

### Widerstand einer dreiachsigen Lokomotive in Gleisbögen mit und ohne Spurerweiterung bei genauer Berücksichtigung der Spurkranzreibung.

Von Dipl.-Ing. Paul Becker, München.

Allgemeines. — Der Lauf einer C-Lokomotive mit festen Achsen durch eine Gleiskrümmung a) bei ausgehängten Kuppelstangen, b) bei eingehängten Kuppelstangen. — Die seitenverschiebliche Anordnung der Mittelachse am gleichen Fahrzeug und sein Verhalten in der (Gleiskrümmung a) bei ausgehängten Kuppelstangen, b) bei eingehängten Kuppelstangen. — Schlußfolgerungen.

#### Vorbemerkung.

Herr Professor Jahn in Danzig hat kürzlich eine Berechnung der Spurkranzreibung einer C-Lokomotive in Bögen mit und ohne Spurerweiterung veröffentlicht, wobei er von gewissen Annahmen ausging. In der nachfolgenden Arbeit ist sie nach der genauen mathematischen Theorie Bäseler durchgeführt. Es zeigt sich, daß der Vorteil der Spurverengung im allgemeinen nicht so groß ist, als die Rechnung von Professor Jahn erwarten läßt. Der Hauptunterschied der beiden Rechnungsverfahren liegt darin, daß Professor Jahn mit Einpunktberührung gerechnet hat, während in der nachfolgenden Arbeit mit der häufiger vorkommenden Zweipunktberührung gerechnet ist.

#### I. Allgemeines.

In der Eisenbahntechnik hat man von jeher dem Bogenlauf eines Fahrzeugs ein besonderes Interesse gewidmet. An Versuchen, die hierbei auftretenden Kräfte und die Einstellung rechnerisch zu erfassen, hat es nicht gefehlt, bewirken doch mehr oder minder große Richtkräfte in den Spurkranzdruckpunkten und die Größe des Anlaufwinkels eine gesteigerte Abnutzung von Radreifen und Schiene, während die Stellung des Fahrzeugs die Bewegungswiderstände beeinflusst.

Die Frage der Einstellung wurde von Uebelacker\*) und Heumann\*\*) einwandfrei klargestellt, nach den am führenden Spurkranz auftretenden Kräften blieb sie noch offen. Für sie hat Bäseler in seinem Aufsatz „Die Spurkranzreibung“\*\*\*) den Weg gezeigt, einen genauen Einblick in das Kräftespiel zu bekommen. Von ihm wurde das Problem des zweiachsigen Wagens gelöst. Hieran anknüpfend sollen im folgenden die Verhältnisse für mehr als zwei in einem starren Rahmen gelagerte Achsen mittels der Gleichgewichtsbedingungen untersucht werden und zwar sowohl für den Fall, daß sämtliche Achsen gegenüber dem Hauptrahmen unverschieblich wie auch für den, daß einzelne verschieblich sind. Wegen der dabei in Betracht kommenden kinematischen Einzelheiten sei auf die Arbeit Bäseler verwiesen.

Das Auftreten von Zug- und Bremskräften wollen wir hierbei ausschalten und annehmen, daß sich das Fahrzeug mit einer unveränderlich angenommenen Bahngeschwindigkeit durch die Kurve bewegt und zwar unter Anlehnung an die von Bäseler benutzten Bezeichnungen und Zahlen mit  $v = 3,14159 \text{ m/s} = 11,3 \text{ km/h}$ . Je nach Wahl des Rollhalbmessers  $r$  ergibt sich dann bei Vernachlässigung der Höhenverlagerung  $c$  der Rollachse gegenüber  $r$  die Winkelgeschwindigkeit der Rollbewegung um eine wagerechte Y-Achse

$$\text{zu } u_y = \frac{d\varphi}{dt} = \frac{v}{r} = \frac{3,14159}{r}. \text{ Für die Wendebewegung des}$$

Radsatzes kommt eine Winkelgeschwindigkeit  $u_z = \frac{d\varphi}{dt}$  um

eine lotrechte Z-Achse in Frage, nämlich  $u_z = u_y \frac{r}{R}$ ,  $R$  ist

darin der Krümmungshalbmesser. Die Gleitgeschwindigkeit  $v_G$  eines Stützpunktes in der Entfernung  $p$  vom Reibungsmittelpunkt errechnet sich dann aus  $v_G = \text{Gleitweg} \cdot u_z$ . Nähere Einzelheiten über diese Festsetzungen enthält der Bäselerse Aufsatz „Die Spurkranzreibung“. Als Maßeinheiten sind im folgenden  $m$ ,  $s$  und  $kg$  benutzt. Ferner werde die Fliehkraft durch die Schienenüberhöhung als ausgeglichen angenommen, und es sollen die Kräfte, die durch die Kegelform der Radreifen hervorgerufen werden, zur Vereinfachung der Rechnung unberücksichtigt bleiben; die Radreifen sind also für die Betrachtung zylindrisch. Aus gleichem Grunde sind auch die vermehrten Widerstände in den Achslagern außer acht gelassen, die durch die Übertragung radialer sowie axialer, zusätzlicher Kräfte bewirkt werden. Der Reibungsbeiwert wurde mit  $f = 1/4$  als unveränderlich gewählt, was nach den Versuchen von Buchli\*) als zulässiger Mittelwert gelten kann. Bezüglich der benutzten Vorzeichen sei die Festsetzung getroffen, daß die X-Achse in die Fahrtrichtung, die Y-Achse in die Querrichtung und die Z-Achse in die Lotrechte und zwar in Radsatzmitte fällt. Die Lage der X- und Y-Achse ist jeweils so gewählt, daß die Momentengleichungen in den analytischen Gleichgewichtsbedingungen besonders einfach werden: ihre Lage ist aus der betreffenden Momentengleichung zu erkennen. Die drei Achsen sollen für die angenommene Fahrt durch eine Rechtskurve ein Linkssystem miteinander bilden. Das Drehmoment gilt im Uhrzeigersinn als positiv, wenn der Blick gegen den Achspfeil gerichtet ist. Für die führenden Achsen wird Zweipunktberührung der anlaufenden Räder angenommen, wie es neuen Radreifen und Schienen entspricht. In der Bezeichnung der vorkommenden rechnerischen Größen werde an den von Bäseler bereits eingeführten festgehalten.

Bei Beurteilung von Einzelfällen werden die so ermittelten Rechnungswerte immerhin als Anhalt herangezogen werden können und dürften als Näherungswerte auch brauchbar sein.

#### II. Der Lauf einer C-Lokomotive mit festen Achsen durch eine Gleiskrümmung.

##### a) Bei ausgehängten Kuppelstangen.

Durchläuft ein in Abb. 1 dargestelltes Fahrzeug mit drei in einem starren Rahmen fest gelagerten Achsen einen Gleisbogen, so bestehen hinsichtlich der Führung die beiden Möglichkeiten, daß diese von der Außen- und Innenschiene oder nur von der Außenschiene ausgeübt wird. Wir wollen diese Möglichkeiten durch die beiden Begriffe „Doppelführung“ und „Einfache Führung“ voneinander unterscheiden. Die

\*) Schweizerische Bauzeitung 1923 II, Seite 119.

\*) Organ 1903, Beilage.

\*\*) Organ 1913, Seite 104.

\*\*\*) Organ 1927, Seite 333.

einfache Führung tritt ein, wenn das Spiel zwischen Spurkranz und Schiene so groß ist, daß am Innenstrang die Richtkraft Null wird. Rechnerisch betrachtet stellt sie also einen Grenzfall dar, der bei Vergrößerung der Spur einmal eintritt. In den späteren zahlenmäßigen Untersuchungen wollen wir

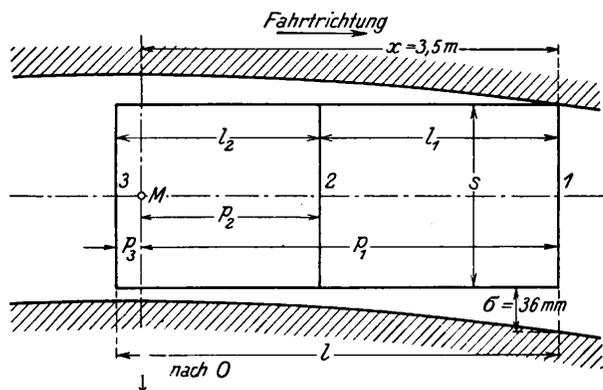


Abb. 1. Statische Krümmungseinstellung eines steifachsigen Fahrzeugs in 300-m-Krümmung mit Spurerweiterung.

für sie die auftretenden Kräfte ermitteln. Die Bedingungen für Gleichgewicht wollen wir indessen so angeben, daß sie auch die Ermittlung der Kräfte in dem Fall ermöglichen, wo die Lage des Reibungsmittelpunktes\*) geometrisch bestimmt ist, das Fahrzeug sich also im Spießgang befindet.

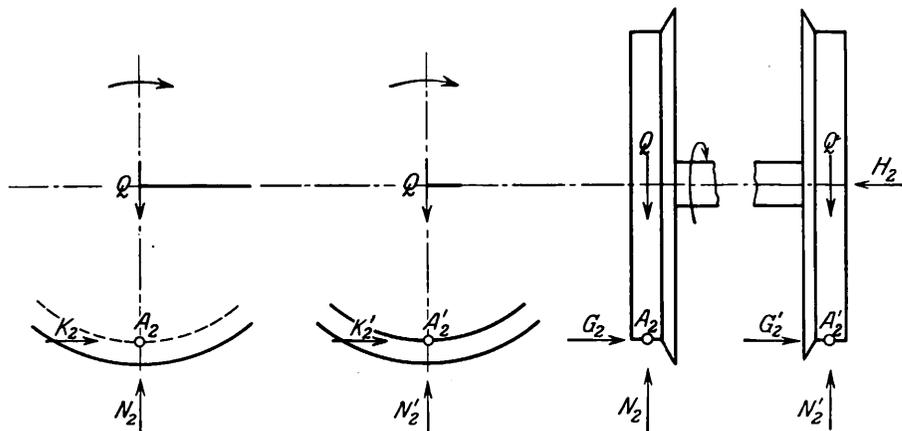


Abb. 2. Sämtliche in die Gleichgewichtsbedingungen eingehenden Kräfte an der Achse 2.

Bei einer solchen Krümmungseinstellung kommt dann eine der drei Achsen nicht zum Anlaufen, sie ruht nur in zwei Punkten auf den Schienen auf und empfängt vom Rahmen ihre Führung. Wir wollen dies für die zweite Achse annehmen, da es für sie bei den in der Praxis vorkommenden Gleisbögen vornehmlich zutrifft. Die in den beiden Stützpunkten auftretenden Reibungskräfte werden durch die Richtkräfte an den führenden, anlaufenden Achsen ausgeglichen. Der auf sie entfallende Anteil vom Krümmungswiderstand ist dann in diesen Richtkräften mitenthalten. Als Unbekannte treten an der zweiten Achse auf (Abb. 2) die Auflagerdrücke  $N_2, N_2'$ , die Seitenkraft  $H_2$ , ein Wendekräftepaar  $M_2$  an den Achslagern um die Lotrechte, ein ideelles Antriebskräftepaar  $M_{w2}$  und die Höhenverlagerung  $c_2$  der Rollachse entsprechend der Bezeichnungsweise Bäsellers. Diesen stehen folgende Gleichgewichtsbedingungen gegenüber.

\*) In der jüngeren Literatur findet man für den Punkt M auch die Bezeichnung „Pol“; doch wird hiervon abgeraten: der Pol der Bewegung ist für das Fahrzeuggestell der Krümmungsmittelpunkt O, M dagegen ist nur ein relativer Pol für die gleitenden Bewegungen. Um Irrtümern vorzubeugen, empfiehlt es sich, die von Uebelacker bereits für M gewählte Bezeichnung „Reibungsmittelpunkt“ beizubehalten.

- Achse 2.
1.  $K_2 + K_2' = 0$
  2.  $G_2 + G_2' - H_2 = 0$
  3.  $N_2 + N_2' - 2 Q = 0$
  4.  $M_2 + (K_2 - K_2') \cdot \frac{s}{2} = 0$
  5.  $(N_2 - Q) \cdot s - H_2 \cdot r = 0$
  6.  $M_{w2} - (K_2 + K_2') \cdot c_2 = 0$

Die Seitenkräfte der Reibung sind hier und später abweichend von der Darstellung Bäsellers sämtlich mit positivem Richtungssinn, also mit der Achsrichtung übereinstimmend, eingeführt. Das bei der Zahlenrechnung für die Reibungskräfte einzusetzende Vorzeichen wird durch den Richtungssinn der Gleitwege festgelegt, die mit Annahme der Größe  $c$  bestimmt sind; natürlich ist dabei zu berücksichtigen, daß die Reibungskräfte am Fahrzeug in die entgegengesetzte Wegrichtung wie die Gleitwege fallen. Das Gleichgewicht der Achse 2 läßt sich also für sich angeben. Auf den Rahmen wirkt sie mit der Seitenkraft  $H_2$  und infolge der Wendebewegung mit dem Kräftepaar  $M_2$ . Sind weitere nicht anlaufende Achsen vorhanden, so kann man bei ihnen in gleicher Weise vorgehen.

An der ersten und dritten Achse haben wir je drei Auflagerpunkte, in denen Kräfte übertragen werden und außerdem die Rahmenführung, die sich bekanntlich ausdrückt durch Übertragung einer Querkraft  $H$ , einer Längskraft  $L$  und eines Wendekräftepaares  $M$ . Die Längskraft sei hier gleich Null gesetzt; später bei gekuppelten Achsen ist dies nicht zulässig. Den Krümmungswiderstand einer Achse wollen wir uns dementsprechend statt durch eine am Zughaken wirkende Längskraft durch ein antreibendes Kräftepaar  $M_w$  überwinden vorstellen. An den beiden Achsen 1 und 3 sind dann unbekannt:

- die Auflagerkräfte  $N_1, N_1', N_3, N_3', N_3$
- die Querkräfte  $H_1, H_3$
- die Wendekräftepaare  $M_1, M_3$
- die beiden Kräftepaare des Antriebs zur Überwindung des Krümmungswiderstandes  $W$   $M_{w1}, M_{w3}$
- und die Höhenverlagerungen der Rollachsen  $c_1, c_3$ .

Für sie lauten die räumlichen Gleichgewichtsbedingungen:

Achse 1 (Abb. 3).

1.  $N_1 + K_1 + K_1' = 0$
2.  $P_1 + G_1 + G_1' - H_1 = 0$
3.  $M_{z1} + N_1 + N_1' - 2 Q = 0$
4.  $M_1 + (N_1 + K_1 - K_1') \cdot \frac{s}{2} = 0$ \*
5.  $-(M_{z1} + N_1) \cdot b_1 - N_1 \cdot a_1' + (K_1 + K_1') \cdot c_1 + M_{w1} = 0$
6.  $(M_{z1} + N_1) \cdot s - H_1 \cdot r - (P_1 + G_1) \cdot a_1 - Q \cdot s = 0$

Achse 3 (Abb. 4).

1.  $N_3' + K_3 + K_3' = 0$
2.  $-P_3' + G_3' + G_3 + H_3 = 0$
3.  $M_{z3}' + N_3 + N_3' - 2 Q = 0$
4.  $M_3 + (K_3 - N_3' - K_3') \cdot \frac{s}{2} = 0$
5.  $-(M_{z3}' + N_3) \cdot b_3' - N_3' \cdot a_3' + (K_3 + K_3') \cdot c_3 + M_{w3} = 0$
6.  $-(M_{z3}' + N_3 + N_3') \cdot s + H_3 \cdot r + (P_3' - G_3') \cdot a_3 + Q \cdot s = 0$

Zwei weitere Gleichungen hat man in den für den Rahmen bestehenden Bedingungen (Abb. 5)

1.  $H_1 + H_2 - H_3 = 0$
2.  $H_1 \cdot l + H_2 \cdot l_2 - M_1 - M_2 - M_3 = 0$

Das Moment  $(P + G) \cdot b$  ist in den Gleichungen 4 der anlaufenden Achsen immer als unwesentlich für die Bestimmung des Gleichgewichts vernachlässigt.

Die aufgestellten Bedingungen der Achse 1 und 3 lassen sich nach jedesmaligem Ausscheiden der Gleichung 5 wie beim zweiachsigen Wagen auf zwei Gleichungen mit den unbekanntenen Werten  $c_1, H_1$  und  $c_3, H_3$  zurückführen, so daß man mit Hilfe der beiden für das gesamte Fahrzeug geltenden Gleichungen die zueinander passenden  $c$ - und  $H$ -Werte ermitteln kann.

Einfacher und schneller ist jedoch die graphische Lösung. Man errechnet für verschiedene  $c$ -Werte mit Hilfe der Gleichungen 1, 2, 3, 4 und 6 einer Achse das zugehörige  $H$  und trägt es in einem Schaubild in Abhängigkeit von  $c$  auf (Abb. 6). In einem zweiten Schaubild (Abb. 7) trägt man in Abhängigkeit von  $c$  die Momente  $H_1 \cdot l_1, H_2 \cdot l_2$  und die drei Kräftepaare  $\mathcal{M}_1, \mathcal{M}_2$ , und  $\mathcal{M}_3$  auf. Die Kräftepaare mit  $H_2 \cdot l_2$  zu einer resultierenden Momentenlinie vereinigt — wobei man den für Gleichgewicht richtigen  $\mathcal{M}_3$ -Wert schon annähernd genau aus der  $\mathcal{M}_3$ -Linie abgreifen kann, eine nachträgliche Verbesserung mit dem genauen  $\mathcal{M}_3$  erübrigt sich im allgemeinen — liefert einen Schnittpunkt mit der  $H_1 \cdot l_1$ -Linie und damit das für Gleichgewicht richtige  $c_1$ . Durch Abtragen dieses  $c_1$ -Wertes auf der  $H_1$ -Linie im ersten Schaubild findet man das zugehörige  $H_1$ . Das für Gleichgewicht der dritten Achse richtige  $H_3$  erhält man mit Hilfe der Gleichung  $H_1 + H_2 - H_3 = 0$ ; denn  $H_2$  ist ja vorher errechnet. Durch Abtragen des so bestimmten  $H_3$  auf der  $H_3$ -Kurve in der Abbildung 6 erhält man das zugehörige  $c_3$  der Hinterachse. Errechnet man mit den so ermittelten  $c$ - und  $H$ -Werten die Normal- und Reibungskräfte in den einzelnen Stützpunkten, dann bietet Gleichung 2 des Rahmens eine Probe für die Richtigkeit der gemachten Annahmen. Für die Schaubilder sind die Werte der folgenden Zahlenrechnung gewählt.

Verfolgen wir nun an Hand der vorausgegangenen Betrachtungen die Verhältnisse bei einer dreiachsigen C-Lokomotive mit einem Radstand von  $2,0 + 1,7 = 3,7$  m und einem Raddurchmesser von 1200 mm, die eine 300 m-Kurve mit üblicher Spurerweiterung leer und mit ausgehängten Kuppelstangen durchläuft. Die Mittelachse sei wie die Endachsen gegenüber dem Haupttrahmen unverschieblich. In diesem Fall ist das Spiel  $\sigma$  im Gleis  $25 + 11 = 36$  mm bereits so groß, daß die Richtkraft an der Innenschiene Null wird, das Fahrzeug also einfach geführt ist. Die für diese Stellung ermittelte Lage des Reibungsmittelpunktes ist  $x = 3,5$  m hinter der Vorderachse.

An der zweiten Achse erhält man Gleichgewicht bei  $c_2 = 0,28$  mm. Um den Winkel  $\alpha_2$  ist sie schief zum Gleis gerichtet. Dieser ist, wenn  $p$  den Abstand der Achse vom Reibungsmittelpunkt bedeutet,

$$\alpha_2 = \sin \alpha_2 = \frac{p_2}{R} = \frac{1,5}{300} = 0,005;$$

der Gleitweg in Y-Richtung

$$v_{y2} \frac{dt}{d\varphi} = p_2 = R \cdot \alpha_2 = 1,5$$

Die Zusammenstellung 1 enthält die mit Annahme von  $c$  sich ergebenden Rechenwerte der Gleitwege und Reibungs-

kräfte.  $\xi$  und später  $\varepsilon$  sind jedesmal die Winkel, die die Gleitwege und Reibungskräfte in den Aufstützpunkten bzw. Spurkranzdruckpunkten mit der oben festgelegten Y-Richtung bilden.

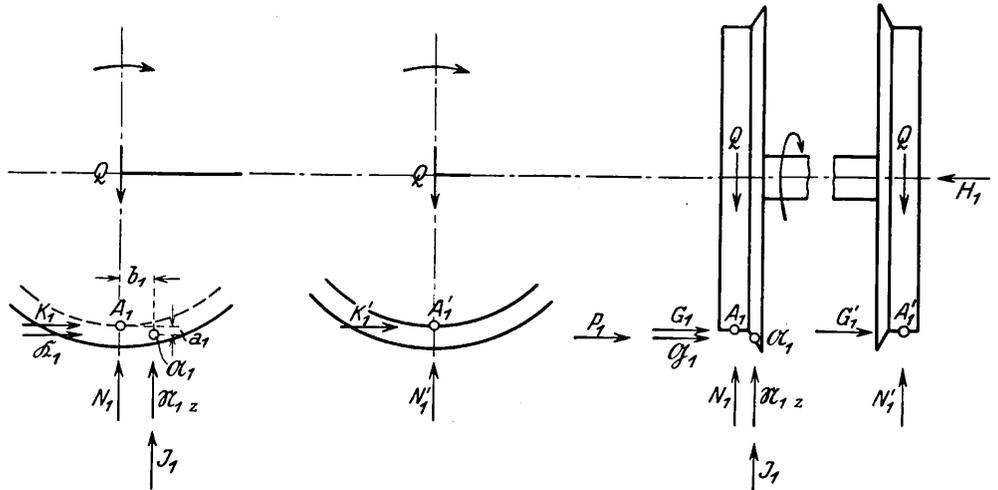


Abb. 3. Sämtliche in die Gleichgewichtsbedingungen eingehenden Kräfte an der Achse 1.

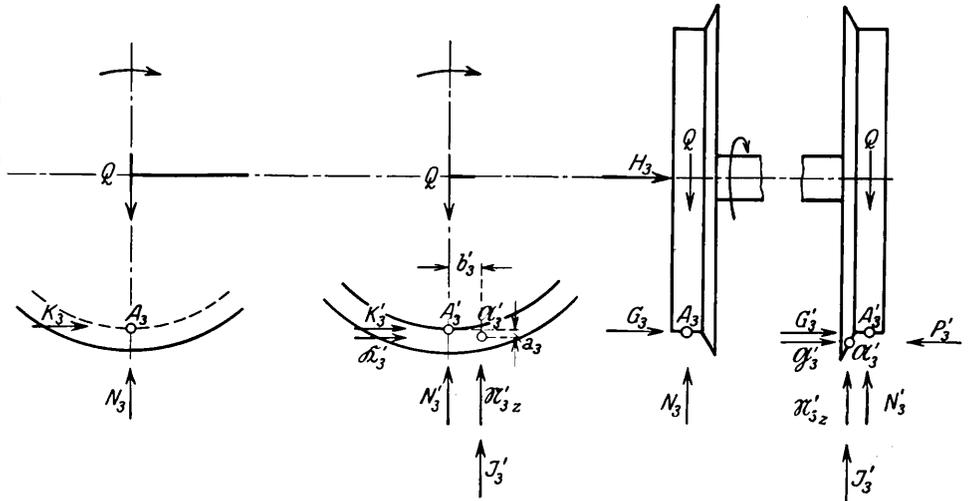


Abb. 4. Sämtliche in die Gleichgewichtsbedingungen eingehenden Kräfte an der Achse 3.

Zusammenstellung 1.

Stützpunkte	A <sub>2</sub>	A' <sub>2</sub>
$v_x \frac{dt}{d\varphi}$	0.89	-0.61
$v_G \frac{dt}{d\varphi}$	1.743	1.621
sin	$\xi_2 = 0.86$	$\xi'_2 = 0.926$
cos	$\xi_2 = 0.511$	$\xi'_2 = -0.376$
K	-0.128 N <sub>2</sub>	0.094 N' <sub>2</sub>
G	-0.215 N <sub>2</sub>	-0.2315 N' <sub>2</sub>

Ferner ist:  
 $N_2 = 0,850$  Q  
 $N'_2 = 1,150$  Q  
 $H_2 = 0,449$  Q  
 $\mathcal{M}_2 = 0,163$  Q

Für sie wären damit alle Werte ermittelt.

Für die vordere Achse erhält man auf graphischem Wege  $c_1 = 1,97$  mm und für die Hinterachse  $c_3 = -0,65$  mm. Mit diesen Werten die Rechnung durchgeführt, ergibt die in der Zusammenstellung 2 eingetragenen Rechnungswerte und führt nach Auflösen der Gleichgewichtsbedingungen zu folgenden Normalkräften in den Auflagerpunkten der beiden Radsätze.

Der Anlaufwinkel  $\alpha_1$  ist

$$\alpha_1 = \sin \alpha_1 = \frac{p_1}{R} = \frac{3,5}{300} = 0,0177$$

und  $\alpha_3 = \sin \alpha_3 = -\frac{p_3}{R} = -\frac{0,2}{300} = -0,00067.$

somit wird die Vorverlegung der Spurkranzdruckpunkte  $\mathfrak{R}_1$  und  $\mathfrak{R}'_3$  an beiden Achsen:

$$b_1 = r' \cdot \operatorname{tg} \beta \cdot \alpha_1 = 0,0123 \text{ m}$$

$$b'_3 = r' \cdot \operatorname{tg} \beta \cdot \alpha_3 = 0,0007 \text{ m}$$

Die von c unabhängigen Rechenwerte der Gleitwege und Reibungskräfte sind:

$$v_{1y} \frac{dt}{d\varphi} = v_{1y} \frac{dt}{d\varphi} = v_{1'y} \frac{dt}{d\varphi} = p_1 = 3,5$$

$$v_{yz1} \frac{dt}{d\varphi} = \frac{p_1}{\cos \beta} = 7,02$$

$$v_{1z} \frac{dt}{d\varphi} = -b_1 \frac{R}{r} = -6,15$$

$$v_{3'y} \frac{dt}{d\varphi} = v_{3'y} \frac{dt}{d\varphi} = v_{3'y} \frac{dt}{d\varphi} = -p_3 = -0,2$$

$$v_{3'yz} \frac{dt}{d\varphi} = \frac{-p_3}{\cos \beta} = -0,4$$

$$v_{3'z} \frac{dt}{d\varphi} = -b'_3 \frac{R}{r} = -0,35$$

und die mit c veränderlichen der Zusammenstellung 2 zu entnehmen.

Ferner wird:  $\mathfrak{N}_1 = 0,912 \text{ Q}$       $\mathfrak{N}'_3 = 0,045 \text{ Q} = 0$   
 $N_1 = 0,501 \text{ Q}$       $N_3 = 1,039 \text{ Q}$   
 $N'_1 = 0,860 \text{ Q}$       $N'_3 = 0,955 \text{ Q}$   
 $H_1 = 0,354 \text{ Q}$       $H_3 = 0,096 \text{ Q}$

Die Auflagerkraft  $\mathfrak{N}'_3$  und mit ihr  $P'_3 = \mathfrak{N}'_{3y} = \mathfrak{N}'_3 \cdot \sin \beta$  kann man für den Fall der Praxis genügend genau gleich Null setzen. Die Führung der Lokomotive wird dann nur von der Außenschiene ausgeübt, sie läuft also mit den beiden Achsen 2 und 3 frei. Um sich auch rechnerisch noch mehr für  $\mathfrak{N}'_3$  dem Null-

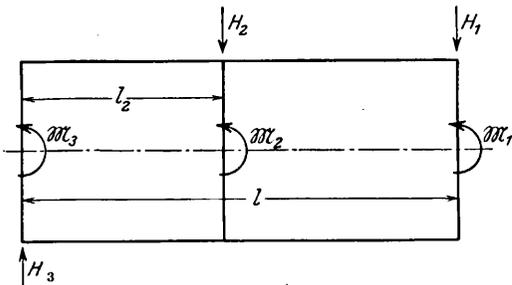


Abb. 5. Sämtliche in die Gleichgewichtsbedingungen eingehenden Kräfte und Momente am Fahrzeugrahmen.

wert zu nähern, müßte man mit dem Reibungsmittelpunkt noch eine Kleinigkeit (etwa 0,05 m) nach hinten gehen. Dies würde die Ergebnisse mit Ausnahme von  $\Delta R$ , der Seitenverlagerung des Rollkreises an der Hinterachse, nur unwesentlich ändern, so daß es sich nicht verlohnt, die Rechnung zu wiederholen. Der Rollkreis der Achse 3 würde um einige Zentimeter mehr nach innen rücken, immerhin aber noch auf der Außenseite der Fahrzeuginnenachse bleiben.

Die senkrecht zum Gleis stehende und im Spurkranzdruckpunkt angreifende Richtkraft  $P_1$  ist in diesem Fall  $P_1 = \mathfrak{R}_{y1} = \mathfrak{R}_1 \sin \beta = 0,79 \text{ Q}$  und der nach Abzug der am führenden Rade auftretenden G-Kräfte verbleibende Führungsdruck  $Y_1 = 0,569 \text{ Q}$ . Die Richtkraft  $P_1$  hat das Fahrzeug gegen sämtliche Widerstände um den Reibungsmittelpunkt gleitend zu drehen. Ihre Größe nimmt durch die unverschiebliche Mittelachse stark zu und gleichzeitig mit ihr der auf einer jeden Achse am Lager wirkende Seitendruck H. Die durch das damit auftretende Kippmoment bewirkte verschiedene Radbelastung ist an den einzelnen Achsen.

Zusammenstellung 3.

Achse	außen	innen
1	1.142 Q	0.860 Q
2	0.850 Q	1.150 Q
3	1.039 Q	0.962 Q

Am führenden Vorderrad trägt hiervon der Spurkranzdruckpunkt  $\mathfrak{R}_1 \mathfrak{N}_{z1} + \mathfrak{S}_1 = (0,453 + 0,188) \text{ Q} = 0,641 \text{ Q}$ , so daß im Punkt  $A_1$  das Rad mit der Last  $N_1 = 0,501 \text{ Q}$  aufruft.

In v. H. tragen die einzelnen Stützpunkte

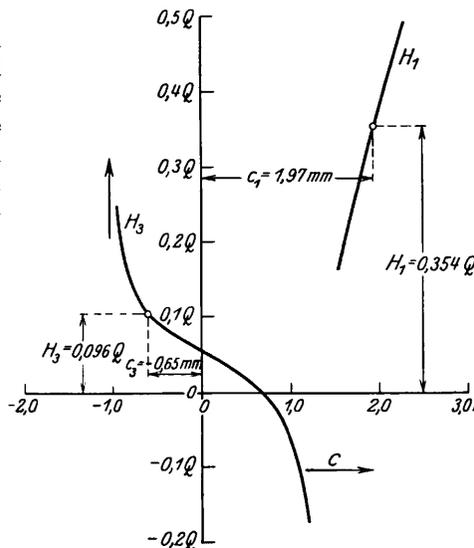


Abb. 6.

Graphische Ermittlung der zusammengehörigen  $c_1$ ,  $c_3$ ,  $H_1$ - und  $H_3$ -Werte.

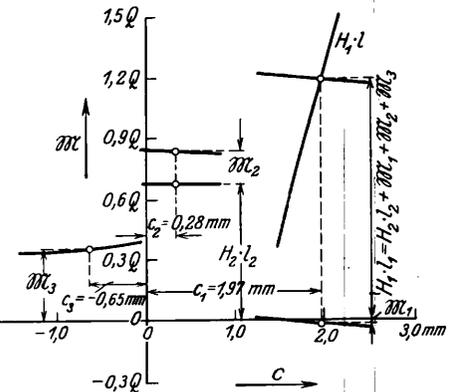


Abb. 7.

Zusammenstellung 2.

Stützpunkte	$\mathfrak{R}_1$	$A_1$	$A_1'$	$\mathfrak{R}'_3$	$A_3$	$A_3'$
$v_x \frac{dt}{d\varphi}$	-2,270	1,735	0,235	-4,985	0,515	-0,985
$v_G \frac{dt}{d\varphi}$	7,380	3,910	3,518	5,001	0,552	1,005
sin	$\epsilon_1 = -0,308$	$\zeta_1 = 0,896$	$\zeta'_1 = 0,998$	$\epsilon'_3 = -0,997$	$\zeta_3 = -0,326$	$\zeta'_3 = -0,199$
cos	$\epsilon_1 = 0,951$	$\zeta_1 = 0,444$	$\zeta'_1 = 0,067$	$\epsilon'_3 = -0,080$	$\zeta_3 = 0,932$	$\zeta'_3 = -0,980$
K	$0,077 \mathfrak{R}_1$	$-0,111 N_1$	$-0,017 N'_1$	$0,249 \mathfrak{R}'_3$	$-0,233 N_3$	$0,245 N'_3$
G	$-0,119 \mathfrak{R}_1$	$-0,224 N_1$	$-0,249 N'_1$	$0,010 \mathfrak{R}'_3$	$0,082 N_3$	$0,049 N'_3$
$\mathfrak{S}$	$0,206 \mathfrak{R}_1$	—	—	$0,017 \mathfrak{R}'_3$	—	—

Zusammenstellung 4.

Achse	$\mathfrak{R}$	A	A'
1	32,05	25,05	43,00
2	—	42,50	57,50
3	—	53,50	46,70

ihrer Achslast.

Die in ihnen auftretenden Reibungskräfte und ihre Gleitgeschwindigkeiten enthält die Zusammenstellung 5. Für die Errechnung der Gleitgeschwindigkeiten ist in unserem Falle  $u_y = 5,24 \text{ l/s}$

und  $u_z = 0,0105$  1/s. Die Reibungskräfte und Gleitgeschwindigkeiten des Punktes  $\mathcal{U}'_3$  sind hier angegeben wegen der später zu bestimmenden Gesamtreibungsleistung.

Bei Freilauf der Hinterachse ist der Anteil des Krümmungswiderstandes der Achse 3 wie der von 2 in dem der führenden Achse mitenthalten. Mit Hilfe der Momentengleichung 5 der führenden Achse erhält man so für den Gesamtwiderstand

$$W = \frac{0,00847 Q}{0,6} = 0,0141 Q$$

oder  $w = 2,35$  kg/t.

Zusammenstellung 5.

Stützpunkte	$\mathcal{U}_1$	$A_1$	$A_1'$	$A_2$	$A_2'$	$\mathcal{U}'_3$	$A_3$	$A_3'$
K	0,070	-0,056	-0,015	-0,109	0,109	0,011	-0,242	0,229
G	-0,109	-0,215	-0,215	-0,183	-0,266	0,0004	0,085	0,046
$\mathfrak{J}$	0,188	—	—	—	—	0,0007	—	—
R	0,228	0,125	0,215	0,212	0,2875	0,011	0,257	0,234
$v_x$	0,0238	0,0182	0,0025	0,0093	0,0064	0,0523	0,0541	0,0104
$v_y$	0,0366	0,0366	0,0366	0,0157	0,0157	0,0021	0,0021	0,0021
$v_z$	0,0643	—	—	—	—	0,0004	—	—
$v_G$	0,0775	0,0410	0,0369	0,0183	0,0170	0,0525	0,0580	0,0105

Man kann ihn auch leicht aus der Reibungsleistung  $N_R$  bestimmen. Diese ist in einem Auflagerpunkt einer Achse gleich Reibungskraft  $\times$  Gleitgeschwindigkeit, also in den einzelnen Punkten:

- $\mathcal{U}_1$  0,01760 Q
- $A_1$  0,00512 Q
- $A_1'$  0,00794 Q
- $A_2$  0,00387 Q
- $A_2'$  0,00489 Q
- $A_3$  0,00151 Q
- $A_3'$  0,00246 Q

und insgesamt  $N_R = 0,04339$  Q kgm/s. Es errechnet sich hieraus der Widerstand mit  $v = 3,14159$  m/s zu

$$W = \frac{N_R}{v} = \frac{0,04339 Q}{3,14159} = 0,0138 Q$$

oder  $w = 2,31$  kg/t.

Die Abbildung 8 gibt die Lage der Rollkreise der einzelnen Achsen wieder. Von der Fahrzeuggängsachse ist der Abstand:

- $\Delta R_1 = 0,985$
- $\Delta R_2 = 0,140$
- $\Delta R_3 = -0,235$

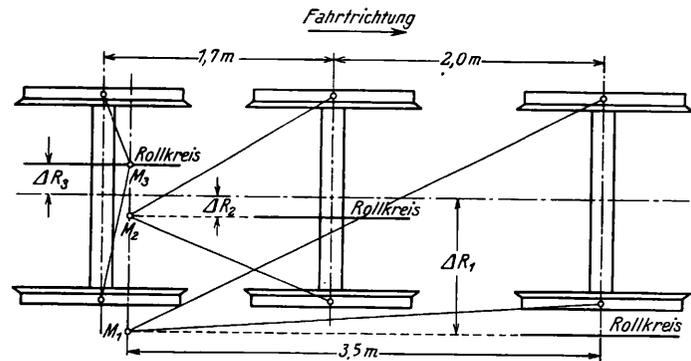


Abb. 8.

Lage der Rollkreise und Reibungsmittelpunkte an den drei Achsen.

Will man den Rollkreis in Gleismitte angeben, dann nimmt er den Halbmesser  $r \pm c$  an und rollt dabei auf einem Grundkreis vom Radius R in einer um c nach unten oder oben verschoben.

parallelen Ebene. An den drei Achsen unseres Fahrzeuges wäre der Halbmesser des Rollkreises:

- $r_1' = 0,60197$
- $r_2' = 60,0028$
- $r_3' = 0,59953$

b) Bei eingehängten Kuppelstangen.

Wir haben oben bei unserem Rechenbeispiel die Voraussetzung gemacht, daß die Kuppelstangen der Lokomotive ausgehängt seien. Damit war den einzelnen Achsen die Möglichkeit gegeben, sich unabhängig voneinander drehen zu können. Diese Möglichkeit wollen wir ihnen jetzt nehmen, also den gewöhnlichen Fall untersuchen, wo eine Lokomotive mit drei fest in einem Rahmen gelagerten, miteinander gekuppelten Achsen eine Kurve leer durchläuft.

Um Nebenumstände hierbei auszuschalten, wollen wir uns nach Abb. 9 die Verbindung durch die Kuppelstangen durch ein auf jede Achse gesetztes Zahnrad ersetzt denken, über das eine endlose Kette gelegt ist. Bei Vorwärtsbewegung des Fahrzeugs, also auch in der Krümmung, sind durch diese Verbindung untereinander die drei

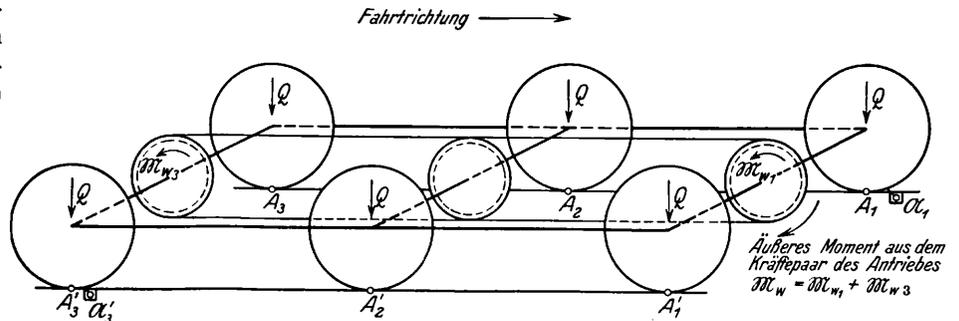


Abb. 9. Kuppelstangen der C-Lokomotive ersetzt durch eine endlose Kette.

Radsätze genötigt, mit gleicher Geschwindigkeit zu rollen. Die Winkelgeschwindigkeit der Rollbewegung ist also für jede Achse gleich, das bedeutet aber unter den früher genannten Voraussetzungen, daß auch die Höhenverlagerung c der Rollachse für jeden Radsatz dieselbe ist. Für jede der miteinander gekuppelten Achsen muß sich also das gleiche c angeben lassen, bei dem Gleichgewicht besteht. Für die Ermittlung des Krümmungswiderstandes der Lokomotive auf statischem Wege können wir uns die Kette durch einen Motor von außen angetrieben vorstellen, der das Kräftepaar des Antriebes  $\mathcal{M}_w$  zur Überwindung des Krümmungswiderstandes aufbringt. Es bleiben dann von den bisherigen Unbekannten:

- $\mathcal{R}_1 N_1 N_1' H_1$
- $N_2 N_2' H_2 c$  und  $\mathcal{M}_w$
- $\mathcal{U}'_3 N_3 N_3' H_3$

Hinzu kommen an jeder Achse zwei weitere, im folgenden mit L bezeichnet, da die durch Kupplung der Radsätze erzwungene gleiche Rollgeschwindigkeit Kräfte in X-Richtung auf den einzelnen Radsatz wirkend bedingt (Abb. 10).

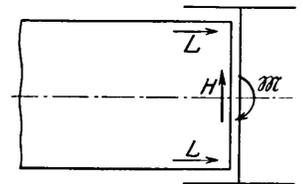


Abb. 10.

Die durch die Rahmenführung auf einen Radsatz ausgeübten Kräfte und Momente bei miteinander gekuppelten Achsen.

Sie stellen die Beanspruchung der Verbindungsteile der Achsen miteinander dar und wirken freilich nicht nur im Rahmen, sondern auch in den Kuppelstangen. Wie sie sich allerdings auf diese beiden Verbindungsstücke verteilen, läßt sich schwer angeben und ist auch nicht von

Interesse, wenn wir nicht nach der Beanspruchung dieser Teile fragen. Für die theoretische Übersicht erscheint es jedoch erwünscht, wenn wir die L-Kräfte berechenbar anzugeben vermögen, das läßt sich erreichen, wenn man die Kuppelstangen durch die endlose Kette ersetzt, dann treten diese Kräfte eben nur im Rahmen auf; wir werden sehen, daß wir sie für das Gleichgewicht des ganzen Fahrzeugs nicht benötigen und wollen deshalb von ihrer rechnerischen Ermittlung beim Zahlenbeispiel absehen. Für die drei Achsen lauten dann die Gleichgewichtsbedingungen:

Achse 1. 1.  $\mathfrak{R}_1 + K_1 + K_1' + L_1 + L_1' = 0$   
 2.  $P_1 + \mathfrak{G}_1 + G_1 + G_1' - H_1 = 0$   
 3.  $\mathfrak{M}_{1z} + N_1 + N_1' + \mathfrak{S}_1 - 2 Q = 0$   
 4.  $-L_1' \cdot s - K_1' \cdot s = 0$   
 5.  $(\mathfrak{M}_{1z} + \mathfrak{S}_1 + N_1) \cdot s - H_1 \cdot r - (P_1 + \mathfrak{G}_1) \cdot a - Q \cdot s = 0$

Achse 2. 1.  $K_2 + K_2' + L_2 + L_2' = 0$   
 2.  $G_2 + G_2' - H_2 = 0$   
 3.  $N_2 + N_2' - 2 Q = 0$   
 4.  $-L_2' \cdot s - K_2' \cdot s = 0$   
 5.  $N_2 \cdot s - Q \cdot s - H_2 \cdot r = 0$

Achse 3. 1.  $\mathfrak{R}_3' + K_3 + K_3' + L_3 + L_3' = 0$   
 2.  $-P_3' + \mathfrak{G}_3' + G_3 + G_3' + H_3 = 0$   
 3.  $\mathfrak{M}_{3z}' + \mathfrak{S}_3' + N_3 + N_3' - 2 Q = 0$   
 4.  $L_3 \cdot s + K_3 \cdot s = 0$   
 5.  $-(\mathfrak{M}_{3z}' + \mathfrak{S}_3' + N_3') \cdot s + H_3 \cdot r + (P_3' - \mathfrak{G}_3') \cdot a + Q \cdot s = 0$

und für die drei Radsätze zusammen und den Rahmen:

1.  $\mathfrak{R}_1 + K_1 + K_1' + K_2 + K_2' + \mathfrak{R}_3' + K_3 + K_3' = 0$   
 2.  $H_1 \cdot l + H_2 \cdot l_2 + (\mathfrak{R}_1 + K_1 - K_1' + K_2 - K_2' - \mathfrak{R}_3' + K_3 - K_3') \cdot \frac{s}{2} = 0$   
 3.  $H_1 + H_2 - H_3 = 0$

Schließlich hat man noch für die Ermittlung des Widerstandes die Gleichung:

$$-(\mathfrak{M}_{1z} + \mathfrak{S}_1) \cdot b_1 - (\mathfrak{M}_{3z}' + \mathfrak{S}_3) \cdot b_3' - (\mathfrak{R}_1 + \mathfrak{R}_3') \cdot a + \mathfrak{M} \cdot w = 0$$

In ihnen sind die L-Kräfte sämtlich mit positivem Richtungssinn eingeführt, da dieser von vornherein nicht bekannt ist; ein sich bei der Auswertung ergebender negativer Wert würde dann besagen, daß die Kraft in negativer X-Richtung wirksam ist. Die Bedingungen 1 und 4 eines jeden Radsatzes können wir bei den weiteren Untersuchungen ausscheiden, sie ermöglichen die Angabe der L-Kräfte also des Gleichgewichts eines jeden Radsatzes einzeln. Nehmen wir nun ein  $c$  für die drei Achsen an, dann können wir für diese Lage der Drehachse (Schraubenachse) die an der mittleren auftretenden Reibungskräfte und die Seitenkraft  $H_2$  angeben. Bei Bestimmung des Gleichgewichts des gesamten Fahrgangs sind sie als eine am Fahrzeugrahmen angreifende, äußere Kraft und als ein äußeres Kräftepaar zu berücksichtigen. Für die Lösung selbst stehen die restlich aufgestellten Gleichungen der Achse 1 und 3 und die drei für den Rahmen und die drei Radsätze gemeinsam aufgestellten zur Verfügung, wobei Gleichung 2 der drei Radsätze eine Probe für die Richtigkeit des angenommenen  $c$ -Wertes bildet.

Vorstehendes sind die Grundlagen, von denen man auch auszugehen hat, wenn mehr als drei unverschieblich in einem Rahmen gelagerte Achsen miteinander gekuppelt sind, und nun zum Beispiel.

Hierfür wollen wir dasselbe Fahrzeug wie vorher unter gleichen Bedingungen beim Durchlaufen des Bogens, diesmal aber mit gekuppelten Achsen wählen. Der Reibungsmittelpunkt, seine Lage wiederum als Grenzwert ermittelt, verlagert sich dabei für einfache Führung ein wenig nach vorn, er liegt  $x=3,43$  m hinter der Vorderachse.

Der Anlaufwinkel der Achse 1 und 3 wird damit:

$$\alpha_1 = \sin \alpha_1 = \frac{3,43}{300} = 0,0114$$

$$\alpha_3 = \sin \alpha_3 = \frac{0,27}{300} = 0,0009$$

und der Schiefstellungswinkel der Achse 2

$$\alpha_2 = \sin \alpha_2 = \frac{1,43}{300} = 0,0048$$

Mithin ist die Vorverlegung des Spurkranzdruckpunktes  $\mathfrak{R}_1$

$$b_1 = 0,608 \cdot 1,732 \cdot 0,0114 = 0,012 \text{ m}$$

und von  $\mathfrak{R}_3'$

$$b_3' = 0,608 \cdot 1,732 \cdot 0,0009 = 0,00095 \text{ m.}$$

Von der weiteren jedesmaligen Wiedergabe der Rechenzwischenwerte soll abgesehen werden.

Gleichgewicht erhält man nach graphischer Ermittlung bei dem Wert  $c = 0,55$  mm. Mit ihm errechnen sich die nachstehenden Normalkräfte in den Auflagerpunkten und Seitendrucke in den Achslagern.

$\mathfrak{R}_1 = 0,8450 \text{ Q}$		$\mathfrak{R}_3' = 0,0320 \text{ Q}$
$N_1 = 0,5300 \text{ Q}$	$N_2 = 0,823 \text{ Q}$	$N_3 = 1,0610 \text{ Q}$
$N_1' = 0,8800 \text{ Q}$	$N_2' = 1,77 \text{ Q}$	$N_3' = 0,9227 \text{ Q}$
$H_1 = 0,2906 \text{ Q}$	$H_2 = 0,446 \text{ Q}$	$H_3 = 0,1810 \text{ Q}$

Auch hier können wir die Auflagerkraft  $\mathfrak{R}_3'$  und mit ihr wieder die Richtkraft  $P_3' = \mathfrak{R}_3' = \mathfrak{R}_3' \sin \beta$  praktisch gleich Null setzen, so daß einfache Führung besteht. In diesem Fall ist die Richtkraft  $P_1 = 0,733 \text{ Q}$  ein wenig kleiner als vorher, ebenso der Führungsdruck  $Y_1 = 0,509 \text{ Q}$ .

In der Zusammenstellung 6 sind die in den Stützpunkten auftretenden Reibungskräfte und Gleitgeschwindigkeiten eingetragen.

Aus der statischen Gleichung erhalten wir für den Widerstand

$$W = \frac{\mathfrak{M}_w}{r} = \frac{0,00786 \text{ Q}}{0,6} = 0,0131 \text{ Q}$$

und

$$w = 2,185 \text{ kg/t}$$

und mit Hilfe der Reibungsleistung, wenn sie am Punkt

$\mathfrak{R}_1$	0,01660 Q
$A_1$	0,00496 Q
$A_1'$	0,00796 Q
$A_2$	0,00381 Q
$A_2'$	0,00465 Q
$A_3$	0,00294 Q
$A_3'$	0,00132 Q

insgesamt also

$$N_R = 0,04224 \text{ Q kgm/s beträgt,}$$

$$W = \frac{0,04224 \text{ Q}}{3,14159} = 0,0135 \text{ Q und } w = 2,25 \text{ kg/t.}$$

Gegenüber dem vorhergehenden Fall nimmt auch hier der Widerstand ein wenig ab, so daß wieder Übereinstimmung der beiden auf verschiedenem Wege ermittelten Widerstandswerte besteht. Die geringe Verminderung läßt jedoch nicht den Schluß zu, daß eine Lokomotive bei Leerlauf mit gekuppelten Achsen sich mit weniger Widerstand bewegt als mit ungekuppelten; denn im Ansatz sind nicht enthalten die in den Stangenköpfen noch hinzukommenden Reibungskräfte. Sie besagt indessen, daß, wenn man die Achsen eines Fahrzeugs miteinander durch Kuppelstangen verbindet, der den Laufwiderstand in der Krümmung zusätzlich vergrößernde Widerstand geringer ist. Der Grund dafür ist die größere, schräg vorwärts gerichtete Reibungskraft — man vergleiche die K-Kräfte der Zusammenstellung 5 und 6 miteinander — im Spurkranzdruckpunkt  $\mathfrak{R}_1$ , deren Seitenkraft in X-Richtung die Wendebewegung der Achse 1 und damit des ganzen Fahrzeugs befördert, d. h. P unterstützt und damit gleichzeitig auch der Grund für die weitere Vorverlegung des Reibungsmittelpunktes ist. Der Rollkreisabstand von der

Fahrzeuginnenachse ist  $\Delta R = 0,275$  m, für Gleismitte erhält er den Halbmesser  $r' = 0,60055$  m.

### III. Die seitenverschiebliche Anordnung der Mittelachse am gleichen Fahrzeug und sein Verhalten in der Gleiskrümmung.

#### a) Bei ausgehängten Kuppelstangen.

Im folgenden wollen wir uns in unserer Untersuchung einem Fahrzeug mit verschieblicher Mittelachse zuwenden, dessen Achsen zunächst noch ungekuppelt sind.

Die Verschieblichkeit soll so groß sein, daß die Achsbunde am Fahrzeugrahmen nicht zum Anlaufen kommen, statt dessen aber der Spurkranz am Schienenstrang. Die Frage, ob eine verschiebliche Achse an der Innen- oder Außenschiene zum Anlaufen kommt, hängt von der jeweiligen Lage des

Wendekräftepaar der verschieblichen Achse, das gleich und entgegengesetzt dem Moment aus den K-Kräften, hinzu. Sie lauten:

1.  $H_1 - H_3 = 0$
2.  $-\mathfrak{M}_1 - \mathfrak{M}_2 - \mathfrak{M}_3 + H_1 \cdot l = 0$ .

Die Lösung der Gleichungen kann in der beim ersten Fall besprochenen Weise erfolgen. Da die Summe aus  $H_1$  und  $H_3$  Null ergibt, vereinfacht sich die graphische Methode zur Bestimmung der für Gleichgewicht passenden  $c_1$ - und  $c_3$ -Werte. Hat man nämlich  $H_1$  für Gleichgewicht ermittelt, so braucht man im ersten Schaubild nur noch parallel zur X-Achse nach der  $H_3$ -Kurve zu gehen und erhält im Schnittpunkt den Wert  $c_3$  für die dritte Achse.

Für die zahlenmäßige Untersuchung wollen wir an der bisher behandelten Lokomotive die Mittelachse jetzt verschieblich machen und sie leer durch eine 300 m-Kurve ohne

Zusammenstellung 6.

Stützpunkte	$\mathfrak{M}_1$	$A_1$	$A_1'$	$A_2$	$A_2'$	$\mathfrak{M}_3'$	$A_3$	$A_3'$
K	0,088	-0,038	0,030	-0,120	0,088	0,008	-0,257	0,200
G	-0,097	-0,127	0,218	-0,167	-0,278	0,0004	0,068	0,114
S	0,167	—	—	—	—	0,0008	—	—
R	0,211	0,133	0,220	0,206	0,294	0,008	0,265	0,231
$v_x$	0,0313	0,0108	0,0050	0,0108	0,0050	0,0470	0,0108	0,0050
$v_y$	0,0359	0,0359	0,0359	0,0150	0,0150	0,0028	0,0028	0,0028
$v_z$	0,0630	—	—	—	—	0,0050	—	—
$v_G$	0,0785	0,0375	0,0362	0,0185	0,0158	0,0475	0,0111	0,0057

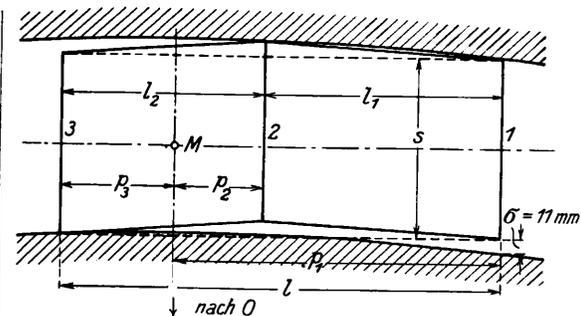


Abb. 11. Geometrisch erzwungene Einstellung eines krümmungsbeweglichen Fahrzeugs in 300m-Krümmung ohne Spurerweiterung.

Reibungsmittelpunktes ab. Gewöhnlich wird sie wegen des vorhandenen Spiels im Gleis außen anlaufen; wir wollen diesen Fall deshalb für unsere Überlegungen zur Voraussetzung machen. Der Rahmen kann auf sie in Y-Richtung keine Kräfte ausüben, die Führung durch ihn kann sich nur noch auswirken in der Übertragung eines Momentes aus dem Wendekräftepaare  $\mathfrak{M}$  und einer Längskraft L. Von dieser können wir vorläufig wieder absehen, da wir den Krümmungswiderstand uns immer durch ein äußeres Antriebskräftepaar  $\mathfrak{M}_w$  ausgeglichen vorstellen und sie so für die Angabe des Gleichgewichts nicht benötigen. Die in den Auflagerpunkten der Achse auftretenden Seitenkräfte der Reibung in Y-Richtung, das sind die G-Kräfte, werden durch die von der Schiene im Spurkranzdruckpunkt übertragene Richtkraft unmittelbar ausgeglichen: eine ungleiche Radbelastung tritt also für sie nicht ein. An Unbekannten haben wir demnach an der Mittelachse, wenn wir wieder ein dreiachsiges Fahrzeug für unsere Betrachtung wählen, die drei Auflagerdrücke  $\mathfrak{N}_2, \mathfrak{N}_2', \mathfrak{N}_2''$ , das Wendekräftepaar  $\mathfrak{M}_2$ , das Kräftepaar des Antriebs  $\mathfrak{M}_{w2}$  und die Höhenverlagerung  $c_2$  der Rollachse, denen sechs räumliche Gleichgewichtsbedingungen gegenüberstehen, nämlich:

- Achse 2.
1.  $\mathfrak{N}_2 + K_2 + K_2' = 0$
  2.  $P_2 + G_2 + G_2 + G_2' = 0$
  3.  $\mathfrak{N}_{2z} + \mathfrak{S}_2 + N_2 + N_2' - 2 Q = 0$
  4.  $\mathfrak{M}_2 + (\mathfrak{N}_2 + K_2 - K_2') \cdot \frac{s}{2} = 0$
  5.  $-(\mathfrak{N}_{2z} + \mathfrak{S}_2) \cdot b_2 + (K_2 + K_2') \cdot c_2 - \mathfrak{N}_2 \cdot a_2' + \mathfrak{M}_{w2} = 0$
  6.  $(\mathfrak{N}_{2z} + \mathfrak{S}_2 + N_2) \cdot s - (P_2 + G_2) \cdot a_2 - Q \cdot s = 0$ .

Das Gleichgewicht dieser Achse läßt sich also wieder für sich bestimmen. An den Bedingungen der ersten und dritten Achse ändert sich nichts, sie bleiben in vollem Umfange bestehen wie sie auf Seite 164 angegeben wurden. Für den Rahmen gleichen sich die Bedingungen, da die Mittelachse keine Rückwirkung in Y-Richtung ausüben kann, denen des zweiachsigen Wagens an; in der zweiten Gleichung kommt lediglich das

Spurerweiterung laufen lassen, um an Hand der Rechnungsergebnisse hinsichtlich des Krümmungswiderstandes und der Beanspruchung von Radreifen und Schiene noch einige Folgerungen zu ziehen.

Wird ein Gleisbogen ohne Spurerweiterung verlegt, so bleiben zwischen Spurkranz und Schiene des nicht anlaufenden Rades der führenden Achsen im Regelfall noch 11 mm Spiel. Sie reichen nicht aus, um bei dem gegebenen Radstand von insgesamt 3,7 m dem Fahrzeug einfache Führung zu ermöglichen. Die Lage des Reibungsmittelpunktes ist diesmal also geometrisch bedingt, er liegt  $X = \frac{l}{2} + \frac{\sigma \cdot R}{1} = 1,85 + 0,89 = 2,74$  m hinter der Vorderachse, also so, daß die zweite Achse außen zum Anlaufen kommt, denn sie liegt vor dem Reibungsmittelpunkt. (Abb.11).

Die Anlaufwinkel und die Vorverlegung der Spurkranzdruckpunkte sind damit an den drei Achsen:

$$\begin{aligned} \alpha_1 &= \frac{2,74}{300} = 0,00913 & b_1 &= 0,00961 \\ \alpha_2 &= \frac{0,74}{300} = 0,0024 & b_2 &= 0,00258 \\ \alpha_3 &= \frac{0,96}{300} = 0,0032 & b_3' &= 0,00337. \end{aligned}$$

Für den Gleichgewichtsfall sind die drei c-Werte:

$$c_1 = 1,420, \quad c_2 = 1,053 \quad \text{und} \quad c_3 = 0,803 \text{ mm}$$

Durch Einsetzen und Auflösen der Gleichungen findet man:

$$\begin{aligned} \mathfrak{N}_1 &= 0,637 \text{ Q} & \mathfrak{N}_2 &= 0,414 \text{ Q} & \mathfrak{N}_3' &= 0,531 \text{ Q} \\ \mathfrak{N}_1' &= 0,600 \text{ Q} & \mathfrak{N}_2' &= 0,750 \text{ Q} & \mathfrak{N}_3 &= 0,957 \text{ Q} \\ \mathfrak{N}_1'' &= 0,957 \text{ Q} & \mathfrak{N}_2'' &= 1,000 \text{ Q} & \mathfrak{N}_3'' &= 0,731 \text{ Q} \\ H_1 &= 0,108 \text{ Q} & & & H_3 &= 0,108 \text{ Q} \end{aligned}$$

$\mathfrak{M}_{w1} = 0,004796 \text{ Q}$   $\mathfrak{M}_{w2} = 0,0013595 \text{ Q}$   $\mathfrak{M}_{w3} = 0,0020206 \text{ Q}$ , es errechnen sich also die drei Richtkräfte zu:  $P_1 = 0,551 \text{ Q}$ ,  $P_2 = 0,358 \text{ Q}$ ,  $P_3 = 0,458 \text{ Q}$

und damit die Führungsdrücke zu:  $Y_1 = 0,346 \text{ Q}$ ,  $Y_2 = 0,239 \text{ Q}$ ,  $Y_3' = 0,264 \text{ Q}$ .

Die Seitenkräfte der Reibung sowie diese selbst und die Gleitgeschwindigkeiten enthält Zusammenstellung 7.

Für den Krümmungswiderstand findet man mit Hilfe der Gleichungen 5 einer Achse:

$$W = \frac{\mathfrak{M}_{w1} + \mathfrak{M}_{w2} + \mathfrak{M}_{w3}}{r} = \frac{0.00819 Q}{0.6} = 0.01365 Q$$

und  $w = 2,28 \text{ kg/t}$ .

Zusammenstellung 7.

Stützpunkte	$\mathfrak{M}_1$	$A_1$	$A_1'$	$\mathfrak{M}_2$	$A_2$	$A_2'$	$\mathfrak{M}_3'$	$A_3$	$A_3'$
K	0,067	-0,070	0,004	0,091	-0,162	0,072	0,122	-0,184	0,062
G	-0,072	-0,132	-0,239	-0,025	-0,094	-0,239	0,027	0,153	0,172
$\mathfrak{S}$	0,125	—	—	0,043	—	—	0,046	—	—
R	0,159	0,150	0,239	0,104	0,190	0,250	0,133	0,239	0,183
$v_x$	0,0266	0,0153	0,0004	0,0286	0,0134	0,0023	0,0456	0,0121	0,0937
$v_y$	0,0288	0,0288	0,0288	0,0078	0,0078	0,0078	0,0101	0,0101	0,0101
$v_z$	0,0505	—	—	0,0136	—	—	0,0177	—	—
$v_G$	0,0634	0,0326	0,0288	0,0154	0,0154	0,0081	0,0500	0,0157	0,0107

Aus der Reibungsleistung ermittelt ist er, wenn diese bei Punkt

- $\mathfrak{M}_1$  0,01075 Q
- $A_1$  0,00488 Q
- $A_1'$  0,00688 Q
- $\mathfrak{M}_2$  0,00326 Q
- $A_2$  0,00291 Q
- $A_2'$  0,00202 Q
- $\mathfrak{M}_3'$  0,00664 Q
- $A_3$  0,00374 Q
- $A_3'$  0,00195 Q

zusammen also  $N_R = 0,04303 \text{ Q kgm/s}$  ist,  

$$W = \frac{0,04303 \text{ Q}}{3,14159} = 0,1369 \text{ Q}$$
 und  
 $w = 2,28 \text{ kg/t}$ .

Die Rollkreise haben den Abstand  $\Delta R_1 = 0,710$ ,  $\Delta R_2 = 0,526$  und  $\Delta R_3 = 0,403 \text{ m}$  von der Fahrzeuglängsachse. In Gleismitte wären ihre Halbmesser:  $r_1' = 0,601420$ ,  $r_2' = 0,601053$  und  $r_3' = 0,600830 \text{ m}$ .

Der Krümmungswiderstand ist nahezu derselbe geblieben. Wir hätten dadurch, daß wir das Spiel im Gleisbogen von 36 auf 11 mm verringerten und damit Doppelführung des Fahrzeugs erzielten und außerdem auf Grund ihrer Verschieblichkeit die Achse 2 an der Führung beteiligten, eine Abnahme gegenüber dem Widerstandswert des steifen Fahrzeugs im Gleisbogen mit zusätzlichem Spiel erwarten können. Daß dies nicht zutrifft, hat seinen Grund in folgendem:

Ist die Lokomotive steifachsig und durchläuft sie die weite Spur, dann wird sie nur in einem Punkte an der Außenschiene geführt, in dem eine Richtkraft auftritt, die mit großem Hebelarm das Fahrzeug gegen alle Widerstände gleitend um den Reibungsmittelpunkt dreht. Spurkranzreibung, deren Hauptanteil durch das Rollen verursacht wird, tritt nur an einer Stelle auf. Anders bei der krümmungsbeweglichen Lokomotive in der engen Spur; sie wird in drei Punkten geführt, in denen Richtkräfte übertragen werden. Hierdurch erreicht man zwar, daß die Richtkraft an der Achse 1 gegenüber der bei einfacher Führung sich errechnenden erheblich abnimmt, nicht aber die gesamte Spurkranzreibung. Sie wird größer, da jetzt mehrere Achsen mit ihrem Spurkranz schleifen, also das Rollen nicht nur an einer den Widerstand vergrößert, sondern eben an mehreren. Für die P-Kräfte ist dabei noch zu beachten, daß ihre Änderung durch das Hebelgesetz bedingt ist.

Das alles läßt bereits erkennen, daß die Ansicht, die den Krümmungswiderstand eines Fahrzeugs mit verschieblicher und unverschieblicher Achse für gleiche Einstellung gleichsetzt oder sogar für ein krümmungsbewegliches Fahrzeug niedriger errechnet, auf irriger Erkenntnis beruht. Trotzdem darf die Verteilung der führenden Einwirkung der Schienen

auf das Fahrzeug immerhin als nützlich angesehen werden auch hinsichtlich der Abnutzung. Diese tritt jetzt allerdings an mehreren Punkten auf, aber unter weit weniger hohen Flächenpressungen als vorher. Für das Gleis wird das immer von Nutzen sein, da die im andern Fall stark beanspruchte Außenschiene jetzt entlastet wird. Unter gewissen Voraussetzungen aber auch für die Spurkränze des Fahrzeugs, nämlich dann, wenn einseitige Laufrichtung besteht. Ist das nicht der Fall, fährt die Lokomotive also nach

beiden Seiten wie z. B. die elektrischen immer, dann dürfte unter der Voraussetzung, daß die Abnutzung proportional der Reibungsarbeit ist, eine gleiche Abnutzung der Spurkränze der äußeren Achsen für beide Fälle zu erwarten sein; denn dann ist die Summe der verzehrenden Spurkranzarbeit der ersten und dritten Achse ungefähr gleich der der ersten in der weiten Spur trotz der Verschieblichkeit der zweiten Achse. Freilich kann man darüber wohl im Zweifel sein, ob eine solche Voraussetzung erlaubt ist, da immerhin auch der Anlaufwinkel dabei von Bedeutung sein wird, doch wird das nur ein Dauerversuch klären können, vorerst gibt es dafür noch keine weiteren Anhaltspunkte. Durch andere Berührungsverhältnisse der anlaufenden Räder mit der Schiene lassen sich jedoch, wie Jahn für die Einpunktberührung in seiner Arbeit \*) nachweist, auch für das krümmungsbewegliche Fahrzeug in der engen Krümmung hinsichtlich des Krümmungswiderstandes günstigere Verhältnisse schaffen, nur müßte man dann Sorge dafür tragen, daß die günstigen Anlaufverhältnisse auch immer erhalten bleiben.

**b) Bei eingehängten Kuppelstangen.**

Wir wollen uns jetzt noch dem Fall zuwenden, wo die Achsen der Lokomotive in gleicher Stellung wie vorher miteinander gekuppelt sind. Wie früher müssen sie dann mit gleicher Geschwindigkeit rollen; wir erhalten also für alle drei Achsen wieder ein gleiches c. Für die Angabe des Gleichgewichts eines einzelnen Radsatzes ist dabei die Kenntnis der durch den Rahmen übertragenen Längskräfte L notwendig, für das Gleichgewicht des ganzen Fahrzeugs brauchen wir sie nicht. Die Mittelachse kommt außerdem an der Außenschiene zum Anlaufen und kann wegen ihrer Verschieblichkeit auf den Rahmen keine Kräfte ausüben und umgekehrt. Berücksichtigt man all dieses, so hat man für die Achse 2 und den Rahmen folgende Gleichgewichtsbedingungen:

- Achse 2.
1.  $\mathfrak{M}_2 + K_2 + K_2' + L_2 + L_2' = 0$
  2.  $P_2 + \mathfrak{G}_2 + G_2 + G_2' = 0$
  3.  $\mathfrak{M}_{2z} + \mathfrak{S}_2 + N_2 + N_2' - 2 Q = 0$
  4.  $-L_2'.s - K_2'.s = 0$
  5.  $(\mathfrak{M}_{2z} + \mathfrak{S}_2 + N_2).s - (P_2 + \mathfrak{G}_2).a - Q.s = 0$

für die drei Radsätze zusammen und den Rahmen:

$$1. \mathfrak{M}_1 + K_1 + K_1' + \mathfrak{M}_2 + K_2 + K_2' + \mathfrak{M}_3' + K_3 + K_3' = 0$$

\*) Ztg. d. V. D. E. 1927, Seite 425.

$$3. H_1 \cdot l + (K_1 + \mathfrak{R}_1 - K_1' + \mathfrak{R}_2 + K_2 - K_2' - \mathfrak{R}_3' + K_3 - K_3') \frac{s}{2} = 0$$

$$3. H_1 - H_3 = 0$$

Für die beiden Endachsen haben die Gleichungen dieselbe Form, wie sie auf Seite 167 und 168 angegeben wurden. Für die Ermittlung des Widerstandes des ganzen Fahrzeugs lautet hier die Gleichung:

$$-(\mathfrak{R}_{1z} + \mathfrak{S}_1) \cdot b_1 - (\mathfrak{R}_{2z} + \mathfrak{S}_2) \cdot b_2 - (\mathfrak{R}_{3z}' + \mathfrak{S}_3') \cdot b_3' - (\mathfrak{R}_1 + \mathfrak{R}_2 + \mathfrak{R}_3) a + \mathfrak{M}_w = 0.$$

Die Lösung der Gleichungen hat in gleicher, auf Seite 168 besprochener Weise zu erfolgen. Bei der graphischen Bestimmung des für Gleichgewicht passenden  $c$  ist zu berücksichtigen, daß diesmal das Moment  $H_2 \cdot l_2$  herausfällt, weil die auftretenden G-Kräfte der zweiten Achse durch die Richtkraft  $P_2$  unmittelbar ausgeglichen werden.

Für die zahlenmäßige Untersuchung sind die von  $c$  unabhängigen Werte wegen der gleichen Einstellung im Gleis dieselben wie beim vorhergehenden Beispiel, ebenso die Anlaufwinkel der einzelnen Achsen und mit ihnen die Vorverlagerung der Spurranddruckpunkte. Gleichgewicht erhält man, wenn die Höhenverlagerung der Rollachse  $c = 0,962$  mm beträgt oder der Rollkreis einer jeden der drei Achsen von der Fahrzeuglängsachse den Abstand  $\Delta R = 0,481$  m hat.

Wir erhalten nach Lösen der Gleichgewichtsbedingungen für die Auflagerdrücke und Seitenkräfte an den drei Rad-sätzen:

$$\begin{aligned} \mathfrak{R}_1 &= 0,645 \text{ Q} & \mathfrak{R}_2 &= 0,411 \text{ Q} & \mathfrak{R}_3' &= 0,533 \text{ Q} \\ N_1 &= 0,601 \text{ Q} & N_2 &= 0,752 \text{ Q} & N_3 &= 0,953 \text{ Q} \\ N_1' &= 0,953 \text{ Q} & N_2' &= 1,000 \text{ Q} & N_3' &= 0,735 \text{ Q} \\ H_1 &= 0,111 \text{ Q} & & & H_3 &= 0,111 \text{ Q}, \end{aligned}$$

so daß sich als Richtkräfte ergeben  $P_1 = 0,559$  Q,  $P_2 = 0,356$  Q,  $P_3' = 0,462$  Q und als Führungsdrücke  $Y_1 = 0,351$  Q,  $Y_2 = 0,235$  Q,  $Y_3' = 0,289$  Q.

In der Zusammenstellung 8 sind wie früher die Reibungskräfte und Gleitgeschwindigkeiten enthalten. Für den Widerstand des Fahrzeugs in der Krümmung erhält man aus den Momentengleichungen:

$$W = \frac{0,008213 \text{ Q}}{0,6} = 0,01369 \text{ Q} \text{ oder } w = 2,28 \text{ kg/t.}$$

Die Reibungsleistung ist in den einzelnen Stützpunkten:

$\mathfrak{R}_1$	0,01040 Q
$A_1$	0,00474 Q
$A_1'$	0,00711 Q
$\mathfrak{R}_2$	0,00345 Q
$A_2$	0,00284 Q
$A_2'$	0,00208 Q
$\mathfrak{R}_3'$	0,00646 Q
$A_3$	0,00391 Q
$A_3'$	0,00192 Q

Das sind zusammen  $N_R = 0,04291$  Q kgm/s.

Hieraus errechnet sich der Widerstand zu:

$$W = \frac{0,04291 \text{ Q}}{3,14159} = 0,01368 \text{ Q} \text{ oder } w = 2,28 \text{ kg/t.}$$

Wir erkennen, daß sich hier bei geometrisch bedingter Einstellung des Fahrzeugs der Widerstand und die auftretenden Kräfte, die man bei Gleichgewicht des Fahrzeugs beim Durchlaufen einer Gleiskrümmung mit gekuppelten und ungekuppelten Achsen erhält, noch weniger voneinander unterscheiden als beim steifachsigen mit rein statischer Einstellung in der weiten Spur. Es darf somit gefolgert werden, daß es, wenn es sich um die Ermittlung der auf die Schienen wirkenden horizontalen Seitendrucke und des Widerstandes handelt, ziemlich gleichgültig ist, ob man mit gekuppelten Achsen rechnet oder nicht. Zur Erhärtung dieser Ansicht wäre es natürlich angezeigt, noch weitere Lokomotivtypen hieraufhin zu untersuchen.

Zusammenstellung 8.

Stützpunkte	$\mathfrak{R}_1$	$A_1$	$A_1'$	$\mathfrak{R}_2$	$A_2$	$A_2'$	$\mathfrak{R}_3'$	$A_3$	$A_3'$
K	0,073	-0,062	0,023	0,091	-0,162	0,085	0,123	-0,189	0,052
G	-0,072	-0,137	-0,237	-0,024	-0,097	-0,235	0,026	0,147	0,177
$\mathfrak{S}$	0,124	—	—	0,042	—	—	0,046	—	—
R	0,161	0,150	0,238	0,103	0,188	0,25	0,133	0,238	0,184
$v_x$	0,0291	0,0129	0,0028	0,0291	0,0129	0,0028	0,0448	0,0129	0,0028
$v_y$	0,0288	0,0288	0,0288	0,0078	0,0078	0,0078	0,0101	0,0101	0,0101
$v_z$	0,0505	—	—	0,0135	—	—	0,0177	—	—
$v_G$	0,0646	0,0316	0,0289	0,0331	0,0151	0,0083	0,0486	0,0164	0,0105

Zusammenfassung.

Im Vorstehenden sind an Hand der räumlichen Gleichgewichtsbedingungen unter den früher gemachten, vereinfachenden Voraussetzungen die Kräftewirkungen zwischen Rad und Schiene beim Bogenlauf eines steifachsigen und eines krümmungsbeweglichen Fahrzeugs insbesondere für eine C-Lokomotive nachgewiesen. In besonderen Fällen können die errechneten Zahlenwerte mehr oder weniger Abweichungen von den wirklichen Verhältnissen zeitigen, je nachdem die gemachten Voraussetzungen erfüllt sind. Wir erkennen, daß, so lange die Achsen unverschieblich gelagert sind, das Gleichgewicht der nicht anlaufenden Achsen für sich ermittelt werden kann und die Momente aus den Wendekräftepaaren  $\mathfrak{M}$  bei Ermittlung des Gleichgewichts des ganzen Fahrzeugs als äußere Momente und Kräfte zu behandeln sind. Im Falle an einigen Achsen seitliches Spiel an den Achsschenkeln vorhanden ist, können wir wieder das Gleichgewicht dieser verschieblichen Achsen für sich angeben und haben bei Bestimmung des Gleichgewichtszustandes des ganzen Fahrzeugs nur noch die Momente  $\mathfrak{M}$  zu berücksichtigen.

Das gegebene Verfahren ist auch anwendbar zur Ermittlung der zwischen Rad und Schiene wirkenden Kräfte beim Durchlaufen einer Gleiskrümmung durch eine Lokomotive verwickelterer Bauart, nur hat man sich dabei zu vergegenwärtigen, daß diese Fahrzeuge aus mehreren Fahrgestellen bestehen, die für sich zu untersuchen sind. Durch Drehzapfen oder andere Hilfsmittel dabei übertragene Richtkräfte freilaufender hinterer Gestelle müssen dann in den Gleichgewichtsbedingungen der führenden Gestellfahrzeuge als äußere Kräfte berücksichtigt werden.

### Bau und Betrieb neuer Verkehrswege lokaler Bedeutung.

Reichsbahndirektor Min.-Rat a. D. H. Friedrich, München.

Der technisch-wirtschaftliche Ausschuß der „Studien-gesellschaft für Verkehrswege lokaler Bedeutung in Bayern“ hat eine Denkschrift über „Bau und Betrieb neuer Verkehrs-Organ für die Fortschritte des Eisenbahnwesens. Neue Folge. LXVI. Band.

wege lokaler Bedeutung in Bayern“ herausgegeben. Die Schrift hat den Zweck, dem Rechtsausschuß der genannten Gesellschaft den Weg zu weisen, den er bei der geplanten

gesetzlichen Regelung des Verkehrswesens in Bayern zu beschreiten hat. Sie soll aber auch den für den Bau und Betrieb von Verkehrsverbindungen örtlich zuständigen Stellen und Körperschaften das allgemeine Rüstzeug liefern, damit sie ihrerseits für den gegebenen Einzelfall das richtige Verkehrsmittel finden.

Der wesentliche Inhalt der Denkschrift läßt sich etwa wie folgt zusammenfassen:

1. Teil: Die Lokalbahnen Bayerns. Zunächst wird ein Überblick gegeben über die bisherigen landesgesetzlichen Bestimmungen für untergeordnete Bahnen mehr oder weniger örtlicher Bedeutung (zunächst Vizinal-, Sekundär-, später allgemein Lokalbahnen genannt). Der Bau und Betrieb dieser Bahnen lag seit der Neuregelung des Lokalbahnwesens im Jahre 1882 fast ganz in der Hand des bayerischen Staates. Eine Bauwürdigkeit solcher Nebenbahnen untergeordneter Verkehrsbedeutung war in der Regel nur dann gegeben, wenn im voraus auf möglichst Einfachheit in der baulichen Anlage und auf einen sparsamen Betrieb Bedacht genommen und die Linienführung den örtlichen Verhältnissen weitgehend angepaßt wurde. Dabei bildete die Ausführung kurzer, von den Hauptbahnen abzweigender Sackbahnen die Regel, ebenso wie fast ausnahmslos die Wahl der Vollspur. Die durch die Bahnordnung für die Nebeneisenbahnen Bayerns vorgeschriebenen Grundsätze für die Betriebsführung gipfelten in der Hauptsache gleichfalls in tunlichster Sparsamkeit. Diesem Ziele diente die Anwendung einer verminderten Fahrgeschwindigkeit, Verzicht auf Bewachung der Wegübergänge, Verwendung leichten Oberbaues und Fahrmaterials, möglichst einfache Gestaltung des Stations- und Bahnbewachungsdienstes sowie eine weitgehende Heranziehung des Zugpersonals zur Beihilfe im Gesamtdienst der Lokalbahn. Eine wesentliche Vereinfachung des Stationsdienstes wurde auch durch die Aufstellung von Bahnagenten erzielt.

Nach solchen einheitlichen Grundsätzen und Richtlinien waren in Bayern bis Kriegsbeginn 143 staatliche Lokalbahnen mit einer Gesamtlänge von 3170 km gebaut mit einem Gesamtaufwand von 253 Millionen Mark, das ist rund 79000 *R.M.*/km. Im Durchschnitt rentierten die bayerischen Lokalbahnen rechts des Rheines mit rund 3%, die pfälzischen mit rund 4,5%, wobei allerdings überall Entfernungszuschläge so lange erhoben wurden, bis feststand, daß die einzelne Lokalbahn auch ohne Zuschlag dauernd keine Betriebsausfälle aufweisen würde. Nach dem Übergang der Ländereisenbahnen auf das Reich sind diese Entfernungszuschläge in Wegfall gekommen.

Die Zukunftspläne für den Ausbau des bayerischen Bahnnetzes, wie sie kurz vor der Verreichlichung der Ländereisenbahnen im Jahre 1920 in einer Denkschrift an den bayerischen Landtag niedergelegt waren (61 neue Bahnen mit rund 1200 km Gesamtlänge), sind aus einer der Denkschrift anliegenden Karte ersichtlich.

Im 2. Teil werden die für den Kleinbahnbau und -betrieb in anderen Ländern eingeschlagenen Wege und die dort maßgebenden Grundsätze erörtert.

a) In Preußen gab insbesondere das Kleinbahngesetz vom Jahre 1892 den Anstoß zu einer mächtigen Entwicklung des dortigen Kleinbahn- und Nebenbahnnetzes, wobei — im Gegensatz zu Bayern — der Bau und Betrieb solcher Bahnen der Privatinitiative überlassen ist. Dadurch entstand ein Kleinbahnnetz, das der technischen Einheitlichkeit ermangelt. Abgesehen von der Vollspur finden sich sechs verschiedene Spurweiten von 60 bis 90 cm, was vor allem für den Wagenübergang und für die Ausbildung des rollenden Materials Nachteile mit sich bringt. Die maßgebendsten Grundsätze für die Anlage- und Betriebsverhältnisse der preußischen Kleinbahnen (Linienführung, Trassierungselemente, Unter-

und Oberbau, Bahnhöfe, Betrieb und Betriebsmittel) werden dargelegt.

b) Schweiz. Die Eidgenossenschaft gewährte für den Bau von Nebenbahnen mit örtlicher Bedeutung im allgemeinen keine Unterstützung, doch sind die Kantone dazu berechtigt. Bei dem gebirgigen Gelände ersetzt die Schmalspur vielfach die Vollspur. 1911 bestanden einschließlich der Straßen-, Zahnrad- und Drahtseilstandbahnen 146 schmalspurige Kleinbahnen mit 1691 km Betriebslänge. Die Schmalspur beträgt fast durchweg 1 m, was für den mehr und mehr vor sich gehenden Zusammenschluß einzelner Bahnen von größter Bedeutung ist. Eine Zusammenstellung bringt einen Überblick über Kosten, Verkehrsgrößen und Rentabilität schweizerischer Schmalspur-, Gebirgs- und Touristenbahnen. Das immer noch zunehmende und sich zusammenschließende Kleinbahnnetz der Schweiz kann in mancher Hinsicht richtunggebend sein für die künftige Erschließung der bayerischen Alpen für den Fremdenverkehr.

c) Ehemalige Donaumonarchi. In Österreich nahmen zunächst die einzelnen Länder den Kleinbahnbau selbst in die Hand. Erst 1894 wurde für die ganze Monarchie ein Gesetz geschaffen, das zum erstenmal die Lokalbahnen von den Kleinbahnen trennte und die Regierung ermächtigte, sich an der Kapitalbeschaffung für solche Bahnen zu beteiligen. Derzeit ist das Gesetz vom Jahre 1910 in Kraft. In Ungarn finden wir im Gesetz vom Jahre 1888 eine starke Förderung des Kleinbahnbaues. In Bosnien und der Herzogowina hat sich schon frühzeitig aus ehemaligen Militäreisenbahnen ein großes Schmalspurnetz (76 cm) entwickelt. In diesen Gebirgsländern hat sich die Schmalspur so gut bewährt, daß sie auch für die Hauptverkehrsadern des Landes angeordnet wurde. Auch in Serbien fand das Beispiel Nachahmung, so daß das heutige Jugoslawien ein einheitliches Schmalspurnetz von rund 3060 km besitzt.

d) Sachsen. Auch hier wurden, wie in Bayern, die Bahnen niederer Ordnung im großen ganzen vom Staate selbst gebaut und betrieben und zwar ohne finanzielle Beihilfe der Verkehrsinteressenten. Dabei wurden die Vorteile der 75 cm-Spur für die Erschließung schwer zugänglicher und verkehrsarmer Gebiete schon frühzeitig erkannt und im Jahre 1878 diese Spur als Einheitsschmalspur festgelegt. So entwickelte sich bis 1913 ein vielfach zusammenhängendes Schmalspurnetz von 511 km Länge neben 1031 km vollspuriger Nebenbahnen. Beide Bahnarten haben durchgehende Tarifierung. Für den Übergang der Vollspurwagen gelangten gefederte, vierachsige Rollschmelwagen zur Anwendung.

e) Belgien. Das bedeutendste europäische Kleinbahnnetz (Spur 1 m) besitzt bekanntlich Belgien. Dieses Netz ist nach vollkommen einheitlichen Grundsätzen gebaut und umfaßte im Jahre 1925 wie das Vollspurbahnnetz rund 5000 km. Eine besondere Übersicht unterrichtet über die Dichte des belgischen Kleinbahnnetzes im Vergleich zu Preußen und Bayern. Der vielseitige Netzzusammenhang zeitigt einen lebhaften Übergangs- und Durchgangsverkehr der Schmalspurfahrzeuge und läßt die Nachteile von Schmalspurbahnen ohne Rollschmelverkehr wenig in die Erscheinung treten. Aus einer besonderen Beilage sind die Baukosten und die Rentabilität der belgischen Kleinbahnen ersichtlich.

Der 3. Teil der Denkschrift befaßt sich kurz mit dem Kraftwagen als privates und öffentliches Verkehrsmittel in Bayern und in anderen Ländern. Die bisherige Entwicklung in anderen Ländern läßt darauf schließen, daß auch bei uns für die nächsten Jahre eine Zunahme der deutschen Kraftfahrzeuge von etwa 20 bis 25% im Jahr eintreten wird. Vor allem verdient der umfangreiche freizügige Kraftwagenverkehr die größte Beachtung, da er weit mehr als die Kraftwagenlinie den Eisenbahnen schon

großen Abbruch getan hat. Von den Kraftwagenlinien haben sich bis zum Jahre 1928 in Bayern die Kraftpostlinien zu einem Netz von etwa 6300 km entwickelt. Nur auf fünf Linien der Postverwaltung wird ein Güterverkehr mit Lastkraftwagen unterhalten. Das Rückgrat des Kraftpostwesens bildet demnach der Personenverkehr. Bei einigermaßen lebhaftem Güterverkehr wird von der Postverwaltung selbst die Eisenbahn als das gegebene Verkehrsmittel bezeichnet.

Der deutsche Eisenbahnkraftwagenverkehr hatte bis Ende 1927 61 Linien im Betrieb, davon 22 für reinen Personenverkehr (300 km), 37 für reinen Güterverkehr (1343 km) und zwei für gemischten Verkehr (15 km).

4. Teil. Eisenbahn und Kraftwagen als künftige Verkehrsmittel für die Verkehrswege von lokaler Bedeutung.

a) Die vollspurige Lokalbahn großer Leistungsfähigkeit wird, wie die Denkschrift ausführt, künftig nur mehr in Ausnahmefällen in Betracht kommen und im allgemeinen nur dann wirtschaftlich sein, wenn Betrieb und bauliche Ausgestaltung noch weiter vereinfacht werden und höhere Tarife zur Anwendung kommen. Die hierbei einzuschlagenden Wege werden grundsätzlich behandelt, wobei die Frage der Tarifbildung des näheren erörtert wird. Den Tarifen der Deutschen Reichsbahn-Gesellschaft im Güterverkehr werden die Selbstkosten des Lastkraftwagens gegenübergestellt und daraus auf die wirtschaftliche Grenze zwischen beiden Beförderungsarten geschlossen. Dabei fällt die Bemessung der Rollgebühren wesentlich ins Gewicht. Den Beförderungskosten der Lokalbahn werden jene einer Kraftwagenlinie, die als Ersatz für sie gedacht ist, tabellarisch gegenübergestellt und zwar mit und ohne Rollgebühr bzw. durchgehender Bahnabfertigung. Aus den Tabellen ergibt sich, daß die Tarife (samt halben Abfertigungsgebühren) künftiger Lokalbahnen gegenüber den normalen Reichsbahntarifen beträchtlich, bei den Ausnahmetarifen sogar um das Vielfache erhöht werden können, ohne daß zu befürchten ist, daß eine Kraftwagenlinie der Lokalbahn den Verkehr entziehen könnte. Hiernach wird der Kraftwagen die noch geplanten Lokalbahnen nicht ersetzen können, weil er zu ähnlichen Preisen wie die Lokalbahn nur hochwertige Güter auf geringe Entfernungen, nicht aber auch die Massengüter auf größere Entfernung befördern kann. Die Kraftwagenlinie wäre sonach nur dort vorzusehen, wo eine Lokalbahn wegen allzu geringen Verkehrs nicht erbaut werden kann, ferner wo es sich um einen mäßigen Personenverkehr oder um reinen Stückgüterverkehr handelt.

b) Die Schmalspurbahn. Erscheint eine vollspurige Lokalbahn nach obigem nicht bauwürdig, so ist zu prüfen, ob nicht eine Schmalspurbahn am Platze ist. Die Denkschrift widmet dem Problem der Schmalspurbahnen eingehende Untersuchungen und Betrachtungen. Es werden die Vorteile und Nachteile solcher Bahnsysteme eingehend besprochen und die Gründe für den vielfachen Wandel der Meinungen über den Wert der Schmalspurbahnen angeführt. Nach dem heutigen Stande der Technik, insbesondere des Baues der Schmalspurlokomotiven und Rollschemelwagen, ergibt sich, daß für schwachen Verkehr Schmalspurbahnen wegen ihrer niedrigen Baukosten den Vollspurbahnen überlegen sind, wenn der Übergangsverkehr vollspuriger Güterwagen nur gering ist, oder wenn beim Rollschemelverkehr nur wenige der kostspieligen und schweren Schemelwagen zu beschaffen und mitzubefördern sind.

Das Maß der Spurweite wechselt für Neben- und Kleinbahnen im wesentlichen zwischen 1 m, 75 cm und 60 cm. Die Baukosten verhalten sich zu denen der vollspurigen Nebenbahnen im großen Durchschnitt etwa wie 0,8:0,6:0,5:1.

Was die Erschließungsmöglichkeit betrifft, so ist die Schmalspur in schwierigem Gelände der Vollspur überlegen. Bei richtiger Ausnützung aller in der Schmalspur liegenden technischen und wirtschaftlichen Möglichkeiten lassen sich die Kosten der Schmalspur bis zur Hälfte der Vollspur ermäßigen. Bemerkenswert sind die hohen Verkehrsleistungen bestehender Schmalspurbahnen, insbesondere auch bezüglich des direkten Übergangsverkehrs. Hier hat sich an Stelle der unvollkommenen Rollböcke die Einführung von Rollschemelwagen neuester Bauart aufs beste bewährt. Ein Vergleich der Ersparnisse an Baukosten mit den Mehrausgaben für Rollschemelwagen ergibt, daß bei geringem Übergangsverkehr die Schmalspur mit wenig Rollschemeln günstiger sein kann. Sind aber für den Übergang von Vollspurgüterwagen Rollschemel in großer Zahl nötig, so werden bei der Schmalspurbahn die Einsparungen an den Baukosten durch die höheren Beschaffungskosten für das Fahrmaterial sowie durch die höheren Betriebskosten (Totgewicht, Gleisunterhaltung) größtenteils wieder aufgezehrt.

Nach alledem ist die Frage, ob eine vollspurige oder schmalspurige Bahn zu wählen ist, nur dadurch verlässlich zu entscheiden, daß für beide Fälle an Hand von Entwürfen Wirtschaftlichkeitsberechnungen aufgestellt werden.

Die Denkschrift faßt das Ergebnis der Betrachtungen zur Spurweitenfrage dahin zusammen, daß die Vorteile der 75 cm-Spur so bedeutend seien, daß sie als Einheitschmalspur für etwa künftig in Bayern zu erbauende Schmalspurbahnen vorgesehen werden sollte, während die 1 m-Spur nur ausnahmsweise in besonders begründeten Fällen in Aussicht zu nehmen wäre. Schließlich werden noch die Grundsätze für den Bau und Betrieb von Einheitschmalspurbahnen bezüglich Linienführung, Unter- und Oberbau, der sonstigen Bahnausrüstungen sowie der Fahrbetriebsmittel im einzelnen aufgeführt und die in betrieblicher und tarifarischer Hinsicht in Betracht kommenden Maßnahmen für eine wirtschaftliche Betriebsführung erwähnt.

c) Der Kraftwagen kommt nur für die Erschließung jener Gebiete in Betracht, deren Verkehr selbst für eine Schmalspurbahn noch zu gering ist. Für die Einrichtung von öffentlichen Kraftwagenlinien für örtliche Zwecke wird der Neubau eigener Kraftwagenstraßen nur ganz ausnahmsweise in Frage kommen können.

Die Denkschrift befaßt sich dann des näheren mit der Frage der Wirtschaftlichkeit der Kraftwagenlinien, den Betriebsmitteln, der Ausstattung und Betriebsweise und schließlich mit den Tarifen der Kraftwagenlinien. Im Einzelfalle kann wie bei der Eisenbahn nur eine Ertragsberechnung entscheiden.

Im 5. Teil zieht die Denkschrift aus dem Vorhergehenden die Schlußfolgerungen über die Anwendung der Vollspur, der Schmalspur oder des Kraftwagens beim weiteren Ausbau des bayerischen Verkehrsnetzes lokaler Bedeutung. An einigen, der Praxis entnommenen und durchgerechneten Beispielen wird gezeigt, wie für jedes Verkehrsgebiet das geeignete Verkehrsmittel durch einfache Ertragsberechnungen ermittelt werden kann, wobei nach Verkehrsstärken getrennt wird. Auch diese Einzelrechnungen bestätigen, daß unter den heutigen Verhältnissen vollspurige Lokalbahnen nach der in Bayern bisher üblichen guten Ausstattung wohl nur mehr bauwürdig sein werden, wenn besonders große Verkehrsbedürfnisse zu befriedigen sind, oder wenn verhältnismäßig kleine Zwischenstücke zum Zusammenschluß vorhandener Sackbahnen oder kurze Verlängerungen bestehender Lokalbahnen in Betracht kommen. Die meisten der früher geplanten Verkehrsverbindungen örtlichen Charakters werden höchstens Aussicht haben, als vollspurige Kleinbahnen einfachster Ausrüstung oder als

Schmalspurbahnen verwirklicht zu werden, wenn nicht letztlich beim Vorhandensein entsprechender Straßen die öffentliche Kraftwagenlinie als das noch allein wirtschaftlich befriedigende Verkehrsmittel zu wählen ist. Für noch bestehende Eisenbahnwüsten mit ganz schwachem Verkehr, z. B. für die großen, dünn bevölkerten Gebiete des Bayerischen Waldes, des Spessarts und der Rhön usw. dürften jeweils Schmalspurbahnen der 75 cm-Spur, namentlich als Wald-

bahnen für die Holzabfuhr dann von besonderem Vorteil und bauwürdig sein, wenn sie sich zu einheitlich verwalteten und betriebenen Schmalspurnetzen zusammenschließen lassen; das gleiche gilt für die weitere Erschließung des bayerischen Hochlandes durch Hochgebirgsbahnen (Bergbahnen, Alpenquerbahnen usw.) zur Förderung des bayerischen Fremdenverkehrs und zur wirtschaftlichen Hebung der dortigen Gegenden.

## Maßnahmen zur Vermeidung von Heizanständen bei Zügen beim Übergang von elektrischer Heizung auf Dampfheizung.

Von Hofrat Ingenieur Ernst Kühnelt, Abteilungsvorstand der Generaldirektion der Österreichischen Bundesbahnen Wien.

In den letzten Jahren ist auf den elektrisch betriebenen Strecken des internationalen Verkehrs die elektrische Beheizung der Personen-, Schnell- und D-Züge mehr und mehr eingeführt und von der Führung von eigenen Heizkesselwagen immer mehr abgegangen worden. Die Vorteile der elektrischen Heizung liegen nicht nur in der Bequemlichkeit der Reisenden, weil ein Einfrieren der Heizung ausgeschlossen ist, sondern sie sind auch für die Bahnen von wirtschaftlicher Bedeutung. Die Fahrleitung wird den Rauchgasen der Heizkesselwagen nicht mehr ausgesetzt und die Zuglasten und Personalkosten werden durch Wegfall der schweren Heizkesselwagen geringer.

Auf Strecken, welche zum Teil mit Dampf, zum Teil mit elektrischer Kraft betrieben werden, müssen Wagen verwendet werden, welche beide Heizungseinrichtungen besitzen und in den Bahnhöfen, in welchen der Wechsel der Dampfzugförderung auf elektrische Zugförderung oder umgekehrt erfolgt, muß auch die Zugbeheizung von Dampfheizung auf elektrische Heizung und umgekehrt umgestellt werden.

Diese Umstellung der Zugheizung hat auf den Linien der Österreichischen Bundesbahnen im heurigen Winter sehr große Anstände in der Zugbeheizung hervorgerufen.

Nach Abschaltung der Dampfheizung im Bahnhof des Zugförderungswechsels von Dampf- auf elektrische Beförderung sind die Dampfheizungen der Wagen auf den nachfolgenden Strecken mit elektrischer Zugförderung und elektrischer Zugheizung vielfach eingefroren und mußten in jenem Bahnhof auf der weiteren Fahrt, in welchem wieder der Wechsel auf Dampf- auf elektrische Beförderung und Dampfheizung erfolgte, erst aufgetaut werden. Durch das Auftauen und Abwarten des Dampfaustrittes beim Schlußwagen wurden in diesen Bahnhöfen selbstverständlich große Verspätungen gemacht.

Die Österreichischen Bundesbahnen haben diese Schwierigkeiten im Verkehr München—Wien in Salzburg, im Verkehr Frankreich—Basel—Buchs—Wien in Saalfelden und im Verkehr München—Innsbruck—Brenner—Italien in Brenner zu spüren bekommen.

Im Verkehr München—Wien werden die durchgehenden Züge ab München elektrisch geheizt. Die Wagen der Garnitur ab München stammen zum Teil aus Zügen, die mit Dampf geheizt in München anlangten, zum Teil aus Wagen, welche von Wien mit dem Gegenzug in München anlangten und deren Dampfheizungen auf der Strecke Salzburg—München zum Teil einfroren.

Im Verkehr München—Wien kamen die durchgehenden Wagen in Salzburg mit vollständig eingefrorenen Heizungen an, so daß diese aufgetaut werden mußten. Die Züge erlitten dadurch in Salzburg sehr große Verspätungen, bis zu einer Stunde und mehr, und es dauerte lange Zeit bis die Dampfheizung ab Salzburg entsprechend wirksam wurde.

Im Verkehr Frankreich—Schweiz—Buchs—Wien ist die Lage ähnlich. Die in Betracht kommenden Züge laufen

von Frankreich, wo mit Dampf geheizt wird, wechselten in Basel die Heizung, fuhrten von Basel bis Saalfelden mit elektrischer Heizung und in Saalfelden kamen sie mit gänzlich eingefrorenen Dampfheizungen an. Da die Aufenthalte in Saalfelden bei diesen Zügen durch das Auftauen und Warten des Dampfaustrittes beim Schlußwagen sehr stark überschritten wurden — es wurden Verspätungen bis zu 1½ Stunden gemacht — wurde bei einigen Zügen von Innsbruck nach Saalfelden ein Heizkesselwagen mitgeführt, welcher die Aufgabe hatte, die Dampfheizung des Zuges während der Fahrt durch Dampfeinwirkung aufzutauen, während gleichzeitig die Wagen elektrisch geheizt wurden.

Aber auch dieses Auskunftsmittel erfüllte den Zweck nicht vollständig, es wurden noch immer Zugverspätungen sowohl in Innsbruck als auch in Saalfelden hervorgerufen, welche derart waren, daß sie den regelmäßigen Verkehr stark behinderten.

Im Verkehr München—Kufstein—Innsbruck—Brenner—Italien waren die Verhältnisse gleichartig und langten die Züge in der Richtung von Norden am Brenner mit eingefrorenen Dampfheizungen ein.

Zur Behebung dieser Mißstände hat die Ö. B. B. nach Einvernehmen mit den an diesen Läufen beteiligten Bahnverwaltungen (D. R. G., S. B. B. und F. S.) den Versuch gemacht, die Dampfheizungen der Wagen beim Übergang auf die elektrische Heizung mit Druckluft auszublasen.

Solche Versuche wurden zuerst in Wien-Westbahnhof an ankommenden, mit Dampf geheizten Zügen gleich nach der Einfahrt vorgenommen, wobei festgestellt wurde, daß die Spannung der Druckluft der Druckluftbremseinrichtung der Lokomotive ausreichte, daß nach ganz kurzer Dauer des Durchblasens zuerst Wasser und schließlich trockene Luft beim Schlußhahn der Heizleitung des letzten Wagens austrat.

Beim Durchblasen der Dampfheizung mit Druckluft wird folgender Vorgang eingehalten:

Zum Durchblasen werden Lokomotiven mit Druckluftbremse verwendet. Vor Ankunft des Zuges in dem Bahnhofe, ab welchem der Wechsel der Heizungsart eintritt, sind vor allem die Abstellhebel der Wagen mit Hochdruckheizung und die Zentralhebel der Wagen mit Niederdruckheizung in die „Kalt“-Stellung zu bringen.

Bei der zum Durchblasen bestimmten Lokomotive (Zug- oder für diesen Zweck besonders bestimmte Lokomotive) sind rechtzeitig

1. die Druckluftbehälter aufzufüllen,
2. durch geeignete Schlauchverbindungen mittels Zwischenstückes die Verbindung zwischen der Druckluftbremse der Lokomotive und der Hauptdampfheizung des Wagenzuges herzustellen,

sodann ist

3. mittels Schnellbremsung Druckluft mit einer Spannung von etwa 5 at durch die Hauptdampfleitung des

Wagenzuges zu pressen, so daß noch vorhandener Dampf und Niederschlagwasser beim geöffneten Abschlußstück der Heizleitung des letzten Wagens ins Freie gelangen.

Der unter 3. genannte Vorgang ist unter zwangläufiger Vornahme des unter 1. angeführten so oft zu wiederholen, bis beim Abschlußstück der Dampfheizleitung des letzten Wagens nur mehr trockene Druckluft austritt und somit auf eine ausreichende Entwässerung des Wagenzuges geschlossen werden kann.

Während der ersten Zeit des Durchblasens sind die Entwässerungsventile der Dampfheizkuppungsschläuche mit dem Löffelstab der Reihe nach wiederholt zu bedienen, damit das Niederschlagwasser auf diese Art ins Freie gelangt und nicht durch die Dampfheizleitung der nachfolgenden Wagen durchgepresst werden muß. Die Entleerung der Hauptdampfheizleitung des Zuges vom Dampf und Niederschlagwasser wird dadurch beschleunigt.

Später hat sich gezeigt, daß das Durchblasen der Dampfheizleitungen der Zuggarnituren wegen der Undichtigkeiten der Heizkuppungen vorteilhaft nicht auf einmal erfolgt, sondern daß das Durchblasen der Zuggarnituren in Absätzen vorzunehmen ist, derart, daß immer vier bis fünf vierachsige Wagen als Gruppe für sich durchgeblasen werden und daß nach Durchblasen der ersten Gruppe die zweite Gruppe von vier bis fünf Wagen angeschlossen und durchgeblasen wird. Nachdem die Versuche in Wien Westbahnhof gezeigt haben, daß der Gedanke des Durchblasens der Dampfheizleitungen mit Druckluft durchführbar ist, wurde mit den in Betracht kommenden Zentralstellen der beteiligten Bahnverwaltungen die nötigen Vereinbarungen getroffen, damit dieses Durchblasen in den geeigneten Bahnhöfen bei den durchgehenden Zügen beider Richtungen zunächst versuchsweise, durchgeführt wurde.

In den eingangs angeführten Verkehren wurde sodann im Einvernehmen mit den beteiligten Bahnverwaltungen das Durchblasen der Dampfheizleitungen folgendermaßen geregelt. In der Richtung Wien—München wird bis Salzburg mit Dampf geheizt, daher sofort nach Ankunft des Zuges in Salzburg die Dampfheizleitung der nach Deutschland übergehenden Wagen durchgeblasen. In der Richtung München—Wien wird das Durchblasen in München durchgeführt. In

der Richtung Wien—Innsbruck—Buchs—Schweiz—Frankreich werden die Züge bis Saalfelden mit Dampf geheizt, daher in Saalfelden sofort nach Ankunft durchgeblasen. In der Richtung Frankreich—Schweiz—Österreich erfolgt das Durchblasen in Basel, weil bis Basel mit Dampf geheizt wird. In der Richtung Italien—Brenner—Innsbruck—Kufstein—München wird am Brenner durchgeblasen, da bis Brenner mit Dampf geheizt wird. In der Richtung München—Kufstein—Innsbruck—Brenner—Italien werden die Züge in München durchgeblasen.

Der Erfolg dieser im Einvernehmen mit den beteiligten Bahnen getroffenen Maßnahme war ein durchschlagender.

Nach Überwindung einiger Anfangsschwierigkeiten wurde bereits nach kurzer Zeit festgestellt, dass in jenen Bahnhöfen, bis zu welchen die elektrische Heizung benützt wurde und ab welchen die Dampfheizung in Tätigkeit gesetzt wurde, die Dampfheizleitungen der Wagen vollkommen eisfrei waren, der Dampf daher rasch durchging und beim Schlusswechsel des Zuges austrat. Ein Auftauen der Heizleitungen war, wenigstens in den für die Österreichischen Bundesbahnen hierfür in Betracht kommenden Bahnhöfen nicht mehr nötig, die Züge machten keinerlei auf die Dampfheizung zurückzuführenden Verspätungen mehr.

Wenn noch berücksichtigt wird, dass seit Ausübung dieser Maßnahmen in den Bahnhöfen Temperaturen von  $-30^{\circ}$  bis  $-40^{\circ}$  C herrschten, so ist der Beweis erbracht worden, daß diese Maßnahme, aus der Not der Zeit geboren, voll wirksam war.

Das Durchblasen der Heizleitung mit Druckluft wird sich jedoch nicht nur betrieblich vorteilhaft erweisen, es werden zweifelsohne auch Beschädigungen an den Dampfheizeinrichtungen der Wagen, welche durch das Auftauen und die damit verbundenen Manipulationen verursacht werden, vermieden bleiben. Das Ausblasen der Dampfheizleitung hat somit nicht nur für den heurigen Winter als Versuchsmaßnahme großen betrieblichen und wirtschaftlichen Wert gehabt, es ist auch eine Gewähr dafür, daß im kommenden Winter von vornherein damit gerechnet werden kann, daß die zu Ende des Jahres 1928 aufgetretenen Anstände mit der Dampfheizung in den Bahnhöfen, in welchen der Wechsel von elektrischer Heizung auf Dampfheizung vorgenommen wird, nicht mehr eintreten werden.

## Verbesserungen an den Türschlössern der Wagen der Deutschen Reichsbahn-Gesellschaft.

Hierzu Tafel 8.

1. Neues Eingangstürschloß an den Personenwagen mit selbsttätig doppelt einschießendem Sicherheits-Fallenriegel der Bauart Kiekert.

Der doppelte Verschluss besteht bei den bisherigen Schlössern aus einem Drehriegel und einer von diesem abhängigen Falle, bei dem neuen Schloß aus einem einzigen zweistufigen Sicherheits-Fallenriegel.

Bei geöffneter Tür steht nur die erste Stufe (Tour), die wie eine Falle wirkt, vor der Schloßstulpe vor, während die zweite, die wie ein Riegel wirkt, durch eine Sperrvorrichtung im Schloßkasten zurückgehalten wird (Abb. 1, Taf. 8). Beim Schließen der Tür wird der Fallenriegel durch Anstoßen am Schließblech soweit in den Schloßkasten hineingeschoben, daß er im letzten Augenblick gegen den Nußflügel A drückt und dadurch den andern Nußflügel B von der Sperrklinke (Abb. 2) etwas abhebt, so daß sich diese Teile beim Drehen der Sperrklinke nicht aneinander reiben (Abb. 3). Sobald die Tür soweit geschlossen ist, daß der Fallenkopf gegen die schräge Fangfläche C des Schließbleches stoßen kann, hat die Sperrklinke beinahe die Stellung nach Abb. 6 erreicht und dadurch die Drückernuß freigegeben. Hierdurch kann außer der Fallen-

feder auch die bedeutend stärkere Drückerfeder wirken und die Drückernuß drehen. Hierdurch drückt der Nußflügel A derart stark gegen den Riegelkopf, daß dieser durch die schräge Fangfläche C im Schließblech die Tür anzieht und bis zur vollständigen Verschlussstellung in das Schließblech eingreift, selbst wenn hierbei Reibung auftritt (Abb. 4 und 5). In der Verschlussstellung wird der Fallenriegel durch den Nußflügel A gesperrt (Abb. 5). Sobald also die mit der Drückernuß verbundenen Drücker die Verschlussstellung erreicht haben, ist nicht allein der Riegel, sondern auch die Falle zuverlässig verschlossen (Abb. 5). Bei der früheren Bauart öffnete sich unerwartet häufig die Tür schon, sobald der Einreiber aus dem Schließblech herausgedreht war, weil die Falle beim Schließen der Tür nicht eingeschnappt war. Beim Öffnen der Tür muß die Drückernuß durch den Drücker zunächst aus der Sperrstellung nach Abb. 6 um 35 Grad gedreht werden, bevor sich der Nußflügel A gegen den Ansatz D des Fallenriegels legt. Der Fallenriegel wird also erst bei der weiteren Drehbewegung geöffnet (Abb. 8). Bei den bisherigen Schlössern ist der Drehriegel (Einreiber) bei einer Drehbewegung von 45 Grad schon ungefähr aus der Schließblechöffnung herausbewegt. Das

neue Schloß bietet also auch in dieser Hinsicht eine große Sicherheit gegen ein unbeabsichtigtes Öffnen der Tür. Die starke Drückerfeder kann auf den Fallenriegel zunächst nicht einwirken, wenn dieser durch das Schließen der Tür aus der Stellung nach Abb. 2 in diejenige nach Abb. 4 zurückgedrückt wird, ferner ist in Anbetracht der noch vorhandenen zweiten Riegelstufe der Fallenweg kurz. Infolgedessen können die schrägen Anlaufflächen am Fallenkopf und Schließblech schwach ansteigend ausgebildet sein. Dadurch gleitet der Fallenkopf ohne starke Reibung leicht in die Schließlage. Trotzdem wird aber schon durch das Einschnappen des Fallenkopfes in das Schließblech die Tür verschlossen, wenn ausnahmsweise die Drückernuß durch irgend einen Umstand nicht freigegeben und dadurch die Riegelstufe gehindert wird, einzuschnappen. Die Sicherheit des Verschlusses ist dann allerdings geringer, als nach dem vollständigen Vorbewegen des Sicherheits-Fallenriegels. Die Riegelbewegung kann, wie bei jedem selbsttätigen Schloß, dann versagen, wenn der Anschlag E für die Sperrklinke am Schließblech so kurz ist, daß die Sperrklinke zwar die Nuß gerade noch freigibt, wenn die Tür zu- geworfen wird, dagegen bei einem langsamen Zudrücken der Tür nicht genügend weit bewegt wird. Der Anschlag E muß daher so lang sein, daß die Sperrklinke ungefähr 3 mm weiter gedreht wird, als zum Freigeben des Nußflügels B nötig ist. Da sich der Fallenriegel und die Sperrklinke in wagerechter Ebene bewegen, so kann sich die Tür mehrere Millimeter senken, ohne daß die Sicherheit des Verschlusses dadurch leidet.

Der Sicherheits-Fallenriegel, die Sperrklinke und der Nachriegel schließen die Öffnungen in der Schloßstulpe vollständig. Viele Schlösser haben kleinere oder größere Öffnungen in der Stulpe, durch die Regenwasser, Schnee und Staub bei geöffneter Tür und während der Fahrt auch bei geschlossener Tür in den Schloßkasten und die Türsäule gelangen. Die Anliege- und Gleitflächen des Fallenriegels im Schloßkasten zwischen den Decken und Leisten und im Schließblech sind so groß, daß die Reibung und Abnutzung sehr gering ist.

Bei dem bisherigen selbsttätig schließenden Eingangstürschloß ist die Drückerfeder in einem Gehäuse am inneren Drückerschild auf dem Drückerdorn angeordnet. Es war ein Mangel, daß diese Feder erst mit dem inneren Drückerschild eingebaut und richtig gespannt werden konnte. Dies erfordert große Sachkenntnis; auch brechen die Federn beim Einbau häufig, besonders wenn das Schild in falscher Richtung gedreht wird. Außerdem beansprucht das Schild mit Federgehäuse viel Raum. Das neue Eingangstürschloß beseitigt auch diese Mängel vollkommen. Als Drückerfeder wird hierbei eine im Schloßkasten angeordnete Schraubenfeder verwendet, die mit der richtigen Spannkraft eingesetzt wird. Brüche, die bei dieser auf Druck beanspruchten Schraubenfeder äußerst selten vorkommen, führen noch nicht zum vollständigen

Erlahmen der Federn, da sich die gebrochenen Enden gegen die nächsten Gänge stützen. Die Federn erhalten eine sehr lange Vorspannung, wodurch der Gang des Schlosses schwingvoll und gleichmäßig wird. Beide Drückerhülse sind so lang, daß sie sich beim Anziehen der Befestigungsmutter gegen die Schloßnuß stützen. Hierdurch lassen sich die Drücker sehr dauerhaft befestigen und genau einpressen.

## 2. Doppelstiftdrückerverbindung für Personenwagentüren.

Bei dieser Befestigungsart ist der Außendrücker a (siehe Abb. 9) mit zwei  $8\frac{1}{2}$  mm starken runden Stahldornen b fest verschraubt. Beide Stahldorne werden beim Anbringen der Drücker durch runde Löcher in der Drückernuß c bis in die Führung des anderseitigen Innendrückers d gesteckt und in diesem mit einer konischen Schraube e befestigt. Letztere wird durch eine zweite Abdeckschraube f gesichert. Ein Lockern dieser Verbindung ist kaum denkbar, da die beiden Stahldorne in der Führung des Innendrückers durch die konische Schraube gegen die Wandungen der Löcher gepreßt werden. Durch das Auseinanderpressen der Stahlstifte gegen die Außenwandung der Löcher, die zur Mitte der Schloßnuß exzentrisch angeordnet sind, wird jedes etwa noch vorhandene Spiel ausgeschaltet.

Auch ein Verdrehen der beiden Stahlstifte ist unmöglich. Denn beide Drückerführungen legen sich bei g fest gegen die Schloßnuß, wodurch die Stahlstifte beim Betätigen der Drücker lediglich auf Abscheren beansprucht werden. Die exzentrische Anordnung der Stiftlöcher wirkt hierbei günstig.

## 3. Bremserhaustürverschluß für Güterwagen.

An den Bremserhaustüren aller neuen Güterwagen der D.R.G. und als Ersatz beschädigter Türschlösser an vorhandenen Güterwagen wird künftig ein federloser Türverschluß der Bauart Caspers nach Abb. 10 verwendet, womit sich die Türen leicht öffnen und zuverlässig schließen lassen. Selbst bei verquollenen Türen oder schief stehenden Bremserhäusern greift die federlose Falle meistens noch hinter die erste Nase der an der vorderen Bremserhausecksäule angebrachten Rast und schließt auch in diesen Fällen die Tür selbsttätig. Die Falle des Türverschlusses wird schon beim leichten Zuwerfen der Tür von der ersten Nase der Rast erfaßt. Falle und Rast müssen jedoch sorgfältig angebracht und die Befestigungsschrauben leicht vernietet werden. Die Falle wird beim Einbau mit dem senkrecht gehaltenen Kreuzdrücker von der Innenseite der Tür nach außen hindurchgeschoben und dann um 90 Grad gedreht. Durch die notwendigen Aussparungen wird der Türrahmen nur wenig und die Türschlagleiste gar nicht geschwächt. Der innere Griff muß beim Öffnen der Tür gehoben werden, jedoch ist diese Art der Betätigung dem Personal leicht ersichtlich.

Bttgr.

## Zuschriften.

Zu dem in Heft 3, Seite 44 veröffentlichten Aufsatz des Herrn Reg.- und Baurats Czygan „Zugwiderstände und Fahrzeitenberechnung“ erhalten wir von Herrn Professor H. Nordmann, Reichsbahnoberrat Berlin nachfolgende

### Entgegnung.

Der Aufsatz des Herrn Czygan über Zugwiderstände und Fahrzeitenberechnung in Heft 3 des Organs auf Seite 44 hat schon nicht die volle Billigung der Schriftleitung gefunden, wenn sie ihn auch mit Rücksicht auf die gegebenen Anregungen veröffentlicht hat. Für den genaueren Kenner dieses Gebietes stellt sich indes der Aufsatz als derartig verfehlt dar, daß er keinesfalls unwidersprochen bleiben darf. Zu dieser Entgegnung halte ich mich für besonders berechtigt, weil die Ermittlung der

gesamten wissenschaftlichen Unterlagen der Fahrzeitberechnung einen wesentlichen Teil meiner amtlichen Tätigkeit ausmacht.

Der Aufsatz zeigt eine für einen Verfasser eines solchen Aufsatzes bedauerliche Unkenntnis des heutigen Standes dieses Gebietes, auch der gesamten Literatur, die ihm seit 1921 völlig fremd zu sein scheint. Eine Abhandlung, die Anregungen für künftige Verbesserungen geben möchte, berührt ohnehin schon etwas eigenartig, wenn in ihr die ältesten Zugwiderstandsformeln wieder ans Tageslicht gezogen werden; dabei geschieht das noch ohne eindringendes Verständnis, indem z. B. einfach die sog. Erfurter Formel der Strahlschen Formel gegenübergestellt wird, als ob wirklich Zugwiderstandsformeln für die verschiedenen Fahrzeugarten (auch die historischen) übereinzustimmen brauchten. Auch an einer anderen Stelle des Aufsatzes

tritt die stark formale Einstellung hervor: Formel = Formel oder Verfahren = Verfahren.

Sachlich ist es zunächst unrichtig, daß die Erfurter Formel aus Versuchsfahrten mit einer bayerischen Schnellzuglokomotive hervorgegangen sei. Die Erfurter Versuche, die von Lochner im Organ 1894 beschrieben wurden, dienten auch nicht einmal hauptsächlich der Ermittlung einer Widerstandsformel, sondern der Untersuchung der damals neuen preußischen Schnell- und Personenzuglokomotiven der sog. Erfurter Bauart und dem gegenseitigen Verhalten der Zwillings- und Verbundausführung. Die dabei benutzte Widerstandsformel enthielt als Nenner des Geschwindigkeitsgliedes nicht 1300, wie der Verfasser angibt, sondern 1000. Die bisweilen allerdings auch als Erfurter Formel (ihres gleichen Baues wegen) bezeichnete Gleichung für den spezifischen Widerstand  $w = 2.4 + \frac{V^2}{1300}$  stammt von Herrn

v. Borries und trug dem Umstande Rechnung, daß die inzwischen schwerer gewordenen Fahrzeuge schon einen etwas kleineren Geschwindigkeitswiderstand aufwiesen.

Auch in den ersten Jahren dieses Jahrhunderts hat Herr v. Borries in der „Eisenbahntechnik der Gegenwart“ 2. Auflage (1903) diese Formel noch benutzt, aber gleich mit dem Hinzufügen, daß sie nur für mittlere Geschwindigkeiten und nicht allzu schwere Züge leidlich verwendbar sei, weil die Lokomotive hierbei mit ihrem höheren spezifischen Widerstande eingerechnet war. Für schwere und schnell fahrende Züge aus vierachsigen Wagen hat er selbst an der angegebenen Literaturstelle auf den Ersatz der Erfurter Formel durch die aus Versuchen hergeleiteten Widerstandsformeln für Schnellzugwagen (ohne Lokomotive) verwiesen. Die Erfurter Versuche waren dagegen mit leichten zwei- und dreiachsigen Wagen ausgeführt, bei denen bekanntlich der Anteil des Luftwiderstandes an dem gesamten Widerstand für die Gewichtseinheit wesentlich größer ist als bei den schweren Schnellzugwagen. Die verschiedenen Zahlenwerte der Erfurter Formel gegenüber der Strahlschen sind daher alles andere als ein Beweis für die Unsicherheit von Widerstandsformeln. Sie liegen in der Natur der Sache, und das Studium der Literatur hätte Herrn Czygan darüber ohne weiteres belehren können. Im übrigen ist auch die Strahlsche Formel nicht in der Gestalt angeführt, wie sie tatsächlich bei der Aufstellung des s-V-Diagramms verwendet wird; dies geschieht in der Form

$$w = 2 + \left( 0.007 + \frac{1}{m} \right) \left( \frac{V}{10} \right)^2 \text{ kg/t}$$

mit  $m$  als Wagengattungsbeiwert, z. B.  $m = 0.025$  für D-Zugwagen, und ich darf für mich in Anspruch nehmen, dies zu wissen, da die s-V-Diagramme in meinem Dezernat aufgestellt werden.

Wenn Herr Czygan nunmehr auf den Einfluß des Oberbaues übergeht, namentlich auf die bei verlängerten Schienen verkleinerte Zahl der Schienenstöße, so ist ein solcher Einfluß durchaus zuzugeben. Es scheint aber Herrn Czygan nicht bekannt zu sein, daß die spätere Franksche Formel — Herr Czygan scheint nur die erste Franksche Arbeit zu kennen — ausdrücklich ein Glied für den Stoßwiderstand beim Befahren des Gleises neben dem Glied für den Luftwiderstand enthält und dieses Glied auch in die neuere Strahlsche Formel in kaum veränderter Gestalt mitaufgenommen ist. Die Berücksichtigung der gegen den Luftwiderstand in ihrem Einfluß übrigens erheblich zurückbleibenden Stöße ist also etwas längst Bekanntes und nicht erst eine Entdeckung des angegriffenen Aufsatzes. Man könnte Verbesserungen des Oberbaues Rechnung tragen, ohne grundsätzlich neue Formeln schaffen, indem man den Zahlenfaktor des Gliedes für den Stoßwiderstand verringert. Im übrigen sind keineswegs die Schienen allein ausschlaggebend, sondern auch die gute Gleislage auf der Bettung.

Bei der Betrachtung der Verfahren für die Aufstellung von Fahrzeiten tritt wieder der formale, unkritische Charakter des Aufsatzes hervor. Verfahren neben Verfahren zu setzen. Die Verfahren sind, wie ich auch z. B. in meinem Aufsatz „Lokomotivbelastung und Fahrzeitermittlung“ in Glasers Annalen 1927 rückblickend und zusammenfassend ausgeführt habe, keineswegs gleichartig, sondern die fünf heute bei der Reichsbahn angewandten Verfahren unterscheiden sich von den anderen dadurch, daß sie dynamischer Art sind, und für eine wirkliche Abbildung des Fahrverlaufes mit seinen Beschleunigungen und Verzögerungen

kommen nur dynamische Verfahren in Betracht. Herr Czygan beschäftigt sich weiterhin hauptsächlich mit dem Verfahren von Dr. Gäde, auf das aber damals der Ausschuß für die Verfahren zur Fahrzeitermittlung keine Rücksicht genommen hat, offenbar wegen seines rechnerischen statt zeichnerischen Charakters und des Aufbaues auf dem gar zu summarischen s-V-Diagramm von Dr. Gäde, der übrigens kein Lokomotivfachmann ist. Über die schnelle und bequeme Handhabung z. B. des Unreinschen Verfahrens, das ich auch häufig selbst habe durchführen lassen, habe ich bisher nur Gutes gehört und wüßte nicht, weshalb überhaupt die Genauigkeit des graphischen Verfahrens dem praktischen Bedürfnis nicht genügen soll. Auch geben die Fahrpläne wie sie nach 1923/24 aufgestellten s-V-Diagrammen unter Berücksichtigung der von Herrn Czygan erwähnten Zuschläge ermittelt worden sind, sehr wohl brauchbare Verhältnisse, für die das Prädikat, daß sie „mit der Wirklichkeit nicht übereinstimmen“, nicht zutrifft. Herrn Czygan ist offensichtlich nicht bekannt, daß bald nach Einführung der neuen Verfahren für die Aufstellung der Fahrzeiten eine große Umfrage bei den Reichsbahndirektionen nach der Haltbarkeit der Fahrpläne stattgefunden hat, die die Brauchbarkeit der Verfahren und der gewählten Zuschläge bestätigte. Das hätte in meinem schon erwähnten Aufsatz in Glasers Annalen 1927 nachgelesen werden können.

Weiter ist Herrn Czygan offensichtlich unbekannt, daß bei den Versuchsfahrten mit Lokomotiven heute die wesentliche Aufgabe einer Versuchsreihe stets darin besteht, die Leistung und Zugkraft der Lokomotive für die zulässige Kesselbeanspruchung bei verschiedenen Geschwindigkeiten festzustellen, und daß auf diesem experimentellen Wege das s-V-Diagramm entsteht. Übrigens kann kein s-V-Diagramm eine Zugwiderstandsformel entbehren, denn unmittelbar gemessen wird die Zugkraft und nicht das Zuggewicht. Über die neuen Reichsbahn-Versuchsmethoden für die Untersuchung der Lokomotiven steht in der neuesten Literatur so viel, daß man nicht verstehen kann, wie ein Verfasser sich über das in Rede stehende Thema zu verbreiten wagt, ohne sich im geringsten mit den vorhandenen Quellen beschäftigt zu haben.

In den Schlußbemerkungen glaubt nun Herr Czygan den Umweg über die Widerstandsformeln überhaupt künftig sparen und statt dessen die Züge unmittelbar versuchsmäßig fahren zu sollen. Die Kontrolle über genügende Ausnutzung der Lokomotive könnte er bei einem solchen Verfahren nur mehr dem Lokomotivführer überlassen; die Aufschreibung soll auf einer Zugführerlockkarte stattfinden. Der Gedanke, besonders wichtige Züge gelegentlich versuchsmäßig auf ihre schnellste Fahrzeit zu prüfen, ist an sich in England und Frankreich gelegentlich durchgeführt und also kein neuer Gedanke. Wenn Herr Czygan die neuere Literatur studiert hätte, würde er wissen, daß ich in meinem vorgenannten Aufsatz in Glasers Annalen 1927 statt dessen von dem vollkommeneren Verfahren gesprochen habe. derartige Fahrten mit dem Lokomotivmeßwagen im Zuge auszuführen, um ein objektives, auf Messungen beruhendes Urteil über die dabei vorhandene Anstrengung des Lokomotivkessels zu erhalten, und nicht auf die zahlreichen subjektiven Urteile der verschiedensten Lokomotivführer angewiesen zu sein.

Weiter würde Herr Czygan dort auch die Begründung dafür finden, daß dieses Verfahren trotzdem für ein großes Eisenbahnnetz nicht durchführbar ist, weil jede Strecke nach Steigung und Krümmung verschieden verläuft, und man eine große Zahl von Meßwagen zur Verfügung haben müßte, um die Fahrzeiten bei zulässiger Lokomotivbeanspruchung, von der ja auch Herr Czygan ausgeht, auf dem zuverlässigen, objektiven und nicht subjektiven Wege mit nicht allzugroßem Zeitaufwand festzustellen. Sobald aber diese Möglichkeit für ein großes Bahnnetz nicht besteht, gibt es keinen anderen Weg, sich ein Bild über die kürzesten Fahrzeiten bei vollangestrenzter Lokomotive zu machen, als auf Grund des s-V-Diagramms und eines dynamischen Verfahrens, wobei der strecken- und lokomotivkundige Betriebsmaschinendezernent noch gewisse Änderungen durch Einsatz der Kesselreserve u. dgl. vornehmen könnte. Im s-V-Diagramm steckt aber wie gesagt, die unentbehrliche Zugwiderstandsformel, und Herr Czygan darf darüber beruhigt sein, daß die Zugwiderstandsformeln bei den Lokomotivversuchen nicht übersehen werden. Aus der neuesten Literatur (Glasers Annalen vom 1. Dezember 1928) könnte er ersehen, daß vor etwas

mehr als einem Jahr besondere Versuche stattgefunden haben, um die Zugwiderstände zunächst der D-Züge zu bestimmen, bzw. die Widerstandsformeln nachzuprüfen.

Ich wüßte nicht, welche Veranlassung die Reichsbahn

haben sollte, ihr auf die sorgfältig gemessenen Lokomotivleistungen gestütztes, wissenschaftlich richtig aufgebautes Verfahren für die Aufstellung der Fahrzeiten zugunsten der so leichtfertig begründeten Czyganschen „Zügfürerlockkarte“ zu verlassen.

## Berichte.

### Allgemeines.

#### Zweite Internationale Kohlentagung zu Pittsburg 1928.

Nach dem Vorbild der im Jahre 1926 abgehaltenen Kohlentagung zu Pittsburg fand die zweite, zu der wiederum der Präsident des Carnegie Institute of Technology zu Pittsburg Dr. Thomas Baker die Kohleninteressenten aller Länder eingeladen hatte, vom 19. bis 24. November 1928 statt. Etwa 120 Vortragende aus 20 Ländern, unter denen sich etwa 20 aus Deutschland befanden, berichteten über ihre Studien und Erfahrungen auf den verschiedenen mit der Kohle zusammenhängenden Gebieten.

Die Verbilligung der durch Kohle erzeugten Energie bildete einen Hauptpunkt der Erörterungen. Ein Hauptmittel dazu wird in den Vergasungs-Elektrizitätswerken gesehen, in denen die Kohle vor der Verwendung zur Wärmeerzeugung teilweise oder ganz vergast wird. Dabei gelangen die Anlagen zur Vergasung von Kohle bei niedriger Temperatur (Schwelanlagen) zu immer größerer Bedeutung. Nicht weniger als etwa 20 Vorträge betrafen den Stand und die Entwicklung dieser Anlagen. Da die Betriebskosten mit der Größe der Anlagen rasch abnehmen, so strebt man nach großen Einheiten. In Kanada ist jetzt eine Lurgi-Anlage für einen täglichen Durchsatz von 350 t Braunkohle; in England eine Anlage mit 10 C. T. G. Rundzellenöfen für je 65 t täglichen Durchsatz feiner Steinkohle je Ofen im Bau. Vorträge über die verschiedenen Verfahren ließen erkennen, wie nach möglichst hoher Ausbeute und hoher Güte der Schwelprodukte durch sorgfältige Abstimmung von Druck, Temperatur und Zeit beim Schwelvorgang sowie nach ununterbrochenem Arbeitsgang gestrebt wird. Die Verfahren, die zur Schonung der gasigen Erzeugnisse und zur Erleichterung ihrer Nachbehandlung zur Verschmelzung überhitzten Dampf verwenden, sind in der Zunahme begriffen. Bei einigen dieser Verfahren sind die Schwelanlagen Dampfkraftanlagen mit hochgespanntem Dampf nachgeschaltet, indem der Turbinenabdampf überhitzt und zur Schwelung benutzt wird. Bei den üblichen mit Verbrennungsgasen arbeitenden Schwelanlagen wird der feine Koks meist den Feuerungsanlagen der Dampfkessel zugeführt. Es sind aber bereits mehrere Systeme in praktischer Erprobung, bei denen eine Gasretorte dem Dampfkessel vorgelegt ist und der heiße Koks auf den Vorschub der Stokerfeuerung gelangt. A. R. Smith, Schenectady will nicht nur die Betriebskosten durch Steigerung des Wirkungsgrades der Kohleverwertung verringern, sondern auch durch Herabsetzung der Anlagekosten. Die vollständige Vergasung der Kohle erfolgt bei seinem Verfahren in großen, einfachen Retorten bei mäßiger Temperatur mit Dampfzusatz. Der Wirkungsgrad des Vergasers ist 90%. Das Gas, dem Teer und leichte Öle zum Verkauf entzogen werden, wird zur Beheizung eines Quecksilberdampfkessels benutzt. Der bekannte Quecksilberdampf-Wasserdampf-Prozeß hat einen theoretischen Wirkungsgrad von 60% gegenüber 47% beim einfachen Wasserdampfverfahren. Die Gaserzeuger und Kessel werden im Freien aufgestellt, die Turbogeneratoren im Gebäude, von dem aus auch der ganze Betrieb der Anlage durch Fernsteuerung erfolgt. Diese Stufe führt schon dem Idealzustand in der Energieversorgung nahe, den A. T. Stuart, Toronto, Kanada entwickelte. Mit elektrischem Strom aus einer Wasserkraftanlage von 100 000 PS-Leistung soll Wasser in Wasserstoff und Sauerstoff zersetzt werden. In einem Apparat, der einem Hochofen gleicht und mit Sauerstoffdampfgebläse betrieben wird, wird dann Kohle bis auf Asche, die als Schlacke abgezogen wird, vergast. Das Gas soll, nachdem Öle und Teer entzogen sind, den Haushaltungen und der Industrie als Brenngas zugeführt werden. Überschüsse an Wasserstoff- und Sauerstoffgasen werden zu anderen Zwecken abgeführt, die bereits schon heute in größerer Zahl vorliegen. Wasserstoff ist erforderlich für die chemische Synthese von Ammoniak, die Verflüssigung von Kohle und andere Zwecke, worüber eine Reihe bedeutender Vorträge auf der Tagung gehalten wurde. Für Sauerstoff sei nur seine Verwendung zur Anreicherung

der Luft in Verbrennungsprozessen erwähnt. — Der Bedarf an Koks wird mit der weiteren Entwicklung der Hochofen-Gasverfahren zur Reduktion der Erze völlig aufhören. Die United States Steel Corporation bei Cleveland hat eine derartige ohne Koks arbeitende Anlage nach dem Hornseyverfahren zur Reduzierung von 250 t Eisenerze im Tag bereits errichtet.

Auf eine Verbilligung der elektrischen Energie wirkt auch die fortschreitende Verbesserung der Feuerungen der Großkessel ein. Vorgewärmte Verbrennungsluft und teilweise oder ganz luft- oder wassergekühlte Brennkammerwände sind heute sowohl bei Kohlenstaub- wie bei Stokerfeuerungen höchster Brennleistung und höchsten Wirkungsgrads eingeführt. Nach weiterer Verbesserung durch stärkste Durchwirbelung der Kohlentelchen und der Brenngase mit der Luft und durch beste Ausnutzung der strahlenden Wärme wird gestrebt, um die Wärmebelastung für 1 cbm Feuerraum immer weiter zu steigern. Gegenwärtig ist man bei 350 000 WE m<sup>3</sup> St angelangt. Bester Wasserrumlauf steigert die Wärmeaufnahmefähigkeit. Die Asche wird im geschmolzenen Zustande abgezogen.

Schwierigkeiten durch die Asche in Feuerungen wird am besten begegnet, wenn man möglichst gereinigte Kohle verwendet. Dieser Aufgabe wird zunehmende Aufmerksamkeit geschenkt. Auch W. L. Robinson, der Vorstand der Brennstoff- und Lokomotivabteilung der Baltimore und Ohio-Eisenbahn nahm in seinem Vortrage „Lokomotivbrennstoff“ hierzu Stellung. Da der Vortrag auch sonst manches Bemerkenswerte über das amerikanische Eisenbahnwesen enthielt, so sei etwas näher auf ihn eingegangen. Für die Eisenbahnen der Vereinigten Staaten kommen drei Steinkohlegebiete in Frage. Bei günstiger Lage der Grube zur Bahn wird die Kohle aus den Grubenfahrzeugen unmittelbar auf die Lokomotivtender genommen. 90% der Lokomotivbrennstoffe sind Steinkohlen, die restlichen 10% entfallen vornehmlich auf Öl. Gruben und Bahnen sind durch gegenseitige Eigentumsrechte miteinander verbunden. 50% der bezahlten Frachttransporte der Bahnen entfallen auf Erzeugnisse der Gruben, Kohlen und Koks. Da die Brennstoffkosten in den Bahnbetriebskosten nach den Ausgaben für die Löhne an zweiter Stelle stehen und hochwertige Kohle zu verhältnismäßig niedrigem Preise zu erhalten ist, so streben die Bahnen danach, nur beste Sorten zu verwenden, um die höchste Transportleistung mit der geringsten Brennstoffausgabe zu erzielen. Die Qualität der Kohle soll es nicht nur ermöglichen, die Zugförderung störungsfrei durchzuführen, sondern auch Aufenthalte einzuholen. Gegenwärtig wird für das Anfahren der Güterzüge bis zur Regelmäßigkeitswindigkeit  $\frac{1}{2}$  t Kohle gebraucht. Die Ausschaltung von Haltepunkten und Aufenthalt wird für einen der wichtigsten Punkte zur Verringerung der Kohlenausgaben gehalten. Der Streckenleistung einer Lokomotive bis zum Eintritt in den Schuppen wird große Beachtung geschenkt, da hiervon die Ausnutzung der einzelnen Lokomotive und die Möglichkeit der Verringerung der Lokomotiven für einen bestimmten Verkehrsumfang abhängt. Die Güte des Feuers ist hier von einschneidender Bedeutung. Betriebsversuche bei mit Stokerfeuerungen ausgerüsteten Lokomotiven haben ergeben, daß sich für die verschiedenen Lokomotiven und Zugarten als Durchschnittskohle am besten solche erweist, die frei von Stücken über 6'' ist und nicht mehr als 25% Grus auf ein Sieb von  $\frac{3}{4}$ '' hat. Der Feuchtigkeitsgehalt der Kohle soll möglichst gering sein, da er wie die brennbare Substanz bezahlt wird und etwa 0,1% des Wärmeinhalts erforderlich sind, um jedes Prozent Feuchtigkeit auf Schornsteintemperatur zu bringen. Sehr wichtig ist es, daß die als gewaschen gekaufte Kohle im vereinbarten Prozentsatz der Reinigung angeliefert wird, da bereits 1% Mehrgehalt an Schlacke erheblichen Unkostenschaden verursachen kann. Wirtschaftlicher Brennstoffverbrauch kann nur durch hinreichende, umfassende und ständige Überwachung der Kohle auf der Grube, in Lagern, auf der Lokomotive

sichergestellt werden. Die Lokomotiven sind in guter Betriebsbeschaffenheit zu halten, die Lokomotivmannschaften sind in der praktischen Anwendung wirtschaftlicher Grundsätze bei der Lokomotivbehandlung zu erziehen. Listen über Brennstoffverbrauch sind aufzustellen und allen Beteiligten bekanntzugeben.

Alte Lokomotiven werden fortgesetzt ausgeschieden, so daß die Wirtschaftlichkeit im Brennstoffverbrauch wesentlich verbessert und die Leistung der Lokomotiven gestiegen ist. Kessel neuen Entwurfs, voraussichtlich der Wasserrohrtype mit großer Rostfläche und größerem Feuerbüchsenraum versprechen bessere Verdampfungsziffern, die Möglichkeit wesentlich höherer Dampfdrücke und niedrigerer Unterhaltungskosten.

Die Verringerung der ständigen Brennstoffverluste im Stillstande bei der Kohlenfeuerung wird als ein anzustrebendes Ziel angesehen. In dieser Richtung liegt ein Hauptvorteil der ölgefeuerten und der Kohlenstaublokomotiven. Die weiterhin vorhandene hohe Anpassungsfähigkeit der Kohlenstaublokomotiven ermutigt, einen praktischen Versuch mit diesen zu machen. Man schätzt, daß annähernd 15% des gesamten Lokomotivbrennstoffes im Feuerreinigungs-, Feuererhaltungs- und im Vorbereitungsdienst während des Aufenthaltes der Lokomotiven im Schuppen verbraucht werden, wozu die gleichartigen Verluste auf der Strecke treten. Dies sind etwa 15 bis 20 Millionen Tonnen Kohle im Jahr auf den Bahnen des Vortragenden, die sich sicher auf die Hälfte bei Kohlenstaubfeuerung verringern ließen. Aus dieser Einstellung zu der Einführung von Kohlenstaublokomotiven auf den amerikanischen Bahnen erklärte sich das lebhafteste Interesse, mit dem der Vortrag von Baurat Walter Kleinow über die AEG-Kohlenstaublokomotive mit den neuesten Prüfergebnissen der Deutschen Reichsbahn-Gesellschaft aufgenommen wurde. Przygode.

### Der Einfluß der Maschinenteknik auf die Wirtschaftlichkeit der amerikanischen Eisenbahnen.

Nach einem Vortrag, den der Präsident der Great Northern Bahn vor einiger Zeit vor der Amerikanischen Maschinen-

technischen Gesellschaft gehalten hat, haben die Eisenbahnen der Vereinigten Staaten in den letzten acht Nachkriegsjahren, d. h. seitdem der während des Krieges aufgenommene Staatsbetrieb wieder aufgehoben worden ist, insgesamt sechs Milliarden Dollars für die Verbesserung ihrer baulichen und maschinellen Anlagen und ihrer Fahrzeuge aufgewandt und damit den Wert ihrer Gesamtanlage um 25% erhöht. Über die Hälfte dieser sechs Milliarden Dollars ist — unmittelbar oder mittelbar — für Erzeugnisse des Maschinenbaues ausgegeben worden. Im Vordergrund steht natürlich die Beschaffung schwererer Lokomotiven und Wagen nebst den erforderlichen Werkstatteinrichtungen. Die Verwendung der stärkeren Lokomotiven gestattete dann die Vergrößerung der Zugeinheiten und damit sparsameren Betrieb, verlangte aber andererseits wieder große Aufwendungen für die Verbesserung der Gleisanlagen und die Vergrößerung der Bahnhöfe. Auch von den hierfür verwendeten Mitteln floß wieder ein großer Teil der Maschinenindustrie zu, weil die Bauarbeiten immer mehr mechanisiert wurden. Beispielsweise war es für die amerikanischen Bahnen mit ihren langen, stationslosen Strecken von ganz besonderer Bedeutung, daß mit der raschen Entwicklung des Kraftfahrzeugwesens für die Beförderung der Bahnunterhaltungsrotten zum Arbeitsplatz in weitem Umfang Schienenkraftwagen eingeführt werden konnten. Es soll dadurch möglich geworden sein, die Zahl der Bahnarbeiter stellenweise auf die Hälfte herabzusetzen. Ganz allgemein aber soll sich der Erfolg aller dieser Aufwendungen in einer bedeutenden Verbesserung des Wirkungsgrades der amerikanischen Eisenbahnen zeigen. Die Frachtsätze der amerikanischen Eisenbahnen seien verhältnismäßig niedriger, die Bezahlung der Angestellten sei gut.

Die hier wiedergegebenen Ausführungen eines leitenden Eisenbahnmannes zeigen, wie sehr man in Amerika die technische Arbeit überhaupt und in besonderen die Maschinenteknik schätzt und ihre Erfolge anerkennt.

R. D.

(Mechanical Engineering, Nov. 1928.)

## Bahnhöfe nebst Ausstattung.

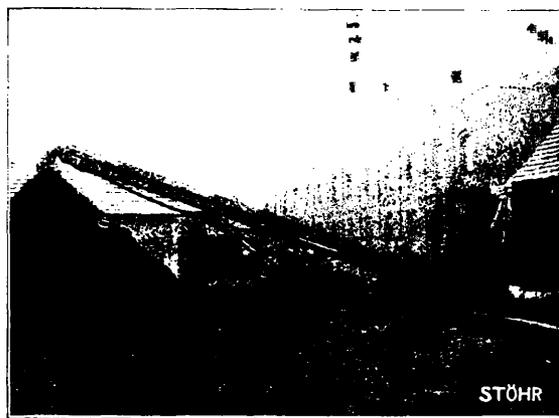
### Das Förderband in der Lokomotivbekohlung.

Für die Bekohlung der Lokomotiven sind mannigfache Hilfsmittel in Gebrauch und beschrieben, auch ihre Wirtschaftlichkeit ist wiederholt gegenübergestellt und verglichen worden. Bei geringfügiger Entnahme benutzt man nur Körbe, bei einigen Tonnen Handkrane, bei mittleren Betrieben — 40 bis 50 t täglicher Ausgabe — elektrisch angetriebene Drehkrane und darüber hinaus die verschiedenen Groißerbauarten, oder Becherwerke oder die in früherer Zeit angelegten Sturzbühnen. Gerade die letzteren dürften je nach ihrer Anlage einer Verbesserung fähig sein.

So besteht in Neuß eine Sturzbühne mit einem Lager von 16 m Breite, das als Dauerbestand 2500 t, als Tageslager 1000 t faßt. Die große Breite wirkt sich sehr ungünstig aus, da die Füllung zeitraubend und mühevoll ist. Über die zunächst aus dem Wagen abgeworfenen Kohlen werden Bretter gelegt und mit Schiebkarren oder Kippwagen wird die Füllung immer weitergetrieben, mehr und mehr bergansteigend auf 2,5 m Höhe. Für diese Art der Füllung wird als Gedingezeit für die Tonne 0,62 Std. vergütet, oder 56 Pf. im Durchschnitt, das ist ein Kostenaufwand von 1400  $\mathcal{M}$ . Eine wesentliche Erleichterung und Verbilligung bringt die Verwendung eines Förderbandes (siehe Abb). Da der Arbeiter die Kohle nur in den Aufgebetrichter zu werfen hat, der dicht am Wagen oder auch darin steht, so verbraucht er nur 0,37 Stunden Gedingezeit, so daß für die Füllung des Bausens nur 830  $\mathcal{M}$  Kosten entstehen, also eine Minderausgabe von 1400—830=570  $\mathcal{M}$ . Rechnet man dazu, daß wegen des ungleichmäßigen Zulaufs der Kohlenwagen mindestens 1000 t auf das Tageslager im Laufe des Jahres zu nehmen sind, so ergibt sich ein Gesamtgewinn von 800  $\mathcal{M}$ . An Unkosten entstehen durch den elektrischen Antrieb für 1 t 3 Pf. oder 105  $\mathcal{M}$ , für Unterhaltung, Verzinsung, Abschreibung 300  $\mathcal{M}$  im Jahr, so daß für die einmalige Lagerfüllung im Jahr ein Gewinn von 400  $\mathcal{M}$  verbleibt. Erheblich größer wird dieser Vorteil, wenn die Benutzung des Förderbandes

## Lokomotivbehandlungsanlagen.

auf die unmittelbare Bekohlung der Lokomotiven ausgedehnt wird, indem man an Stelle der Sturzkarren feste Bunker von 1 bis 3 t Inhalt anbringt. Für jede Tonne werden dann 0,05 Std. eingespart, das macht für eine Jahresförderung von 25000 t eine Minderausgabe von 1125  $\mathcal{M}$ , abzüglich Stromkosten und Verschleiß.



Förderband zum Entladen von Kohlen aus einem Wagen.

Die Verwendung eines Förderbandes gewährt aber nicht nur wirtschaftliche Vorteile, sondern dient auch dazu, die schwere Arbeit des Kohlenladens, die ja auch bei ungünstigsten Witterungsverhältnissen verrichtet werden muß und an die Gesundheit der Arbeiter große Anforderungen stellt, zu erleichtern. Die Arbeit wird nicht nur körperlich erleichtert, sondern es ist, weil der Wagen nicht mehr verlassen werden muß, möglich, eine Art Behelfszelt über den Wagen zu spannen.

Reichsbahnrat Schmitz.

## Betrieb in technischer Beziehung. Signalwesen.

### Entwicklung des Kohlenverkehrs einer amerikanischen Eisenbahn.

Die Louisville und Nashville-Eisenbahn hatte im Jahre 1913 aus Kentucky 87462 Wagenladungen Kohle abzuführen: bis 1927 war diese Menge auf 877016 Wagenladungen, also auf fast genau das Zehnfache angewachsen. Um diesen vermehrten Verkehr bewältigen zu können, hat die Eisenbahngesellschaft mit einem Aufwand von etwas über 100 Millionen Dollar ihre Strecken zweigleisig ausgebaut, die Bahnhofsanlagen erweitert und ihren Lokomotivpark vergrößert. Selbstverständlich mußte auch mehr Personal eingestellt werden, doch blieb die Zunahme dank den technischen Vervollkommnungen hinter der Steigerung des Verkehrsumfanges zurück.

Das Verkehrsgebiet der Louisville und Nashville-Eisenbahn zerfällt in drei Abschnitte: die Strecken im Cumberland-Tal, diejenigen von Ost-Kentucky, und die Verbindung beider mit Cincinnati bildend, die Strecken von Kentucky. Von den beiden erstgenannten Strecken führen zahlreiche Zweiggleise in die Kohlenzechen. Die Kohlenzüge werden geschlossen meist bis Cincinnati abgefahren. Hierzu dienen auf der Strecke im Cumberland-Tal Lokomotiven der Achsanordnung 1 D 1 von 148 t Gewicht (ohne Tender) und 27,8 t Zugkraft, die 5500 t schwere Züge zu befördern haben. Auf einer gegen 5 km langen Steigung 1:80 müssen sie allerdings von einer zweiten Lokomotive unterstützt werden. Auf der Ost-Kentucky-Strecke sind die Betriebsverhältnisse etwas günstiger. Die maßgebende Steigung ist hier 1:100. Die Lokomotiven für diese Strecke haben die gleiche Achsanordnung wie im Cumberland-Tal, wiegen aber nur 138 t und haben 25,9 t Zugkraft; das Regelgewicht der Züge auf dieser Strecke beträgt 4950 t. Auf der 290 km langen Hauptstrecke verkehren wieder Züge von 5500 t Gewicht. Die maßgebende Steigung ist 1:154, mit Ausnahme einer fast 13 km langen unter 1:90 steigenden Teilstrecke, wo die 135 t schweren Lokomotiven der Unterstrecke durch eine zweite Maschine bedürfen.

Die Kohlenzüge, die mit Kohle über Cincinnati hinaus beladen sind, werden in einem Bahnhof etwa 11 km südlich

von Cincinnati aufgelöst, und hier werden auch die Leerwagenzüge für das Kohlengebiet aus den zurückkehrenden Wagen zusammengestellt. Dieser Bahnhof hat für die Richtung nach Norden, also für die beladenen Züge, sechs Einfahr- und acht Ausfahrgleise für 504 und 510 Wagen, dazu 17 Ordnungsgleise für 880 Wagen. Dem Verkehr in der Gegenrichtung, also für die Leerwagen, dienen acht Einfahr- und zwölf Ordnungsgleise für 1010 Wagen. Die Verschiebelokomotiven sind mit Zusatzmotor versehen, der bei Bedarf die Achse unter dem Führerstand antreibt. Sie drücken bis 6000 t auf einmal über den Eselsrücken.

In den vergangenen 15 Jahren hat die Louisville und Nashville-Eisenbahn 319 neue Güterzug- und 50 Verschiebelokomotiven beschafft, wofür sie 40 bzw. 62 Lokomotiven ausgemustert hat. Zugleich hat sie durch Beschaffung von 21.669 Kohlenwagen bei 5880 Ausmusterungen ihren Wagenpark um 15.789 Einheiten vermehrt.

Während 1906 die durchschnittliche Ladefähigkeit eines Kohlenwagens 36,38 t betrug, ist sie heute auf 48,22 t gestiegen. Bei einer Vermehrung der Wagenzahl von 11.909 auf 38.818 ergibt dies eine Vermehrung um insgesamt 342%. Wie sich die Leistungsfähigkeit der Lokomotiven erhöhte, zeigt die folgende Zusammenstellung:

	Lokomotivgewicht (ohne Tender)		Zugkraft		Zuggewicht	
	t	t	t	t	t	t
Kentucky-Strecke 1906 bzw. 1928 . . . . .	65	145	12,6	28,6	1000	5500
Cumberlandtal-Strecke 1911 bzw. 1928 . . . . .	83	149	15,9	29,4	1630	5500
Ost-Kentucky-Strecke 1915 bzw. 1928 . . . . .	74	137	15,5	25,9	2100	4950

(Railway Age, Nr. 7. 18. Aug. 1928, S. 295.)

W.

## Buchbesprechungen.

### Der indizierte Wirkungsgrad der kompressorlosen Dieselmachine.

(Heft 314 der Forschungsarbeiten auf dem Gebiete des Ingenieurwesens) von Dr.-Ing. Fritz Schmidt. 22 Seiten mit 27 Abbildungen und 15 Zahlentafeln. Broschiert 4,50 *RM* für VDI-Mitglieder 4,- *RM*. DVI-Verlag Berlin.

Zur Beurteilung des Arbeitsverfahrens und der Bauart von Wärmekeftmaschinen hat man den Begriff des indizierten Wirkungsgrades — auch Gütegrad genannt — eingeführt. Diese Größe  $\eta_i$  gibt das Verhältnis der inneren Arbeit der ausgeführten Maschine zur Arbeit der vollkommenen Maschine oder das Verhältnis der entsprechenden thermischen Wirkungsgrade an. Zur Berechnung von Dampfmaschinen und Dampfturbinen hat sich der Wert  $\eta_i$  sehr bewährt. Die Arbeit der verlustlosen Maschine  $AL_0$  ist in diesem Falle in eindeutiger Weise durch das adiabatische

Wärmegefälle gegeben. Es ist jedoch noch nicht gelungen, auch für Verbrennungskraftmaschinen die Arbeit der verlustlosen Maschine in gleich einfacher und brauchbarer Form zu berechnen.

Die Arbeit bezweckt, für die kompressorlose Dieselmachine unter Berücksichtigung der Temperaturabhängigkeit der spez. Wärmen, der Gewichtsänderung der Ladung durch die Einspritzung des Brennstoffes, und der Verschiedenheit der Gaszusammensetzung vor und nach der Verbrennung einen Idealprozeß aufzustellen, auf den der tatsächliche Prozeß einer ausgeführten Maschine zur Ermittlung des indizierten Wirkungsgrades bezogen werden kann.

Die berechneten Wirkungsgrade  $\eta_0$  der vollkommenen Maschine werden für alle praktisch vorkommenden Fälle in Tabellen und Kurven dargestellt.

## Verschiedenes.

### Verkehrswissenschaftliche Woche.

Die Österreichische Verkehrswissenschaftliche Gesellschaft veranstaltet in der Zeit vom 3. bis 8. Juni 1929 in den Räumen der Hochschule für Welthandel in Wien die erste verkehrswissenschaftliche Woche. Am Vortragstisch werden bedeutende Fachmänner des In- und Auslandes erscheinen. Die Vorträge werden diesmal überwiegend den aktuellen Fragen des Eisenbahnwesens gewidmet sein. Einige Themen behandeln aber auch andere Verkehrsgebiete und Probleme von allgemeinem volkswirtschaftlichem Interesse. Die Vorträge werden so gehalten sein, daß sie den im Verkehrsleben beruflich tätigen Zuhörern Gelegenheit zur Bereicherung ihres Fachwissens und den Interessenten des Verkehrs manchen wertvollen Aufschluß über einschlägige fachliche und wirtschaftliche Fragen bieten werden. Im Anschluß an die Vorträge werden die Teilnehmer Gelegenheit erhalten, einige interessante Verkehrsanlagen und Betriebseinrichtungen unter sachkundiger Führung zu besichtigen. Die Gesellschaft wird in nächster

Zeit ihre Einladungen und Prospekte versenden, die über die Vortragsordnung und alle Einzelheiten der Veranstaltung Aufschluß geben werden.

### Preis Ausschreiben für den Behälterverkehr.

Die Deutsche Reichsbahn-Gesellschaft, Hauptverwaltung, hat in Nr. 15 der „Reichsbahn“ ein Preis Ausschreiben erlassen, das mithelfen soll, die Frage zu klären, ob auch für den Bereich der deutschen Eisenbahnen eine allgemeine Einführung von Transportbehältern empfohlen werden kann und ob von dem Behälterverkehr Dienliches für den Ausgleich zwischen Schienenweg und Kraftverkehr erwartet werden darf.

Für praktische Vorschläge, die den gestellten Anforderungen entsprechen, werden ein Preis von 5000 *RM*, ein Preis von 3000 *RM*, ein Preis von 2000 *RM* und vier Preise von 1000 *RM* ausgesetzt.

Wegen Einzelheiten verweisen wir auf die amtliche Veröffentlichung und auf das dem Heft 9 beigegebene Anzeigenblatt.