

Organ für die Fortschritte des Eisenbahnwesens

Technisches Fachblatt des Vereins Mitteleuropäischer Eisenbahnverwaltungen

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

92. Jahrgang

1. Februar 1937

Heft 3

Grenzen der Überhöhung in Gleisbogen.

Von Regierungsbaumeister a. D. Dr. Ing. Rudolf Vogel, Gesellschaft für Oberbauforschung, Berlin.

Hierzu Tafel 4.

Jahrzehntlang wurde von den deutschen und den meisten ausländischen Bahnen die Überhöhung $h = 120$ mm als das Größtmaß angesehen, das die Rücksicht auf langsamere Züge noch zuläßt. Einige ausländische Bahnen sind aber darin schon früher weiter gegangen; u. a. wählten englische Bahnen h bis zu etwa 150 mm und haben damit gute Erfahrungen gemacht. Die Einführung des Schnellverkehrs nötigte nun auch die Deutsche Reichsbahn, probeweise die Größtüberhöhungen auf 150 mm, neuerdings sogar auf 160 mm zu steigern. Gleichzeitig sind aber auch die Höchstgeschwindigkeiten von 120 km/h auf 180 km/h angewachsen; die Erfahrungen der ausländischen Bahnen, die sich nicht auf so hohe Geschwindigkeiten erstrecken, sind infolgedessen nur begrenzt verwertbar.

Es soll daher im folgenden untersucht werden, bis zu welchen Geschwindigkeiten und Bogenhalbmessern die Größtüberhöhung von 160 mm mit Rücksicht auf langsamere Züge möglich ist.

Nach Jaehn*) wird im normalspurigen Gleisbogen die Fliehkraft vollständig aufgehoben, wenn die Bogenaußenschiene um das Maß

$$h_0 = \frac{11,8 V^2}{R}$$

überhöht wird. Hierin ist h_0 die Überhöhung in mm, V die Fahrgeschwindigkeit in km/h und R der Bogenhalbmesser in m. Nach praktischen Erfahrungen, die in Jahrzehnten gesammelt sind, bleibt eine Fliehkraft (Beschleunigung) bis zu $p_b = 0,4$ m/sec² unter der „Empfindungsschwelle“. Sie entspricht einer Überhöhung von $c =$ rund 60 mm. Das Überhöhungsmaß darf daher auf

$$h = h_0 - c = \frac{11,8 V^2}{R} - 60$$

ermäßigt werden, ohne daß der Reisende das deutlich empfindet. Sind h und R gegeben, dann wird:

$$1) \dots \dots \dots V = \sqrt{\frac{h + 60}{11,8}} \cdot R$$

In Ausnahmefällen (z. B. Weichen) kann c auf 100 mm erhöht werden, da das diesem Maß entsprechende $p_b = 0,65$ m/sec² als noch erträglich gelten darf. Es bringen also

$$h = \frac{11,8 V^2}{R} - 100$$

und

$$2) \dots \dots \dots V = \sqrt{\frac{h + 100}{11,8}} \cdot R$$

noch erträgliche Fahrten.

Ebensowenig wie die Fliehkraft (Beschleunigung) $p_b = 0,4$ m/sec² empfindet der Reisende eine Zentripetalkraft (Verzögerung) $p_v = 0,4$ m/sec². Es kann also die Geschwindigkeit auf

$$3) \dots \dots \dots V' = \sqrt{\frac{h - 60}{11,8}} \cdot R$$

ermäßigt werden, ohne daß der Reisende einen nennenswerten Unterschied zu V spürt. Ebenso bleibt sein Empfinden annähernd wie bei 2), wenn die Geschwindigkeit auf

$$4) \dots \dots \dots V'' = \sqrt{\frac{h - 100}{11,8}} \cdot R$$

gesunken ist.

In den Zahlentafeln 1 und 2 sind V' und V'' für die wichtigsten, durch deutsche Oberbauvorschriften von 1915 und 1928 festgesetzten Höchstgeschwindigkeiten V , Halbmesser R und Überhöhungen h angegeben.

Bei den durch die preußischen Oberbauvorschriften von 1915 vorgeschriebenen Überhöhungen fahren langsamere Züge fast überall besser als die Züge mit V , weil nach der von

Jaehn aufgestellten Überhöhungsformel $h = \frac{11,8 V^2}{R} - 60$

(eingeklammerte Zahlen in Zahlentafel 1) bis zu 25 mm an der Überhöhung für V fehlen. Aber auch nach Berichtigung der Überhöhung bleibt der günstige Zustand für die langsameren Züge erhalten, wenn an den Höchstgeschwindigkeiten nichts geändert wird.

Zahlentafel 1.

Preußische Oberbauvorschriften von 1915.

R	$h = \frac{5V}{R}$ $(= \frac{11,8 V^2}{R} - 60)$ mm	V km/h	Be- ziehung zu R	$V' = \sqrt{\frac{h-60}{11,8}} \cdot R$ km/h	$V'' = \sqrt{\frac{h-100}{11,8}} \cdot R$ km/h
300	110 (105)	65	$3,75 \sqrt{R}$	36 (34)	16 (11)
400	90 (85)	70	$3,50 \sqrt{R}$	32 (29)	0
400	95 (105)	75	$3,75 \sqrt{R}$	34 (39)	0 (13)
500	80 (90)	80	$3,58 \sqrt{R}$	29 (36)	0
600	70 (80)	85	$3,47 \sqrt{R}$	23 (32)	0
700	65 (75)	90	$3,40 \sqrt{R}$	17 (30)	0
800	60 (75)	95	$3,36 \sqrt{R}$	0 (32)	0
900	55 (70)	100	$3,33 \sqrt{R}$	0 (28)	0
1000	55 (70)	105	$3,32 \sqrt{R}$	0 (29)	0
1100	50 (70)	110	$3,32 \sqrt{R}$	0 (31)	0
1200	50 (70)	115	$3,32 \sqrt{R}$	0 (32)	0
1300	45 (70)	120	$3,33 \sqrt{R}$	0 (33)	0
1500	40 (55)	120		0	0
2000	30 (25)	120		0	0
3000	20 (0)	120		0	0
4000	0	120		0	0

Anmerkung: Die eingeklammerten Zahlen beziehen sich auf Überhöhungen, die nach der Formel $h = \frac{11,8 V^2}{R} - 60$ berechnet sind.

*) Monatsschrift der Internationalen Eisenbahn-Kongreß-Vereinigung, November 1932.

Die Oberbauvorschrift 1928 sieht Höchstgeschwindigkeiten vor, die — von kleinen, durch Abrundungen bedingten Schwankungen abgesehen — einheitlich nach der Formel $V = 3,8\sqrt{R}$ festgesetzt wurden. Die Überhöhungen sind durch die Näherungsformel $h = \frac{8 \cdot V^2}{R}$ bestimmt und daher im Vergleich zu R größer als in Zahlentafel 1. Das Reisen in langsameren Zügen bleibt aber trotzdem überall durchaus erträglich, da erst bei Geschwindigkeiten unter 40 km/h, die selbst in den Streckengleisen der Nebenbahnen kaum vorkommen, Zentripetalkräfte $p_v \geq 0,65 \text{ m/sec}^2$ auftreten.

Zahlentafel 2.

Oberbauvorschriften der Deutschen Reichsbahn von 1928.

R m	$h = \frac{8 \cdot V^2}{R}$ ($= \frac{11,8 V^2}{R} - 60$) mm	V km/h	Be- ziehung zu R	$V' = \sqrt{\frac{h-60}{11,8}} \cdot R$ km/h	$V'' = \sqrt{\frac{h-100}{11,8}} \cdot R$ km/h
300	110 (105)	65	$3,75\sqrt{R}$	36 (34)	16 (11)
350	110 (105)	70	$3,74\sqrt{R}$	39 (37)	17 (12)
400	110 (105)	75	$3,75\sqrt{R}$	41 (39)	18 (13)
450	115 (105)	80	$3,77\sqrt{R}$	46 (41)	24 (14)
500	115 (110)	85	$3,80\sqrt{R}$	48 (46)	25 (21)
550	120 (115)	90	$3,84\sqrt{R}$	53 (51)	31 (26)
600	120 (115)	95	$3,88\sqrt{R}$	55 (53)	32 (28)
700	115 (110)	100	$3,78\sqrt{R}$	57 (54)	30 (24)
800	110 (105)	105	$3,71\sqrt{R}$	58 (55)	26 (18)
800	120 (120)	110	$3,88\sqrt{R}$	64 (64)	37 (37)
900	120 (115)	115	$3,83\sqrt{R}$	68 (65)	39 (34)
1000	115 (110)	120	$3,80\sqrt{R}$	68 (65)	36 (29)
1100	105 (95)	120		65 (57)	22 (0)
1200	95 (80)	120		60 (45)	0
1300	90 (70)	120		58 (33)	0
1400	80 (60)	120		48 (0)	0
1500	75 (55)	120		44 (0)	0
1700	70 (40)	120		38 (0)	0
2000	60 (25)	120		0	0
2500	45 (10)	120		0	0
3000	40 (0)	120		0	0
4000	30 (0)	120		0	0
5000	25 (0)	120		0	0
6000	20 (0)	120		0	0

Anmerkung: Die eingeklammerten Zahlen beziehen sich auf Überhöhungen, die nach der Formel $h = \frac{11,8 V^2}{R} - 60$ berechnet sind.

Nach Schramm*) sind für den Triebwagenverkehr die aus Zahlentafel 3 ersichtlichen Höchstgeschwindigkeiten vorgesehen, und zwar zunächst für $h_{\max} = 150 \text{ mm}$. Hierbei wird $c = \frac{11,8 V^2}{R} - h$ bis zu 99 mm groß. Wenn auch die Kürze der Reisezeit in Triebwagen das Vorkommen hoher Fliehkräfte erträglich erscheinen läßt, zumal Gehen oder Stehen — wie in Personenzügen — auf Seltenheiten beschränkt ist und die Sitze in den Triebwagen neuester Bauart den Reisenden seitlich gut stützen, wird neuerdings doch angestrebt, c nahe an 90 mm zu halten. Es bleiben dann die Fliehkräfte auch

*) Beitrag zur Gleisbogengestaltung für hohe Fahrgeschwindigkeiten, Org. Fortschr. Eisenbahnwes. 1934, Heft 23.

noch in der Nähe der Höchstgrenze von $0,65 \text{ m/sec}^2$, wenn kleine, selbst bei sorgfältigster Unterhaltung unvermeidbare Höhen- und Richtungsfehler entstanden sind. Das wurde durch Vergrößerung von h auf 160 mm (eingeklammerte Zahlen in Zahlentafel 3) ohne Geschwindigkeitsverluste erreicht. Diese Maßnahme ermöglicht ferner, die Geschwindigkeiten teilweise zu erhöhen, beispielsweise bei $R = 1300 \text{ m}$ auf 165 km/h. Weiterhin ist V_{\max} auf 180 km/h bei $R = 1600 \text{ m}$ gesteigert worden.

Kommt ein Zug in einem überhöhten Gleisbogen vor dem Signal zum Halten, dann bedeutet naturgemäß die Überhöhung von 150 oder gar 160 mm eine starke Unbehaglichkeit für den Reisenden. Aber das muß ihm schließlich zugunsten des Schnellverkehrs zugemutet werden. Das Halten vor Signalen ist ja besonders bei der Deutschen Reichsbahn eine erfreulich seltene Erscheinung; außerdem schließt nicht an jeden Bahnhof ein Bogen mit starker Überhöhung an. Wenn jedoch große Unstetigkeiten regelmäßig und häufig vorkommen, dann wird sie der Reisende mit Recht als übergroße Zumutung empfinden. Der Benutzer des Personenzuges hat ja den gleichen Anspruch auf Annehmlichkeit des Reisens wie der Fahrgast im Schnelltriebwagen. Auch im Hinblick auf die Reisedauer kann ihm keine größere Unbequemlichkeit zugemutet werden, weil die in Vergleich stehenden Triebwagen ebenfalls kurze Reisezeiten haben. Es sind vor allem lang anhaltende große Zentripetal- oder Fliehkräfte, die dem Fahrgast unbehaglich werden. Fährt beispielsweise ein Zug mit 70 km/h Geschwindigkeit durch einen 600 m langen Gleisbogen mit 1450 m Halbmesser, der für $V_{\max} = 175 \text{ km/h}$ eingerichtet ist und daher 160 mm Überhöhung erhalten hat, dann wirkt auf den Fahrgast eine halbe Minute lang eine Zentripetalkraft

$$p_v = 0,77 \text{ m/sec}^2 \text{ ein, da } c = 160 - \frac{11,8 \cdot 70^2}{1450} = 120 \text{ mm}$$

beträgt. Der Reisende im Schnelltriebwagen hat dagegen nur 13 Sekunden lang eine Fliehkraft $p_b = 0,58 \text{ m/sec}^2$ auszuhalten, da $c = \frac{11,8 \cdot 175^2}{1450} - 160 = 89 \text{ mm}$ ist. Der Fahrgast im Schnelltriebwagen ist daher in doppelter Hinsicht, nach Zeit und Ausmaß, begünstigt. Vielfach wird der Standpunkt vertreten, daß man bei p_v weiter gehen könne, weil sie nach der Seite der Sicherheit wirkt. Ist das ein maßgebender Gesichtspunkt? Triebwagen fahren bei $c = 90 \text{ mm}$ mit sieben bis achtfacher Sicherheit gegen Entgleisung. Sie wird durch $c = 100$ auf das sechs- bis siebenfache herabgedrückt, ist also immer noch so hoch, daß noch etwas größeres Absinken ebensowenig Gefahr bringt, wie hohe Verzögerung. Bei Zentripetalkraft könnte man höchstens

deshalb etwas weiter gehen, weil sie nicht so großen Schwankungen unterliegt, wie die Fliehkraft. Sie kann nur durch Höhenfehler etwas verändert werden, dagegen die Fliehkraft durch Höhen- und außerdem Richtungsfehler. Dem wird aber bereits Rechnung getragen, wenn man das c für Fliehkraft auf 90 bis 95 mm, für Zentripetalkraft aber auf rund 100 mm festlegt. Gl. 4) soll deshalb für die folgenden Untersuchungen über das Verhalten der Personenzüge als richtunggebend gelten.

Es fragt sich nun, welche Geschwindigkeit (V'') bei Personenzügen als untere Grenze über längere Strecken (d. h. außer Anfahr- und Bremszonen) anzusehen ist. Die für den Schnellverkehr eingerichteten Strecken haben in der Regel

so günstige Linienführung und Steigungsverhältnisse, daß Personenzüge und schwer belastete D-Züge — wenigstens in Gleisbogen mit $R > 1000$ m — nur ganz selten unter 70 km/h kommen, meistens sogar 80 km/h bequem erreichen und zwischen den Brems- und Anfahrzonen gut halten können. Als obere Begrenzung der Überhöhung, die wiederum die Höchstgeschwindigkeit der Triebwagen und Schnelldampfpzüge begrenzen kann, wären danach anzusetzen

5) . . . Begrenzungslinie I:

$$h = \frac{11,8 V'^2}{R} + 100,$$

worin $V' = 70$ oder 80 km/h zu wählen wäre. Dem Zuge der Zeit folgend, werden wahrscheinlich auch die Personenzüge eine kleine Geschwindigkeitssteigerung erfahren, so daß voraussichtlich mit $V'' = 80$ km/h auf die langsameren Züge ausreichend Bedacht genommen wird.

Nach Abb. 1 kann hierbei die Größtüberhöhung $h_{\max} = 160$ mm bis zu $R = 1200$ m beibehalten werden; dann fällt sie allmählich auf 145 mm bei $R = 1600$ m ab. Die für diesen Halbmesser geplante Höchstgeschwindigkeit V der Triebwagen von 180 km/h wird durch die ermäßigte Überhöhung nicht beschränkt, da bei $h = 145$ mm ein $c = \frac{11,8 V^2}{R} - h = 94$ mm entsteht.

Die nach Zahlentafel 3 vorgesehene Staffelung der Geschwindigkeiten bleibt sonach auch bei Berücksichtigung langsamerer Züge möglich; es erscheint sogar bei $R = 1200$ m $V = 160$ km/h zulässig, da hierfür $c = 92$ mm wird. Zunächst bereitet also die Rücksichtnahme auf langsame Züge — immer vorausgesetzt, daß sich $V'' = 80$ km/h wirklich als zulässig erweist — keine große Sorge. Werden aber die Höchstgeschwindigkeiten weiterhin, beispielsweise bis 200 km/h gesteigert, dann verlangen die langsameren Züge stärkere Beachtung.

Bei Halbmessern $R < 1200$ m kommt man mit der Begrenzungslinie I nicht aus. Wenn beispielsweise für $R = 325$ m die Höchstgeschwindigkeit $V = 80$ km/h zugelassen wird, kann man nicht damit rechnen, daß auch die Mindestgeschwindigkeit $V'' = 80$ km/h werden wird. So kleine Halbmesser kommen fast nur in Flußtalern vor, in denen meistens auch große Steigungen vorhanden sind. Während sie der Triebwagen mit $V = 80$ km/h noch bequem überwindet, erleidet ein schwerer Personenzug erhebliche Geschwindigkeitsminderungen. Daher erscheint es zweckmäßig, für Halbmesser $R < 1200$ m und $V < 160$ km/h die

6) Begrenzungslinie II:

$$h = \frac{11,8 \left(\frac{1}{2} V\right)^2}{R} + 100$$

vorzusehen. Sie verläuft nach Abb. 1, Taf. 4

mit kleinen Abweichungen bis herab zu $R = 325$ m fast waagrecht in Höhe von 160 mm und fällt dann ab. Es ergibt sich also auch aus der Rücksichtnahme auf langsame Züge $h_{\max} = 160$ mm unter Zugrundelegung der von der Reichsbahn vorgesehenen Staffelung. In Abb. 1, Taf. 4 sind zur Vermeidung von Sprüngen zwischen $R = 300$ und 400 m, sowie $R = 800$ und 1200 m etwas feinere Unterteilungen vorgenommen worden, als bisher üblich war. Da in der

Zahlentafel 3.

Geplante Höchstgeschwindigkeiten und Überhöhungen für Triebwagenverkehr.

1	2	3	4	5	6	7
R	V	h	c	V' in km/h	V'' in km/h	
m	km/h	Beziehung zu R	mm	$= \frac{11,8 V^2}{R} - h$	$= \sqrt{\frac{h-60}{11,8}} \cdot R$	$= \sqrt{\frac{h-100}{11,8}} \cdot R$
180	50	3,73 \sqrt{R}	110	54	28	12
200	55	3,89 \sqrt{R}	120	58	32	18
225	60	4,00 \sqrt{R}	125	64	35	22
250	65	4,11 \sqrt{R}	130	69	39	25
275	70	4,22 \sqrt{R}	135	75	42	29
300	75	4,33 \sqrt{R}	140	81	45	32
350	80	4,28 \sqrt{R}	145	71	50	37
400	90	4,50 \sqrt{R}	150	89	55	41
450	95	4,48 \sqrt{R}	150	87	59	44
500	100	4,47 \sqrt{R}	150	86	62	46
550	105	4,48 \sqrt{R}	150	87	65	48
600	110	4,49 \sqrt{R}	150	88	68	50
700	120	4,54 \sqrt{R}	150 (160)	93 (83)	73 (77)	54 (60)
800	130	4,60 \sqrt{R}	150 (160)	99 (89)	78 (82)	58 (64)
900	135	4,50 \sqrt{R}	150	89	83	62
1000	145	4,59 \sqrt{R}	150 (160)	98 (88)	87 (92)	65 (71)
1100	150	4,52 \sqrt{R}	150	92	92	68
1200	155	4,48 \sqrt{R}	150	86	96	71
1300	160	4,44 \sqrt{R}	150	82	99	74
(1300)	(165)	4,58 \sqrt{R}	(160)	(88)	(105)	(81)
(1600)	(180)	4,50 \sqrt{R}	150	89	110	82
[1900]	[200]	4,59 \sqrt{R}	150 (160)	98 (88)	120 (127)	90 (98)

Zahlentafel 4.

Geschwindigkeitsbeschränkung in Bahnsteiggleisen.

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Bogenhalbmesser R	Überhöhung h_{\max}	Fahrtgeschwindigkeit V_{\max}	Zulässige Geschwindigkeiten in Bahnsteiggleisen					
m	mm	km/h	$V = \sqrt{\frac{R \cdot h}{n}}$, worin $n = 9 - \frac{V}{100}$			$V \leq \sqrt{\frac{h+95}{11,8}} \cdot R$		
			bei Beschränkung von h_{\max} auf h in mm					
			60	80	100	60	80	100
300	155	75	45	55	60	60	65	70
500	160	100	60	70	80	80	85	90
700	160	120	70	85	95	95	100	105
1000	160	145	85	100	115	115	120	125
1300	155	165	100	115	130	130	135	145
1600	145	180	110	130	145	145	150	160

Zahlen-

Überhöhung in

Die Überhöhung ist im allgemeinen nach der Formel $h = \left(9 - \frac{V}{100}\right) \frac{V^2}{R} \approx 160 \text{ mm}$ zu bemessen; hierbei
 Fahrgeschwindigkeit in km/h und

Bogenhalb- messer R m	Fahrgeschwindigkeit V in km/h															
	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90
	$9 - \frac{V}{100}$															
	8,85	8,80	8,75	8,70	8,65	8,60	8,55	8,50	8,45	8,40	8,35	8,30	8,25	8,20	8,15	8,10
Überhöhung h in mm																
12000																
10000																
8000																
7000																
6000																
5000																
4000																
3500																20
3000															20	20
2500													20	20	25	25
2200												20	20	25	25	30
2000											20	20	25	25	30	35
1900											20	20	25	30	30	35
1800											20	25	25	30	35	35
1700										20	20	25	25	30	35	40
1600										20	20	25	30	35	35	40
1500										20	25	25	30	35	40	45
1400									20	20	25	30	35	35	40	45
1300									20	25	25	30	35	40	45	50
1200								20	20	25	30	35	40	45	50	55
1133								20	25	25	30	35	40	45	50	60
1067								20	25	30	35	40	45	50	55	60
1000								20	25	30	35	40	45	50	60	65
933							20	25	25	30	40	45	50	55	65	70
867							20	25	30	35	40	45	55	60	70	75
800							20	25	30	40	45	50	60	65	75	80
750						20	25	30	35	40	45	55	60	70	80	85
700						20	25	30	35	45	50	60	65	75	85	95
650						20	25	35	40	45	55	65	70	80	90	100
600					20	25	30	35	45	50	60	70	75	85	100	110
550					20	25	30	40	45	55	65	75	85	95	105	120
500					20	30	35	45	50	60	70	80	95	105	120	130
450					25	30	40	45	55	65	80	90	105	115	130	145
400				20	25	35	45	55	65	75	90	100	115	130	145	160
360				20	30	40	50	60	70	85	100	115	130	145	160	
325				25	35	40	55	65	80	95	110	125	145	160		
300			20	25	35	45	60	70	85	100	120	135	155			
275			20	30	40	50	65	75	95	110	130	150				
250			20	30	40	55	70	85	100	120	140					
225			25	35	45	60	75	95	115	135						
200		20	25	40	55	70	85	105	130							
175		20	30	45	60	80	100	120								
150		25	35	50	70	90	115									
125		30	45	65	85	110										
100	20	35	55	80	105											

Anmerkung: Nur die 3 stark gedruckten Zahlen (160) weichen von $h = \left(9 - \frac{R}{100}\right) \frac{V^2}{R}$ ab.

Praxis aber unrunde Halbmesser ebenso häufig oder häufiger vorkommen als runde, steht meiner Ansicht nach nichts im Wege, sie auch in die Vorschriften aufzunehmen. Bringen runde Halbmesser keine Unstetigkeiten oder sonstige Nachteile, dann wird man sie naturgemäß gern für die Geschwindigkeitssprünge wählen, weil sie leicht im Gedächtnis zu behalten sind. $6 \times 66^{2/3}$ von 800 bis 1200 m ist aber schließlich auch zu merken.

Die zu wählenden Überhöhungen dürfen ferner

7) . . . Begrenzungslinie III: $h = \frac{11,8 V^2}{R} - 95$

nicht unterschreiten. Sie ist ebenfalls in Abb. 1 eingetragen (gestrichelte Linie). Während sie bei Halbmessern über 1200 m nur 2 bis 5 mm unter der Begrenzungslinie I liegt, entfernt sie sich bei Halbmessern zwischen 360 und 1200 m bis zu 19 mm (bei R = 500 m) von der Begrenzungslinie II. Wird h = 160 mm gewählt, dann wird c bei R = 500 m auf 76 mm verringert. Man könnte daher h hier einschränken. Das ist aber insofern nicht ratsam — vorausgesetzt, daß $h_{max} = 160$ mm sich nicht in anderer Hinsicht als nachteilig erweist —, als ein kleineres c bei kleinen Halbmessern durchaus erwünscht ist. Bis etwa 65 km/h und R = 250 m fahren alle Zuggattungen überwiegend mit Höchstgeschwindigkeit, so daß viele Achsen die Bogenaußenschienen mit großen Spurkranzdrücken anfahren und entsprechend abnutzen. Werden hier auch für die Höchstgeschwindigkeiten nur kleine c zugelassen, dann fällt die Abnutzung erträglich aus. Bei größeren Halbmessern nutzt die große Zahl der Güterzugachsen die Bogenaußenschienen wenig ab, da ihre Geschwindigkeit im Vergleich zum Halbmesser gering ist, ihr c also kleiner und sogar negativ wird und daher auch die Anlaufdrücke stark sinken. Deshalb kann das c der Personen- und D-Züge ohne Schaden für die Wirtschaftlichkeit etwas höher werden. Von etwa 325 m und V = 80 km/h ab fallen die Personenzüge, von R = 500 m und V = 100 km/h ab die D-Züge und von R = 700 m und V = 120 km/h ab die FD-Züge als starke Ab-

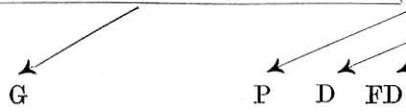
nutzer der Bogenaußenschienen aus. Es bleibt dann nur noch die geringe Achszahl der Triebwagen und Schnelldampzüge übrig. Das c wird hier nicht mehr durch Rücksichtnahme auf die Abnutzung begrenzt, sondern lediglich im Hinblick auf die erträgliche Fliehkraft. Bei c (rechnerisch) = 95 mm als Grenze wird auch noch bei Höhenfehlern ± 5 mm die Fliehkraft unter dem Höchstwert (0,65 m/sec² und c = 100 mm) gehalten. Die Staffelung in Zahlentafel 3 und Abb. 1 im Verein mit Überhöhungen, die den Begrenzungslinien I und II nahekommen, entspricht sonach vernünftigen wirtschaftlichen Gesichtspunkten.

Es kommt nun darauf an, eine einfache Formel zu finden, die zu den in Abb. 1, Taf. 4 eingetragenen Grenzlinien passende Überhöhungen liefert. Sehr angenehm wäre es, wenn man die bereits eingeführte, von Jaehn*) entwickelte Überhöhungsformel $h = \frac{8 V^2}{R}$ beibehalten könnte. Leider paßt sie aber, wie die stark punktierte Linie in Abb. 1 (Überhöhungen wie üblich auf volle 5 mm abgerundet) zeigt, nur bis zu R = 600 m und V = 110 km/h. Bei größeren R und V übersteigt sie die Grenzlinien erheblich. Etwas besser eignet sich für große R und V die dünn punktiert eingetragene Linie $h = 7,5 \frac{V^2}{R}$; es fallen dann aber die Überhöhungen bei kleinen Halbmessern zu gering aus. Man könnte erwägen, $h = \frac{8 V^2}{R}$ durch $\bar{\bar{160}}$ mm und $\frac{11,8 \cdot 80^2}{R} + 100 \bar{\bar{2}}$ rund $\frac{75000}{R} + 100$ zu begrenzen. Das hat aber den Nachteil, daß die so entstehenden Größtüberhöhungen auch noch bei ermäßigten Geschwindigkeiten, beispielsweise $h_{max} = 145$ mm für R = 1600 m bis herab zu V = 170 km/h bestehen bleiben. Den Reisenden in langsamen Zügen wird dadurch hohe Zentripetalkraft zugemutet, ohne daß für den schnellsten Zug eine Notwendigkeit dazu vorliegt. Die Häufigkeit des Vorkommens von c = 100 mm, das ja nicht

Zahlentafel 6.

Bogenhalbmesser R in m	Überhöhung h in mm = $\frac{8 V^2}{R}$ (V = 3,8√R für schnellste FD)	Zuggattung												
		G			P			D			FD			
		Fahrgeschwindigkeit V in km/h												
		50	60	70	80	90	100	110						
		$c = \frac{11,8 V^2}{R} - h$												
1300	90	-67			-46				-16					+20
1200	95	-70			-47				-15					+24
1100	105	-78			-52				-18					+25
1000	115	-85			-57				-19					+28
900	120	-87			-56				-14					+39
800	120	-83			-48				-1				+43	
700	115	-73			-32				+22					
600	120	-71			-24				+39	+58	+54			
550	120	-66			-15				+54					
500	115	-56			±0			+56						
450	115	-49			+13									
400	110	-36			+35	+56	+53							
350	110	-25			+55									
300	110	-12												+56

G = Güterzüge
 P = Personenzüge
 D = D-Züge
 FD = Fern-D-Züge



Zahlentafel 7.

Bogen- halb- messer R m	Überhöhung h in mm $= \left(9 - \frac{V}{100}\right) \frac{V^2}{R}$ (V = 4,5√R für schnellste FDt)	Z u g a t t u n g													
		G	P	D	D	D	D	D	D	D	D	FDt			
		Fahrgeschwindigkeiten V in km/h													
		60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	
		$c = \frac{11,8 V^2}{R} - h$													
1600	145	118													
1500	150	122													
1400	150	120													
1300	155	122													
1200	160	125													
1133	160	122													
1067	160	120													
1000	160	118													
933	160	115													
867	160	111													
800	160	107													
750	160	103													
700	160	99													
650	160	95													
600	160	89													
550	160	83													
500	160	75													
450	160	65													
400	160	54													
360	160	42													
325	160	29													
300	155	13													

G = Güterzüge
P = Personenzüge
D = D-Züge
FD = Fern-D-Züge
FDt = Schnelltriebwagen und Dampfzüge in Stromlinienform

bequem, sondern nur eben noch zu ertragen ist, steigt dadurch unnötigerweise.

Den zu stellenden Anforderungen wird dagegen eine Überhöhungsformel gerecht, bei der der Faktor n der Allgemeinform $h = n \frac{V^2}{R}$ veränderlich gemacht wird.

Am besten paßt die Formel

$$8) \dots h = \left(9 - \frac{V}{100}\right) \frac{V^2}{R} \approx \approx 160 \text{ mm.}$$

Nach Abb. 2, Taf. 4 verläuft die Überhöhungslinie bei $R > 1200 \text{ m}$ zwischen den Begrenzungslinien I und III in Abb. 1, wie es sein soll. Zwischen $R = 325 \text{ m}$ und 1200 m hält sie sich überwiegend auf 160 mm entsprechend der Begrenzungslinie III. Nur an zwei Stellen entstehen 5 mm mehr, die man aber durch die Grenze $h \approx 160 \text{ mm}$ wegbringen kann. Auch durch $\left(8,9 - \frac{V}{100}\right)$ könnte man $h = 165 \text{ mm}$ vermeiden, dann sinkt aber an einer anderen Stelle die Überhöhungslinie etwas unter die Begrenzungslinie III. Daher ist $\left(9 - \frac{V}{100}\right)$ zweckmäßiger.

Überall gehen die Überhöhungen gleichzeitig mit dem Absinken von V rasch zurück. Zwar würde bei allgemeiner Anwendung der Überhöhungsformel

$$h = \frac{11,8 V^2}{R} - 90$$

das Absinken noch etwas schneller eintreten, jedoch auch dann noch, wenn h kleiner als 100 mm geworden ist. Dann stört sie in keinem Falle mehr die langsamen Züge, sondern bringt nur Vorteile (Schonung der Bogenaußenschienen). Außerdem bringt $h > \frac{11,8 V^2}{R} - 90$ zu

kleine Überhöhungen bei $R < 800 \text{ m}$. Wieviel besser die der Jaehnschen Formel $h = \frac{8 V^2}{R}$ nahekommende

Formel $h = \left(9 - \frac{V}{100}\right) \frac{V^2}{R}$ diesen scheinbar widerstre-

bremsenden D-Züge können dann schon, wie ich selbst beobachtete, die Tischgeräte ins Rutschen kommen. In einem mir bekannt gewordenen Falle haben sogar die sitzenden Reisenden das Gleichgewicht verloren; hier war allerdings das c dadurch stark erhöht worden, daß der voll besetzte D-Zugwagen etwas schief lag. Damit muß man aber immer rechnen. Jedenfalls macht diese Beobachtung darauf aufmerksam, daß die Grenze des Erträglichen manchmal schon etwas überschritten worden ist.

Sollte es sich herausstellen, daß die Begrenzungslinie für $V'' = 80$ km/h zu häufig über der Normalgeschwindigkeit vieler Personenzüge liegt oder $c = 100$ mm schon etwas unbehaglich wird, dann käme die Staffelung nach Abb. 3, Taf. 4 in Frage, die die Höchstgeschwindigkeiten der Triebwagen zugunsten der langsameren Züge bis zu 5 km/h einschränkt. Die hierfür geeignete Überhöhungsformel ist

$$h = \left(8,8 - \frac{V}{100} \right) \frac{V^2}{R}.$$

Sie bedarf keiner weiteren Begrenzungen und beschränkt außerdem $h_{\max} = 160$ mm auf Ausnahmen.

Es bleibt nunmehr nur noch die Untersuchung übrig, wie sich die großen Überhöhungen auf die Belastung und damit Abnutzung der Innenschienen auswirken können. Ein Bild hierüber erhält man am einfachsten dadurch, daß man die $c = \frac{11,8 V^2}{R} - h$ für die mittleren Geschwindigkeiten der verschiedenen Zuggattungen ermittelt und in Tabellenform gegenüberstellt. Wird c positiv, dann ist die Außenschiene stärker belastet, wird c negativ, dann trägt die Innenschiene den größten Teil der Achslast.

Zahlentafel 6 bezieht sich auf die Überhöhungen und Geschwindigkeiten, die nach Oberbauvorschrift 1928 zulässig waren. Es sind als bisherige mittlere Geschwindigkeiten geschätzt:

Güterzüge (G)	50 km/h
Personenzüge (P)	70 km/h
D-Züge (D)	90 km/h
FD-Züge (FD)	110 km/h

Die Überhöhungen h sind entsprechend der Vorschrift nach den planmäßig größten Geschwindigkeiten, also $V = \approx$ rund $3,8 \sqrt{R} \approx 120$ km/h bei $h_{\max} = 120$ mm bemessen.

In Gleisbogen mit $R > 500$ m sind nach Zahlentafel 6 sowohl die positiven c von D- und FD-Zügen als auch die negativen c von Personen- und D-Zügen kleiner als 60 mm; Güterzüge haben ausschließlich negative c über 60 mm bis zu 87 mm. Die Innenschienen werden daher bei $R > 500$ m stärker belastet, besonders da die Zahl der Güterzugachsen in der Regel überwiegt. Erfahrungsgemäß bleibt aber die Höhenabnutzung der Innenschienen trotz dieser Überbelastung, die bei $R = 600$ bis 1000 m am stärksten ist, in wirtschaftlich tragbaren Grenzen. In Gleisbogen mit $R \leq 500$ m werden die

Außenschienen etwas stärker belastet; zum Ausgleich sind die Einflüsse der Gleitbewegungen der Achsen (quer und längs zum Gleis), die vorwiegend die Fahrflächen der Innenschienen angreifen, stärker, so daß praktisch die Höhenabnutzungen bei beiden Schienen im Durchschnitt annähernd gleich ausfallen.

Wesentlich ungünstiger liegen die Verhältnisse in den Gleisbogen, die für Schnellverkehr eingerichtet sind (Zahlentafel 7). Obwohl die Durchschnittsgeschwindigkeiten aller Zuggattungen, die — dem Zuge der Zeit folgend — auch eine Steigerung erfahren werden, je 10 km/h höher angesetzt sind, werden die c aller Züge außer FDT bei Halbmessern über 1000 m negativ, und zwar wesentlich stärker, als in Zahlentafel 6 bei G-, P- und D-Zügen über 800 m. Zwischen $R = 700$ m und $R = 1000$ m sind die Belastungsverhältnisse günstiger, aber doch noch nicht so gut wie zwischen $R = 500$ und $R = 800$ m in Zahlentafel 6. Bei $R \leq 700$ m ist die Lastverteilung auf Innen- und Außenschienen leidlich ausgeglichen. Daraus geht hervor, daß die Überhöhungen von 160 mm in diesem Bereich nicht von Nachteil für die Innenschienen sind, wohl aber bei den größeren Halbmessern. Sollte sich die Befürchtung bestätigen, daß hier die Innenschienen durch die langsamen Züge breitgefahren werden, dann müßte für sie verschleißfester Stahl gewählt werden. Diese Mehrausgabe ist aber schließlich im Hinblick auf die Vorteile des Schnellverkehrs lohnend. Im übrigen ist die Zahl und die Länge der Bogen, die hierfür in Frage kommt, gar nicht sehr groß.

Der Einbau verschleißfester Innenschienen ist nicht mehr nötig, wenn aus irgendwelchen Gründen die planmäßige Höchstgeschwindigkeit für FDT kleiner ist als $4,5 \sqrt{R}$, beispielsweise $4 \sqrt{R}$, und h nach Gl. 8) bestimmt wird. Das geht aus Zahlentafel 8 hervor. Es erweist sich also auch in wirtschaftlicher Hinsicht die Einführung der vorgeschlagenen Überhöhungsformel als vorteilhaft. Sie paßt ferner gleich gut für Strecken mit $V_{\max} = 120$ km/h und darunter. Auch wenn Triebwagen mit Achsübersteuerung und Pendelaufhängung nach den Vorschlägen von Bäseler oder Deischl eingeführt werden sollten, bleibt die Überhöhungsformel geeignet, da große Überhöhungen hierdurch nicht überflüssig werden. Nur müßte dann für die Bemessung von h die größte Geschwindigkeit (V) von Dampfzügen oder Triebwagen jetziger Bauart angesetzt werden.

Zusammenfassung. Es wird vorgeschlagen, mit Rücksicht auf langsamere Züge die Überhöhung in Gleisbogen mit Halbmessern über 1200 m kleiner als 160 mm zu wählen und unter Zugrundelegung der Stufung in Abb. 2, Taf. 4 und Zahlentafel 5 allgemein nach der Gleichung

$$h = \left(9 - \frac{V}{100} \right) \frac{V^2}{R}$$

zu berechnen, jedoch für Ausnahmen

$$h \geq \frac{11,8 V^2}{R} - 95$$

zuzulassen.

Die kraftschlüssige Verspannung der Gleisteile.

Von Regierungsbaumeister B. Hofer, München.

Die dauernde, kraftschlüssige Verspannung der Gleisteile ist eine schon seit langem erkannte, unbedingte Notwendigkeit für einen guten Oberbau. Es ist deshalb auffällig, daß bis jetzt mit keiner der gebräuchlichen Oberbauformen eine auf die Dauer befriedigende Lösung erreicht wurde. Es soll nun im nachstehenden untersucht werden, warum die bisherigen Befestigungsmittel (Schienennagel und Schwellenschraube) diese Aufgabe nicht oder nur unvollkommen erfüllt haben, und welche Schlußfolgerungen sich daraus für die Befestigungsmittel ergeben.

Die einfachste Befestigung, die auch heute noch zum weitaus größten Teil im Ausland verwendet wird, ist die durch Schienennägel, wobei Schiene, Unterlegplatte und Schwelle gemeinsam durch ein- und dieselben Nägel zusammengehalten werden. Auf die Dauer hält diese einfache Befestigung jedoch den Betriebsbeanspruchungen nicht stand, die kraftschlüssige Verbindung der Gleisteile geht bald verloren; die schlimmen Folgen sind jedem Fachmann bekannt. Die Ursache des Lockerwerdens sah man darin, daß sich die Schienennägel aus der Schwelle herauszogen; man erhöhte deshalb die Haft-

festigkeit der Befestigungsmittel in der Schwelle und ersetzte, namentlich in den europäischen Ländern, den Schienennagel durch die Schwellenschraube. Doch auch bei diesem verbesserten Befestigungsmittel traten in kurzer Zeit dieselben Lockerungserscheinungen auf, wie bei einfachen Schienennägeln. Auf Grund dieser weiteren Erfahrung wurde dann die Anschauung vertreten, daß bei gemeinsamer Befestigung von Schiene und Platte „an die Schwellenschraube zwei widersprechende Anforderungen gestellt werden, einerseits mäßige, der Festigkeit des Holzes entsprechende Zugspannungen innerhalb der Schwelle, andererseits möglichst kräftige Spannungen zwischen Platte und Schiene“ (Bräuning: Grundlagen des Gleisbaues, S. 75), und daß die Haftfestigkeit der Schraube in der Schwelle diesen Anforderungen nicht genügt. Man glaubte deshalb, die als notwendig erkannte dauernde Verspannung nur durch Trennung der Schienenbefestigung von der Plattenbefestigung unter gleichzeitiger Vermehrung der Schwellenschrauben erreichen zu können. „Durch die getrennte Schienenbefestigung wird es möglich, die Schiene unabhängig von der Haftfestigkeit der Schwellenschrauben außerordentlich fest und sicher mit ihrer nächsten Unterlage zu verbinden, die Schwellenschrauben aber unabhängig von der Schiene so zu verteilen und zu vermehren, daß sie vollkommen gleichmäßig und nicht zu stark beansprucht werden und dauernden, innigen Schluß zwischen Schwelle und Platte gewährleisten“ (Bräuning: Grundlagen des Gleisbaues, S. 76). Dieser Gedanke der getrennten Befestigung von Platte und Schiene wurde deshalb auch als unbedingt einzuhaltende Richtlinie für den neuen Reichsoberbau aufgestellt. Bei diesem wird die Schiene durch zwei Hakenschrauben auf der Platte befestigt, und diese wieder durch vier Schwellenschrauben auf der Schwelle. Im neuen Zustand wurde auch tatsächlich sowohl zwischen Schiene und Platte als auch zwischen Platte und Schwelle eine festere und haltbarere Verbindung erreicht, was bei den aufgewendeten technischen und geldlichen Mitteln ja nur selbstverständlich ist. Die zehnjährige Erfahrung mit der getrennten Befestigung hat aber bewiesen, daß die innige, kraftschlüssige Verbindung zwischen den Gleisteilen, besonders zwischen Platte und Schwelle, zwar langsamer als beim Oberbau ohne getrennte Befestigung, aber doch in absehbarer Zeit aufgehoben wurde. Schwellenschrauben und Platte wurden ebenso wie bei der nicht getrennten Schienenbefestigung lose. Die dauernde kraftschlüssige Verbindung wurde also auch durch die getrennte Schienenbefestigung ebensowenig voll erreicht wie bei der einfachen Befestigung.

Ursachen der Lockerung:

Aus der Tatsache, daß auch mit der getrennten Befestigung keine dauernde Verspannung zwischen Schwelle und Platte erreicht wurde, drängt sich der Gedanke auf, daß die Ursache dieses Versagens nicht in einer zu geringen Haftfestigkeit der Befestigungsmittel in der Schwelle liegen kann. Eine rechnerische Überlegung der Beanspruchung der Befestigungsmittel im neuen Zustand beweist das auch ohne weiteres.

Bei einem neuverlegten einfachen Oberbau sind Schiene, Unterlegplatte und Schwelle durch die Schienennägeln oder Schwellenschrauben zunächst kraftschlüssig miteinander verbunden. Für diesen Zustand soll die Beanspruchung der Befestigungsmittel untersucht werden. Bei der Wellenbewegung der Schiene reißt diese bei ihrer Aufwärtsbewegung die Schwelle und die Unterlegplatte an den Nägeln oder Schrauben mit hoch. An den Befestigungsteilen wirkt als Kraft das Gewicht der Schwelle und der Unterlegplatte, das je nach Holzart und Plattengröße zwischen 80 und 120 kg schwanken kann. Dazu kommt noch die Beschleunigungskraft durch das plötzliche Hochreißen der Schwelle. Setzt man das Höchstgewicht von

Platte und Schwelle auf 120 kg an und rechnet man mit einer aus praktischen Messungen ermittelten größten Beschleunigung nach oben von 4 m/sec^2 , so ergibt sich eine zusätzliche Beschleunigungskraft von rund 50 kg. Schätzt man die Reibung der Schwelle im Schotter noch zu rund 30 kg ein, so ergibt sich eine Gesamtbeanspruchung der Befestigungsmittel von 200 kg. Wenn nun je Schwelle vier Nägel oder Schrauben verwendet werden, so wird jeder Nagel oder jede Schraube mit 50 kg beansprucht. Ein gewöhnlicher Schienennagel haftet nach Bräuning in einer Weichholzschwelle im Mittel mit 2000 kg, in einer Hartholzschwelle mit 3500 kg; bei Schrauben betragen diese Werte sogar 4000 und 7000 kg. Die Haftfestigkeit ist also im ungünstigsten Falle $2000/50 = 40$ mal so groß, wie die Zugbeanspruchung. Es ist also technisch unmöglich, daß bei der anfänglich vorhandenen, kraftschlüssigen Verspannung die Befestigungsmittel durch die Schiene aus der Schwelle herausgezogen werden.

Im Betriebe wird nun tatsächlich ein Herausziehen der Nägel und Schrauben beobachtet. Der Anstoß dazu kann aber nach dem Vorausgegangenen nie an zu geringer Haftfestigkeit der Befestigungsmittel liegen, es muß vielmehr eine andere Ursache für dieses Herausziehen vorhanden sein. Diese Ursache liegt in dem bleibenden Eindrücken der Platte in die Schwelle durch die Radlast. Der Vorgang geht folgendermaßen vor sich:

Im neuen, unbelasteten Zustand sind Schiene, Platte und Schwelle durch die Befestigungsmittel kraftschlüssig verbunden. Dieser ideale Zustand ändert sich aber dadurch, daß sich die Platte in die Schwelle eindrückt. Bei der Eindrückung der Platte muß man unterscheiden zwischen der elastischen und der bleibenden Eindrückung. Die elastische Eindrückung spielt sich bei jeder Belastung einer Schwelle durch ein darüberrollendes Rad ab; sie beträgt (nach Bräuning, umgerechnet auf die jetzigen Verhältnisse) bei Weichholz im Mittel 0,6 mm. Die elastische Eindrückung tritt natürlich auch im neuen Zustand auf und bewirkt eine kurzzeitige, aber sich oft wiederholende Spielraumbildung. Die bleibende Eindrückung entsteht aus der elastischen dadurch, daß die Schwelle bei jedem Eindrücken nicht mehr ganz in ihre ursprüngliche Lage zurückgeht, es bleibt eine kleine, dauernde Verformung zurück. Im Laufe der Zeit summieren sich diese kleinen Verformungen und ergeben das bekannte Einsinken der Platte in die Schwelle, das noch durch den Verschleiß der Schwelle vergrößert wird. Das Befestigungsmittel kann dieser Eindrückung nicht folgen. Es entsteht also zunächst ein kurzzeitiger, im Laufe der Zeit aber ein bleibender Zwischenraum zwischen Nagel- oder Schraubenkopf und Unterlegplatte. Durch diesen Spielraum wird die kraftschlüssige Verbindung der Gleisteile aufgehoben und dadurch die Beanspruchung der Befestigungsmittel stark erhöht. Denn bei der Wellenbewegung der Schiene wirken jetzt auf die Befestigungsmittel nicht mehr nur reine Gewicht- und Beschleunigungskräfte, sondern es treten durch das Hochschnellen der Schiene mit Anlauf starke Schlagwirkungen auf. Das Herausziehen der Nägel oder Schrauben beweist, daß die Größe dieser Schlagwirkungen den Haftwert in der Schwelle erreicht. Je größer natürlich jetzt durch das einmal begonnene Herausziehen der Spielraum wird, desto schneller schreitet dieses vorwärts, und zwar so lange, bis sich die Schiene so viel Luft geschaffen hat, daß sie beim Hochschnellen keinen Widerstand mehr an den Köpfen der Befestigungsmittel findet.

Obwohl die Betriebserfahrungen im Oberbau die Richtigkeit der vorstehenden Ausführungen bewiesen haben, schien es doch zweckmäßig, auch noch Versuche auf dem Meßstand durchzuführen. In Wirklichkeit kann man nämlich die Einzelvorgänge nur in ihrer Gesamtheit beobachten, ohne sie voneinander trennen und in ihrer Größe willkürlich beeinflussen

zu können. Auf dem Meßstand ist dies durch geeignete Maßnahmen möglich. Auch kann man dergestalt in wesentlich kürzerer Zeit ein Ergebnis bekommen als im Betriebe. Aus diesen Gründen wurde eine besondere Versuchsmaschine gebaut.

Die Maschine ist in Abb. 1 dargestellt. Sie besteht im wesentlichen aus einer Exzenterwelle, deren zwei nebeneinanderliegende Exzenter um 180° versetzt und mit zwei kurzen Schienenstücken fest verbunden sind, die sie in senkrechte Schwingungen versetzen und so die Schwingungen der Schiene nachahmen. Jedes Exzenter besteht aus einer festen Exzenter Scheibe und aus einem darauf verstellbaren exzentrischen Ring, so daß der Schwingungsaus Schlag zwischen 0 und 24 mm eingestellt werden kann. An jedem Schienenstück wird die Hälfte einer normalen Schwelle befestigt. Um auch das Eindringen der Unterlegplatte in die Schwelle und den Gegen Druck der Bettung nachzuahmen, wird die Schwelle durch das Exzenter im Bereich des unteren Totpunktes mit 5 t gegen ein Gummipolster gedrückt. — Mit dieser Maschine wurden eingehende Versuche durchgeführt. Die Versuche beschränkten

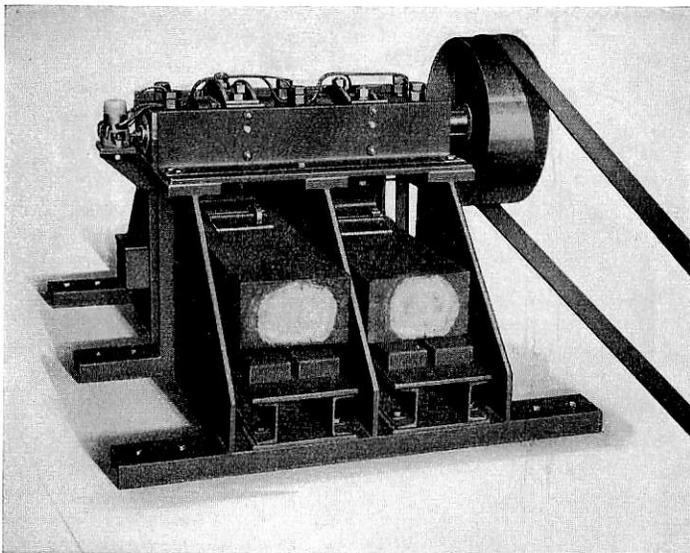


Abb. 1. Versuchsmaschine.

sich zunächst auf Schienennägeln, weil hier naturgemäß schneller ein Ergebnis zu erwarten war. Bei Schwellenschrauben liegen aber die Verhältnisse ganz ähnlich. Die Erfahrung lehrt, daß auch hier das Einsinken der Platte — selbst bei getrennter Befestigung von Schiene und Platte — die ursprüngliche Verspannung zwischen Platte und Schwelle aufhebt. Das Nachziehen der Schwellenschrauben ist ein Notbehelf und beseitigt den Spielraum nur vorübergehend. Die kleinen bleibenden und sich wieder bildenden Spielräume geben der hochschnellen Schiene die Möglichkeit, an der Schwellenschraube so lange zu zerren, bis die Holzfasern in den Gewindegängen zermürbt und zerstört werden. Die Zerstörung geht anfangs sehr langsam vor sich, wird aber durch Eindringen von Wasser später stark beschleunigt. Als letzter Ausweg, um der Schwellenschraube wieder einen festen Sitz zu geben, bleibt dann nur noch das Verdübeln der Löcher. Es ist selbstverständlich, daß diese Bedingungen bei Meßstandversuchen nur unvollkommen nachgeahmt werden können und eine sehr lange Versuchsdauer bedingen. Wenn sich bei Schienennägeln die Ergebnisse der Meßstandsversuche mit denen des Unterhaltungsdienstes decken, so kann man umgekehrt auch bei Schwellenschrauben aus den Erfahrungen auf die Ergebnisse bei den Versuchen schließen.

Es wurden im ganzen vier Versuchsreihen durchgeführt;

jede Versuchsreihe besteht wieder aus mehreren Versuchen, um Zufälligkeiten auszuschalten und einwandfreie Ergebnisse zu erhalten.

Versuchsreihe I.

Es wurde eine halbe Schwelle unter Zwischenlage einer Unterlegplatte durch zwei gewöhnliche, kreuzweis versetzte Schienennägeln mit einem Schienenstück der Versuchsmaschine verspannt. Der Hub betrug 12 mm, die Exzenterwelle machte 250 Umdr./Min., so daß eine größte Beschleunigung von 4 m/sec^2 auftrat. Im Bereich des unteren Totpunktes wurde die Schwelle mit 5 t auf das Gummipolster gedrückt; die Beanspruchung jedes Nagels betrug also, wie oben errechnet, etwa 50 kg. Der Sitz der Nägel wurde mit einem feinen Feilenstrich markiert. Das Verhalten der Nägel wurde während des Versuches genau beobachtet. Es zeigte sich tatsächlich, daß das Herausziehen der Nägel erst dann einsetzte, nachdem die Unterlegplatte sich in die Schwelle eingedrückt hatte. Nachdem dieser Zustand der nicht kraftschlüssigen Verbindung eingetreten war, wurden die Nägel in 20 Std. bereits durchschnittlich 5 mm herausgezogen.

Versuchsreihe II.

Um zu beweisen, daß einzig und allein das Eindringen der Platte und die dadurch bedingte Aufhebung der Verspannung die Ursache des Herausziehens ist, wurde mit neuen Schwellen eine der Versuchsreihe I entsprechende Versuchsreihe durchgeführt, nur daß diesmal die Schwelle nicht auf das Gummipolster gedrückt wurde und deshalb auch am unteren Totpunkt frei an den Befestigungsmitteln hing. Es fehlte somit die Gegenkraft von 5 t, und die Unterlegplatte konnte sich nicht in die Schwelle eindrücken. Der Hub wurde auf 24 mm erhöht und die Drehzahl auf 420 Umdr./Min., was einer Größtbeschleunigung von $23,2 \text{ m/sec}^2$ entspricht. Die Beanspruchung jedes Nagels betrug somit etwa 110 kg, also mehr als das Doppelte wie bei Versuch I. Trotz dieser gesteigerten Belastung zeigte sich auch nach 80stündigem Lauf mit 2000000 Schwingungen keinerlei Lockerung der Nägel.

Versuchsreihe III.

Diese Versuche entsprechen den Beanspruchungen der Nägel in der Versuchsreihe II, nur wurde beim Festschlagen der Nägel zwischen Nagelkopf und Platte zunächst ein 0,5 mm starkes Blech gelegt, das dann wieder herausgezogen wurde. Es entsteht somit zwischen Nagelkopf und Platte ein Spielraum von 0,5 mm, der einem ebenso starken Eindringen der Platte in die Schwelle entspricht. Dieser Weg wurde gewählt, weil bei dem direkten Eindringen der Platte in die Schwelle durch die Maschine selbst nach den Versuchen I die Lager der Maschine stark beansprucht wurden und man mit der Drehzahl deshalb nicht bis auf 420 Umdr./Min. hätte gehen können. Das Eindringen der Platte in die Schwelle ist ja eine unbestrittene Tatsache und braucht nicht erst noch bewiesen zu werden. Bei genau derselben Beanspruchung wie in Versuchsreihe II waren bei diesen Versuchen die Nägel bereits nach 17 Std. zwischen 5 und 12 mm herausgezogen.

Versuchsreihe IV.

Diese Versuche entsprechen der Versuchsreihe III; es wurde aber nur ein 0,25 mm starkes Blech zwischengelegt. Auch hier wurden die Nägel nach 42stündigem Betrieb zwischen 4 und 11 mm herausgezogen.

Zusammenfassung und Folgerung aus den Versuchen:

Das Ergebnis aus den Versuchen kann man folgendermaßen kurz zusammenfassen:

1. Bei kraftschlüssiger Verspannung ist die Zugbean-

spruchung des Nagels erheblich geringer als seine Haftfestigkeit in der Schwelle.

2. Bei gelockelter Verbindung ist die Zugbeanspruchung des Nagels dagegen größer als seine Haftfestigkeit in der Schwelle.

3. Das Herausziehen der Nägel ist also nur nach Aufhebung der kraftschlüssigen Verspannung möglich.

4. Diese Aufhebung tritt ein durch Eindrücken der Platte in die Schwelle.

Da weder das elastische noch das bleibende Eindrücken vermieden werden kann, so muß nach einem Weg gesucht werden, der die schädliche Auswirkung der Spielraumbildung und die dadurch bedingte Aufhebung der kraftschlüssigen Verbindung der Gleisteile verhindert. Die Spielraumbildung kann dann nicht eintreten, wenn das Befestigungsmittel dem Eindrücken folgen kann. Der starre Schienennagel und die starre Schwellenschraube können diese Forderung nicht erfüllen, auch dann nicht, wenn die Schienenbefestigung von der Plattenbefestigung getrennt ist. Man erreicht damit wohl eine festere Verbindung zwischen Schiene und Platte, weil sich diese gleichwertigen Stahlteile nicht nennenswert verändern; die mangelhafte Verbindung zwischen Stahlplatte und Holzschwelle bleibt aber bestehen.

Das selbsttätige Nachgeben kann nur von einem federnden Befestigungsmittel erreicht werden. Der Begriff „federnd“ bedeutet dabei, daß das Befestigungsmittel beim Einbau elastisch verformt wird und dadurch eine Vorspannung erhält. Die Größe der Vorspannung (Spannkraft) und des Federweges ergibt sich aus den Bedingungen, daß das Befestigungsmittel nach oben nicht nachgeben darf, aber nach unten dem Einsinken der Platte in die Schwelle kraftschlüssig folgen muß. Die Spannkraft (Vorspannung) muß deshalb größer sein als die Beanspruchung des Befestigungsmittels durch das Schwellengewicht einschließlich Beschleunigungskraft; beim Hochschnellen kann sich die Schiene dann nicht von der Platte abheben, die kraftschlüssige Verbindung bleibt bestehen. Die Vorspannung (Spannkraft) muß weiter auf großem Federweg erreicht werden, damit das Befestigungsmittel dem Eindrücken der Platte in die Schwelle nach unten folgt, ohne daß dabei die erforderliche Spannkraft unterschritten wird oder überhaupt verloren geht. Ein Befestigungsmittel, das diese beiden Eigenschaften hat, wird die kraftschlüssige Verbindung dauernd aufrecht erhalten. Auch dem Oberbau K ist das Verlangen nach einer selbsttätig nachspannenden Befestigung nicht fremd. Es werden vor allem bei Weichholzschwellen, Federlinge unter die Schwellenschrauben gelegt. Ob durch die eingeschalteten Federringe der beabsichtigte Zweck auch voll erreicht wird, dürfte fraglich sein, jedenfalls wird der Oberbau K dadurch noch vielteiliger (18 Teile statt sonst 14 Teile), und dementsprechend vermehren sich die Kosten dieses Oberbaues um rund 550 *R.M.*/km.

Bei den bisherigen Oberbauformen wird wohl anfänglich eine Verspannung zwischen den Gleisteilen erreicht, aber im Betrieb bald durch Abnutzung, besonders an den Schwellen, wieder aufgehoben. Die sich bildenden Spielräume können aus wirtschaftlichen Gründen nur in großen Zeitabständen durch Nachziehen der Schrauben vorübergehend wieder beseitigt werden. Eine Spielraumbildung darf aber nach dem Vorausgegangen überhaupt nicht auftreten, da sie die Ursache aller Lockerungserscheinungen ist. Ein Oberbau, der den technischen und auch den wirtschaftlichen Ansprüchen genügen soll, muß deshalb folgende Bedingungen erfüllen:

1. Die Verbindung zwischen allen Gleisteilen muß kraftschlüssig sein.

2. Die Kraftschlüssigkeit darf durch Abnutzung an den Gleisteilen nicht beeinträchtigt werden.

3. Die Befestigungsmittel müssen große Vorspannung (Spannkraft) bei großem Federweg haben.

Untersucht man die bekannten Oberbauformen nach diesen Gesichtspunkten, so gibt es bis jetzt nur einen Oberbau, der diese Bedingungen erfüllt und dabei einfach und deshalb auch billig ist, der Spannageloberbau von Rüping.

Obwohl dieser Oberbau bereits mehrfach in der Fachliteratur beschrieben wurde (Lauböck: „Der Spannageloberbau“, Org. Fortschr. Eisenbahnwes. 1935, Heft 12; Dr. Ing. Saller: „Neue Zielstrebungen im Reichsoberbau“, Verkehrs-techn. 1935, Heft 24), soll er hier nochmals kurz beschrieben werden.

Der Spannagel selbst besteht aus einem Stück Flachstahl von 16×8 mm Querschnitt, das in der Mitte um 180° umgebogen und zusammengelegt wurde, so daß ein quadratischer Querschnitt von 16×16 mm entsteht. Das offene Ende wird, wie aus Abb. 2 ersichtlich, zu einem langen, flachgewölbten Kopf abgebogen. Dieser Kopf drückt federnd mit seinem vorderen Ende auf den Schienenfuß. Der Nagel besteht aus

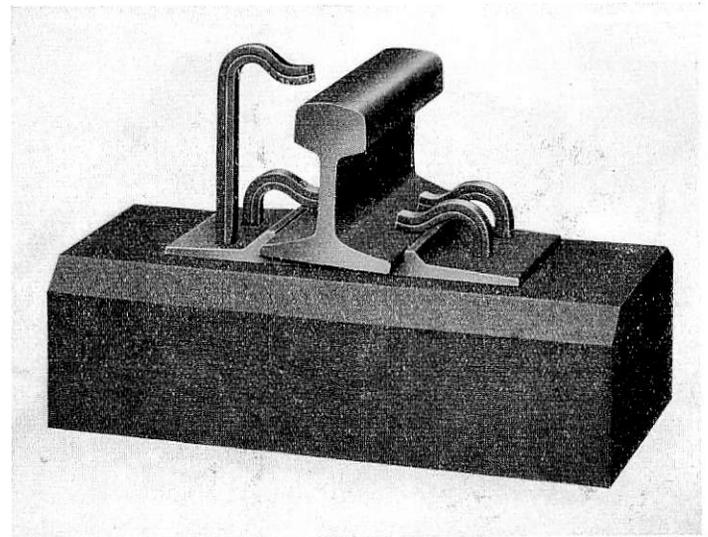


Abb. 2. Spannageloberbau.
(Versuchsstrecke 1936 bei der Deutschen Reichsbahn.)

gutem Federstahl, wird im warmen Zustand gebogen und dann in Öl gehärtet und angelassen. Der Spannagel wird mit einem gewöhnlichen Hammer in vorgebohrte zylindrische Löcher der Schwelle eingeschlagen, die bei Weichholzschwellen höchstens 15 mm, bei Hartholzschwellen höchstens 16 mm Durchmesser haben. Die Haftfestigkeit beträgt etwa 2000 bis 4000 kg. Die zulässige Aufbiegung des Kopfendes beträgt 12 bis 14 mm, die Spannkraft je mm Federweg (Federkonstante) 50 kg/mm. Der Nagelschaft wird beim Einbau nach Berührung des Kopfendes mit dem Schienenfuß noch so weit in die Schwelle eingeschlagen, daß der Kopf um 10 mm aufgebogen wird; dadurch entsteht eine Druckkraft von $10 \times 50 = 500$ kg. Die Einschlagtiefe wird beim Einschlagen durch eine Lehre begrenzt. Der große Federweg von 10 mm gleicht ohne weiteres das Eindrücken der Platte in die Schwelle aus. Die Druckkraft des Spannagels sinkt bei einer Eindrückung von beispielsweise 2 mm auf $500 - (2 \times 50) = 400$ kg. Diese Druckkraft gewährleistet noch vollkommen die dauernde kraftschlüssige Verspannung. Die Maßungenaugigkeiten der Gleisteile können sich beim Einschlagen der Spannagel nicht auswirken, da die Einschlagtiefe immer auf die Platte bezogen wird. Das Herausziehen des Spannagels aus der Schwelle durch die Schiene ist verhindert. Erstens kann bei der dauernden festen Verspannung die Zugbeanspruchung des Spannagels

(50 kg) seine Haftfestigkeit (mindestens 2000 kg) in der Schwelle nicht übersteigen und zweitens wird der Nagelschaft dadurch, daß die Schiene am äußersten Kopfende angreift, ähnlich wie bei einer Tischlerklammer in der Schwelle festgeklammt. Gleichzeitig legt sich der Spannagel dabei an die Außenwandungen der Löcher in der Platte an und sichert dieser dadurch eine ruhige Lage auf der Schwelle. Selbst mit großer Gewalt ist es nicht möglich, den Spannagel durch Hochheben des äußersten Kopfendes, also an der Stelle, an der die Schiene angreift, aus der Schwelle herauszuziehen; man wird nur den Kopf aufbiegen.

Mit dem Spannagel wurden gleichzeitig dieselben Versuchsreihen I bis IV durchgeführt, wie mit den gewöhnlichen Schienennägeln. Die Anordnung war dabei so getroffen, daß mit dem einen Schienenstück der Versuchsmaschine eine Befestigung mit den gewöhnlichen Schienennägeln und mit dem anderen eine Spannagelbefestigung untersucht wurde (Abb. 3). Alle Versuche wurden dabei mit ein- und derselben Spannagelbefestigung durchgeführt, während bei den Schienennägeln nach jedem Versuch eine neue Befestigung hergestellt werden mußte. Trotz dieses ausgedehnten Dauerversuches war beim Spannagel keinerlei Veränderung festzustellen. Das Eindringen der Platte in die Schwelle beim I. Versuch und das

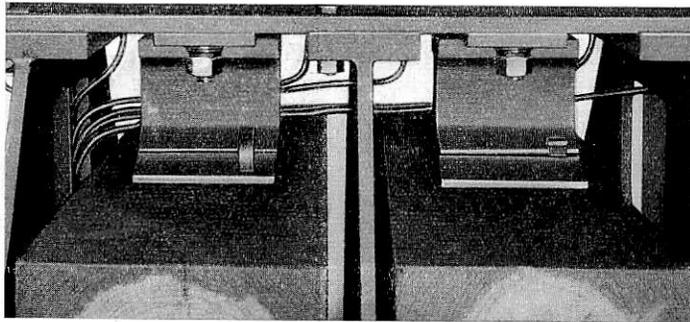


Abb. 3. Versuchsmaschine.

Teilansicht der Schienenbefestigung nach einem Versuch.

Zwischenlegen von Blechen beim III. und IV. Versuch hat also die kraftschlüssige Verbindung beim Spannagel nicht beeinflußt.

Abb. 3 zeigt die beiden Befestigungsarten nach einem Versuch. Man sieht rechts, wie sich der Schienennagel herausgezogen und die Schiene von der Platte abgehoben hat, während der Spannagel links noch wie am Beginn des Versuches sitzt.

Außer der dauernden Aufrechterhaltung der Verspannung in senkrechter Richtung weist der Spannageloberbau auch gegenüber den bisherigen Oberbauformen eine wesentlich bessere Spurhaltung und eine erhöhte Wandersicherheit auf. Da der Spannagel aus Federbändern besteht, so werden Stöße, die senkrecht zur Schiene auf den Schaft wirken, federnd abgefangen. Die lebendige Kraft des Stoßes wird vom Spannagel auf einem sehr kleinen Federweg elastisch aufgenommen, worauf der Stoßreger wieder zurückgedrückt wird. Der Spannagel kann also nie krumm geschlagen und verdrückt werden, wie ein Versuch ohne weiteres beweist. Spurerweiterungen in Gleiskrümmungen, wie sie durch das Verdrücken der starren Schwellenschrauben durch die Seitenstöße der Fahrzeuge entstehen, treten beim Spannageloberbau nicht mehr auf.

Die Erfahrungen mit den seit fast drei Jahren liegenden Spannagelversuchsstrecken bei München—Giesing und bei Westhofen (rheinisch-westfälisches Industriegebiet) bestätigen diese Anschauungen. Die Platten liegen noch völlig fest, die Spannägeln haben sich nicht verdrückt oder herausgezogen. Die stark befahrene Güterzugstrecke bei Westhofen wurde mit

altbrauchbaren, von Hand abgedeckelten Kiefernschwellen I. und II. Klasse verlegt. Nach 2½-jähriger Liegedauer im Spannagelgleis wurden Schwellen ausgebaut und zerschnitten, um die Nagellöcher genau untersuchen zu können. Es war aber an den Löchern keinerlei meßbare Veränderung, insbesondere auch keine Ausweitung, festzustellen. Daß der Spannagel in diesen altbrauchbaren Schwellen noch fest sitzt, beweist, daß seine Haftfestigkeit durch das Altern der Schwellen kaum beeinflußt wird, vorausgesetzt, daß die Schwelle im Bohrloch des Befestigungsmittels nicht anfault. Diese einzige mögliche Gefahr des Anfaulens ist aber beim Spannagel so gut wie ausgeschlossen, weil sich weder ein Langloch, noch ein anderer Zwischenraum zwischen Platte und Schwelle bilden kann.

Wichtig für die Aufrechterhaltung der Spannkraft des Spannagels ist weiter die Frage, ob ein Ermüden des Federstahls eintreten kann. Das ist deshalb ausgeschlossen, weil im Betrieb der Spannagel nur kleine Schwingungen entsprechend der elastischen Eindrückung der Schwelle ausführt und infolge-

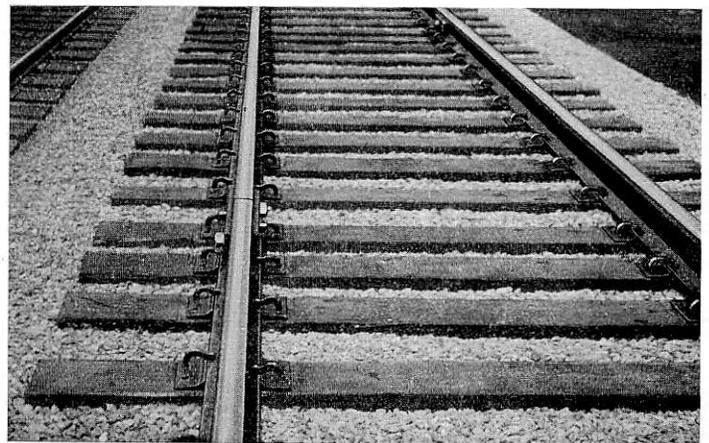


Abb. 4. Spannageloberbau in den Vereinigten Staaten.

dessen nur einer sehr geringen Wechselbeanspruchung ausgesetzt ist (im Gegensatz zu einer Wagen- oder Ventillfeder). Bei der Columbia-Universität USA wurden trotzdem ausgedehnte Schwingungsversuche mit dem Spannagel durchgeführt, wobei außer der normalen anfänglichen Setzung keine Veränderung festgestellt werden konnte. Nicht einmal bei diesen — betriebsmäßig nie auftretenden — Dauerschwingungen wurde der Spannagel über die Ermüdungsgrenze beansprucht.

Im Schotterbett findet die Schwelle gegen Wandern bekanntlich einen Widerstand von 600 kg, an jeder Schienenbefestigung wirken also 300 kg. Setzt man den Reibungsbeiwert zwischen Schiene und Platte (ohne Holzzwischenlage) zu 0,25 an und berücksichtigt man die Tatsache, daß zwei Reibungsflächen vorhanden sind, nämlich sowohl zwischen Schiene und Unterlegplatte wie auch zwischen Schiene und Spannagelkopf, so ergibt sich die Kraft, mit der die Schiene auf die Platte gedrückt werden muß, damit nicht die Schiene auf der Platte, sondern die Schwelle in der Bettung wandert, zu $\frac{300}{0,25 \times 2} =$

$= 600$ kg. Verwendet man je Schienenbefestigung nur zwei Spannägeln, so üben diese bereits einen Druck von 1000 bis 1200 kg aus; das bedeutet also eine etwa doppelte Sicherheit gegen Wandern. In den Vereinigten Staaten verlegte Spannagelstrecken haben diese Wandersicherheit einwandfrei bewiesen.

Abb. 4 zeigt eine solche Spannagelstrecke. Auf dieser Strecke herrscht sehr starker Verkehr bei Achsdrücken bis 30 t. Bei nur zwei Spannägeln je Befestigung, ohne Pappelholzzwischenlage zwischen Schiene und Platte, und natürlich auch ohne Wanderschutzklammern, zeigte sich keinerlei Schienen-

wanderung. Verschiedene amerikanische Eisenbahnen wollen daher auf Brücken und vor Weichen Spannageloberbau verlegen, um diese empfindlichen Bauteile vor Wandern zu schützen. Bisher mußten bei dem in den Vereinigten Staaten allgemein gebräuchlichen Oberbau mit gewöhnlichen Schienenägeln sehr viele Wanderschutzklammern verwendet werden. Dadurch wird der Oberbau mit gewöhnlichen Schienenägeln und Wanderschutzklammern teurer und verwickelter als der überlegene Spannageloberbau.

Bei der Deutschen Reichsbahn wurden 1936 5 km Spannageloberbau in den Reichsbahndirektionen Essen, Köln und Saarbrücken verlegt, teils in Schnellzugstrecken mit Halbmessern bis 500 m, teils in stark belasteten Güterzugstrecken mit Halbmessern bis 300 m. Bei diesen Strecken wurden vier Spannägeln je Befestigung verwendet, wie Abb. 2 zeigt. Die Auflagefläche der Platten beträgt 560 cm², ist also etwas größer als beim Oberbau K. Trotzdem ist das Gewicht wesentlich kleiner als das der Oberbau K-Platte, weil der Querschnitt der

Platte, ohne Rücksichtnahme auf Schwellenschrauben, Haken-schrauben und Klemmplatte, besser ihrem Zweck entsprechend ausgebildet werden konnte. Das Gewicht des gesamten Kleinenzeuges ist beim Spannageloberbau um 15 t/km geringer als beim Oberbau K. Dieser Gewichtersparnis, in Verbindung mit der Einfachheit des Spannageloberbaues, entspricht auch eine Verringerung der Kosten um 4000 *RM*/km gegenüber dem Oberbau K. Die Gewichts- und Kostenersparnis dürften für die Reichsbahn nicht ohne Bedeutung sein. Die Einbaukosten des Spannageloberbaues sind jedenfalls nicht höher als bei den bisherigen Oberbauformen.

Die in verschiedenen Ländern verlegten Versuchsstrecken beweisen, daß der Spannageloberbau im Gegensatz zum starren Schienen Nagel und zur starren Schwellenschraube die kraftschlüssige Verspannung aller Gleisteile nicht nur anfänglich, sondern auch auf die Dauer gewährleistet. Die Unterhaltungskosten werden dementsprechend geringer werden als bei den bisherigen Oberbauformen.

Zum Stande der Schienenbaustofffragen.

Von Dr. Ing. Berchtenbreiter, München.

Im Heft 13 dieser Zeitschrift vom 1. Juli 1935 nahm ich „Zur Baustofffrage hochwertiger Schienen“, und zwar hauptsächlich zur Frage der Bruchsicherheit, des Abnutzungswiderstandes und der Schienenschweißung Stellung. Im Heft 23 vom 1. Dezember gab Dr. Ing. R. Kühnel einen kurzen Überblick über die wichtigen Berichte der III. Internationalen Schientagung. Ich bemerkte im oben erwähnten Aufsatz, daß die Berichte dieser Tagung sicherlich die nächste Möglichkeit eines umfassenderen Überblickes des augenblicklichen Standes aller schwebenden Schienenfragen geben werden. Dies ist nunmehr auch der Fall.

Der ungarische Verband für Materialprüfung hat im vergangenen August unter der Schriftleitung von Dr. Ing. Nikolaus Czako die Arbeiten der III. Internationalen Schientagung, die vom 8. bis 12. September 1935 in Budapest unter äußerst reger Anteilnahme der interessierten Fachleute von 23 Nationen stattfand, in Buchform herausgegeben.

Das Buch enthält 26 Berichte in deutscher, sechs Berichte in französischer und je einen Bericht in englischer bzw. italienischer Sprache, zu jedem Bericht eine Inhaltsangabe in deutscher und in französischer Sprache und die Erörterungsbeiträge zu den einzelnen Berichten. (Format DIN A4, Umfang 262 Seiten mit über 400 Abbildungen und vielen Zahlentafeln. Preis 20,— *RM*. Verlag Fr. Kilians Nachf., Budapest, IV. Harisbazar 2.)

Insgesamt gibt dieses Schientagungsbuch mit seinen 34 Berichten führender Fachleute eine äußerst wertvolle Übersicht über alle die Probleme und deren Fortschritte in den letzten Jahren, mit denen sich die Schienen erzeugenden Werke und die Eisenbahnbetriebe dauernd befassen. Konstruktive Fragen wurden wie bei den früheren Tagungen nur insoweit behandelt, als sie in unmittelbarer Berührung mit werkstofftechnischen Problemen stehen oder sich als Folge der Verbesserung der Eigenschaften und der Fortschritte der Bearbeitung der Schienenwerkstoffe, beispielsweise der schweißtechnischen, ergeben.

Im folgenden sei versucht, aus der Vielzahl dieser wichtigen werkstofftechnischen Einzelheiten nach dem Stande der Budapester Internationalen Schientagung besonders die Fragen: Beanspruchung der Schienen, Eigenschaften hochwertiger Schienen, sowie die Schweißung von Schienen zusammenfassend darzustellen. Weiter wird versucht, aus den vielfach noch auseinanderstrebenden Versuchswegen und verschieden ausgewerteten Betriebserfahrungen die dem heutigen Stande der Herstellungstechnik möglichen und aussichts-

reichsten Wege zur bruch sicheren und verschleißfesten Schiene bester Lebensdauer herauszuzeichnen. Auf diesem Gebiet ist im letzten Jahrzehnt dank der Verwertung wissenschaftlicher Erkenntnisse und der internationalen Gemeinschaftsarbeit von Forschern, Erzeugern und Verbrauchern ein ganz gewaltiger und volkswirtschaftlich bedeutsamer Fortschritt erzielt worden. Auch bei der immer höheren Steigerung der Zugfestigkeit, die aus statischen und dynamischen, sowie verschleißtechnischen Gründen erfolgte, ist doch nie mehr die grundsätzliche Erkenntnis unbeachtet geblieben, daß bei wechselnder und stoßweiser Beanspruchung gerade die hochfesten Stähle eine besondere Empfindlichkeit gegen kerbbedingte Spannungsspitzen besitzen. Diese Tatsache begrenzt die beliebige Erhöhung der Schienenfestigkeit, veranlaßt deren Anpassung an die spezifische Beanspruchung jedes Schienenquerschnittes und rückt die Technik der Faser-Verlauf-Verbesserung und der Gestaltung in den Vordergrund.

Die Beanspruchung der Schienen.

Die volkswirtschaftliche Bedeutung des Schienenverkehrs als des noch nicht ersetzbaren Trägers des gemeinwirtschaftlichsten sichersten, schnellsten und dabei doch billigsten Massenverkehrs von Personen und Gütern jedes Volkes ist trotz der so vielgestaltigen technischen Entwicklung auch anderer Verkehrsarten noch unumstritten. Immer schwerere Lasten sollen auf dem Schienenwege mit gesteigerter Geschwindigkeit sicher und preiswürdig befördert werden. Damit wachsen auch die Anforderungen an die Leistungsfähigkeit der Schiene. Die Beurteilung der Beanspruchungsarten derselben fußt noch auf vielen Annahmen. Sie wird aber klarer und auch umfassender, je mehr sie von der einseitigen und theoretisierenden Beurteilung nur der Schiene und ihrer Werkstoffeigenschaften abkehrt und die Gesamterscheinungen der Wechselwirkung zwischen Radreifen und Schiene zu ergründen und in die Rechnung einzusetzen versucht.

Dieser Umstand führte z. B. schon zur besseren Erklärung der Verschleißvorgänge, deren Ausmaß heute als allein abhängig von Reibung — von der die gleitende nahezu einen verspannenden, mechanischen Bearbeitungsvorgang darstellt — Raddruck und Geschwindigkeit angesehen werden kann. Vorzeitige ungewöhnliche und örtlich begrenzte Abnutzung in Gleisstrecken wird immer verursacht durch Fehler des Fahrzeuglaufes oder durch Mängel der Gleisbettung, welche die eben angeführten Beanspruchungsarten erheblich vergrößern bzw. den Spannungsmomentenverlauf aperiodisch und stoßartig gestalten.

Die Korrosion spielt bei befahrenen Schienen normalerweise nur eine untergeordnete Rolle. Bei der Verstärkung der atmosphärischen Einflüsse in feuchten Tunneln und bei ständiger Anwesenheit angreifender Gase industriellen Ursprungs sind Abwehrmaßnahmen empfehlenswert. Die Reibung entsteht unter dem Raddruck durch die Beschleunigung und Verzögerung der Räder. Der ruhende Raddruck erzeugt die Haftreibung, bei der einfache Normalspannungen (Druck) in Schiene und Radreifen an der Berührungsstelle auftreten. Theoretisch dürfte bei diesen durch die Hertz'sche Formel erfaßbaren Druckspannungen kein Verschleiß an Radreifen und Schienen auch bei bewegtem Rad auftreten, solange sie unter der Elastizitätsgrenze bleiben, solange reine Rollreibung vorliegt und eine ideale Ebenheit der Fahrbahnen gegeben ist. Praktisch jedoch bringen kleine Fahrbahnunebenheiten und die unvermeidbaren Ungenauigkeiten des Radlaufes schon bei nur rollender Reibung örtliche Spannungssteigerungen über die Quetschgrenze des Stahles und damit schon geringe Abnutzung. Mit reiner Rollreibung kann aber kaum gerechnet werden, zu ihr kommt immer der Schlupf der Räder längs und quer zur Schienenrichtung und diese ihre Richtung und Größe dauernd ändernde Gleitreibung verursacht den Hauptanteil am Verschleiß. Schon bei der Rollreibung treten zu den die Elastizitätsgrenze überschreitenden Normalspannungen des Raddruckes senkrecht dazu verlaufende Druckspannungen im Schienenwerkstoff vor der Berührungsfläche von Rad und Schiene und Zugspannungen hinter derselben auf. Je nach der Größe der dazutretenden Gleitreibung, also je nach Beschleunigung oder Verzögerung des Radlaufes, vergrößern und verschieben sich die Kurvenmaxima dieser Spannungen, die als eine prüftechnisch noch nicht nachahmbare Schwingungsbeanspruchung mit wechselndem Zug und Druck aufgefaßt werden kann. Sie liegen bei dem zulässigen Raddruck von 10 t bei oder über der Zerreißfestigkeit der verwandten Radreifen- und Schienenstähle, jedoch kaum oder nur wenig über der Kohäsions- oder Trennfestigkeit derselben. Deshalb bleibt auch der Schienenverschleiß auf geraden und ebenen Strecken in erträglichen Grenzen. In Kurven erfahren die außen laufenden bzw. liegenden Radreifen und Schienen eine wesentlich größere Beanspruchung durch die Gleitreibung, als deren Folgen hier scharfgelaufene Spurkränze und eine starke Gleitreibungsabnutzung der inneren Schienenkopfflanken auftreten. Die bogeninnen liegenden Schienen nehmen auf ihrer Kopffahrfläche eine zusätzliche erhebliche Quergleitreibung auf und erleiden dadurch eine starke Abnutzung derselben. Weiter ist von großem Interesse der Einfluß der Radreifendurchmesser auf die Größe der Druckspannungen; kleinere Durchmesser erzeugen bis zur Hälfte höhere solche Spannungen. Der jeweilige spezifische Flächendruck nimmt mit steigender Festigkeit zu. Die an sich erwünschte, weil den Verschleißwiderstand steigernde Kalthärtbarkeit der Schienen, das ist die Härte- bzw. Festigkeitszunahme der Fahrflächenzone gegenüber dem ursprünglichen Zustand, die durch das Walzen der Räder hervorgerufen wird, ist bekanntlich bei weichen, zäheren Stählen wesentlich größer als bei den neuzeitlichen harten Schienenstählen. Bei den durch Kalthärtung hochverfestigten Stählen erzeugen gleiche Druckspannungen nur eine elastische Verformung, bei neuen nur wenig verfestigten Stählen eine elastische und eine plastische (bleibende) Verformung. Der spezifische Flächendruck ist deshalb bei kaltverfestigten Schienen immer höher als bei naturharten mit gleicher Fahrflächenfestigkeit. Bei diesen wird die Elastizitätsgrenze eben eher überschritten, der Abnutzungswiderstand kann daher nicht in dem gleichen Ausmaße vorhanden sein. Die oft festzustellenden Angaben über den guten Verschleißwiderstand von früher verlegten Schienen niedrigerer ursprünglicher Festigkeit können nur mit einer solchen, die

Abnutzungsfestigkeit stark steigernden Kalthärtung begründet werden, nicht aber ausschließlich mit größerer Stahlreinheit oder mit Eigenarten ihres Herstellungsverfahrens.

Auch andere statische Spannungen haften der Schiene schon an, ehe sie die Verkehrslasten zu tragen hat. Das Streben der Hersteller nach möglicher Minderung der Walz-, Abkühl- und Richtspannungen durch Anwendung entsprechender Bearbeitungs- und Abkühltemperaturen und -zeiten ist von Erfolg begleitet. Der Grundsatz, daß Kopf, Steg und Fuß der Schiene in jedem Zeitpunkt ihres Herstellungsganges möglichst gleiche Temperaturen besitzen sollen, findet sichtlich immer mehr Beachtung. Bei den harten Einstoffschienen mit Zugfestigkeiten bis zu 110 kg/mm² ist ein ständiges Zurückgehen der durch Eigenspannungen und Innenrisse hervorgerufenen Brüche feststellbar. Die Richtspannungen hat man mit Erfolg durch Änderungen der Rollenrichtmaschinen und des Richtvorganges zu verkleinern versucht. Sie und alle anderen Eigenspannungen, auch die auf das Kaltwalzen der Räder zurückzuführenden mit einer Alterung d. h. Versprödung verbundenen, erreichen bei den hochwertigen harten Schienen nie eine betriebsgefährdende Größe. Etwa gleichen Ausmaßes sind auch die Verlegespannungen bei sachgemäßer Verlegung auf guter Bettung. Die klimatische bedingten Temperaturspannungen sind ihrer Größenordnung nach bereits bekannter. Diesen muß um so größere Beachtung geschenkt werden, je mehr der so erwünschten Verringerung der Schienenstöße wegen Schienen größerer Länge oder gar das sogenannte lückenlose Gleis verlegt werden sollen. Die Verwerfung solcher Gleise bringt ernste Betriebsgefahren mit sich. Der Verwerfungsfahrer wirken in der senkrechten Ebene nur entgegen das Eigengewicht des Gleises und die Knickfestigkeit der Schienen in dieser Ebene, der größeren waagerechten Verwerfungsfahrer außerdem noch der Reibungswiderstand des Gleises in der Bettung. Versuche zur Beherrschung dieser Verwerfungskräfte wurden einerseits auf verschiedenen Wegen unternommen durch die Erhöhung der Rahmensteifigkeit des Gleises. Es erscheint mir aber etwas fraglich, ob durch solche Verfahren mit wirtschaftlich vertretbarem Aufwand eine unbeschränkte Gleislänge bei den vorkommenden Temperaturschwankungen wirklich absolut verwerfungsfrei zu gestalten ist. Andererseits enthält auch das Schienentagungsbuch Berichte, die gute Erfahrungen bei Versuchen ergaben, die die temperaturabhängigen Längenänderungen der Schiene nicht behindern, sondern für den Ausgleich derselben Ausdehnungsstöße besonderer Bauart vorsehen. Unter der Voraussetzung, daß die unverschiebbare Verankerung einer beliebig langen, aus beliebigen Einzellängen zusammengeschweißten Schiene wirklich in ihrer Mitte gelingt und daß deren Längenänderung bei guter Führung des Schienenfußes behinderungsfrei nach beiden Enden zu erfolgen kann, halte ich die Vermeidung praktisch aller Temperaturspannungen bei gleichzeitig größter Wirtschaftlichkeit der Oberbauunterhaltung für durchaus möglich. Das dankbarste Versuchsziel wäre hier nur noch die bauliche Ausbildung des Ausdehnungsstoßes und die Auswahl des geeignetsten Baustoffes dafür. Dieser muß gut schweißbar sein und besten Verformungs- und Verschleißwiderstand besitzen, da eine senkrechte Längsteilung der Schiene zunächst wohl kaum zu umgehen sein wird. Ob diese parallel der Längsachse der Schiene oder in sehr spitzem Winkel zu ihr erfolgen soll, wird von der Größe der auszugleichenden Längenänderung abhängen und erst nach einem Versuch, dessen Hauptergebnis die sichere Führung und der stoßfreie, elastische Übergang der Fahrzeugräder über den Ausgleichstoß sein müßte, entschieden werden können.

Ein interessanter anderer Versuch zur Verminderung der Zahl der Schienenstöße ist nach der Notiz einer Fachzeitschrift von der Delaware & Hudson Railroad in der Nähe von Schenectady unternommen worden. Dort liegen bislang die

größten zusammenhängend geschweißten Schienenlängen der Bahn in zwei Stücken von je 2124 m und zwei von je 1352 m Länge. Es sind Schienen von 65 kg/m Gewicht. Ihr Baustoff ist Molybdänstahl, nicht wärmebehandelt. Die Schweißung wurde als Thermitschweißung z. T. auf der freien Strecke durchgeführt, in kleinerem Umfang wurde auch elektrische Lichtbogenschweißung vorgenommen. Die Befestigung der Schienen erfolgt auf den Schwellen mittels Federklemmen, wobei die Befestigung der Schiene auf der Unterlagplatte und die der Unterlagplatte auf den Schwellen voneinander getrennt sind. Die Federklemme übt einen Druck von etwa 1100 kg aus, der dem Wandern entgegenwirkt, die Hammerschläge des Verkehrs auf die Bettung mildert und in dieser Weise den Umfang der erforderlichen Stopparbeiten vermindert.

Die erstgenannte Gleisanlage läßt den Kräften der Temperaturspannungen ziemlich freies Spiel, die zweite Gleisbauart stellt ihnen in der Federklemmenbefestigung die Reibungskräfte der Bettung entgegen. Beide Bauarten verfolgen dasselbe Ziel, jedoch auf grundverschiedenen Wegen, von denen der wirtschaftlichere und sichere zunächst schwer vorauszusehen sein dürfte. Beide jedoch sind beachtenswert, denn sie gestatten beide die Verwendung sehr langer Schienen, deren Länge nur den verschiedenen Krümmungshalbmessern entsprechend veränderlich gewählt werden muß, und verringern damit wesentlich die Zahl der Schienenstöße. Der ruhigere Lauf der Fahrzeuge wird auch deren Unterhaltungskosten fühlbar vermindern. Das Nachstopfen solcher Gleise wird seltener stattfinden müssen, die Unterhaltungskosten werden sich im wesentlichen auf die der Dehnungsstöße bzw. der federnden Klemmorgane beschränken.

Eine ganze Anzahl von Vorträgen der Schienentagung befaßte sich mit dem Einfluß der Eigenspannungen auf die Bruchsicherheit der Schienen. Ich fasse deren Auswirkungen dahingehend zusammen, daß keine derselben, auch nicht, wenn sie als Zugspannungen im Schienenfuße vorhanden sind, die Widerstandsfähigkeit der Schienen wirklich nennenswert herabsetzt, solange die Herstellung unter sorgfältiger Beachtung aller herstellungs- und stofftechnischen Erfahrungstatsachen der eisenschaffenden Werke erfolgt ist und die Gesamtspannungen sich nicht an korbähnlich wirkenden Innen- oder Oberflächenfehlern zu unberechenbarer Spitzensteigerung erhöhen können. Das naturgegebene Gesetz der mit abnehmender Temperatur zunehmenden Kerb-, Oberflächen-, zusammengefaßt Spannungsspitzenempfindlichkeit setzt der Verwendung von Schienenstählen mit hochgezüchteter statischer Festigkeit eine vorläufig unüberschreitbare Grenze. Je höher die Zugfestigkeit, desto größer ist auch die Empfindlichkeit aller Stähle gegen das Auftreten dynamischer Spitzenbeanspruchungen infolge von Oberflächen- oder Baustofffehlern. Diese steigt vollends in Unberechenbare besonders bei großen Kältegraden, bei denen das dynamische Arbeitsvermögen aller Metalle stark abnimmt.

Neuerungen im Schienenherstellungsverfahren.

Aus solchen Gründen sind Neuerungen in Herstellungsverfahren beachtenswert, die diese Werkstoffempfindlichkeiten auszuschalten versuchen. Ein berichtetes Verfahren ändert den Walzvorgang in der Weise, daß durch eine sinnreiche besondere Walzenstichanordnung das Gefüge des Schienenfußes besser durchgearbeitet wird. Damit werden die Hauptursachen der Fußrisse, von denen die Mehrzahl der Schienenbrüche ausgeht, nämlich die durch die Richtrollen auferlegten Randblasen und die senkrecht zur Fußunterfläche — also ungünstig liegenden — Schichtkristalle beseitigt, weil eine Verlagerung der Richtung dieser Randblasen und Schichtkristalle herbeigeführt wird. Solche nach diesem Verfahren hergestellten Thomasschienen zeigten bei der Schienenfuß-

biegeprobe im Mittel doppelt so große Durchbiegungen bei um 45% höherer Bruchlast.

Erwähnenswert sind andere Versuche, kältebruchsichere Schienen dadurch herzustellen, daß ein schwach legierter, besonders zäher St 52-ähnlicher Stahl mit einem Kohlenstoffgehalt von nur 0,2%, bei dem der Silizium- und Mangan-gehalt erhöht und ein Kupfer- und Chromzusatz gegeben worden ist, verwendet wird. Die Streckgrenze liegt bei ihm bei etwa 38 kg/mm². Obwohl die Zugfestigkeit nur etwa 60 kg/mm² beträgt, ist doch eine gesteigerte Abnutzungsfestigkeit und eine gute Zähigkeit auch in der Kälte erreicht worden.

Da allgemein anerkannt ist, daß der steile Anstieg der Verschleißfestigkeit bei der Annäherung an das rein eutektische und lamellare Perlitgefüge und durch die Vergütung auf ein sorbitisch-troostitisches Gefüge eintritt, ist werkstofftechnisch der gegenwärtige Stand der Schienenbaustofffrage durch die Verwendung hochzugfester Stähle gekennzeichnet. Als verschleißfeste Schienenstähle sind zwei Hauptgruppen anzusehen, die naturharten eutektoiden Sonderstähle für die Einstoffschienen und für die Laufflächen des Kopfes von Zweistoffschienen, sowie die wärmebehandelten sorbitischen oder angelassenen martensitischen Stähle, die bei der Vergütung des Kopfes von Eintopfschienen entstehen. Die Forderung nach bestem Widerstand gegen Ermüdung und Brüchigkeit beschränkt die Zugfestigkeit heute noch bei Einstoffschienen auf 90 bis 110 kg/mm², für den Kopf der Zweistoffschienen auf 110 bis 140 kg/mm². Der Fuß der letzteren besitzt oft noch eine solche von etwa 60 kg/mm². Die Zweistoffschienen mit verschleißfestem Kopf werden immer noch nach den bekannten Verfahren des Verbundgusses oder Verbundstahles oder der Kopfhärtung und -vergütung hergestellt. Eine Lösung der Verbindung zwischen harten und weichen Stählen bei Zweistoffschienen wurde noch in keinem Falle festgestellt. Die Frage der Wirtschaftlichkeit der Beschaffungskosten ist jedoch noch umstritten zwischen den naturharten Einstoff-, den naturharten Zweistoff- und den kopfgehärteten Schienen.

Nach den Herstellungsverfahren und den Legierungszusätzen können unterschieden werden: Siemens-Martin-, Thomasstahl- (auch schon bis etwa 95 kg/mm² Zugfestigkeit), Elektromanganstahl- und Elektrochromstahlschienen. Weiterhin sind in dem Schienentagungsbuch normalgeglühte Vanadinstahlschienen (0,3 bis 0,4% V) erwähnt, die eine Zugfestigkeit von 80 bis 100 kg/mm², gute Dehnungsfähigkeit und Schlagarbeit, dazu noch hohe Verschleißfestigkeit und auch Schweißbarkeit aufweisen. Als härtende und die Abnutzung mindernde wurden festgestellt Chromzusätze von 0,5 bis 1,0%, ein Mangan-gehalt über 1%, ferner Molybdän. Dieses erhöht auch den Spannungsbereich der Dauerbiegefestigkeit.

Für den austenitischen Manganstahl, der bei einem Mangan-gehalt von 14% die höchsterreichbare Verschleißfestigkeit besitzt und sich vor allem für hochbeanspruchte Gleisteile, Herzstückspitzen usw. bewährt, sind wichtige Einflüsse der entsprechenden Kalibrierung und Wärmeleitung bei der Herstellung und für eine verbesserte Bearbeitbarkeit beschrieben.

Weitere Beiträge behandeln die Erzeugung von gehärteten Schienen, den Einfluß des Richtens auf die Festigkeitseigenschaften des Schienenwerkstoffes, über Neuerungen im Gleisoberbau, über die Stabilität gerader, lückenloser Gleise, die Prüfung von Langschienenstrecken und eine Reihe anderer wissenschaftlicher Oberbaufragen. Zu der Frage der Haltbarkeit von Flügelschienen und Herzstücken wird eine eingehende Untersuchung der besonderen Beanspruchungsbedingungen, denen diese im Vergleich zu Fahrschienen ausgesetzt sind, mitgeteilt. Die Beanspruchungen durch Schlag oder Abscheuerung werden in ihrer Abhängigkeit von der Fahrzeug-

geschwindigkeit, der Richtung der Befahrung, der Formabmessungen und in ihrer Verteilung auf diese Weichenstücke untersucht. Mehrjährige gute Erfahrungen mit vergütetem 2%igem Manganelektrostahl und mit austenitischem 12%igem Manganstahl werden mitgeteilt.

Die Schweißung der Schienen.

Sowohl die Verbindungsschweißung, wie auch die Auftragschweißung, deren rasche Aufwärtsentwicklung in den letzten Jahren wohl allgemein bekannt ist, setzen sich auch im Oberbauwesen in immer größerem Umfange durch.

Die Verbindungsschweißung der Schienen kann im allgemeinen als gelöstes Problem bezeichnet werden. Versuche verschiedener Art werden eigentlich nur noch angestellt zur Verbesserung und Auswahl des geeignetsten Schweißverfahrens, zur Verbilligung der Ausführungsart unter Wahrung höchster erreichbarer Sicherheit. Ich verweise auf meine schweißtechnischen Ausführungen in dem eingangs erwähnten Aufsatz und vermeide hier ausführlichere schweißtechnische Einzelheiten. Die in der Schweißtechnik schon lange erkannte Notwendigkeit, die Auswirkung oder gar die Anhäufung ungünstiger, vor allem von Schub- oder Scherspannungen in der Schweißverbindung zu vermeiden, kommt auch in den mit der Schienenschweißung sich befassenden Berichten zum Ausdruck. Der Tatsache, daß Schienenquerbrüche fast durchwegs als Trennungsbrüche ohne jede Verformung mit fast immer gut erkennbaren, von innen oder an der Oberfläche liegenden Fehlstellen ausgehenden Dauerbruchmerkmalen entstehen, wird dadurch Rechnung getragen, daß die seitlich oder am Anfang und Ende einer Schweißraupe auftretenden Kerben möglichst vermieden oder an Stellen günstigsten Momentenverlaufes gelegt werden. Auch bei der öfters unvermeidbaren Verwendung von Kehlnähten wird fast immer deren Lage in zugbeanspruchten Schienenteilen vermieden. Die Erfahrung daß schräg zur Richtung der Zugkräfte verlaufende Schweißnähte ein besseres dynamisches Arbeitsaufnahmevermögen besitzen als die senkrecht zur Zugkraftlinie angeordneten, macht sich recht erfolgreich der „Böhler-X-Stoß“ zunutze, der nur reine Stumpfnähte verwendet und die dynamisch weniger günstigere Kehlnaht vermeidet.

Zum „Katona-Stoß“, bei dem der Schienenkopf immer, der Schienenfuß nur bei schwereren Profilen verschweißt ist, gehört eine in rotwarmem Zustand um die Schienenfüßenden gebogene, geschmiedete und dann mit Kehlnähten mit dem Schienenfuß verschweißte Fußlasche. Die Kehlnähte liegen hier recht günstig nahe und längs des Steges an beiden Oberseiten des Schienenfußes. Sie sind hier weniger beansprucht als an den Fußkanten oder an der Fußunterseite. Ein an beiden Seiten des Steges mittels Kehlnaht angeschweißtes mit seiner Sehne nach unten liegendes halbkreisförmiges Einlagestück verteilt die Biegespannungen des Raddruckes auf eine größere Länge des Schienenstoßes und entlastet dadurch sehr günstig die Schienen-Verbindungsschweißung selbst von den Spitzenspannungen, die sie sonst angehäuft treffen würden. Die Kehlnaht liegt hinsichtlich ihrer Beanspruchung vorteilhaft in der gegen Biegespannungen neutralen Zone des Steges. Eine Vereinigung der schräg zur Schienenlängsachse liegenden Schweißnähte des Böhler-X-Stoßes und der beiderseits des Steges angeschweißten Ausgleichstücke, die Spannungsspitzen ablenken und verteilen, würde ich als die gegen bleibende Formänderung widerstandsfähigste geschweißte Schienenverbindung ansehen. Die Auswirkung der örtlichen Häufung von Schweißnähten läßt sich durch geeignete Wärmeabfuhr durch zeitliche Unterbrechung der Schweißung wohl ziemlich beseitigen. Die dynamische Gesamtfestigkeit eines solchen Stoßes würde ihre Höhe wohl behalten, auch wenn die Fußlasche weggelassen würde.

Soweit ich heute die Wirtschaftlichkeit und Bewährung der verschiedenen Schweißverfahren beurteilen kann, dürfte die anpassungsfähige Gasschmelzschweißung deshalb und der Einfachheit und Beweglichkeit der benötigten Gerätschaften wegen in der Häufigkeit ihrer Anwendung wohl an der Spitze stehen. Bei der Lichtbogenschweißung sind die bei der hohen örtlichen Erwärmung gerade bei den harten Schienenstählen verstärkt auftretenden Gefügespannungen etwas schwer auszugleichen. Die elektrische Widerstandsschweißung liefert bei richtigem Preßdruck die besten Schweißverbindungen. Die dazu benötigten Maschinen sind aber noch zu teuer und machen bei ihrer Verwendung zu umfangreiche Gleissperrungen erforderlich.

Als ältestes für Schienenstoß-Verbindungsschweißungen benütztes Verfahren bewährt sich immer noch die Thermit-schweißung. Sie ergibt gleichfalls gut haltbare Schweißverbindungen. Ihre wirtschaftliche Überlegenheit, die auf der Budapester Tagung nicht besprochen wurde, scheint mir durch die Gasschmelzschweißung stark bedrängt zu werden. Mit zunehmender geschweißter Schienenlänge erfordert nämlich ihre Wesenseigenart zu ihrer einwandfreien, sicherlich bekannten Durchführung vermehrte besondere Einzelmaßnahmen.

Über die Höhe der an einen geschweißten Stoß zu stellenden Festigkeitsanforderungen herrschte auf der Budapester Schientagung noch keine einheitliche Beurteilung. Soll die Dauerbiegefestigkeit des geschweißten Stoßes in Beziehung gesetzt werden zu der ungestoßenen Schiene oder zum geschraubten Laschenstoß? Ich bin der Ansicht, daß der Vergleich mit der vollen Schiene das klarste Urteil erlaubt. Der fachmännisch geschweißte Stoß erreicht heute bei sachgemäßer Ausführung und Bemessung der Schweißverbindung eine Dauerbiegefestigkeit von gut der Hälfte der vollen Schiene. Er übertrifft darin schon weit den geschraubten Laschenstoß, der nach einiger Liegezeit nur mehr das Rad führt, aber der Momentenübertragung ausweicht.

Meiner Überzeugung nach müßte auch noch entschieden werden, auf welcher Beanspruchungsgrundlage die vergleichsfähigen Gütezeffern ermittelt werden müssen. Läßt sich wirklich die Betriebssicherheit richtig ableiten von der Größe der Biegewechselspannung, die ein Schienenstoß mehr als zweimillionenmal erträgt oder die ihn zu Bruch führt? Sind denn nicht diese Belastungen viel größer als die, die je im Betrieb auch auf schlecht unterhaltener Bettung vorkommen können? Mit welcher Sicherheit kann denn erkannt werden, daß bei einer solchen übergroßen Prüflast nicht Spannungsverschiebungen und -steigerungen im Stoß auftreten, die auch bei ungünstigster Betriebsbeanspruchung nie auftreten können und die einen sicheren Schluß auf die zu erwartende Betriebs-haltbarkeit nur sehr bedingt zulassen. Wäre es da nicht zweckmäßiger, im Dauerbiege-Prüfversuch die Belastung nur so weit zu steigern, daß jene größte bleibende Verformung eben erreicht wird, die der Stoß in einem schlecht unterhaltenen Oberbau ungünstigenfalls erfahren kann? Eine darüber hinausgehende allzugroße bleibende und anbruchfreie Durchbiegung zu fordern, zwingt im Prüfversuch zur Anwendung größerer Kräfte als im Betrieb je auftreten. Mit übergroßer Kraft und Verformung aber entstehen andere Spannungsverteilungen, die unmöglich genau meßbar und unter Zuhilfenahme vieler Annahmen höchstens näherungsweise berechenbar sind. Denn unsere Kenntnis der Spannungszustände ist immer dann noch sehr mangelhaft, wenn es sich wie hier um eine verwickeltere Bauteilform handelt, in der dynamische und mehrachsige Spannungszustände auftreten und in der noch dazu infolge der Schweißung Verschiedenheiten der Baustoffeigenschaften in demselben Stück vorhanden sind.

Die Festlegung eines Wertes der Dauerbiegefestigkeit bis

zu einer bestimmten bleibenden Durchbiegung, die im Betrieb eben noch vorkommen kann, hätte zur Folge, daß die Prüfverhältnisse denen der Wirklichkeit der Betriebsbeanspruchung näher kommen, weil die Prüfung im Gebiete allzu hypothetischer Annahmen von Spannungszuständen und spezifischer Verformungsvorgänge entfallen würde. Dabei würde allerdings auf die im Versuch gewonnene Kenntnis der dynamischen Bruchbelastung und den daraus „errechneten“ Sicherheits- (besser wohl Unsicherheits-)faktor verzichtet werden müssen. Für die Entwicklungsarbeit leistet das übliche Prüfverfahren so lange gute Dienste, solange es die schwachen Stellen einer Bauteilverbindung aufzuweisen hat und der Versuch auf die Ausmerzung derselben abzielt.

Die Prüfung der Belastbarkeit bis zu einer gewissen bleibenden Verformung wird um so mehr die wirklichen Bewährungseigenschaften vorauszubestimmen gestatten, je mehr die bisher errungenen Erkenntnisse des Gestalters und des Schweißfachmannes über die dynamisch widerstandsfähigste Formgebung und Schweißausführung praktische Anwendung finden.

Grundsatz des Gestalters muß sein, den Kraftlinienfluß in der Stoßverbindung möglichst gleichmäßig ohne plötzliche Umlenkung oder örtliche Anhäufung oder Stauung verlaufen zu lassen. Der Schweißfachmann muß die Erfahrungen der schweißtechnisch richtigen Gestaltung praktisch anwenden. Er muß anstreben, die Schweißnähte möglichst nur durch Normalspannungen — Zug oder Druck — und nur in unvermeidbaren Fällen und dann nur mäßig durch Schubspannungen zu beanspruchen. Steilen Anstieg der Spannung soll er von der Schweißverbindung selbst durchaus fernhalten, mit anderen Worten, die Höchstmomente der Beanspruchung sollen sich bei einer Verbindungsschweißung auf eine möglichst große Schienenlänge verteilen, also mit der dann kleineren spezifischen Kraft zur Auswirkung gelangen. Wie auch die Erfahrung schon beweist, ist die Bruchsicherheit eines geschweißten Stoßes dann am größten, wenn die Ausdehnung der Schweißverbindung in der Schienenlängsachse zunimmt. Die an sich recht zweckmäßige Verstärkung des beanspruchten Querschnittes der Schweißverbindung muß er in allmählichen Übergängen durchführen. Er muß schroffe Querschnittsübergänge, Kerben an den Schweißraupen ebenso vermeiden wie die in gleicher Weise nachteilig wirkenden allzugroßen Gefüge- und Baustoffunterschiede zwischen Schienenbaustoff und Schweiße. Die richtige Wärmebehandlung ist von großem Einfluß auf jede Schweißung. Der geschweißte Schienenstoß wird elastisch und bruchstark die Biege- und Fahrzeuglast aufnehmen, in dem die höchste vorkommende Betriebslast in einer Schweißnaht und vor allem in deren Übergangs-(Einbrand-)zone nur mäßige, daher unschädliche Spannungserhöhungen verursacht.

Die Berichte enthalten weiter Untersuchungen über die Schweißbarkeit verschiedener Schienenwerkstoffe mit verschiedenen Elektroden, über das Zweigefüge-Verbindungsschweißen — höher gekohlte oder legierte Zusatzstoffe für den Kopf, kohlenstoffärmere für den Steg und Schienenfuß —, ferner solche der theoretischen, experimentellen und wirtschaftlichen Seite geschweißter Schienenstöße. Nach den Berichten über die verschleißfeste Auftragschweißung können mit gutem Erfolg die Fahrflächen von Schienenenden und Herzstücken wieder auf ihre ursprünglichen Maße gebracht werden. In meinen eigenen Versuchen konnte ein verschleißfester Auftrag auf Herzstücke und Flügelschienen erzielt werden. Die Brinellhärte desselben beträgt 320 bis 350 kg/mm². Durch Vorwärmen und Hämmern der noch warmen Schweiße gelang die gute Verdichtung des Auftrages. Der Bildung von Rissen wurde durch den Gehalt des Zusatzdrahtes an etwas Chrom und Titan entgegengewirkt.

So erfolgreich sich auch die Schweißtechnik in die Oberbauunterhaltung eingeführt hat, so muß es nun als die Aufgabe der nächsten Jahre betrachtet werden, sie in planmäßig fortschreitendem Umfange einzusetzen. Dieser Einsatz muß Ersparnisse in der Unterhaltung bringen, solange der Oberbau noch Teile mit stärkerer Abnutzung aufweist und die Auftragschweißung die Erneuerung des nur stellenweise abgenutzten Gleisteiles zeitlich weit hinauschiebt. Ich denke mir die Zeit nicht mehr ferne, in der solche Auffrischungsverfahren ausgefahrener Gleisteile ohne ihren Ausbau als die Lösung der Aufgabe vollkommener und wirtschaftlicher Unterhaltungstechnik gelten können.

Die Prüfverfahren der Schienenwerkstoffe.

Dieser abschließende Abschnitt soll noch einen Überblick über die Aufgaben und den derzeitigen Stand der Werkstoffprüfung geben. Ihre Hauptaufgabe ist die Vermittlung der physikalisch-chemischen Charakteristik, insbesondere der Festigkeits- und Verformungseigenschaften der Werkstoffe. Daraus muß sich als Hauptziel die Beurteilung ihrer Eignung für den bestimmten Zweck ergeben, und zwar auf Grund der Erfahrung und des Vergleiches. Die meist nicht genau feststellbaren Größen der auf die Werkstoffe im Betrieb wirkenden Beanspruchungen, auch der Art und der Folgen ihres Zusammenwirkens veranlassen zur Untersuchung der Widerstandsfähigkeit der Metalle gegen die verschiedenen Kräftearten und -größen, sowohl in ihrem Einzel- wie in ihrem Zusammenwirken. Die richtige Wahl der Prüfverfahren und deren versuchsstechnisch einwandfreie Durchführung bilden die Grundlage für die Beurteilung des Sicherheitsgrades und auch für die Weiterentwicklung der Schienenwerkstoffe. Dazu kommen als unentbehrliches ergänzendes Glied noch die Erfahrungen mit den verlegten Schienen selbst, deren Überwachung sich nutzbringend auf die ganze Erzeugungs- und Verwendungsdauer ausdehnen muß.

Zur Feststellung der chemischen Zusammensetzung und zur mikroskopischen Untersuchung des Gefügebauaufbaues dienen die bekannten analytischen und metallographischen Verfahren. Die Prüfung der mechanischen Werkstoffeigenschaften erfolgt an Probekörpern zur Bestimmung der Elastizitäts- und Streckgrenze, der Zugfestigkeit, Bruchdehnung und Einschnürung, der Härte und auch der dynamischen Schwingungsfestigkeit. Ganze Schienenquerschnitte dienen zur Bestimmung der Makrostruktur durch Ätzverfahren und der Härteverteilung, weiter zur Prüfung der plastischen Verformungsfähigkeit des Schienenkopfes durch die Kugeleindruckprobe oder der statischen Biegetragfähigkeit des Schienenfußes durch die Fußquerbiegeprobe.

Die Kerbschlagprüfung weist keine Zunahme hinsichtlich ihrer Verwendung und Übertragbarkeit ihrer Ergebnisse auf. Diese gewissermaßen nur technologische Prüfungsart kann nur mit Beschränkung und höchstens zu vergleichender Untersuchung, nicht aber als amtliche Abnahmeprobe angewandt werden. Die ermittelte Kerbschlagzähigkeit ist zu sehr abhängig von der Form der Probe und nie proportional der Größe des beanspruchten Querschnittes und dem Halbmesser der Bohrung oder der Kerbe.

Die auch in anderen Zweigen der Werkstoff- und Bauteilprüfung immer mehr durchgeführte Prüfung ganzer Bauteile oder deren Verbindungen wird auch in zunehmendem Umfange bei der Schienenprüfung angewandt. Neben der statischen Prüfbeanspruchung ganzer Querschnitte und größerer Schienenlängen wird steigende Aufmerksamkeit auch deren dynamischer Prüfung, der Schwingungs- und der Dauerschlagbiegefestigkeit, zugewandt. Der Grund dafür ist die erwiesene Tatsache, daß am ganzen Schienenquerschnitt wirklichkeitsnähere Ergebnisse solcher Prüfwerte erhalten werden, da sich an ihm die Spannungen der wirklichen Form entsprechend

verteilen, im Gegensatz zu zylindrischen oberflächenpolierten Probestäben aus dem Kopf oder Fuß der Schiene.

Ich halte es für zweckmäßiger, als Prüfkraft nicht die selten im Betrieb vorkommenden Höchstspannungen anzuwenden, die den Bruch solcher Probestücke erzwingen müssen, sondern deren Verhalten gegenüber der häufiger einwirkenden Dauerbeanspruchung der mittleren Betriebskräfte in allen Einzelheiten genau aufzuklären. Mittlere Kräfte führen nämlich bei endlos wiederholtem Angriff eher zur Zerstörung als eine einmal oder doch nur selten einwirkende Spitzenlast. Ich halte auch bei der Prüfung von Schienenverbindungen, geschweißten oder geschraubten, die statische Biegeprobe mit der Feststellung der den steigenden Laststufen zukommenden jeweiligen Durchbiegung in ihrem Ergebnis für wirklichkeitsnäher als die Schlagbiegeprobe bis zum Bruch. — Die Grenze der Biegeverformungsfähigkeit einer Schiene, auch bruch-sicherheitsgefährdende Herstellungsfehler einer Charge deckt bei der Abnahme immer noch der übliche Schlagversuch auf, wengleich diesem in der statischen Biegeprobe ein ernster Wettbewerber zu erstehen scheint.

Von besonderer Wichtigkeit ist die Prüfung der Brüchigkeit und der Abnutzungsfestigkeit der Schienenstähle.

Auf die erstere, soweit die Verformungsfähigkeit oder Zähigkeit sie mitbeeinflusst, sind die in einem Bericht gründlich untersuchten „zeitlichen Änderungen der mechanischen Eigenschaften walzener Schienen“ von gewissem Einfluß, sofern derartige Erkenntnisse weiter vertieft und ihr Zusammenhang mit der Wärmenachbehandlung bei der Herstellung hochwertiger Schienen ausgewertet wird.

Der Bericht gibt an, daß nicht die Auslösung von Abkühlungs- oder Kaltverformungsspannungen als die Ursachen dieser Eigenschaftsänderungen anzusehen sind. Dieser Vorgang ist vielmehr dadurch bestimmt, daß Spannungen mikroskopischer Art, d. h. innerhalb der kleinsten Teilchen und zwischen denselben vorhandene und als kristalline oder Gefüge-spannungen zu bezeichnende, durch Wärmeeinflüsse ihre Größenordnung mindern. Auch ohne solche tritt dies ein, jedoch nur nach längerer Zeit.

Solche Spannungen entstehen bei der Bildung neuer Kristalle, sei es, daß die Neu- bzw. Umbildung derselben durch eine Warmverformung (Walzung) oder durch umkristallisierendes Glühen erfolgt. Ähnliche elastische Gefüge-spannungen von wahrscheinlich verschiedener Größenordnung können auch durch plastische Verformung unterhalb der Rekristallisationstemperatur entstehen, ohne daß dabei die Neu- oder Umbildung von Kristallen eintritt.

Die vollständige Erholung des Werkstoffes ist abhängig von der Temperatur und dem Werkstoffquerschnitt und besteht in einem etwa 30%igen Anstieg der Dehnung und in einer Verdoppelung der Einschnürung, während die Streckgrenze und die Zugfestigkeit keine praktisch bedeutsame Änderung erfahren. Die zu dieser „Alterung“ erforderliche Zeit beträgt bei der Lagerung ganzer Schienen mehrere Monate.

Wir erhalten folgende

Rahmensteifigkeit des Gleisrostes.

Von Dr. H. Saller, München.

In letzter Zeit hat sich in den Anforderungen an den Eisenbahnoberbau ein neuer, bisher hier fast unbekannter Begriff breit gemacht: die „Rahmensteifigkeit“ gegenüber waagerechten Biegemomenten. Diese neue Einstellung hängt mit dem gleichzeitigen Bestreben zusammen, die Schienenstöße, die in der Konstruktion und Unterhaltung des Oberbaues eine verhängnisvolle Rolle spielen und auch für den Verkehr überaus lästig sind, durch Verschweißung in ihrer Zahl einzuschränken und schließlich wo-

Das Anlassen von fertigen Zerreißproben auf 200 bis 600° C führt zur sofortigen, das Liegenlassen solcher Proben zu einer Erholung erst nach Ablauf von Tagen oder Wochen. Das Anlassen stellt nur eine künstliche Beschleunigung der wirklichen Eigenschaftsanzeige dar; der Werkstoff selbst ist in seinem Gefügebau nicht in erkennbarer Weise verändert. Diese Tatsachen sind bei der Abnahmeprüfung von Schienen zu beachten, ihr Studium und die Anwendung der daraus gezogenen Erkenntnisse bedeuten nach meiner Überzeugung eine weitere Erhöhung der Bruchsicherheit der hochzugfesten Schienen.

Wenn ich noch auf die Prüfung der Abnutzungsfestigkeit eingehe, so vertrete ich die Ansicht, daß zunächst der in Wirklichkeit recht verwickelte Abnutzungsvorgang an Radreifen und Schienen noch viel genauer erforscht werden muß und daß dann erst darauf ein Prüfverfahren aufgebaut werden kann, das zahlenmäßige Werte der wirklichen Abnutzungsfestigkeit im kurzen Prüfversuch zu liefern imstande ist. Wie im Abschnitt Beanspruchung der Schiene aufgeführt ist, treten bei den Roll- und Gleitreibungsvorgängen Kräfteinwirkungen als die Ursachen des Verschleißes auf. Ich halte die Abnutzung aufeinander rollender und gleitender Metallflächen für eine Folge dynamischer Wechselkräfte, wobei nur die überelastischen Spannungen über der Streck- bzw. die über der Quetschgrenze maßgebend den Umfang des Verschleißes bestimmen. Weiter beweisen die bisher bekannt gewordenen Untersuchungen über die Reiboxydation, daß als Folge dieser überelastischen und plastischen Reibverformungen bei Zutritt des Luftsauerstoffes durch die auftretende Reibungswärme auch chemische Umwandlungen eintreten und beschleunigt werden.

Erst die Erfassung des Zusammenwirkens aller angreifenden Kräfte, der dreiachsigen und wechselnd wirkenden Zug-Druck- und Schubspannungen, sowie der Mitwirkung der Wärme, des Sauerstoffes und anderer noch unbekannter Einflüsse wird die bisher etwas unzulängliche Übereinstimmung von Prüfergebnissen auf Verschleißprüfmaschinen mit Betriebsergebnissen an verlegten Schienen beseitigen. Mancher Bericht des Schienentagungsbuches bespricht auch dieses Neuland der Verschleißfragen.

In dem begrenzten Rahmen eines Aufsatzes dieser Zeitschrift ist es natürlich unmöglich, auf alle Einzelfragen, die in den Berichten des Schienentagungsbuches ausführlicher dargelegt sind, einzugehen. Ich glaube aber, über die wichtigsten Tatsachen der hochwertigen und verschleißfesten Schienen einen ausreichenden Überblick gegeben zu haben. Die an der Fortentwicklung der Schienenfragen näher interessierten Fachleute werden wohl das Schienentagungsbuch selbst durcharbeiten. Sie werden finden, daß die erhöhten verkehrstechnischen Leistungsanforderungen und das gesteigerte Streben nach immer größerer Gemeinwirtschaftlichkeit neue und weitverzweigte Schienenaufgaben brachten, die noch nicht alle gelöst sind. Dies bleibt der wie bisher sich überall ergänzenden Gemeinschaftsarbeit der Werkstoffkunde, der Herstellungs- und der Oberbaugestaltungstechnik vorbehalten.

Zuschrift:

möglich ganz zu beseitigen. Die Wärmeausdehnung der Schiene findet damit nicht mehr Gelegenheit, in vorhandenen Wärmelücken sich auszugleichen, sondern muß sich in innere Längsspannungen (Zug oder Druck) umsetzen. Bei starken Druckspannungen liegt bei dem schmalen Schienenband die Gefahr des Ausknickens sehr nahe und es ist daher angebracht, dem Trägheitsmoment des Gleisrostes zur senkrechten Schwerpunktsachse Aufmerksamkeit zuzuwenden. Es liegt nahe, den Gleisrost in seinem Widerstand gegen waagerechte Drücke als einen liegenden I-Träger zu betrachten, dessen Flanschen die beiden Schienen sind, während ein Steg im eigentlichen Sinne fehlt und mehr oder

weniger unvollständig durch die Querschwellen und die Befestigung der Schienen auf diesen Querschwellen ersetzt wird. Ist dieser Stegersatz vollständig unwirksam, so widersteht den seitlichen Kräften einfach die Summe der Trägheitsmomente der beiden Schienen zur senkrechten Schwerpunktsachse, das wäre also bei der Schiene S 49:2 × 319 = 638 cm⁴. Die Wirkung wäre dann einfach der von zwei reibungslos aufeinander gelegten Balken gleichzustellen, die sich an den Berührungsflächen ungehindert gegeneinander verschieben können. Wenn man diese Verschiebung durch feste Verbindung verhindert, mit anderen Worten die beiden Balken zu einem einzigen von der Höhe 2 h vereinigt, so vervierfacht sich das Trägheitsmoment. Noch weit größer wird es, wenn unter Beibehaltung der festen Verbindung die beiden Balkenhälften auseinanderrücken.

Die Verbindung der beiden Schienen zu einem einheitlichen rahmensteifen Träger ist also für die Erhöhung des seitlichen Trägheitsmoments von außerordentlicher Bedeutung. Die Verbindung durch Querschwellen hat aber eigentlich nur die Wirkung, die beiden Flanschen in gleichmäßigem Abstand zu halten und sie zu zwingen, sich abgesehen von kleinen Abweichungen, die in der nicht rahmensteifen Befestigung der Schiene auf der Querschwelle zugelassen sind, gleichmäßig miteinander durchzubiegen nach Art der obenerwähnten zwei aufeinander gelegten Balken. Nur dadurch, daß diese Verbindung immer gewisse Reibungswiderstände (Auflagerreibung u. a.) in sich birgt, ist es begründet, daß das Trägheitsmoment des Gleisrostes über die einfache Summe der beiden Trägheitsmomente tatsächlich weit hinausgeht und, wie Versuche am Oberbau K auf Holzschwellen erwiesen zu haben scheinen, sich um 1350 cm⁴ bewegt, also immerhin sich gegenüber der Summe der beiden Trägheitsmomente mehr als verdoppelt hat.

Im Γ -Träger ist das Verschiebestreben der beiden Flanschen durch die rahmensteife Stegverbindung, die die dabei auftretenden Schubspannungen sicher aufnimmt, völlig unterbunden. Unsere Rahmentheorie setzt aber in den Knotenpunkten der Fachwerke völlig steife Ecken voraus, sie macht keine Zugeständnisse nach der Richtung hoch- oder mindergradiger Eckversteifung. Der Spurverbindung zwischen den beiden Schienen solche steife Ecken zu verschaffen und sie zu einem rahmensteifen Steg auszubauen, dürfte in der Ausübung leider nicht möglich sein, aber es gibt Wege, diesem Ziel wenigstens einigermaßen näher zu kommen. Die Querschwellenverbindung wird dabei derart gestaltet, daß sie bis zu einem gewissen Grade waagerechte Biegemomente an den Auflagern der Schienen auf den Schwellen aufzunehmen vermag. Einen einwandfreien Wertmesser dieser unvollständigen Rahmensteifigkeit besitzen wir leider nicht. Man hat mit fragwürdigem Erfolg das Ersatzträgheitsmoment einzuführen versucht. Jedenfalls dürfte man sich darüber klar sein, daß zur Überwindung eines Biegemomentes auch wieder ein Moment, also ein Hebelarm erforderlich ist und daß es nicht genügt, etwa nur an punktförmigen Stellen des Schienenauflagers auf der Schwelle oder der Unterlegplatte den Spielraum zu beseitigen und den Schienenfuß einzuklemmen.

Die Frage der seitlichen Steifigkeit des Gleisrostes führt uns auf ein Gebiet, dem bis jetzt noch verhältnismäßig wenig Aufmerksamkeit zugewendet wurde, nämlich dem der waagerechten Seitendrucke, die die Verkehrslasten neben den an Bedeutung weit überwiegenderen lotrechten Drücken auf den Gleisrost ausüben. Sie sind ihrer Natur nach von den lotrechten wesentlich verschieden insofern als sie in ihrer Größe und Richtung ständig wechseln und dabei vorübergehend auch gleich Null werden können. Sie sind im allgemeinen in ihrer Größe den lotrechten Drücken nicht ebenbürtig, es ist aber durch Versuche festgestellt, daß sie in ungünstigen Fällen, z. B. unter der letzten Achse des Zuges zu Beanspruchungen der Schiene führen können, die den von den lotrechten Drücken herrührenden, an Größe recht ähnlich sind (Org. Fortschr. Eisenbahnwes. 1933, Heft 9, S. 187). Die waagerechten Drücke sind ausgesprochen dynamisch und es ist daher zu erwarten, daß sich bei ihnen alle die Erfahrungen wiederholen, die man bei den lotrechten Stoßdrücken gemacht hat, vor allem, daß ganz starre Verbindungen, zumal wenn sie sich auch noch sparsamer Ausmaße bedienen, sich auf die Dauer nicht bewähren. Es ist nicht ohne Reiz, daraufhin die bisherigen Wege, dem Gleisrost Rahmensteifigkeit zu verschaffen, zu überprüfen.

Aber noch auf einen anderen Punkt möchte hier die Aufmerksamkeit gelenkt werden. Alle bisherigen Versuche, dem Gleisrost seitliche Rahmensteifigkeit zu verleihen, sind darauf eingestellt, daß sie auch zugleich das Festhalten der Schiene auf ihre Unterlage nach oben übernehmen. Es besteht am Oberbau eine scheinbar geringfügige, oft unterschätzte Beanspruchung, deren Nichtbeachtung schon öfter die Quelle des Versagens ganzer Oberbauformen geworden ist. Der Durchbiegungswelle unter der Verkehrslast geht bekanntlich eine kleine Hebungswelle voraus. Sie hat theoretisch etwa $\frac{1}{23}$ der Tiefe der Hauptdurchbiegungswelle, praktisch mag sie wohl oft größer sein. Wenn sie auch in ihren Ausmaßen nicht erheblich ist, sie ist da und ihre Nichtbeachtung hat in der Geschichte der Oberbauentwicklung schon eine Rolle gespielt. Unser bekannter alter, jetzt im allgemeinen verlassener Schienennagel ist in der Versenkung verschwunden, weil er dieser an sich geringfügigen, nach oben gehenden Beanspruchung nicht gewachsen war und sie nicht elastisch verarbeiten konnte. Dem gleichen Mangel dürften auch die bisherigen, auf Herbeiführung der Rahmensteifigkeit gerichteten Konstruktionen (vergl. Org. Fortschr. Eisenbahnwes. 1932, Heft 1, S. 12/13 und 1936, Heft 8, S. 151) erliegen, um so mehr als sie sich bei diesem Festhalten nach oben ganz geringer Ausmaße bedienen. Jedenfalls haben die bisherigen Versuche, kleine Keile einzuschieben, die sowohl die seitlichen als auch die nach oben gerichteten dynamischen Beanspruchungen starr aufnehmen, den Nachteil, daß dabei kleine Bauteile Doppelaufgaben erhalten, die geeignet sind, sich gegenseitig zu stören. An solchen Verhältnissen sind schon ganz andere, größere und weniger starre Bauteile gescheitert. Es ist zu erwarten, daß diese kleinen, starr wirkenden Keile zwar zunächst nicht durch die seitlichen, wohl aber durch die nach oben gerichteten dynamischen Beanspruchungen gelockert und unwirksam gemacht werden.

Bücherschau.

Universal Directory of Railway Officials and Railway Yearbook 1936/37, London SW 1, 33 Tothillstr.

Das Jahrbuch der „Eisenbahnbeamten und Eisenbahnen“ enthält die Namen der leitenden Beamten der Eisenbahnen der ganzen Welt für die verschiedenen Geschäftszweige. Außerdem ist es von Wert durch seine statistischen Angaben über die einzelnen Eisenbahnen: Entwicklung der Kilometerlängen in den einzelnen Ländern seit dem Jahre 1840, Umfang der Elektrisierung, größte Höhen, die von Eisenbahnen erklommen werden, längste Tunnel, größte Steigungen. Für die gegenwärtigen Bestrebungen von Interesse sind die aufenthaltslosen Läufe der schnellsten fahrplanmäßigen Züge in Europa und Amerika im Jahre 1935, wie der Geschwindigkeitsrekorde im allgemeinen.

Weitere statistische Tafeln behandeln die Zahl der angestellten Beamten, die Unfallziffern, die Einnahmen aus dem Güter- und Personenverkehr usw. Auch der Umfang des Behälterverkehrs ist berührt.

Ein kurzer technischer Abschnitt über die Fortschritte im Bau und der Ausrüstung der Lokomotiven und Wagen, im Signalwesen und in der Bahnunterhaltung bilden den Abschluß. Die verschiedenen Bremssysteme der einzelnen Bahnen und noch manches andere sind dabei ebenfalls zusammengestellt. Die englischen Verhältnisse sind natürlich in besonderer Ausführlichkeit behandelt. U e.

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

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

Als Herausgeber verantwortlich: Direktor bei der Reichsbahn Dr. Ing. Heinrich Uebelacker in Nürnberg. — Verlag von Julius Springer in Berlin.
Druck von Carl Ritter G. m. b. H. in Wiesbaden.