

# Organ für die Fortschritte des Eisenbahnwesens

Technisches Fachblatt des Vereins Mitteleuropäischer Eisenbahnverwaltungen

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

95. Jahrgang

15. Februar 1940

Heft 4

## Lauf von Eisenbahnfahrzeugen mit zwei ohne Spiel gelagerten Radsätzen beliebiger Belastung in der Geraden.

Von Prof. Dr.-Ing. Heumann, Aachen.  
(Schluß.)

### Abschnitt II

beginnt, sobald beide Hinterräder anfangen zu rollen, der Hauptradius bei Außenlage von F—F in der Hinterachse liegt und die  $u_H$ -Achse durch deren beide Aufstandspunkte geht. Glitten bisher alle vier Räder, ging also bisher der Hauptradius zurück, so kann von jetzt ab der richtige Bewegungszusammenhang und das Kräftegleichgewicht aufrecht erhalten werden, nicht mehr durch weiteres Zurückgehen des Hauptradius, denn das ist durch das Kräftegleichgewicht ausgeschlossen, sondern nur durch Vorrücken der F—F-Linie aus der bisherigen „Außenlage“ auf die „Innenlage“ zu über die Hinterachse hinweg, wobei deren Haftreibung nicht voll in Anspruch genommen wird, sie mit beiden Rädern rollt. Auch bei „Außenlage“ von F—F vor der Vorderachse im Fall stärker belasteter Hinterachse muß die F—F-Linie über die Hinterachse von hinten nach vorne hinwegstreichen, damit die Hinterachse rollt. Man kann sich das so vorstellen, daß sie zunächst aus ihrer Außenlage vorrückt, ins Unendliche nach vorne, und dann aus dem Unendlichen von hinten her über die Hinterachse hinwegstreicht. Rollt während des ganzen Vorrückens der F—F-Linie außerdem ein Vorderrad, so schrumpft Abschnitt II zu einem Punkt zusammen, denn

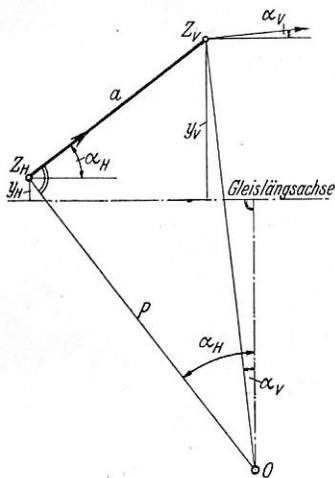


Abb. 11.

die Hinterachse hinwegstreicht. Rollt während des ganzen Vorrückens der F—F-Linie außerdem ein Vorderrad, so schrumpft Abschnitt II zu einem Punkt zusammen, denn

$$y_V = \sqrt{\frac{r \cdot s}{\beta}} \left( \alpha_{H_I} - y_{H_I} \frac{a \cdot \beta}{r \cdot s} \right) \sin \left( x \sqrt{\frac{\beta}{r \cdot s}} \right) + (y_{H_I} + a \cdot \alpha_{H_I}) \cos \left( x \sqrt{\frac{\beta}{r \cdot s}} \right) \dots \dots \dots 31a)$$

Darin sind alle Konstanten bekannt. Wir können sie in folgender Weise einfacher und anschaulicher ausdrücken. Nach Textabb. 11 ist:

$$y_{V_I} = y_{H_I} + a \cdot \alpha_{H_I}$$

Weiter ist in diesem Augenblick

$$\text{ctg } \epsilon_{H_I} = \frac{s}{y_{H_I} \beta}, \quad P_I = r \cdot \text{ctg } \epsilon_{H_I} = \frac{r s}{y_{H_I} \beta}, \quad \frac{a}{P_I} = y_{H_I} \frac{a \cdot \beta}{r \cdot s},$$

somit

$$\frac{d y_{V_I}}{d x} = \alpha_{V_I} = \alpha_{H_I} - \frac{a}{P_I} = \alpha_{H_I} - y_{H_I} \frac{a \cdot \beta}{r \cdot s}$$

Mit Hilfe dieser Beziehungen erhalten wir  $y_V$  in der Gl. 30) für  $y_H$  analogen Form:

$$y_V = \alpha_{V_I} \sqrt{\frac{r \cdot s}{\beta}} \cdot \sin \left( x \sqrt{\frac{\beta}{r \cdot s}} \right) + y_{V_I} \cos \left( x \sqrt{\frac{\beta}{r \cdot s}} \right) \dots \dots \dots 31b)$$

$\alpha_{V_I}$  und  $y_{V_I}$  ergeben sich auch unmittelbar aus Gl. 14) mit

dann rollen auf ihm außer den beiden Hinterrädern noch ein Vorderrad, was, wie gesagt, nur für den Punkt  $y_H = 0$ , aber nicht für einen Bereich von  $y$  und  $x$  möglich ist. Hat die F—F-Linie ihre „Innenlage“ erreicht, so beginnt mindestens ein Hinterrad wieder zu gleiten, ist Abschnitt II beendet. Stetig rückt die F—F-Linie vor, solange  $F_V$  auf einer  $fQ$ -Verhältniskurve liegt, sprunghaft, solange  $F_V$  auf einer Begrenzungsgeraden liegt, denn dann rollt außer den beiden Hinterrädern noch ein Vorderrad, was, wie gesagt, nur für einen Punkt der Bahn möglich ist.

Immer rollt auf diesem Abschnitt die Hinterachse mit beiden Rädern. Ihre Rollbahn folgt dem bekannten Gesetz:

$$y_H = c_1 \sin \left( x \sqrt{\frac{\beta}{r \cdot s}} \right) + c_2 \cdot \cos \left( x \sqrt{\frac{\beta}{r \cdot s}} \right)$$

Die Konstanten  $c_1$  und  $c_2$  ergeben sich aus den Anfangsbedingungen. Zu Anfang des Abschnitts II ist  $y_H = y_{H_I}$

und  $\frac{d y_H}{d x} = \alpha_{H_I}$ , beide zu ermitteln aus den Bahngleichungen des Abschnitts I mit  $x = x_I$ . Unter Umständen ist  $y_{H_I} = 0$ .

So erhalten wir

$$y_H = \alpha_{H_I} \sqrt{\frac{r \cdot s}{\beta}} \cdot \sin \left( x \sqrt{\frac{\beta}{r \cdot s}} \right) + y_{H_I} \cos \left( x \sqrt{\frac{\beta}{r \cdot s}} \right) \dots \dots \dots 30)$$

Der rollende Hinterradsatz zwingt den Vorderradsatz seine Bahn auf; sonst könnte er nicht rollen. Nach Textabb. 11, die den Bewegungszustand des Fahrzeugs auf diesem

Abschnitt schematisch darstellt, ist:  $y_V = y_H + a \frac{d y_H}{d x}$  oder, unter Beachtung der Gl. 30) für  $y_H$  und ihrer ersten Ableitung nach  $x$ :

$$y_V = \sqrt{\frac{r \cdot s}{\beta}} \left( \alpha_{H_I} - y_{H_I} \frac{a \cdot \beta}{r \cdot s} \right) \sin \left( x \sqrt{\frac{\beta}{r \cdot s}} \right) + (y_{H_I} + a \cdot \alpha_{H_I}) \cos \left( x \sqrt{\frac{\beta}{r \cdot s}} \right) \dots \dots \dots 31a)$$

$x = x_I$ .  $y_V$  und  $y_H$  sind verhältnisgleich  $\frac{\alpha_{V_0}}{\alpha_{H_0}}$ . Diese Bewegungsgleichungen gelten stets, ganz gleich, ob der Vorderradsatz während der Verlagerung von F—F aus der Außenlage in die Innenlage mit beiden Rädern gleitet oder nicht, ob die Vorder- oder Hinterachse stärker belastet ist, ob die Raddrücke gleich oder verschieden sind, denn der rollende Hinterradsatz zwingt dem andern stets seine Bewegung auf. Die Punkte  $Z_V$ ,  $Z_H$  und  $C$  beschreiben also auf diesem Abschnitt stets Stücke von Sinuslinien verschieden großer Amplitude und gleicher ziemlich kleiner Wellenlänge  $L = 2\pi \sqrt{\frac{r \cdot s}{\beta}}$ , gleich der Wellen-

länge des einzeln laufenden Radsatzes. Bei  $r = 0,5$  m,  $s = 0,75$  m und  $\beta = 1/20$ , z. B. ist  $L = 17,2$  m. Die Stücke beginnen und enden an verschiedener Stelle und können sehr verschieden lang sein.

Die Länge  $x_{II}$  des Abschnitts II erhalten wir wie  $x_I$ . Nach Gl. 1) ist für das Ende des Abschnitts, Innenlage von F—F und  $p = a$ :

$$\frac{+y_{V_{II}}}{+y_{H_{II}}} = \frac{a(\operatorname{tg} \gamma_3 + \operatorname{tg} \delta_3) + 2s}{2s}$$

Setzen wir für  $y_{V_{II}}$  und  $y_{H_{II}}$  die Werte der Gl. 30) und 31 a) mit  $x = x_{II}$  ein, so erhalten wir:

$$x_{II} = \sqrt{\frac{rs}{\beta}} \operatorname{arc} \operatorname{tg} \left\{ \sqrt{\frac{\beta}{r \cdot s}} \frac{\alpha_{H_I} \cdot 2s - y_{H_I} (\operatorname{tg} \gamma_3 + \operatorname{tg} \delta_3)}{\alpha_{H_I} (\operatorname{tg} \gamma_3 + \operatorname{tg} \delta_3) + y_{H_I} \frac{2\beta}{r}} \right\} \quad (32),$$

unabhängig von  $\alpha_V$ ! Da  $y_{H_I}$  positiv ist bei stärker belasteter Vorderachse und negativ bei stärker belasteter Hinterachse und da  $(\operatorname{tg} \gamma_3 + \operatorname{tg} \delta_3)$  mit Zunahme des Achsdruckunterschiedes im ersten Fall sinkt, im zweiten steigt, wird  $x_{II}$  um so größer, je größer der Hinterachtsdruck gegenüber dem Vorderachtsdruck wird. Bei Gleichheit der Raddrücke ist  $x_{II} = 0$  bei dem sehr kleinen praktisch wohl kaum vorkommendem Verhältnis von Hinter- zu Vorderachtsdruck nach Gl. 5), ist  $x_{II} = 2s^2/a$  bei Achsdruckgleichheit, wird  $x_{II}$  bei starkem Überwiegen des Hinterachs- über den Vorderachtsdruck ansehnlich groß und kann sogar unter Wegfall der übrigen Abschnitte die ganze Bahn ausmachen, wenn nämlich der Hinter- zum Vorderachtsdruck sich nach dem reziproken Wert der Gl. 5) verhält, was praktisch aber, wie gesagt, kaum vorkommen kann. Raddruckunterschied verkleinert  $x_{II}$ . Wie schon oben gesagt, wird  $x_{II} = 0$ , schrumpft Abschnitt II zu einem Punkt zusammen, wenn der Raddruckunterschied so groß ist, daß während der ganzen Verlagerung der F—F-Linie  $F_V$  auf einer Begrenzungsgeraden liegt und ein Vorderrad rollen würde. Der dazu erforderliche Raddruckunterschied ist um so kleiner, je größer der Achsdruckunterschied ist. Aus diesem Grund kann praktisch  $x_{II}$  sehr wohl = 0 werden, aber allein wegen Entlastung der Hinterachse wie gesagt kaum. Meistens ist  $x_{II}$  recht klein gegenüber  $\frac{L}{2}$ .

Zwischen Abschnitt I und II bestehen daher folgende allgemeine Beziehungen: Gleiten auf I alle vier Räder, so muß  $x_{II} > 0$  sein. Rollt auf I ein Vorderrad, so fängt II an mit  $y_{H_I} = 0$  und ist  $x_{II}$  dann = 0, wenn das Vorderrad auch während der ganzen Verlagerung der F—F-Linie noch rollt. Rollen auf I ein Vorder- und ein Hinterrad, läuft also das Fahrzeug auf I geradeaus, so fängt II an mit  $y_{H_I} = 0$ ,  $y_{V_I} = a \cdot \alpha_{V_0}$  und ist  $x_{II}$  dann = 0, wenn das Vorderrad auch während der ganzen Verlagerung der F—F-Linie noch rollt. Gleiten auf I alle vier Räder, so wandert der Hauptradius auf I von der Vorder- zur Hinterachse und bleibt hier während II liegen. Rollt auf I ein Vorderrad, so liegt der Hauptradius auf I fest in der Vorderachse, springt bei Übergang auf II in die Hinterachse, und bleibt auf II hier liegen. Das Springen ist ohne plötzliche Änderung der Bewegungsrichtung, also ohne Knick in der Bahn, möglich, weil wie oben gezeigt, in diesem Augenblick  $P = \infty$ ,  $\frac{dy_V}{dx} = \frac{dy_H}{dx}$  ist. Rollen auf I ein Vorder- und ein Hinterrad, so hat der Hauptradius auf ihm keine bestimmte Lage, kann man auch nicht von einem Sprung bei Festlegen des Hauptradius in der Hinterachse im Augenblick des Beginns von II sprechen.

### Abschnitt III

beginnt in dem Augenblick, in dem die Hinterachse aufhört mit beiden Rädern zu rollen, bei Gleiten aller vier Räder auf Abschnitt I also in dem Augenblick, in dem bei Lage des Hauptradius in der Hinterachse die auf Abschnitt II vor-

rückende F—F-Linie ihre Innenlage erreicht. Bei der Weiterbewegung kann der richtige Bewegungszusammenhang nicht mehr wie bisher aufrecht erhalten werden durch weiteres Vorücken der F—F-Linie — dann müßte die Vorderachse wegen nicht mehr völliger Ausnutzung ihrer Haftreibung aus bisherigem starkem Gleiten plötzlich zu Rollen übergehen und der Hauptradius aus der Hinterachse in die Vorderachse hinein springen und es würde ein Knick in die gekrümmte Bahn kommen —, sondern durch Heraustreten des Hauptradius aus der Hinterachse nach vorne bei fester Innenlage der F—F-Linie und Wandern des Hauptradius von hinten nach vorne. Dabei tritt die  $u_H$ -Achse aus der Richtung  $BB'$  heraus und nähert sich die  $u_V$ -Achse der Richtung  $AA'$  unter allmählicher Zunahme des Gleitens der Hinterachse und allmählicher Abnahme des Gleitens der Vorderachse. Rollt von dem Augenblick an, in dem F—F seine Innenlage erreicht hat, also vom Beginn des Abschnitts III an, noch ein Hinterrad weiter, so kann der richtige Bewegungszusammenhang aufrecht erhalten werden nicht durch Wandern des Hauptradius,

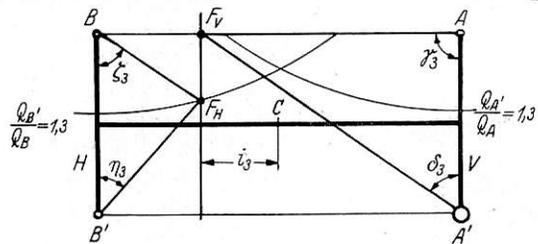


Abb. 12a.

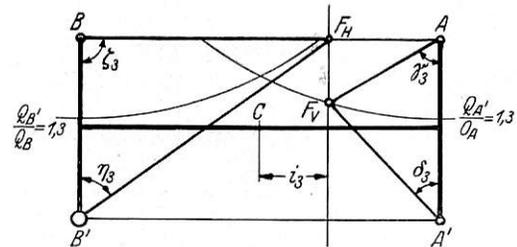


Abb. 12b.

denn dieser liegt jetzt in der Hinterachse fest, sondern allein durch Verdrehen der beiden  $u$ -Achsen, der  $u_H$ -Achse um den weiter rollenden Aufstandspunkt der Hinterachse vom anderen Aufstandspunkt weg, der  $u_V$ -Achse, wie oben angegeben, also beider Achsen derart, daß das Gleiten der Vorderachse allmählich ab-, das Längsgleiten des gleitenden Hinterrades allmählich zunimmt. Rollt vom Beginn des Abschnitts an ein Vorderrad weiter, so dreht sich die  $u_H$ -Achse aus der Richtung  $BB'$  ganz heraus und die  $u_V$ -Achse unter Drehung um den rollenden Aufstandspunkt der Vorderachse allmählich in die Richtung  $AA'$  hinein, unter Zunahme des Gleitens der Hinterachse und Abnahme des Längsgleitens des gleitenden Vorderrades. Rollen eines Vorderrades kommt leicht vor bei stärker belasteter Vorderachse, Rollen eines Hinterrades leicht bei stärker belasteter Hinterachse, s. Textabb. 12a und 12b. Rollen bei Innenlage von F—F ein Vorder- und ein Hinterrad, so läuft das Fahrzeug bei beliebigem  $+y_V/+y_H$  ständig geradeaus unter ständiger Zunahme des Längsgleitens der beiden gleitenden Räder, s. Textabb. 13. Von einem Abschnitt III kann man dann nicht mehr sprechen. Dies kommt vor, wenn bei kleinem Achsdruckunterschied die Raddruckunterschiede an beiden Achsen ziemlich groß sind, s. Textabb. 13.

Der Abschnitt III endet, sobald der vorrückende Hauptradius die Vorderachse erreicht oder, bei in der Hinterachse festliegendem Hauptradius, sobald die  $u_H$ -Achse sich aus dem bisher rollenden Aufstandspunkt ablöst und die  $u_V$ -Achse in

die Richtung AA' hineinfällt, oder sobald bei in der Vorderachse festliegendem Hauptradius die  $y_V$ -Achse in den bisher noch gleitenden Aufstandspunkt und damit ganz in die Richtung AA' hineingeht.

Zunächst sei wieder der Fall betrachtet, daß die Vorderachse stärker belastet ist und alle vier Räder gleiten, je zwei der gleichen Fahrzeugseite in gleicher Richtung, daß  $F_V$  und  $F_H$  also auf den Q-Verhältniskurven liegen, die einander gegenüber oder auf der gleichen Seite liegen können. Dieser

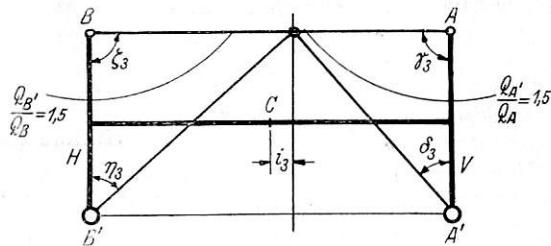


Abb. 13.

Fall dürfte meistens vorliegen. Dafür gilt das Kräfte- und Gleitbewegungsbild der Textabb. 1 oben und Gl. 1) für  $y_V/y_H$ . Nach dieser Gleichung nimmt  $y_V/y_H$  bei dem behaupteten Wandern des Hauptradius von hinten nach vorne oder Abnahme von  $p$  ab, gemäß der wirklichen Bewegung. Die Auslenkungen und Bewegungsrichtungen am Anfang dieses Abschnitts III und am Ende von Abschnitt II:

$$y_V = e^{+x \frac{A_3}{2}} \left[ C_1 \cdot \sin \left( \sqrt{B_3 - \frac{A_3^2}{4}} \cdot x \right) + C_2 \cos \left( \sqrt{B_3 - \frac{A_3^2}{4}} \cdot x \right) \right]$$

Die Konstanten  $C_1$  und  $C_2$  erhalten wir aus den bekannten oben angegebenen Anfangsbedingungen zu

$$C_1 = \frac{\alpha_{V_{II}} - \frac{A_3}{2} \cdot y_{V_{II}}}{\sqrt{B_3 - \frac{A_3^2}{4}}} \quad \text{und} \quad C_2 = y_{V_{II}}$$

mithin

$$y_V = e^{+x \frac{A_3}{2}} \left[ \frac{\alpha_{V_{II}} - \frac{A_3}{2} \cdot y_{V_{II}}}{\sqrt{B_3 - \frac{A_3^2}{4}}} \cdot \sin \left( \sqrt{B_3 - \frac{A_3^2}{4}} \cdot x \right) + y_{V_{II}} \cdot \cos \left( x \sqrt{B_3 - \frac{A_3^2}{4}} \right) \right] \dots \dots \dots 35)$$

Ebenso erhalten wir

$$y_H = e^{+x \frac{A_3}{2}} \left[ \frac{\alpha_{H_{II}} - \frac{A_3}{2} \cdot y_{H_{II}}}{\sqrt{B_3 - \frac{A_3^2}{4}}} \cdot \sin \left( x \sqrt{B_3 - \frac{A_3^2}{4}} \right) + y_{H_{II}} \cdot \cos \left( x \sqrt{B_3 - \frac{A_3^2}{4}} \right) \right] \dots \dots \dots 36)$$

$y_V$ ,  $y_H$  und somit auch  $y = \frac{y_V + y_H}{2}$  sind verhältnisgleich  $\alpha_{V_0}$ , da  $\alpha_{V_{II}}$ ,  $y_{V_{II}}$ ,  $\alpha_{H_{II}}$  und  $y_{H_{II}}$  verhältnisgleich  $\alpha_{V_0}$  sind. Das Gleiche gilt für die Bahnrichtungen  $\frac{dy_V}{dx}$ ,

$\frac{dy_H}{dx}$  und  $\frac{dy}{dx}$  an beliebiger Stelle des Abschnitts.

Die Abschnittslänge  $x_{III}$  erhalten wir in der gleichen Weise wie  $x_I$  mit Hilfe von Gl. 1) mit  $p = 0$  am Ende des Abschnitts und der Gl. 35) und 36) mit  $x = x_{III}$  zu:

$$x_{III} = \frac{1}{\sqrt{B_3 - \frac{A_3^2}{4}}} \left[ \text{arctg} \left\{ -\sqrt{B_3 - \frac{A_3^2}{4}} \cdot \frac{y_{V_{II}} - y_{H_{II}} \frac{2s}{2s + a(tg \zeta_3 + tg \eta_3)}}{\left( \alpha_{V_{II}} - \frac{A_3}{2} y_{V_{II}} \right) - \left( \alpha_{H_{II}} - \frac{A_3}{2} y_{H_{II}} \right) \frac{2s}{2s + a(tg \zeta_3 + tg \eta_3)}} \right\} + \pi \right] \dots \dots \dots 37a),$$

oder, falls der arctg positiv wird, was nur bei außergewöhnlich großem Achsdruckunterschied vorkommen kann:

$$x_{III} = \frac{1}{\sqrt{B_3 - \frac{A_3^2}{4}}} \text{arctg} \left[ +\sqrt{B_3 - \frac{A_3^2}{4}} \cdot \frac{y_{V_{II}} - y_{H_{II}} \frac{2s}{2s + a(tg \zeta_3 + tg \eta_3)}}{\left( \alpha_{V_{II}} - \frac{A_3}{2} y_{V_{II}} \right) + \left( \alpha_{H_{II}} - \frac{A_3}{2} y_{H_{II}} \right) \frac{2s}{2s + a(tg \zeta_3 + tg \eta_3)}} \right] \dots \dots \dots 37b);$$

$x_{III}$  ist unabhängig von  $\alpha_{V_0}$ !

Auf diesem Abschnitt hat also die Fahrzeugbahn die Form einer freien Schwingung mit negativer Geschwindigkeitsdämpfung. Bei gedachter Ausdehnung dieses Bewegungsgesetzes auf die ganze Bahn hat diese die Form einer sinuslinienartigen Kurve mit unaufhörlich und immer stärker anwachsendem Ausschlag und Winkelfehler beim Durchgang durch die Gleislängsachse als Nulllinie und von gleichbleibender Wellenlänge. — Natürlich ist der Ausschlag durch das Spurspiel begrenzt. — Bei dieser gedachten Ausdehnung haben nach den obigen Bahngleichungen das Verhältnis  $\mu_{III}$  zweier aufeinanderfolgender voller Ausschläge, die halbe Wellenlänge der Bahn  $\frac{L_{III}}{2}$  und das Verhältnis von  $x_{III}$  zu dieser folgende Ausdrücke:

$$\mu_{III} = e^{+\frac{A_3 \cdot \pi}{2\sqrt{B_3 - \frac{A_3^2}{4}}}} \dots \dots \dots 38),$$

$$\frac{L_{III}}{2} = \frac{\pi}{\sqrt{B_3 - \frac{A_3^2}{4}}} \dots \dots \dots 39)$$

oder

$$\mu_{III} = e^{\frac{A_3}{4} \cdot L_{III}} \dots \dots \dots 38a)$$

und

$$\frac{x_{III}}{\frac{L_{III}}{2}} = \frac{\pi - \varphi}{\pi} \text{ bzw. } = \frac{-\varphi}{\pi} \dots \dots \dots 40),$$

wenn man  $x_{III}$  in der Form schreibt:

$$x_{III} = \frac{1}{\sqrt{B_3 - \frac{A_3^2}{4}}} (-\varphi + \pi) \text{ bzw. } = \frac{-\varphi}{\sqrt{B_3 - \frac{A_3^2}{4}}}$$

Das Verhältnis  $\mu_{III}$  wollen wir kurz als „Schwellmaß“ des erweiterten Abschnitts III bezeichnen. Es gibt auch an, in welchem Maß bei dieser gedachten Ausdehnung des Abschnittbewegungsgesetzes auf die ganze Bahn der Winkelfehler der Fahrzeugbahn von einem Durchgang durch die Gleislängsachse bis zum nächsten wächst, da die Bahnrichtung  $\frac{dy}{dx}$  genau so verhältnismäßig  $\alpha_0$  ist, wie der Ausschlag  $y$ .

Von  $\mu_{III}$  und  $\frac{x_{III}}{\frac{L_{III}}{2}}$  zu unterscheiden sind natürlich  $\mu$  und

$\frac{x_{III}}{\frac{L}{2}}$ , das genaue Schwellmaß der Bahn und das Verhältnis der

Abschnittlänge zur genauen halben Wellenlänge der Bahn, ohne die genannte Ausdehnung des Abschnittbewegungsgesetzes auf die ganze Bahn.

Bei gleichen Achsdrücken und gleichen Raddruckunterschieden an beiden Achsen wird  $A_3 = 0$ , und das Schwellmaß  $\mu_{III} = 1$ , wird die Bahn des Fahrzeugs bei Ausdehnung des Abschnittbewegungsgesetzes auf den ganzen Verlauf eine Sinuslinie von großer, mit dem Raddruckunter-

schied steigender Wellenlänge, mit großem  $\frac{x_{III}}{\frac{L_{III}}{2}}$ , s. meine

frühere Arbeit. In diesem Fall ist  $\mu$  nahezu gleich  $\mu_{III}$ ,  $L$  nahezu gleich  $L_{III}$ , der Fehler, den wir mit der Ausdehnung des Bewegungsgesetzes des Abschnitts auf die ganze Bahn machen,

äußerst gering. Je mehr nun bei Raddruckgleichheit jeder Achse der Vorderachsdruck den Hinterachsdruck übersteigt, desto größer wird die Konstante  $A_3$ , damit das Schwellmaß  $\mu_{III}$ , desto kleiner aber  $\frac{x_{III}}{\frac{L_{III}}{2}}$  und auch  $\frac{x_{III}}{\frac{L}{2}}$ , da sich  $L$  nur wenig von  $L_{III}$  unterscheidet. Zunahme von  $\mu_{III}$  unter sonst gleichen Umständen vergrößert  $\mu$ , Abnahme von  $\frac{x_{III}}{\frac{L}{2}}$  unter

sonst gleichen Umständen aber verkleinert  $\mu$ . Die Folge davon ist, daß bis zu einem gewissen Achsdruckverhältnis — und zwar demjenigen sehr großen, bei dem die F—F-Linie in der Hinterachse liegt — das genaue Schwellmaß  $\mu$  der ganzen Bahn wächst wie das  $\mu_{III}$  des erweiterten Abschnitts, daß aber bei noch weiterer Zunahme des Achsdruckverhältnisses  $\mu$  schnell abnimmt, während  $\mu_{III}$  weiter wächst. Bei dieser Abnahme erreicht  $\mu$  seinen Kleinstwert 1 bei dem durch Gl. 5) gegebenen außerordentlich großen Achsdruckverhältnis, das praktisch, wie gesagt, kaum vorkommt. In diesem Grenzfall wird nämlich  $x_{III} = 0$ , fällt Abschnitt III ganz aus. In Wirklichkeit kommen wohl nur so große Achsdruckunterschiede vor, daß  $\mu$  mit wachsendem Achsdruckverhältnis oder -Unterschied wächst.

Nun weicht, wie die weitere Untersuchung zeigen wird, bis zu einem Achsdruckverhältnis von etwa 2, ganz gleich, ob die Vorderachse oder die Hinterachse stärker belastet ist und wie groß die Raddruckunterschiede sind, das Bewegungsgesetz der Bahn außerhalb des Abschnitts III nur wenig von dem des erweiterten Abschnitts III ab, und zwar um so weniger, je kleiner der Achsdruckunterschied ist. So können wir, ohne einen großen Fehler zu machen, in diesem praktisch meist vorliegenden Bereich des Achsdruckverhältnisses die Bestimmungsgrößen der ganzen Fahrzeugbahn einfach nach den Bahngleichungen des Abschnitts III berechnen, im vorliegenden Fall stärker belasteter Vorderachse und Raddruckgleichheit den Ausschlag, die Wellenlänge und das Schwellmaß der Bahn nach Gl. 35), 36), 38) und 39). Danach sinkt die Wellenlänge mit zunehmendem Achsdruckunterschied, steigt das Winkelfehlerverhältnis zwischen zwei aufeinanderfolgenden Durchgängen der Bahn durch die Gleislängsachse im gleichen Maß wie das Schwellmaß.

Um den Einfluß einer Raddruckverschiedenheit voll erkennen zu können, müssen wir wissen, wie die Fahrzeugbahn aussieht bei Rollen von einem Vorderrad, Lage von  $F_V$  auf einer Begrenzungsgeraden, Lage des Hauptradius fest in der Vorderachse und Gleiten nur eines Vorderrades (s. Textabb. 12a oben). Dann ist  $p = 0$  und  $tg \gamma_3 + tg \delta_3 = \infty$  und wir erhalten in der gleichen Weise wie für den entsprechenden Fall des Abschnitts I:

$$P = r \cdot \cotg \varepsilon_H = r \frac{a(tg \zeta_3 + tg \eta_3) + 2s}{2y_H \beta},$$

$$\frac{d^2 y_{V,H}}{dx^2} = \frac{dy_{V,H}}{dx} \cdot \frac{2\beta}{r \cdot 2s + a(tg \zeta_3 + tg \eta_3)} = -y_{V,H} \frac{2\beta}{r \cdot 2s + a(tg \zeta_3 + tg \eta_3)} \dots \dots 40),$$

also die Konstanten  $A_3$  und  $B_3$  in derjenigen Bedeutung, die sie in den Gl. 35) und 36) für  $y_V$  und  $y_H$  haben:

$$A_3 = \frac{2\beta}{r \cdot 2s + a(tg \zeta_3 + tg \eta_3)} \dots \dots \dots 41),$$

$$B_3 = + \frac{A_3}{a} \dots \dots \dots 42).$$

Die Ausdrücke für  $y_V, y_H, y$  und  $x_{III}$  ändern sich nicht. Auch hier sind  $y_V, y_H$  und  $y$  verhältnisgleich  $\alpha_{V_0}$ , ist  $x_{III}$  unabhängig von  $\alpha_{V_0}$ .

Bei unverändertem Achsdruckverhältnis hat danach eine bei beiden Achsen gleiche Zunahme des Raddruckunterschieds zur Folge, daß  $x_{III}, L_{III}, \frac{x_{III}}{L_{III}}$  und der volle Ausschlag  $y_{max}$

bei gleichem  $\alpha_0$  alle zunehmen; die weitere Untersuchung wird zeigen, daß auch  $\frac{x_{III}}{L}$  damit zunimmt. Das Schwellmaß  $\mu_{III}$

des erweiterten Abschnitts aber nimmt mit zunehmendem Raddruckunterschied nur so lange zu, wie kein Rad rollt und nimmt bei Rollen eines Vorderrades wieder ab! Das genaue Schwellmaß der Bahn  $\mu$  verhält sich hier auf dem ganzen Bereich der Raddruckunterschiedsänderung ebenso wie  $\mu_{III}$ ,

weil  $\frac{x_{III}}{L}$  nicht ab- sondern zunimmt. Das Gleiche gilt für

das Verhältnis der Winkelfehler der Bahn bei zwei aufeinander folgenden Durchgängen durch die Gleislängsachse.

Sobald bei immer weiter wachsendem Raddruckunterschied und entsprechend abnehmender Sehnenlänge  $2m_{V,H}$  außer dem einen Vorderrad noch ein Hinterrad zum Rollen kommt, läuft, wie gesagt, das Fahrzeug in seiner Winkelabweichung geradeaus, verliert es seine Wendefähigkeit, ist das Schwellmaß der Bahn, wie auch das des Abschnitts wieder gleich 1. Derjenige Raddruckunterschied, bei dem diese ungünstige Erscheinung auftritt, liegt um so höher, je größer der Achsdruckunterschied oder je größer  $i_3$  ist (s. Textabb. 13 oben). Bei Achsdruckgleichheit oder Lage von F—F in Fahrzeugmitte —  $i_3 = 0$  — muß nach Gl. 10a) das Raddruckverhältnis bei

beiden Achsen  $< \sqrt{\left(\frac{4s}{a}\right)^2 + 1}$  sein, bei  $s = 0,75$  m,  $a = 3$  m,

z. B.  $< 1,41$ , damit das Fahrzeug noch selbsttätig wendet. Je mehr sich die beiden Achsdrücke voneinander unterscheiden, je größer  $i_3$  wird, desto stärker können auch die Raddrücke verschieden sein, ohne daß die Gefahr des Geradeauslaufs eintritt. Textabb. 13 zeigt, daß bei einem Achsdruckverhältnis von  $\leq 1,3$  ein Fahrzeug von 3 m Radstand schon bei einem Raddruckverhältnis von 1,5 an beiden Achsen geradeaus läuft.

Ist die Hinterachse stärker belastet, so bleiben bei Gleiten aller vier Räder alle Gleichungen unverändert;  $A_3$  aber, das verhältnisgleich der Differenz

$$(tg \gamma_3 + tg \delta_3) - (tg \zeta_3 + tg \eta_3)$$

ist, wird negativ, weil jetzt die F—F-Linie vor der Fahrzeugmitte liegt,  $(tg \zeta_3 + tg \eta_3)$  stets größer als  $(tg \gamma_3 + tg \delta_3)$  ist. Daher ist der Zahlenwert der Konstanten  $C_1$  bei gleichem  $\alpha_{V_{II}}$  und  $y_{H_{II}}$  größer als bei stärker belasteter Vorderachse.

Bei Rollen eines Hinterrades mit  $tg \zeta_3 + tg \eta_3 = \infty$  und  $p = a$  lautet die Differentialgleichung:

$$\frac{d^2 y_{V,H}}{dx^2} + \frac{dy_{V,H}}{dx} \frac{2\beta}{r} \frac{a}{a(tg \gamma_3 + tg \delta_3) + 2s} = -y_{V,H} \frac{2\beta}{r} \frac{1}{a(tg \gamma_3 + tg \delta_3) + 2s} \dots 43),$$

also die Konstanten  $A_3$  und  $B_3$  in derjenigen Bedeutung, die sie in den Gl. 35) und 36) für  $y_V$  und  $y_H$  haben:

$$A_3 = -\frac{2\beta}{r} \frac{a}{a(tg \gamma_3 + tg \delta_3) + 2s} \dots 44),$$

$$B_3 = -\frac{A_3}{a} \dots 45).$$

In diesem Fall stärker belasteter Hinterachse stellen bei Ausdehnung des Abschnittsbewegungsgesetzes auf die ganze Bahn die Bahngleichungen für  $y_V, y_H$  und  $y$  freie Schwingungen mit positiver Geschwindigkeitsdämpfung dar, d. h. beschreibt das Fahrzeug eine wellenförmige Bahn von ständig und immer schwächer bis auf 0 abklingenden Ausschlägen und gleichbleibender Wellenlänge. Achsdruck- und Raddruckunterschied wirken hier auf  $x_{III}, \frac{L_{III}}{2}$ ,

$\frac{x_{III}}{L_{III}}, \frac{x_{III}}{L}, y_{max}$  genau wie bei der stärker belasteten Vorder-

achse; nur das „Schwellmaß“ wird kleiner als 1, ein „Schrumpfmaß“. Je größer also der Achsdruckunterschied bis zu praktisch vorkommenden Höchstwerten ist, desto größer wird das Schrumpfmaß auch der ganzen Bahn, desto schneller schrumpfen die Ausschläge. Und mit zunehmendem Raddruckunterschied wächst zunächst das Schrumpfmaß der Bahn, schrumpfen die Ausschläge zunächst schneller, bis ein Hinterrad zu rollen beginnt. Von diesem Augenblick an sinkt das Schrumpfmaß der Bahn, schrumpfen die Ausschläge immer weniger, bis auch ein Vorderrad zu rollen beginnt und das Fahrzeug geradeaus läuft, das Schrumpfmaß gleich 1 wird.

Dadurch, daß wir die Hinterachse stärker belasten als die Vorderachse, erreichen wir also ein Abklingen der Sinusschwingungen; es darf nur der Hinterachsdruck nicht viel mehr als etwa doppelt so groß wie der Vorderachsdruck sein und es dürfen die Raddrücke nicht außergewöhnlich stark voneinander verschieden sein, bei Achsdruckgleichheit und einem Radstand von 3 m höchstens  $1/1,4$  und um so stärker, je größer der Achsdruckunterschied ist.

#### Abschnitt IV

beginnt, sobald beide Vorderräder zu rollen beginnen oder sobald  $\frac{+y_V}{+y_H}$  einen solchen Wert erreicht hat, daß der richtige

Zusammenhang der Kräfte und Bewegungen besteht bei Lage des Hauptradius in der Vorderachse, Gang ihrer u-Achse

durch A und A' und Innenlage von F—F. Sinkt  $\frac{y_V}{y_H}$  unter

diesen Wert, so kann der richtige Zusammenhang der Kräfte und Bewegungen aufrecht erhalten werden nur durch Vorrücken der F—F-Linie bei fester Lage des Hauptradius in der Vorderachse und weiterem Zusammenfallen ihrer u-Achse mit der Linie AA'. Die F—F-Linie rückt vor über die Vorderachse hinaus nach vorne und erreicht ihre Außenlage am Ende des Abschnitts. Liegt diese Außenlage bei stärker belasteter Vorderachse hinter der Hinterachse, so rückt die F—F-Linie vor bis ins Unendliche und kommt aus dem Unendlichen von hinten her bis in ihre Außenlage. Die F—F-Linie rückt stetig vor, solange Punkt  $F_H$  auf einer Q-Verhältniskurve liegt, sprunghaft, solange  $F_H$  auf einer Begrenzungsgeraden liegt. Während dieses Vorrückens wird die Haftreibung der Vorderachse nicht voll ausgenützt, sie rollt und zwingt der Hinterachse ihre Bahn auf. Rollt auf Abschnitt III ein Hinterrad, so springt bei Beginn des Abschnitts IV, bei  $y_V = 0$  und  $P = \infty$ , der Hauptradius aus der Hinter- in die Vorderachse.

An diesen Abschnitt IV schließt sich wieder Abschnitt I mit umgekehrtem Vorzeichen von  $y_V$ ,  $y_H$  und  $y$  an; eine Halbwelle der Bahn ist damit voll durchlaufen.

In der gleichen Weise wie für Abschnitt II (Rollen der Hinterachse) erhalten wir für Rollen der Vorderachse, ganz gleich, welche Achse stärker belastet ist und wie groß die Raddruckunterschiede sind:

$$y_V = \alpha_{V_{III}} \sqrt{\frac{rs}{\beta}} \sin \left( x \cdot \sqrt{\frac{\beta}{rs}} \right) + y_{V_{III}} \cos \left( x \cdot \sqrt{\frac{\beta}{rs}} \right) \quad \dots 46),$$

$$y_H = \alpha_{H_{III}} \sqrt{\frac{rs}{\beta}} \sin \left( x \cdot \sqrt{\frac{\beta}{rs}} \right) + y_{H_{III}} \cos \left( x \cdot \sqrt{\frac{\beta}{rs}} \right) \quad \dots 47),$$

worin sich die Anfangswerte  $y_{V_{III}}$ ,  $y_{H_{III}}$ ,  $\alpha_{V_{III}}$ ,  $\alpha_{H_{III}}$  aus den Bahngleichungen des Abschnitts III mit  $x = x_{III}$  ergeben. Auch

diese Auslenkungen  $y_V$ ,  $y_H$  und  $y = \frac{y_V + y_H}{2}$  sind  $\alpha_{V_0}$

verhältnismäßig. Punkt C beschreibt auf diesem Abschnitt ein Stück einer Sinuslinie, von gleicher Wellenlänge, wie auf Abschnitt II. Nur die Anfangs- und Endpunkte dieses Stückes und seine Länge  $x_{IV}$  sind anders. Für  $x_{IV}$  erhalten wir in der gleichen Weise wie für  $x_{II}$  den Ausdruck:

$$x_{IV} = \sqrt{\frac{rs}{\beta}} \arctg \left[ \frac{\beta \alpha_{V_{III}} \cdot 2s - y_{V_{III}} (\tg \zeta_1 + \tg \eta_1)}{rs \alpha_{V_{III}} (\tg \zeta_1 + \tg \eta_1) + y_{V_{III}} \cdot \frac{2\beta}{r}} \right] \quad \dots 48a)$$

bzw.

$$x_{IV} = \sqrt{\frac{rs}{\beta}} \left[ \arctg \left[ \frac{\beta \alpha_{V_{III}} \cdot 2s - y_{V_{III}} (\tg \zeta_1 + \tg \eta_1)}{rs \alpha_{V_{III}} (\tg \zeta_1 + \tg \eta_1) + y_{V_{III}} \cdot \frac{2\beta}{r}} \right] + \pi \right] \quad \dots 48b)$$

bei negativem  $\arctg$ , was bei sehr großem Achsdruckunterschied vorkommt. Auch  $x_{IV}$  ist unabhängig von  $\alpha_{V_0}$ .

$x_{IV}$  wird um so größer, je größer der Vorderachsdruck gegenüber dem Hinterachsdruck wird. Auch im übrigen ändert sich  $x_{IV}$  mit Achsdruck- und Raddruckunterschied wie  $x_{II}$  bei Vertauschung von Vorder- und Hinterachse.  $x_{IV}$  wird dann = 0, wenn der Raddruckunterschied so groß ist, daß während der ganzen Verlagerung der F—F-Linie aus der Innen- in die Außenlage ein Hinterrad rollt. Dann wird  $y_{V_{III}} = y_{V_{IV}} = 0$ .

Damit haben wir das Fahrzeug von einem Durchgang durch die Gleislängsachse bis zum nächsten oder eine Halbwelle seiner Bahn verfolgt. Deren Länge ist die Summe von  $x_I$  bis  $x_{IV}$ . Das genaue Schwell- oder Schrumpfmaß der Fahrzeugbahn ist =  $\frac{\alpha_{V_0}}{\alpha_{V_{IV}}}$ , da die Ausschläge zweier aufeinander-

folgender Halbwellen verhältnismäßig  $\alpha_{V_0}$  bzw.  $\alpha_{V_{IV}}$  sind. Bis

zu einem Achsdruckverhältnis von etwa 1:2 bzw. 2:1 überwiegt nach den Ergebnissen dieser Untersuchung aller vier Abschnitte einer Halbwelle der Abschnitt III alle andern in solchem Maß, daß er der Fahrzeugbahn seinen Stempel aufdrückt und daß wir genau genug deren Wellenlänge und Schwell- oder Schrumpfmaß einfach gleich diesen Größen des Abschnitts III setzen können.

Zur Veranschaulichung der Ergebnisse dieser rechnerischen Untersuchung sind in Abb. 4, 5 u. 6, Taf. 3 die Bahnen des Mittelpunkts C eines Fahrzeugs von  $a=3$  m,  $s=0,75$  m,  $\beta=1/20$  für verschiedene Achs- und Raddruckunterschiede stark verzerrt, in viel zu großem Höhenmaßstab, mit  $\tg \alpha_{V_0} = 1$ , aufgezeichnet, berechnet nach den obigen Gleichungen, und zwar genau, Abschnitt für Abschnitt. Die Raddrucke sind als unveränderlich angesehen. Die einzelnen Abschnitte sind durch römische Zahlen, ihre Anfänge und Enden durch kleine

Kreise mit Querstrichen bezeichnet. Außer den Fahrzeugbahnen sind die zugehörigen Kräftebilder aufgezeichnet und an diesen die zugehörigen Zahlenwerte von  $\frac{L}{2}$ ,  $\mu$  und der

Achs- bzw. Raddruckverhältnisse angegeben. Auf allen Abbildungen beginnen die Fahrzeugbahnen an der gleichen Stelle mit einem dem gleichen  $\tg \alpha_{V_0}$  entsprechenden  $\tg \alpha_0$ , das gar nicht oder nur äußerst wenig von  $\tg \alpha_{V_0}$  abweicht. Abb. 4, Taf. 3 enthält in ausgezogenen Linien die Fahrzeugbahnen bei veränderlicher Mehrbelastung der Vorderachse und Raddruckgleichheit, und zwar für die Achsdruckverhältnisse 1,0; 2,23; 3,88; 4,24; 4,24 oder die zugehörigen  $i_3 = 0$ ; 0,75; 1,5; 1,6; 1,677 m als die Fälle A ÷ E und außerdem strichpunktiert die Fahrzeugbahn bei Raddruckgleichheit und Mehrbelastung der Hinterachse im Verhältnis 2,23 zur Vorderachse als Fall F. Bei  $i_3 = 1,5$  (C) liegt die „Querlinie“ auf Abschnitt III in der Hinterachse. Das  $i_3 = 1,677$  des Falls E ist gleich seinem  $i_1$ , d. h. die Querlinien der Abschnitte I und III fallen bei diesem sehr großen Achsdruckverhältnis von 4,24 zusammen; die Vorderachse ist an der Grenze vom Gleiten zum Rollen; das Achsdruckverhältnis von 4,24 entspricht der Gl. 5) als das größte, bei dem noch die Haftreibung beider Achsen voll ausgenutzt wird. Bei noch größerem würde die Vorderachse rollen. Im Fall F verhält sich die Hinterachslast zur Vorderachslast wie im Fall B die Vorderachslast zur Hinterachslast. Abb. 5 und 6 enthalten die Fahrzeugbahnen für verschiedene bei beiden Achsen gleiche Raddruckverhältnisse unter Beibehaltung des gleichen  $i_3 = \pm 0,75$  oder unter nur geringer Änderung des Achsdruckverhältnisses, Abb. 5 bei Mehrbelastung der Vorderachse entsprechend  $i_3 = +0,75$  m, Abb. 6, Taf. 3 bei Mehrbelastung der Hinterachse entsprechend  $i_3 = -0,75$  m, und zwar beide für die Raddruckverhältnisse 1,0, 1,2, 1,61, 2,1, 2,23 als die Fälle B, B<sub>2</sub> bis B<sub>5</sub> bzw. F, F<sub>2</sub> bis F<sub>5</sub>. In Fall B und F gleiten alle vier Räder sowohl auf Abschnitt I als auch auf Abschnitt III. Diese beiden Bahnlagen sind schon auf Abb. 4 vorhanden. In Fall B<sub>2</sub> und F<sub>2</sub> (Raddruckverhältnis 1,2) sind auf Abschnitt I ein Vorder- und ein Hinterrad, auf Abschnitt III ein Vorder- oder ein Hinterrad an der Grenze vom Gleiten zum Rollen. Bis zu einem Raddruckverhältnis von 2,23 (Fall B<sub>5</sub>, F<sub>5</sub>) rollen diese Räder, von da an beginnt auch auf Abschnitt III ein zweites Rad zu rollen, das Fahrzeug geradeaus zu laufen.

Abb. 4 zeigt folgendes: In Fall A (Achs- und Raddruckgleichheit) ist die Halbwelle der Bahn vollkommen symmetrisch zum konstanten größten Ausschlag  $y_{max}$ , liegt der lange, der ganzen Halbwelle den Stempel aufdrückende, Abschnitt III von Sinuslinienform genau in der Mitte, auf beiden Seiten eingeschlossen durch die spiegelbildlich zueinander liegenden kurzen Abschnitte II und IV von Sinuslinienform und diese wieder eingeschlossen durch je einen geradlinigen Bahnabschnitt I von der Länge des Radstandes. Je mehr nun der Vorderachsdruck den Hinterachsdruck überschreitet, desto mehr rückt Abschnitt I vor, krümmt er sich und schrumpft er ein, bis auf Null in Fall E, desto mehr verliert Abschnitt III seine Sinuslinienform, rückt er zurück und schrumpft er ein, erst langsam, dann schneller, bis auf Null im Fall E, desto mehr schrumpft der Sinuslinienabschnitt II, bis auf Null im Fall E, und desto mehr schwillt der Sinuslinienabschnitt IV an, erst langsam, dann schneller, bis auf die ganze Bahn in Fall E. Mit steigendem Achsdruckunterschied steigt das Schwellmaß, die Winkelabweichungsänderung und die Schärfe der Ablenkung zunächst stark, das Schwellmaß bis auf 1,42 in Fall C, dann sinken sie schnell ab, das Schwellmaß wieder bis auf 1 im Fall E. Der Scheitel der Bahnkurve rückt zunächst über die Mitte der Halbwellenlänge hinaus vor und geht dann wieder bis auf die Mitte zurück, in gleichem Maß wie  $\mu$

über 1 hinaus und wieder zurückgeht. Die Wellenlänge nimmt stetig ab von 39,70 auf 17,24 m. Der unmittelbar auf den ersten Durchgang durch die Gleislängsachse mit gleichem  $\alpha_{V_0}$  folgende volle Ausschlag  $y_{\max}$  der Bahnen der verschiedenen Fälle nimmt zunächst ein wenig zu, von  $6,14 \cdot \alpha_{V_0}$  in Fall A auf  $6,25 \cdot \alpha_{V_0}$  in Fall B und fällt dann in den weiteren Fällen, also mit steigendem Achsdruckunterschied, ab. Auf den weiteren Halbwellen verschiebt sich das Bild schnell im Sinne des Schwellmaßes; auf der zweiten ist der Ausschlag des Falls B schon erheblich größer als der unveränderte von A:  $y_{\max B} = 1,32 \cdot 6,25 \cdot \alpha_{V_0} = 8,25 \cdot \alpha_{V_0}$  gegenüber  $y_{\max A} = 6,14 \cdot \alpha_{V_0}$ , der von Fall C:  $y_{\max C} = 4,5 \cdot 1,42 \cdot \alpha_{V_0} = 6,4 \cdot \alpha_{V_0}$ , noch merklich kleiner als der von B; auf der sechsten in Abb. 4 nicht mehr gezeichneten Halbwellen aber liegen die Ausschläge schon in der gleichen Reihenfolge zueinander wie die Schwellmaße, ist  $y_{\max C} = 4,5 \cdot 1,42^5 \cdot \alpha_{V_0} = 26,1 \cdot \alpha_{V_0}$  und  $y_{\max B} = 6,25 \cdot 1,32^5 \cdot \alpha_{V_0} = 25,2 \cdot \alpha_{V_0}$ .

Ein Vergleich der Linie F mit der Linie B zeigt den starken Einfluß der Vertauschung des Achs-Lastverhältnisses. Die Wellenlänge ist in beiden Fällen gleich groß. Schon der erste Ausschlag der Linie F ist erheblich kleiner als der der Fälle B und A, der Scheitel der Halbwellen liegt vor der Mitte; die Abschnitte II und IV haben ihre Rollen gegenüber denen in Fall B vertauscht. Praktische Bedeutung hat vor allem der Bereich A ÷ B und A ÷ F.

Die Abb. 5 und 6, Taf. 3 zeigen folgendes: Da schon bei einem Raddruckverhältnis von 1,2 auf Abschnitt I ein Vorder- und ein Hinterrad zu rollen beginnen, wird dieser Bahnabschnitt in den Fällen B<sub>2</sub> bis B<sub>5</sub> und F<sub>2</sub> bis F<sub>5</sub> eine unter  $\alpha_{V_0}$  gegen die Gleislängsachse geneigte Gerade von der Länge des Radstandes. Die  $x_{II}$  der B-Fälle sind gleich den  $x_{IV}$  der F-Fälle; die  $x_{IV}$  der B-Fälle sind gleich den  $x_{II}$  der

F-Fälle; die  $x_{II}$  der Fälle B<sub>2</sub> — B<sub>5</sub> sind gleich Null, die  $x_{IV}$  der B-Fälle sinken mit zunehmendem Raddruckverhältnis, bis auf Null im Fall B<sub>5</sub>. In den Fällen B<sub>5</sub> und F<sub>5</sub> sind daher  $x_{II}$  und  $x_{IV} = 0$ , bilden Abschnitt I und III zusammen die unter  $\alpha_{V_0}$  gegen die Gleislängsachse geneigte Bahngerade. Die Wellenlänge wächst mit steigendem Raddruckunterschied stetig an, zuerst langsam, dann immer schneller. Ob die Vorder- oder die Hinterachse stärker belastet ist, macht für die Wellenlänge unter sonst gleichen Umständen nichts aus. Das Schwell- und Schrumpfmaß und die Winkeländerung nehmen zu, solange alle vier Räder gleiten, also auf dem Bereich B ÷ B<sub>2</sub> und F ÷ F<sub>2</sub>, dann ab und werden gleich 1, sobald auch auf Abschnitt III ein zweites Rad zu rollen anfängt, in Fall B<sub>5</sub> und F<sub>5</sub>. Bei stärker belasteter Vorderachse steigt nach Abb. 5 der erste Ausschlag  $y_{\max}$  der verschiedenen Bahnen nach Durchgang durch die Gleislängsachse mit gleichem  $\alpha_{V_0}$  mit zunehmendem Raddruckverhältnis stetig an, auch bei Rollen von einem Rad auf Abschnitt III (Fall B<sub>2</sub> ÷ B<sub>5</sub>, F<sub>2</sub> ÷ F<sub>5</sub>), obwohl das Schwellmaß  $\mu$  hierbei sinkt. Das rührt daher, daß die Wellenlänge auf diesem Bereich stark zunimmt und die Wellenlängezunahme den Ausschlag stärker zu- als die Schwellmaßabnahme ihn abnehmen läßt. Aus dem Gegeneinanderwirken dieser beiden Einflüsse erklärt sich auch, daß bei stärker belasteter Hinterachse nach Abb. 6, Taf. 3 mit zunehmendem Raddruckunterschied der erste Ausschlag zunächst etwas ab- und dann erst zunimmt. Daß die ersten Ausschläge auf Abb. 5, Taf. 3 viel größer sind als auf Abb. 6, Taf. 3, rührt daher, daß in einem Fall ein Schwell- im anderen ein Schrumpfmaß vorhanden ist. Trotz dieser Unterschiede nähern sich die Bahnen in beiden Fällen der gleichen unter  $\alpha_{V_0}$  gegen die Gleislängsachse geneigten Geraden, die bei dem gleichen Raddruckverhältnis, im Beispiel 2,23, erreicht wird.

## Zulässige Fahrgeschwindigkeiten in Gleisbogen mit Rücksicht auf die Überhöhungs- und Krümmungsverhältnisse.

Von Dr. Ing. habil. Gerhard Schramm, Reichsbahnrat, Danzig.

### A. Einleitung.

Bis zum Jahre 1935 gab es bei der Reichsbahn keine genaue Anweisung, wie die zulässige Geschwindigkeit in Bogen bei gegebenen Überhöhungs- und Krümmungsverhältnissen zu ermitteln war. Die Steigerung der Fahrgeschwindigkeiten und die vermehrte Anwendung der Bogenweichen verlangten aber schließlich klare Regeln, die beim Entwerfen von Linienverbesserungen und Weichenverbindungen zugrunde gelegt werden konnten. Die Reichsbahn gab daher im April 1935 eine Verfügung heraus, die keinen Zweifel mehr übrig läßt, welche Geschwindigkeit bei gegebenen Gleisverhältnissen zugelassen werden darf oder wie die Gleise und Weichen für gegebene Geschwindigkeiten zu gestalten sind\*).

Maßgebend war dabei das Bestreben, einerseits die Fahrt für den Reisenden möglichst angenehm zu gestalten, andererseits aber die erreichbaren Überhöhungs- und Krümmungsverhältnisse weitgehend auszunutzen und die Geschwindigkeiten nicht mehr zu beschränken, als es im Hinblick auf die Annehmlichkeit der Fahrt nötig erschien. Durch diese eindeutige Regelung von 1935 sind entgegenstehende ältere Bestimmungen überholt und unmaßgeblich. Dies gilt besonders für den § 38 (3, b) der Fahrdienstvorschriften. Hierüber ist Näheres in den Abschnitten C und D gesagt\*\*).

\*) Der Inhalt dieser Verfügung (81 Jowr 293 vom 5. April 1935) ist in „Elsners Taschenbuch für den bautechnischen Eisenbahndienst“ 1936 wiedergegeben, desgl. im Lehrstoffheft „Abstecken und Vermarken von Gleisbogen nach dem Winkelbildverfahren“ (Verkehrswissenschaftliche Lehrmittelgesellschaft, Berlin 1937).

Im folgenden Abschnitt B werden zunächst die jetzt bei der Reichsbahn geltenden Bestimmungen wiedergegeben. Dann werden im Abschnitt C die Grundlagen dieser Bestimmungen besprochen und auf ihre Berechtigung hin untersucht. Daraus ergeben sich verschiedene Änderungsvorschläge, die im Abschnitt D zusammengefaßt sind.

### B. Die Bestimmungen der Deutschen Reichsbahn.

a) Zulässige Geschwindigkeit  $V_h$  im Hinblick auf die Seitenbeschleunigung (Überhöhung).

In einem Bogenstück mit dem Krümmungshalbmesser H und der Überhöhung h ist die zulässige Geschwindigkeit

$$V_h = \sqrt{\frac{H}{11,8} \cdot (h + 90)} \quad \dots \dots \dots 1)$$

$V_h$  in km/h; H in m, h in mm.

Wenn der äußere Bogenstrang tiefer liegt als der innere (Untertiefung = negative Überhöhung), so ist in dieser Gleichung h mit negativem Vorzeichen einzusetzen. Dies ist bei Außenbogenweichen wichtig.

Nach dieser Gleichung ist die oberste Grenze für die Überhöhung von Außenbogenweichen  $h = 90$  mm; denn bei dieser Überhöhung ist die zulässige Geschwindigkeit im Außenbogen ( $h = -90$  mm) nach Gl. 1) auf den Wert  $V_h = 0$  herunter-

\*\*) Die Vorschläge von Dr. Vogel (Org. Fortschr. Eisenbahnwes. 1937, H. 21/22) stimmen im wesentlichen mit der bereits fast drei Jahre vorher getroffenen Regelung der Reichsbahn überein.

gegangen. Wenn eine Außenbogenweiche in einem durchgehenden Hauptgleis liegt, so kann diese Beschränkung in der Überhöhung auf 90 mm eine unerwünschte Beschränkung der zulässigen Geschwindigkeit im durchgehenden Hauptgleis zur Folge haben. Um eine solche nach Möglichkeit zu vermeiden, hat man für das abzweigende untertiefte Gleis einer Außenbogenweiche, wenn es nur im Rangierwege befahren wird, eine Ausnahme gestattet und für diese Rangierfahrten folgende Geschwindigkeit zugelassen:

$$V_h = \sqrt{\frac{H}{11,8} \cdot (h + 130)} \dots \dots \dots 2)$$

Infolgedessen darf eine Außenbogenweiche, deren Außenbogen nur für Rangierzwecke benutzt wird, unter Umständen bis annähernd 130 mm überhöht werden. Diese größere Überhöhung kommt aber der zulässigen Geschwindigkeit im durchgehenden Hauptgleis zugute.

Beispiel 1: Auf einer Strecke mit  $V = 140$  km/h soll in einem kleinen Bahnhof ein Ladegleis aus dem Bogen  $H = 1100$  m des durchgehenden Hauptgleises abzweigend werden, und zwar mittels einer Außenbogenweiche 49—1100/917—1:12. Ist dies ohne Geschwindigkeitsbeschränkung im durchgehenden Hauptgleis möglich? Für  $V = 120$  km/h muß das durchgehende Hauptgleis gemäß Gl. 1) mindestens die Überhöhung

$$h = \frac{11,8 \cdot V^2}{H} - 90 = \frac{11,8 \cdot 140^2}{1100} - 90 = 120 \text{ mm}$$

erhalten. Der Außenbogen hat daher die Untertiefung  $h = -120$  mm. Nach Gl. 2) ist in ihm die Geschwindigkeit zulässig:

$$V_h = \sqrt{\frac{917}{11,8} \cdot (-120 + 130)} = 28 \text{ km/h.}$$

Diese genügt aber; denn nach den Fahrdienstvorschriften soll höchstens mit 25 km/h rangiert werden.

Wäre die Sonderbestimmung für Rangierfahrten nach Gl. 2) nicht getroffen worden, so dürfte in diesem Fall die Weiche nur mit  $h = 90$  mm überhöht werden, und die Geschwindigkeit im durchgehenden Hauptgleis müßte infolgedessen nach Gl. 1) auf  $V_h = 130$  km/h beschränkt werden.

Als größte Überhöhung ist in der Regel bei der Reichsbahn  $h = 150$  mm zugelassen (größere Überhöhungen werden nur gelegentlich bei Stadtschnellbahnen, z. B. Berliner S-Bahn angewendet). Setzt man in Gl. 1)  $h = 150$  mm ein, so ergibt sich:

$$V_h = 4,5 \cdot \sqrt{H} \dots \dots \dots 3)$$

Dies wäre nach den geltenden Grundsätzen die größte Geschwindigkeit, die in einem Bogen mit gegebenem Halbmesser  $H$  überhaupt zugelassen werden kann. Diese Geschwindigkeit wird bei den Schnelltriebwagen tatsächlich angewendet, während für andere Züge die Geschwindigkeit vorläufig noch auf

$$V_h = 4,25 \cdot \sqrt{H} \dots \dots \dots 4)$$

nach oben begrenzt worden ist. Diese Geschwindigkeiten sind seit Jahren durch besondere Verfügungen bei der Reichsbahn zugelassen und im planmäßigen Zug- und Triebwagenverkehr erprobt worden. Dagegen enthalten die Eisenbahn-Bau- und Betriebsordnung im § 66.(4) und die Fahrdienstvorschriften im § 38 (3, b) immer noch die früher gültigen Höchstgeschwindigkeiten, die etwa der Gleichung  $V = 3,8 \cdot \sqrt{H}$  entsprechen. Dieser Widerspruch müßte beseitigt werden (s. Abschnitt C und D).

Handelt es sich um einen Bogen ohne Überhöhung ( $h = 0$ ), so gilt gemäß Gl. 1):

$$V_h = 2,8 \cdot \sqrt{H} \dots \dots \dots 5)$$

Für die Fahrt durch den Zweiggleisbogen der geraden, nicht überhöhten Reichsbahnweichen sind demnach folgende Geschwindigkeiten zulässig (auf 5 km/h aufgerundet):

Zusammenstellung 1.

Weichenhalbmesser . . . . H =	150	300	500	1200 m
Zulässige Geschwindigkeit $V_h =$	40	50	65	100 km/h

Offen ist noch die Frage, um wieviel ein gerades Gleis überhöht werden darf und welche Geschwindigkeit in einem geraden Gleis mit gegebener Überhöhung zulässig ist. Diese Frage spielt z. B. dann eine Rolle, wenn aus einem durchgehenden Hauptgleis ein gerades Gleis abzweigt, was dann der Fall ist, wenn bei einer Abzweigung nach außen der Halbmesser des durchgehenden Hauptgleisbogens gerade so groß ist wie der Grundhalbmesser der gewählten Weichengrundform (z. B. Weiche 49—1200—1:18,5 in einem durchgehenden Bogen mit 1200 m Halbmesser). Die Erfahrung hat gelehrt, daß in diesem Fall eine Überhöhung von 130 mm ohne weiteres angewendet werden kann und einen guten Lauf der Züge ergibt. Die Überhöhung eines geraden Gleises ist nämlich stets weniger bedenklich als die zu geringe Überhöhung eines Bogens oder die falsche Überhöhung eines Außenbogens, weil bei einer Geschwindigkeitsüberschreitung im geraden Gleis die Seitenbeschleunigung nicht zunimmt und infolgedessen eine Geschwindigkeitsüberschreitung im geraden Gleis — gleichgültig mit welcher Überhöhung — weder die Betriebssicherheit noch den ruhigen Fahrzeuglauf beeinträchtigen kann.

Man darf daher, falls es die Geschwindigkeit im durchgehenden Hauptgleis erfordert, mindestens bis zu der praktisch mehrfach erprobten Grenze von 130 mm Überhöhung in einem geraden Gleis hinaufgehen.

Mit Rücksicht auf die Überhöhungsverhältnisse kann nach den Vorschriften der Reichsbahn noch eine Geschwindigkeitsbeschränkung durch zu kurze Überhöhungsrampen eintreten. Für die Rampenlänge  $l$  — sowohl bei geraden als auch bei geschwungenen Rampen — gilt nämlich bei der Reichsbahn die Bedingung:

$$l \geq 8 \cdot V \cdot \frac{h}{1000} \dots \dots \dots 6)$$

$l$  in m,  $V$  in km/h,  $h$  in mm.

Infolgedessen darf bei gegebener Rampenlänge  $l$  (in m) und Überhöhung  $h$  (in mm) die Geschwindigkeit

$$V_l = \frac{1000 \cdot l}{8 \cdot h} \dots \dots \dots 7)$$

nicht überschritten werden.

Handelt es sich um eine Überhöhungsrampe zwischen zwei Kreisbogen mit einer kleineren Überhöhung  $h_1$  und einer größeren Überhöhung  $h_2$ , so ist in diesen Gleichungen unter  $h$  selbstverständlich der Unterschied  $h_2 - h_1$  der beiden Überhöhungen zu verstehen.

b) Zulässige Geschwindigkeit  $V_\psi$  im Hinblick auf den Ruck  $\psi$ .

Stoßen zwei Bogenstücke mit verschiedenen Krümmungshalbmessern  $H_1$  und  $H_2$  (in m) unmittelbar, d. h. ohne Vermittlung eines Übergangsbogens, aneinander, so ist nach den Bestimmungen der Reichsbahn die zulässige Geschwindigkeit in km/h:

$$V_\psi = 9 \cdot \sqrt{\frac{H_1 \cdot H_2}{H_1 \pm H_2}} \dots \dots \dots 8)$$

Hierin ist  $H_1$  der größere und  $H_2$  der kleinere der beiden Halbmesser. Das Plus-Zeichen gilt für Gegenbogen, das Minus-Zeichen für Gleichbogen.

Verwendet man den Begriff der „Krümmung“ (Abb. 1 und 2)  $K = \frac{1000}{H}$  \*), und bezeichnet man den Unterschied der

\*) Siehe Schramm: „Das Krümmungsbild und seine Anwendung im Gleisbau“, Gleistechnik und Fahrbahnbau 1938, H. 17/18, S. 170.

beiden aufeinanderfolgenden Krümmungen mit  $\Delta K = K_2 \pm K_1 =$  Größe der Stufe in der Krümmungslinie, so nimmt diese Gleichung die einfachere Form an:

$$V_{\psi} = \frac{90}{\sqrt[3]{\Delta K}} \dots \dots \dots 8a)$$

Diese Geschwindigkeitsgleichung kann überall dort maßgebend sein, wo die Krümmung sich unvermittelt ändert, also in erster Linie bei der Ein- oder Ausfahrt aus Zweiggleisen von Weichen (geraden Weichen oder Bogenweichen).

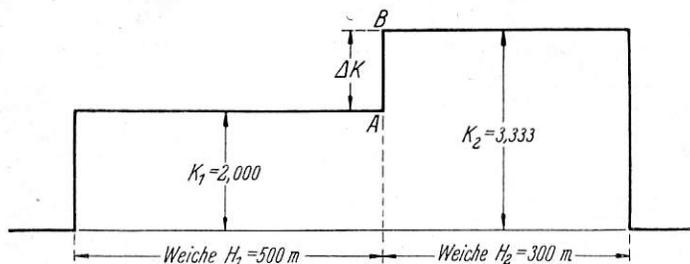


Abb. 1. Krümmungsbild zweier Gleisbogen (Weichenbogen 500 m und 300 m) ohne Zwischengerade. Stufe in der Krümmungslinie  $\Delta K = 3,333 - 2,000 = 1,333$ .

Beispiel 2: Zwei Weichenbogen (Gegenbogen)  $H_1 = 500$  m und  $H_2 = 300$  m stoßen ohne Zwischengerade aneinander (Abb. 2). Welche Geschwindigkeit ist im Hinblick auf den Ruck  $\psi$  zulässig? Nach Gl. 8) ergibt sich:

$$V_{\psi} = 9 \cdot \sqrt[3]{\frac{500 \cdot 300}{500 + 300}} = 51 \text{ km/h.}$$

Oder man rechnet nach Gl. 8a) folgendermaßen:

$$\text{Krümmung des Bogens } H_1: K_1 = \frac{1000}{500} = 2,000$$

$$\text{Krümmung des Bogens } H_2: K_2 = \frac{1000}{300} = 3,333$$

Stufe in der Krümmungslinie:  $K = K_1 + K_2 = 5,333$

$$V_{\psi} = \frac{90}{\sqrt[3]{5,333}} = 51 \text{ km/h.}$$

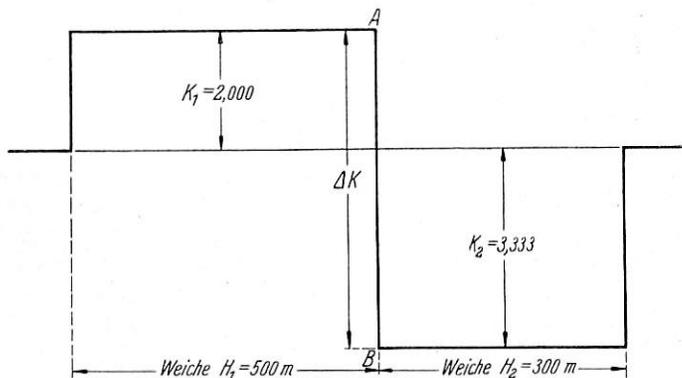


Abb. 2. Krümmungsbild zweier Gegenbogen (Weichenbogen 500 m und 300 m) ohne Zwischengerade. Stufe in der Krümmungslinie  $\Delta K = 3,333 + 2,000 = 5,333$ .

Die im Hinblick auf die Seitenbeschleunigung im nicht überhöhten Bogen  $H = 300$  m zulässige Geschwindigkeit von 50 km/h (s. Zusammenstellung 1) kann demnach auch in diesem Gegenbogen angewendet werden (s. jedoch Abschn. C, b, Gl. 22), Beispiel 3).

Stößt an eine mindestens 15 m lange Gerade (Krümmung  $\frac{1000}{H} = 0$ ) ohne Vermittlung eines Übergangsbogens ein Bogen mit dem Halbmesser  $H$ , so gilt nach Gl. 8) oder 8a):

$$V_{\psi} = 9 \cdot \sqrt[3]{H} \dots \dots \dots 9)$$

Für die Ein- und Ausfahrt aus dem Zweiggleis der geraden Reichsbahnweichen ergeben sich hiernach folgende Geschwindigkeiten (auf 5 km/h aufgerundet):

Zusammenstellung 2.

Weichenhalbmesser . . . H =	190	300	500	1200 m
Zulässige Geschwindigkeit $V_{\psi}$ =	55*	65*	75*	100 km/h

Die mit einem Stern versehenen Geschwindigkeiten sind nur bei ausreichender Überhöhung gemäß Gl. 1) zulässig (vergl. Zusammenstellung 1).

Stoßen zwei Gegenbogen mit gleichen Halbmessern  $H$  unvermittelt (ohne Übergangsbogen und ohne Zwischengerade) aneinander, so gilt gemäß Gl. 8) oder 8a):

$$V_{\psi} = 9 \cdot \sqrt[3]{\frac{H}{2}} \dots \dots \dots 10)$$

Wird eine Weichenverbindung aus zwei gleichen Weichen ohne Zwischengerade zwischen den Zweiggleisbogen hergestellt, so sind hiernach in dieser Verbindung nur die Geschwindigkeiten nach folgender Zusammenstellung zulässig (auf 5 km/h aufgerundet). Dabei ist zu beachten, daß Gegenbogen ohne Übergangsbogen und ohne Zwischengerade bei Halbmessern unter 200 m nicht angewendet werden dürfen. Deshalb ist in der Zusammenstellung als kleinster Halbmesser nicht 190 m, sondern 200 m eingesetzt.

Zusammenstellung 3.

Weichenhalbmesser . . . H =	200	300	500	1200 m
Zulässige Geschwindigkeit $V_{\psi}$ =	(45)	50	60	80 km/h

Die Geschwindigkeit 45 km/h für  $H = 200$  m ist eingeklammert, weil sie in Wirklichkeit nicht in Frage kommt mit Rücksicht auf die Überhöhungsverhältnisse. Bei zwei unmittelbar aneinanderstoßenden Gegenbogen ist selbstverständlich die günstigste Überhöhung  $h = 0$ ; für diese ist aber bei  $H = 200$  m nach Gl. 5) nur  $V_h = 40$  km/h zulässig.

Offen gelassen ist bei dieser Regelung im Hinblick auf den Ruck  $\psi$  noch die Frage, wie die zulässige Geschwindigkeit zu ermitteln ist, wenn zwischen zwei Kreisbogen ohne Übergangsbogen eine Zwischengerade liegt, die kürzer ist als die geführte Fahrzeuglänge. Bei der Ableitung der Gl. 8) ist mit einer geführten Fahrzeuglänge von 15 m gerechnet (s. Abschnitt C). Dementsprechend ist es üblich geworden, falls zwischen zwei Gegenbogen ohne Übergangsbogen eine Zwischengerade von der Länge  $g < 15$  m liegt, die zulässige Geschwindigkeit  $V_{\psi}$  folgendermaßen zu ermitteln:

Man berechnet zunächst nach Gl. 8), d. h. für  $g = 0$ , eine Geschwindigkeit  $V_0$ , sodann nach Gl. 9), d. h. für  $g \geq 15$  m, eine Geschwindigkeit  $V_{15}$  und ermittelt dann die zulässige Geschwindigkeit für die tatsächlich vorhandene Länge  $g$  der Zwischengeraden (in m) durch geradliniges Zwischenschalten nach Abb. 3 oder nach der Gleichung:

$$V_{\psi} = V_0 + \frac{g}{15} \cdot (V_{15} - V_0) \dots \dots \dots 11)$$

Handelt es sich um zwei Gleisbogen, so ist  $V_0 > V_{15}$ , das zweite Glied der Gleichung wird dann negativ, und  $V_{\psi}$  wird kleiner als  $V_0$ .

Wenn sich im Hinblick auf die Seitenbeschleunigung (Überhöhung) nach Abschnitt B, a und im Hinblick auf den Ruck nach Abschnitt B, b verschiedene zulässige Geschwindigkeiten ergeben, so ist selbstverständlich stets nur die kleinere der beiden Geschwindigkeiten maßgebend.

**C. Die Grundlagen der Bestimmungen und Änderungsvorschläge.**

Im vorstehenden Abschnitt B ist die bei der Reichsbahn im Jahre 1935 eingeführte Regelung angegeben worden. In diesem Abschnitt C wird gezeigt, auf welchem Wege man zu diesen Vorschriften gelangt ist. Dabei werden wir untersuchen, ob und inwieweit es angebracht ist, sie zu ändern oder zu vereinfachen.

Maßgebend waren bei der Festsetzung der zulässigen Geschwindigkeiten lediglich die Ruhe des Laufes der Fahrzeuge und die Annehmlichkeit für den Reisenden, nicht dagegen die Betriebssicherheit. Von der Grenze der Betriebssicherheit ist man in allen Fällen noch genügend weit entfernt.

a) Zulässige Geschwindigkeit  $V_h$  im Hinblick auf die Seitenbeschleunigung (Überhöhung).

Für einen Halbmesser  $H$  (in m), eine Überhöhung  $h$  (in mm) und eine Geschwindigkeit  $V$  (in km/h) ergibt sich eine bestimmte, parallel zum Wagenfußboden gerichtete Seitenbeschleunigung  $p$  (in  $m/s^2$ ), die die Fahrgäste oder die Ladung in den Wagen seitwärts drängt, und zwar ist

$$p = \frac{V^2}{13 \cdot H} - \frac{h}{153} \dots \dots \dots 12)$$

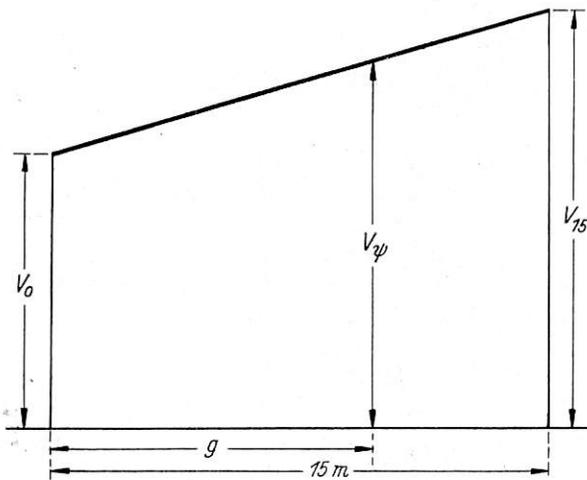


Abb. 3. Geradliniges Zwischenschalten zwischen zwei Geschwindigkeiten  $V_0$  und  $V_{15}$ .

Statt zu sagen: „Es wirkt eine gewisse Seitenbeschleunigung  $p$ “ kann man auch sagen: „Es ist ein bestimmter Fehlbetrag  $\Delta h$  vorhanden gegenüber der theoretisch richtigen Überhöhung, die die Wirkung der Fliehkraft genau aufheben würde“. Der Fehlbetrag kann positiv oder negativ sein; im zweiten Fall ist ein Überschuß an Überhöhung vorhanden, die Seitenbeschleunigung  $p$  wirkt dann nach innen. Zwischen  $\Delta h$  (in mm) und  $p$  (in  $m/s^2$ ) besteht bei Regelspur die Beziehung:

$$p = \frac{\Delta h}{153} \dots \dots \dots 13)$$

oder

$$\Delta h = 153 \cdot p \dots \dots \dots 13a)$$

Die Erfahrung hat gelehrt, daß eine Seitenbeschleunigung

$$p = 0,6 \text{ m/s}^2 \dots \dots \dots 14)$$

oder — was nach Gl. 13a) dasselbe bedeutet — ein Fehlbetrag an Überhöhung

$$\Delta h = 90 \text{ mm} \dots \dots \dots 14a)$$

den Fahrgästen und der Ladung unbedenklich noch zugemutet werden kann. Hieraus folgen für die zulässige Geschwindigkeit die Gl. 1) und die aus ihr abgeleiteten Gl. 3) und 5). Diese Geschwindigkeitsgleichungen sind demnach physikalisch wohlbegründet, und es wäre daher nur folgerichtig, wenn für die Geschwindigkeit in Bogen mit 150 mm Überhöhung allgemein die Werte nach Gl. 3) zugelassen würden, sowohl für Dampflokomotiven

als auch für Triebwagen. Die jetzige Regelung mit  $V = 4,5 \cdot \sqrt{H}$  für Schnelltriebwagen und  $V = 4,25 \cdot \sqrt{H}$  für die übrigen Züge ist ungerechtfertigt, weil für die Geschwindigkeitsbegrenzungen überhaupt nicht die Bauart der Fahrzeuge maßgebend war, sondern allein die Annehmlichkeit der Fahrt für den Reisenden. Von der Grenze der Betriebssicherheit ist man auch bei der Geschwindigkeit  $4,5 \cdot \sqrt{H}$  sowohl bei Dampflokomotiven wie bei Schnelltriebwagen noch genügend weit entfernt. Der festgelegte Unterschied von 4,25 zu 4,5 ist übrigens willkürlich und nur gefühlsmäßig getroffen worden aus der Erwägung heraus, daß der Führungsdruck bei den Schnelltriebwagen, die ja ausnahmslos Drehgestellfahrzeuge sind, erheblich kleiner ist als bei den Lokomotiven. Das ist zwar richtig; aber das für die Entgleisungssicherheit (wenn diese nun schon einmal in die Waagschale geworfen werden soll) maßgebende Verhältnis  $\frac{Y}{Q} =$

$$= \frac{\text{waagerechter Spurkranzdruck}}{\text{senkrechter Raddruck}}$$

braucht deswegen bei den Schnelltriebwagen keineswegs nennenswert günstiger (kleiner) auszufallen als bei den Lokomotiven. Bei diesen wirkt sich nämlich in dieser Hinsicht die höhere Schwerpunktlage günstig aus, weil sie bei der Fahrt im Bogen eine Vergrößerung des senkrechten Raddrucks  $Q$  auf die Außenschiene bewirkt und dadurch eine Verkleinerung von  $\frac{Y}{Q}$ . Vorausgesetzt, daß noch ausreichende Kippsicherheit vorhanden ist, bringt daher die hohe Schwerpunktlage der Lokomotiven gegenüber Fahrzeugen mit niedrigem Schwerpunkt Vorteile mit sich, was z. B. auf dem Internationalen Eisenbahn-Kongreß in Kairo 1933 ausdrücklich hervorgehoben wurde\*).

Solange man mit der zulässigen Seitenbeschleunigung im Hinblick auf die Annehmlichkeit des Reisens nicht wesentlich über die jetzige Grenze  $p = 0,6 \text{ m/s}^2$  ( $\Delta h = 90 \text{ mm}$ ) hinausgeht, ist es aber für die Festsetzung der oberen Geschwindigkeitsgrenze gleichgültig, wie sich die verschiedenen Fahrzeuge in bezug auf das Verhältnis  $\frac{Y}{Q}$  zueinander verhalten, weil dieses

Verhältnis erst bei wesentlich größeren Geschwindigkeiten als nach Gl. 1) eine ausschlaggebende Rolle für die Betriebssicherheit zu spielen beginnt.

Der Unterschied zwischen Gl. 3) und 4) beträgt übrigens bei den kleineren Halbmessern und kleineren Geschwindigkeiten nur 5 km/h und bei den größeren Halbmessern und größeren Geschwindigkeiten höchstens 10 km/h. Er ist also unerheblich, so daß es sich gar nicht lohnt, ihn noch weiter ausrechen zu lassen.

Daß die Gl. 1) auch bei  $h = 150 \text{ mm}$  unbedenklich zugelassen werden kann, ist nicht nur durch die Erfahrungen bei der Reichsbahn bewiesen, sondern auch durch die viel höheren Geschwindigkeiten, die bei manchen anderen Verwaltungen angewendet werden. So geht man z. B. bei den Französischen Bahnen bis zu einer Seitenbeschleunigung  $p = 1,0 \text{ m/s}^2$ , d. h. bis zu einem Fehlbetrag an Überhöhung  $\Delta h = 150 \text{ mm}$  und läßt dementsprechend in Bogen mit 150 mm Überhöhung Geschwindigkeiten bis  $V = 5 \cdot \sqrt{H}$  zu\*\*). Bei der Reichsbahn werden besonders strenge Anforderungen an den ruhigen Fahrzeuglauf und die Annehmlichkeit für die Fahrgäste gestellt. Auf Grund langer Erfahrung und vieler Versuche sieht man mit Rücksicht hierauf die Geschwindigkeitsgrenze nach Gl. 1) als angemessen an. Sie sollte aber auch uneingeschränkt, d. h. bis hinauf zur größten zulässigen Überhöhung  $h = 150 \text{ mm}$

\*) Siehe Mschr. int. Eisenbahn-Kongr.-Vereinigung. 1932, H. 11 (Bericht von Baumann).

\*\*) Vergl. Mschr. int. Eisenbahn-Kongr.-Vereinigung. 1936, H. 10, S. 1267, Zusammenstellung 15 (Bericht von Flament zum Internationalen Eisenbahn-Kongreß 1937 in Paris).

angewendet werden. Viele lästige Geschwindigkeitsbeschränkungen würden daraufhin sofort wegfallen.

Die in der Eisenbahn-Bau- und Betriebsordnung und in den Fahrdienstvorschriften angegebenen Höchstgeschwindigkeiten in Bogen, die etwa der Gl. 3,8.  $\sqrt{H}$  entsprechen, müßten daher nach Gl. 3) hinaufgesetzt werden, wenigstens auf allen Hauptbahnen; denn dort ist der Unterhaltungszustand stets genügend gut und durch die häufigen Fahrten des Oberbaumeßwagens weitgehend überwacht.

Bei den kleineren Halbmessern (etwa unter 350 m) hat man die zulässigen Geschwindigkeiten und größten Überhöhungen stets etwas niedriger festgesetzt. Daran wird man auch künftig nichts ändern; denn solche Bogen sind schwerer genau zu verlegen und zu unterhalten, und bei kleineren Halbmessern wirken sich Fehler in der Richtung und in der Überhöhung wesentlich ungünstiger aus als bei größeren Halbmessern. Ferner kommen diese kleineren Halbmesser überwiegend auf Nebenbahnen vor, wo der Zustand der Gleise nicht so gut sein kann wie auf den Hauptbahnen.

Im § 38 (3, b) der Fahrdienstvorschriften (S. 84, Zeile 24 bis 7 von unten) stehen noch verschiedene Angaben über zulässige Geschwindigkeiten in Bogen ohne Überhöhung oder mit unzulänglicher und falscher Überhöhung, ohne Übergangsbogen usw. Diese Angaben sind durch die neuere Regelung (s. Abschnitt B) überholt und unmaßgeblich. Es ist daher zu überlegen, ob diese Angaben entweder mit den geltenden Verfügungen in Einklang gebracht werden sollen oder ob sie nicht besser ganz aus den Fahrdienstvorschriften verschwinden müßten. Es handelt sich hierbei um Regeln, die nur bei der Gleisbogen- und Weichengestaltung, bei Linienverbesserungen usw. angewendet werden. Bei diesen Arbeiten wird die Gleislage möglichst den erwünschten Geschwindigkeiten angepaßt oder — soweit das nicht gelingt — werden die Geschwindigkeiten, die mit Rücksicht auf die erreichbaren Überhöhungs- und Krümmungsverhältnisse zugelassen werden können, festgestellt und den Fahrplänen zugrunde gelegt. Für den Betrieb sind sie damit aber gegeben. Dem Lokomotivführer z. B. ist seine Geschwindigkeit durch den Fahrplan und die Signale vorgeschrieben, und es entzieht sich außerdem vollständig der Kenntnis des Betriebspersonals, welche Überhöhungen, Zwischengerade usw. vorhanden sind oder nicht. Die Betriebsbeamten können daher mit diesen Angaben gar nichts anfangen; sie gehören offenbar überhaupt nicht in die Fahrdienstvorschriften und sollten gestrichen werden. Statt ihrer genügt ein Satz, daß durch besondere Verfügung festgelegt ist, welche Geschwindigkeiten mit Rücksicht auf die Überhöhungs- und Krümmungsverhältnisse zulässig sind (vergl. Abschnitt D).

b) Zulässige Geschwindigkeit im Hinblick auf den Ruck.

Es besteht bis jetzt noch keine völlige Klarheit darüber, wie die im gewöhnlichen Sprachgebrauch als „Ruck“ bezeichnete physikalische Wirkung mechanisch streng erklärt und auf technische Vorgänge angewendet werden soll. Vor einigen Jahren wurde diese Frage lebhaft erörtert, ohne daß sie zu einem befriedigenden Abschluß geführt wurde\*).

Im wesentlichen stehen sich folgende zwei grundsätzlich verschiedene Auffassungen über den Begriff „Ruck“ gegenüber:

Erste Erklärung des Begriffs „Ruck“: Ein Ruck ist dann gegeben, wenn eine Beschleunigung sich in einem gewissen Zeitabschnitt  $t$  um einen Betrag  $\Delta p$  ändert. Ist diese Änderung in dem Zeitabschnitt  $t$  gleichförmig, so gilt als

Maß für den Ruck der Wert  $\frac{\Delta p}{t}$ . Der Ruck hat hiernach die Maßeinheit  $\frac{\text{Beschleunigung}}{\text{Zeit}} = \text{m/s}^3$ .

\*) Siehe Z. VDI 1928, H. 50, 1936, S. 220 und S. 581; Masch.-Bau 1935, S. 520.

Zweite Erklärung des Begriffs „Ruck“: Ein Ruck ist nur dann gegeben, wenn sich eine Beschleunigung unvermittelt, d. h. in sehr kurzer, nicht meßbarer Zeit um einen Betrag  $\Delta p$  ändert. Als Maß für den Ruck gilt nach dieser Auffassung der Wert  $\Delta p = p_2 - p_1$ , also lediglich der Unterschied der beiden in Frage kommenden Beschleunigungen ohne Beziehung auf einen Zeitabschnitt  $t$ . Nach dieser Erklärung hat der Ruck die gleiche Maßeinheit wie die Beschleunigung, nämlich  $\text{m/s}^2$ .

In Deutschland hat sich im Eisenbahnwesen im Anschluß an eine Arbeit von Schwanter\*) die erste Auffassung eingebürgert, und der Ruck wird mit

$$\psi = \frac{\Delta p}{t} \dots \dots \dots 15)$$

bezeichnet.

Fährt ein Fahrzeug mit der Geschwindigkeit  $V$  (in km/h) durch einen Übergangsbogen von der Länge  $l$  (in m), der zwei Kreisbogen mit den Halbmessern  $H_1$  und  $H_2$  (in m) verbindet, und ist die Überhöhung auf die Übergangsbogenlänge gleich (z. B.  $h = 0$ ), so ist nach der Begriffserklärung der Gl. 15) der Ruck:

$$\psi = \frac{V^3}{47 \cdot l} \cdot \left( \frac{1}{H_2} \pm \frac{1}{H_1} \right) \dots \dots \dots 16)$$

und bei Übergangsbogen mit geschwungener Rampe:

$$\psi = \frac{2 \cdot V^3}{47 \cdot l} \cdot \left( \frac{1}{H_2} \pm \frac{1}{H_1} \right) \dots \dots \dots 17)$$

Das Plus-Zeichen gilt bei Gegenbogen, das Minus-Zeichen bei Gleichbogen.

Wenn die beiden Kreisbogen  $H_1$  und  $H_2$  verschiedene Überhöhungen  $h_1$  und  $h_2$  haben, wenn also der Übergangsbogen  $l$  zwischen den beiden Bogen mit einer Überhöhrungsrampe zusammenfällt, so beträgt  $\psi$  nur einen Bruchteil von dem Wert nach vorstehenden Gleichungen. Und falls in diesen Bogen die theoretische Überhöhung  $\frac{11,8 \cdot V^2}{H}$  angewendet ist, die ja die Wirkung der Fliehkraft aufhebt ( $p = 0$ ) so ist stets  $\psi = 0$ .

Bei der Festsetzung der zulässigen Geschwindigkeiten spielen die Gl. 16) und 17) gar keine Rolle, weil  $\psi$  stets nur verschwindend klein ist, wenn Übergangsbogen vorhanden sind. Maßgebend kann der Ruck  $\psi$  vielmehr nur dann werden, wenn es sich um den unvermittelten Übergang (ohne Übergangsbogen) zwischen einer Geraden und einem Kreisbogen  $H$  oder zwischen zwei Kreisbogen  $H_1$  und  $H_2$  handelt oder — mit anderen Worten — wenn die Krümmungslinie eine Stufe aufweist. Dieser Fall ist z. B. stets gegeben beim Befahren der Zweiggleisbogen von Weichen.

Um hierfür eine Gleichung für den Ruck  $\psi$  zu bekommen, machte man die willkürliche Annahme, daß ein Fahrzeug mit der geführten Länge  $a$  bei der Einfahrt aus einer Geraden in einen Kreisbogen  $H$  oder aus einem Kreisbogen  $H_1$  in einen Kreisbogen  $H_2$  sich ebenso bewege, als wenn ein Übergangsbogen von der Länge  $a$  vorhanden sei. Auf Grund dieser Annahme setzte man für den unvermittelten Übergang von einer Krümmung zu einer anderen (Stufe in der Krümmungslinie) in Gl. 16) statt  $l$  die geführte Fahrzeuglänge  $a$  ein, und zwar im Hinblick auf die Schnellzugwagen  $a = 15$  m. Dies ergibt für den Ruck die Gleichung:

\*) „Verkehrstechn.“ 1929, H. 6/7.

\*\*) In manchen Veröffentlichungen steht in dieser Gleichung statt  $l$  die Größe  $l + a =$  Übergangsbogenlänge + geführte Fahrzeuglänge. Das ist aber falsch; denn die geführte Länge  $a$  bewirkt lediglich, daß der Ruck  $\psi$  nach Gl. 16) bei ÜA und ÜE nicht plötzlich einsetzt bzw. aufhört, sondern in der durch  $a$  und  $V$  bestimmten Zeit; auf die Größe  $\psi$  innerhalb des Übergangsbogens hat aber die geführte Länge gar keinen Einfluß, solange  $a < l$  ist, was in Wirklichkeit stets zutrifft.

$$\psi = \frac{V^3}{700} \cdot \left( \frac{1}{H_2} \pm \frac{1}{H_1} \right) \dots \dots \dots 18)$$

als zulässigen Ruck sieht man  $\psi = 1,0$  an. Damit ergibt sich die Geschwindigkeitsgleichung für  $V\psi$  [Gl. 8)].

Die erwähnte Annahme, daß sich die geführte Fahrzeuglänge ebenso auswirke wie ein Übergangsbogen von gleicher Länge, ist bei den zahlreichen Veröffentlichungen der letzten zehn Jahre über den Ruck\*) immer wieder den Untersuchungen als zutreffend zugrunde gelegt worden, ohne daß man sie jemals näher begründete. Tatsächlich ist diese Annahme aber gar nicht gerechtfertigt. Neuerdings hat Chappellet\*\*) hierauf nachdrücklich hingewiesen. Kein Punkt des Fahrzeugs bewegt sich so, als ob ein Übergangsbogen von der Länge a vorhanden sei. Um die Bewegung eines Wagens, der aus einer Geraden in einen Kreisbogen H ohne Übergangsbogen einfährt, klar zu machen, nehmen wir zunächst an (Abb. 4), daß der Wagen an zwei Punkten A und E (z. B. Drehgestellzapfen) die voneinander den Abstand a haben, ohne Seitenspiel und Federung in einem starren Gleis geführt werde. Der Wagenquerschnitt bei A und E bewegt sich dann, sobald er den Kreisbogenanfang (BA) erreicht hat, unmittelbar von der Geraden in den Kreisbogen H,

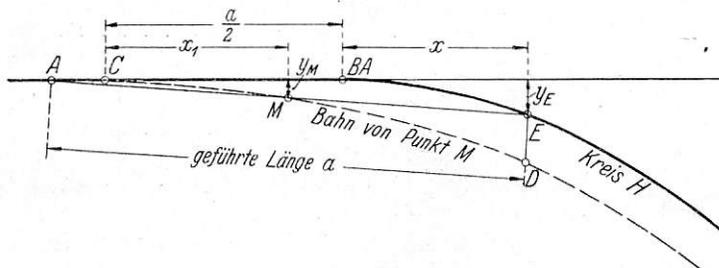


Abb. 4. Einfahrt eines Fahrzeugs mit der geführten Länge a in einen Kreisbogen ohne Übergangsbogen.

Gleichung des Kreisbogens:  $y = \frac{x^2}{2 \cdot H}$ ;

Gleichung für die Bewegung der Fahrzeugmitte M:

$$y_M = \frac{y}{2} = \frac{x_1^2}{2 \cdot (2H)}$$

d. h. am Bogenanfang tritt die Seitenbeschleunigung p plötzlich in voller Größe auf ( $t = 0$ ). Der Ruck  $\psi = \frac{p}{t}$  ist infolgedessen theoretisch unendlich groß. Wie groß ist der Ruck aber in der Fahrzeugmitte M? Wie Abb. 4 ohne weiteres lehrt, bewegt sich der Wagenmittelpunkt M nicht auf einem Übergangsbogen von der Länge a, sondern auf einem Kreisbogen vom Halbmesser 2 H (Bogen CD). Diesem Halbmesser entspricht nach Gl. 12) eine bestimmte Seitenbeschleunigung p. Sie tritt aber in dem Augenblick in voller Größe auf, in dem der erste Führungspunkt A des Fahrzeugs den Kreisbogenanfang BA erreicht hat. Es ist demnach auch in diesem Fall  $t = 0$ , und der Ruck  $\psi$  ist auch in Fahrzeugmitte theoretisch unendlich groß. Entsprechendes gilt für die übrigen Wagenquerschnitte; Für alle Punkte ergibt sich theoretisch  $\psi = \infty$ .

In Wirklichkeit nimmt  $\psi$  natürlich nur endliche Werte an. Dies ist aber nicht eine Folge der geführten Länge a der Fahrzeuge, sondern lediglich eine Folge der Spielräume im Gleis, in der Lagerung der Drehgestelle und Achsen, der Federung und der Nachgiebigkeit aller Teile der Fahrzeuge und des Oberbaus. All diese Einflüsse lassen sich aber in ihrer wirklichen Größe unmöglich so weit richtig abschätzen, daß man daraufhin zu einem bestimmten Zeitabschnitt t und damit zu

\*) Siehe z. B. Mschr. int. Eisenbahn-Kongr.-Vereinig. 1932, H. 11, S. 2229/2239 und Org. Fortsch. Eisenbahnwes. 1936, H. 20, S. 413 und 1937, H. 21/22, S. 385.

\*\*) Mschr. int. Eisenbahn-Kongr.-Vereinig. 1938, H. 11, S. 101.

einer einigermaßen zutreffenden Gleichung für  $\psi$  gelangen könnte.

Der Gl. 18) entspricht — wie Chappellet richtig bemerkt — kein wirklicher dynamischer Vorgang am Fahrzeug und auch keine tatsächliche Wirkung auf den Reisenden. Die Ableitung der Gleichung beruht eben auf unrichtigen Voraussetzungen, und daher stammt auch die große Unsicherheit darüber, welcher Wert für  $\psi$  als zulässig angesehen werden soll.

Daher wird man zu einer besseren, den wirklichen Verhältnissen angemesseneren Festsetzung des Begriffs „Ruck“ gelangen, wenn man sich von der Begriffserklärung nach Gl. 15) frei macht und sich statt dessen die zweite der oben angegebenen Auffassungen über den Ruck aneignet, wenn man also den Ruck gleichsetzt dem Unterschied der beiden Beschleunigungen:

$$\Delta p = p_2 \pm p_1, \dots \dots \dots 19)$$

der bei plötzlichem Krümmungswechsel auftritt. Für Übergangsbogen wird dann der Begriff des Ruckes gegenstandslos, weil  $\Delta p$  bei ihnen stets Null ist. Ein Ruck tritt vielmehr nur dann auf, wenn die Krümmung sich unvermittelt ändert, wenn also die Krümmungslinie eine Stufe aufweist (Abb. 1 und 2). Diese Erklärung des Rucks entspricht auch der Empfindung im Zuge: Kein Reisender wird bei der Fahrt durch einen gut ausgerichteten Übergangsbogen behaupten, einen Ruck wahrzunehmen, es sei denn, daß es sich um eine zu steile gerade Rampe handelt. Der unruhige Wagenlauf am Anfang und Ende einer solchen Rampe hat jedoch nichts zu tun mit dem hier behandelten seitwärts gerichteten Ruck und hat eine ganz andere Ursache.

Für den nach Gl. 19) erklärten Ruck gilt nunmehr nach Gl. 12):

$$\Delta p = \frac{V^2}{13} \cdot \left( \frac{1}{H_2} \pm \frac{1}{H_1} \right) \dots \dots \dots 20)$$

$\Delta p$  in  $m/s^2$ , V in km/h,  $H_1$  ist der größere und  $H_2$  der kleinere der beiden Halbmesser, beide in m. Das Plus-Zeichen gilt bei Gegenbogen, das Minus-Zeichen bei Gleichbogen.

Löst man diese Gleichung nach V auf, so erhält man:

$$V = \sqrt{13 \cdot \Delta p \cdot \frac{H_1 \cdot H_2}{H_1 \pm H_2}} \dots \dots \dots 21)$$

Um diese Beziehung als Gleichung für die zulässige Geschwindigkeit zu benutzen, müssen wir für den Ruck  $\Delta p$  den größten zulässigen Betrag einsetzen. Bei der Wahl dieses Größtwertes muß man von der Erfahrung und von den betrieblichen Anforderungen ausgehen und dabei darauf achten, daß die jetzt zugelassenen Geschwindigkeiten nicht etwa in unerwünschter Weise herabgesetzt zu werden brauchen. Wir müssen also erstens feststellen, welche Werte  $\Delta p$  bei den jetzt zulässigen Geschwindigkeiten vorkommen, und zweitens müssen wir uns darüber klar werden, in welchen Weichenverbindungen gewisse Geschwindigkeiten (z. B. Zugfahrten auf zweiflügeliges Signaltbild mit 40 oder 60 km/h) aus betrieblichen Gründen noch zugelassen werden sollen.

Wir betrachten die Einfahrt in das Zweiggleis einer nicht überhöhten geraden Weiche mit 190 m Halbmesser. Nach Gl. 5) (Zusammenstellung 1) ist hierbei  $V = 40$  km/h zulässig, und erfahrungsgemäß ist dabei der Wagenlauf noch ausreichend gut. Der Ruck ist in diesem Fall nach Gl. 20):

$$\Delta p = \frac{40^2}{13} \cdot \frac{1}{190} = 0,65 \text{ m/s}^2 \dots \dots \dots 22)$$

Dieser Wert kann daher unbedenklich als zulässig angesehen werden, und er kann für die Ermittlung der zulässigen Geschwindigkeit zugrunde gelegt werden, falls dadurch keine betrieblichen Nachteile entstehen. Setzt man demgemäß in Gl. 21)  $\Delta p = 0,65$  ein, so folgt für die zulässige Geschwindigkeit im Hinblick auf den Ruck  $\Delta p$  die Gleichung:

$$V_{\Delta p} = 3 \cdot \sqrt{\frac{H_1 \cdot H_2}{H_1 \pm H_2}} \dots \dots \dots 23)$$

(Maßeinheiten und Geltung der Vorzeichen wie bei Gl. 20).

Führt man den Begriff der Krümmung  $K = \frac{1000}{H}$  ein [vergl.

Gl. 8) und 8a)] und bezeichnet man den Unterschied der beiden unmittelbar aneinanderstoßenden Krümmungen mit  $\Delta K = K_2 \pm K_1$  (Abb. 1 und 2), so läßt sich diese Gleichung noch einfacher folgendermaßen schreiben:

$$V_{\Delta p} = 30 \cdot \sqrt{\frac{10}{\Delta K}} = \frac{95}{\sqrt{\Delta K}} \dots \dots \dots 23a)$$

Diese Bedingung [Gl. 23) oder 23a)] sollte an die Stelle der jetzigen Ruckgleichung [Gl. 8)] treten. Sie entspricht besser den wirklichen Verhältnissen und ist zudem einfacher.

Beispiel 3: Welche Geschwindigkeit ist bei den im Beispiel 2 behandelten Gegenbogen mit 500 und 300 m Halbmesser zulässig? Nach Gl. 23) ergibt sich:

$$V_{\Delta p} = 3 \cdot \sqrt{\frac{500 \cdot 300}{500 + 300}} = 41 \text{ km/h.}$$

Für den unvermittelten Übergang von einer Geraden in einen nicht überhöhten Kreisbogen H oder umgekehrt ist stets die Seitenbeschleunigung (d. h. die Überhöhung  $h=0$ ) maßgebend, nicht aber der Ruck  $\Delta p$  [s. Gl. 5) oder Zusammenstellung 1]. Der Ruck kann also in allen den Fällen ganz außer Betracht bleiben, wo es sich um die Einfahrt in einen Kreisbogen ohne Überhöhung aus einer Geraden handelt oder um die Ausfahrt aus einem solchen Bogen in eine Gerade. Dies trifft aber für die Zweiggleisfahrten fast aller geraden Weichen zu.

Maßgebend kann der Ruck  $\Delta p$  [Gl. 22)] nur dann werden, wenn der betreffende Bogen überhöht ist oder wenn zwei Gegenbogen mit den Halbmessern  $H_1$  und  $H_2$  ohne Vermittlung eines Übergangsbogens aufeinander folgen (Abb. 2).

Für das Zusammentreffen einer Geraden mit einem Kreisbogen H nimmt die Gl. 23) [oder 23a)] folgende Gestalt an:

$$V_{\Delta p} = 3 \cdot \sqrt{H} \dots \dots \dots 24)$$

Dies ergibt für die Zweiggleishalbmesser der Reichsbahnweichen folgende Geschwindigkeiten (auf 5 km/h aufgerundet):

Zusammenstellung 4.

Weichenhalbmesser . . . . H =	100	300	500	1200 m
Zulässige Geschwindigkeit $V_{\Delta p}$ =	45	55	70	105 km/h

Wie oben erwähnt, kommen diese Geschwindigkeiten jedoch bei Weichen ohne Überhöhung nicht in Frage, da die zulässigen Geschwindigkeiten  $V_h$  nach Gl. 1) (Zusammenstellung 1) niedriger sind.

Stoßen zwei Gegenbogen mit gleichen Halbmessern H unmittelbar aneinander, so ergibt sich im Hinblick auf den Ruck  $\Delta p$  nach Gl. 22) [oder 22a)] die zulässige Geschwindigkeit:

$$V_{\Delta p} = 3 \cdot \sqrt{\frac{H}{2}} \dots \dots \dots 25)$$

[vergl. Gl. 10)]. Wird eine Weichenverbindung aus zwei gleichen Weichen ohne Zwischengerade zwischen den Zweiggleisbogen hergestellt, so sind demnach in dieser Verbindung die Geschwindigkeiten nach folgender Zusammenstellung zulässig (auf 5 km/h aufgerundet):

Zusammenstellung 5.

Weichenhalbmesser . . . . H =	200	300	500	1200 m
Zulässige Geschwindigkeit $V_{\Delta p}$ =	30	40	50	75 km/h

Damit man ein anschauliches Bild davon erhält, wie sich die hier vorgeschlagenen zulässigen Geschwindigkeiten zu den bisherigen verhalten und ob aus der neuen Geschwindigkeitsgleichung keine betrieblichen Nachteile erwachsen, sind in

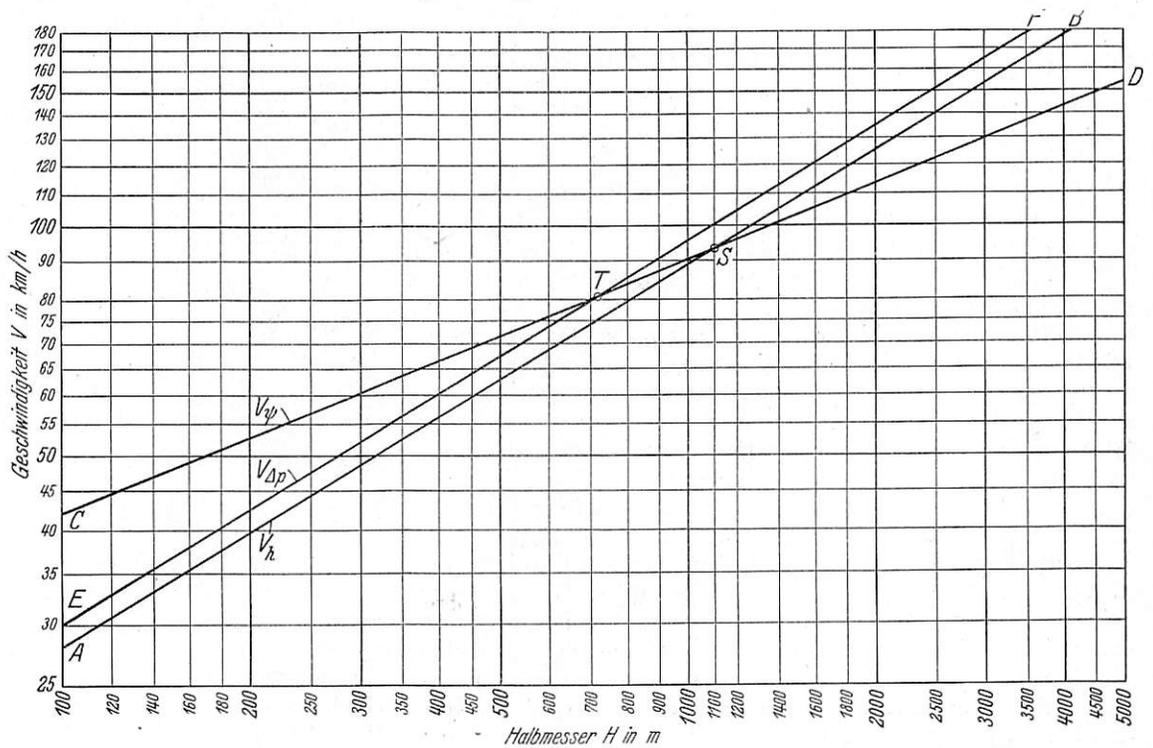


Abb. 5. Zeichnerische Darstellung der zulässigen Geschwindigkeiten  $V_h$ ,  $V_\psi$  und  $V_{\Delta p}$  für die Fahrt durch einen Kreisbogen ohne Überhöhung und ohne Übergangsbogen [Gl. 5), 9) und 24)].

Abb. 5 die Geschwindigkeiten für den unvermittelten Übergang aus einer Geraden in einen Kreisbogen H ohne Überhöhung und ohne Übergangsbogen (oder umgekehrt) zeichnerisch dargestellt. Es geben an

- die Linie AB die Geschwindigkeit  $V_h$  [Gl. 5)],
- „ „ CD „ „  $V_\psi$  [Gl. 9)],
- „ „ EF „ „  $V_{\Delta p}$  [Gl. 24)].

Wir betrachten zunächst einfache Bogen (nicht Gegenbogen).

Geschwindigkeiten nach den jetzigen Vorschriften: Maßgebend sind die Linien  $V_h$  und  $V_\psi$ , und zwar jede dieser beiden Linien in dem Bereich, in dem sie die kleinere Geschwindigkeit ergibt. Die beiden Linien schneiden sich im Punkt S bei  $H = 1100$  m ( $V = 93$  km/h). Nach der jetzigen Regelung ist daher bei den Halbmessern unter 1100 m  $V_h$  maßgebend und bei den Halbmessern über 1100 m  $V_\psi$ , d. h. der Linienzug ASD.

Geschwindigkeiten nach dem neuen Vorschlag: Die Geschwindigkeiten  $V_h$  liegen durchweg unter den Geschwindigkeiten  $V_{\Delta p}$ ; daher ist allein die Linie  $V_h$  (AB) maßgebend, und der Ruck braucht überhaupt nicht berücksichtigt zu werden. Bei den Halbmessern unter 1100 m (Linie AS) fallen die bisherigen Geschwindigkeiten mit den vorgeschlagenen zusammen; bei den Halbmessern über 1100 m dagegen liegen die vorgeschlagenen Geschwindigkeiten über den bisherigen. Dies wirkt sich in manchen Fällen betrieblich günstig aus, z. B. wenn bei einer Streckenverzweigung in einer Geraden die spiegelgleiche Weiche  $49 - \frac{2400}{2400} - 1:18,5$  ange-

wendet wird. Bisher war in diesem Fall  $V_p = 120$  km/h maßgebend, während nach der vorgeschlagenen Regelung  $V_{\Delta p} = 137 \approx 140$  km/h unbedenklich zugelassen werden kann.

Nunmehr betrachten wir Gegenbogen mit gleichen Halbmessern ohne Übergangsbogen und ohne Zwischengerade, ein Fall, der für Weichenverbindungen bei geringem Gleisabstand wichtig ist. Auch für diesen Fall kann man die Geschwindigkeiten für gegebene Halbmesser  $H$  der Gegenbogen ohne weiteres aus der Abb. 5 entnehmen, und zwar muß man die Ordinaten jeweils bei  $\frac{H}{2}$  ablesen [s. Gl. 10) und 25)]. Bei

solchen Gegenbogen sind nicht die Geschwindigkeiten  $V_h$  maßgebend, sondern stets der Ruck, sowohl bei der jetzigen als auch bei der vorgeschlagenen Regelung. Für den Vergleich kommen daher nur die Linien  $V_p$  (CD) und  $V_{\Delta p}$  (EF) in Frage. Sie schneiden sich im Punkt T bei  $H = 729$  m ( $V = 81$  km/h), d. h. bei Gegenbogen liegt die Grenze bei dem Halbmesser  $2 \cdot 729 = 1458 \approx 1460$  m. Bei Halbmessern unter 1460 m sind demnach nach der vorgeschlagenen Regelung die zulässigen Geschwindigkeiten kleiner als nach der bisherigen Regelung, bei Halbmessern über 1460 m sind sie dagegen größer. Dies entspricht durchaus den Erfahrungen. Es hat sich nämlich gezeigt, daß bei Gegenbogen ohne Zwischengerade und ohne Übergangsbogen in Gleisverbindungen mit Weichen  $H = 300$  und  $500$  m bei den jetzt zugelassenen Geschwindigkeiten (Zusammenstellung 3) die Fahrt für den Reisenden nicht mehr genügend ruhig ist; offenbar ist der Ruck zu groß. Hierauf hat z. B. Dr. Vogel ausdrücklich hingewiesen\*) und für solche Weichenverbindungen eine besondere Geschwindigkeitsgleichung vorgeschlagen. Dies ist wieder ein Beweis dafür, daß die bisherige Ruckgleichung den tatsächlichen Verhältnissen nicht gerecht wird. Zu einer brauchbaren und allgemeingültigen Geschwindigkeitsgleichung im Hinblick auf den Ruck gelangt man nur, wenn man den Ruck  $\gamma$  [Gl. 15)] fallen läßt und statt dessen den Ruck  $\Delta p$  [Gl. 19)] einführt.

Bisher war im Gegenbogen mit 500 m Halbmesser zulässig (Linie CD, abgelesen bei  $H = \frac{500}{2} = 250$  m)  $V_p = 57 \approx 60$  km/h.

Dies ist erfahrungsgemäß zu hoch. Nach der neuen Regelung ist in diesem Fall nur zulässig (Linie EF, abgelesen bei  $H = \frac{5000}{2} = 250$  m)  $V_{\Delta p} = 47 \approx 50$  km/h. Dies dürfte angemessen sein. Bei der entsprechenden Weichenverbindung mit 300 m Halbmesser betragen die beiden Geschwindigkeiten  $V_p \approx 50$  km/h und  $V_{\Delta p} \approx 40$  km/h. Auch in diesem Fall ist erfahrungsgemäß die letzte Geschwindigkeit angemessen, die erste dagegen zu hoch. Es ist betrieblich nicht nachteilig, daß nach der neuen Ruckberechnung bei solchen Weichenverbindungen ohne Zwischengerade die Geschwindigkeiten 10 km/h niedriger sind als bisher (vergl. Zusammenstellung 5 mit Zusammenstellung 3); denn es liegt kein Grund vor, in derartigen

\*) „Die Bewertung der Gleisverbindungen S 49 nach dem Ruck“, Org. Fortschr. Eisenbahnwes. 1936, H. 20, S. 418.

Verbindungen größere Geschwindigkeiten als 40 km/h auf zweiflügeliges Signalbild zuzulassen. Diese Geschwindigkeit ist aber nach Zusammenstellung 5 noch zulässig bei der Weichenverbindung mit Gegenbogen von 300 m Halbmesser ohne Zwischengerade. Weichenverbindungen mit kleineren Halbmessern kommen aber ohne Zwischengerade für Zugfahrten überhaupt nicht in Frage, auch nicht nach den jetzigen Bestimmungen.

Falls man aber in besonderen Fällen eine Weichenverbindung bei 3,50 m Gleisabstand mit 60 km/h befahren will, so stehen hierfür die Weichen 49—500—1:14 zur Verfügung, die bei 3,50 m Gleisabstand noch eine über 13 m lange Zwischengerade ergeben, so daß  $V = 65$  km/h zulässig ist (s. Zusammenstellung 1 und Beispiel 5).

Die vorgeschlagene Geschwindigkeitsgleichung im Hinblick auf den Ruck [Gl. 23)] entspricht somit den Erfahrungen und befriedigt in betrieblicher Hinsicht. Selbstverständlich könnte man vielleicht auf Grund weiterer Erfahrungen oder Versuche zu einem größeren zulässigen Ruck gelangen als dem hier zugrunde gelegten  $\Delta p = 0,65$  m/s<sup>2</sup>. In die Gl. 23) bis 25) träte dann vor das Wurzelzeichen statt der Zahl 3 eine größere Zahl, und die Geschwindigkeiten  $V_{\Delta p}$  lägen entsprechend höher, ohne daß sich aber grundsätzlich dadurch etwas änderte.

Es muß jetzt noch geklärt werden, wie lang die Zwischengerade zwischen zwei aufeinanderfolgenden Gegenbogen  $H_1$  und  $H_2$  mindestens sein muß, damit die Geschwindigkeit nach Gl. 1) zugelassen werden darf statt der kleineren Geschwindigkeit nach Gl. 23) für Gegenbogen ohne Zwischengerade und ohne Übergangsbogen. Je kürzer die Gerade ist, desto rascher folgen die beiden Rucke bei der Ausfahrt aus dem ersten und bei der Einfahrt in den zweiten Bogen aufeinander. Je kürzer aber der Zeitabstand dieser beiden Rucke ist, desto mehr verschmelzen sie zu einem einzigen erheblich stärkeren Ruck, und desto unangenehmer machen sie sich für den Fahrgast bemerkbar. Es ist daher richtig, wenn man verlangt, daß zwischen den beiden Rucken ein gewisser kleinster Zeitabstand mindestens vorhanden sein soll. Infogedessen ist die nötige Länge  $g$  der Zwischengeraden von der Geschwindigkeit abhängig zu machen. Die Zwischengerade von einer Länge  $g$  wird in der Zeit  $t = 3,6 \cdot \frac{g}{V}$  durchfahren ( $t$  in s,  $g$  in m,  $V$  in km/h). Wenn

die Zwischengerade die Länge  $g = \frac{V}{5}$  hat, so ist nach dieser

Gleichung  $t = 0,7$  s. Diesen Zeitabstand zwischen den beiden Rucken kann man erfahrungsgemäß als genügend ansehen. Wir setzen daher fest, daß bei Gegenbogen ohne Übergangsbogen die Geschwindigkeit nach Gl. 1) nur dann zugelassen werden darf, wenn zwischen den beiden Bogen eine Zwischengerade liegt, von der Länge:

$$g \geq \frac{V}{5} \dots \dots \dots 26)$$

( $g$  in m,  $V$  in km/h). Wenn die Zwischengerade kürzer ist, so darf die Geschwindigkeit

$$V = 5 \cdot g \dots \dots \dots 26a)$$

zugelassen werden, mindestens aber die Geschwindigkeit nach Gl. 23).

Diese Festsetzung über die Zwischengerade ist zwar auch bis zu einem gewissen Grade willkürlich; sie ist es aber weit weniger als die jetzige Regelung (s. Abschnitt B, b).

Beispiel 4: Wie lang muß die Zwischengerade zwischen zwei Weichenbogen  $H = 190$  m mindestens sein, damit  $V = 40$  km/h zugelassen werden darf? Nach Gl. 26) muß sein:

$$g \geq \frac{40}{5} = 8 \text{ m.}$$

Diese Zwischengerade ist aber stets vorhanden. Denn bereits beim kleinsten zulässigen Gleisabstand von 3,50 m

ergibt sich bei Weichen 49—190—1:9 eine Zwischengerade von 10,64 m Länge. Solche Weichenverbindungen können daher wie bisher mit  $V = 40$  km/h auf zweiflügeliges Signalbild befahren werden.

Beispiel 5: Zwei Gegenbogen ohne Zwischengerade mit  $H = 500$  m dürfen nach der Zusammenstellung 5 mit der Geschwindigkeit  $V_{\Delta p} = 50$  km/h befahren werden. Soll eine größere Geschwindigkeit zugelassen werden, so muß nach Gl. 26) eine Zwischengerade vorhanden sein, die länger als  $\frac{50}{5} = 10$  m ist; und zwar gilt für eine Zwischengerade  $g = 10$  bis 13 m die zulässige Geschwindigkeit nach Gl. 26a). Bei  $g = 13$  m wird  $V = 5 \cdot 13 = 65$  km/h erreicht. Dies ist aber die größte Geschwindigkeit, die im Hinblick auf die Seitenbeschleunigung (s. Zusammenstellung 1) in den Bogen  $H = 500$  m ohne Überhöhung zulässig ist. Eine Verlängerung der Zwischengeraden über 13 m hinaus bringt daher in diesem Fall keine weitere Geschwindigkeitserhöhung mehr. Bei einer Verbindung aus zwei Weichen 49—500—1:14 ist aber eine 13,42 m lange Zwischengerade vorhanden. Auch hier ergibt sich also gegenüber der jetzigen Regelung keine Geschwindigkeitsverminderung.

c) Gleisverziehungen.

Die Gleichungen für die zulässigen Geschwindigkeiten im Hinblick auf die Seitenbeschleunigung (Überhöhung) und den Ruck spielen nur dann eine Rolle, wenn die Regelwerte für die Überhöhungen und Übergangsbogenlängen nicht angewendet werden können, und dies ist in erster Linie bei Weichenverbindungen der Fall.

Die Bogen der freien Strecke wird man dagegen fast immer so gestalten können, daß die oberen Grenzwerte für  $p$  und  $\Delta p$  [Gl. 14) bzw. 22)] nicht erreicht werden. Dies gilt besonders für die Gleisverziehungen, die bei der Änderung des Abstands durchgehender Hauptgleise unvermeidlich sind. Um die Absteckung, die Verlegung und Unterhaltung möglichst einfach zu gestalten, verzichtet man bei diesen S-förmigen Verziehungen in der Regel auf Überhöhung, Übergangsbogen und Zwischengerade und setzt die Verziehungen lediglich aus zwei Kreisbogen mit gleichen Halbmessern  $H$  zusammen. Zugleich werden aber an die Gestaltung dieser Bogen besonders strenge Anforderungen gestellt. Die Verziehungen sollen nämlich so ausgebildet werden, daß sie auch bei der größten zulässigen Streckengeschwindigkeit für den Fahrgast überhaupt nicht fühlbar werden. Dies wird erfahrungsgemäß durch folgende Gestaltungsgrundsätze erreicht\*):

Einfache Kreisbogen (nicht Gegenbogen) ohne Überhöhung erhalten Halbmesser:

$$H \geq \frac{V^2}{2} \dots \dots \dots 27)$$

Die Seitenbeschleunigung ist dann nach Gl. 12) nur  $p = 0,15$  m/s<sup>2</sup> oder der Fehlbetrag an Überhöhung  $\Delta h = 24$  mm. Diese liegen aber unter der Empfindungsschwelle. Die Regelüberhöhung  $\left(\frac{8 \cdot V^2}{H}\right)$  wäre für diesen Bogen nur 16 mm. Nach den Oberbauvorschriften werden aber Überhöhungen unter 20 mm nicht ausgeführt.

Gegenbogen mit gleichen Halbmessern  $H$  ohne Übergangsbogen und ohne Zwischengerade erhalten Halbmesser:

$$H \geq V^2 \dots \dots \dots 28)$$

Der Ruck  $\Delta p$  ist hierbei kleiner als 0,15 m/s<sup>2</sup> und wird nicht fühlbar.

\*) Ausführlich sind die Gleisbeziehungen in dem Lehrbuch „Abstecken und Vermarken von Gleisbogen nach dem Winkelbildverfahren“ (Verkehrswissenschaftl. Lehrmittelges., Berlin 1937) behandelt.

Haben die beiden Gegenbogen verschiedene Halbmesser  $H_1$  und  $H_2$  (was aber nur ausnahmsweise vorkommt), so werden sie derartig gewählt, daß

$$\frac{1000}{H_1} + \frac{1000}{H_2} \leq \frac{2000}{V^2} \dots \dots \dots 29)$$

bleibt. Gleisverziehungen, die nach diesen Regeln gestaltet sind, unterscheiden sich hinsichtlich des Fahrzeuglaufs so gut wie gar nicht vom geraden Gleis. Man muß im Auge behalten, daß es sich hierbei lediglich um Regeln für die Gestaltung von Verziehungen handelt für eine gegebene Geschwindigkeit, nicht aber um die Ermittlung einer zulässigen Geschwindigkeit für eine gegebene Gleislage. Es wäre daher falsch, wenn man aus diesen Gleichungen zulässige Geschwindigkeiten dadurch ableiten wollte, daß man sie nach  $V$  auflöste.

D. Zusammenfassung.

Die geltende Bedingung [Gl. 1)] für die zulässige Geschwindigkeit im Hinblick auf die Seitenbeschleunigung (Überhöhung) entspricht den physikalischen Verhältnissen und hat sich gut bewährt. Sie müßte aber folgerichtig bis hinauf zur größten zulässigen Überhöhung  $h = 150$  mm angewendet werden. Dementsprechend müßte in Bogen bis herab zu 350 m bei  $h = 150$  mm die Geschwindigkeit

$$V = 4,5 \cdot \sqrt{H}$$

uneingeschränkt zugelassen werden. Sie wird bei Schnelltriebwagen seit Jahren angewendet und ist auch bei Dampfzügen mit bestem Erfolg erprobt worden.

Die jetzige Gl. 8) für die zulässige Geschwindigkeit im Hinblick auf den Ruck  $\psi$  ist zu willkürlich und entspricht zu wenig den wirklichen physikalischen Verhältnissen. Sie kann durch eine bessere Gleichung ersetzt werden, die nicht auf dem Ruck-Begriff  $\psi$  nach Gl. 15) beruht, sondern auf einem anderen Ruck-Begriff nach Gl. 19).

Hiernach werden die zulässigen Geschwindigkeiten mit Rücksicht auf gegebene Überhöhungs- und Krümmungsverhältnisse zweckmäßig nach den folgenden Gleichungen bestimmt. In ihnen bedeuten:

- $V_h$  = zulässige Geschwindigkeit im Hinblick auf die Seitenbeschleunigung (Überhöhung) in km/h,
- $V_{\Delta p}$  = zulässige Geschwindigkeit im Hinblick auf den Ruck,
- $V_l$  = zulässige Geschwindigkeit mit Rücksicht auf die Rampenlänge,
- $h$  = Überhöhung in mm (bei Untertiefung mit negativem Vorzeichen einzusetzen),
- $l$  = Länge der Überhöhungsrampe (gerade oder geschwungen) in m,
- $H$  = Krümmungshalbmesser in m,
- $H_1$  und  $H_2$  = Krümmungshalbmesser zweier Kreisbogen, die ohne Zwischengerade und ohne Vermittlung eines Übergangsbogens aneinanderstoßen, in m und stets mit positivem Vorzeichen einzusetzen;  $H_1$  ist der größere,  $H_2$  der kleinere der beiden Halbmesser.

$$V_h = \sqrt{\frac{H}{11,8} \cdot (h + 90)} \dots \dots \dots 1)$$

Ausnahme für untertiefte Zweiggelbisen von Außenbogenweichen, wenn die Zweiggelbisen nur im Rangierweg befahren werden:

$$V_h = \sqrt{\frac{H}{11,8} \cdot (h + 130)} \dots \dots \dots 2)$$

$$V_l = \frac{1000 \cdot l}{8 \cdot h} \dots \dots \dots 7)$$

$$V_{\Delta p} = 3 \cdot \sqrt{\frac{H_1 \cdot H_2}{H_1 \pm H_2}} \dots \dots \dots 23)$$

Das Plus-Zeichen gilt für Gegenbogen, das Minus-Zeichen für Gleichbogen.

Stoßen eine Gerade ( $H_1 = \infty$ ) und ein Kreisbogen  $H$  unvermittelt aneinander, so lautet die Gleichung:

$$V_{\Delta p} = 3 \cdot \sqrt{H} \dots \dots \dots 24)$$

Liegt zwischen zwei Gegenbogen ohne Übergangsbogen eine Zwischengerade von der Länge  $g$  (in m), so darf in diesen Bogen die Geschwindigkeit nach Gl. 1) angewendet werden, wenn die Zwischengerade mindestens die Länge

$$g = \frac{V}{5} \dots \dots \dots 26)$$

hat. Andernfalls gilt die Geschwindigkeit nach Gl. 23) oder  $V = 5 \cdot g$ , wenn dies einen größeren Wert ergibt.

Die vorstehende Berechnung der zulässigen Geschwindigkeit würde folgende Änderungen der jetzigen Festsetzungen zur Folge haben:

1. Die Zusammenstellung in der Eisenbahn-Bau- und Betriebsordnung § 66(4) und in den Fahrdienstvorschriften § 38(3, b) müßte entsprechend Gl. 3) abgeändert werden.

2. Die Angaben in den Fahrdienstvorschriften § 38(3, b) Absatz 3 bis 6 (S. 84, Zeile 24 bis 7 von unten) müßte gestrichen und durch folgenden Absatz ersetzt werden:

„Welche Geschwindigkeiten im übrigen mit Rücksicht auf die Krümmungs- und Überhöhungsverhältnisse zulässig sind, ist durch besondere Verfügungen über Bogen- und Weichengestaltung geregelt.“

3. Der Ruck  $\psi$  wird fallen gelassen und durch den Ruck  $\Delta p$  ersetzt. In der im Abschnitt A genannten Verfügung treten demgemäß an die Stelle der Geschwindigkeitsgleichungen 8) und 9) die Gl. 23) und 24).

Diese neue Festsetzung der zulässigen Geschwindigkeiten brächte keine unerwünschte Herabsetzung der jetzigen Geschwindigkeiten mit sich; sie würde dagegen die Beseitigung zahlreicher Geschwindigkeitsbeschränkungen ermöglichen.

# Rundschau.

## Das UR-Stellwerk\*).

Die amerikanische Signalbauanstalt „Union Switch and Signal Company“ hat ein eigenes System von Stellwerken mit Fahrstraßensteuerung herausgebracht, das im Maiheft 1938 der Railway Gazette (New York) beschrieben ist. Das erste Stellwerk dieser Bauart ist kürzlich bei der Eisenbahn Baltimore und Ohio Chicago Terminal in Betrieb genommen worden für eine Anlage in der Nähe der Western Avenue und der 14. Straße in Chicago.

Dieses Stellwerkssystem ist dadurch gekennzeichnet, daß eine Fahrstraße nicht durch Bedienung von Einzelhebeln der Weichen und Signale gebildet wird, sondern durch Eindrücken eines Knopfs für den Anfang der Fahrstraße und eines zweiten Knopfs für das Ende der Fahrstraße und das Signal. Alles andere geschieht selbsttätig. Das neue Stellwerkssystem entspricht also dem schon länger bekannten En-Ex-System der General Railway Signal Company in den Vereinigten Staaten. Das Verschlußregister des neuen Stellwerks ist elektrisch, ohne jede mechanische Abhängigkeit, eine Art der Sicherung, die sich neuerdings im Ausland immer weiter ausbreitet und auch bei der Reichsbahn erprobt wird.

Das Lieferwerk hat seiner neuen Stellwerksbauart den Namen UR gegeben, der als handliche Abkürzung für Union Route Interlocking steht, d. h. Union-Fahrstraßensicherung.

Die Gleisanordnung, für die das erste UR-Stellwerk ausgeführt worden ist, ist in Abb. 1 wiedergegeben. Die Anlage umfaßt folgende Einrichtungen:

1. Viergleisige Strecke vom Grand Central-Bahnhof nach Forest Park (Baltimore- und Ohio-Bahn).
2. Zweigleisige Abzweigung von dieser viergleisigen Strecke nach Blue Island (Baltimore- und Ohio-Bahn).
3. Schienengleiche Kreuzung der Strecke zu 2. mit der Chicagoer Verbindungsbahn.
4. Schienengleiche Kreuzung der Strecke zu 2. mit fünf Rangiergleisen der Chicago- und Nord-West-Bahn. Sämtliche Gleise können in beiden Richtungen befahren werden.

Insgesamt umfaßt der Stellwerksbezirk 16 Weichen und 33 Signale in dem Abschnitt zwischen den die Anlage deckenden Hauptsignalen. Innerhalb 24 Std. berühren den Bezirk in Zeiten des Regelverkehrs 1200 Zug- und Rangierbewegungen, durchschnittlich also 50 Fahrten stündlich; davon sind im ganzen 26 planmäßige Reisezüge, 166 Güterzüge, 60 kreuzende Güterzüge der Chicagoer Verbindungsbahn (s. zu 3.); der Rest sind Rangierfahrten über die fünf Rangiergleise zu 4., die die Verbindung zu einem großen Freilade- und Güterbahnhof herstellen und mit kurzen Unterbrechungen während der 24 Std. des Tages dauernd benutzt werden.

Vor der Herstellung des UR-Stellwerks waren in zwei mechanischen Stellwerken vier Mann in jeder Schicht tätig. Jeder Zug, der die schienengleiche Kreuzung (3.) zu befahren hatte, mußte

aus Sicherheitsgründen vor ihr halten. Jetzt bewältigt ein Weichenwärter je Schicht den gesamten Dienst.

Der Stellwerksapparat hat etwa die Form eines niedrigen Klaviers. Er ist 1,75 m lang, 1,15 m hoch und 0,45 m tief. Der Klaviatur entsprechend sitzt ein Pult am Apparat, das zum Auflegen von Fahrplänen, Aufzeichnungen usw. dient. Dieses Pult ist 0,55 m tief und so lang wie der Apparat. Es wird von zwei Konsolen getragen.

Die Vorderwand der Einrichtung enthält über dem Pult die eigentlichen Stellvorrichtungen. Dieser Teil ist nur 35 cm hoch; er ist in Abb. 2 wiedergegeben. Das ganze „Klavier“ ist im Obergeschoß eines Turmstellwerksgebäudes untergebracht. Der

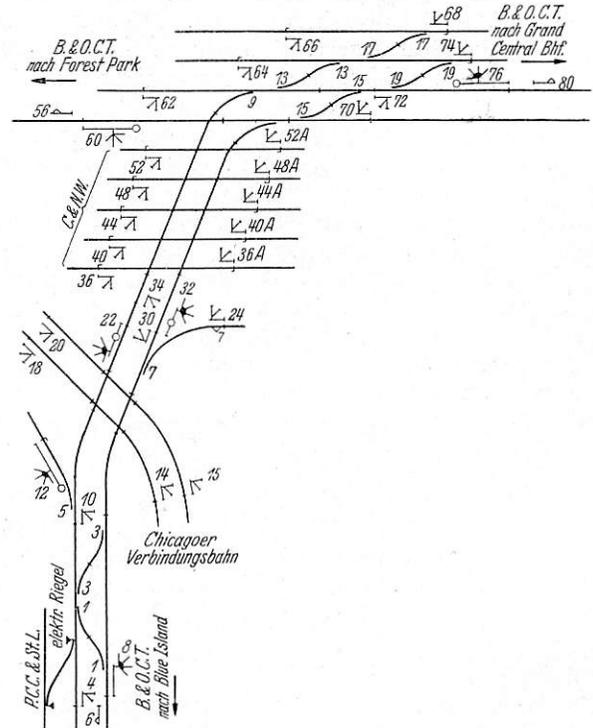


Abb. 1. Gleisplan.

Weichenwärter sitzt vor dem Stellwerksapparat. Er kann sitzend über ihn hinwegsehen und hat nach allen vier Seiten freien Ausblick auf die Gleisanlagen.

Der eigentliche Stellapparat besteht in einer Fahrschautafel aus stumpf-schwarz emailliertem Stahlblech, auf das der Gleisplan mit weißen Linien aufgemalt ist, soweit er nicht für die Zwecke der Gleisfreimeldeanlage durch Ausschnitte in der Stahlplatte, gedeckt mit Glasstreifen, dargestellt ist; diese Streifen sind aus durchscheinendem Glas hergestellt und von hinten beleuchtbar.

\*) Dieser und der nachfolgende Bericht stellen einen Nachtrag zum Fachheft „Sicherungswesen“ (Heft 1/2, 1940) dar.

Hinter den Glasstreifen sind je zwei Lampen angebracht, eine weiße und eine rote. In der Grundstellung ist der Glasstreifen unbeleuchtet. Ist eine Fahrstraße eingestellt, so erscheint der Glasstreifen weiß beleuchtet, so daß man die eingestellte Fahrstraße auf ihre ganze Länge erkennen kann. Fährt ein Zug ein, dann leuchten die Glasstreifen, die den vom Zug besetzten Gleisabschnitten entsprechen, rot auf. Wenn das Ende des Zuges einen Abschnitt räumt, tritt die unbeleuchtete Grundstellung wieder ein.

Zur Kennzeichnung der richtigen Stellung der Einzelweichen ist für jede Weiche in der Fahrtafel ein kurzer Abschnitt jedes Gleisstranges durch einen Glasstreifen dargestellt. Wenn bei der Einstellung einer Fahrstraße der zugehörige Glasstreifen einer Weiche dunkel bleibt, dann ist das ein Kennzeichen dafür, daß sich die Weiche nicht oder noch nicht in der der Fahrstraße entsprechenden Stellung befindet.

In der Fahrtafel befinden sich in den die Gleise darstellenden Strichen die Fahrstraßensignalknöpfe. Jedem Signal entspricht ein Knopf. An jedem Signal kann eine Fahrt beginnen oder enden.

Der zuerst gedrückte Knopf (Anfangsknopf) bezeichnet den Beginn der Fahrstraße und damit das Signal, das auf Fahrt gehen soll. Der als zweiter gedrückte Knopf (Endknopf) bezeichnet das Ende der Fahrstraße oder, anders ausgedrückt, das Gleis, auf dem der Zug die Gleisanlage verlassen soll.

Soll eine Fahrt in der umgekehrten Richtung stattfinden, dann werden die beiden Knöpfe in der umgekehrten Reihenfolge

gelegt wird, ist das Rangieren auf den fünf Gleisen der Chicago- und Nord-West-Bahn erlaubt. Nähert sich ein Zug auf der Hauptstrecke, dann wird der Hebel zurückgelegt und die Rangiersignale an allen fünf Rangiergleisen gehen in Sperrstellung.

Rechts und links oben auf der Fahrtafel sind noch zwei Reihen Druckknöpfe angebracht. Sie tragen rechts neben der oberen Reihe die Bezeichnung „Normal“, neben der unteren die Bezeichnung „Reverse“. Sie dienen zur Einzelbedienung der Weichen und der Gleisverbindungen, z. B. zur Prüfung des Gangs der Weiche oder des Antriebs, zur Einreglung oder wenn die Zungen festgefroren sind und der Einstellung des Fahrstraßenknopfs nicht folgen oder wenn eine Weiche z. B. wegen eines herabgefallenen Kohlenstücks nicht in die Endlage kommt. Wird der Knopf „Normal“ gedrückt, dann geht die Weiche in die Pluslage; wird der Knopf „Reverse“ gedrückt, geht sie in die Minuslage. Die Weichen einer Gleisverbindung sind dabei immer gekuppelt. Bei gezogener Fahrstraße ist die versehentliche Einzelbedienung ausgeschlossen.

Die Hauptsignale sind sämtlich Lichttagesformsignale, d. h. Lichtsignale, bei denen die Stellung der ungefärbten Lichter zueinander den Signalbegriff bildet. Diese Signale sind vierbegriffig. Die im Gleisplan (Abb. 1) mit einem schwarzen Kreissektor und vier Flügeln gekennzeichneten Signale sind diese Hauptsignale. Die vier Flügelstellungen werden je durch zwei Lichter wiedergegeben. Zwei waagrecht angeordnete Lichter bedeuten Halt;

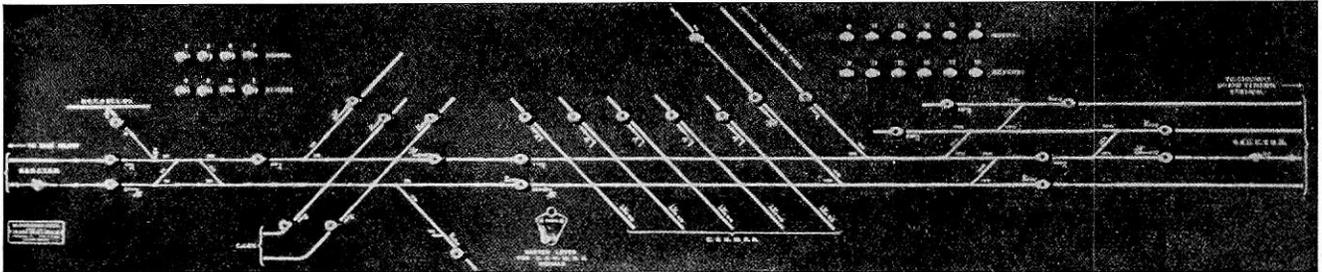


Abb. 2. Fahrtafel.

gedrückt. Durch Betätigung der Druckknöpfe werden auch alle Schutzweichen und feindlichen Signale verschlossen.

Die Druckknöpfe springen beim Loslassen wieder in die Grundstellung. Der Zug selbst löst die Fahrstraße abschnittsweise auf. Will der Weichensteller eine bereits eingestellte Fahrstraße zurücknehmen, dann zieht er den von ihm gedrückten Knopf heraus.

Die Überwachungslampen für die Signalstellung sitzen hinter der Fahrtafel und werden durch eine Glaslinse im Druckknopf sichtbar. In der Grundstellung brennen die Überwachungslampen nicht. Drückt der Wärter den Anfangsknopf der Fahrstraße, erscheint rotes Licht zum Zeichen, daß die gewünschte Fahrstraße noch nicht vollständig ist und das Signal noch Halt zeigt. Ist der Endknopf gedrückt, dann erscheint im Anfangsknopf nach kurzer Zeit statt des roten ein festes grünes Licht. Dies geschieht aber nur, wenn ein Signal für freie Fahrt erscheint, einerlei ob es mit oder ohne Geschwindigkeitsbeschränkung gilt. Erscheint aber am Signalmast ein Signal „Halten, dann Vorrücken“, erscheint grünes Blinklicht im Anfangsknopf. Über die Signale folgen unten noch einige Bemerkungen.

Die Überwachungslampe im Endknopf bleibt dunkel, auch wenn alle zugehörigen Weichen in die Endstellung gelaufen sind und das Signal Fahrtstellung zeigt; nur wenn der Wärter etwa versuchen sollte, den Endknopf der eingestellten Fahrstraße als Anfangsknopf einer zweiten zu bedienen oder eine andere feindliche Fahrt einzustellen, dann leuchtet das Lämpchen im Endknopf rot auf. In diesem Fall müssen beide Knöpfe herausgezogen werden, um die Ordnungsstellung wieder zu erreichen.

Zur weiteren Arbeitsvereinfachung ist ein kleiner Sonder-signalhebel vorgesehen. Er kann zwei Stellungen einnehmen und ist in Abb. 2 etwas links von der Mitte in der Nähe des unteren Randes der Fahrtafel zu sehen. Wenn er nach der Durch-fahrt eines Zuges auf der Strecke nach und von Blue Island um-

zwei senkrecht übereinander angeordnete Lichter bedeuten Fahrt frei ohne Geschwindigkeitsbeschränkung. Zwei rechtssteigend angeordnete Lichter heißen: Fahrt frei mit ermäßigter Geschwindigkeit; zwei rechts fallend angeordnete Lichter bedeuten: Fahrt frei mit geringer Geschwindigkeit.

Die für diese Signalbegriffe erforderlichen acht Laternen sind am Umfange einer großen runden Laternenplatte angebracht. An einigen dieser Hauptsignale ist ein weiteres Signal durch einen kleinen unausgefüllten Kreis angedeutet. Das bedeutet, wenn es erleuchtet ist: Halten, dann vorrücken; es entspricht also ungefähr unserem Ersatzsignal.

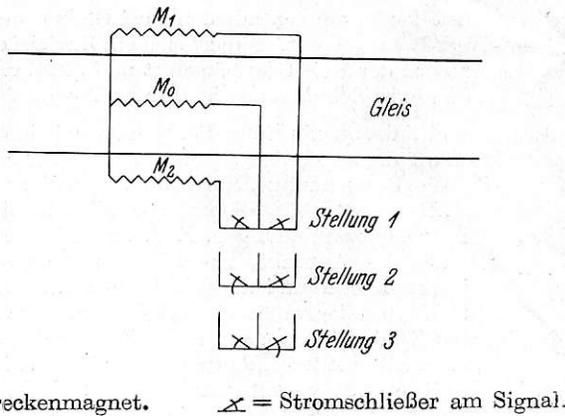
Die im Gleisplan (Abb. 1) durch kleine Flügelsignale wiedergegebenen Signale sind Rangiersignale, die, etwa entsprechend unseren Gleisperrsignalen, nur die Begriffe Fahrt verboten und Fahrt erlaubt geben können. Es sind Zwergsignale.

(Rly. Age.)

Buddenberg.

### Induktive Zugbeeinflussung in Frankreich.

In Nr. 20 der „Railway Gazette“ vom 11. November 1938 wird über Versuche mit induktiver Zugbeeinflussung berichtet, die in Frankreich auf einer Strecke in Elsaß-Lothringen durchgeführt werden. Mit drei Lokomotiven und an 14 Signalen wird dort ein induktives Gleichstromsystem erprobt, wie es in ähnlicher Form in der benachbarten Schweiz benutzt wird. Dies System weist bekanntlich drei parallel nebeneinanderliegende Streckenmagnete auf, denen drei entsprechende Magnete auf der Lokomotive gegenüberstehen. Der Luftspalt zwischen Lokomotiv- und Streckenmagneten ist rund 8 cm. Die Mindestgeschwindigkeit, bei der noch eine Übertragung zustande kommt, beträgt 3 km/Std. Über den mittleren Streckenmagneten können entweder nach dem linken oder rechten Magneten oder auch nach beiden gleichzeitig Impulse übertragen werden, wodurch drei verschiedene Wirkungen auf dem Fahrzeug erzielt werden.



Diese drei Möglichkeiten werden hier dazu benutzt, um bei dreibegriffigen Vorsignalen die Stellung „Ankündigung von Fahrt frei“, „Ankündigung von Halt (Warnung)“ und „Ankündigung einer Fahrt mit verringerter Geschwindigkeit“ zu übertragen. Die Stellung „Ankündigung von Fahrt frei“ wird so übertragen, daß dabei das ordnungsmäßige Vorhandensein und Arbeiten aller Teile überprüft wird. Bei den beiden anderen Signalstellungen muß der Lokomotivführer vor dem Passieren des Signals eine Wachsamkeitshandlung vornehmen. Andernfalls ertönt ein lautes akustisches Zeichen und die Unterlassung wird auf einem mit dem Geschwindigkeitsmesser verbundenen Schreibstreifen vermerkt. Weiter befindet sich auf dem Führerstand eine Merklampe, die den betriebsbereiten Zustand der Anlage anzeigt. Außerdem leuchten drei Lichtzeichen auf, die als Führerstandssignale die jeweilige Stellung des Vorsignals wiederholen. Die elektrische Energie liefert die Beleuchtungsanlage.

Wittschell.

## Bücherschau.

### Deutscher Reichsbahnkalender 1940.

Auch im Kriegsjahr 1940 hat die Deutsche Reichsbahn ihren durch seine schöne Ausstattung wie seinen bewährten Inhalt bekannten Kalender wieder herausgebracht, wenn auch den Zeitaufgaben entsprechend als Wochenkalender, also im Umfange eingeschränkt. Das Leitwort ist ebenfalls den gegebenen Verhältnissen entsprechend gewählt und lautet: „Auslandsverkehr trotz Krieg“.

### IV. Internationale Schientagung in Düsseldorf 1938. Verlag Stahleisen Düsseldorf, DIN A 4, 255 Seiten mit 484 Abbildungen, kartoniert 20.— *R.M.*

Über die von der Deutschen Reichsbahn und vom Verein Deutscher Eisenhüttenleute vom 19. bis 22. September 1938 veranstaltete Tagung ist Mitte vorigen Jahres im Verlag „Stahleisen“ der Bericht erschienen, der die sämtlichen auf der Tagung erstatteten Einzelberichte sowie die in den Verhandlungen gepflogene Aussprache enthält. Den Berichten sind kurze Auszüge in deutscher, italienischer, englischer und französischer Sprache vorangestellt. Ebenso ist den Verhandlungsberichten eine kurze Zusammenfassung in den vier Sprachen angeschlossen. Das Werk hält die wertvollen Ergebnisse der Tagung als Grundlage für weitere Fortschritte in der Schienenforschung fest. Einen kurzen Überblick über die Tagung nebst einigen Berichten im Wortlaut haben wir seinerzeit im Org. Fortschr. Eisenbahnwes. veröffentlicht (Heft 2 vom 15. Januar 1939).

Im gleichen Verlag wurden auch die Ergebnisse der II. Internationalen Schientagung in Zürich im Jahre 1932 und der III. in Budapest im Jahre 1935 veröffentlicht.

### Deutsche Verkehrsgeschichte. Herausgegeben vom Reichsverkehrsministerium. Konkordia-Verlag, Leipzig C 1.

Der Glaube an die Zukunft unseres deutschen Volkes gründet sich auf das Bewußtsein seiner schöpferischen Kraft und auf die Kenntnis seiner reichen geschichtlichen Vergangenheit. Diese Vergangenheit in ihren Gegebenheiten und Bedingungen wieder vor uns erstehen zu lassen und in der Vielfalt ihrer Erscheinungen das Werden zur Gegenwart aufzuzeigen, ist auf dem Gebiete des Verkehrs die Aufgabe der „Deutschen Verkehrsgeschichte“.

Unter diesem Titel sollen künftig im Konkordia-Verlag, Leipzig C 1, in jedem Jahre zwei Ausgaben von je 64 Seiten oder ein entsprechend starkes Doppelheft herausgegeben werden; sie werden in bunter Folge aus allen Gebieten und Zeitabschnitten des Verkehrs (außer Postverkehr) Abhandlungen und Darstellungen bringen.

Der Band I, 1 bis 2, liegt bereits vor (112 Druckseiten). Er enthält ein Geleitwort des Herrn Reichsverkehrsministers Dr. Dörpmüller und behandelt in drei reich bebilderten Aufsätzen

die hundertjährige Geschichte der ersten preußischen Eisenbahn (Berlin—Potsdam), der ersten deutschen Staatseisenbahn (Braunschweig—Wolfenbüttel) und der ersten westdeutschen Eisenbahn (Düsseldorf—Erkrath). Als Sonderbeilage enthält er die wirklichkeitstreuere Nachbildung eines Erlasses Friedrich Wilhelm III. vom 25. September 1837.

Für die nächsten Jahrgänge sind Beiträge vorgesehen über die Wasserstraßenpolitik der brandenburgischen Kurfürsten und preußischen Könige sowie über die Geschichte des Rheinstroms als Verkehrsweg. Auch die Verkehrsgeschichte der Alpenpaßstraßen in ihrer Bedeutung für das großdeutsche Reich wird Gegenstand einer ausführlichen Behandlung werden. Daneben werden weitere Darstellungen aus der Geschichte der deutschen Eisenbahnen nicht fehlen.

Wer aus der Vergangenheit Anregungen schöpfen und aus ihr die Gegenwart mit ihren drängenden Fragen und Aufgaben verstehen lernen will, wird das Erscheinen der Deutschen Verkehrsgeschichte warm begrüßen und in ihr einen Beitrag zur deutschen Kulturgeschichte erblicken. Vor allem wird die Deutsche Verkehrsgeschichte allen denen willkommen sein, die irgendwo, sei es an bescheidener, sei es an führender Stelle an dem gewaltigen Gemeinschaftswerk des deutschen Verkehrs mitarbeiten dürfen.

### Die Lagerhaltung, Lagerbuchführung und Bestandsmeldung für Eisen und Stahl mit Erläuterungen und Buchungsbeispielen von Dipl.-Ing. Wenzlawski. Verlag Aug. Lutzeyer für volkswirtschaftliches Schrifttum, Bad Oeynhausen, Westkorso 8. Preis 1.50 *R.M.*

Das Heftchen ist für alle Eisen und Stahl erzeugende und verarbeitende Betriebe, den Eisen- und Stahlhandel und -Großhandel, die gesamte Bauindustrie usw. wichtig. Es gibt nicht nur ausführliche und leicht faßliche Erläuterungen, sondern enthält auch die Anordnungen im vollständigen Wortlaut. Die Broschüre wurde mit dem Stand vom 1. Mai 1939 abgeschlossen.

### Baugrund und Bauwerk. Von Prof. Dr.-Ing. Kögler und Dr.-Ing. habil. Scheidig. Berlin 1939, Verlag von Wilhelm Ernst und Sohn. Zweite Auflage, 281 Seiten, 298 Textabbildungen. Preis Leinen 23,50 *R.M.*

Die erste Auflage dieses Buches war bereits vier Monate nach dem Erscheinen vergriffen. Darin liegt ein Zeichen, daß sich die Lehre vom Baugrund bereits allgemein durchgesetzt hat, aber auch ein Beweis für die Brauchbarkeit gerade dieses Buches, das aus einer glücklichen Verbindung zwischen der Laboratoriumsforschung und der Baustellenbeobachtung entsprossen ist. Die zweite Auflage ist übrigens von Scheidig allein besorgt und gegen die erste nur mit wenigen bessernden Strichen verändert. Denn Kögler ist auf der Höhe seines Schaffens unerwartet verschieden, seine Forschungsstelle ist der Auflösung verfallen.

Dr. Bl.

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

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

Als Herausgeber verantwortlich: Abteilungspräsident a. D. Dr. Ing. Heinrich Uebelacker in Nürnberg. — Verlag von Julius Springer in Berlin. Druck von Carl Ritter & Co., Wiesbaden.