cdot 0,0024} = 1322$  m.

Berücksichtigt man, daß der Spielraum von 2,4 mm dadurch erhöht wird, daß die Räder mit einer Kraft von Raddruck mal Reibungsbeiwert — 5500.0,2 bis 5000.0,16 — also 1100 bis 880 kg ihren Lauf nach den Gesetzen für ihre Bahn in Wellenlinien zu erzwingen suchen, so entstehen Formänderungen der Drehgestelle kleinster Werte bei Krümmungen mit Halbmessern unter 1322 m. Läßt diese Formänderung eine Vergrößerung oder Verkürzung der Achshalterabstände von 3600 mm um nur 0,24 mm zu, dann sind Krümmungshalbmesser  $\rho$  von 1000 mm anstandslos zu durchlaufen. Dabei werden freilich die Räder mit ihren Hohlkehlen aufzulaufen versuchen, wodurch eine Verkürzung der Wellenlänge eintreten muß. Deutlich ist dies zu erkennen bei den Wellenlängen der Zusammenstellung unter den laufenden Nummern 4, 9, 16 und 31, die deshalb auch sämtlich unter der mittleren Linie LW liegen. Die laufende Nummer 17, bei der Krümmungshalbmesser bis 500 m herunter vorkommen, scheidet aus, da ein deutliches Verfolgen der Einflüsse dieser Krümmungen auf die Wellenlinie nicht mehr möglich ist. Dasselbe gilt von der laufenden Nummer 18. Bei beiden erscheinen überdies Zweifel berechtigt, ob die kilometrischen Angaben genau stimmen, da die Aufnahmen während des Anhaltens und Anfahrens auf dem im Umbau befindlichen Bahnhof Duisburg erfolgten.

### B. Schlupf.

Die Frage, welchen Schlupf Beschleunigungs- und Verzögerungskräfte rasch rollender Räder auf den Schienen hervorgerufen, soll an Hand des von Dr. Lorenz in der Z. d. V. D. I. Nr. 16 vom Jahre 1928 veröffentlichten Aufsatzes behandelt werden. Dabei gehe ich von dem Gedanken aus, daß bei Bewegung der Achse aus der Lage I in die Lage II (Abb. 7) die Achse mit Achsbüchsen, Lagern und Federn infolge des Schlupfes um den Winkel  $\alpha_{\xi}$  gedreht wird. Unter der Annahme gleicher Achsbelastung legt das innere Rad einen kleineren, das äußere einen größeren Weg zurück. Der Unterschied zwischen diesen kleineren und größeren Wegstrecken und der mittleren Wegstrecke des Achsschwerpunktes muß  $0,75 \cdot \alpha_{\xi}$  m sein, da die Laufkreise der beiden Räder  $2 \cdot 0,75 = 1,5$  m voneinander entfernt rollen. Das äußere Rad nimmt an lebendiger Kraft um ebenso viel zu, als das innere Rad abnimmt. Ist  $v$  die Geschwindigkeit des Achsschwerpunktes, dann ist die Zunahme der lebendigen Kraft des Außenrades allgemein ausgedrückt  $\frac{m v_1^2}{2} - \frac{m v^2}{2}$ . Dabei sind zu berücksichtigen die umlaufenden Massen  $m_u$  und die pendelnden Massen  $m_p$ , unterteilt in die ebenfalls pendelnden, umlaufenden Massen  $m_s$  und die Massen der Federn und Achsbüchsen  $m_f$ . Für die umlaufenden Massen  $m_u$  sind 303 kg Gewicht des Rades (Radreifen und äußerer Radkörper) im Abstand von 45,5 cm vom Drehpunkt ermittelt; dazu die Masse  $m_s$  der Speichen und Nabe mit einem Abstand von 20 cm und 130 kg Gewicht. Hinzu kommen die gleichen Massen, die auch hin- und herpendeln  $m_p$  also 433 kg Gewicht und einem Abstand vom Pendelmittelpunkt (Achsschwerpunkt) = 75 cm, ferner die Masse  $m_w$  der bei den umlaufenden Massen nicht berücksichtigten Achswelle von 131 kg Gewicht mit einem Abstand = 49,5 cm, schließlich die Masse der Feder und Achsbüchse

nebst Lager mit 102 kg Gewicht in einer Entfernung von 97,8 cm, da die Entfernung der Mitten der Achsschenkel und Federn 195,6 cm beträgt. Die Zunahme an lebendiger Kraft beträgt mithin

$$\frac{m_u}{2} (v_u^2 - v^2) + \frac{m_s}{2} (v_s^2 - v^2) + \frac{m_p}{2} (v_p^2 - v^2) + \frac{m_w}{2} (v_w^2 - v^2) + \frac{m_f}{2} (v_f^2 - v^2).$$

Diese Zunahme an lebendiger Kraft erfordert eine äußere Kraft  $Q$  an den Schienen im Auflagerpunkt des Rades auf den Schienen, die am linken Rad in entgegengesetzter Richtung der Bewegung wirkt; beim rechten Rad wird die gleiche Abnahme an lebendiger Kraft durch eine in Richtung der Bewegung gleich große Kraft  $Q$  aufgezehrt. Die beiden starr verbundenen Räder halten dadurch das Gleichgewicht der inneren und äußeren Kräfte aufrecht. Diese Kraft  $Q$  erzeugt einen Schlupf, dessen Größe zu berechnen ist. Die Kraft der Schienen am Rad mal zurückgelegtem Weg muß gleich dieser Zunahme an lebendiger Kraft sein.

Die sämtlichen Rechnungen sind nachfolgend für eine Geschwindigkeit des Zuges von 100 km/Std. = 27,777 m/Sek. durchgeführt. Die Anfangsgeschwindigkeit im Laufkreis ist ebenfalls = 27,777 m/Sek. Die Zunahme an lebendiger Kraft  $Zm_u$  der umlaufenden Massen auf 1 m Bewegungsweg des Achsschwerpunktes beträgt dann, da  $v_u^2 = v^2 \left(1 + \frac{0,75}{\rho_{\xi}}\right)^2$ , worin  $\rho_{\xi}$  der Krümmungshalbmesser der Bahn des Schwerpunktes ist,

$$Zm_u = \frac{m_u}{2} \left[ v^2 \left(1 + \frac{1,5}{\rho_{\xi}} + \frac{0,75^2}{\rho_{\xi}^2}\right) - v^2 \right] = \frac{m_u}{2} v^2 \left[ \frac{1,5}{\rho_{\xi}} + \frac{0,5625}{\rho_{\xi}^2} \right].$$

Damit läßt sich für jeden Krümmungshalbmesser  $\rho_{\xi}$  der Bahn der Wert  $Z$  bestimmen.

Um die lebendigen Kräfte nicht für die verschiedenen  $m_u$ ,  $m_s$  usw. mit verschiedenen Entfernungen vom Angriffspunkt an den Schienen ermitteln zu müssen, werden diese Massenwirkungen auf den gemeinsamen Angriffspunkt an den Schienen zurückgeführt. Da die umlaufenden Massen  $m_u$  mit 303 kg in der Entfernung 45,5 cm von der Achswellenmittellinie wirkend gedacht werden können, andererseits die Gegenkraft an den Schienen in der Entfernung 50 cm von der gleichen Achswellenmittellinie angreift, muß die auf den Schienenangriffspunkt zurückgeführte Geschwindigkeit der Masse  $m_u$  mit  $\frac{45,5}{50} = 0,91$  und  $v^2$  mit  $0,91 \cdot 0,91 = 0,8281$  vervielfältigt werden. Ebenso sind die andern Massen  $m_s$ ,  $m_p$ ,  $m_w$  und  $m_f$  entsprechend ihren Entfernungen vom Angriffspunkt an den Schienen umzurechnen. So ist  $v_s^2$  zu vervielfältigen mit  $\left(\frac{20}{50}\right)^2$ ,  $v_p$  mit  $\left(\frac{75}{75}\right)^2$ ,  $v_w^2$  mit  $\left(\frac{49,5}{75}\right)^2$  und  $v_f^2$  mit  $\left(\frac{97,8}{75}\right)^2$ .

Setzt man diese Werte für einen Halbmesser  $\rho_{\xi}$  beispielsweise = 750 m ein, dann erhält man für die Zunahme an lebendiger Kraft

$$\begin{aligned} \Sigma Zm &= \frac{303}{2 \cdot 9,81} \cdot 772 \cdot 0,8281 \cdot \left( \frac{1,5}{750} + \frac{0,5625}{750 \cdot 750} \right) + \\ &+ \frac{130}{2 \cdot 9,81} \cdot 772 \cdot 0,16 \cdot \left( \frac{1,5}{750} + \frac{0,5625}{750 \cdot 750} \right) + \\ &+ \frac{433}{2 \cdot 9,81} \cdot 772 \cdot 1 \cdot \left( \frac{1,5}{750} + \frac{0,5625}{750 \cdot 750} \right) + \\ &+ \frac{131}{2 \cdot 9,81} \cdot 772 \cdot 0,43 \cdot \left( \frac{1,5}{750} + \frac{0,5625}{750 \cdot 750} \right) + \\ &+ \frac{102}{2 \cdot 9,81} \cdot 772 \cdot 1,69 \cdot \left( \frac{1,5}{750} + \frac{0,5625}{750 \cdot 750} \right) = \\ &= 19,7455 + 1,6368 + 34,0727 + 4,4844 + 13,5653 = 73,5 \text{ mkg.} \end{aligned}$$

Da diese Zunahme an lebendiger Kraft auf einer Wegstrecke von 1 m erfolgt, ist die an den Schienen bei  $\rho_{\xi} = 750$  m angreifende Kraft  $Q =$

$$\frac{73,5}{1} \frac{\text{mkg}}{\text{m}} = 73,5 \text{ kg.}$$

Für jeden anderen Krümmungshalbmesser — etwa  $\rho_{\xi 1}$  — ändert sich dieser Wert. läßt sich aber auf einfache Weise dadurch berechnen, daß man ihn mit dem Klammersausdruck  $\left(\frac{1,5}{\rho_{\xi 1}} + \frac{0,5625}{\rho_{\xi 1}^2}\right) : \left(\frac{1,5}{\rho_{\xi}} + \frac{0,5625}{\rho_{\xi}^2}\right)$  vervielfältigt.

Der Wert der letzten Klammer für  $\rho_{\xi} = 750$  m ist 0,002001. Man erhält so z. B. für  $\rho_{\xi 1} = 1500$  m den Wert für die Zunahme an lebendiger Kraft

$$\frac{0,00100025}{0,002001} \cdot 73,5 = 36,74 \text{ mkg.}$$

### C. Größe des Schlupfes.

Von den Gleichungen, die Dr. Lorenz in dem Z. d. V. D. I. Nr. 6 vom Jahre 1928, Seite 173 entwickelt hat, werden zur Berechnung des Schlupfes der Räder auf den Schienen nachfolgende benutzt:

Gl. 39b) . . .  $S_{\max} = 2,42 \frac{q_0}{G}$ ,  $q_0 = \nu \cdot p_0$ ,  $\nu = \frac{Q}{P}$  und

Gl. 46a) . . . . .  $p_0 = 0,49 \sqrt{\frac{P \cdot E}{l \cdot r}}$ , dann ist

$$S_{\max} = 2,42 \cdot 0,49 \cdot \sqrt{\frac{P \cdot E \cdot Q}{l \cdot r \cdot G}}$$

Werden hierin die Werte eingesetzt, die in der Zusammenstellung der in diesem Aufsatz verwendeten Zeichen angegeben sind, also Raddruck  $P = 5500$  kg,  $E = 2200000$ ,  $G = 850000$  und  $r = 50$  cm, wird ferner für  $l$ , das hier, wie bei Lorenz, die Auflagebreite des Rades auf den Schienen bedeutet, nicht das  $l$  der Zusammenstellung ist, der Wert = 0,8 angenommen, dann wird

Gl. 22) . . . . .  $S_{\max} = 0,000004412 Q$ .

Diesen Wert  $l=0,8$  habe ich unter der Annahme des Schienenprofils 15 c mit 200 mm Halbmesser des Schienenkopfes ermittelt, wobei der Wert  $b$  in dem Lorenzschen Aufsatz = 0,63 wird, im übrigen hier ohne Bedeutung ist.

Läßt sich nach vorstehendem unter  $B$  für jeden Krümmungshalbmesser  $\rho$  der Bahn die an den Schienen auftretende und auf die Räder wirkende Kraft  $Q$  berechnen und daraus nach Gl. 22) die Größe des entstehenden Schlupfes der Räder auf den Schienen ermitteln, dann läßt sich auch die Änderung der Bahn des Achsschwerpunktes und die Verlängerung der Wellenlinie bestimmen.

In Abb. 7 bezeichnet  $\rho^0$  den Krümmungshalbmesser der Bahn ohne Einwirkung beschleunigender Kräfte — also zu Beginn der Bewegung —,  $\rho^u$  unter Wirkung dieser Kräfte bei einer bestimmten Geschwindigkeit,  $\alpha^0$  und  $\alpha^u$  die zugehörigen Bogenwinkel, die der Halbmesser  $\rho^0$  und  $\rho^u$  durchläuft,  $B$  die Wellenlänge des Bahnschwerpunktes,  $A$  die Bahn des äußeren Rades, wobei  $B^0$ ,  $B^u$ ,  $A^0$  und  $A^u$  sich auf die Bahnen ohne und unter Berücksichtigung des Schlupfes wie bei  $\rho^0$  und  $\rho^u$  beziehen. Es läßt sich nunmehr folgern:

1.  $\rho^0 \cdot \alpha^0 = B^0$ . Daß  $B^0 = B^u$  ist, folgt aus der im Abschnitt A gemachten Annahme gleicher Belastung der beiden Räder und der dort entwickelten Vorstellung, daß das eine Rad genau so viel an lebendiger Kraft abgibt, als das zugehörige andere Rad aufnimmt.

2.  $A^0 = (\rho^0 + 0,75) \cdot \alpha^0$ , worin 0,75 die halbe Entfernung der Laufkreise beider Räder ist.

3.  $A^u = A^0 (+) \mathcal{S}$ . Dies bedeutet, die Länge der Bahn des außen rollenden Rades ist unter Einwirkung der beschleunigenden Kräfte gleich der Länge der Bahn ohne deren Wirkung vermindert (oder vermehrt) um den Schlupf  $\mathcal{S}$  den die Zunahme (oder Abnahme) an lebendiger Kraft bewirkt. Da ferner  $\rho^u \cdot \alpha^u = \rho^0 \cdot \alpha^0$  sein muß, erhält man  $\rho^u \cdot \alpha^u + 0,75 \alpha^u = A^u$  und

$$\begin{aligned} \rho^u \cdot \alpha^u + 0,75 \alpha^u &= A^u = A^0 - \mathcal{S} \\ \rho^0 \cdot \alpha^0 + 0,75 \alpha^0 &= \rho^0 \cdot \alpha^0 + 0,75 \alpha^0 - \mathcal{S} \\ \alpha^u &= \alpha^0 - \frac{\mathcal{S}}{0,75} \text{ oder} \end{aligned}$$

Gl. 23) . . . . .  $\mathcal{S} = 0,75 (\alpha^0 - \alpha^u)$ .

In Gl. 22) ist  $S_{\max} = 0,000004412 Q$  bestimmt und zwar in m je m zurückgelegten Weges des Achsschwerpunktes. Die Kraft  $Q$  hängt von der Winkelbewegung der Achsmittellinie und damit von der Geschwindigkeit dieser Bewegung ab. Für eine bestimmte Länge der Bahn  $l_t$  in m wird daher der in m gemessene Schlupf

Gl. 24) . . . . .  $\mathcal{S}' = l_t \cdot 0,000004412 Q$ .

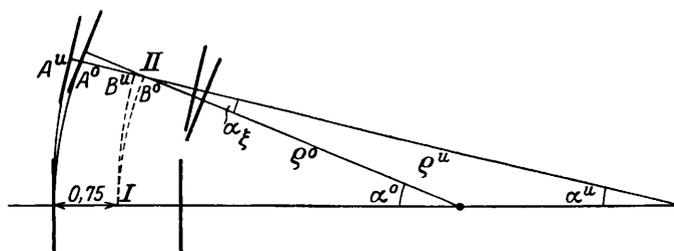


Abb. 7. Änderung der Lage der Achsmittellinie durch Beschleunigungskräfte bei deren Drehung.

Da andererseits nach Gl. 23)  $\mathcal{S} = 0,75 (\alpha^0 - \alpha^u)$  sein muß, ist derjenige Wert zu ermitteln, dem beide Gleichungen entsprechen. Führt man die Rechnungen für die verschiedensten Krümmungsradien  $\rho$  durch, dann erhält man für  $Q$ , das bei  $\rho = 750$  m 73,5 kg beträgt, bei zunehmendem  $\rho$  sinkende Werte. Dadurch wird der Schlupf  $\mathcal{S}'$  ebenfalls geringer, während nach Gl. 23)  $\mathcal{S}$  wächst. Trägt man einige Werte für Gl. 23) und Gl. 24) auf und zieht die beiden Linienzüge für die Gleichungen, dann erfüllt der Schnittpunkt beider Linienzüge beide Gleichungen. (Siehe Abb. 5.)

### Abschnitt III.

#### Folgerungen aus der Rechnung.

Vorschläge der letzten Jahre, die Abnutzung der Schienen und Radreifen zu verringern und gleichzeitig den Lauf der Fahrzeuge zu verbessern, gehen dahin die Radreifen nicht mehr kegelförmig, sondern walzenförmig zu gestalten und außerdem die Spurerweiterung — insbesondere in Krümmungen — aufzugeben. Beides halte ich für verhängnisvolle Fehler.

Der Lauf der Eisenbahnfahrzeuge ist kraftschlüssig. Bei dem Bau hat man, meiner Überzeugung nach, bewußt eine Form der Radreifen gewählt, die möglichst lange auch nach Benutzung die gleichen Laufbedingungen ermöglicht. Würde man die Kegelform durch eine Walzenform ersetzen, dann entstände in verhältnismäßig kurzer Zeit zwischen Spurkranz und Außenkante Radreifen eine Höhlung bei dem mittleren Laufkreis der Räder, die ein scharfes Aufschlagen des Rades in Herzstücken zur Folge hätte.

An Lokomotiven tritt bekanntlich bei den Treibachsen diese Aushöhlung besonders scharf auf. Grund hierfür ist die zwangsläufig festgelegte Bewegung der Einzelräder auf den Schienen mit einer Geschwindigkeit, die nicht dem Rollkreis entspricht, der jeweils im Berührungspunkt des Rades größer oder kleiner ist, als die durch die Kuppelstangen erzwungene Geschwindigkeit. Der zweite Grund, der mich veranlaßt in

diesem Zusammenhang überhaupt von Lokomotiven zu sprechen, liegt in der Breite der Lokomotivradreifen mit 140 mm, die eine gleichmäßige Abnutzung der ganzen Radreifenbreite verhindert, wiederum mitbegünstigt durch die zwangsläufige Einstellung der gekuppelten Achsen durch die Steifachsigkeit im Rahmen. Diese Breite der Lokomotivradreifen zu verringern, verbietet die hierdurch zu befürchtende größere Entgleisungsgefahr. Dem Wunsch die Wagenradreifen zu verbreitern um die Entgleisungsgefahr der Wagen zu verringern, muß nach den Erfahrungen an Lokomotiven entschieden widersprochen werden. Bei einer Vergrößerung der Radreifenbreite müßte auch der Schienenkopf verbreitert werden, was von vornherein der Kosten wegen ausscheidet.

Man könnte vielleicht auf den Gedanken kommen, die Radreifen von einer Breite von 127 mm ab — gemessen von Innenkante Radreifen — nach außen mit einer größeren Neigung als 1:10 abzdrehen, um bei größerer Radreifenbreite als 130 mm eine günstigere Gesamtabnutzung zu erhalten. Dem stehen indessen berechtigte Bedenken entgegen, da bei glatten Flächen Neigungen von 1:7 ein Abgleiten der Reifen von den Schienen ermöglichen, wo keine entgegenstehenden Seitenkräfte wirken oder gar zusätzliche Kräfte in Richtung des Abgleitens auftreten. Eine Verbesserungsmöglichkeit auf diesem Wege scheint also nicht gegeben. Der ebenfalls ausgesprochene Gedanke, den äußeren Teil des Spurkranzes nach der Anlauffläche der Schienenseitenkanten hin nicht mit 27° Neigung abzdrehen sondern sogar senkrecht zu gestalten, um an Stelle der kraftschlüssigen eine halbzwangsläufige Führung zu erreichen, kann ernstlich nicht weiter verfolgt werden, da an Weichenzungen, Herzstücken und Gleiskreuzungen nicht nur die Zwangsläufigkeit — im Sinne der wagrechten Führung — aufgehoben würde, sondern Gefahrenpunkte erster Ordnung entstünden. Ein weiterer Nachteil walzenförmiger Radreifen besteht in der bisher wenig betonten Tatsache, daß bei Achsen dieser Form sich das eine Rad schneller abnutzen wird, wie das andere. Ganz genau können die Räder einer Achse nicht auf denselben Rollkreis abgedreht werden, so daß die Achse immer nach der Seite des kleineren Rollkreises anlaufen und schließlich scharf laufen muß. Wären selbst die Rollkreise beider Räder mathematisch gesehen gleich, dann muß sich das Rad aus weniger widerstandsfähigem Baustoff schneller abnutzen wie das andere zugehörige Rad so daß das Scharflaufen beginnen muß.

Der Bau der Drehgestelle vierachsiger Personenwagen hat, sei es auf dem Wege gefühlsmäßiger Versuchsausführungen, sei es als Folge wissenschaftlicher Erkenntnisse, Wiegevorrichtungen geschaffen, die teilweise den Achsen den freien Lauf in Wellenlinien ermöglichen, ohne den Wagen selbst allzusehr in die Seitenverschiebungen mit hineinzuzwingen. Die Schwingenpendel dieser Wiegevorrichtungen sind in der Mittellage etwa 1:5 gegen die Senkrechte geneigt. Die richtige Neigung 1:20 anzuwenden, verbietet die Bauart selbst, bei der bereits nach 28 mm Seitenverschiebung ein Schwingenpendel senkrecht steht. Erstrebenswert ist, durch eine Auflaufkrümmung die Verschiebung der einzelnen Achse so zu gestalten, daß die Neigung 1:20 dauernd gleich bleibt. Statt der jetzt durch die Bauart erzielten wachsenden Rückstellkraft müßte eine möglichst gleichbleibende Rückstellkraft geschaffen werden, um die Rückführung der Achsen in die Mittellage zwar dauernd zu fördern, andererseits aber den freien Lauf der Achsen in der Wellenlinie nicht zu behindern.

Wenn in meinen Rechnungen nur von den Wellenlinien einer Achse gesprochen wird, so drängt sich die Frage auf, ob denn diese eine Achse die Schlingerbewegungen der Drehgestelle allein herbeiführt. Das ist natürlich nicht der Fall. Denkbar wäre, daß jede Achse ihre eigenen Wellenlinien durchläuft. So könnte — nimmt man zunächst an — die zweite

Achse gerade an der rechten Schienenkante anlaufen, während die erste Achse links anlauft. Das ist indessen wegen des geringen Spielraumes von 2,4 mm zwischen Achshalter und Achsbüchse nicht möglich; denn er genügt gerade, um bei der Höchstseitenverschiebung der Achse aus der Gleismitte in Höhe der Schienen gemessen um  $\frac{11}{2} = 5,5$  mm den aus der

Kegelneigung sich ergebenden Krümmungshalbmesser der Bahn von 1329 m zu durchlaufen. Ein Gegenbeweis könnte nur aus Versuchen erbracht werden, die genaue Aufzeichnungen über die Bewegung der Drehgestelle über die Wellenlinie von 16,9 m bei beginnender Fahrt und 20 m bei Geschwindigkeiten von 100 km/Std. zum Ziel haben. Die gleichen Versuche würden auch darüber Klarheit schaffen, ob meine Annahme über die Bewegung der Drehgestelle zutrifft und — abweichend von derjenigen zweiachsiger Wagen — durch die Lage des Drehpunktes hinter der ersten und vor der zweiten Achse so zu denken ist, daß die vordere Achse durch Schieben vom Druckpunkt (Drehpfanne des Drehgestells) ungehinderter ihre Wellenlinien auslaufen kann wie die zweite Achse, die teilweise durch die Drehgestelleinstellung gelenkt sich den Bahnen der ersten Achse angleichen muß. Dabei wird keineswegs von mir übersehen, daß auch die zweite Achse infolge ihrer Verbindung mit den Federn durch die Hängeeisen als geschoben betrachtet werden kann. Der Unterschied ist indessen der, daß die vordere Achse das Drehgestell auf ihre Bahn einstellt, während die hintere Achse durch diese Einstellung beeinflusst wird. Die Folge davon ist, daß die hintere Achse nacheilend in Wellenlinien kleinere Wellenhöhe ( $y$  der Rechnung) läuft. Daß durch die Gleislage — selbst durch ganz geringe Längenausbiegungen einer Schiene — Störungen in dem Verlauf der Wellenlinien auftreten, zeigen deutlich die Aufnahmebilder der Schlingerbewegungen auf der Tafel 37.

Da man m. E. weder auf die Kegelform der Räder, noch auf den Spielraum der Achsen im geraden Gleis, noch weniger in den Krümmungen verzichten kann, wäre eine Versuchsanordnung von höchstem Wert, die zwangsläufig beide Achsen bei Abweichungen aus der parallelen Lage in die gleiche Neigung entgegengesetzt einstellt. Das würde bedeuten, daß der Drehpunkt des Drehgestells bei größter Abweichung der ersten Achse nach rechts, die die zweite Achse zur größten Abweichung nach links einstellt, unabhängig von den Seitenbewegungen der Achsen dauernd in seiner Mittellage bliebe. Die Schlingerbewegungen der Wagen fielen dann fort, soweit sie nicht aus mangelhafter Gleislage entstehen. Der Übelstand, daß solche Drehgestelle beim Einlauf in Krümmungen nicht voll befriedigen, müßte in Kauf genommen werden, zumal dieser Mangel wohl kaum größer wäre wie zur Zeit. Ob die Beweglichkeit des Drehgestells, wenn Schwingenpendel wie oben vorgeschlagen, verwendet werden, allein genügt, um möglichst ruhigen Lauf der Wagen zu erreichen oder ob ein zwangsläufig herbeigeführter entgegengesetzter Ausschlag der beiden Achsen besser wirkt, läßt sich nur durch Versuche feststellen, die auch notwendig wären, um die Bau- und Betriebskosten der beiden Bauarten zu ermitteln.

#### Auswertung der Versuchsergebnisse.

Die eingehende Auswertung der Uraufzeichnungen der Tafel 37 über die Schlingerbewegungen in dem Schlußwagen des Versuchszuges mit Görlitzer Drehgestellen dürfte um so berechtigter an dieser Stelle sein, als ein Teil meiner Folgerungen sich auf meine vorstehenden Untersuchungen über den Wellenlinienlauf der Drehgestelle stützt.

Um die ergänzenden Angaben der Zusammenstellung mit denen der Anlage schnell vergleichen zu können, sind die laufenden Nummern der Zusammenstellung in die linke Ecke der Einzelabschnitte der Tafel 37 eingetragen. Ferner sind

nach genauen Streckenplänen vorkommende Krümmungen als Rechts- oder Links-Krümmung eingezeichnet und schließlich aus dem ursprünglichen Papierband mit Bahnhof- und Kilometerangaben die Grenzen von einem Kilometer durch Querlinien z. B. bei lfd. Nr. 2 mit 66,78 bis 65,78 festgelegt. Bei lfd. Nr. 2 und ebenso bei 24 vor Friedrichsfeld sind an Stelle der ursprünglichen während der Fahrt gemessenen Geschwindigkeiten durch Mitteln die wahrscheinlichen mittleren Geschwindigkeiten auf den 1 km langen Strecken eingetragen. Bei einzelnen Krümmungen wie bei lfd. Nr. 4, 6, 9, 19 und 31 sind die Grenzen der Strecken statt auf 1 km auf die Krümmungen abgestellt. Die Nummern 1 bis 4 sind als zusammenhängendes Bild der Uraufnahmen des Papierstreifens übernommen, während im übrigen nur Einzelausschnitte wiedergegeben sind.

Vergleicht man nunmehr die in Spalte 6 der Zusammenstellung angegebenen Unterscheidungsmerkmale „kleine, mittlere und große Ausschläge“, die ich nicht nach ihrer absoluten Größe, sondern in Abhängigkeit von der Zuggeschwindigkeit zu werfen versucht habe mit dem in Spalte 7 angegebenen Alter des gelegten Oberbaues, so findet man bei den lfd. Nr. 1, 2, 4, 9, 10, 15, 19, 24 und 26 kleine Ausschläge, also bei dem Oberbau der letzten acht Jahre ruhigen Lauf. Man wäre versucht anzunehmen, daß mit dem Alter des Oberbaues der Wagenlauf stets unruhiger würde. Das trifft aber keineswegs allgemein zu. Das beweisen die lfd. Nr. 13, 20 und 31. Durch gute Unterhaltung läßt sich hiernach selbst bei Oberbau von über 17 Jahren ein ruhiger Wagenlauf erreichen. Daß andererseits nicht das Alter allein, sondern in der Hauptsache die Streckenbelegung mit Zügen hoher Geschwindigkeiten und großer Lasten und Raddrücke entscheidend ist, bedarf kaum der Erwähnung. Im vorliegenden Fall beziehen sich die Vergleiche mit Ausnahme der lfd. Nr. 15 bis 19 auf die Strecke Elten—Oberhausen, wo fast die gleichen Belastungen der Einzelabschnitte vorliegen. In der Krümmung — lfd. Nr. 4 — zeigen sich bei Halbmessern bis 500 m herunter und einer Geschwindigkeit von 93 km/Std. kleinste Schlingerwellen, die indessen unregelmäßig sind, da sie wegen des kleinen Halbmessers sich nicht unbehindert auslaufen können.

Lfd. Nr. 6 dagegen zeigt bei einem Halbmesser von 1120 m ziemlich freie Bewegung, was auch bei lfd. Nr. 7 mit 1440 m zutrifft. Lfd. Nr. 9 mit 56 km Geschwindigkeit zeigt größere Bewegungsfreiheit wie die über lfd. Nr. 1 liegende Strecke bei 57 km Geschwindigkeit, zweifellos wegen der Spurerweiterung in der Krümmung mit 900 m Halbmesser. Die lfd. Nr. 10 und 15 zeigen bei gleichen Geschwindigkeiten und gleichen Krümmungshalbmessern von 1500 m kaum bemerkbare Unterschiede. Lfd. Nr. 12 deutet auf schlechte Gleislage, weniger 13 und 14. Nummer 19 läßt bei 1500 m Krümmungshalbmesser freien Wellenlauf aufkommen, während bei 25 in der ersten Krümmung von 1500 m Halbmesser und 58 km Geschwindigkeit deutlich eine schlechte Gleislage sich kennzeichnet, ebenso wie beim Einlauf in die dritte Krümmung von 1000 m Halbmesser. Selbst bei 31 kann sich die Wellenlinie trotz des Halbmessers von 1120 m und einer Geschwindigkeit von 103 km/Std. verhältnismäßig gut auslaufen.

Übereinstimmend beweisen alle Aufnahmen in Krümmungen bei hohen Geschwindigkeiten die praktische Betriebserfahrung, daß nach dem Einlaufen in den Krümmungen selbst die Schlingerwellen klein sind; was so zu erklären sein dürfte, daß die umlaufenden Massen der Räder sich zwar an die äußeren Schienen zunächst anzulehnen suchen, im übrigen aber wegen der Spurerweiterung ihre Wellenlinien nach der inneren Schiene hin frei auslaufen können, während gleichzeitig die Wagenmassen infolge der Fliehkräfte das Drehgestell ebenfalls nach der äußeren Schiene drängen und

### Zusammenstellung der Wellenlängen, Geschwindigkeiten und Gleisverhältnisse.

Lfd. Nr.	Geschwindigkeit km/Std.	Zahl der Ausschläge auf 1000 m	Länge der Welle in m	Krümmungshalbmesser und Länge der Krümmung	Größe der Ausschläge kl = klein, m = mittel gr = groß	Jahr der Gleis- legung
Elten—Oberhausen.						
1	43	59	17	$\frac{1270/1340}{1000}$	kl	1923
2	73	56	17,85	—	kl	1923
3	88	55	18,2	—	m	1922
4	93	19 *) 350	18,5	$\frac{830/1175/500}{350}$	kl	1922
5	95	54	18,5	—	m	1922/26
6	101	28 580	20,8	$\frac{1120}{580}$	m	1912
7	103	51	19,6	$\frac{1440}{227}$	m	1921
8	105	49	20,4	—	m	1920
9	56	27 1/2 480	17,2	$\frac{900}{480}$	kl	1924
10	72	56	17,8	$\frac{1500}{462}$	kl	1920
11	89	51	19,6	—	m	1915
12	91	51	19,6	—	m	1924
13	95	56	17,8	—	kl	1911
14	96	52	19,2	—	m	1910
Oberhausen—Düsseldorf.						
15	72	58	17,2	$\frac{1500}{675}$	kl	1925
16	47	60	16,7	$\frac{760/1000/730}{420}$	m	1921/22
Düsseldorf—Oberhausen.						
17	40	58	17,2	$\frac{550/750/500/1200/1000}{195 \ 45 \ 20 \ 30 \ 40}$	gr	1919
18	38	59	17	$\frac{375/600}{125 \ 345}$	m	1921
19	84	39 700	17,9	$\frac{1500}{600}$	kl	1926
Oberhausen—Emmerich.						
20	72	54	18,5	—	kl	1912
21	90	51	19,5	—	m	1914
22	100	47 1/2	20,6	—	gr	1913
23	105	46	21,8	—	gr	1912
24	97	52	19,2	$\frac{1500}{480}$	kl	1926
25	58	56	17,8	$\frac{1100/1100/1000/900}{95 \ 55 \ 105 \ 480}$	m	1920
26	76	53	18,8	—	kl	1920
27	94	51	19,6	—	m	1916
28	98	51	19,6	—	m	1917
29	102	51	19,6	—	m	1920
30	104	47	21,2	—	m	1913
31	103	30 580	19,3	$\frac{1120}{580}$	kl	1914
32	91	50	20	—	m	1912

\*)  $\frac{19}{350}$  bedeutet: 19 Ausschläge auf 350 m.

dadurch die Höhe der Wellenlinie, also den Ausschlag beschränken.

Zum Schluß möchte ich auf die Unterschiede hinweisen, die neue Schienen mit runden Köpfen und abgenutzte Schienen mit flachen Köpfen nach meinen oben erwähnten Untersuchungen auf die Wellenlänge der Schlingerbewegungen ausüben. Beim Anfahren müssen sich kürzere Wellenlängen als 16,92 m bei flachen Schienenköpfen dadurch ergeben, daß die Räder mit ihren Hohlkehlen mehr oder weniger auflaufen

und mit einem kleineren Krümmungshalbmesser der Schwerpunktsbahn die Wellenlinie durchlaufen und die Wellenlänge infolgedessen verkürzen. Bei neuen Schienen dagegen laufen die Räder nicht in der Hohlkehle auf, sondern können nur seitlich an die Schienen anlaufen, wodurch merkliche Änderungen der Wellenlängen nicht aufkommen dürften. Auch in dieser Richtung einfachste Versuche anzustellen, trüge in dankenswerter Weise zum Gesamturteil über die Fragen des ruhigen Wagenlaufs entscheidend bei.

### Übergangsbögen in Korbbögen\*).

Von Reichsbahnrat Wilhelm Leisner, Würzburg.

Über die Absteckung von Übergangsbögen in Korbbögen ist in den Heften früherer Jahrgänge dieser Zeitschrift schon viel geschrieben worden. Dabei wurde angestrebt, diesen Gegenstand der Absteckungskunst möglichst zu vereinfachen und ihn in handgerechten und zeitsparenden Formeln darzustellen.

Da nach Ansicht des Verfassers dieses Ziel in einer für den Praktiker befriedigenden Weise bisher nicht erreicht wurde, glaubt er die Zahl der Untersuchungen um eine weitere vermehren zu sollen. Gleichzeitig hofft er aber, daß seine Untersuchung eine abschließende sei und daß sie ferner auch dem weniger gut Geschulten die für die Absteckungen gewünschten leicht zu handhabenden Behelfe bieten möge.

Den Anlaß zu der Untersuchung gab der § 10,2 der Obv. der Deutschen Reichsbahn-Gesellschaft vom 1. Januar 1928, der den Ersatz kurzer Zwischengeraden zwischen Bögen gleichen Sinnes durch flache Bögen empfiehlt und demgemäß Übergangsbögen zwischen diesen „flachen“ Bögen und den anschließenden Bögen nötig machen wird.

Für die Bildung eines allgemeinen Urteils über den behandelten Gegenstand dürfte es von Vorteil sein, die bisherigen Vorschläge für die Absteckung von Übergangsbögen in Korbbögen kennen zu lernen. Nachstehend seien daher zuerst einige der früheren Untersuchungen und deren Ergebnisse kurz beschrieben und im Anschluß daran die eigenen Verfahren entwickelt.

#### I. Überblick über die älteren Verfahren\*\*).

a) Herr Ing. O. Bunzel\*\*\*) befaßt sich in seinem Aufsätze näher mit der Lage des Übergangsbogens zum ursprünglichen Berührungspunkte der beiden Kreisbögen des Korbbogens. Er führt den Nachweis, daß die Verbindungslinie der Krümmungsmittelpunkte für zwei Punkte der Übergangsparabel das zwischen diesen Punkten liegende Parabelstück halbiert und daß deshalb der Übergangsbogen  $B_1 B_2$  (Abb. 1) je zur Hälfte in den Bereich der Kreisbögen  $K_1$  und  $K_2$  eingreift. Als Länge  $\lambda$  des Übergangsbogens gibt er den Unterschied in den Längen der Übergangsbögen für den Anschluß der Kreisbögen  $K_1$  und  $K_2$  an die Geraden an. Die Gleichung des Übergangsbogens in Bezug auf den Kreisbogen  $K_1$  mit  $B_1$  als Anfang lautet bei ihm:

$$\eta = \xi^3 : 6 C \dots \dots \dots \text{Gl. 10}$$

wo  $C = lr = \lambda \rho$  und  $\rho = \frac{r_1 r_2}{r_1 - r_2}$  ist.

Die  $\eta$  sind von  $B_1$  aus in Richtung der X-Achse die  $\xi$  vom Kreisbogen  $K_1$  aus in Richtung der Y-Achse zu messen. „Da die Winkel ( $\delta$ ) stets klein sind, dürfen die Längen  $\xi$  auf dem Kreis  $K_1$  (von  $B_1$  aus), die Höhen  $\eta$  rechtwinklig zum Kreise

\*) Alle Rechte vorbehalten. D. Verf.

\*\*\*) Bemerkung: Die in diesem Abschnitte gebrachten Abbildungen und Bezeichnungen sind den genannten Aufsätzen entnommen.

\*\*\*\*) Übergangsbogen in Korbbogen, Organ 1918, Heft 14, S. 213.

gemessen werden“. Bunzel gibt durch diese Darf-Anweisung die richtige Lösung für die Absteckung. Die zur Einlegung eines Übergangsbogens notwendige Verschiebung  $\mu$  der Kreisbögen des Korbbogens entnimmt er der Gl. 10) durch Vergleich mit der Gleichung für gewöhnliche Übergangsbögen  $y = x^3 : 6 C$ . Darnach wird

$$\mu = \lambda^3 : 24 C = \lambda^3 : 24 \cdot \lambda \frac{r_1 r_2}{r_1 - r_2} \dots \text{Gl. 12)}$$

Die Werte  $\mu$  stellt Bunzel in einer Tabelle für verschiedene Größen von C und  $\lambda$  zusammen.

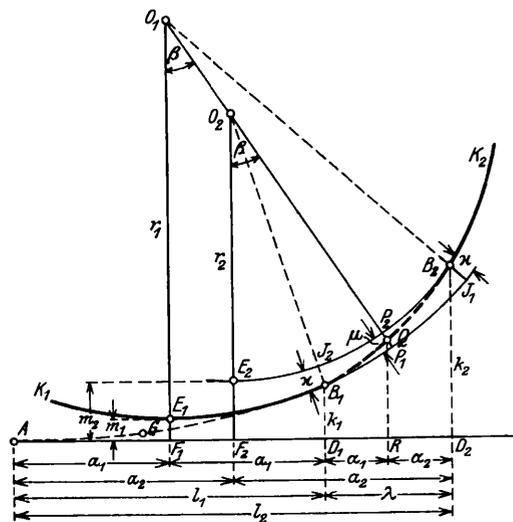


Abb. 1.

Für den Fall, daß bei nachträglicher Einlegung eines Übergangsbogens die Halbmesser des Korbbogens unverändert bleiben sollen, gibt er ein einfaches Verfahren für die Bestimmung der Verschiebungsrichtungen und -Größen der beiden Kreisbögen des Korbbogens; Abb. 2 veranschaulicht dieses Verfahren.

Es wird, wenn

$$\begin{aligned} \mu &= \mu_1 + \mu_2 \text{ ist,} \\ \mu_1 &= P_1' N = PN \operatorname{tg} \varphi_1 \\ \mu_2 &= P_2' N = PN \operatorname{tg} \varphi_2. \end{aligned}$$

Abweichend von der Ansicht des Herrn Bunzel ist jedoch zu sagen, daß die Verschiebung  $\mu_1$  nach außen nicht an die Bedingung  $r_1 > r_2$  geknüpft ist, sondern, daß sich vielmehr die Verschiebungsrichtungen für die Kreisbögen ohne weiteres umkehren lassen.

Nach Bunzel ist mit den Werten der Gl. 10) abzustrecken und zwar entweder vom Kreisbogen  $K_1$  aus, oder von der Berührenden an diesen Kreis aus mit Punkt  $B_1$  als Berührungspunkt (Abb. 1); dabei wären den Ordinaten des Kreises  $K_1$  die Werte der Gl. 10) hinzuzufügen.

Das von Herrn Bunzel entwickelte Verfahren ist in der Entwicklung sehr übersichtlich. Die Anwendung auf deutsche Verhältnisse wäre möglich, wenn die unveränderlichen Fest-

werte C der Zusammenstellung I im Aufsatz von Bunzel durch  $C = l \cdot r = \frac{8v^2n}{1000}$  ersetzt würden. Zur Berechnung der Ordinaten der Übergangsbogenpunkte wären dann die Gleichungen 2), 12) und 10) des Aufsatzes zu benutzen. Nicht einfach ist aber das Zusammenfügen von Ordinaten aus verschiedenen Koordinatensystemen, was meist in Frage kommt, da eine Absteckung von einem in der Natur festliegenden Kreis  $K_1$  aus nur selten möglich sein wird.

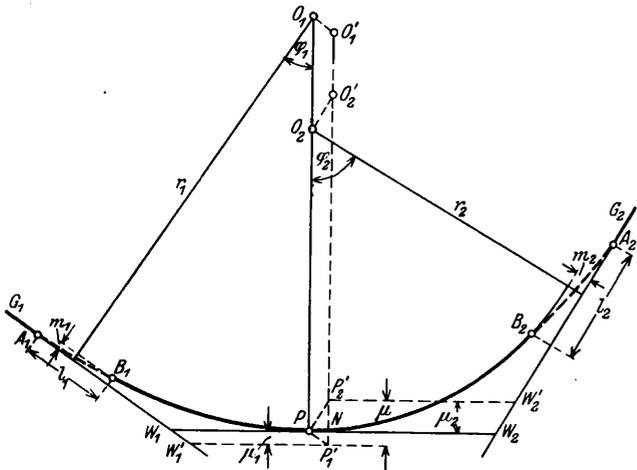


Abb. 2.

b) Herr Dr. Ing. Schreiber\*) nimmt die Lage des Übergangsbogens wie Bunzel, jedoch ohne nähere Begründung an. Die Länge des Übergangsbogens leitet er nicht aus fahrtechnischen Bedürfnissen, wie Überhöhung und Überhöhungsrampe ab, sondern aus der in Abb. 3 ersichtlichen

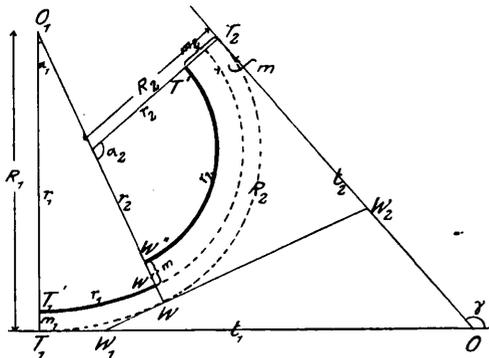


Abb. 3.

geometrischen Beziehung  $m = m_2 - m_1$  für die Bogenverschiebung. Diese ist aber keine Notwendigkeit. Man braucht sich in Abb 3 nur die Kreisbögen  $r_1$  und  $r_2$  als geschlossene bei  $W'W''$  durch einen Übergangsbogen zu verbindende Gleisschleife vorzustellen, um zu erkennen, daß die Bogenverschiebung  $m$  und die von Bunzel daraus entwickelte Länge des Übergangsbogens

$$l^2 = \frac{(r_1 l_2^2 - r_2 l_1^2)}{r_1 - r_2} \dots \dots \dots \text{Gl. 13)}$$

mit den Bogenverschiebungen  $m_1$  und  $m_2$  der Kreisbögen  $r_1$  und  $r_2$  nichts zu tun hat (siehe auch Abb. 2).

Die Gleichung für den Übergangsbogen lautet bei Schreiber in Bezug auf die  $UU'$ -Achse der Abb. 4

$$y = \frac{x^2}{4} \left( \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \right) + 4m \left( \frac{x}{l} \right)^3 \dots \dots \text{Gl. 17)}$$

\*) Übergangsbögen in den Wechseln der Korbbögen, Organ 1921, Heft 2, S. 13.

Diese Gleichung entsteht aus einer Gl. 16), deren Herleitung nur angedeutet ist. Die Gleichungen 16) und 17) sind daher nicht ganz verständlich, da die Form der Gl. 17) nämlich besser der Achse  $AV_1$  in Abb. 4 entsprechen würde, als der  $UU'$ -Achse.

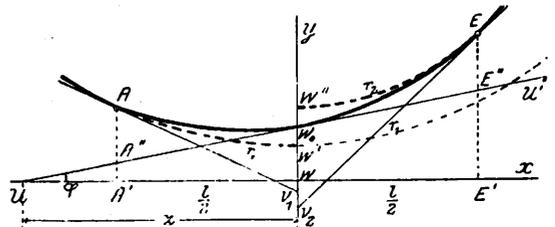


Abb. 4.

Nach Schreiber ist mit den Werten der neun im Aufsatz vermerkten Gleichungen 22) auf die  $UU'$ -Achse gemäß Abb. 4 und 5 abzustecken. Die Gleichungen 22) haben die übersichtliche allgemeine Form  $y = Am_1 + Bm_2$ , wo A und B die den Achselpunkten der Absteckungslänge entsprechenden Konstanten bedeuten.

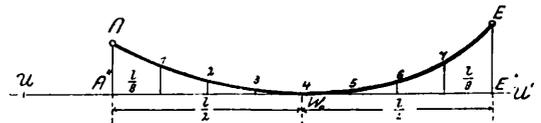


Abb. 5.

Wie schon angedeutet, sind die Untersuchungen von Schreiber nicht ganz durchsichtig. Von Bedeutung ist aber, daß er feststellt, daß ein beliebiger Krümmungskreis  $r_1$  (Abb. 4) als X-Achse betrachtet (mit Punkt A als Koordinatenanfang) nach dem Mittelpunkte gerichtete Höhen  $y = 4m \left( \frac{x}{l} \right)^3$  für

den Übergangsbogen A E hat. Die abgeleiteten Formeln für die Ordinaten des Übergangsbogens sind an sich handgerecht, doch wird man der Berechnung der Längen der Übergangsbögen auf welche sich diese Formeln stützen, nicht ohne weiteres zustimmen können. Nach Schreiber ist nämlich der Übergangsbogen im Korbbogen nach der Formel  $l^2 = \frac{r_1 l_2^2 - r_2 l_1^2}{r_1 - r_2}$  zu berechnen und daher stets länger als

der längere der Übergangsbögen für den Anschluß der Kreisbögen  $r_1$  und  $r_2$  an die Geraden. Dadurch ergeben sich aber, da zwischen zwei Bögen viel geringere Höhenunterschiede, als zwischen Geraden und Bögen zu überwinden sind, unnötig flache Überhöhungsrampen. Diese sind zwar erwünscht, aber nicht begründet, wenn in Regelfällen steilere angewendet werden dürfen. Von diesem Standpunkt aus muß das von Schreiber ermittelte Verfahren als zu starr angesehen werden: es fehlt die Angabe darüber, wie die Gleichungen 22) umzuwandeln wären, wenn man mit Mindestmaßen für einen Übergangsbogen auszukommen hätte.

c) Herr Oberingenieur R. Grünhut\*) liefert in seinem Aufsatz ein beachtenswertes Verfahren für die Absteckung der Übergangsbögen in Korbbögen. Es stützt sich darauf, daß zwei Kreisbögen  $r_1$  und  $r_2$  (Abb. 6) auf Grund der Parabeleigenschaften dann durch einen Übergangsbogen verbunden werden können, wenn die Berührungspunkte ihrer mit der X-Achse gleichlaufenden Tangenten um  $\Delta x = \frac{l_2 - l_1}{2}$  und

um  $\Delta y = m_2 - m_1$  verschoben sind. Diese Bedingungen scheinen über die Forderungen des Herrn Dr. Ing. Schreiber noch wesentlich hinauszugehen. Denn außer der gleichen Querverschiebung der Kreisbögen wie bei Schreiber, wird

\*) Übergang in Korbbögen, Organ 1921, Heft 23, S. 280.

auch noch eine erhebliche Längsverschiebung verlangt. Dies aber nur scheinbar. Denn ebenso wie der Bogen  $r_2$  in Abb. 6 von  $UE_2$  nach  $BE_2$  weitergeführt ist, könnte man auch den Kreisbogen  $r_1$  von  $UE_1$  gegen  $UE_2$  weiterführen. An der Stelle, wo die Verbindungslinie der Kreismittelpunkte  $C_1 C_2$  die Kreisbögen  $r_1$  und  $r_2$  schneidet, hätten diese dann einen geringsten Abstand. Wäre er gleich Null, so würden sich die Kreisbögen  $r_1$  und  $r_2$  auf der Verbindungslinie  $C_1 C_2$  im ursprünglichen Berührungspunkte berühren. Die richtige Bemessung dieses Abstandes allein muß daher maßgebend sein für die Einlegung eines Übergangsbogens von  $UE_1$  bis  $UE_2$ . Herr Grünhut spricht sich nun über die Lage des ursprünglichen Berührungspunktes nicht weiter aus; es kann aber nicht angenommen werden, daß er ihn im Falle nachträglicher Einlegung von Übergangsbögen an die Stelle  $x = \frac{1}{2}$  verlegt wissen will, da dies die nachträgliche, gewöhnlich sehr erhebliche gegenseitige Längsverschiebung der beiden Bögen  $r_1$  und  $r_2$  um  $\Delta x = \frac{l_2 - l_1}{2}$  bedingen würde. Es muß vielmehr geschlossen werden, daß Grünhut das Verfahren zur Absteckung von Neuanlagen vorschlägt, wo derartig große Verschiebungen schon im Entwurfe mit berücksichtigt werden können.

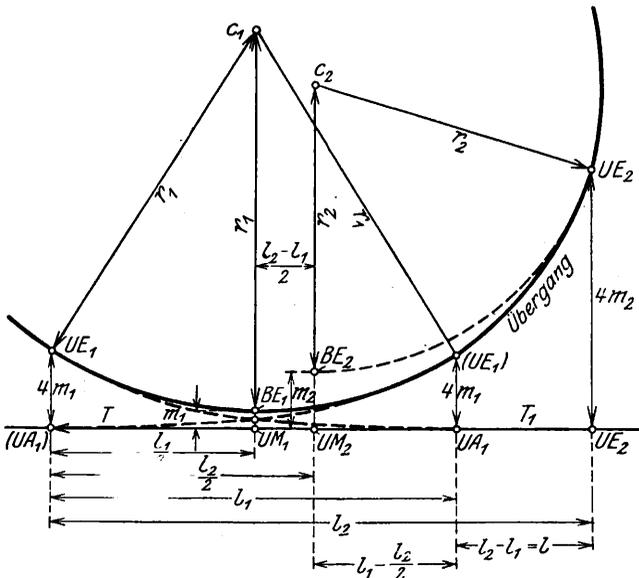


Abb. 6.

d) Herr Oberlandmesser Max Höfer\*) führt seine Untersuchungen über den Übergangsbogen auf Grund der Evolventeneigenschaften dieses Bogens. Höfer ermittelt die Bogenverschiebung mit

$$m = \frac{l^2}{24} \cdot \frac{r_1 - r_2}{r_1 r_2} \text{ Gl. 5) wie Bunzel.}$$

Er bezeichnet es als naheliegend die Länge des Stückes einer Übergangsparabel als Übergangsbogenlänge zu wählen, das an den Enden die Krümmungen  $\frac{1}{r_1}$  und  $\frac{1}{r_2}$  wie die zu verbindenden Kreise  $r_1$  und  $r_2$  und dementsprechend die Länge  $l = l_2 - l_1$  hat. Wo Vorschriften die freie Ermittlung der Übergangsbogenlänge  $l$  nicht gestatten, sondern für gewisse Halbmesserbereiche Längsstufen vorgeschrieben sind, wäre vorher der zu  $l$  gehörende Halbmesser aus der Bedingung  $r = \frac{r_1 \cdot r_2}{r_1 - r_2}$  Gl. 8) zu bestimmen. Die Lage des Übergangsbogens ergibt sich wie bei Bunzel und Schreiber

\*) Übergang zwischen Teilen von Korbboegen, Organ 1921, Heft 23, S. 298.

hältig im Bereiche der Bögen  $r_1$  und  $r_2$ , jedoch aus geometrischen Beziehungen. Die Aufstellung einer Gleichung für den Übergangsbogen kann sich Höfer sparen; er bestimmt die Evolventen der Übergangsparabel in Bezug auf die Kreisbögen  $r_1$  und  $r_2$  zeichnerisch (Abb. 7) und zählt zu diesen die entsprechenden auf die gemeinsame Berührende in Punkt W (Abb. 8) bezogenen Ordinaten des Kreisbogens  $r_1$  bzw. die des Kreisbogens  $r_2$ .

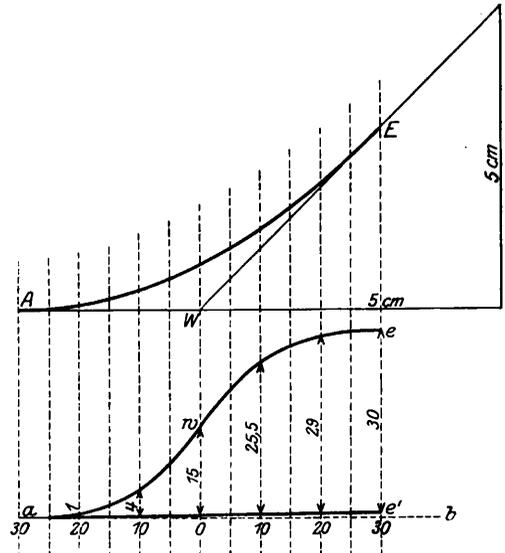


Abb. 7.

Abzustecken ist daher auf die Gerade  $W_1 W_2$ , d. h. auf die Tangente in Punkt W an den Korbboegen (Abb. 8), mit teils rechnerisch, teils zeichnerisch ermittelten Ordinaten.

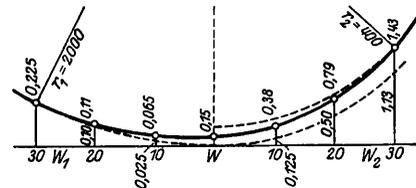


Abb. 8.

Das entwickelte Verfahren stellt eine brauchbare Lösung dar, erfordert aber das Studium der nicht ganz einfachen Theorie der Evolventen, die allerdings wegen ihrer Wichtigkeit jedem Absteckbeamten vertraut sein sollte. Einfach kann die zeichnerische Ermittlung der Teilordinaten und die Berechnung der Gesamtordinaten nicht genannt werden. Wie Höfer selbst hervorhebt, entstehen ferner bei schärfer gekrümmten Bögen Fehler, die nach Beendigung des Baues nach dem strengen Ausgleichverfahren von Nalenz beseitigt werden müssen. Wo die Grenzen der Genauigkeit liegen, gibt Höfer nicht an.

Im Taschenbuch Sarrazin-Oberbeck-Höfer der Ausgabe vom Jahr 1929 erscheint das Höfersche Verfahren wesentlich verbessert; besonders ist die zeichnerische Ermittlung von Absteckungsgrößen nicht mehr notwendig. Das Verfahren in der neuen Form zeigt das gleiche Ergebnis wie die Untersuchungen von Bunzel, aber auch deren Nachteile.

## II. Entwicklung zweier neuer Verfahren.

Von den beiden in nachstehenden Untersuchungen begründeten Absteckungsverfahren stützt sich das eine wie bei Höfer auf die Zulässigkeit Bogenpunkte flacher Krümmungen mit Evolventen, d. h. mit den Längen der Abwicklungswege dieser Bogenpunkte bei Abwicklung der Krümmung auf die Absteckungsachse abzustecken, das andere auf bekannte bei

der Herstellung gewöhnlicher Übergangsbögen allgemein verwendete geometrische Beziehungen.

**a) 1. Verfahren: Absteckung des Übergangsbogens mit Evolventen, ausgehend entweder von einer Tangente an die Parabel oder von einer Tangente an den Korbbogen.**

**1. Die Länge  $l_0$  des Übergangsbogens.**

Die Oberbauvorschriften der Deutschen Reichsbahn-Gesellschaft bringen in Anlage 10 eine Tabelle von Maßen zur Absteckung der Übergangsbögen für die Überleitung der Kreisbögen in die Geraden. Die vorgeschriebenen Längen  $l$  der Übergangsbögen sind auf volle 10 m aufgerundet. Die für sie vorgesehenen Überhöhungsrampen verflachen sich mit fortschreitender Geschwindigkeit und bei Halbmessern über 1000 m bei der gleichbleibenden Höchstgeschwindigkeit von 120 km/h auch mit wachsenden Halbmessern. Die Längen  $l$  sind Regellängen, doch dürfen in Anpassung an die in Frage kommenden höchsten Geschwindigkeiten auch Übergangsbögen von geringerer Länge und steileren Rampen unter Verwendung von Mindestrampenverhältnissen angewendet werden.

Demnach ermöglichen die Vorschriften die freie Ermittlung der Übergangsbogenlängen aus Überhöhungen und Rampenneigungen und damit die Wahl der nach den örtlichen Verhältnissen jeweils geeignetsten und möglichen Formen für die Übergangsbögen.

Es dürfte keinem Zweifel unterliegen, dass diese Grundsätze auch bei der Längenbestimmung der Übergangsbögen in Korbbögen angewendet werden können und daß für diese

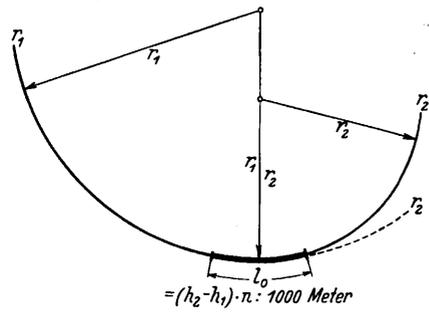


Abb. 9.

Übergangsbögen auch nur die derzeit oder die etwa künftig zu berücksichtigenden Höchstgeschwindigkeiten mit den für sie geltenden oder zulässigen Rampenneignungsverhältnissen in Betracht zu ziehen sind. Daraus würde folgen, daß die Länge eines Übergangsbogens auch unabhängig von seiner Gestalt

aus den Überhöhungsunterschieden der durch den Übergangsbogen zu verbindenden Kreisbögen  $r_1$  und  $r_2$  und aus einem geeigneten Rampenneignungsverhältnis bestimmt werden kann zu

$$l_0 = (h_2 - h_1) n : 1000 \text{ (Meter)},$$

wenn man den Überhöhungsunterschied in Millimeter mit  $h_2 - h_1$  und die Rampenneigung mit  $1:n$  bezeichnet (Abb. 9).

Man betrachtet jedoch die Übergangsbogenlänge  $l_0$  besser im Zusammenhange mit der Länge des Übergangsbogens für den schärfer gekrümmten Kreisbogen  $r_2$ , da die Länge  $l_0$  als Teil dieses Übergangsbogens für den Anschluß an die Gerade ermittelt werden kann.

Die Gleichung des Übergangsbogens für den Kreisbogen  $r_2$  lautet wie bekannt

$$\text{Gl. 1) } \dots y = \frac{x^3}{6 l_2 r_2} \text{ oder mit } f_2 = \frac{l_2^2}{24 r_2}$$

$$\text{Gl. 2) } \dots y = 4 f_2 \left( \frac{x}{l_2} \right)^3.$$

Die Krümmungshalbmesser dieses Übergangsbogens ändern sich für  $x=0$  bis  $x=l_2$  von  $\rho = \infty$  bis  $\rho = r_2$  stetig. An beliebiger Stelle  $x=l_1$  ist der Krümmungshalbmesser  $\rho = r_1$ . Das zwischen den Punkten  $x=l_1$  und  $x=l_2$  liegende Parabelstück kann daher, da an jeder Stelle des Übergangsbogens die der Krümmung entsprechende Gleisüberhöhung vorhanden ist, den Übergang zwischen den Kreisbögen  $r_1$

und  $r_2$  vermitteln. Seine Länge beträgt  $l_0 = l_2 - l_1$ ; in dieser Gleichung wäre die Unbekannte  $l_1$  als dem zweiten bekannten Halbmesser  $r_1$  zugehörig aus Gl. 1) zu bestimmen. Mit der Näherungsgleichung für die Krümmung in einem Parabelpunkte

$$\frac{1}{\rho} = \frac{1}{d^2 y} = \frac{x}{l_2 \cdot r_2} \text{ wird}$$

$$\text{für } x = l_1 \quad \frac{1}{r_1} = \frac{l_1}{l_2 r_2} \text{ und damit}$$

$$\text{Gl. 3) } \dots l_1 = \frac{r_2}{r_1} l_2$$

Somit ergibt sich die für die Überwindung des Unterschiedes in den Überhöhungen der Kreisbögen  $r_1$  und  $r_2$  erforderliche Entwicklungslänge  $l_0$  der Übergangsparabel zu

$$\text{Gl. 4) } \dots l_0 = l_2 - l_1 = l_2 - \frac{r_2}{r_1} l_2.$$

**2. Die Verschiebung  $f_0$  der den Korbbogen bildenden Kreisbögen  $r_1$  und  $r_2$ .**

Zum besseren Verständnis der späteren Ableitung der Gleichung für den Übergangsbogen sei die im Aufsatz von Höfer ähnlich durchgeführte Berechnung der Bogenverschiebung  $f_0$  ausführlicher vorgenommen. Die Grundlage für die Berechnung bildet die Betrachtung des Abwicklungsweges des Parabelendpunktes  $C''$  (Abb. 10), der bei der Abwicklung auf eine den Korbbogen und die Parabel in Punkt A berührende X-Achse beschrieben wird. Die Evolventen E der Kreispunkte der Kreise  $r_1$  und  $r_2$ , die sich in Punkt B berühren, sind für beliebige, diese Kreisbögen berührende Achsen.

$$E_{r_1} = \frac{x^2}{2 r_1} = \frac{x}{2} \cdot \frac{x}{r_1}$$

und

$$E_{r_2} = \frac{x^2}{2 r_2} = \frac{x}{2} \cdot \frac{x}{r_2}.$$

Für eine beliebige Abwicklungsstrecke  $x$  wären sie daher darstellbar als die Inhalte der Dreiecke  $A G F_1$  und  $A G F_2$  der Abb. 11. Der Abwicklungsweg  $C''' C'$  des Punktes  $C'''$  in Abb. 10 ist also gleich dem Inhalte des Dreieckes  $A C' D_1$  in Abb. 11, der Abwicklungsweg  $C C''$  des Punktes C des Korbbogens gleich dem Inhalte des Dreieckes  $B D_1 C$  und der Weg  $C C'$  gleich der Summe dieser Wege, also gleich der Fläche  $A C' C'' B$ , wobei zu bemerken ist, daß in Abb. 10 die Abwicklungswegen verzerrt erscheinen. An sich müßte die Bogenlänge  $AC''$  gleich  $l_0$  sein.

Verschiebt man nun in Abb. 10 den Bogenteil  $BC$  des in Punkt B gehälfteten Korbbogens um das Maß  $f_0$  in die Lage  $B'' C''$  und verbindet den Punkt  $C''$  mit dem Punkt A durch eine Parabel dritten Grades in Bezug auf die Kreise  $r_1$  und  $r_2$ , so lassen die schraffierten Teile der Abb. 10 erkennen, daß sich die Abwicklungswegen der Parabelpunkte bis zur Stelle  $B'' B$  in Bezug auf die Wege der Kreispunkte des Kreisbogens  $r_1$  von A bis B stetig vergrößern und in Bezug auf die Wege der Kreispunkte des Kreisbogens  $r_2$  von  $B''$  bis  $C''$  stetig verkleinern. Dies drückt sich in der Darstellung der Evolventen als Flächen in Abb. 11 durch die schraffierten Flächen  $A B B''$  und  $B B'' C''$  aus, die nach oben von einer Parabel zweiten Grades begrenzt werden, wobei diese Parabel  $A B'' C''$  die Geraden  $AB$  und  $BC$ , welche die Krümmungen der Kreise  $r_1$  und  $r_2$  kennzeichnen, berührt. Der Weg des Parabelendpunktes  $C''$  hat daher die Flächengröße  $A C' C'' B''$  und da der Abwicklungsweg  $C C'$  gleich der Fläche  $A C' C'' B$  war, so ist  $C'' C' - C C' = C'' C = f_0$  mithin gleich der Größe der schraffierten Fläche  $A B C B''$  in Abb. 11. Die nähere Begründung über die Darstellung der Evolventen als Flächen findet sich in dem bekannten Buch von Max Höfer.



lautet in Bezug auf die an die Parabel im Punkte mit der Krümmung  $\frac{1}{r_1}$  gelegte Tangente

$$\text{Gl. 9) } \dots \dots \dots y = \frac{x^2}{2r_1} + 4f_0 \left(\frac{x}{l_0}\right)^3.$$

Dies gilt auch für die im Nullpunkt der Parabel gezogene Tangente, d. h. für die X-Achse, denn wird  $r_1 = \infty$  und  $l_0 = l_2$ , so erhält man die Gleichung  $y = 4f_2 \left(\frac{x}{l_2}\right)^3$ , da  $\frac{x^2}{2r_1} = 0$  wird. Hiervon kann man sich auch überzeugen, wenn man die Parabelgleichung, wie unter II, 3 beschrieben, aus der Gleichung  $x^2 = 2p y_2$  (Gl. 7) ableitet. Wenn nämlich mit Bezug auf Abb. 11 die Gerade  $AD_1$  die Beziehung  $\frac{x}{\infty}$  und die

Gerade BC die Beziehung  $\frac{x}{r_2}$  darstellt, so ist, da  $l_0 = l_2$  wird,  $4h = \frac{l_2}{2r_2}$  und  $2p = \frac{l_2^2}{4h}$ , womit  $y_2 = \frac{x^2}{2p} = \frac{x^2}{l_2^2} \cdot 4h = \frac{x^2}{l_2^2} \cdot \frac{l_2}{2r_2}$  wird.

Durch Integration dieser Gleichung findet man dann

$$y_2 = \frac{x^3}{3 \cdot 2} \cdot \frac{l_2}{l_2^2 r_2} = \frac{x^3}{6 l_2 r_2} = 4f_2 \left(\frac{x}{l_2}\right)^3.$$

Auf Grund dieser Feststellungen kann man die Gl. 9) auch als Polargleichung mit dem Krümmungsmittelpunkt des Krümmungskreises  $r_1$  als Pol ( $O_1$  in Abb. 12) und dem Krümmungshalbmesser  $r_1$  als Polarachse schreiben

$$\text{Gl. 10) } \dots \dots \dots r = r_1 - 4f_0 \left(\frac{\varphi}{l_0}\right)^3,$$

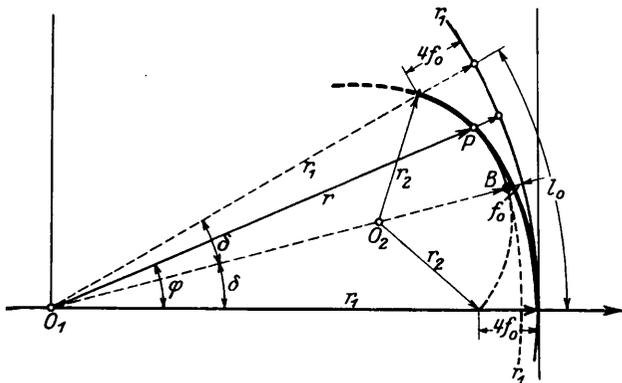


Abb. 12.

weil dabei das erste Glied der Gl. 9 unberücksichtigt bleiben und das zweite Glied auf dem Kreis  $r_1$  senkrecht stehende Ordinaten darstellen kann.

Die ermittelten allgemeinen Eigenschaften treten dann noch deutlicher in Erscheinung. Abb. 12 zeigt auch, daß bei einem Übergangsbogen die Untersuchungslänge  $l_0$  im Rahmen der Länge  $l_2$  des Übergangsbogens für den Kreisbogen  $r_2$  beliebig geändert werden kann, entweder durch Betrachtung neuer Halbmesser oder durch die Änderung der Länge  $l_0$  selbst.

Wichtig ist festzustellen, daß die Gleichungen 9) und 10) über die gegenseitige Lage zweier Kreisbögen  $r_1$  und  $r_2$ , die auch durch eine Parabel dritten Grades von der Länge  $l_0$  verbunden sind, völlige Klarheit schaffen und die Absteckung dieser Parabel von einer Tangente aus so einfach gestalten, wie die Absteckung der mit  $\varrho = \infty$  beginnenden Parabel von der X-Achse aus.

Es muß auffallen, daß die aus den rein geometrischen Beziehungen der Abb. 11 abgeleitete Gleichung  $y = 4f_0 \left(\frac{x}{l_0}\right)^3$

(zweites Glied der Gleichung 9) im Aufbau übereinstimmt mit der aus Gleichgewichtsbedingungen hergeleiteten Gleichung  $y = 4f_2 \left(\frac{x}{l_2}\right)^3 = \frac{x^3}{6l_2 r_2}$  für die X-Achse der Parabel.

Dies erklärt sich aus folgendem:

- wenn  $v$  die Geschwindigkeit in m/sec.,
- $1:n$  das Neigungsverhältnis der Rampe,
- $g$  die Erdbeschleunigung,
- $s$  die Spurweite,
- $h$  die Gleisüberhöhung,
- $1:\varrho$  die Krümmung im Gleisbogen und
- $x$  die Gleisstrecke

bedeutet, dann ist (nach Sarrazin und Oberbeck S. 23):

$h = \frac{x}{n}$  und ebenso  $h = \frac{sv^2}{g\varrho}$  wegen der Gleichgewichtsbedingungen mit Rücksicht auf die Fliehkraft. Daher wird  $\frac{x}{n} = \frac{sv^2}{g\varrho}$  oder  $\frac{1}{\varrho} = \frac{g \cdot x}{sv^2 n}$ .

$\frac{1}{\varrho}$ , die Krümmung in einem Kurvenpunkt, ist allgemein

annähernd  $\frac{1}{\varrho} = \frac{d^2y}{dx^2}$ , daher

$$\begin{aligned} \frac{d^2y}{dx^2} &= \frac{g \cdot x}{s v^2 n} = \frac{x}{P} \\ \frac{dy}{dx} &= \frac{x^2}{2P}, \\ \text{und } y &= \frac{x^3}{6P}. \end{aligned}$$

Für  $x = l_2$  und  $\varrho = r_2$  wird  $\frac{1}{\varrho} = \frac{1}{r_2} = \frac{l_2}{P}$ ; damit  $P = l_2 r_2$

und endlich  $y = \frac{x^3}{6l_2 r_2}$ .

Aus dieser Ableitung folgt nun, daß die gewöhnliche Auffassung, in der Gleichung  $y = \frac{x^3}{6l_2 r_2}$  seien die Längenwerte  $x$  in Richtung der X-Achse und die Längenwerte  $y$  in Richtung der Y-Achse gemessen, zu Unrecht besteht, weil zur Ableitung der Formel die Beziehung  $h = \frac{x}{n}$  gedient hat und dementsprechend die  $x$ -Wege auf der Gleisbahn bedeuten; damit wird aber die allgemeine Parabelgleichung zu einer Gleichung für ihre Evoluten. Schließlich ergibt sich noch, daß die durch den Wert  $P$  ausgedrückten Gleichgewichtsbedingungen durch die geometrische Größe  $l_2 \cdot r_2$

ersetzt werden können und daß der Faktor  $\frac{1}{6}$  bei der Ableitung der Parabelgleichung durch mehrfache Differenziation entstanden ist. Die gleichen Feststellungen lassen sich aber für die Ableitung der Gl. 9) unter Verwendung der Abb. 11 machen.

#### 4. Die Absteckungsachsen und Absteckungsformeln (Abb. 13).

Man steckt entweder auf die in Abb. 13 dargestellte B-Achse oder A-Achse ab. Beide Achsen werden mit Hilfe des Punktes B gefunden und zwar die B-Achse als Berührende im Berührungspunkt der Kreisbögen  $r_1$  und  $r_2$  oder als Parallele hinzu, die A-Achse durch Abtragung von  $\frac{l_0}{4}$  auf der B-Achse von Punkt B aus und Verschwenkung der B-Achse in Punkt D um den Winkel  $\alpha$ . Dabei ist zu berücksichtigen, daß der Punkt B mit dem in der Natur vorhandenen Berührungspunkt der Bögen  $r_1$  und  $r_2$  nur dann zusammenfällt, wenn der Bogen  $r_2$  um den ganzen Betrag  $f_0$  nach dem Mittelpunkt verschoben wird. Wenn nur ein Teil dieser Verschiebung in Frage kommt, so rückt Punkt B um den entsprechenden

Restbetrag von  $f_0$  vom ursprünglichen Berührungspunkt nach außen ab. Dieser Restbetrag kann auch gleich dem ganzen Betrag  $f_0$  werden, wenn der Bogen  $r_1$  um diesen Betrag nach außen gerückt werden muß.

Die möglichen Verschiebungen hängen von den örtlichen Verhältnissen ab. Sind die von Bunzel angegebenen Bogenverschiebungen (Abb. 2) nicht durchführbar, weil gleichzeitig auch die Übergänge an den Enden des Korbbogens zu ändern sind, dann müssen auch die Halbmesser geändert werden\*).

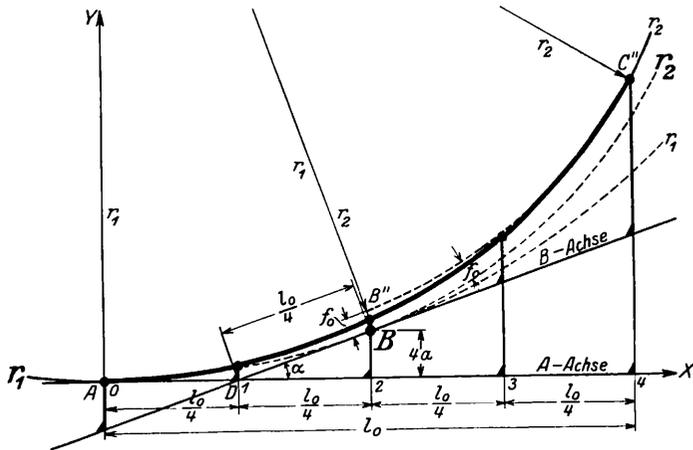


Abb. 13.

All diese Fragen, die im vorliegenden Aufsatz außerhalb der Betrachtung liegen sollen, müssen geklärt sein, bevor man die nachstehend zusammengestellten Formeln anwenden kann.

Mit Bezug auf Abb. 13, in welcher  $r_1 > r_2$  dargestellt ist, ergibt sich:

$$1. \quad l_0 = l_2 - \frac{r_2}{r_1} l_2,$$

worin  $l_2$  die Länge des Übergangsbogens für den Anschluß des Bogens  $r_2$  an die Gerade bedeutet. Wird  $l_0$  als unrunde Zahl gefunden, so kann man aus Schönheitsgründen  $l_0$  ohne weiteres aufrunden; dies ist dann gleichbedeutend mit entsprechender Verflachung der Überhöhungsrampe.

$$\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} = \frac{l_0}{4 r_1}$$

$$2. \quad \operatorname{tg} \alpha = \frac{l_0}{2 r_1} \quad (\text{nur zur Herstellung der A-Achse benötigt})$$

$$3. \quad f_0 = \frac{l_0^2}{24} \cdot \frac{r_1 - r_2}{r_1 r_2}$$

$$y = \frac{x^2}{2 r_1} + 4 f_0 \left( \frac{x}{l_0} \right)^3$$

oder in der Form für leichtere Berechnung der Werte von  $y$

$$y = \left( \frac{4 x}{l_0} \right)^2 \frac{l_0^2}{32 r_1} + \left( \frac{4 x}{l_0} \right)^3 \frac{f_0}{16}$$

$$\text{und mit } 4. \quad \frac{l_0^2}{32 r_1} = a \quad \text{und} \quad \frac{f_0}{16} = b$$

$$y = \left( \frac{4 x}{l_0} \right)^2 a + \left( \frac{4 x}{l_0} \right)^3 b.$$

Damit ergeben sich für die Viertelpunkte der Länge  $l_0$ , die gewöhnlich für die Herstellung und Versteinung der Parabel ausreichen, folgende Werte von  $y$ :

\*) Über die mühelose Bestimmung von Halbmessern bei gleichzeitiger Anpassung an die Obv. erscheint demnächst vom Verfasser ein Aufsatz.

5. Bei Absteckung auf die A-Achse mit Viertelpunkten von A aus gemessen und mit senkrechten Höhen auf die A-Achse (Abb. 13).

$$\begin{aligned} \text{Gl. 11) für } x_0 &= 0 \cdot l_0/4 & y_0 &= 0 a + 0 b \\ x_1 &= 1 \cdot l_0/4 & y_1 &= 1 a + 1 b \\ x_2 &= 2 \cdot l_0/4 & y_2 &= 4 a + 8 b \\ x_3 &= 3 \cdot l_0/4 & y_3 &= 9 a + 27 b \\ x_4 &= 4 \cdot l_0/4 & y_4 &= 16 a + 64 b. \end{aligned}$$

(Die Faktoren für die  $1/8$ -Zwischenpunkte lauten 0,25, 2,25, 6,25, 12,25 bzw. 0,125, 3,375, 15,625, 42,875.)

6. Bei Absteckung auf die B-Achse mit Viertelpunkten von B aus gemessen und senkrechten Höhen auf die B-Achse (Abb. 13).

$$\begin{aligned} \text{Gl. 12) für } x_0 &= 0 \cdot l_0/4 & y_0 &= 4 a + 0 b \\ x_1 &= 1 \cdot l_0/4 & y_1 &= 1 a + 1 b \\ x_2 &= 2 \cdot l_0/4 & y_2 &= 0 a + 8 b \\ x_3 &= 3 \cdot l_0/4 & y_3 &= 1 a + 27 b \\ x_4 &= 4 \cdot l_0/4 & y_4 &= 4 a + 64 b. \end{aligned}$$

(Die Faktoren für die  $1/8$ -Zwischenpunkte lauten 2,25, 0,25, 0,25, 2,25 bzw. wie bei Gl. 11).

Die Gl. 12) ergibt sich aus den Werten der Gl. 11) nach Abzug der zwischen der A-Achse und der B-Achse liegenden Ordinatenstücke. Diese betragen, wie der Abb. 13 unmittelbar entnommen werden kann:  $-4 a$ ,  $+0 a$ ,  $+4 a$ ,  $+8 a$  und  $+12 a$ ; sie ergeben sich auch rechnerisch aus der Beziehung

$$\begin{aligned} y: \frac{l_0}{4} &= \operatorname{tg} \alpha = \frac{2 l_0}{4 r_1} \\ y &= \frac{2 l_0^2}{16 r_1} = \frac{2 l_0^2}{16 r_1} \cdot \frac{2}{2} = 4 a. \end{aligned}$$

Die Werte  $y$  der Gleichungen 11) und 12) stellen an sich Abwicklungswege dar, die im Abstände  $\frac{l_0}{4}$  zueinander parallel laufen (daher auch die zeichnerischen Verzerrungen in Abb. 13); je kürzer diese Wege sind, desto mehr fallen sie mit den senkrecht stehenden Höhen  $y$  von gleicher Länge zusammen. Die B-Achse hat von der Parabel  $A B'' C''$  die kürzeren Abstände; die Gleichungen 12) liefern daher das bessere, gleichzeitig auch einfachere Absteckungsverfahren. Mitunter können aber örtliche Verhältnisse die Anwendung der Gleichungen 11) vorteilhaft erscheinen lassen.

b) 2. Verfahren: Absteckung unter Verwendung der Ordinaten  $y = 4 f_2 \left( \frac{x}{l_2} \right)^3$  auf eine Parallele zur X-Achse.

1. Ableitung des Verfahrens.

Die folgende Ableitung gründet sich auf die Lagenbestimmung der Parabelendpunkte A und C'' durch Winkelangaben. In Abb. 14 bedeutet:  $r_1$  und  $r_2$  die Halbmesser und Kreisbögen der sich in Punkt B berührenden Kreisbögen eines Korbbogens, A' A B'' C'' den Verlauf des Übergangsbogens des schärfer gekrümmten Kreisbogens  $r_2$  für den Anschluß an die Gerade, A einen Punkt dieses Übergangsbogens mit dem Krümmungshalbmesser  $\rho = r_1$ ,  $l_1$  die Abszisse dieses Punktes,  $\alpha$  und  $\gamma$  die Winkel, welche die Berührenden in A und C'' an die Parabel mit deren X-Achse einschließen und  $f_0$  das erforderliche Maß für die Verschiebung der Bögen  $r_1$  und  $r_2$  zur Einlegung des Übergangsbogens A B'' C''.

Es ist Winkel  $G O_1 A = \alpha$

„  $H O_2 C'' = \gamma$

„  $H O_2 B = G O_1 B = 2 \beta$

hieraus „  $A O_1 B = B O_1 C'' = 2 \beta - \alpha$

„  $B O_2 C'' = \gamma - 2 \beta$

Die Winkel  $2\beta - \alpha$  und  $\gamma - 2\beta$  legen die Punkte A und C'' der Parabel in Bezug auf den Punkt B fest. Sie lassen sich leicht berechnen. Mit bekannten Näherungsformeln für die Parabel ergibt sich für die Winkel  $\alpha$  und  $\gamma$

$$\operatorname{tg} \alpha = y : \frac{x}{3} = \frac{4 f_1}{\frac{1}{3} l_1} = \frac{4 f_2 \left( \frac{l_2 r_2}{l_2 r_1} \right)^3}{\frac{1}{3} l_2 \frac{r_2}{r_1}}$$

Gl. 13) . . .  $\operatorname{tg} \alpha = 12 \frac{f_2}{l_2} \left( \frac{r_2}{r_1} \right)^2 = \frac{1}{2} \cdot \frac{r_2}{r_1^2} l_2$

$$\operatorname{tg} \gamma = y : \frac{x}{3} = \frac{4 f_2}{\frac{1}{3} l_2}$$

Gl. 14) . . . . .  $\operatorname{tg} \gamma = 12 \frac{f_2}{l_2} = \frac{1}{2} \cdot \frac{l_2}{r_2}$

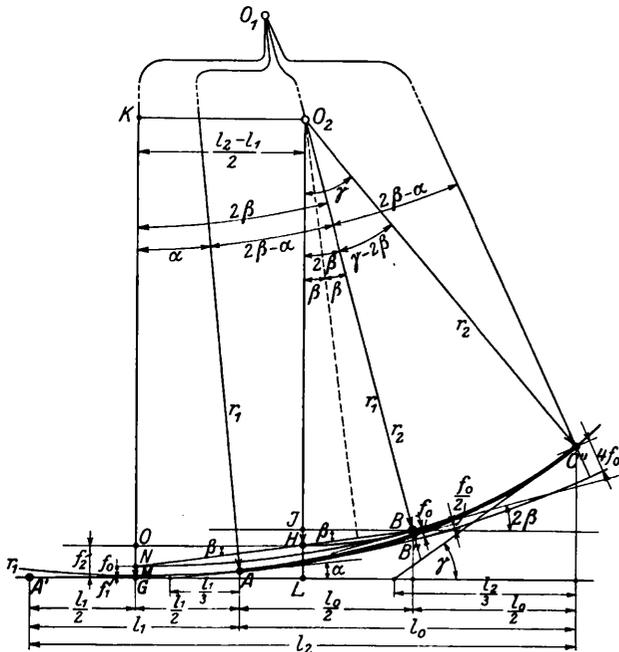


Abb. 14.

Der Winkel  $2\beta$  ist ein Hilfswinkel. Er beschreibt die Lage des Berührungspunktes B des Korbogens zur Senkrechten auf die X-Achse an der Stelle  $x = \frac{l_2}{2}$  durch den Abstand J B, den der Punkt B von dieser Senkrechten hat. Es ist

Gl. 15) . . . . .  $\frac{J B}{r_2} = \sin 2\beta$ .

Aus der Ähnlichkeit der Dreiecke  $K O_1 O_2$  und  $J O_2 B$  folgt, da  $K O_2 = \frac{l_2}{2} - \frac{l_1}{2}$  ist,  $2 \frac{J B}{l_2 - l_1} = \frac{r_2}{r_1 - r_2}$ ; daraus  $J B = \frac{r_2 (l_2 - l_1)}{2 (r_1 - r_2)}$ . Endlich mit Gl. 15

Gl. 16) . .  $\sin 2\beta = \frac{1}{2} \frac{(l_2 - l_1)}{(r_1 - r_2)} = \frac{1}{2} \frac{l_0}{(r_1 - r_2)}$ .

Mit Hilfe der in den Gleichungen 13), 14) und 16) berechneten Winkeln und dem bekannten Maß für die Bogenverschiebung  $f_0$  könnten die Parabelpunkte A, B'' und C'' unter Verwendung der allgemeinen Beziehung  $t = r \operatorname{tg} \frac{w}{2}$  bereits abgesteckt werden. Dagegen ergäbe sich hieraus für die Zwischenpunkte der Parabel noch kein Anhalt.

Beliebige Parabelpunkte lassen sich aber abstecken, wenn man die X-Achse der Parabel (für den Kreis  $r_2$ ) als Ab-

steckungsachse wählt. Der Abb. 14 ist zu entnehmen, daß diese zur Berührenden an den Korbogen in Punkt B unter dem bekannten Winkel  $2\beta$  geneigt ist und von der Linie J B den Abstand J L hat, der sich wie folgt annähernd berechnet:

$$J L = J H + H L = \frac{J B^2}{2 r_2} + f_2 = \left( \frac{r_2 (l_2 - l_1)}{2 (r_1 - r_2)} \right)^2 \frac{1}{2 r_2} + f_2$$

oder

$$J L = \frac{r_2}{8} \left( \frac{l_2 - l_1}{r_1 - r_2} \frac{r_2}{r_1} \right)^2 + f_2.$$

Damit wären die Größen, die für die Absteckung der X-Achse aus erforderlich sind, berechnet.

Es sei noch angefügt, daß sich die Bogenverschiebung  $f_0$ , die bei II a aus Evolventeneigenschaften abgeleitet wurde, auch geometrisch erfassen und als Teil der Bogenverschiebung  $f_2$  darstellen läßt.

Nach Abb. 14 ist Winkel  $O H N = J B H = \beta$

$$O N = O H \operatorname{tg} \beta = \frac{l_2 - l_1}{2} \operatorname{tg} \beta$$

$$\begin{aligned} N M &= f_0 \\ M G &= f_1 \\ G O &= f_2. \end{aligned}$$

Damit ergibt sich

Gl. 17) . . .  $f_0 = f_2 - f_1 - O N$  oder  $f_0 = \frac{l_2^2}{24 r_2} - \frac{l_1^2}{24 r_1} - \frac{l_2 - l_1}{2} \operatorname{tg} \beta$ .

Dies läßt sich aus Abb. 14 unmittelbar entnehmen. Gl. 17) liefert mit sehr starker Annäherung die gleichen Werte wie Gl. 5) unter II a. Man wird daher stets nur die einfache Gl. 5) für die Berechnung von  $f_0$  anwenden.

2. Die Absteckungsachse und die Absteckungsformeln (Abb. 15).

Als Absteckungsachse wählt man zweckmäßig nicht die X-Achse, sondern die Parallele zu ihr durch den Berührungspunkt B der Kreisbögen des Korbogens. Die Ordinaten wären dann um den Abstand J L zu kürzen (Abb. 15). Die Absteckungsachse J B P findet man durch Herstellung der Berührenden in Punkt B und durch Verschwenkung um den Winkel  $2\beta$ ; wie bei II a Ziffer 4 beschrieben, ist aber die Lage des Punktes B zum Berührungspunkt der Kreise  $r_1$  und  $r_2$  vorher zu ermitteln. Von B aus trägt man dann auf der Absteckungsachse die Strecke J B von Punkt B aus ab und findet damit in Punkt J die Stelle der Absteckungsachse, an der die Abszisse  $x = \frac{l_2}{2}$  ist. Von Punkt J haben die Endpunkte

der Parabel A und C'' die Abstände  $J A'' = \frac{l_2}{2} - l_1$  und

$J P = \frac{l_2}{2}$ . Als Zwischenpunkte für die Absteckung wählt man die in Anlage 10 der Oberbauvorschriften der Deutschen Reichsbahn-Gesellschaft vorgesehenen Achtelspanne der Länge  $l_2$ .

Zur Berechnung der Absteckungsgrößen dienen die nachstehend zusammengestellten Formeln:

1.  $l_0 = l_2 - l_2 \frac{r_2}{r_1}$ .
2.  $f_0 = \frac{l_0^2}{24} \frac{r_1 - r_2}{r_1 r_2}$ .
3.  $\sin 2\beta = \frac{l_0}{2 (r_1 - r_2)}$ .
4.  $J B = r_2 \cdot \sin 2\beta$ .

5. 
$$J L = \frac{J B^2}{2 r_2} + f_2 = \frac{r_2}{2} \cdot \left( \frac{l_0}{2(r_1 - r_2)} \right)^2 + \frac{l_2^2}{24 r_2}$$
 Nach Anlage 10 der Obv. vom 1. 1. 28 ist  $y = c \cdot f$ , daher im vorliegenden Falle

6.  $y = c f_2 - J L$   
und somit für

$x_1 = 1/8 l_2$	$y_1 = 0.0078 f_2 - J L$
$x_2 = 2/8 l_2$	$y_2 = 0.0625 f_2 - J L$
$x_3 = 3/8 l_2$	$y_3 = 0.2109 f_2 - J L$
$x_4 = 4/8 l_2$	$y_4 = 0.5000 f_2 - J L$
$x_5 = 5/8 l_2$	$y_5 = 0.9766 f_2 - J L$
$x_6 = 6/8 l_2$	$y_6 = 1.6876 f_2 - J L$
$x_7 = 7/8 l_2$	$y_7 = 2.6797 f_2 - J L$
$x_8 = 8/8 l_2$	$y_8 = 4.0000 f_2 - J L$

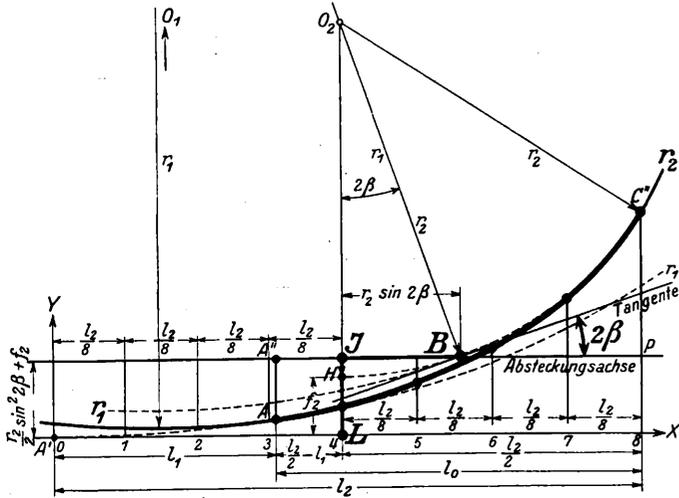


Abb. 15.

Will man die Übergangsbogenlänge  $l_0$  in  $n$  gleiche Teile zerlegen, um nach  $n$ -Teilen versteinen zu können, so berechnen sich die Ordinaten für diese Teilpunkte aus der Formel

Gl. 18) . . . 
$$y = 4 f_2 \left( \frac{l_2 \frac{r_2}{r_1} + z \frac{l_0}{n}}{l_2} \right)^3 - J L,$$

wo  $z$  die Zahlen von 1 bis  $n$  durchläuft.

**III. Einiges über die Genauigkeit der Absteckungsverfahren.**

Am Schlusse des Abschnittes IIa wurde schon bemerkt, daß die Absteckung des Übergangsbogens von der B-Achse aus genauer ist, als die Absteckung mit Hilfe der A-Achse, der Tangente im Anfangspunkt A an die Parabel AC'' (Abb. 13). Da aber die Gleichung der Parabel in Bezug auf diese Tangente

Gl. 9) . . . . 
$$y = \frac{x^2}{2 r_1} + 4 f_0 \left( \frac{x}{l_0} \right)^3$$

allgemein gültig ist, also auch für die X-Achse des Übergangsbogens für die Überleitung des Kreises in die Gerade, so kann auch die Absteckung von der A-Achse aus niemals ungenauer sein, als die übliche und befriedigende Absteckungsweise für gewöhnliche Übergangsbögen. Sie wird im Gegenteil genauer insofern, als die abgesteckte Kurve sich mit abnehmender Länge  $l_0$  mehr und mehr der Form des Übergangsbogens nähert, welche die Gleichgewichtsbedingungen im Übergangsbogen auch theoretisch erfüllt. Die „Schärfe“ der Krümmungen beeinträchtigt also die Güte der Absteckung nicht; dies gilt auch für das von Höfer angegebene im Abschnitt I beschriebene Verfahren, vorausgesetzt, daß man nicht auch die Absteckung normaler Übergangsbögen mit Evolventen als ungenau bezeichnen will.

Die Absteckung nach dem in Abschnitt IIb (Abb. 15) entwickelten Verfahren bietet entsprechend der Herleitung des Verfahrens die gleiche Genauigkeit wie die Absteckung gewöhnlicher Übergangsbögen.

**IV. Zusammenfassung der Untersuchungsergebnisse.**

Die Untersuchungsergebnisse sind überraschend einfach. Sie drängen sich zusammen für den Abschnitt IIa in den Formeln unter Ziffer 1 bis 6 auf Seite 516 und für den Abschnitt IIb in den Formeln unter Ziffer 1 bis 6 auf Seite 517 und 518.

Im Abschnitt IIa gipfelt die Untersuchung in der Aufstellung der Gleichung für den Übergangsbogen (Gl. 9) (Seite 514) in Bezug auf die X-Achse der Abb. 13

$$y = \frac{x^2}{2 r_1} + 4 f_0 \left( \frac{x}{l_0} \right)^3.$$

Diese Gleichung ermöglicht beim Vergleich des Gliedes  $4 f_0 \left( \frac{x}{l_0} \right)^3$

mit der Gleichung  $Y = 4 f \left( \frac{x}{1} \right)^3$  für gewöhnliche Übergangsbögen

eine klare Vorstellung von der Form und Lage der Übergangsbögen in Korbbögen und eine ebenso klare wie einfache Berechnung der Ordinaten der Übergangsbogenpunkte. Was die Absteckung der Übergangsbögen betrifft, so erweisen sich die in Abb. 13 dargestellten Achsen A und B als sehr bequeme Hilfsmittel. Von den beiden Achsen ist jedoch der B-Achse der Vorzug zu geben, weil ihre Richtung parallel zur Tangente im ursprünglichen Berührungspunkte der Bögen des Korbbogens ist und daher gewöhnlich festliegt und weil auch die Ordinatenberechnung für diese Achse sich etwas einfacher gestaltet. Bemerkenswert ist die Darstellung der Gl. 9) in der allgemeinen Form

$$y = \left( \frac{4 x}{l_0} \right)^2 a + \left( \frac{4 x}{l_0} \right)^3 b \quad (S. 516)$$

und die sich daraus ergebenden höchst einfachen und leicht einprägbaren Gleichungen 11) und 12) (S. 516) zur Berechnung der Viertels- oder Achtelpunkte der Übergangsbögen. Damit dürfte für die Berechnung und Absteckung von Übergangsbögen in Korbbögen (Abb. 13) ein Verfahren gefunden sein, welches nicht nur ebenso anschaulich ist, wie das Verfahren für die Absteckung und Berechnung gewöhnlicher Übergangsbögen, sondern auch ebenso einfach und zielsicher in der Durchführung, sobald festliegt, in welcher Richtung man die im Halbmesser meist zu ändernden Bögen eines Korbbogens verschieben will und in welcher Gesamtgröße man diese Verschiebung vorzunehmen hat. Die Bogenverschiebung  $f_0$  ergibt sich dabei annähernd aus der Größe der vorhandenen Halbmesser; der oder die neuen Halbmesser des Korbbogens sowie der endgültige Wert von  $f_0$  aus dem angenähert berechneten Wert von  $f_0$ .

Ergibt sich in der Anfangsberechnung  $f_0$  kleiner als 2 cm, so kann man unbedenklich auf die Einlegung eines Übergangsbogens verzichten. In solchen Fällen empfiehlt sich aber Anfang, Mitte und Ende der Überhöhungsrampe zu versteinen, wobei als Mitte der Rampe der Bogenberührungspunkt gilt.

Im Abschnitt IIb (Abb. 15) ist ein Absteckungsverfahren entwickelt, dessen man sich mit Vorteil bedienen kann, wenn örtliche Verhältnisse die einfachere Absteckung von der B-Achse der Abb. 13 aus nicht ermöglichen. Das Verfahren ist deshalb interessant, weil es zeigt, daß ein Teil der Parabel für die Überleitung eines Kreises in die Gerade auch vom rein geometrischen Standpunkt aus betrachtet werden kann, ohne daß dadurch die Absteckung eines Parabelabschnittes an Übersichtlichkeit und Einfachheit im Vergleich zu dem Ver-

fahren unter IIa wesentlich verliert. Die in Abb. 15 dargestellte Absteckungsachse JBP kann leicht hergestellt werden und zwar direkt mit dem Werte der Sin-Funktion des Winkels  $2\beta$ , weil sich die Richtung der Achse mit großer Schärfe auch aus der Sin-Funktion des Winkels ergibt. Die sonstigen Absteckungsgrößen berechnen sich auf einfachste Weise, die Ordinaten gewinnt man aus den in den Obv. angegebenen Formeln unter Abzug der Strecke JL.

Sowohl beim Verfahren unter IIa (Abb. 13), als auch beim Verfahren unter IIb (Abb. 15) werden die Übergangsbögen in Korbbögen als Teile gewöhnlicher Übergangsbögen berechnet und abgesteckt. Als Ordinatengrößen dienen bei der Absteckung in beiden Fällen die Evolventenlängen  $y = \frac{x^2}{2r_1} + 4f_0 \left(\frac{x}{l_0}\right)^3$  mit der Folge, daß flachere Übergangsbögen entstehen, als die an sich erforderlichen, und, daß diese Bögen, die um  $f$  bzw.  $f_0$  verschoben, durch diese Ver-

schiebungen mit sehr starker Annäherung der Evolventenform der Übergangsbögen angepaßten Kreisbögen an den Stellen  $x = l$  bzw.  $x = l_0$  oder  $x = \frac{l_0}{2}$  (je nach Wahl der Absteckungsachse)

nicht berühren. Die Fehler betragen an den Enden der Übergangsbögen bei gewöhnlichen Übergangsbögen je nach verwendetem Rampenneigungsverhältnis bis nahezu 3 cm, bei Übergangsbögen in Korbbögen jedoch erheblich weniger.

Damit ergibt sich die bemerkenswerte Tatsache, daß ein Übergangsbogen im Korbbögen unter sonst gleichen Verhältnissen stets mit größerer Genauigkeit abgesteckt werden kann, als ein gewöhnlicher Übergangsbogen und, daß mit Rücksicht hierauf, die bei gewöhnlichen Übergangsbögen zu unbeanstandeten Ergebnissen führende Absteckung von der X-Achse (JBP-Achse) (Abb. 15) aus, bei der Absteckung von Übergangsbögen in Korbbögen für nicht sehr befriedigend gehalten werden kann.

## Internationaler Eisenbahnverband.

Vom 22. April bis 4. Mai 1929 hielt der Internationale Eisenbahnverband in Neapel die ordentliche jährliche Sitzung der Ausschüsse des Verbandes ab und zwar tagten:

der I. Ausschub (Personenverkehr), der II. Ausschub (Güterverkehr), der III. Ausschub (Abrechnungen und Währungen), der IV. Ausschub (Austausch des Rollmaterials), der V. Ausschub (Technische Fragen). Außerdem fanden gemeinsame Beratungen des I. und V. Ausschusses, des II. und IV. Ausschusses, des IV. und V. Ausschusses statt; ferner tagte der Sonderausschub für die selbsttätige Kupplung.

Im nachstehenden sei über die technisch interessierenden Punkte ein kurzer Bericht gegeben.

### IV. Ausschub (Austausch des Rollmaterials).

I. Frage. Vereinheitlichung der Vorschriften über den Bau und die Behandlung der Spezialwagen, die zur Beförderung von flüssigem Gas (insbesondere von Chlor) dienen.

Da die Berichte noch nicht vorlagen, wurde die Prüfung der Frage auf eine spätere Sitzung verschoben.

II. Frage. Behandlung der leeren, zur Beladung verschickten Privatwagen, die infolge von unterwegs erfolgten Beschädigungen nur im leeren Zustand laufen können.

Es kommt öfter vor, daß im internationalen Verkehr leer zur Beladung verschickte Privatwagen infolge von Beschädigungen für jede Beladung unfähig werden. In diesem Fall und wenn es sich nicht um geringfügige Beschädigungen im Sinne des R I V handelt, ist es unzweckmäßig, den Wagen bis zur Verladestation weiter laufen zu lassen. Zweckmäßig müßte man ihn entweder in der Station aussetzen, wo die Beschädigung erfolgt ist und die Verfügungen des Eigentümers oder Absenders einholen oder ihn von Amts wegen an die Heimatstation an die Adresse des Eigentümers zurücksenden.

Es wurde angeregt, man möge den Frachtvertrag in dem Bahnhof, wo die Beschädigung festgestellt und der Wagen daher ausgesetzt werden mußte, als gelöst betrachten. Dieser Bahnhof würde die Verfügungen des Eigentümers auf dessen Kosten telegraphisch anfordern und gleichzeitig den Versender, wenn er nicht gleichzeitig Eigentümer des Wagens ist, benachrichtigen. Mangels Anweisung des Eigentümers innerhalb acht Tagen wäre die Bahn ermächtigt, den beschädigten Wagen von Amts wegen mit Frachtbrief an die Adresse und im Namen des Eigentümers zurückzusenden. Auf dieser Grundlage wurde ein neuer Text zur Aufnahme in das Internationale Reglement für Privatwagen vorgelegt, der vom Ausschub genehmigt wurde. Es wurde bestimmt, daß die Mitteilungen an den Absender oder den Eigentümer in deutscher, französischer oder italienischer Sprache und die Anweisungen des Eigentümers entweder in einer dieser drei Sprachen oder in der Landessprache des Bahnhofs, wo der Wagen angehalten wurde, abgefaßt sein müssen.

III. Frage. Ausrüstung der Privatwagen mit Handbremse und durchgehender Bremse.

Die Prüfung dieser Frage wurde noch verschoben.

IV. Frage. Eintragung neuer Fragen in das Arbeitsprogramm des Ausschusses.

Der Ausschub hält es für notwendig die Bedingungen für die Verwendung der „Behälter“ im internationalen Verkehr zu untersuchen und will dementsprechend Antrag auf Zuweisung dieser Frage stellen.

### V. Ausschub (Technische Fragen).

Es wurden behandelt:

#### Abteilung Gleiswesen.

I. Frage. Internationale Vereinheitlichung der bei unbewachten Planübergängen in angemessenem Abstand vom Übergang auf den Straßen anzubringenden Warnungssignale. Studium derjenigen Signale, die verschiedene Gestalt haben, je nachdem sie den Begriff „Vorsicht“ oder „Gefahr“ ankündigen.

Auf Vorschlag des Unterausschusses beschloß man, für die Leuchtsignale, die zwei Anblicke bieten, je nachdem sie „Achtung“ oder „Gefahr“ anzeigen, die Verwendung der gleichen Farben zu empfehlen wie für die Lichter der Straßensignale, die „Achtung“ oder „Halt“ angeben; außerdem müßten die Lichter der Melder immer so angeordnet werden, daß sie vom Zugpersonal nicht unmittelbar gesichtet werden können. Die Schweizerischen Bundesbahnen bemerkten, daß die unabgeschränkten Bahnübergänge, die mit einem Blinklichtsignal versehen sind, das entweder vom Eisenbahnpersonal bedient oder vom Zuge automatisch eingeschaltet wird, als bewachte Übergänge zu betrachten sind; daher müßten die Vorschriften der bewachten Übergänge auf sie Anwendung finden.

Diese Bemerkung der Schweiz wird dem Geschäftsausschub unmittelbar vorgelegt werden.

II. Frage. Antrag auf Aufnahme neuer Fragen in das Arbeitsprogramm des Ausschusses.

Es wurde angeregt, daß der IEV eine Untersuchung über die in den einzelnen Ländern bestehende Behandlung der Bahnübergänge, insbesondere hinsichtlich ihrer Beleuchtung während der Nacht, über die gesetzlichen oder reglementarischen Bedingungen, unter denen von der Bewachung abgesehen werden kann, und über die Erfahrungen, die bei fehlender Bewachung besonders hinsichtlich der Unfälle gemacht worden sind, vornehmen solle.

Der Ausschub beschloß, eine einfache Erhebung vorzunehmen, für die Ungarn als Berichterstatter bezeichnet wurde.

Weiter wurde vom Ausschub eine Erhebung über die Erfahrungen, die die Eisenbahnverwaltungen besonders im letzten Winter über den Einfluß der großen Kälte auf das Gleis und über die Wirksamkeit der Abwehrmaßnahmen gesammelt haben, vorgeschlagen.

#### Abteilung: Elektrotechnik.

I. Frage. Fragen, die das Internationale beratende Komitee für Fernsprüche auf große Entfernungen (CCI) betreffen:

A. Beteiligung an den Arbeiten des gemischten, ständigen internationalen Ausschusses zur Ausführung von gemeinschaftlichen Versuchen durch die Telefonverwaltungen, die Eisenbahnverwaltungen und verschiedene industrielle Gruppen zur Aufstellung von Richtlinien für den Schutz der Telefonlinien gegen die Störwirkungen der Starkstrom- oder Hochspannungsanlagen.

B. Studium des von dem IEV zu vertretenden Standpunktes bei der Vorbereitung der Mitteilungen, die dem CCI zu machen sind.

C. Studium des von dem IEV zu vertretenden Standpunktes bei der Weiterbehandlung des Entwurfs zu den Richtlinien und zu weiteren einschlägigen Fragen, auf diesem Gebiet, die für die Eisenbahnverwaltungen von Interesse sind.

II. Frage. Untersuchung der Fragen von allgemeinem Interesse über elektrisch betriebene Strecken, bei denen die Stromleiter aus einer dritten Schiene bestehen.

a) Für das Inkrafttreten der folgenden Bestimmungen wurde der 1. Januar 1931 vorgeschlagen:

1. der Vorschriften für die Strecken mit Oberleitungen, die nur für Gemeinschaftsbahnhöfe und -strecken gelten, auf denen Lokomotiven verschiedener Verwaltungen verkehren können,
2. sämtlicher Vorschriften über Strecken, bei denen die Stromleiter aus einer dritten Schiene bestehen.

Für die Neuanlagen sollen diese Vorschriften jedoch jetzt schon verbindliche Kraft haben.

b) Die Festsetzung eines Lichttraumprofils für die Stromschienen, das den ungehinderten Durchgang der Transitwagen auf der freien Strecke erlaubt, soll vom Unterausschuß für das Lichttraumprofil in Behandlung genommen werden, in dem der Unterausschuß für die elektrische Zugförderung durch die Abgeordneten Deutschlands, Frankreichs, Italiens und der Tschechoslowakei vertreten sein soll. Der Lichtraum in den Gemeinschaftsbahnhöfen und -strecken soll von den beteiligten Verwaltungen festgelegt werden, die sich untereinander über den Übergang ihres Materials einigen.

c) An den Enden jedes elektrischen Abschnittes sollen geeignete Maßnahmen zur Verhinderung der Störeinstrahlungen auf die Fernleitungen der angrenzenden Abschnitte getroffen werden. — Ein Unterausschuß wurde mit der eingehenden Behandlung der besten Methoden zum Schutze der Fernleitungen beauftragt.

III. Frage. Untersuchung von Fragen allgemeinen Interesses über elektrische Bahnmotoren.

Der Unterausschuß hatte zuerst durch ein engeres Komitee, das Fachleute aus dem Gebiete des Gleichstroms, des Einphasen- und Dreiphasenstroms umfaßte, die Punkte untersuchen lassen, auf die sich die Behandlung erstrecken sollte. Auf Vorschlag dieses Komitees hat er einestheils die Leistungsfähigkeit der Bahnmotoren und Lokomotiven bestimmt und andernteils eine gewisse Anzahl praktischer technischer Regeln aufgestellt, die für die Bestimmung der Leistungsfähigkeit eines Bahnmotors zu beachten sind. — Der Ausschuß nahm grundsätzlich und ohne große Änderungen die Vorschläge seines Unterausschusses an, beschloß aber, sie erst dann dem Geschäftsausschuß vorzulegen, wenn der Unterausschuß die Untersuchung der verschiedenen anderen Punkte über die elektrischen Bahnmotoren abgeschlossen hat und in die Mitarbeit an der internationalen elektrotechnischen Kommission (CEI) eingetreten ist.

IV. Frage. Antrag auf Aufnahme neuer Fragen in das Arbeitsprogramm des Ausschusses.

Der Ausschuß beschloß, den Erlaß einer Vorschrift für den zulässigen Wert des Druckes der Stromabnehmer der elektrischen Fahrzeuge auf die Fahrleitung anzuregen, um zu vermeiden, daß die Stromabnehmer durch einen übertriebenen Druck die Fahrleitung über den Gleisen einer anderen Verwaltung abheben oder zu stark beanspruchen, ferner zu prüfen, ob Verwendung von Antennen auf den Personenwagen im Hinblick auf die vorgeschriebene Erdung der metallenen Teile auf den Wagendächern der unter Fahrleitungen verkehrenden Fahrzeuge unzulässig ist.

#### Abteilung: Rollmaterial — Bahnerhaltung.

I. Frage. Ausarbeitung eines Vorentwurfs für die Revision der Vorschriften der Technischen Einheit.

Die neue Abfassung, die für die Technische Einheit vorgeschlagen wurde, enthält eine Reihe neuer Vorschriften, die bereits Gegenstand internationaler Abkommen sind (RIV oder Entscheidungen des IEV), oder die sich auf neuere Verbesserungen beziehen (durchgehende Güterzugbremse, Elektrisierung, Verstärkung der Widerstandsfähigkeit der Kupplungen usw.). Dagegen wurden nach Möglichkeit alle Duldungen gestrichen, die bisher noch für das alte Material zugelassen waren.

Der Gesamtentwurf wird durch den Geschäftsausschuß der schweizerischen Bundesregierung übermittelt, mit der Bitte, sie möge die Zustimmung der Regierungen, die der Technischen Einheit beigetreten sind, herbeiführen.

II. Frage. Studium der Vereinheitlichung und wenn möglich der Verbreiterung der Umgrenzungslinie der Personenwagen bei geöffneten Türen.

Die Frage wird nicht weiter verfolgt.

III. Frage. Es wird beschlossen, die Prüfung folgender Frage zu beantragen:

Bestimmung der Stahlsorten, die für die Herstellung der Schienen und Radreifen Verwendung finden; insbesondere Bestimmung ihrer Festigkeit, Härte, Sprödigkeit und Abnutzung, soweit sie für die Beziehungen von Rad und Schiene wesentlich sind.

#### Abteilung: Rollmaterial.

I. Frage. Ausrüstung der Privatwagen mit Handbremse und mit durchgehender Güterzugbremse. — Die Frage wird von einem Unterausschuß behandelt.

II. Frage. Vereinheitlichung der Kupplungen und Anschlüsse der Leitungen für die Druckluftbremse an den Fahrzeugen des Personen- und Güterverkehrs.

Für das Güterwagenmaterial hat der IEV mehrere Vorschriften über die Kupplungen und Anschlüsse der Leitungen für die Druckluftbremse erlassen, die folgenden Erwägungen entsprechen:

eine möglichst hohe Durchschlagsgeschwindigkeit der Bremsen zu erzielen, die Bremsanschlüsse auswechselbar zu gestalten, die Kupplung der Güterwagen mit den vorhandenen Personenwagen ohne besondere Zwischenkuppelschläuche zu ermöglichen.

Um die Untersuchung der Bremsanschlüsse abzuschließen, wurde der Unterausschuß beauftragt, die Übergangsbestimmungen für die Umänderung der hochliegenden Leitungen des Güterzugmaterials zu untersuchen.

III. Frage. Übergang von Güterwagen, die mit einer gewöhnlichen Druckluftbremse ausgerüstet sind.

Die Güterwagen mit Druckluftbremse sollten nach den bisherigen Vorschriften des IEV ein oder zwei die Ecksäulen umfassende weiße Streifen von bestimmten Ausmessungen erhalten, je nachdem sie die Bremsleitung (bzw. eine Bremse, die in den internationalen Güterzügen nur als Bremsleitung benutzt werden kann), oder eine im internationalen Verkehr verwendbare durchgehende Güterzugbremse besitzen. Dem heutigen Stand der Bremsfrage entsprechend, wurde ergänzend vorgeschlagen, drei weiße Streifen vorzusehen für die Güterwagen, die mit einer Güterzugbremse ausgerüstet sind, die nicht vollständig den 33 vorgeschriebenen Bedingungen genügt, und eine weitere Bezeichnung auf den Wagen anzubringen, die eine Bremse besitzen, die in Personenzügen verwendet werden kann. — Außerdem wurden bestimmte Vorschriften für die Bremsen vorgeschlagen, die in Personen- und Güterzügen verwendet werden können und es wurde verlangt, daß in Zukunft die Güterwagen ausschließlich mit Bremsen ausgerüstet werden sollen, die im internationalen Verkehr zugelassen sind. Schließlich wurde bestimmt, daß auf den Güterwagen, die keine Ecksäulen besitzen, das Anbringen der vorgeschriebenen Zeichen auf einem Blech empfohlen werden soll und daß die Maße und die Anordnung der weißen Streifen nicht mehr starr festgelegt werden, sondern daß Höchst- und Mindestmaße angegeben werden.

IV. Frage. Verstärkung der Kupplungen an den für den internationalen Verkehr bestimmten vorhandenen Wagen.

Der Ausschuß nahm Kenntnis vom Fortschritt der Verstärkung der Wagenkupplungen nach dem Stand vom 1. Januar 1929 und wird die gleiche Rundfrage am 1. Januar 1930 vornehmen.

V. und VI. Frage. Abänderung der Vorrichtung für die Begrenzung des Auszuges des Faltenbalges der Personenwagen. Ergänzung der Zeichnung von Anlage F<sup>1</sup> des RIC, hinsichtlich der Maße der zweiteiligen Übergangsbrücke.

Der Unterausschuß hatte Vorschläge für Änderungen und Zusätze der Vorschriften des RIC hinsichtlich der Faltenbälge und Übergangsbrücken aufgestellt.

Der Ausschuß machte sich diese Vorschläge zu eigen und beschloß, jetzt schon für die Mitglieder des IEV bei neu zu bauendem Material die Verwendung des Faltenbalges nach Typ F mit 1 m Öffnung verbindlich zu machen.

Der Unterausschuß wurde beauftragt, die notwendigen Untersuchungen für die Bestimmung der Hauptmerkmale einer Rotationsübergangsbrücke als Ersatz der zweiteiligen Übergangsbrücke vorzunehmen.

Die VII. und VIII. Frage bieten nichts Besonderes.

Unter Frage IX schlug der Ausschuß vor, folgende neue Fragen zu behandeln:

a) Untersuchung über die Erfahrungen, die die Eisenbahnverwaltungen über den Einfluß der großen Kälte auf das Laufwerk der Fahrzeuge, insbesondere im verflorenen Winter gemacht haben, und über die Wirksamkeit der Abhilfsmittel.

b) Aufstellung von Regeln für die Bestimmung der für jede Bauart der durchgehenden Güterzugbremsen anzuwendenden Übersetzungszahl.

X. Frage. Teilnahme des IEV an der Ausschreibung eines von einem internationalen Komitee veranstalteten Wettbewerbs unter den Firmen für Herstellung von „Behältern“ für den internationalen Verkehr.

Zur Ausarbeitung eines Programms für den Wettbewerb wurde ein Bericht (Italien) und ein Mitbericht (Frankreich) ernannt.

In einer

#### **gemeinsamen Versammlung des I. und V. Ausschusses**

wurden einheitliche Maßnahmen zur Verbesserung der Sichtbarkeit der Stationsnamen auf den Bahnhöfen besprochen.

Die aufgestellten Vorschriften sollen nur für wichtigere Bahnhöfe und erst vom 1. Januar 1932 bindend sein.

#### **Gemeinsame Versammlung des II. und IV. Ausschusses**

I. Frage. Revision des internationalen Reglements für Privatwagen.

Die Frage war in einem Gesuch der internationalen Vereinigung der Verbände der Privatgüterwagen-Interessenten aufgeworfen worden, in dem dem IEV verschiedene Änderungen der allgemeinen Reglementierung des Laufes dieser Wagen zur Prüfung unterbreitet worden sind. — Was die Wünsche der internationalen Vereinigung betrifft, kamen die Ausschüsse zu der Ansicht, daß die Einführung des vom IEV aufgestellten Reglements den Privatwagenbesitzern eine Reihe bedeutender Erleichterungen gebracht habe; die von den Verwaltungen reiflich erwogenen Bedingungen könnten nicht neuerdings erörtert werden.

Zur allgemeinen Revision des Reglements ist ein Unterausschuß eingesetzt, der eine eingehende Untersuchung vornehmen soll und dabei besonders die Grundlagen behandeln soll, die für die Einfügung des genannten Reglements in das IÜG (bei dessen Revision) und für die Vereinheitlichung der Einstellungsverträge notwendig erscheint.

Die Bestimmungen über die Behandlung der Privatwagen, die leer zur Beladung verschickt, infolge der unterwegs eingetretenen Beschädigungen nur im leeren Zustand laufen können (siehe unter d) II. Frage), werden in das geltende Reglement aufgenommen.

II. Frage. Internationale Reglementierung der Beförderungen in privateigenen Wärmeschutz-, Kühl- oder Gefrierwagen, unter Beordnung der von dem IEV in dieser Hinsicht bereits erlassenen Vorschriften.

Die Angelegenheit wurde dem zur vorhergehenden Frage eingesetzten Unterausschuß überwiesen.

In einer

#### **gemeinsamen Versammlung des IV. und V. Ausschusses**

wurde die Frage der Ausrüstung der Privatwagen mit Handbremse und mit durchgehender Bremse behandelt. Die Angelegenheit wurde einem Unterausschuß überwiesen, von dem auch die Frage der Zulassung der offenen Bremserstände für luftgebremste Güterwagen mit Handbremse zu prüfen ist.

#### **Sonderausschuß für die selbsttätige Kupplung.**

I. Frage. In welcher Weise soll die Aufstellung einer Unfallstatistik weiter behandelt werden?

In seiner Brüsseler Sitzung im Jahre 1928 hatte der Ausschuß den Entwurf eines Fragebogens über die Zahl der beim Kuppeln der Wagen getöteten und verletzten Personen genehmigt und für die Begriffsbestimmung der getöteten und verletzten Personen die amerikanische Begriffsbestimmung angenommen. Es wurde der Wunsch ausgedrückt, sobald wie möglich in den Besitz dieser Unfallstatistik zu kommen. Um noch vor der Sitzung im nächsten Frühjahr alle notwendigen Unterlagen zu erhalten, beschloß man, die Verwaltungen, deren Rechnungsjahr nicht mit dem Kalenderjahr zusammenfällt, zu bitten, ihre Statistik trotzdem zum 31. Dezember abzuschließen und nötigenfalls auf die Ergebnisse der vergangenen Rechnungsjahre zurückzugreifen.

II. Frage. Welche Stellung nehmen die Mitglieder des Sonderausschusses zu den Schlußfolgerungen des Berichtes der französischen Eisenbahnen und der italienischen Staatsbahnen vom 25. März 1925 ein? Ausarbeitung von Bedingungen, denen eine selbsttätige Kupplung genügen muß.

Bei Untersuchung der Schlußfolgerungen des Berichtes von 1925 hielt man es infolge der seit dieser Zeit in der Eisenbahntechnik erzielten Fortschritte für angebracht, einige Zusätze und Änderungen vorzunehmen. Unter Bezugnahme auf diese Schlußfolgerungen hatte der Vorsitzende mit der Ausarbeitung der Bedingungen begonnen, die eine selbsttätige Kupplung erfüllen muß, um im internationalen Verkehr zugelassen zu werden. Die Prüfung ob die so ausgearbeiteten Bedingungen von einem vorgeschlagenen Kupplungssystem erfüllt werden, wird sich nicht auf einige An- und Abkuppelungen unter mehr oder weniger theoretischen Bedingungen beschränken können, sondern muß sich auf die Feststellungen, die während einer gewissen Zeit im Dienst gemacht wurden und auf Versuche erstrecken, die nach einem bestimmten Programm ausgeführt werden. Mit der Aufstellung eines Versuchsprogramms wurde ein Unterausschuß beauftragt.

III. Frage. Aufstellung von Grundsätzen für den Bau der Pufferrahmen, damit diese später als Träger der selbsttätigen Mittelkupplung verwendet werden können, welches auch die Art der gewählten Kupplung sein möge.

Der Vorsitzende wird im Herbst 1929 Vorschläge über diese Angelegenheit vorlegen.

IV. Frage. Untersuchung des von den Polnischen Staatsbahnen vorgeschlagenen selbsttätigen Kupplungssystems.

Die Untersuchung dieses Kupplungssystems kann erst dann erfolgen, wenn die zu erfüllenden technischen Bedingungen ausgearbeitet sind.

V. Frage. Verwendung der Kupplungsstange für Güterwagen.

Ein endgültiges Urteil über die bisherigen Versuche konnte noch nicht abgegeben werden.

## **B e r i c h t e .**

### **Lokomotiven und Wagen.**

#### **Normung im Lokomotiv- und Wagenbau.**

a) Normung im Lokomotivbau.

Seit dem letzten, im Heft 24 vom 15. Dezember 1928 erschienenen Bericht ist die Normung im Lokomotivbau wieder ein erhebliches Stück vorwärts gekommen.

An Normblättern für den Lokomotivbau sind vom Elna (Engerer Lokomotivnormenausschuß) inzwischen neu herausgegeben worden:

LON 2 und 3 Zeichnungsverzeichnis für Lokomotive und Tender (Taschenformat)

LON	103	Vierkante und Vierkantlöcher für Spindeln. Stiftschrauben mit vierkantigem Schaft
„	105	Teilung für Niet- und Schraubenverbindungen (Konstruktionsblatt)
„	204	Buchsen mit Bund
„	205	Steuerungsbuchsen mit Bund
„	269	Überwurfmutter für Ölrohrverschraubungen
„	272	Einschraubstutzen
„	286	Beiblatt, Gewindegrenzmaße der Werkstücke, Herstellungsgenauigkeit und Abnutzung der Lehren für Whitworth-Feingewinde 2
„	294	Whitworth-Rohrgewinde, theoretische Werte
„	294	Beiblatt-Gewindegrenzmaße der Werkstücke, Herstellungsgenauigkeit und Abnutzung der Lehren für Whitworth-Rohrgewinde DIN 259
„	342	Blanke Zylinderkopfschrauben (Paßschrauben)
„	397	Halbblanke, niedrige Sechskantmutter mit Whitworth-Feingewinde 10 Gang auf 1''
„	473	Flansche für Sonderzwecke. Anschlußmaße
„	501	Halbrundniete und Senkniete von 2 bis 8 mm Durchmesser
„	515	Gedrehte Niete
„	1101—1104	Formeisen, Flacheisen, Bandeisen usw.
„	1106	Nahtlose Flußstahlrohre
„	2138—2139	Große Waschluge mit Pilz (Zusammenstellung)
„	2145—2146	Drahtkorb-Funkenfänger
„	3060	Kesselablaßhahn mit Flansch (Nennweite 25)
„	3061	„ mit Gewindezapfen (Nennweite 25)
„	3062	„ gerade (Nennweite 40)
„	3063	„ gebogen „ 40)
„	3070	Absperrschieber, N. W. 40. Bauart Wilh. Strube
„	3216—3219	Selbstschluß-Wasserstandanzeiger
„	3222—3223	„ „
„	3225—3226	„ „
„	3231	Wasserstandablaßhahn
„	3250	Hahnstellungsschild für Selbstschluß-Wasserstandanzeiger
„	3603	Signallaterne für Gas- oder elektrische Beleuchtung
„	4319	Radreifen mit geschw. Spurkranz und ohne Spurkranz der Vollspurbahn-Fahrzeuge, Fertigprofil
„	4340	Griffe auf dem Pufferträger
„	5010	Kolbenringe, Überstreifringe
„	6027	Haken
„	6201—6210	Kesselbekleidung (Übersicht und Einzelteile)
„	6301	Kessel-Fabrikschild
„	6304	Schilder für Handräder
„	7101	Bremsklotz 36 × 350 für Vollspurlokomotive
„	7102	Bremsklötze 40 × 300, 40 × 400, 45 × 450 mm für Vollspurlokomotive
„	7103	Bremsklotz 50 × 500 für Vollspurlokomotive

An geänderten LON-Normen sind inzwischen noch erschienen:

LON	202, 2. Ausgabe,	August 1929, Buchsen
„	203, 2. „	August 1929, Steuerungsbuchsen
„	251, 2. „	Juli 1929, Stellringe
„	381, 2. „	Januar 1929, Doppelschraubenschlüssel mit ungleichen Maulweiten
„	2001, 3. Ausgabe,	Oktober 1928, Roststäbe
„	2145, Blatt 1, 2. Ausgabe,	Juli 1929, Drahtkorbfunkenfänger, Zusammenstellungen
„	2146, 3. Ausgabe,	Juli 1929, Drahtkorbfunkenfänger-Beschläge
„	3021, 2. Ausgabe,	Januar 1929, Fangrohre für Wasserstandprüfhähne
„	3022, 2. Ausgabe,	Juni 1929, Selbstschluß-Wasserstandanzeiger, Gehäuse mit Flansch
„	3223, 2. Ausgabe,	Juni 1929, Selbstschluß-Wasserstandanzeiger, Gehäuse mit Gewindezapfen
„	3224, 2. Ausgabe,	Oktober 1928, Selbstschluß-Wasserstandanzeiger, Einzelteile
„	3225, 2. Ausgabe,	Oktober 1928, Selbstschluß-Wasserstandanzeiger, Einzelteile
„	3245, 2. Ausgabe,	Januar 1929, Wasserstandmarken klein
„	6113, 2. „	April 1929, Wassereinlauf 1200 × 300 für seitliche Wasserkästen

Ferner sind folgende „Normblätter für das Eisenbahnen“ neu herausgekommen:

DIN	1554	Rohe Radreifen für Vollspurbahnfahrzeuge
„	1555	„ „ „ Schmalspurbahnfahrzeuge
„	1556	„ „ „ mit schwachem Spurkranz für Industriebahnfahrzeuge
„	1557	Rohe Radreifen mit verstärktem Spurkranz für Industriebahnfahrzeuge
„	1564	Rohrverbindungsstücke, Muffen, Übergangsmuffen
„	1565	Rohrverbindungsstücke, Nippel, Übergangsnippel
„	1566	„ „ Doppelnippel, Übergangsnippel
„	1567	Rohrverbindungsstücke, T-Stücke, Übergangs-T-Stücke
„	1568	Rohrverbindungsstücke, Kreuzstücke
„	1569	„ „ Winkelstücke, Hosenstücke
„	1585	Bügelgriffe, stehend, gerade, schräg
„	1587	Hutmuttern

Bisher liegen ungefähr 360 bezugsfertige LON-Blätter vor. Der Stückpreis (gültig ab 1. Mai 1929) beträgt für ein Normblatt auf weißem Papier 0,75 *R.M.* Bei Abnahme von:

6 bis	9	Stück derselben Nummer	5%	Preisermäßigung,
10	„	49	„	10%
50	„	99	„	15%
100	„	199	„	20%
200	„	300	„	25%

Bei Mehrabnahme besonderes Angebot:

Ausnahmepreise für in Buchform erschienene Lonormen:

LON	1	Einheitliche Benennungen der Lokomotivteile	2,—	<i>R.M.</i>
„	2	Zeichnungsverzeichnis für Lokomotive	3,50	<i>R.M.</i>
„	3	„ für Tender	2,—	<i>R.M.</i>
„	2+3	„ für Lokomotive u. Tender (Taschenformat)	3,50	<i>R.M.</i>
„	2	K. Verzeichnis der Lokomotiversatzkessel	2,—	<i>R.M.</i>
„	7	Zeichnungsverzeichnis für feuerlose Lokomotiven	2,—	<i>R.M.</i>
„	8	Zeichnungsverzeichnis für elektrische Lokomotiven (großes Format)	2,50	<i>R.M.</i>
„	8	Desgleichen (Taschenformat)	2,25	<i>R.M.</i>

Die Abgabe des Normblattverzeichnis für den Lokomotivbau erfolgt kostenlos durch die Geschäftsstelle des ELNA, Anschrift: ELNA m. Br. Hanomag, Hannover-Linden, Postfach 55.

Wenn auch die Lokomotivnormen zunächst nur für die neu zu bauenden Lokomotiven in Frage kommen, so könnte ein Teil derselben doch schon in vielen Werken mit Vorteil und gutem Erfolg auch bei den bereits vorhandenen Lokomotiven angewendet werden. So ist zum Beispiel ein großer Teil der Bremsen von Lokomotiven älterer Bauart mit Buchsen und Bolzen nach LON 202 und 254 ausgerüstet; Federspanner mit Rundgewinde nach LON 288 (DIN 405 gekürzt) und mit Buchsen nach LON 202 werden in sämtliche Fahrzeuge eingebaut; die Spannschloß- und Feststellmutter für Bremszugstangen der Lokomotiven bayerischer Bauart erhalten allgemein Rundgewinde nach DIN 262; Dichtungslinsen nach LON 270. Bundbuchsen nach LON 274, Überwurfmutter nach LON 273, Rohranschlüsse bzw. Einschraubstutzen nach LON 2051 und 2055 kommen bereits in größerem Umfange auch bei den Lokomotiven älterer Bauart zur Anwendung, desgleichen Nieten nach DIN 123, 124, 301 und 302 und Kegelstifte nach DIN 1. Ferner werden zum Teil auch bereits die LON-Blätter 5337 „Gelenkbolzen für Kuppelstangen“, 5338 „Blanke Bundmutter für Gelenk- und Kreuzkopfbolzen“, 5010 „Kolbenringe (Überstreifringe)“ und 5321 „Schraubenstellkeile für Stangenlager“ für Lokomotiven älterer Bauart zur Anwendung gebracht. Sehr günstig wirkte sich auch die weitgehende Anwendung der DIN-Passungen für die austauschbaren Fahrzeugteile aus. Paßarbeiten kommen dadurch fast ganz in Fortfall; die Beschaffung zusammengehöriger Fahrzeugteile, bei denen gewisse Sitze gewährleistet sein sollen, ist freizügiger und kann gegebenenfalls unabhängig voneinander bei verschiedenen Firmen erfolgen.

Die verschiedentlich laut gewordenen Befürchtungen, die DIN-Passungen wären in mehreren Punkten ungenügend und müßten in nächster Zeit Änderungen erfahren, sind, wie aus einer



welchen Stellen für vorhandene ältere Wagen Austauschbau-Ersatzstücke und Normteile Verwendung finden können.

Über die Einführung der Wagen-Normung in die Praxis sprach nach einem Sitzungsbericht in Heft 16, 1928 der DIN-Mitteilungen Reichsbahnoberrat Klein. Danach sind bei den jetzt gebauten Einheitswagen die Normen vollständig eingeführt.

Normung und Austauschbau haben zu einer Gütesteigerung der Wagen geführt. Durch die nunmehr erst mögliche wirtschaftliche Massenfertigung der Einzelteile und durch den Wegfall von zeitraubenden Anpaßarbeiten wird eine Verminderung der Herstellungs- und Instandsetzungskosten, sowie eine wesentliche Verkürzung der Ausbesserungszeiten erzielt. N.

## Buchbesprechungen.

**Handbuch für Eisenbetonbau.** Erster Band: Geschichtliche Entwicklung, Versuche, Theorie. Herausgegeben von Oberbaurat Dr. F. Emperger, Wien. Verlag Wilhelm Ernst u. Sohn, Berlin.

Von dem rühmlich bekannten, bestens bewährten „Handbuch für Eisenbetonbau“, das sich unter dem wissenschaftlichen Rüstzeug des Bauingenieurs längst einen hervorragenden Platz gesichert hat, erscheint soeben der 1. Band in vierter, vollständig neu bearbeiteter Auflage, und zwar in Lieferungen von je sechs Bogen. Die bisher erschienenen drei Lieferungen weisen alle Kennzeichen bedeutender Werke auf, insbesondere sind die Abbildungen als mustergültig anzusprechen. Eine eingehende, sachliche Würdigung soll in dieser Zeitschrift gegeben werden, sobald der erste Band geschlossen vorliegt. Dr. Bl.

**Erddrucktafeln.** Von Dr.-Ing. Otto Syffert, Berlin 1929 Verlag Julius Springer. Preis 6,— *R.M.*

Das Büchlein enthält neben einer kurzen Einführung 25 Tafeln, aus denen die Größe des Erddruckes auf Stützmauern abgegriffen werden kann. Die Tafeln sind geschieden nach den verschiedenen Neigungen der Rückenflächen sowie der Gelände- und Böschungflächen. Die Tafelwerte sind dann nur noch von einer Veränderlichen abhängig, nämlich von dem Winkel, den die Richtung des Erddruckes mit der Senkrechten auf die Mauer- rückfläche einschließt.

Das Büchlein erleichtert die Berechnung von Stützmauern erheblich; es stellt daher für Eisenbahnvorarbeiten ein brauchbares und schätzenswertes Hilfsmittel dar. Dr. Bl.

**Taschenbuch für Bauingenieure.** Herausgegeben von Geh. Hofrat Prof. Dr. Ing. e. h. Max Förster. Berlin 1928, Verlag Julius Springer. Zwei Bände in Leinen. Preis 42,50 *R.M.*

Als die erste Auflage dieses Taschenbuches im Jahre 1911 erschien, war das Ganze in einem Bande von 1900 Seiten Dünndruckpapier mit 2723 Abbildungen zusammengefaßt. Als Mitarbeiter zeichneten damals elf Fachgelehrte, davon zehn aus Dresden, meist Professoren an der Sächsischen Technischen Hochschule. Seit jener Zeit ist unter Führung des Herausgebers unablässig an der Vervollkommnung des Taschenbuches gearbeitet worden. Es hat sich längst seinen Platz in der Handbücherei jedes Bauingenieurs gesichert und hat, vollinhaltlich übersetzt, auch den Weg ins Ausland gefunden.

Mit der vorliegenden 5. Auflage tritt uns das bewährte Taschenbuch in verjüngter Gestalt entgegen. Die Liste der Mitarbeiter umfaßt jetzt 22 Namen aus vielen deutschen Landen, wobei der

Anteil der Technischen Hochschule Dresden naturgemäß mit 16 Namen noch im Vordergrund steht. Offenbar hat die zunehmende Spezialisierung zu der Erweiterung des Mitarbeiterkreises geführt. Äußerlich hat das Taschenbuch die seit längerem gewählte Form zweier schmucken, handlichen Bände beibehalten. Der Inhalt ist auf rund 2500 Seiten vermehrt, die Zahl der Abbildungen ist auf 3238 gestiegen. Ein klar gegliedertes, übersichtliches Sachverzeichnis erleichtert den Gebrauch des Buches als Nachschlagewerk. Und um zunächst noch beim Äußeren zu bleiben: mit der drucktechnischen Ausstattung hat ein Verlag Springer Vorbildliches geleistet; namentlich die Abbildungen, unter denen zahlreiche perspektivische angenehm auffallen, sind nach Auswahl, Anschaulichkeit und Bildwirkung schlechthin ausgezeichnet.

Den Inhalt der beiden Bände auch nur auszugsweise andeuten zu wollen, würde erfordern, den engen Rahmen einer Buchbesprechung zu sprengen, würde die Gefahr heraufbeschwören, einzelne Fachgebiete, einzelne Verfasseramen besonders hervorzuheben, während der besondere Vorzug des Werkes gerade in seiner wohlthuend gleichmäßigen Abstimmung besteht. Darum sei nur angedeutet, daß in allen Abschnitten der Weg bis zu den neuesten Erfahrungen und Ergebnissen leicht gangbar gebahnt ist und daß dabei überall, in den Hauptgebieten wie auf Grenzgebieten eine weise Beschränkung auf das Nötigste gewahrt ist. Durch den Eintritt zahlreicher neuer Mitarbeiter ist unverkennbar ein frischer Zug in das Ganze gekommen. Eines muß dabei noch besonders hervorgehoben werden. Försters Taschenbuch ist weit mehr als ein trockenes Nachschlagewerk. Wenn man sich von dem Gesamthalt des Buches ein Bild machen will, so wird man — so ging es wenigstens dem Schreiber dieser Zeilen — gefesselt von Stoff und Darstellung, und unwillkürlich verweilt man im Weiterlesen. So gesehen erhebt sich Försters Taschenbuch zu einer ungemein anziehenden Gesamtdarstellung des Bauingenieurfaches, deren besondere Bedeutung darin liegt, daß sie fähig ist, die lähmenden Fesseln der Spezialisierung zu lockern. Das Buch ist nicht nur wertvoll für den Augenblicksgebrauch als Hilfeleistung für Tagesaufgaben, sondern es ist auch wert und geeignet, als Ganzes durchgearbeitet und studiert zu werden. Viele ältere Fachgenossen werden es zweifellos mit hohem Gewinn derart verwerten, und aus dem gleichen Grunde ist es auch ein sicherer Führer für den jungen Nachwuchs, insbesondere für Studierende. Dem verdienten Herausgeber wird auf diese Weise der Dank und die Anerkennung vieler sicher sein für dieses unermüdetlich verbesserte Werk, das in dem technischen Schrifttum Deutschlands mit an erster Stelle genannt zu werden verdient. Dr. Bl.

## Zuschrift an die Schriftleitung.

### Zur Frage der Ausfahrtsignale auf den Österreichischen Bundesbahnen.

Von Herrn Jr. G. J. de Vos van Nederveen Cappel, Chef des Sicherungswesens der Niederländischen Eisenbahnen, Utrecht, erhalten wir folgende Zuschrift:

„Mit lebhaftem Interesse habe ich den Aufsatz von Herrn Ingenieur F. Zuleger in Heft 22 vom 15. November d. J. gelesen.

Der Signalbegriff „Vorsicht“ der Österreichischen Bundesbahnen ist m. E. zur Nachahmung nicht empfehlenswert und zwar auf Grund folgender Erwägungen.

Die Vorsignale wurden, als die Geschwindigkeit der Züge erhöht wurde, eingeführt um ein Überfahren eines Hauptsignals bei unübersichtlicher Bahnstrecke, bei Nebel oder sonst unsichtigem Wetter zu verhüten. Durch ein Vorsignal wird angezeigt, welche Stellung am Hauptsignal zu erwarten ist. „Erwarten“, weil das Vorsignal nicht immer gleichzeitig mit dem Hauptsignal, jeden-

falls erst dann in die Fahrstellung gebracht wird, nachdem das Hauptsignal auf Fahrt gestellt worden ist.

Für den Lokomotivführer ist meist das Vorsignal praktisch das wichtigste Signal.

Der österreichische Signalbegriff schwächt nun den Begriff des Vorsignals. Wenn ein Lokomotivführer wiederholt an einem Vorsignal vorüberfährt in der Stellung, die anzeigt, daß am Hauptsignal „Halt“ zu erwarten ist, und er sieht dann die Stellung „Fahrt frei“, dann hat das Vorsignal für ihn keine Bedeutung mehr und sagt ihm über die Stellung des Hauptsignals nichts.

Wenn ein Lokomotivführer einmal sich an diese Vorstellung gewöhnt hat und er überfährt bei Nebel ein Vorsignal, so besteht die Möglichkeit, daß er das Hauptsignal in Haltstellung überfährt und ein Unglück eintritt.

Die österreichischen Bedingungen wären, wenn sie von dem Signalbegriff „Vorsicht“ absehen würden, m. E. auf besserem und sichererem Wege.

Die Signalbegriffe müssen klar und deutlich erhalten werden.“