

### Rangiertechnik.

Von Prof. Dr. Ing. Ammann, Karlsruhe.

Hierzu Tafel 15.

Auf dem Gebiet der Rangiertechnik sind in den Jahren nach dem Weltkrieg in Deutschland gewaltige Fortschritte gemacht worden, die im In- und Ausland anerkannt sind. Wissenschaft und Praxis haben sich mit den Problemen der Rangiertechnik eingehend und erfolgreich beschäftigt, so daß in Auswertung der neuen Erkenntnisse Rangieranlagen geschaffen werden konnten, die, sowohl was Leistungsfähigkeit, als auch was Wirtschaftlichkeit anlangt, alles Frühere weit in den Schatten stellen (Hamm, Bremen, Hochfeld-Süd usw.). Die erzielten Erfolge haben zu Weiterarbeit angeregt, so daß heute eine Hochflut neuer Techniken auf dem Gebiet des Rangierwesens zu beobachten ist, die zu überschauen und richtig zu beurteilen nur dem möglich ist, der sich ganz eingehend mit diesem Gebiet beschäftigt hat. Neben vielen klaren Erkenntnissen bestehen noch manche ungeklärten Fragen, da über viele Techniken die Praxis erst nach jahrelanger Prüfung das entscheidende Wort sprechen kann. Bei einer so starken Entwicklung ist es aber nötig, von Zeit zu Zeit Halt zu machen und rückschauend festzustellen, welche Fragen einwandfrei geklärt sind, welche Theorien und Techniken sich in der Praxis bewährt haben, welche noch in ihrem Erfolg oder in ihrem Anwendungsgebiet umstritten sind, vorwärtsschauend Wege zu suchen zu weiterer Klärung der Ansichten und weiterem Fortschritt.

Im Rahmen eines Zeitschriftenaufsatzes ist es natürlich unmöglich, das ganze Gebiet erschöpfend zu behandeln, es sollen daher nachstehend nur einige der wichtigsten Fragen herausgehoben und möglichst leicht verständlich beantwortet werden.

#### 1. Soll man „niedere“ oder „hohe“ Ablaufberge anlegen?

Im neueren Schrifttum ist ab und zu davon die Rede, daß „hohe“ Ablaufberge wegen der im gewöhnlichen Betrieb nutzlos abzubremsenden Energie verfehlt seien und daß man besser mit „niedrigen“ Ablaufbergen arbeite. Wer das behauptet, hat sich meist die Grundlagen des Ablaufbetriebs nicht klargemacht. Sieht man zunächst von Anlagen mit „Beschleunigungseinrichtungen“ ab, die in einem folgenden Abschnitt besonders behandelt werden, und betrachtet nur die heute überwiegenden Anlagen, bei denen lediglich die Berghöhe für die mögliche Laufweite entscheidend ist, so dürfte es ohne weiteres klar sein, daß eine bestimmte Betriebsaufgabe nur mit einer bestimmten Berghöhe erfüllt werden kann. Die Anforderung des Betriebs an die Leistung des Berges entscheidet daher eindeutig seine Höhe, es gibt also nur Berge, die diese Forderung erfüllen und solche, die sie nicht erfüllen, also zeitweise versagen und Betriebsschwierigkeiten bereiten. Das zu verarbeitende Wagenmaterial ist sehr unterschiedlich in seinen Laufwiderständen schon bei gutem Wetter (warm, windstill), noch viel mehr bei schlechtem Wetter (Kälte, Gegenwind). Textabb. 1 gibt nach den auch heute noch grundlegenden Untersuchungen Dr. Ing. Frölich<sup>1)</sup> über die unterschiedlichen Laufwiderstände einen Überblick. Der verantwortliche Betriebsleiter muß nach dem in dem betrachteten Rangierbahnhof zu behandelnden Wagenmaterial

<sup>1)</sup> Dr. Ing. Frölich: „Rangieranlagen und ihre Bedeutung für den Eisenbahnbetrieb.“ Kreidel's Verlag 1919.

den vorkommenden Witterungs- und Windverhältnissen entscheiden, bei welchem Wetter noch welche Wagen sicher ablaufen, also mindestens — um störungsfreien Ablauf sicherzustellen — noch profillfrei in die Ordnungsgleise einlaufen müssen. Damit ist durch den Betriebsleiter der der Berechnung zugrunde zu legende ungünstigste Wagenwiderstand  $w_{\max}$  und der dazu gehörige Mindestlaufweg  $l_{\min}$  festgelegt und

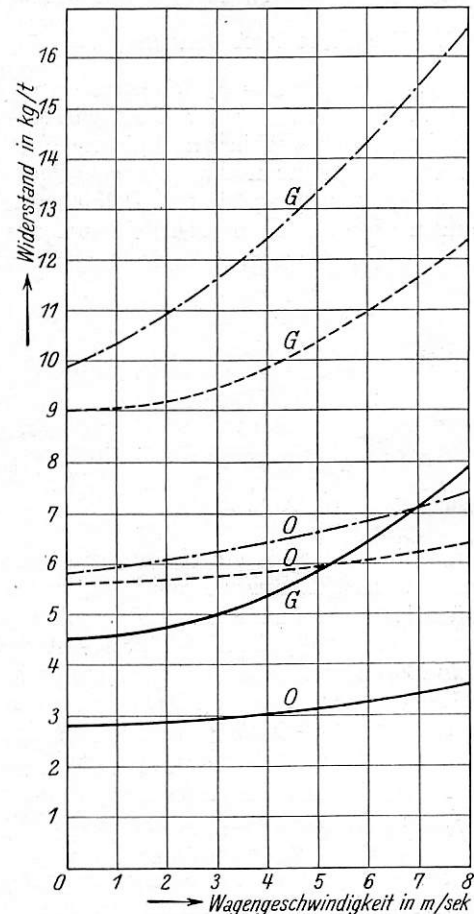


Abb. 1.

Erläuterung: Wagenwiderstände für O-Wagen (Gutläufer) und G-Wagen (Schlechtläufer) bei normaler Temperatur und Windstille ———, tiefer Temperatur und Windstille - - - - - , tiefer Temperatur und Gegenwind von 4 m/sec - · - · - · - .

damit für den entwerfenden Ingenieur die Höhe des Berges  $H = l_{\min} \cdot w_{\max}$  eindeutig bestimmt. Ein niedrigerer Berg würde im Betrieb versagen, wäre also betriebsuntüchtig und verfehlt, ein höherer würde nun wirklich die nutzlose Abbremsung unnötig hoher Energien bedingen und wäre unwirtschaftlich. Man sollte also künftig nicht mehr von „hohen“ und „niederen“ Ablaufbergen sprechen, sondern nur von solchen, die dem vorgesehenen Grad an Betriebstüchtigkeit genügen und solchen, die ihm nicht genügen.

Im allgemeinen legt man der Berechnung der Ablaufberghöhe  $H$  als ungünstigstes  $w$  jenes des Schlechtläufers bei großer Kälte, also  $w_{\max} = 9 - 12 \text{ kg/t}$  zugrunde, in der

Annahme, daß große Kälte und starker Gegenwind nicht zusammentreffen. Gegen starken Windeinfluß schützt man sich auch neuerdings gut durch Windschutzanlagen, so daß diese Annahme ihre Berechtigung hat. Es ist aber doch nötig, im Einzelfall die örtlichen Verhältnisse genau nachzuprüfen, ob günstigere oder ungünstigere Annahmen am Platze sind. Für den Umbau bestehender Anlagen läßt sich leicht einwandfreies Material sammeln, wenn man z. B. in die Spitzen der Ordnungsgleise kleine Meßstrecken einbaut, die mit einem Schreibwerk auf einen laufenden Papierstreifen strichweise das Befahren durch jeden ablaufenden Wagen aufzeichnen. Aus der Länge der Striche läßt sich unmittelbar die Geschwindigkeit  $v$  jedes Wagens an der Meßstelle feststellen. Die Geschwindigkeiten rechnet man nach der Formel  $h_x = \frac{v^2}{2g'}$  in Geschwindigkeitshöhen um ( $g' =$  die mit Rücksicht auf die sich drehenden Massen korrigierte Erdbeschleunigung  $g$ ) und trägt diese Höhen senkrecht von den Meßpunkten nach oben auf. Verbindet man den um  $h_0 = \frac{v_0^2}{2g'}$  erhöhten Scheitel des Ablaufberges ( $v_0 =$  Abdrückgeschwindigkeit) mit dem oberen Endpunkt einer dieser Geschwindigkeitshöhen, so gibt die Neigung der Verbindungslinie nach der Formel  $\text{tg } \alpha = w$  den dem betreffenden Wagen zugehörigen mittleren Widerstandskoeffizienten (Textabb. 2). Dehnt man diese einfachen Messungen über einen längeren Zeitraum aus, so kann man klar übersehen, mit welchen Laufwiderständen hier zu

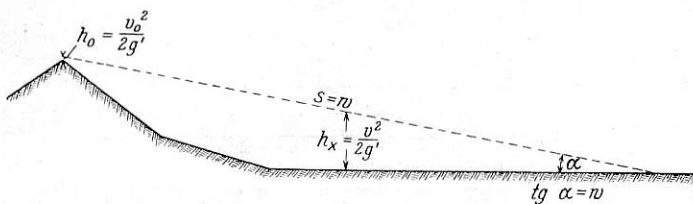


Abb. 2.

rechnen ist und wie häufig die einzelnen auftreten. Der Betriebsleiter muß sich also nur entschließen, welchen Grad der Betriebstüchtigkeit er von seiner Ablaufanlage verlangen will. Er wird keine 100% Betriebstüchtigkeit wählen, da damit zu große Berghöhen herauskämen; vereinzelt, seltene Störungen müssen daher stets in Kauf genommen werden. Er wird aber sich auf diesem Weg ganz einwandfreie Unterlagen für seine Festlegung der Betriebstüchtigkeit verschaffen.

Hat er auf Grund dieser Unterlagen bestimmt, daß unter allen Umständen z. B. noch Wagen mit  $w = 12 \text{ kg/t}$  in die Richtungsgleise bis zu einer Entfernung von 250 m vom Ablaufpunkt laufen müssen, so muß der Höhenunterschied zwischen dem Berggipfel und dem Punkt, an dem der Wagen zum Halten kommen soll,  $250 \times 0,012 = 3,0 \text{ m}$  betragen. Von dieser Höhe kann nur abgewichen werden, wenn es möglich ist, zwei verschieden hohe Berge anzulegen. Dann ist aber genau nach denselben Grundsätzen für jeden der beiden Berge (Sommer- und Winterberg) von der Betriebsleitung festzustellen, was er unter allen Umständen noch leisten muß, womit seine Höhe eindeutig festliegt.

## 2. Wie sind die Gleisentwicklungen der Ordnungsgleise zu gestalten?

Bei älteren Anlagen, bei deren Bau man die Ablaufmechanik noch nicht wie heute beherrschte, findet man oft langgestreckte Gleisentwicklungen mit geraden Weichenstraßen, die weite Wege bis in die Richtungsgleise ergeben. Wie unter 1. dargelegt, hängt aber die Ablaufberghöhe unmittelbar von der Länge dieser Wege ab. Je kürzer man diesen Weg und je gedrängter die Gleisentwicklung macht unter Ver-

meidung von zu starken und langen Krümmungen, die ihrerseits wegen des Krümmungswiderstands wieder eine Erhöhung des Berges bedingen, desto niedriger kann der Berg, ohne die Betriebstüchtigkeit zu vermindern, gehalten werden, desto weniger Laufenergie der Wagen, muß nutzlos vernichtet, also abgebremst werden. Solche gedrängte gute Gleisentwicklungen sind aber nur bei gebüschelter Gleisentwicklung möglich. Hierauf haben der Verfasser<sup>2)</sup> und Dr. Ing. Frölich<sup>3)</sup> immer wieder hingewiesen; letzterer hat an Musterbeispielen den großen Vorteil solcher Entwicklungen klargelegt<sup>3)</sup>. Die Textabb. 3 u. 4 zeigen eine ältere Anlage und eine nach den Vorschlägen von Frölich verbesserte Anlage. Seinen Arbeiten ist es zu verdanken, daß diese Erkenntnis durchgedrungen ist. Später hat Dr. Ing. Bäseler gezeigt, daß man mit Schlepp- und Mehrfachweichen<sup>4)</sup> u. U. noch kürzere Entwicklungen, als Frölich mit Normalweichen erreicht hat, herstellen kann. Solche Schlepp- und Mehrfachweichen (z. B. Vierwegeweichen) sind in Deutschland bisher nicht gebräuchlich. Auch hier wird erst die Praxis, wenn einmal solche Mehrfachweichen in Deutschland gebaut und angewandt werden sollten, entscheiden müssen, ob die Vorteile, die sie gegenüber Normalweichen für die Verkürzung der Weglängen bringen, höher anzuschlagen sind, als der Nachteil der Verwendung einer komplizierten Sonderweichenkonstruktion.

Für jeden, der sehen will, dürfte der Vorteil der kürzeren Gleisentwicklung in Büschelform mit Rücksicht auf die kürzeren Laufwege bis in die Richtungsgleise und damit auf mäßige Ablaufberghöhen klar liegen. Dabei muß das Prinzip der Büschelung natürlich nicht unbedingt für jedes Gleis durchgeführt werden, sondern es können auch kurze Weichenreihen eingeschoben werden, um günstigere Krümmungsverhältnisse zu erhalten. Die gebüschelte Entwicklung besitzt noch einen weiteren Vorteil, nämlich den, daß sie den ablaufenden Wagen sehr rasch verschiedene, voneinander unabhängige Wege bietet, wodurch die Wahrscheinlichkeit, daß zwei im Zuge bei der Zerlegung aufeinanderfolgende Wagen auf längere Strecke hintereinander herlaufen, außerordentlich vermindert wird und daß, selbst, wenn dieser Fall eintritt, der gemeinsame Weg an sich gegenüber geraden Weichenstraßen erheblich verkürzt wird. Mit Rücksicht auf die Gefahr des Sicheinholens oder Zunaherückens zweier Wagen, von denen der erste ein Schlechtläufer, der zweite ein Gutläufer ist, ist dies von erheblicher Bedeutung. Im einzelnen wird hierauf unter 3. eingegangen, es soll daher hier dieser kurze Hinweis genügen. Wenn Dr. Bäseler, der selbst den Vorteil dieser kurzen Gleisentwicklung mehrfach betont und anerkannt hat, in einer neueren Abhandlung<sup>5)</sup> schreibt: „Es spricht gar kein Grund für die Büschelung. In den Mutterstraßen laufen freilich die Wagen im Durchschnitt länger auf demselben Wege hintereinander her, aber da wir wissen, daß sie sich doch nicht einholen, stört und das nicht“, so kann diese Äußerung leicht zu Mißverständnissen Anlaß geben, da sie nur für die in den Rahmen solcher gedrängter und gebüschelter Gleisentwicklungen eingeschobene kurzen Mutterstraßen und auch hier nur bedingt richtig ist. Daß sich

<sup>2)</sup> Ammann: „Über die Ausgestaltung der Verschiebebahnhöfe.“ V. W. 1919, Nr. 28 bis 34. Rangierbahnhöfe in Ausgestaltung und Betrieb. I. Sonderheft der V. W. 1922 und V. W. 1930 Nr. 9.

<sup>3)</sup> Frölich: „Mechanische Rangierrampe.“ Verschiebebahnhöfe in Ausgestaltung und Betrieb. I. Sonderheft d. V. W. 1922. „Rangieren mit Schwerkraft.“ Ztg. d. V. d. E. V., H. 32, 1922. „Beiträge zur dynamischen Untersuchung von Ablaufanlagen.“ V. W. 1924, H. 38. „Ablaufdynamik.“ Organ 1926, S. 237.

<sup>4)</sup> Bäseler: „Die Weichenentwicklung an Ablaufbergen.“ Organ f. d. Fortsch. d. Eisenbahnw. 1927. Seite 289.

<sup>5)</sup> Bäseler: „Von Gleisbremsen, Zeitweglinien und verwandten Dingen.“ Ztg. d. V. d. E. V. 1929, H. 51/52.

auf langen Mutterspuren die Wagen leider sehr oft einholen, ist eine jedem Praktiker genügend bekannte Tatsache.

### 3. Ist Steilprofil oder Flachprofil für Ablauframpen zu wählen?

Sollen Wagen vom Laufwiderstand  $w$  auf einer geneigten Bahn frei ablaufen, so muß deren Neigung mindestens so groß sein, daß  $\text{tg } \alpha = w$  ist. Bei Wagen mit verschiedenen Laufwiderständen gibt derjenige, der im Hinblick auf die Betriebstüchtigkeit noch in Betracht gezogenen Wagen, der den ungünstigsten Laufwiderstand  $w_{\text{max}}$  aufweist, den Ausschlag,  $\text{tg } \alpha$  muß daher gleich oder größer  $w_{\text{max}}$  sein. Z. B. für  $w_{\text{max}} = 12 \text{ kg/t}$  muß also  $\text{tg } \alpha = 0,012$  sein.

Schlecht- und einem unmittelbar folgenden Gutläufer die Weichen umgestellt werden können.

Die Zeit, die zum Umstellen der Weichen einschließlich aller Nebenzeiten (Beobachtungszeit, Reaktionszeit) erforderlich ist, werde mit  $t_w$  bezeichnet. Sie schwankt zwischen 0,5 Sek. bei modernen automatischen Stellwerken und 3 Sek. bei handbedienten Stellwerken. Für die zulässige zeitliche Aufeinanderfolge  $t_s$  zweier Wagen an der Zungenspitze einer Verteilungsweiche — auf die vorderen Achsen der beiden aufeinanderfolgenden Wagen bezogen — ergibt sich (Textabb. 5) dann bei 5 m langen Zungen und einem Achsstand von 4,5 m:

$$t_s = \frac{5 + 4,50}{v_1} + t_w = \frac{9,5}{v_1} + t_w$$

Gleisplan mit langen Weichenstraßen.

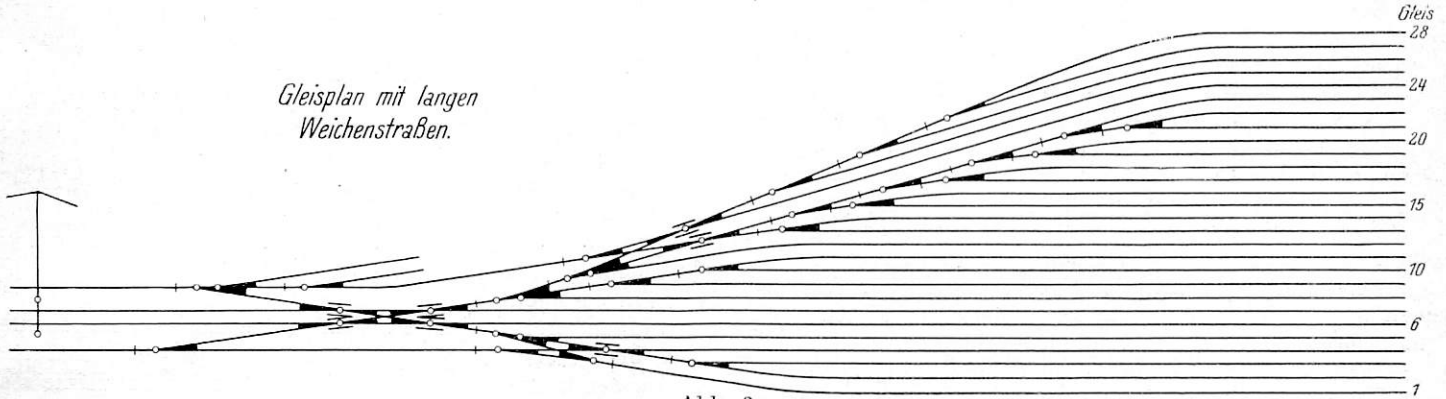


Abb. 3.

Gleisplan mit ausgesprochener Büschelung.

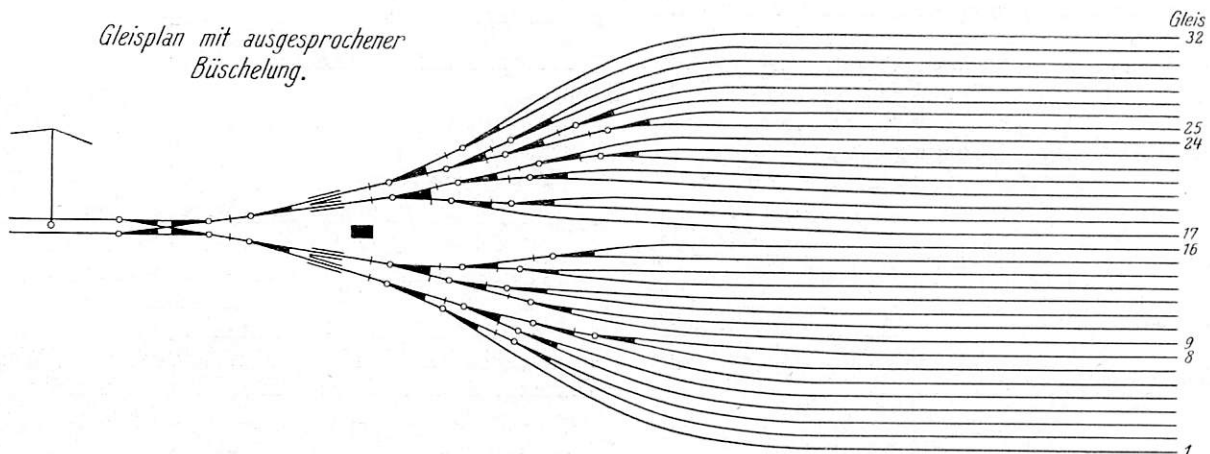


Abb. 4.

Würde man eine Flachrampe mit dieser Neigung  $\text{tg } \alpha = w_{\text{max}}$  anlegen, so würde sich der Schlechtläufer als Einzelwagen mit  $w_{\text{max}}$  auf ihr gleichförmig mit der Abdrückgeschwindigkeit weiterbewegen. Ein auf ihn folgender Wagen mit gleichem oder geringerem Laufwiderstand würde Puffer an Puffer mit ihm ablaufen, so daß bei keiner, auch der geringsten Abdrückgeschwindigkeit eine Umstellung der Weichen zwischen beiden Wagen bei den gebräuchlichen Zungenlängen von ca. 5 m möglich wäre, da die einander benachbarten Achsen der beiden Wagen nur etwa 4,5 m voneinander entfernt sind. Da die Anlage aber für Wagen mit diesem  $w_{\text{max}}$  noch betriebstüchtig sein soll, ist also eine solche Flachrampe vollständig ausgeschlossen. Die Wagen müssen unter allen Umständen gleich hinter dem Ablaufpunkt soweit auseinander gezogen werden, daß schon die ersten Verteilungsweichen, die bei gut durchgebildeten Anlagen nur etwa 20–25 m vom Ablaufpunkt entfernt liegen, umgestellt werden können, und müssen bis zu den letzten Verteilungsweichen so laufen, daß auch hier noch zwischen einem

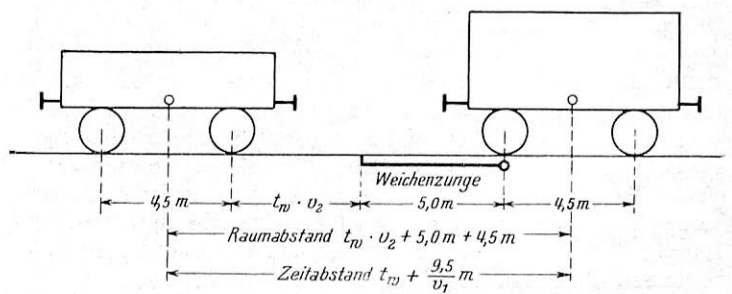


Abb. 5.

wo  $v_1$  die Geschwindigkeit des voranlaufenden Wagens ist. Auf den Schwerpunkt der beiden Wagen bezogen lautet die Gleichung:

$$t_s = \frac{2,25}{v_2} + \frac{5 + 2,25}{v_1} + t_w$$

wobei  $v_2$  die Geschwindigkeit des nachfolgenden Wagens bedeutet. In allen kritischen Fällen, in denen ein Gutläufer einem Schlechtläufer unmittelbar folgt, ergibt die erste

<sup>6)</sup> Dieses  $w_{\text{max}}$  ist nur das relative, nicht das absolute Maximum von  $w$ ; letzteres muß, wie früher dargelegt, außer Acht gelassen werden.

Gleichung ein etwas größeres  $t_s$ . Verwendet man sie — wie das nachfolgend geschieht — auch als Annäherung für die Berechnung des erforderlichen Schwerpunktsabstands, so hat man noch einen kleinen Sicherheitszuschlag in dem Wert  $t_s$ . Der erforderliche Raumabstand der vorderen Wagenachsen, bzw. mit genügender Annäherung auch der Wagenschwerpunkte der beiden Wagen muß mindestens  $l_{\min} = 9,50 + t_w v_2$  betragen, der der benachbarten Achsen beider Wagen  $l_{\min} = (9,50 - 4,50) + t_w v_2 = 5,0 + t_w v_2$ .

Das Auseinanderziehen der Wagen auf genügenden Abstand muß gleich hinter dem Ablaufpunkt auf einer Steilrampe erfolgen, darüber besteht restlose Übereinstimmung der Ansichten, diese gehen nur in der Frage, wie steil und hoch diese Steilrampe sein soll, auseinander. Es steht außer Frage, daß man schon mit einer Steilrampe von 0,5 m, an die sich eine Flachrampe anschließt, auf der die übrige Berghöhe gleichmäßig verteilt ist, oder daß man mit einer solch kleinen Steilrampe und anschließender mehr parabolisch ausgebildeten Rampe arbeiten kann. Was man aber damit leisten kann, ist eine andere Frage. Bei der Verteilung der verfügbaren Berghöhe auf die einzelnen Strecken der Ablauframpe handelt es sich also um eine Frage der Leistungsfähigkeit der Anlage, da diese Gefällsverteilung auf die Laufzeiten, die Laufzeitunterschiede und die Wagenabstände einwirkt, von denen die zulässige Abdrückgeschwindigkeit und damit das „Schluckvermögen“ der Ablaufanlage abhängt.

Abdrücken darf man nur so rasch, daß stets noch zwischen zwei aufeinanderfolgenden Wagen, auch bei ungünstigster Reihenfolge, die Weichen ordnungsgemäß umgestellt werden können. Als einheitlichen Vergleichsmaßstab für die Zerlegeleistungsfähigkeit verschiedener Ablauframpen gilt heute die mit Rücksicht auf die ordnungsgemäße Bedienung der ungünstigst gelegenen Verteilungsweiche bei freiem Ablauf noch erreichbare Abdrückgeschwindigkeit  $v_0$ .

Die zulässige Wagenfolgezeit  $T_0$  am Ablaufpunkt berechnet sich nach der Formel:

$$T_0 = \Delta t + t_s = \Delta t + \frac{9,5}{v_1} + t_w \left( \text{genau} = \Delta t + \frac{2,25}{v_2} + \frac{7,25}{v_1} + t_w \right)$$

$\Delta t$  ist der Laufzeitunterschied zweier aufeinanderfolgender Wagen an irgend einem Punkt der Bahn. Die zulässige Abdrückgeschwindigkeit errechnet sich dann aus der Wagenlänge  $L_w$  und der Wagenfolgezeit  $T_0$  zu:

$$v_0 = \frac{L_w}{T_0}$$

Je kleiner  $T_0$ , desto rascher kann abgedrückt und der Zug zerlegt werden, desto mehr Zerlegungsarbeit kann die Ablaufanlage in einem gewissen Zeitraum leisten.  $T_0$  kann man verkleinern und damit die Zerlegegeschwindigkeit erhöhen, wenn man die auftretenden  $\Delta t$  verkleinert, wenn man die Laufgeschwindigkeit  $v$  möglichst groß hält oder wenn man die Umstellzeit der Weichen verkürzt oder alle drei Bedingungen gleichzeitig erfüllt. Darüber kann kein Zweifel bestehen, das ergibt die Gleichung für  $T_0$  zwingend. Wie die Umstellzeit  $t_w$  kleingehalten werden kann, wird in dem Abschnitt über die Rangierstellwerke dargelegt werden; hier genügt es zunächst zu wissen, daß man heute schon praktisch mit  $t_w$  bis 0,5 Sek. heruntergehen kann; es soll aber nachfolgend nur mit  $t_w = 1$  Sek. unter günstigen,  $t_w = 2,5$  Sek. unter ungünstigen Bedingungsverhältnissen gerechnet werden.  $\Delta t$  und  $v$ , die beiden anderen auf die Zerlegungsgeschwindigkeit einwirkenden Faktoren, stehen — bei gegebenem Wagenmaterial — im gegenseitigen Abhängigkeitsverhältnis und in einem solchen von der Form der Ablauframpe.

Legt man wie Dr. Bäseler in der unter Fußnote 5) erwähnten Abhandlung der Betrachtung konstante Laufwiderstände zugrunde — die Ergebnisse genauerer Berechnung werden nachher gegeben — so treten, je größer die Laufgeschwindig-

keiten sind, mit der eine bestimmte Strecke durchlaufen wird, desto mehr die Unterschiede in den Laufwiderständen in ihrem Einfluß auf die Gesamtlaufzeit zurück, desto verhältnismäßig gleichmäßiger laufen die Wagen, desto geringer sind die Laufzeitunterschiede  $\Delta t$ . Eine Erhöhung der Laufgeschwindigkeiten wirkt unter diesen Umständen sowohl in dem Glied  $\frac{9,5}{v_1}$ , wie in dem Glied  $\Delta t$  vermindernd und damit zeitverkürzend in  $T_0$  und leistungssteigernd in  $v_0$ . Da die Laufgeschwindigkeit an irgend einem Punkt der Ablauframpe sich aus der Gleichung:

$$v = \sqrt{v_0^2 + 2g'h_x}$$

bestimmt, worin  $h_x$  = Geschwindigkeitshöhe = Fallhöhe ( $H_x$ ) verringert um die Widerstandshöhe des Laufweges ( $w$ ) bis zu dem betrachteten Punkt ist, bei konstantem  $w$  also:

$$h_x = H_x - l w,$$

ist dasjenige Profil das ablaufdynamisch günstigste, das in seinem Verlauf die größten  $h_x$  aufweist, und damit die größten Geschwindigkeiten ergibt.

In den Textabb. 6 u. 7 sind die Geschwindigkeitshöhen für zwei verschiedene Ablaufprofile bei drei verschiedenen Werten von  $w$  (0,003, 0,006, 0,012) dargestellt. Die Geschwindigkeitshöhe  $h_x$  in einem beliebigen Punkt der Ablaufprofile für ein bestimmtes  $w$  ist gleich dem vertikalen Abstand der Profillinie und derjenigen vom Scheitelpunkt ausgehenden geneigten Geraden, deren Neigung  $s$  gleich der betreffenden Widerstandsziffer  $w$  ist. Trägt man über der Profillinie statt

der in Textabb. 5 u. 6 dargestellten  $h_x$ -Werte die Werte  $\frac{1}{\sqrt{2g'h_x}}$  (Textabb. 8) auf, verbindet deren Endpunkte und schneidet das Bild an irgendeinem Punkt senkrecht ab, so gibt die zwischen dem Bergprofil, der Senkrechten und der Verbindungslinie der

Endpunkte der zu einem bestimmten  $w$  gehörigen  $\frac{1}{\sqrt{2g'h_x}}$

Strecken liegende Fläche unmittelbar die Laufzeit eines mit diesem Widerstand  $w$  ablaufenden Wagens bis zu dem Punkt, in dem die Senkrechte errichtet ist, und die Unterschiedsflächen zwischen zweien dieser Flächen die Laufzeitunterschiede bis zu dem erwähnten Punkt für zwei mit den entsprechenden Widerständen ablaufende Wagen. Die Textabb. 8 gibt daher ein sehr übersichtliches Bild der jeweils vorliegenden Verhältnisse und zeigt die Überlegenheit des Steilprofils der Textabb. 6 gegenüber dem Flachprofil in Textabb. 7.

Will man Gegenneigungen im Ablaufweg vermeiden, was heute die Regel ist<sup>7)</sup>, so ergibt die Zusammenfassung der gesamten Ablaufhöhe in einer Steilrampe, für die heute als stärkste Neigung 1:15 gilt, mit anschließender horizontaler Verteilungszone das günstigste Profil für freien Ablauf und konstanten Widerstandsziffern, solange die Laufgeschwindigkeiten nicht zu groß werden (etwa 7 bis 8 m/sec). Werden sie bei dieser Profilausbildung auf einzelnen Strecken zu groß, so muß man hier die Profillinie so weit anheben, daß die dadurch gekürzten Geschwindigkeitshöhen zulässige Geschwindigkeiten ergeben (Textabb. 9).

Zahlenmäßig gibt Taf. 15 mit zugehöriger Tabelle Aufschluß über die Verhältnisse bei drei verschiedenen Ablauframpen für etwa 30 Ordnungsgleise und einer Gefahrzone — bis Zungenspitze der ungünstigsten Weiche — von 200 m. In der Tabelle sind die Laufgeschwindigkeiten, Laufzeiten, Laufzeitunterschiede und die zulässigen Abdrückgeschwindigkeiten für die drei Vergleichsprofile bei günstigem und ungünstigem Wetter für verschiedene Zwischenpunkte und die

<sup>7)</sup> Im Gegensatz hierzu hält der Verfasser in gewissen Fällen die Anwendung von Gegenneigungen für zweckmäßig und unbedenklich.

ganze Gefahrzone unter der vereinfachenden Annahme konstanter Laufwiderstände  $w$  und unter Vernachlässigung der Krümmungswiderstände zusammengestellt. Für Gutläufer ist der konstante Laufwiderstand  $w$  bei günstigem Wetter und einer mittleren Geschwindigkeit von 3,0 m/sec mit 2,9 kg/t, bei ungünstigem (Frost und 4 m/sec Gegenwind) mit 6,2 kg/t, für den Schlechtläufer unter den gleichen Voraussetzungen zu 5,0 kg/t und 12 kg/t angesetzt worden. Die Steilrampenhöhe beträgt 0,5, 1,75 und 3,0 m bei einer Gesamthöhe des Berges von 3,0 m, die Neigung der Steilrampen 1:15. Die nach der Steilrampe noch übrigbleibende Berghöhe wird gleichmäßig bis an das Ende des 254 m langen Laufwegs des Schlechtläufers bei ungünstigem Wetter verteilt. Die Gefahrzone wird mit 200 m für die Berechnung der erreichbaren Zerlegungsgeschwindigkeit  $v_0$  angesetzt. Der Durchrechnung wurde zunächst ein angenommenes  $v_0 = 1,0$  m zugrunde gelegt.

Die Tabellenwerte sind, da w als konstant eingesetzt wurde und die verschiedene Lage der Ablaufpunkte und die

daraus bestimmten konstanten Widerstände abweichen, wirken sich also hier besonders bei dem Steilprofil I aus. Für Profil I beträgt nach der genauen Berechnung die größte zulässige Zerlegungsgeschwindigkeit  $v_0$  bei  $t_w = 1$  sec und bei günstigen Witterungsverhältnissen 1,75 m/sec, bei ungünstigen Witterungsverhältnissen 0,48 m/sec, bei Profil III beträgt sie 0,98 und 0,19 m/sec. Das Verhältnis beider zueinander ergibt sich bei günstigem Wetter zu 1,8:1, bei ungünstigem zu 2,5:1. Auch die genaue Berechnung ergibt also eine bedeutende Überlegenheit des Steilprofils I gegenüber dem Flachprofil III.

Die genauen Berechnungsverfahren, die insbesondere von Prof. Müller und Dr. Ing. Raab ausgebildet wurden, „geheimnissen“ nichts in die Ablaufdynamik hinein, sie geben nur die Zahlenwerte in möglicher Übereinstimmung mit der Wirklichkeit, während die „angenäherte“ Berechnung leicht unrichtige Ergebnisse liefert.

Es geht nicht an, nur die Ablaufverhältnisse bei günstigem Wetter und geringem Unterschied der Laufwiderstände in

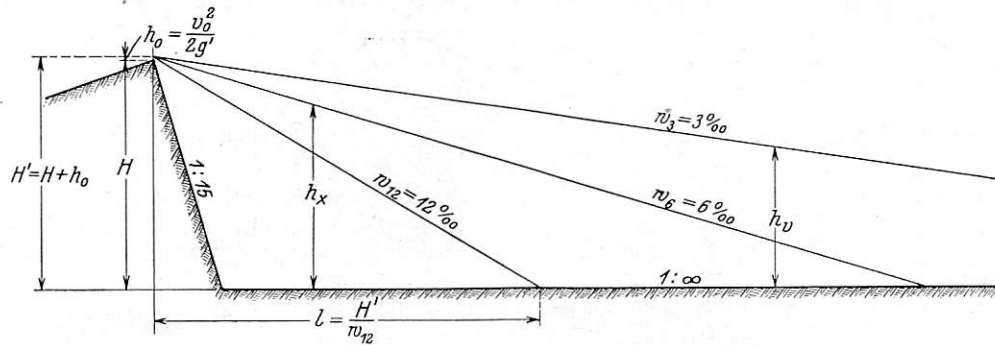


Abb. 6.

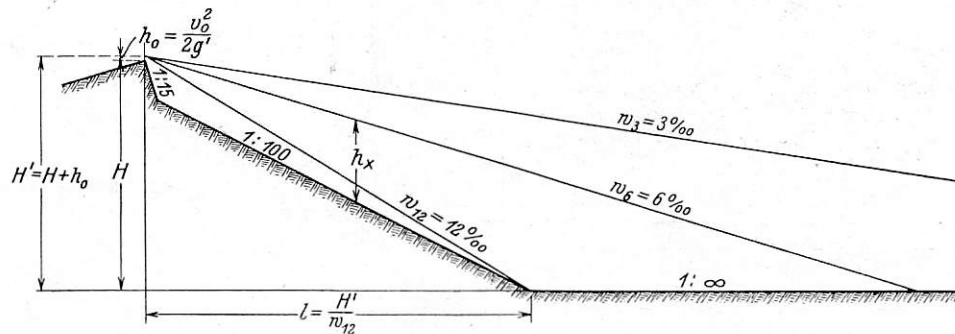


Abb. 7.

Ausrundungsbogen nicht berücksichtigt sind, nicht genau richtig, sie können nur für Vergleiche einen gewissen Anhalt geben. Man erkennt, daß bei günstigen Verhältnissen auch die Flachrampe III günstige Ablaufgeschwindigkeiten aufweist, die allerdings erheblich hinter jenen der Steilrampen II und I zurückbleiben, daß aber die Abdrückgeschwindigkeit und damit die Zerlegeleistung der Flachrampe bei ungünstigem Wetter außerordentlich stark heruntergeht. Die bei ungünstigem Wetter nach der Tabelle noch zulässigen Abdrückgeschwindigkeiten betragen bei einer Umstellzeit der Weichen  $t_w = 1$  sec:

Profil I II III

bei 200 m langer Gefahrzone. . 0,87 0,53 0,19 m/sec.

Profil I leistet also nach dieser Berechnungsart bei ungünstigem Wetter das 4,5fache des Profils III, das Profil II das 2,8fache des Profils III, während bei günstigem Wetter die Leistungen der drei Profile sich etwa wie 1,7:1,4:1,0 verhalten.

Die genaue Berechnung (nach Prof. Müller und Dr. Ing. Raab) wurde für die Profile I und III durchgeführt und ergab etwas andere Zahlenwerte. Die Unterschiede in den Zahlenwerten sind um so größer, je mehr die wirklich auftretenden Geschwindigkeiten und Widerstände von den bei der Näherungsberechnung angenommenen mittleren Geschwindigkeiten und

Betracht zu ziehen, um damit die Güte und Brauchbarkeit von Flachrampen zu beweisen. Schon bei günstigem Wetter treten häufig erheblichere Unterschiede in den Laufwiderständen auf, bei ungünstigem Wetter drücken diese Unterschiede derart stark auf die Leistungsfähigkeit der Flachrampen, daß man auf einer Reihe vorhandener Flachrampen in Rangierbahnhöfen bei ungünstigem Wetter überhaupt vom Ablaufverfahren abgehen und zum Stoßverfahren übergehen muß.

Wenn man zur Rechtfertigung des Flachprofils noch anführt, daß man an vielen Orten gar nicht so hohe Leistungen benötige, wie sie beim Steilprofil möglich sind, so ist das auch kein Grund gegen das Steilprofil. Man kann wohl auch beim Steilprofil langsam zerlegen, man kann aber nicht beim Flachprofil, wenn es nötig wird, die Leistung steigern.

Schließlich wird oft angeführt, die Zerlegezeit spiele bei der Gesamtbearbeitungszeit im Rangierbahnhof keine ausschlaggebende Rolle, so daß die Leistungssteigerung des Ablaufbergs durch Anlage eines Steilprofils gar nicht so nötig sei. Auch das ist nicht zutreffend, denn einmal lassen sich, wo das erforderlich ist, die Zwischenzeiten erheblich verkürzen (zwei Abdrücklokomotiven, zwei Abdrückgleise, Beidrückeinrichtungen), so daß schließlich in den Hauptarbeitsstunden die



lang bemessene außerordentlich große Lücken zwischen den aufgefangenen Wagen, schlechte Ausnutzung der Gleise, große Nacharbeit beim Zusammenstellen und Kuppeln der Züge; eines von beiden ist bei größerer Zulaufgeschwindigkeit immer wahrscheinlich.

Die Hemmschuhbremse sollte demnach nur da angewandt werden, wo die Wagen mit geringen Geschwindigkeiten — etwa mit 1 bis höchstens 3 m/sec — laufen, so daß die möglichen Unterschiede im Bremsweg nicht zu groß werden und daß vor allem auch das Personal mehr Zeit und Ruhe zum ordnungsgemäßen und sicheren Auflegen der Hemmschuhe zwischen den Wagen hat. Da aber bei allen betriebstüchtigen, auch bei ungünstigem Wetter leistungsfähigen Ablaufanlagen mindestens im oberen Teil der Richtungsgleise Laufgeschwindigkeiten von 5 bis 6 m/sec bei Gutläufern, die hier u. U. auf Halt gebremst werden müssen, vorkommen, ist für solche Anlagen die Forderung zu stellen, daß vor der Laufwegbremsung mit Hemmschuhen eine Vorbremmung liegen muß, die die Wagengeschwindigkeiten, soweit das mit ihrem Laufziel und Abstand irgend verträglich ist, heruntersetzt, so daß ein gefahrloses und zuverlässiges Arbeiten der Hemmschuh-Nachbremsers sichergestellt ist. Je besser die Vorbremmung ist, desto mehr ist die Nachbremsung entlastet, was sich in höherer Gleiszuteilung und längerer Arbeitszone auswirkt.

dieser Vorbremmung strebt, wozu z. B. mechanisierte Hemmschuhgleisbremsen vorgeschlagen werden. Diese könnten dadurch Vorteile bringen, daß ihre Bedienung an einigen wenigen Stellen zusammengefaßt werden könnte, was Personalsparnisse bedingte, daß die Gefährdung des Personals wegfiel, daß je nach Konstruktion u. U. sogar der Bremsweg noch nachträglich in der Bremse verkürzt werden könnte, daß die Gefahr des Abspringens des Hemmschuhs durch seine Führung behoben würde; sie beseitigten aber nicht den Nachteil der erforderlichen langen Bremswege, der außerordentlichen Unterschiedlichkeit der Bremswirkung des Hemmschuhs und des teilweisen Schleifens der hemmschuhfreien Räder bei einseitiger Bremsanordnung.

Wenn man schon hier mechanisieren will, sollte man m. E. auch gleich den unzuverlässigen Hemmschuh dabei beseitigen und zu den viel zuverlässiger und kräftiger wirkenden Backenbremsen übergehen, für die neuerdings eine einfache Ausführungsform, die auch für gleiche Leistung im Preis mit mechanisierten Hemmschuhbremsen erfolgreich in Wettbewerb treten kann, von der Thyssenhütte herausgekommen ist. Sie ist wie die große Thyssenbremse gewichtsautomatisch, nützt also das ganze Gewicht der Wagen und Wagenruppen zur Bremsung aus — nicht wie der Hemmschuh nur das Gewicht der vordersten Achse —, so daß man zu verhältnismäßig kurzen Bremsen kommt. Mit solchen Bremsen hat man

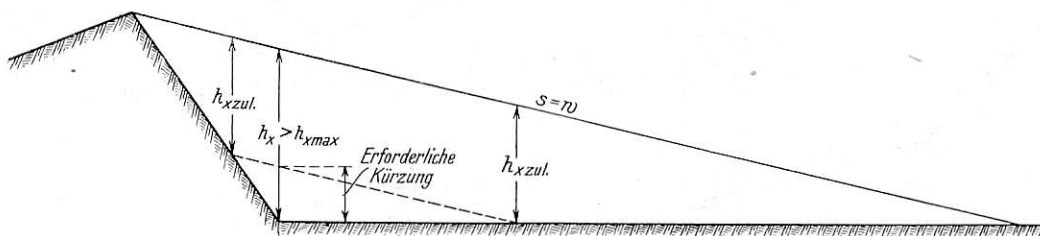


Abb. 9.

Diese Vorbremmung kann verschiedenartig erfolgen, entweder mit zahlreichen Einzelbremsen, je einer in der Spitze jedes Richtungsgleises, oder mit wenigen Bremsen innerhalb der Weichenzone, je einer vor jedem größeren Gleisbüschel.

Für die Vorbremmung in jedem einzelnen Richtungsgleis kommen nur verhältnismäßig billige Bremsen in Frage, da es sich jeweils um 25—40 Bremsen handelt. Man hat diese Art der Vorbremmung in Deutschland bisher nur mit den sog. Büssingbremsen mit Auswurfherzstück, die mit gewöhnlichen Hemmschuhen betrieben werden, angewendet (Magdeburg-Rotensee, Gleiwitz). Diese Vorbremmen mit losen Hemmschuhen müssen also die ablaufenden Wagen bei Geschwindigkeiten von 5 bis 6 m/sec bremsen; alle gegen die Verwendung loser Hemmschuhe oben angeführten Gründe kommen hier besonders ungünstig zusammen, so daß wohl niemand diese Art des Vorbremmens ernstlich als etwas technisch Vorbildliches wird ansprechen wollen. Auch wirtschaftlich ist sie wenig befriedigend: entweder braucht man außer zahlreichen Gleisbremsen in den Richtungsgleisen noch zahlreiche Nachbremsen oder man muß, wo man an letzteren etwas sparen will, große Lücken zwischen den einzelnen Wagen und Gruppen und schlechte Ausnutzung der Gleise in Kauf nehmen, so daß man besondere Beidrückvorrichtungen wie in Magdeburg (10 km besonderes Schmalspurgleis mit 15 Weichen und 22 Kreuzungen, eine Akkumulatorenlokomotive mit zwei Mann Personal dauernd im Betrieb) notwendig hat für Arbeiten, die bei moderner Ausrüstung mit hochwertigen Zentralbremsen selbst bei höherer Wagenzahl eine Abdruckmaschine noch nebenher erledigt.

Es ist daher begreiflich, daß man nach Verbesserungen

den Bremsvorgang in der Hand und die Arbeitsbedingungen liegen günstig. Da auch die Bremsmaße infolge schneller Bremslösung gut abstufbar sind, so würde durch sie gegenüber Hemmschuhbremsung die Qualität der Vorbremmung wesentlich verbessert, in allen übrigen Punkten gelten für sie die gleichen Vorteile, wie sie gegenüber Büssingbremsen bei den mechanisierten Hemmschuhbremsen angeführt wurden. Eine solche Verbesserung der Vorbremmung in den Richtungsgleisen könnte zu betrieblichen und wirtschaftlichen Erfolgen führen.

Der zweite Weg, den man für die Vorbremmung in Deutschland mit Erfolg beschritten hat, ist der, die Vorbremmung in der Weichenzone hochwertigen Starkbremsen anzuvertrauen. Deutschland kann auf dem Gebiet der Rangiertechnik sich rühmen, die ersten und bis heute auch die besten schweren Gleisbremsen herausgebracht zu haben. Die erste Starkbremse war die nach den Ideen und Vorschlägen Dr. Ing. Frölichs von der Thyssenhütte gebaute, nach ihr genannte „Thyssenbremse“, die heute nicht nur in Deutschland, sondern auch im Ausland Anerkennung und Anwendung gefunden hat (England, Amerika, Schweiz, Italien, Holland, Dänemark, Argentinien). Ihr folgten die Starkbremsen von Jordan und Bäseler. Über die Wirkungsweise und den Erfolg dieser Bremsen soll in einem folgenden Absatz gesprochen werden. Hier genügt es festzustellen, daß man in der Thyssenbremse eine Starkbremse besitzt, die absolut betriebssicher und leistungsfähig bei allen vorkommenden Wagengeschwindigkeiten und Wagengewichten, die bei richtigem Einsatz sehr wirtschaftlich, die feinfühlig und schnell reagierend ist. Im Hinblick auf die Anlagekosten wird man sich in ihrer Zahl

beschränken, jeder einzelnen eine Mehrzahl von Gleisen zur Bedienung zuweisen und sie also vor die erste Weiche der von ihr bedienten Gleisbüschel legen. Man muß deshalb dafür sorgen, daß neben gedrängter Gesamtentwicklung<sup>8)</sup> insbesondere die Gleisentwicklung hinter der Gleisbremse möglichst kurz ist, daß sich also die Gleise so rasch als möglich verzweigen. Jede Verlängerung dieser Gleisentwicklung vergrößert nicht nur den Weg bis zum Laufziel der Wagen, sondern auch die Zone, in der sich die Vorbremmung auf den Wagenlauf ungünstig auswirken kann. Die Vorbremmung in der Weichenzone nimmt ja den Wagen hier einen Teil ihrer glücklich durch die Steilrampe erreichten hohen Geschwindigkeiten, die einen gleichmäßigen Lauf der Wagen bringen, wieder weg, was bei bestimmten Bremsungen auf die Laufzeitunterschiede zweier aufeinander folgender Wagen ungünstig einwirken kann. Dieser Nachteil tritt bei den Bremsen in den Richtungsgleisen nicht auf. Ist dieser Nachteil nun sehr groß und wird er nicht durch andere Vorteile bei weitem aufgewogen?

Bei jeder Verteilungsanlage mit Starkbremsen zur Vorbremmung gabelt man von vornherein das Ablaufgleis je nach der Gesamtgleiszahl in eine gewisse Anzahl gleichwertiger Laufwege — zwei bis vier —, von denen jeder zu etwa gleichviel Ordnungsgleisen (acht bis zehn Gleisen) hinführt. Wenn man sich nun einmal klarmacht, was alles zusammen kommen

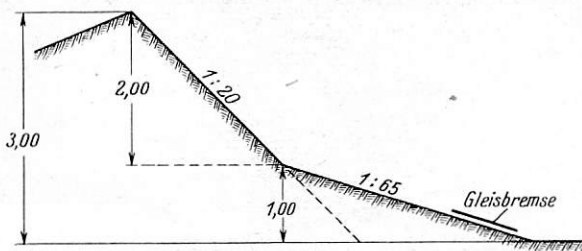


Abb. 10.

muß, um dem Bremswärter mit Rücksicht auf den ungestörten Gesamtablauf die Vorbremsmöglichkeit stark einzuschränken oder gar zu nehmen und wenn man dann die Wahrscheinlichkeitsrechnung zu Rate zieht, so begreift man, daß das so seltene Fälle sind, daß man sie besonders behandeln kann. In solchen Ausnahmefällen kann durch besondere Hupensignale der ungenügend vorgebremste Wagen den immer vorhandenen Nachbremsern vorgemeldet und von ihnen, wohl vorbereitet, sicher aufgefangen werden. Man muß weiterhin im Auge behalten, daß für solche Vorbremmung in der Weichenzone nur Steilprofile in Frage kommen, die in der Verteilungszone hohe Ablaufgeschwindigkeiten ergeben. Man kann in der Zone der hohen Geschwindigkeiten den Wagen schon sehr viel Bewegungsenergie abnehmen und damit ihren Laufweg erheblich kürzen, ohne die Geschwindigkeit allzusehr herunterzusetzen. Bremsst man einen Gutläufer, der mit 7 m/sec in die Bremse einläuft auf 5 m/sec Geschwindigkeit herunter, so verliert er die Hälfte seiner Bewegungsenergie und etwa 400 m Laufweg, aber nicht einmal ein Drittel seiner Geschwindigkeit. Das ist von hoher Bedeutung.

Die Verteilungszone hinter der Bremse muß, um beim Vorbremmen die Geschwindigkeiten möglichst hoch belassen zu können, horizontal liegen — eine Gegensteigung wäre noch besser —, die Gleisbremse selbst wird zweckmäßig in eine Neigung von 1:60 bis 1:80 gelegt, damit festgebremste Wagen von selbst wieder in Lauf kommen können. Damit ergibt sich das in Textabb. 10 dargestellte Profil, das in seiner

<sup>8)</sup> Die Gesamtentwicklung wird beim Einbau von Gleisbremsen gegenüber solchen ohne Gleisbremsen etwas verlängert, was aber gegenüber dem Vorteil, diese Gleisbremsen auch zur Abstandsreglung benutzen zu können, keine Bedeutung hat.

Leistungsfähigkeit zwischen derjenigen im Profile I und II bei Tafel 15 steht.

Die Praxis bestätigt das oben Gesagte: sowohl in Hamm, wie in Bremen und Hochfeld-Süd ist die Vorbremmung so günstig, daß mit einer beschränkten Zahl von Hemmschuhlegern das Nachbremsen sicher und einwandfrei durchgeführt werden kann und sich die Wagenschäden gegen früher erheblich vermindert haben; die Fertigstellung der Züge verlangt hier, da die Wagen größtenteils kupplungsreif zusammenlaufen, wenig Nacharbeit, die von den Abdrücklokomotiven neben ihrer sonstigen Arbeit noch mitgeleistet wird. Wie hochwertig die Qualität der Vorbremmung mit diesen fein reagierenden Thyssenbremsen ist, zeigen die Ergebnisse besonderer Versuche zu ihrer Nachprüfung, die nachstehend mitgeteilt seien.

Auf Rangierbahnhof Hochfeld-Süd wurden im betriebsmäßigen Ablauf die Endgeschwindigkeiten der ablaufenden Wagen am Laufziel (des Versuches wegen ohne Nachbremsung, die sonst stets bei größeren Geschwindigkeiten eingreift), gemessen. Die Ergebnisse der dort vorgenommenen zwei Versuche gibt nachfolgende Tabelle:

	Versuch I (7 Wagen)	Versuch II (17 Wagen)
Geschwindigkeit am Ziel:		
0—0,5 m/sec	—	5
0,5 —0,75 „	1	3
0,75—1,0 „	3	2
1,0 —1,25 „	3	4
1,25—1,50 „	—	2
1,50—2,0 „	—	—
2,0 —2,25 „	—	1
	7 Wagen	17 Wagen

Man hält z. Z. im allgemeinen Auflaufstöße mit 1,0 m/sec Geschwindigkeit für ungefährlich; nach dieser Ansicht hätten 58% keine Nachbremsung mehr erfordert. Die Geschwindigkeit der übrigen Wagen liegt so nieder, daß man hier unbedenklich Hemmschuhbremsung anwenden und Laufwegbremsung ohne große Lücken erreichen kann.

Je nach Größe und Belastung der Ablaufanlagen ist die Bedienung dieser zwei, drei oder vier Vorbremmen einem oder zwei Bremsern übertragen, die, vor Witterungsunbilden und Gefahren geschützt, im Bremssturm stehen und unmittelbar vor und unter sich die Wagen herankommen sehen und sie in der Bremse gut beobachten und beurteilen können. Sie können die Bremswirkung in Bruchteilen von Sekunden verstärken oder abschwächen und so jede gewünschte Auslaufgeschwindigkeit des Wagens erreichen. Man hat als weitere Verbesserung eine automatische Abschaltung der Bremsen beim Erreichen einer bestimmten Laufgeschwindigkeit vorgeschlagen. Diese Einrichtung wird aber erst dann Bedeutung erlangen, wenn auch die Lauffähigkeit der Wagen selbsttätig gemessen werden kann. Denn solange der Bremswärter diese nach seiner Erfahrung schätzen muß, genügt es vollständig, seiner Erfahrung und seinem Gefühle auch die Bestimmung der Auslaufgeschwindigkeit und des Bremsmaßes zu überlassen, da ja auch die mechanische Einstellung einer bestimmten Auslaufgeschwindigkeit nur erfahrungs- und gefühlsmäßig nach der geschätzten Lauffähigkeit erfolgen könnte.

Vorstehend ist gezeigt, daß die verlangte Bremsaufgabe bei richtiger Eingliederung der Starkbremse in den entsprechend ausgestalteten Gleis- und Profilplan mit hochwertiger Vorbremmung und sicherer Nachbremsung in einer Art erfüllt werden kann, die technisch und betrieblich jener



der Anwendung von Büssingbremsen in den Richtungsgleisen weit überlegen ist und sie bei entsprechender Größe des Rangiergeschäftes auch wirtschaftlich übertrifft.

Die Lage der Starkbremse in der Verteilungszone bietet aber noch weiter den Vorteil, daß sie, wenn nötig, zur Abstandsverbesserung zweier aufeinanderfolgender Wagen betätigt werden kann. Die Abstandsbremse wirkt stets auch

als Vorbremse; sie wird nie eine sonst mögliche ausreichende Vorbremse beeinträchtigen, sie kann höchstens in Ausnahmefällen als Vorbremse zu stark wirken, dann bleibt der Wagen etwas zu früh im Richtungsgleis stehen.

Dieser kleine Nachteil spielt gegenüber dem großen Vorteil, mit der Vorbremse gleichzeitig eine Abstandsreglung vornehmen zu können, keine Rolle. (Fortsetzung folgt.)

### Berichtigung der Fehler in Gleisbogen.

Von J. Demandt, Bahningenieur bei den Dänischen Staatsbahnen.

Bekanntlich ist für die Berichtigung der im Felde vorkommenden, oft unregelmäßigen Gleisbogen bisher das von Nalenz-Höfer angegebene Verfahren vorzugsweise benutzt worden.

Im folgenden soll eine leichtere und einfachere Methode dargestellt werden, die mit hinlänglichem Erfolge von den Dänischen Staatsbahnen benutzt worden ist.

Die Krümmungsverhältnisse eines Gleisbogens bestimmt man dadurch, daß man die Bogenlänge in gleiche Teile einteilt und die Pfeilhöhen an jedem Meßpunkt von der Sehne zwischen den beiden Nachbarpunkten aus bis zu dem betreffenden Bogenpunkt mißt, also mitten an der Sehne. Die Pfeilhöhen

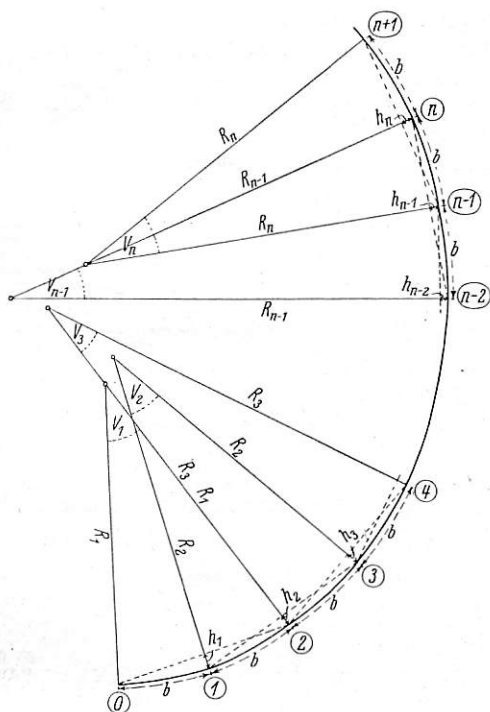


Abb. 1.

sind somit der Ausdruck für die wechselnden Krümmungsmaße im Gleisbogen.

Ist diese Krümmung an allen Meßpunkten dieselbe, so werden die Pfeilhöhen gleich groß sein.

Man kann nun beweisen, daß das Mittel aus den gemessenen, unter sich verschiedenen Pfeilhöhen eines (fehlerhaften) Gleisbogens gleich ist der Pfeilhöhe eines ausgeglichenen Kreises von denselben Bogenstücklängen.

Wir nehmen an, daß man einen Gleisbogen in eine bestimmte Anzahl gleicher Teile, jeden von der Länge b, geteilt hat (s. Abb. 1). Der Halbmesser des Bogens wird innerhalb jedes Abschnittes 2b der Bogenlänge als beharrlich vorausgesetzt.

Man kann nun folgende Gleichungen zwischen den Pfeilhöhen und den entsprechenden Zentriwinkeln aufstellen, indem die Bogen- und die Sehnenlängen als gleich angenommen

werden, was mit  $b \leq 10$  m und mit Bogenhalbmessern von etwa 200 m aufwärts statthaft ist.

Pfeilhöhen	Entsprechende Zentriwinkel
$h_1 = \frac{b^2}{2R_1}$	$\angle V_1 = \frac{2b}{R_1} = \frac{4h_1}{b}$
$h_2 = \frac{b^2}{2R_2}$	$\angle V_2 = \frac{2b}{R_2} = \frac{4h_2}{b}$
$\vdots$	$\vdots$
$h_{n-1} = \frac{b^2}{2R_{n-1}}$	$\angle V_{n-1} = \frac{2b}{R_{n-1}} = \frac{4h_{n-1}}{b}$
$h_n = \frac{b^2}{2R_n}$	$\angle V_n = \frac{2b}{R_n} = \frac{4h_n}{b}$

Addiert man alle Winkel, so erhält man

$$\angle V_1 + \angle V_2 + \dots + \angle V_{n-1} + \angle V_n = \frac{4}{b} (h_1 + h_2 + \dots + h_{n-1} + h_n).$$

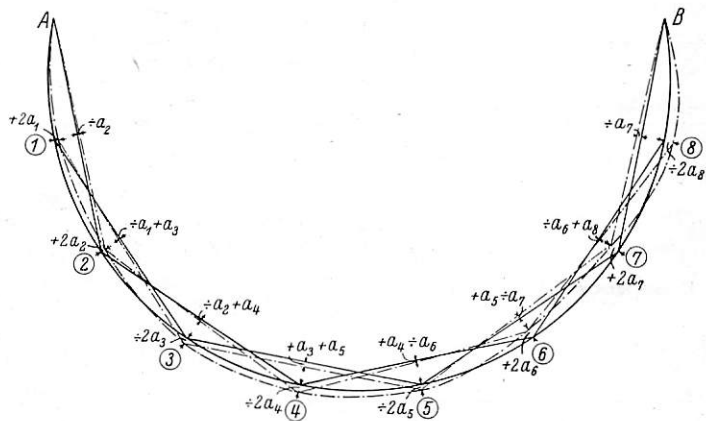


Abb. 2.

Wenn der Halbmesser des Kreises R genannt wird, so erhält man

$$\angle V_1 + \angle V_3 + \angle V_5 + \dots + \angle V_n = \frac{(n+1)b}{R}$$

und

$$\angle V_2 + \angle V_4 + \angle V_6 + \dots + \angle V_{n-1} = \frac{(n-1)b}{R}$$

Durch Summierung erhält man

$$\angle V_1 + \angle V_2 + \angle V_3 + \dots + \angle V_n = \frac{2nb}{R} = \frac{4}{b} \sum_{i=1}^n h_i$$

oder

$$R = \frac{b^2}{2 \cdot \left( \sum_{i=1}^n h_i \right) : n}.$$

Die gesuchte Pfeilhöhe ist also die Mittelzahl sämtlicher gemessener Pfeilhöhen.

Nunmehr gilt es, die Größe der Seitenverschiebungen in den Meßpunkten des Gleisbogens zu bestimmen, ferner, ob die Verschiebungen vom Mittelpunkte weg oder nach ihm hin geschehen sollen. Verschiebungen vom Mittelpunkte

weg erhalten das Vorzeichen +, die entgegengesetzt gerichteten das Vorzeichen —.

In Abb. 2 ist ein fehlerhafter Gleisbogen AB durch Strichpunktlinien angegeben. Der Bogen ist laut Abbildung in neun gleiche Teile geteilt und die Sehnen über zwei Bogen-teilungen sind gleichfalls bezeichnet.

Der Kreisbogen, dem man sich anzugleichen wünscht, ist ausgezogen. Seine Endpunkte liegen auch in A und B. Die entsprechenden Sehnen sind voll ausgezogen.

Man kann jetzt unter Hinweis auf die aus der Figur ersichtlichen Bezeichnungen die Zahlentafel a aufstellen.

Zahlentafel a.

Meßpunkte	Gemessene Pfeilhöhen in dem fehlerhaften Bogen	Seitenverschiebungen von dem fehlerhaften Bogen an den ausgeglichenen Kreis mit Vorzeichen	Pfeilhöhen im Kreise	Änderung der gemessenen Pfeilhöhen durch Verschiebung der Nachbarpunkte	Gleichungen zwischen den gemessenen Pfeilhöhen, den Seitenverschiebungen und der Pfeilhöhe in dem Kreise
1	$h_1$	$+ 2 a_1$	$h$	$- a_2$	$h_1 + 2 a_1 - a_2 = h$
2	$h_2$	$+ 2 a_2$	$h$	$- a_1 + a_3$	$h_2 + 2 a_2 - a_1 + a_3 = h$
3	$h_3$	$- 2 a_3$	$h$	$- a_2 + a_4$	$h_3 - 2 a_3 - a_2 + a_4 = h$
4	$h_4$	$- 2 a_4$	$h$	$+ a_3 + a_5$	$h_4 - 2 a_4 + a_3 + a_5 = h$
5	$h_5$	$- 2 a_5$	$h$	$+ a_4 - a_6$	$h_5 - 2 a_5 + a_4 - a_6 = h$
6	$h_6$	$+ 2 a_6$	$h$	$+ a_5 - a_7$	$h_6 + 2 a_6 + a_5 - a_7 = h$
7	$h_7$	$+ 2 a_7$	$h$	$- a_6 + a_8$	$h_7 + 2 a_7 - a_6 + a_8 = h$
8	$h_8$	$- 2 a_8$	$h$	$- a_7$	$h_8 - 2 a_8 - a_7 = h$

Aus Abb. 2 geht hervor, daß eine Seitenbewegung  $2a_2$  in dem Meßpunkte 2 vom Mittelpunkte weg (also mit Vorzeichen +) eine entsprechende Drehung der Sehne A — 2 nach sich zieht, so daß die Pfeilhöhe in dem Meßpunkte 1 um die Hälfte der Seitenbewegung verkleinert werden muß, also um  $a_2$ .

Nach der Annahme, daß der Bogenhalbmesser sehr groß sei im Verhältnis zu der Sehnteilung, ist eine solche Vereinfachung zulässig.

Denkt man sich den Meßpunkt 4 vorläufig als festliegend, so wird die Seitenbewegung  $+ 2a_2$  auch auf die Pfeilhöhe in dem Meßpunkte 3 mit der Hälfte der Seitenbewegung wirken, aber mit entgegengesetztem Vorzeichen, also mit  $- a_2$ . Da diese Überlegung allgemein gilt, kann man die Wirkung der Seitenbewegungen auf die Pfeilhöhen in den Nachbarpunkten in einer Tabelle fortlaufend aufstellen, und man wird mittels der Abbildung jetzt Gleichungen zwischen den gemessenen Pfeilhöhen, den Bewegungen und der Pfeilhöhe des Kreises erhalten.

In diesen Gleichungen sind sämtliche Pfeilhöhen bekannte Größen, da die Pfeilhöhe  $h$  des Kreises gleich dem Mittel aus sämtlichen gemessenen Pfeilhöhen ist, während  $a_1 \dots a_8$  gesucht werden sollen.

Summiert man sämtliche Gleichungen, so erhält man  $h_1 + h_2 + \dots + h_8 + a_1 - a_8 = 8 \cdot h$ .

Da  $h$  der Mittelwert der acht Pfeilhöhen ist, ist  $a_1 - a_8 = 0$ , oder  $a_1 = a_8$ .

Die Größen  $a_1 \dots a_8$  werden so gefunden, daß man aus der ersten Gleichung  $a_2$  durch  $a_1$  ausgedrückt findet.

Man stellt den Wert von  $a_2$  in die folgende Gleichung ein und findet  $a_3$  durch  $a_1$  ausgedrückt. Wenn man so fort-

schreitet, findet man am Ende  $a_8$  durch  $a_1$  ausgedrückt. Zur Nachprüfung der Richtigkeit der Berechnungen dient die Beziehung  $a_8 = a_1$ .

Aus der letzten Gleichung kann man  $a_1$  finden; setzt man diesen Wert in die für  $a_2 \dots a_8$  gefundenen Ausdrücke, alle  $a_1$  enthaltend, ein, so hat man die Seitenbewegungen gefunden.

In einem Zahlenbeispiel soll noch gezeigt werden, wie man es macht, und wie man verschiedene kleine Schwierigkeiten beseitigt.

Man teilt einen Gleisbogen in gleiche Teile von je 10 m Länge ein, indem man an dem Steg der äußeren Schiene die Meßpunkte anzeichnet. Man achte darauf, so weit vor dem Bogen anzufangen und so weit hinter ihm zu schließen, daß wenigstens die erste und die letzte Pfeilhöhe, auf der Mitte einer 20 m langen Schnur gemessen, zu 0 werden, so daß also der erste und der letzte Meßpunkt in den Tangenten des Bogens liegen. Man geht bei der Messung der Pfeilhöhen allemal um je 10 m vorwärts.

Die gemessenen Pfeilhöhen (vergl. Zahlentafel b) lassen erkennen, daß man bestrebt gewesen ist, Übergangsbogen an den Enden der Gleisbogen anzuordnen. Bei der Ausrechnung der mittleren Pfeilhöhe werden deshalb diese Pfeilhöhen an den Enden des Bogens außer Betracht gelassen, so daß die in Abb. 2 mit A und B bezeichneten Punkte, durch die der gesuchte Kreis gehen soll, im vorliegenden Falle durch die Meßpunkte 10 und 250 festgelegt sind.

In der nachfolgenden Zahlentafel b sind im ganzen 23 Gleichungen mit 23 Unbekannten  $a_1 \dots a_{23}$  aufgestellt.

Um ganze Zahlen in Millimetern für diese Größen zu bekommen, erweist es sich als notwendig, die gemessenen Pfeilhöhe 113 in den Meßpunkten 230 und 240 auf 115 und 114 mm zu ändern. Diese Kleinigkeiten an den Enden des Bogens sind belanglos.

Die mittlere Pfeilhöhe der gemessenen Pfeilhöhen wird zu einer ganzen Zahl auf 113 mm abgerundet. Dadurch wird kein Fehler von Belang begangen; die Pfeilhöhen können ja doch nicht genauer als auf 1 mm gemessen werden.

Das hat zur Folge, daß  $a_1$  und  $a_{23}$  um ein wenig von einander abweichen, aber mit entgegengesetztem Vorzeichen behaftet sind.

Man sieht, daß alle Seitenverschiebungen zu den gemessenen Pfeilhöhen addiert sind. Bei den Ausrechnungen treten aber die Vorzeichen zutage.

Aus den Seitenverschiebungen sieht man, daß vom Meßpunkte 20 bis zum Meßpunkte 210 das Gleis nach dem Mittelpunkte hin verschoben werden muß, während es vom Meßpunkte 220 zu 240 auswärts (vom Zentrum weg) gerückt werden soll.

Da aber das Gleis wegen der Wärmelücken nicht so weit zusammengedrückt werden kann, daß die berechneten Verschiebungen durchgeführt werden könnten, kann man das Gleis doch noch nach dem Kreisbogen verlegen, indem man einen Korrektionswert zufügt, der sich als Mittel aus der größten positiven und der größten negativen Seitenverschiebung mit entgegengesetzten Vorzeichen ergibt.

Der Korrektionswert wird im vorliegenden Falle

$$\frac{- 58 + 206}{2} = 74 \text{ mm.}$$

Die Bogenberichtigung ist damit durchgeführt.

Man kann jetzt die Frage aufwerfen, ob es auch notwendig ist, einen Gleisbogen so genau zu regulieren, daß er in jedem Meßpunkte eine solche Lage hat, daß die Pfeilhöhen überall genau dem Mittel aus den gemessenen Pfeilhöhen gleich sind.

In den „Oberbauvorschriften der Deutschen Reichsbahn“ vom 1. Januar 1929 ist auf S. 49 folgende Regel angegeben: wenn der Bogen nur ein Weniges von der vorgeschriebenen

Zahlentafel b.

Meßpunkte	Pfeilhöhen mm	Gleichungen			Seitenverschiebungen in mm	Seitenverschiebungen, korrigiert durch Addierung von 74 mm	
0	0						
10	35						
20	91	$91 + 2 a_1 - a_2 = 113$	$a_2 = + 22 + 2 a_1$	$a_2 = - 82$	$2 a_1 = - 60$	+ 14 mm	
30	158	$158 + 2 a_2 - a_1 - a_3 = 113$	$a_3 = + 1 + 3 a_1$	$a_3 = - 89$	$2 a_2 = - 164$	- 90 mm	
40	113	$113 + 2 a_3 - a_2 - a_4 = 113$	$a_4 = + 24 + 4 a_1$	$a_4 = - 96$	$2 a_3 = - 178$	- 104 mm	
50	113	$113 + 2 a_4 - a_3 - a_5 = 113$	$a_5 = + 47 + 5 a_1$	$a_5 = - 103$	$2 a_4 = - 192$	- 118 mm	
60	125	$125 + 2 a_5 - a_4 - a_6 = 113$	$a_6 = + 82 + 6 a_1$	$a_6 = - 98$	$2 a_5 = - 206$	- 132 mm	
70	141	$141 + 2 a_6 - a_5 - a_7 = 113$	$a_7 = + 145 + 7 a_1$	$a_7 = - 65$	$2 a_6 = - 196$	- 122 mm	
80	103	$103 + 2 a_7 - a_6 - a_8 = 113$	$a_8 = + 198 + 8 a_1$	$a_8 = - 42$	$2 a_7 = - 130$	- 56 mm	
90	88	$88 + 2 a_8 - a_7 - a_9 = 113$	$a_9 = + 226 + 9 a_1$	$a_9 = - 44$	$2 a_8 = - 84$	- 10 mm	
100	107	$107 + 2 a_9 - a_8 - a_{10} = 113$	$a_{10} = + 248 + 10 a_1$	$a_{10} = - 52$	$2 a_9 = - 88$	- 14 mm	
110	118	$118 + 2 a_{10} - a_9 - a_{11} = 113$	$a_{11} = + 275 + 11 a_1$	$a_{11} = - 55$	$2 a_{10} = - 104$	- 30 mm	
120	94	$94 + 2 a_{11} - a_{10} - a_{12} = 113$	$a_{12} = + 283 + 12 a_1$	$a_{12} = - 77$	$2 a_{11} = - 110$	- 36 mm	
130	146	$146 + 2 a_{12} - a_{11} - a_{13} = 113$	$a_{13} = + 324 + 13 a_1$	$a_{13} = - 66$	$2 a_{12} = - 154$	- 80 mm	
140	114	$114 + 2 a_{13} - a_{12} - a_{14} = 113$	$a_{14} = + 366 + 14 a_1$	$a_{14} = - 54$	$2 a_{13} = - 132$	- 58 mm	
150	112	$112 + 2 a_{14} - a_{13} - a_{15} = 113$	$a_{15} = + 407 + 15 a_1$	$a_{15} = - 43$	$2 a_{14} = - 108$	- 34 mm	
160	115	$115 + 2 a_{15} - a_{14} - a_{16} = 113$	$a_{16} = + 450 + 16 a_1$	$a_{16} = - 30$	$2 a_{15} = - 86$	- 12 mm	
170	112	$112 + 2 a_{16} - a_{15} - a_{17} = 113$	$a_{17} = + 492 + 17 a_1$	$a_{17} = - 18$	$2 a_{16} = - 60$	+ 14 mm	
180	78	$78 + 2 a_{17} - a_{16} - a_{18} = 113$	$a_{18} = + 499 + 18 a_1$	$a_{18} = - 41$	$2 a_{17} = - 36$	+ 38 mm	
190	135	$135 + 2 a_{18} - a_{17} - a_{19} = 113$	$a_{19} = + 528 + 19 a_1$	$a_{19} = - 42$	$2 a_{18} = - 82$	- 8 mm	
200	153	$153 + 2 a_{19} - a_{18} - a_{20} = 113$	$a_{20} = + 597 + 20 a_1$	$a_{20} = - 3$	$2 a_{19} = - 84$	- 10 mm	
210	96	$96 + 2 a_{20} - a_{19} - a_{21} = 113$	$a_{21} = + 649 + 21 a_1$	$a_{21} = + 19$	$2 a_{20} = - 6$	+ 68 mm	
220	101	$101 + 2 a_{21} - a_{20} - a_{22} = 113$	$a_{22} = + 689 + 22 a_1$	$a_{22} = + 29$	$2 a_{21} = + 38$	+ 112 mm	
230	104	$104 + 2 a_{22} - a_{21} - a_{23} = 115$	$a_{23} = + 718 + 23 a_1$	$a_{23} = + 28$	$2 a_{22} = + 58$	+ 132 mm	
240	87	$87 + 2 a_{23} - a_{22} = 114$	$24 a_1 = - 720$	$a_1 = - 30$	$2 a_{23} = + 56$	+ 130 mm	
250	18	Summierung der 23 Gleichungen ergibt $2604 + a_1 + a_{23} = 2602$ $a_1 + a_{23} = - 2$	Kontrolle:				
260	11		$a_1 + a_{23} = - 30 + 28 = - 2.$				
270	5						
280	9						
290	0						

$$\sum_{20}^{240} h = 2604 \text{ mm}$$

$$\frac{\sum_{20}^{240} h}{n} = \frac{2604}{23} = 113.2 \text{ mm}$$

$$\text{Halbmesser } \frac{10 \text{ m} \times 10 \text{ m}}{2 \times 0,1132 \text{ m}} = 442 \text{ m} \sim 440 \text{ m.}$$

Lage abweicht, müssen die zu stark gekrümmten Bogenteile nach innen, die zu flach gekrümmten aber nach außen gerückt werden; man soll damit fortfahren, bis die erforderliche Stetigkeit der Krümmung erreicht ist.

Was versteht man aber unter der „erforderlichen Stetigkeit“?

Wir nehmen an, daß die theoretische Genauigkeit der Pfeilhöhe eines Gleisbogens, nach der vorher angeführten Methode gemessen, p mm ist. Man findet dann den Halbmesser R des Bogens durch die Formel

$$R = \frac{10 \text{ m} \cdot 10 \text{ m}}{2 \frac{p \text{ mm}}{1000 \text{ mm}}} = \frac{50000}{p} \text{ m.}$$

Wenn jetzt die Pfeilhöhen um 5 mm nach beiden Seiten von p abweichen dürfen, also von p - 5 mm zu p + 5 mm, verändert sich der Halbmesser von  $\frac{50000}{p-5}$  auf  $\frac{50000}{p+5}$ .

Durch Einführung verschiedener Werte für den theoretischen Bogenhalbmesser wollen wir jetzt die entsprechenden Grenzwerte des Halbmessers untersuchen sowie die ent-

sprechenden Abweichungen in v. H. des theoretischen Halbmessers. Man hat dann:

Kleinstwerte p - 5 mm	Theoretische Pfeilhöhe p	Größtwerte p + 5 mm
120	125	130
95	100	105
45	50	55
20	25	30
5	10	15

Die entsprechenden Halbmesser werden:

Größtwerte des Halbmessers in m R	Abweichung von dem theoretischen Halbmesser in v. H.	Theoretischer Halbmesser	Kleinstwerte des Halbmessers in m R	Abweichung von dem theoretischen Halbmesser in v. H.
417	4	400	385	4
526	5	500	476	5
1111	11	1000	909	9
2500	25	2000	1667	17
10000	100	5000	3333	33

Durch Vergleich dieser Werte des R mit den entsprechenden Überhöhungen in den „Oberbauvorschriften“ Anlage 9, S. 53 ersieht man, daß sich die Überhöhungen im großen ganzen innerhalb der nach den Vorschriften erlaubten bewegen.

Wenn man der Ansicht Raum gibt, daß die Abweichungen der Pfeilhöhen für Halbmesser größer als 2000 m zu bedeutend werden, kann man ohne weiteres die Abweichungen so begrenzen, daß die Werte der Pfeilhöhen nur zwischen p - 4 und p + 4 liegen sollen.

Unter Anlehnung an das vorhin angeführte Beispiel soll jetzt gezeigt werden, wie man die oben angeführten Regeln anwendet.

Die theoretische Pfeilhöhe war 113 mm, und die Berechnung der Seitenbewegungen hört auf, wenn die Pfeilhöhen zwischen 118 mm und 108 mm fallen.

Die schrägstehenden fett gedruckten Zahlen geben die Seitenverschiebungen an den entsprechenden Punkten an (s. Zahlentafel c).

Auf diese Weise kann man einen Bogen schnell berichtigen. Ergeben sich in einzelnen Abschnitten des Bogens Schwierigkeiten, so schneidet man einen so großen Abschnitt aus ihm heraus, daß das Mittel der Pfeilhöhen in der Mitte der theoretischen Pfeilhöhe liegt (zwischen p - 5 und p + 5 mm); aus den entwickelten Gleichungen findet man die Seitenverschiebungen.

Zahlentafel c.

Meßpunkte	Pfeilhöhe mm		Seitenverschiebungen mm
10	91	$91 + 30 = 121 - 3 = 118$	0
20	158	$158 - \mathbf{60} = 98 + 20 = 118 + \mathbf{6} = 124 - 6 = 118$	- 54
30	113	$113 + 30 = 143 - \mathbf{40} = 103 - 3 = 100 + 15 = 115 + \mathbf{12} = 127 - 9 = 118$	- 28
40	113	$113 + 20 = 133 + 15 = 148 - \mathbf{30} = 118 - 6 = 112 + \mathbf{18} = 130 - 12 = 118$	- 12
50	125	$125 + 20 = 145 - \mathbf{30} = 115 + 15 = 130 - 9 = 121 + \mathbf{24} = 145 - 27 = 118$	- 6
60	141	$141 - \mathbf{40} = 101 + 15 = 116 - 12 = 104 + \mathbf{54} = 158 - 40 = 118$	+ 14
70	103	$103 + 20 = 123 - 27 = 96 + \mathbf{80} = 176 - 58 = 118$	+ 80
80	88	$88 - 40 = 48 + \mathbf{116} = 164 - 46 = 118$	+ 116
90	107	$107 - 58 = 49 + \mathbf{92} = 141 - 23 = 118$	+ 92
100	118	$118 - 46 = \mathbf{72} + \mathbf{46} = 118$	+ 46
110	94	$94 - 23 = 71 + 37 = 108$	0
120	146	$146 - \mathbf{74} = 72 + 36 = 108$	- 74
130	114	$114 + 37 = 151 - \mathbf{72} = 79 + 29 = 108$	- 72
140	112	$112 + 36 = 148 - \mathbf{58} = 90 + 18 = 108$	- 58
150	115	$115 + 29 = 144 - \mathbf{36} = 108$	- 36
160	112	$112 + 18 = 130 - 12 = 118$	0
170	78	$78 + 15 = 93 + \mathbf{24} = 117$	+ 24
180	135	$135 + 25 = 160 - \mathbf{30} = 130 - 12 = 118$	- 30
190	153	$153 - \mathbf{50} = 103 + 15 = 118$	- 50
200	96	$96 + 25 = 121 - 3 = 118 - 10 = 108$	0
210	101	$101 + \mathbf{6} = 107 + \mathbf{20} = 127 - 19 = 108$	+ 26
220	104	$104 - 3 = 101 - 10 = 91 + \mathbf{38} = 129 - 21 = 108$	+ 38
230	87	$87 - 19 = 68 + \mathbf{42} = 110$	+ 42

$463 \text{ m} > R = 442 \text{ m} > 424 \text{ m}$

Man muß bei der Berechnung der Seitenverschiebungen darauf achten, daß diese in praktischen Grenzen bleiben, damit das Gleis nicht etwa in den Graben gerät oder aber festen Gegenständen zu nahe kommt.

Sollte dies einmal der Fall sein, so muß man den Bogen in Abschnitte mit verschiedenen Halbmessern teilen, das heißt also, einen Korbbogen einlegen.

Wenden wir uns jetzt dem Falle zu, daß der Kreis in den beiden Enden mit Übergangsbogen versehen werden soll.

Das Verfahren dafür ist folgendes: Zuerst findet man die Ordinaten des Gleisbogens an dem geradlinigen Gleis, das als die Tangente des Bogens betrachtet wird, vermittels der gemessenen und der gefundenen Pfeilhöhen.

Bei Bogen mit so großen Halbmessern, wie sie hier vorausgesetzt werden, sind die Ordinaten gleich den Evolventen.

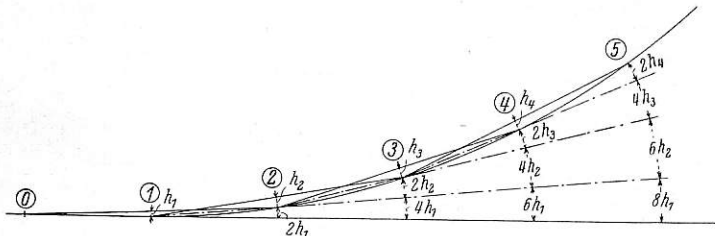


Abb. 3.

Aus Abb. 3 geht hervor, wie man die Ordinaten durch die Pfeilhöhen ausgedrückt findet, indem z. B. die Ordinate zum Punkte 5 gleich  $2h_4 + 4h_3 + 6h_2 + 8h_1$  ist.

Man sieht, daß  $\Sigma \Sigma h$  gleich der Hälfte der Evolventen ist, oder aber gleich der Hälfte der Ordinaten vor den bezüglichen Meßpunkten (s. Zahlentafel d).

Zahlentafel d.

Meßpunkte	Pfeilhöhen $h$	$\Sigma h$	$\Sigma \Sigma h$
0	0		
1	$h_1$	$0 + h_1$	$0 = \frac{1}{2} E_1$
2	$h_2$	$0 + h_1 + h_2$	$0 + h_1 = \frac{1}{2} E_2$
3	$h_3$	$0 + h_1 + h_2 + h_3$	$0 + 2h_1 + h_2 = \frac{1}{2} E_3$
4	$h_4$	$0 + h_1 + h_2 + h_3 + h_4$	$0 + 3h_1 + 2h_2 + h_3 = \frac{1}{2} E_4$
5	$h_5$	$0 + h_1 + h_2 + h_3 + h_4 + h_5$	$0 + 4h_1 + 3h_2 + 2h_3 + h_4 = \frac{1}{2} E_5$

Wir nehmen an, daß man auf diese Weise die Ordinaten  $y_1$  und  $y_2$  zu den zwei Meßpunkten  $P_1$  und  $P_2$  gefunden hat; desgleichen nehmen wir vorläufig an, daß der Gleisbogen durch diese zwei Punkte mit dem Halbmesser  $R$  das gradlinige Gleis tangiert (s. Abb. 4).

Man bekommt jetzt:

$$y_2 - y_1 = a \quad (\text{I}) \quad \text{und}$$

$$t_2 - t_1 = \sqrt{2R} (\sqrt{y_2} - \sqrt{y_1}) = b \quad (\text{II}).$$

Man findet aus diesen zwei Gleichungen

$$y_1 = \frac{(2aR - b^2)^2}{8b^2R} \quad \text{und} \quad y_2 = \frac{(2aR + b^2)^2}{8b^2R}.$$

$a$  ist der Unterschied zwischen den zwei Ordinaten und  $b$  ist die Bogenlänge zwischen zwei Teilpunkten.

Ergibt sich keine Berührung mit dem gradlinigen Gleise, so zeigt sich dies dadurch, daß wenn auch der Unterschied zwischen den in Beziehung zu dem rechtlinigen Gleis gefundenen

Ordinaten  $u_2$  und  $u_1$  (für zwei Teilpunkte des Kreises) gleich  $a$  ist, doch  $u_1 - y_1 = u_2 - y_2 = \pm v$  wird.

Die Größe  $v$  kann hiernach gefunden werden. Wenn  $v$  das Vorzeichen  $+$  hat, liegt das gradlinige Gleis außer des Kreises; wenn  $v$  negativ ist, schneidet das gradlinige Gleis den Kreis.

Im ersten Falle gestaltet sich das Lageverhältnis wie auf untenstehender Abb. 5 gezeigt.

Man findet zuerst die Lage von  $T$  (des Tangentenpunktes) aus der Gleichung

$$t_1 = \sqrt{2Ry_1}, \quad \text{wo } y_1 = u - v.$$

Nennen wir den Halbmesser des Kreises  $R$ , so muß man, um den Anschluß an das gradlinige Gleis zu schaffen, ein Stück Kreisbogen  $AB$  mit einem Halbmesser  $R_1$  einschalten,

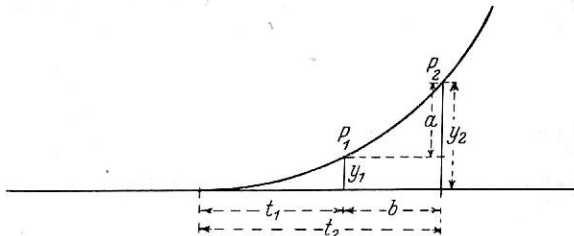


Abb. 4.

der größer ist als  $R$ ; ferner muß man einen Übergangsbogen  $BC$  von der Länge  $l$  in Verbindung mit dem Kreis vom Halbmesser  $R_1$  einlegen. Bei der Einschaltung dieses Kreises ergibt sich in bezug auf das gradlinige Gleis der Abstand  $f$ .

Man hat nun zunächst nach Abb. 5:

$$z = \sqrt{(R_1 - R)^2 - (R_1 - R + f - v)^2}.$$

$$z = \sqrt{2(R_1 - R)(v - f) - (f - v)^2}.$$

$$\frac{x_1}{z} = \frac{R}{R_1 - R} \quad \text{oder}$$

$$x_1 = \frac{R}{R_1 - R} \cdot \sqrt{2(R_1 - R)(v - f) - (f - v)^2}.$$

$$y_1 = \frac{x_1^2}{2R} + v = \frac{R[2(R_1 - R)(v - f) - (f - v)^2]}{2(R_1 - R)^2} + v.$$

$$y_2 = \frac{l^2}{6R_1}.$$

$$x = \frac{R_1}{R_1 - R} \cdot \sqrt{2(R_1 - R)(v - f) - (f - v)^2}.$$

$$x_2 = x - \frac{l}{2} = \frac{R_1}{R_1 - R} \sqrt{2(R_1 - R)(v - f) - (f - v)^2} - \frac{l}{2}.$$

In dem Falle, daß  $f$  größer wird als  $v$ , muß man einen Kreisbogen mit Halbmesser  $r$  einschalten, wobei  $r$  kleiner ist als der Halbmesser des Hauptkreisbogens  $R_1$ , und das Lageverhältnis wird dann so wie in Abb. 6 dargestellt.

$$z = \sqrt{(R - r)^2 - (R - r + v - f)^2} = \sqrt{2(R - r)(f - v) - (v - f)^2}.$$

$$x = \frac{r}{R - r} \cdot z = \frac{r}{R - r} \sqrt{2(R - r)(f - v) - (v - f)^2}.$$

$$x_1 = \frac{R}{R - r} \cdot z = \frac{R}{R - r} \sqrt{2(R - r)(f - v) - (v - f)^2}.$$

$$y_1 = \frac{x_1^2}{2R} + v = \frac{R[2(R - r)(f - v) - (v - f)^2]}{2(R - r)^2} + v.$$

$$y_2 = \frac{l^2}{6r}.$$

$$x_2 = x - \frac{l}{2} = \frac{r}{R - r} \sqrt{2(R - r)(f - v) - (v - f)^2} - \frac{l}{2}.$$

Im zweiten Hauptfalle, wo das gradlinige Gleis den Kreis schneidet, werden die Lagebeziehungen in Abb. 7 dargestellt.

In diesem Falle muß man ein Stück Kreisbogen AB mit einem Halbmesser  $r$  einschalten, der kleiner ist als der Halbmesser  $R$  des berichtigten Kreises.

Zuerst bestimmt man den Tangentenpunkt  $T$  durch die Gleichung

$$t_1 = \sqrt{2Ry_1}, \text{ wo } y_1 = u + v.$$

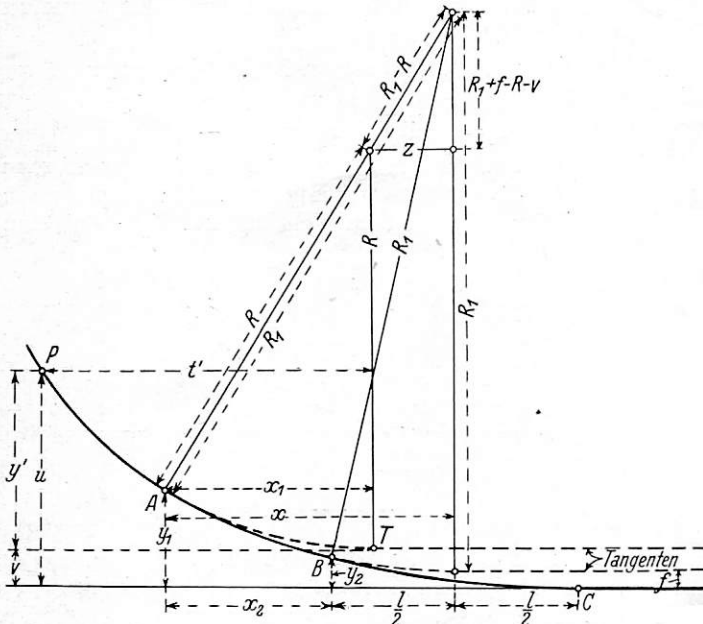


Abb. 5.

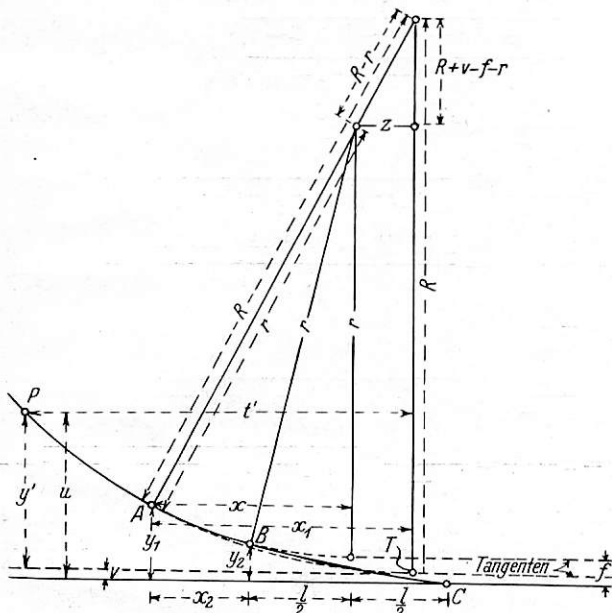


Abb. 6.

Man hat jetzt

$$z = \sqrt{\frac{R}{R-r} \left[ (R-r)^2 - (R-r-v-f)^2 \right]} = \sqrt{2(R-r)(v+f) - (v+f)^2}$$

$$x_1 = \frac{r}{R-r} z = \frac{r}{R-r} \sqrt{2(R-r)(v+f) - (v+f)^2}$$

$$x = \frac{r}{R-r} \sqrt{2(R-r)(v+f) - (v+f)^2}$$

$$y_1 = \frac{x_1^2}{2R} - v = \frac{R}{2(R-r)^2} [2(R-r)(v+f) - (v+f)^2] - v$$

$$y_2 = \frac{l^2}{6r}$$

$$x_2 = x - \frac{l}{2} = \frac{r}{R-r} \sqrt{2(R-r)(v+f) - (v+f)^2} - \frac{l}{2}$$

Wir kehren nun zu dem Zahlenbeispiel zurück, um zu zeigen, wie man die angeführten Regeln bei der Ausübung anwendet.

Man hat an dem einen Ende des Gleisbogens Pfeilhöhen usw. nach Zahlentafel e.

Zahlentafel e.

Meßpunkte	Ursprüngliche Pfeilhöhen $h$ in mm	$\Sigma h$ in mm	$\Sigma \Sigma h$ in mm
0	0	0	
10	35	35	$0 = \frac{1}{2} E_{10}$
20	91	126	$35 = \frac{1}{2} E_{20}$
30	158	284	$161 = \frac{1}{2} E_{30}$
40	113	397	$445 = \frac{1}{2} E_{40}$
50	113		$842 = \frac{1}{2} E_{50}$

Die Ordinaten sind in Abb. 8 eingezeichnet.

$$u_{40} - u_{30} = 0,994 - 0,412 = 0,582 \text{ m} = a; \quad b = 10 \text{ m.}$$

$$y_{30} = \frac{(2aR - b^2)^2}{8b^2R} = \frac{(2 \cdot 0,582 \cdot 442 - 10^2)^2}{8 \cdot 10^2 \cdot 442} = \frac{(514,488 - 100)^2}{353600}$$

$$y_{30} = \frac{414,488^2}{353600} = \frac{171800,302}{353600} = 0,486 \text{ m.}$$

$$y_{40} = \frac{(2aR + b^2)^2}{8b^2R} = \frac{614,486^2}{353600} = \frac{375137,550}{353600} = 1,061 \text{ m.}$$

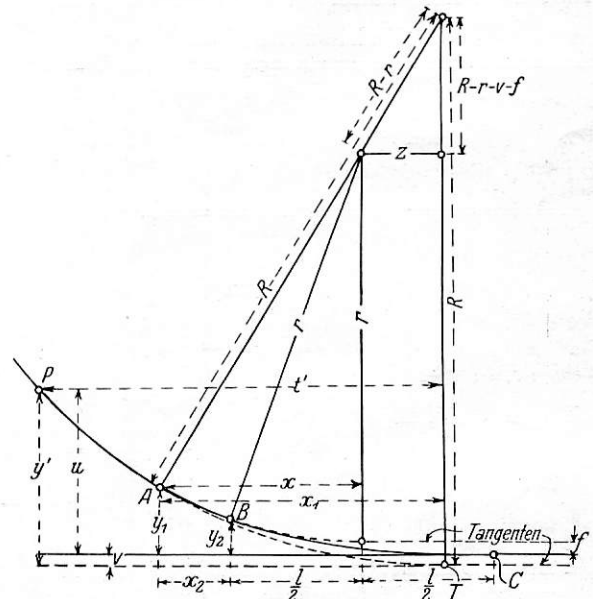


Abb. 7.

Kontrolle:  $y_{40} - y_{30} = 1,061 - 0,486 = 0,575 \text{ m.}$

Der kleine Unterschied zwischen dieser Differenz und der Größe  $a$  rührt davon her, daß  $b$  zu 10 m gesetzt ist, was nicht scharf zutrifft. Der Unterschied ist aber ohne Bedeutung.

Die Größe  $v = -1,061 + 0,994 = -0,067 \text{ m.}$

Die Tangentenlänge

$$t_1 = \sqrt{2 \cdot 442 \cdot 1,061} = \sqrt{937,9240} = 30,63 \text{ m.}$$

Der Tangentenpunkt liegt also vor dem Meßpunkt **9,34**.

Man muß also den zweiten Fall benutzen. Ist die fahrplanmäßige Höchstgeschwindigkeit 60 km/h, so entspricht dem gemäß den Oberbauvorschriften der Deutschen Reichsbahn-Gesellschaft vom 1. Januar 1928 eine Überhöhung von 65 mm

für  $R = 442$  m. Da die Überhöhung gewöhnlich von  $+5$  mm bis  $-10$  mm von dem vorgeschriebenen Maße abweichen darf, wird man ein Stück Kreis mit Halbmesser  $r = 380$  mm einschalten können, weil die Überhöhung für dieselbe Zuggeschwindigkeit  $75$  mm sein soll. Wenn man für diesen Kreis  $65$  mm Überhöhung wählt, ist man somit von den vorgeschriebenen Regeln nicht abgewichen.

In der Gleichung  $f = \frac{l^2}{24r}$  ist  $l$  die Länge des Übergangsbogens. Diese setzt man  $600$ mal der Überhöhung, also zu  $600 \cdot 65 \text{ mm} = 40 \text{ m}$  an.

Hierzu gehört

$$f = \frac{40^2}{24 \cdot 380} = 0,175 \text{ m.}$$

Weiter wird

$$z = \sqrt{2(R-r)(v+f) - (v+f)^2}.$$

$$z = \sqrt{2(442-380)(0,067+0,175) - (0,067+0,175)^2}.$$

$$z = \sqrt{30,008 - 0,0586} = \sqrt{29,9494} = 5,473 \text{ m.}$$

$$x_1 = \frac{R}{R-r} \cdot z = \frac{442}{62} \cdot 5,473 = 39,02 \text{ m.}$$

$$x = \frac{r}{R-r} \cdot z = \frac{380}{62} \cdot 5,473 = \frac{1039,87}{31} = 33,54 \text{ m.}$$

$$y_1 = \frac{x_1^2}{2R} - v = \frac{39,02^2}{2 \cdot 442} - 0,067 = \frac{1522,5604}{884} - 0,067.$$

$$y_1 = 1,722 - 0,067 = 1,655 \text{ m.}$$

$$y_2 = \frac{l^2}{6r} = \frac{40^2}{6 \cdot 380} = 0,702 \text{ m.}$$

$$x_2 = x - \frac{l}{2} = 33,54 - 20,00 = 13,54 \text{ m.}$$

Mit diesen Größen ist man imstande, alle nötigen Punkte im Felde festzustellen.

Um die Punkte des Übergangsbogens (Parabel von drittem Grad) nebst den Bogenpunkten des Kreises von  $r = 380$  m von der Verlängerung des gradlinigen Gleises aus befriedigend abstecken zu können, ist es notwendig, daß man eine Schnur als Abszisse ausspannt, von der aus man die Ordinaten abträgt.

Am andern Ende des Gleisbogens hat man die Pfeilhöhen usw. nach Zahlentafel f:

Zahlentafel f.

Meßpunkte	Pfeilhöhen in mm	$\Sigma h$ in mm	$\Sigma \Sigma h$ in mm
290	0	0	
280	9	9	$0 = \frac{1}{2} E_{280}$
270	5	14	$9 = \frac{1}{2} E_{270}$
260	11	25	$23 = \frac{1}{2} E_{260}$
250	18	43	$48 = \frac{1}{2} E_{250}$
240	86	129	$91 = \frac{1}{2} E_{240}$
230	102	231	$220 = \frac{1}{2} E_{230}$
220	101	332	$451 = \frac{1}{2} E_{220}$
210	96	428	$783 = \frac{1}{2} E_{210}$

Die Ordinaten sind in Abb. 9 eingezeichnet.

Man hat:

$$u_{230} - u_{240} = 0,308 - 0,052 = 0,256 = a.$$

$$b = 10 \text{ m.}$$

$$y_{230} = \frac{(2aR - b^2)^2}{8b^2R} = \frac{(2 \cdot 0,256 \cdot 442 - 10^2)^2}{8 \cdot 10^2 \cdot 442}.$$

$$y_{230} = \frac{(226,304 - 100)^2}{353600} = \frac{15952,700416}{353600} = 0,045 \text{ m.}$$

$$y_{240} = \frac{(2aR + b^2)^2}{8b^2R} = \frac{326,304^2}{353600} = \frac{106474,300416}{353600} = 0,301 \text{ m.}$$

$$\text{Kontrolle: } y_{240} - y_{230} = 0,301 - 0,045 = 0,256 \text{ m.}$$

$$u_{240} - y_{240} = 0,052 - 0,045 = 0,007 \text{ m} = v.$$

$$u_{230} - y_{230} = 0,308 - 0,301 = 0,007 \text{ m} = v.$$

Es ist also sehr nahe Berührung zwischen dem Kreise und dem gradlinigen Gleise, indem  $v = 0$  gesetzt wird.

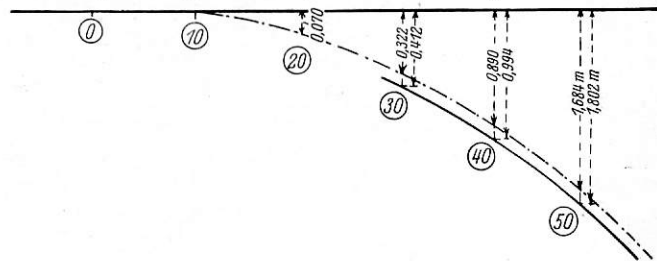


Abb. 8.

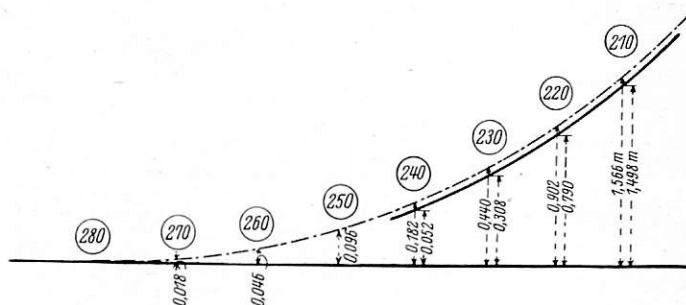


Abb. 9.

Die Tangentenlänge  $t_{230} = \sqrt{2 \cdot 442 \cdot 0,301} = \sqrt{266,084}$   
 $t_{230} = 16,312 \text{ m.}$

Die Tangentenlänge  $t_{240} = \sqrt{2 \cdot 442 \cdot 0,045} = \sqrt{39,780}$   
 $t_{240} = 6,308 \text{ m.}$

Man wird hier die im zweiten Falle gefundenen Formeln benutzen können, wenn man in diesen nur  $v = 0$  einstellt, wodurch man bekommt

$$z = \sqrt{(R-r)^2 - (R-r-f)^2}$$

oder

$$z = \sqrt{2(R-r)f - f^2},$$

und

$$x = \frac{r}{R-r} \cdot z = \frac{r}{R-r} \sqrt{2(R-r)f - f^2},$$

und

$$x_2 = x - \frac{l}{2} = \frac{r}{R-r} \sqrt{2(R-r)f - f^2} - \frac{l}{2},$$

sowie

$$x_1 = \frac{R}{R-r} \cdot z = \frac{R}{R-r} \sqrt{2(R-r)f - f^2}.$$

Weiter bekommt man

$$y_1 = \frac{x_1^2}{2R} = \frac{R}{2(R-r)^2} [2(R-r)f - f^2] = \frac{[2(R-r)f - f^2] R}{2(R-r)^2}.$$

Diese Größe kann man, da  $f^2$  in Vergleich mit den anderen Größen klein ist, in einfacherer Form schreiben, und zwar

$$y_1 = \frac{fR}{R-r}.$$

Weiter hat man

$$y_2 = \frac{l^2}{6r},$$

$$t_1 = \sqrt{2Ry_1} = \sqrt{2R^2 - \frac{2R^2(R-r-f)}{R-r}} =$$

$$R \sqrt{\frac{2(R-r) - 2(R-r-f)}{R-r}},$$

$$t_1 = R \sqrt{\frac{2f}{R-r}}.$$

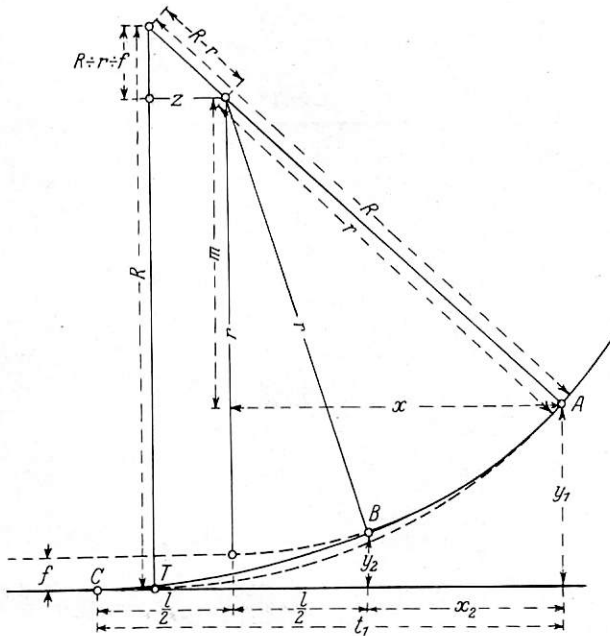


Abb. 10.

Wenn  $v = f$ , wird  $z = v$ , und hieraus folgt, daß das Übergangsstück AB in den Hauptkreis eingeht.

Die Übergangsbogen an sich geben keinen Anlaß, sich mit ihnen zu beschäftigen, da z. B. die Oberbauvorschriften der Deutschen Reichsbahn-Gesellschaft gute Erläuterungen dafür geben.

Als Richtpunkte für die Lage der Gleisbogen benutzt man Gleisfestpunkte aus alten Schienen, die in der Regel in solche Tiefe hinabgetrieben werden können, daß das obere Ende des Schienenpfahles in gleiche Höhe mit der Oberkante der Innenschiene gelangt.

Eine Kerbe auf dem Kopfe des Pfahles gibt den genauen Abstand von Gleismitte zur Kerbe an.

Dieser Abstand muß gewöhnlich 2 m betragen.

Schließlich solle man die Richtigkeit der gegenseitigen Lage der Gleisfestpunkte nachprüfen. Dies geschieht, indem man die Pfeilhöhe für jeden Festpunkt in Verhältnis zu den Nachbarpunkten mißt; etwaige kleine Fehler berichtigt man ohne Schwierigkeit. Was den Übergangsbogen betrifft, findet man die Pfeilhöhen im Verhältnis zu  $f$  mittels untenstehender Abb. 11, der man entnimmt, daß die Pfeilhöhe

- vor dem Viertelpunkt des Übergangsbogens 0,19  $f$
- vor dem Mittelpunkt des Übergangsbogens 0,38  $f$
- vor dem Dreiviertelpunkt des Übergangsbogens 0,56  $f$  ist.

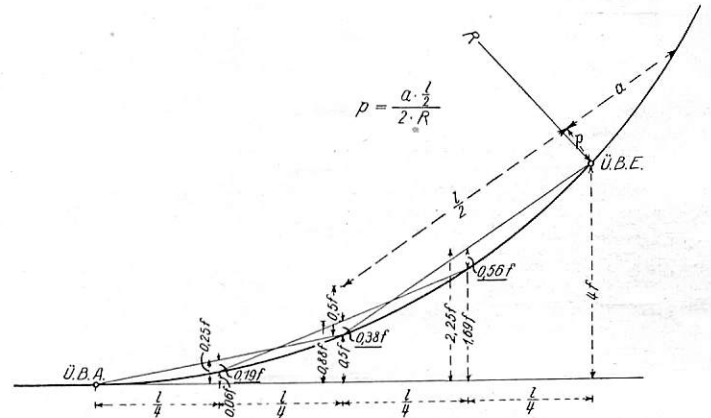


Abb. 11.

Die Pfeilhöhe vor dem Punkte zwischen dem Übergangsbogen und dem Kreise findet man, indem man die Schnur von dem Nachbarpunkte im Kreise bis zu einem Punkte ausspannt, der vor der Mitte des Übergangsbogens und im Abstände  $0,5 f$  von dieser in der Richtung gegen die Mitte des Kreises gelegen ist.

Als Bogentafeln benutzt man mit Vorteil runde Platten 3,5 mm dick, auf denen die nötige Inschrift in Reliefart angebracht ist, und auf denen die örtlich geltenden Zahlen an erhöhten Feldern mit stählernen Zahlenstempeln eingeschlagen werden können. Die Tafeln werden deshalb aus einer Legierung hergestellt, z. B. aus 92 % Aluminium, 6 % Kupfer und 2 % Zink, was zum Einstempeln der Zahlen wohlgeeignet ist.

Die Tafeln befestigt man mit Messingbolzen an geteerten Eisenplatten, die ihrerseits an geteerten Winkeleisen festgemacht werden. Solche Tafeln sind sowohl dauerhaft als auch nach ihrem Aussehen ansprechend.

## Berichte.

### Bahnunterbau, Brücken und Tunnel; Bahnoberbau.

#### Eine bemerkenswerte Brücken Gründung.

Bei den Bauarbeiten für die Stichbahn, die vom Bahnhof Jungfernheide der Berliner Ringbahn nach den Siemenswerken führt, wurde eine äußerst schwierige Gründung eines Brückenwiderlagers ausgeführt. Sie verdient besondere Beachtung, weil in unserer Zeit, in der der Streckenneubau gegenüber der Fortentwicklung der großen Verkehrsknotenpunkte zurücktritt, Arbeiten der genannten Art die hauptsächlichen Aufgaben des Ingenieurs bilden.

Das äußere bei Erbauung der Stichbahn nach Norden verlegte Gleis der Ringbahn überkreuzt zur Ermöglichung des Richtungsbetriebes im Bahnhof Jungfernheide die beiden Gleise der Stichbahn auf einer 60 m langen Fachwerkbrücke unter einem Winkel von nur  $14^\circ$ . Die Bodenverhältnisse waren sehr ungünstig: bereits 1,9 m unter dem Gelände beginnt in verschiedenen Sand-schichten das Grundwasser, das nebenbei betonangreifende Eigen-

schaften besitzt, während der tragfähige Baugrund erst 8,5 m unter Geländeoberfläche ansteht. Zudem kommt das Westwiderlager auf die bisherige Bahnböschung zu stehen, die am oberen Rand 9 m über und am unteren Rand in einem Einschnitt 1,1 m unter Gelände liegt. Eine weitere Schwierigkeit ergab sich daraus, daß das Westwiderlager unmittelbar an den Ringbahngleisen lag, auf denen zeitweise Fünf-Minutenbetrieb bestand.

Auf Grund verschiedener Vergleichsentwürfe entschloß man sich zunächst das Widerlager unter Grundwasserabsenkung als Brunnengründung mit offenem Senkkasten auszuführen. Es konnte damit die Herstellung einer offenen tiefen Baugrube unmittelbar neben den Gleisen vermieden werden. Außerdem ergab sich durch das gleichzeitige Ausheben der Baugrube und Aufmauern des Widerlagers eine Bauzeitersparnis von rund 50 %, wodurch sich auch eine wesentlich kürzere Dauer der Behelfs- und Vorsichtsmaßnahmen zur Sicherung des Betriebes auf der Ringbahn erzielen ließ.



Um das Verfahren an Ort und Stelle zu erproben, sollte zunächst unter einfacheren Verhältnissen das Ostwiderlager in gleicher Weise ausgeführt werden. Es zeigte sich dabei, daß die Tiefbrunnen wegen einer Geröllschichte nur schwer abgeteufelt werden konnten. Man ging daher zu einer regelrechten Druckluftgründung über.

Der Bauvorgang gestaltete sich wie folgt:

Zunächst wurde am bestehenden Damm der Ringbahn eine Erdanschüttung bis zur Höhe der Dammkrone vorgenommen, die als Unterlage zur Herstellung des Senkkastens diente. Die Massen hierzu wurden in der 2 $\frac{1}{2}$ stündigen nächtlichen Betriebspause auf der Ringbahn beigestrichen und tagsüber in Schichten von 20 bis 40 cm Dicke eingewalzt. Der ursprünglich vorgesehene Spülbetrieb ließ sich mit dem verwendeten Material nicht durchführen. Gleichzeitig wurde das zunächst liegende Ringbahngleis mittels einer Hilfsbrücke von 2  $\times$  10 m Stützweite abgefangen, deren Auflager auf Eisenbetonpfählen 16,5 m tief unter Planie gegründet waren. Am anderen Gleis glaubte man etwa eintretende kleine Senkungen durch tägliches Nachstopfen ausgleichen zu können. Der Senkkasten wurde zum Ausgleich der nach dem Beispiel des Ostwiderlagers aus den verschiedenen großen Erddrücken zu erwartenden Verschiebungen noch um 20 cm weiter gegen das Ringbahngleis zu aufgestellt, als es dem Grundriß entsprach. Dadurch verringerte sich der Abstand von der Achse dieses Gleises auf 2,15 m, so daß die wegen des betonangreifenden Grundwassers nötige Klinkerverkleidung auf dieser Seite einen Stein stark ausgeführt werden mußte um als Schalung dienen zu können. Auch die sonstige Baustelleneinrichtung war den beschränkten Platzverhältnissen angepaßt, entsprach aber sonst der üblichen Anordnung. Als größte Absenktiefe in 24 Stunden wurden 1,8 m erreicht.

(Bautechnik 1930, Heft 4 u. 6.)

Sp.

### Anwendung der elektrischen Schweißung im Brückenbau.

Die elektrische Lichtbogenschweißung hat nun auch in Europa bei der Herstellung und Verstärkung von Straßen- wie Eisenbahnbrücken Eingang gefunden, nachdem sie schon länger in Amerika hierzu verwendet worden war.

In einem Falle handelt es sich um die Verstärkung einer zweigleisigen Brücke der London und Nordost-Eisenbahn (Railway Engineer 1929, Heft 1 bzw. im Auszug: Der Stahlbau, 1929, Heft 22 u. 26) von etwa 4 m Stützweite, an der man, nachdem eingehende Vorversuche sehr günstig ausgefallen waren, das neue Verfahren praktisch erprobte. Es wurden zunächst in die erste aufzulegende Gurtplatte, deren Dicke größer war als die Höhe der Nietköpfe, an denjenigen Punkten, wo auf den vorhandenen Gurtungen die Niete saßen, Löcher von 38 mm Durchmesser gebohrt und die Platte satt aufgelegt. Durch diese Löcher hindurch und an der ganzen Längsseite wurde die Platte mit der alten Gurtplatte verschweißt. Die Längsnaht wurde in einer Rille angebracht, die durch die verschiedene Breite der Platten entstand. Auf diese erste Platte wurde eine zweite geschweißt, die wiederum zur einfacheren Anbringung der Schweißnaht etwas schmaler war als die vorhergehende. Auch diese Platte erhielt einige Löcher, durch die sie auch in der Mitte mit der unteren verschweißt wurde. Der Untergurt erhielt bei den Mittelträgern ebenfalls zwei, bei den Randträgern nur eine neue Gurtplatte. Daraus geht hervor, daß die gelochten Platten nicht etwa als Futterbleche, sondern als tragende Teile angesehen wurden. Die Untergurtplatten wurden nach unten zu breiter genommen, damit das Überkopfschweißen vermieden wurde.

Zur Erzielung einer größeren Scherfestigkeit wurden auch noch die Gurtwinkel mit dem Steg und der innersten Gurtplatte

verschweißt. Die Festigkeitszunahme errechnete sich aus den vorher und nachher vorgenommenen Messungen auf 71,5—105,5%. Bei der Fahrbahntafel ergaben sich anfänglich Schwierigkeiten hinsichtlich der Spannungsverteilung, die aber z. T. durch besonders sorgfältige Arbeit vermieden werden konnte.

Ein Beispiel einer vollständigen Schweißung einer Eisenbahnbrücke ist die Brücke in der Werkbahn der A.-G. für elektrische Industrie in Weiz in Steiermark, über die in der „Bautechnik“ 1930 Heft 6 berichtet ist. Es handelt sich um eine eingeleisige Blechträgerbrücke von 8,6 m Stützweite, deren Querschnitt nach den üblichen Konstruktionsgrundsätzen für genietete Brücken gebildet ist. Doch scheint die folgerichtige Durchbildung bei Anwendung der Schweißung sowohl für Fachwerk- wie für Blechträgerbrücken auf andere Querschnittsformen zu führen, worüber z. Z. bei der Deutschen Reichsbahn-Gesellschaft Versuche im Gange sind.

Auch die Schweizer Bundesbahnen haben eine Versuchsbrücke mit 5,2 m Stützweite und vollwandigen Trägern geschweißt.

Noch weitere Verbreitung hat das Schweißverfahren beim Bau von Straßenbrücken gefunden. So wurde in Leipzig eine Brücke mit 15 m Lichtweite, bestehend aus fünf Differdinger Trägern mit aufgeschweißten Gurtplatten und einbetonierter Fahrbahntafel ausgeführt (Der Stahlbau 1929, Heft 26), ferner eine 37 m lange Fachwerkbrücke bei Leuk in der Schweiz und eine 27 m lange Fachwerkbrücke bei Lowicz in Polen. Über die letztere ist im „Stahlbau“ 1929 Heft 26 berichtet. Auch bei dieser Brücke sind die Stabquerschnitte teilweise noch nach den alten Formen gebildet, doch sind die Knotenbleche und beim Obergurt und den Querträgern bereits die Anschlußwinkel weggelassen. Das Zusammenheften der Bleche erfolgte mit eigens entworfenen Spannvorrichtungen, die die Schweißarbeit möglichst wenig behinderten. Die Stabanschlüsse wurden zunächst in der üblichen Weise verdonnt; nach Fertigstellung der Schweißung und Entfernung der Dorne wurden die Löcher zugeschweißt. Die Gewichtersparnis betrug 21,4% gegenüber einer genieteten Konstruktion, doch wurden die Kosten infolge der neuartigen Ausführung zunächst noch ebenso hoch wie für eine genietete Brücke. Die Belastungsversuche fielen befriedigend aus und ergaben, daß eine bleibende Durchbiegung nicht auftrat.

Sp.

### Schienenzerstörungen durch Rost in Tunneln.

Im norwegischen Gravehalstunnel sind an den Schienen bedeutende Rostzerstörungen aufgetreten, eine Erscheinung, die bekanntlich auch anderweitig beobachtet wird. Eine eingeleitete Untersuchung ergab einen Schwefelsäuregehalt des Rostes von 0,8 bis 2,3 v. H. und zwar meist in den trockensten Teilen des Tunnels. Schwefelsäure kann nur entstehen aus dem Rauch der Lokomotiven, der sich zusammen mit dem Dampf an den Wand- und Bodenflächen des Tunnels absetzt und dessen Schwefeloxidgehalt durch den Sauerstoff der Luft in Schwefelsäure verwandelt wird. Frühere Untersuchungen haben ergeben, daß ein geringer Kupfergehalt im Stahl der Verrostung und besonders dem Angriff der Schwefelsäure entgegenwirkt. Eisenteile alter Bauten, die hunderte von Jahren ohne wesentliche Verrostung im Freien gestanden sind, enthalten geringe Kupfermengen, bis zu 0,4 v. H. Man hat in gegebenen Fällen daher auch immer Schienen mit Kupfergehalt verwendet. Für ihre neuen 49 kg-Schienen, die jetzt auf der größtenteils in Holzgalerien eingebauten Hochgebirgsstrecke der norwegischen Bergensbahn verlegt werden, hat die Bahn einen Kupfergehalt von etwa 0,2 v. H. vorgeschrieben und das dürfte wohl überall für Schienen in langen Tunneln mit schlechtem Luftwechsel, wo elektrischer Betrieb nicht eingeführt ist, zur Regel werden.

Dr. S.

## Bahnhöfe nebst Ausstattung.

### Der Grenzbahnhof Canfranc der Pyrenäen-Querbahn Bedous-Jaca.

Unmittelbar hinter dem Somport-Tunnel, in dem die im Sommer 1928 eröffnete Eisenbahn Bedous—Jaca die französisch-spanische Grenze überschreitet, liegt der Grenz- und Übergabebahnhof Canfranc. Er bedeckt eine Fläche von 1200  $\times$  70 m, die durch Verlegung des Aragonflusses und Anschüttung von Fels-

massen, meist aus dem Tunnel herrührend, erst für ihn geschaffen werden mußte. Die Flußverlegung machte wegen der Geschiebe, die der Aragonfluß und die anderen, ebenfalls die Baustelle des Bahnhofs kreuzenden Wildbäche mit sich führen, erhebliche Schwierigkeiten. Dies hängt z. T. damit zusammen, daß der spanische Hang der Pyrenäen kahl ist. Er wird nunmehr, auch zum Schutz gegen Lawinen, aufgeforstet. Acht Millionen Bäume, Lärchen, Kiefern und Fichten, werden, immer in Gruppen zu

fünf, angepflanzt. Die Verbauung der Wildwässer erforderte 178000 m<sup>3</sup> Mauerwerk und Steinpackung.

Den Mittelpunkt der Anlagen für den Personenverkehr bildet ein 370 m langer Inselbahnsteig, auf dessen Ostseite die französischen Züge, auf dessen Westseite die spanischen an- und abfahren. Wegen des Unterschiedes in der Spurweite zwischen Frankreich und Spanien können keine Züge durchgeführt werden. Die Reisenden brauchen beim Zugwechsel nur den Bahnsteig zu überschreiten. Auf dem Bahnsteig steht das 271 m lange Empfangsgebäude. Es wird durch eine mittlere Halle in zwei Teile geteilt; in der nördlichen Hälfte liegen die französischen Dienst- und Warteräume, sowie die Räume für die französische Zollverwaltung, in der südlichen sind entsprechend die spanischen Räume untergebracht. Das Bahnhofsgebäude enthält überdies ein Hotel mit 32 Betten. Außer dem Hauptgebäude steht auf dem Inselbahnsteig ein 88 m langes Postgebäude und ein 136 m langer Schuppen für den Expresverkehr.

Der Umladeverkehr für Güter zwischen der französischen und der spanischen Spur spielt sich zwischen zwei 580 m langen überdachten Ladesteigen ab, an denen auf der einen Seite ein Gleis in französischer, auf der anderen ein Gleis in spanischer Spur entlang führt; zwischen beiden liegen zwei Gleise in gemischter Spurweite.

Der Bahnhof Canfranc enthält 26 Gleise. Am Nordende der Bahn- und Ladesteige läuft über sie eine Schiebebühne, auf der sowohl Fahrzeuge der französischen wie solche der spanischen Spur verschoben werden können. Zwischen den französischen Gleisen liegt ein kleiner Wagenschuppen, der über die Schiebebühne zugänglich ist. Ferner ist eine Werkstatt vorhanden. Zwei Buchten dienen zum Umladen von Vieh, und auch Anlagen zum Entseuchen der Viehwagen sind vorgesehen. An den Gleisen beider Spurweiten liegen Güterschuppen für den Ortsverkehr.

Auf spanischer Seite ist ebenfalls ein Wagenschuppen und eine Werkstatt vorgesehen. Hier findet sich auch ein Rundschuppen für zwölf Lokomotiven mit Einrichtungen zur Ausführung kleinerer Instandsetzungsarbeiten. Neben dem Lokomotivschuppen liegt das Übernachtungsgebäude für die spanischen Lokomotivmannschaften.

Auf spanischer Seite schließen an den Bahnhof zwei Tunnel an. Durch den einen abwärtsführend, läuft das Hauptgleis nach Jaca, der andere nimmt das Ausziehgleis auf.

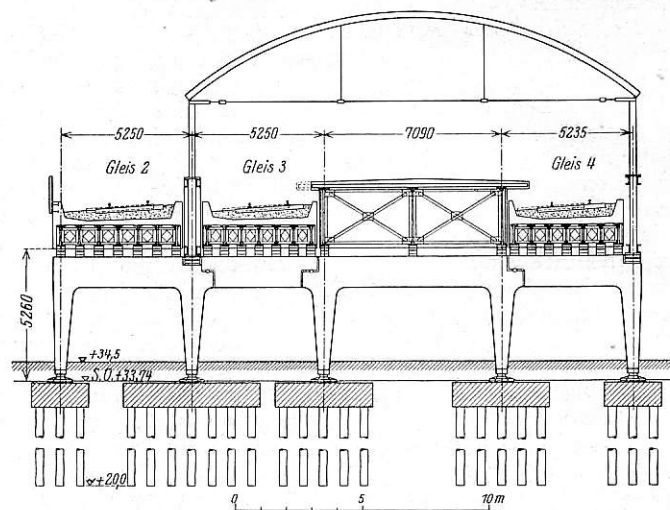
Der Bahnhof hat seine eigene Wasserleitung, die aus einer Quelle am Berghang gespeist wird. Vier Wasserkrane versorgen die Lokomotiven mit Wasser, einer auch die französische Dampflokomotive, die den Verschiebedienst versieht, während im übrigen auf französischer Seite elektrische Lokomotiven verwendet werden. Der Betriebsstrom für sie wird in einem Kraftwerk am französischen Hang der Pyrenäen erzeugt, während zur Beleuchtung des Bahnhofs und zu seiner Beleuchtung ein besonderes Kraftwerk vorhanden ist, das seiner Zeit für die Zwecke des Baus geschaffen und nach dessen Beendigung erhalten worden ist.

Wernicke.

### Der Umbau des Lehrter Stadtbahnhofes in Berlin.

Ein bemerkenswerter Umbau einer umfangreichen Eisenkonstruktion während des Betriebes wurde in den letzten Jahren am Lehrter Stadtbahnhof in Berlin durchgeführt. Dort kreuzen die hochliegenden Stadtbahngleise sowie die Doppelbahnlinie vom Schlesischen Bahnhof nach Charlottenburg die Bahnsteiggleise des Lehrter Fernbahnhofs und die vier Zufahrtsgleise zum Güterbahnhof Spreewer, und zwar liegt an der Kreuzungsstelle gerade der Bahnsteig der erstgenannten Gleise. Die alte, schon mehrfach verstärkte Eisenkonstruktion war durch Rost so geschwächt, daß sie den Belastungen nicht mehr entsprach; hierzu traten noch Stützensenkungen an den durchlaufenden Trägern, die nicht zum Stillstand gebracht werden konnten, so daß ein vollständiger Umbau unvermeidlich war. Die Arbeiten gestalteten sich wegen der dichten Zugfolge und des regen Personenverkehrs auf den Bahnsteigen ziemlich schwierig und konnten nur unter Errichtung verschiedener Übergangszustände bewältigt werden. Eine weitere Erschwerung trat noch dadurch hinzu, daß die Halle mit den sie tragenden Fachwerkbalken erhalten bleiben sollte, weil sie noch in gutem Zustand war.

Das neue Bauwerk überspannt zwei Öffnungen von 17,97 und 16,88 m Stützweite und besteht aus getrennten mehrwandigen Blechträgerüberbauten mit obenliegendem Eisenbetonkieskasten. Als Mittelpfeiler dient ein gelenkig aufgelagerter eiserner Portalrahmen (siehe Abb.). Die Auflager sind an einem Widerlager fest,



Die neuen Überbauten über die Lehrter Personengleise.  
Querschnitt M 1:300.

auf dem Portalrahmen für beide Öffnungen gelenkig und auf dem anderen Widerlager beweglich. Die Unterseite der Überbauten ist gegen den hier besonders starken Angriff durch Rauchgase mit verbleiten Blechen geschützt. Auch die Fundamente wurden verstärkt und zwar kamen wegen der geringen Rammhöhe 12 m lange Eisenbetonbohrpfähle mit 32 cm Durchmesser in Anwendung. Die Bauzeit vom Beginn der Arbeiten bis zur Wiederaufnahme des Doppelbahnbetriebes auf den Ferngleisen betrug etwa ein Jahr.

Sp.

(Zeitschrift für Bauwesen 1929, Heft 9.)

### Behälterverkehr in England.

Nachdem im Laufe des Jahres 1927 die London-Midland und Schottische Eisenbahngesellschaft mit der versuchsweisen Verwendung von Behältern begonnen hatte, sind inzwischen alle Eisenbahnen Großbritanniens zu diesem neuen Verkehrsmittel übergegangen. Es werden vier Behältertypen, die durch die Buchstaben A, B, C und D bezeichnet sind, verwendet. Die Typen A und B sind geschlossene, die Typen C und D offene Behälter. Die Behälter A und C sind halb so lang wie die Behälter B und D. Die großen Behälter sind 4,27 m lang, 1,98 m breit und 1,98 m hoch. (Die offenen Behälter sind nur 0,91 m hoch). Die zuerst befürchteten Schwierigkeiten wegen des Ein- und Ausladens der Behälter stellten sich nicht ein, besonders weil sich zeigte, daß als Versand- und Empfangsbahnhöfe nur große Bahnhöfe in Betracht kommen, auf denen Hebezeuge zur Verfügung stehen. Die Behälter führten sich um so leichter ein, als von Anfang an keinerlei Versuche gemacht wurden die Behälter nur in bestimmten Verkehrsbeziehungen (etwa nur in regelmäßigen Umläufen) zuzulassen, sondern daß sie vielmehr allen Verkehrstreibenden zur Verfügung gestellt wurden. Der Erfolg war besonders im Wettbewerb mit dem Lastwagenverkehr sehr gut. Die Tarifrage ist noch nicht ganz geklärt. Man sucht für jedes Versandgut einen Zuschlag auf die übliche Fracht für das verpackte Gut zu legen, dessen Höhe einen Gesamtfrachtbetrag ergibt, der etwa der Fracht für das unverpackt versandte Gut gleichkommt.

Der Behälter findet rasch immer weiterreichende Verwendung und zwar nicht nur für verpackte Güter, sondern auch für offene Güter wie Ziegel, Fleisch usw. Die London-Midland und Schottische Eisenbahn hat bereits über 1000 Behälter im Betrieb und eine große Zahl im Bau. Sämtliche britischen Eisenbahnen betreiben mit Nachdruck eine weitgehende Verwendung des Behälters.

Eb.