

Entwicklung und Stand der Übergangsbogenfrage.

Von Dr.-Ing. Gerhard Schramm, Reichsbahnrat, Berlin.

1. Rückblick.

Die Übergangsbogenfrage ist fast so alt wie die Eisenbahn. Die Zweckmäßigkeit der Überhöhung der Gleisbogen wurde frühzeitig erkannt. Die Überhöhung bedingte eine Überhöhungsrampe. Man legte sie anfangs ganz in die Gerade, so daß am Kreisbogenanfang die volle Überhöhung erreicht war. Als dies wenig befriedigte, legte man die Rampe zur einen Hälfte in die Gerade und zur anderen in den Kreisbogen. Bei beiden Anordnungen ergab sich natürlich ein Widerspruch zwischen der Aufriß- und Grundrißgestaltung der Bogen, d. h. zwischen dem Überhöhungs- und Krümmungsverlauf. Ferner war der unvermittelte Einlauf der Fahrzeuge aus der Geraden in Kreisbogen mit kleinen Halbmessern nicht stoßfrei. Diese Nachteile bemerkte man bald, und es bildete sich daraufhin bei den Bahnmeistern stellenweise das Verfahren des „Abspitzens“ der Bogen heraus: Am Kreisbogenanfang und beiderseits davon wurde das Gleis auf einige Schienenlängen etwas nach innen gedrückt. Dadurch entstand ein Gebilde, das ungefähr einem nachträglich ohne Verschiebung der Geraden und des Kreisbogens eingeschalteten kurzen Übergangsbogen entsprach. Der Erfolg hing dabei natürlich weitgehend vom Geschick und guten Augenmaß des Rottenmeisters ab.

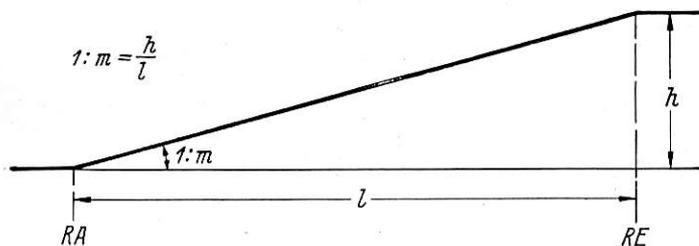


Abb. 1. Gerade Überhöhungsrampe.

Als erster scheint Pressel regelrechte Übergangsbogen angewendet zu haben. Sein Verfahren, das er in der „Eisenbahnzeitung“ 1854, S. 173 beschrieb, war aber sehr umständlich. Es scheint daher nur in einigen Fällen und von Pressel selbst angewendet worden zu sein. Pressel hat wohl die Bedeutung des Übergangsbogens richtig eingeschätzt; er fand aber kein brauchbares Absteckverfahren dafür. Das Verdienst, ein solches entwickelt zu haben, gebührt dem französischen Ingenieur Nördling. Dieser erkannte klar:

Erstens: Zu der geradlinig ansteigenden Überhöhungsrampe (Abb. 1) gehört ein Übergangsbogen („Anschlußkurve“), bei dem die Krümmung $\left(\frac{1}{\rho}\right)$ ebenso geradlinig anwächst.

Zweitens: Diese Eigenschaft hat in gewissen Grenzen die kubische Parabel $y = C \cdot x^3$. Sie ist daher die für die Übergangsbogen geeignete Kurve.

In zwei Abhandlungen vom Jahre 1867 gab Nördling die Regeln für die Anwendung der kubischen Parabel als Übergangsbogen an, und zwar so klar und so vollständig, daß bis in die neuere Zeit hinein, nämlich bis zum Auftauchen des Winkelbildverfahrens (Nalenz-Höfer-Verfahren) die kubische Parabel genau nach seiner Anleitung als Übergangsbogen verwendet worden ist. Nördling bringt für die Übergangsbogenlängen und für die durch sie verursachten Seiten-

verschiebungen der Kreisbogen oder der Geraden folgende Zusammenstellung:

 Zusammenstellung 1.
Übergangsbogenlängen nach Nördling.

Kreishalbmesser H	Übergangsbogenlänge l	Seitenverschiebung f
m	m	m
300	40,0	0,222
350	34,3	0,140
400	30,0	0,094
450	26,7	0,066
500	24,0	0,048
600	20,0	0,028
700	17,1	0,017
800	15,0	0,012
900	13,3	0,008
1000	12,0	0,006
1200	10,0	0,003
1500	8,0	0,002
2000	6,0	0,001

Diese Übergangsbogenlängen entsprechen nach den heutigen Grundsätzen einer Geschwindigkeit von etwa 50 km/h.

Am Anfang des Jahres 1868 sandte der Preußische Minister für öffentliche Arbeiten die Nördlingschen Abhandlungen an die unterstellten Verwaltungen und forderte sie auf, künftig — besonders bei Neubauten — Übergangsbogen nach Nördling anzuwenden und nach einem Jahr darüber zu berichten. Die darauf eingegangenen Berichte von 25 Verwaltungen sind recht fesselnd. Im allgemeinen fanden die Vorschläge von Nördling Zustimmung und Anerkennung, wenn auch eine gewisse Zurückhaltung gegenüber dieser Neuerung — zahlreiche Fehlanzeigen — unverkennbar ist. Einige Verwaltungen machten darauf aufmerksam, daß sie in der Praxis schon immer ähnlich verfahren hätten („Abspitzen“ der Bogen) und daß Nördling die Sache nur in eine mathematische Form gebracht habe. Andere Verwaltungen meinten, das nachträgliche Einlegen der Übergangsbogen werde bei den fertigen Bahnlinien wegen der Seitenverschiebungen nicht möglich sein. Dies fällt auf; denn nach der Nördlingschen Tafel betragen die größten Seitenverschiebungen nur 22,2 cm. Offenbar traute man sich damals nicht ohne weiteres, ein einmal verlegtes Gleis so viel zu verschieben. Mehrere Verwaltungen weisen darauf hin, daß bei den vorhandenen großen Halbmessern von 250 Ruten (= 941 m) die angegebenen Übergangsbogenlängen und Seitenverschiebungen so gering seien, daß sie praktisch belanglos wären. Damals wurden eigenartigerweise auch Bedenken laut, ob sich die Schienen entsprechend dem Übergangsbogen parabelförmig biegen lassen würden.

Ganz aus dem Rahmen der übrigen fallen die Berichte der Bahnen Altona—Kiel und Venlo—Hamburg. Die erste schreibt: Sie habe bisher die Kreisbogen unmittelbar an die Geraden angeschlossen und die Rampen ganz in die Geraden

gelegt, so daß am Kreisbogenanfang die volle Überhöhung vorhanden sei, und sie empfehle, dieses Verfahren beizubehalten. Die windschiefe Fläche in der Überhöhungsrampe sei doch auf keine Weise zu vermeiden, und es seien bei steilen Rampen und kleinen Kreishalbmessern verschiedentlich Entgleisungen vorgekommen. Dann fährt der Bericht wörtlich fort: „Wenn nun aus diesem Grunde in der geraden Linie vor der Curve mehrfach Entgleisungen vorkamen, so sind derartige Entgleisungen um so eher zu fürchten in einer mit parabolischen Anschluß-Curven (Übergangsbogen) nach Herrn Nördlings System hergestellten scharfen Curve, wo die windschiefe Fläche noch in der Curve liegt und die Centrifugalkraft dort also noch die Gefahr vermehrt (!). Die unterzeichnete Direktion hält daher die Vermittlung des Übergangs von geraden Linien in Curven vermittelt der sogenannten Anschluß-Parabeln weder mit Rücksicht auf die Herstellung und Unterhaltung des Bahn-Oberbaus, noch mit Rücksicht auf die Sicherheit des Betriebes für empfehlenswert.“

Hier wird eine alte Erfahrung bestätigt: Fast jeder Fortschritt in Wissenschaft und Technik wird gelegentlich verkannt und auf Grund abwegiger Gedankengänge abgelehnt. Dieser Bericht ist ein Musterbeispiel dafür und verdient daher der Vergessenheit entrissen zu werden. Seine Verfasser bei der Altona—Kieler Eisenbahn fühlten sich offenbar als „alte Praktiker“ dem „Theoretiker“ Nördling mit seinen spitzfindigen Übergangsbogen überlegen.

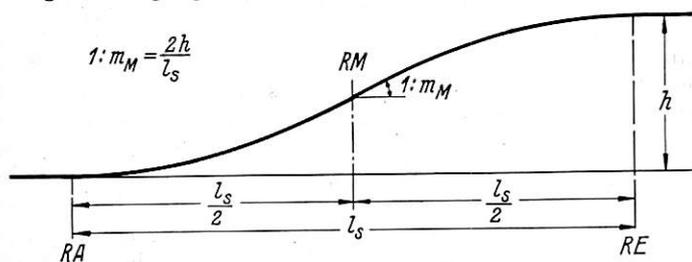


Abb. 2. S-förmig geschwungene Überhöhungsrampe.

Sehen wir hier eine völlige Verknennung der Sache, so bringt der Bericht der Venlo—Hamburger Bahn als Gegenstück dazu eine Anweisung, in der die Übergangsbogenfrage auf Anhieb geradezu vollkommen gelöst ist. In der Anweisung heißt es: „Damit beim Übergang von der Geraden in die Curve kein plötzlicher Gefällwechsel der äußeren Schiene eintrete, ist auch hier (wie bei den Neigungswechseln) die Einlegung einer Curve erforderlich, welche ein allmähliches Übergehen in die Überhöhung ermöglicht. Die einzulegende Curve hat in ihrer Vertikal-Projektion die nebenstehende Form (Abb. 2). Die beiden Hälften sind quadratische Parabeln, die zueinander symmetrisch liegen In der Horizontal-Projektion muß die Anschluß-Curve eine solche Form haben, daß an jeder Stelle der Krümmungshalbmesser der der äußeren Schiene zu gebenden Überhöhung entspricht.“ Es folgt dann eine Anleitung, wie derartige Übergangsbogen abzustecken sind. Das Verfahren war einfach und praktisch brauchbar. Der Verfasser dieser Anweisung, Ingenieur Funk, war offenbar seiner Zeit um einige Jahrzehnte vorausgeeilt. Es ist nicht bekannt, inwieweit nach seinem Vorschlage gearbeitet worden ist. Vermutlich merkte man bald, daß bei den kleinen Geschwindigkeiten und den kurzen Übergangsbogen (Funk gab als größte Länge etwa 50 m an) die geradlinig ansteigende Rampe völlig genügte, und die Anweisung geriet in Vergessenheit.

Im Jahre 1872 erschien die Schrift von Helmert „Die Übergangskurven für Eisenbahngleise“. Sie behandelt auf Nördlingscher Grundlage eingehend die verschiedenen Möglichkeiten beim Einschalten von Übergangsbogen. In ihr sind zum erstenmal die Grenzen für die Anwendungsmöglichkeit

der kubischen Parabel angegeben. Neu ist ferner der Vorschlag, die Übergangsbogen nicht ganz von der Anfangstangente aus abzustecken, sondern zur ersten Hälfte von der Geraden aus und zur zweiten vom Kreisbogen aus. Dadurch wird der Anschlußfehler der kubischen Parabel an den Kreisbogen bei ÜE vermieden. Diese Arbeitsweise fand in der Praxis keinen Eingang, weil bei den kurzen Übergangsbogen kein Bedürfnis dafür vorlag. Auch die S-förmig geschwungene Überhöhungsrampe behandelt Helmert, und zwar ganz ähnlich wie Funk. Vermutlich kannte er die Funksche Anweisung. Helmert führt in seinen Beispielen Übergangsbogen von nur etwa 30 m Länge an. Die Schrift von Helmert fand seinerzeit große Beachtung, scheint aber später nicht mehr benutzt worden zu sein.

Im übrigen ist die Übergangsbogenfrage im Schrifttum des vergangenen Jahrhunderts nur sehr dürftig behandelt worden. Bei den damaligen Fahrgeschwindigkeiten bestand anscheinend kein Bedürfnis, über die Anleitung von Nördling hinauszugehen. Im Org. Fortschr. Eisenbahnwes. befinden sich z. B. von 1845 bis 1900 nur sieben Aufsätze über diesen Gegenstand. Von diesen sind nur die Arbeiten von Vojaček (1877) und Franke (1899) beachtlich. Beide behandeln unter anderem Übergangsbogen mit S-förmig geschwungener Rampe und Krümmungsverlauf nach Abb. 2.

Im Jahre 1904 legte Bräuning im Oberbauausschuß einen Bericht „Beobachtungen der Fahrten in Gleiskrümmungen“ vor, in dem er die Gestaltung der Gegenbogen, der Übergangsbogen und Überhöhungsrampen behandelte. Die Zwischengerade hält Bräuning für unzweckmäßig; er empfiehlt, die Rampen zwischen den beiden entgegengesetzten Überhöhungen stetig durchgehen zu lassen und die Übergangsbogen mit ihren Anfängen unmittelbar aneinanderzustoßen. Später wiesen v. Borries¹⁾, Petersen²⁾ und Hanker³⁾ nachdrücklich darauf hin, daß die Zwischengerade zwischen Gegenbogen überflüssig, ja schädlich sei, wenn Übergangsbogen vorhanden seien.

Über die Frage der Rampengestaltung schreibt Bräuning u. a. folgendes: Eine steile gerade Rampe beeinträchtigt den ruhigen Lauf der Fahrzeuge, weil am Kopf und Fuß der Rampe das Fahrzeug eine zu große Drehbeschleunigung um seine Längsachse erhalte. Diese Bewegung werde offenbar weniger lästig empfunden, wenn sie allmählich eingeleitet werde. Ein Beispiel hierfür sei die Bewegung eines Wagenkastens einer Schwebebahn, der selbst sehr kurze Übergangsbogen ohne jede Belästigung für den Reisenden beschreibe. Dies führe dazu, die Überhöhungsrampe aus zwei ineinander übergehenden Parabeln zu bilden (s. Abb. 2). Der Übergangsbogen müsse einen entsprechenden Krümmungsverlauf erhalten. Diese Gestaltung sei vor allem dann zweckmäßig, wenn die Anwendung genügend langer gerader Rampen nicht möglich sei. In einem späteren Aufsatz⁴⁾ behandelte Bräuning den Gegenstand ausführlicher und stellte dabei fest, daß die Herstellung parabolischer (geschwungener) Rampen keine Schwierigkeiten biete.

Bräuning hatte derartige Überhöhungsrampen auch vorgelegen lassen. Die Übergangsbogen wurden aber im Grundriß nicht abgesteckt, sondern nur nach dem Augenmaß ausgerichtet; sie werden daher vermutlich recht mangelhaft ausgefallen sein. Wesentlich ist, daß die Überlegungen von Bräuning sowohl in der Frage der Zwischengeraden wie in der Frage der Rampengestaltung durchaus richtig waren und

¹⁾ „Schnellfahrt in Krümmungen“, Org. Fortschr. Eisenbahnwes. 1905, S. 21.

²⁾ „Die Gestaltung der Bogen im Eisenbahngleise“, Berlin 1920.

³⁾ „Gestaltung des Gleises für große Fahrgeschwindigkeiten“, Org. Fortschr. Eisenbahnwes. 1922, S. 297.

⁴⁾ „Über Gleisbogen“, Zbl. Bauverw. 1907, S. 83.

jetzt nach 30 Jahren ihre volle praktische Bestätigung gefunden haben. Damals freilich verlief die Sache im Sande. Wie sehr die Zwischengerade zur Zwangsvorstellung geworden war, zeigt z. B. der folgende eigenartige Vorschlag einer Arbeitsgemeinschaft aus dem Jahre 1905: Man solle versuchsweise die Zwischengerade allmählich von 100 m auf 80, 60, 30, 0 m verringern, um auf diese Weise festzustellen, bei welcher Länge der Zwischengeraden noch ein ruhiger Übergang von einer Seitenbewegung in die entgegengesetzte stattfindet. Daß der beste und ruhigste Übergang im letzten Falle, d. h. ohne Zwischengerade stattfinden könnte, daran wagte man gar nicht zu denken. Augenscheinlich tappte man damals in diesen Fragen noch sehr im Dunkeln, weil man sich über gewisse Grundbegriffe bei der Bewegung der Fahrzeuge nicht klar war.

Wie der Oberbauausschuß durch Rundfrage feststellte, wendete man damals (1904) als größte Rampenneigung 1:200 an, in der Regel aber 1:400; und Übergangsbogen wurden bei einer Anzahl von Direktionen überhaupt noch nicht abgesteckt.

Man erkennt aus der damaligen Behandlung dieser Fragen, daß die Absteckverfahren und die Oberbauarbeitsweisen noch recht roh waren. Man verfügte noch nicht über unsere jetzigen verfeinerten Mittel und hätte daher selbst beim besten Willen diese Fragen praktisch nicht klären können.

Der Gedanke, daß die Zwischengerade bei Gegenbogen besser wegfallen, wurde erst vor etwa zwei Jahren allgemein anerkannt und die Eisenbahn-Bau- und Betriebsordnung in diesem Sinne geändert⁵⁾. Die Frage der Rampengestaltung aber ist erst kürzlich durch umfangreiche Versuche der Deutschen Reichsbahn geklärt worden (s. die folgenden Abschnitte).

In den ersten Jahrzehnten dieses Jahrhunderts tauchen noch eine Reihe weiterer Vorschläge für Übergangsbogen auf: Watorek⁶⁾ und Hofmann⁷⁾ behandeln erneut den Übergangsbogen mit geschwungener Rampe und Krümmungslinie. Watorek weist auf den Zusammenhang mit der Schwebebahn hin. Ruch⁸⁾ und Cherbuliez⁹⁾ untersuchen den Einfluß der Rampen- und Übergangsbogengestalt auf den Weg, den der Fahrzeugschwerpunkt zurücklegt; sie schlagen vor, die Übergangsbogen so zu gestalten, daß der Fahrzeugschwerpunkt auf einer bestimmten stetigen Grund- und Aufrißbahn geführt wird. Schreiber¹⁰⁾ und Domanski¹¹⁾ leiten die Gleichungen für den Bogen mit mathematisch genau geradlinigem Krümmungsverlauf (Klothoide) ab und bringen Tafeln für das Abstecken. Franke¹²⁾, Oostinjer¹³⁾ und andere weisen auf die Möglichkeit hin, die Sinuslinie und die Lemniskate für Gleisbogen nutzbar zu machen. In zwei umfangreichen Arbeiten behandelt Lefort¹⁴⁾ das Abstecken von Übergangsbogen, und zwar ganz ähnlich wie es Helmert bereits 30 Jahre früher getan hatte. Auch von verschiedenen anderen Verfassern wird die kubische Parabel erneut erörtert, ohne daß dabei neue Gesichtspunkte auftauchten.

Sehr wertvolle Beiträge zur Übergangsbogenfrage lieferte Hallade¹⁵⁾. Er geht — ähnlich wie Bräuning — von folgender Erwägung aus: Wenn ein Fahrzeug in eine geradlinig

ansteigende Rampe ein- oder ausfährt, so entstehen Drehbeschleunigungen um die Fahrzeuglängsachse, die bei großen Fahrgeschwindigkeiten unangenehme Fahrzeugschwankungen hervorrufen können. Will man diese vermeiden, so muß man bei großen Geschwindigkeiten entweder die geraden Rampen sehr flach machen, oder man muß die Rampenneigung allmählich anwachsen und abnehmen lassen, d. h. S-förmig geschwungene Rampen anwenden. Hallade behandelt in den beiden Aufsätzen die geschwungenen Rampen sehr ausführlich und gibt mehrere Tafeln für die Übergangsbogenlängen, Überhöhungen und Übergangsbogenordinaten an. Als Rampenneigung wählt er etwa 1:5 V. Das Verfahren war theoretisch einwandfrei und auch praktisch brauchbar. Es war jedoch aus folgendem Grunde nicht genügend einfach: Unnötigerweise ist die Führung der Fahrzeugschwerpunkte in die Betrachtung einbezogen, und für den Aufriß der geschwungenen Rampen ist eine Sinus-Funktion gewählt, statt daß die Überhöhungslinie einfach aus zwei quadratischen Parabeln zusammengesetzt wird. Dies mag neben den geringen Geschwindigkeiten auch der Grund gewesen sein, warum die Übergangsbogengestaltung von Hallade in der Praxis keinen Eingang fand.

Die übrigen genannten Arbeiten waren von vornherein nur als theoretische Untersuchungen gedacht; sie hätten aber auch schon deshalb keine praktische Bedeutung gewinnen können, weil die angegebenen Verfahren in der Anwendung zu unständig gewesen wären. Denn für Eisenbahnabsteckungen ist nur ein solches Verfahren brauchbar, das auch vom Nichtmathematiker leicht zu erlernen und zu handhaben ist. Hier, wie überall im Oberbauwesen, ist das Einfachste immer noch verwickelt genug. Ein Verfahren, das dieser Bedingung nicht entspricht, kommt von vornherein nicht in Frage, möge es theoretisch noch so richtig und gut sein. Den Anforderungen an Einfachheit genügte aber bis in die neuere Zeit hinein nur die kubische Parabel in der von Nördling angegebenen Anwendungsweise; und so blieb es über ein halbes Jahrhundert dabei.

2. Die neuere Entwicklung.

Neuerdings traten zwei Fortschritte ein, die früher oder später für die Entwicklung der Übergangsbogenfrage ausschlaggebend werden mußten: erstens die Erfindung des Winkelbildverfahrens (Nalenz-Höfer-Verfahren) zum Abstecken von Bogen und zweitens die starke Erhöhung der Fahrgeschwindigkeiten.

Die früher üblichen Verfahren des Bogenabsteckens beruhen durchweg auf einer Anwendung der Trigonometrie und analytischen Geometrie. Die Bogenpunkte ergeben sich dabei nicht unmittelbar, sondern erst auf dem Umweg über verschiedene Hilfsgrößen, nämlich Winkel, Tangenten, Tangententlängen, Abszissen, Ordinaten u. dergl. Diese Hilfsgrößen sind für den Bogen selbst ganz belanglos und haben nach der Beendigung der Absteckung keine Bedeutung mehr. Sie müssen aber trotzdem gemessen, errechnet und durch die ganze Rechnung weitergeschleppt werden. Diese Absteckverfahren sind daher recht schwerfällig.

Das Winkelbildverfahren wurde anfangs dieses Jahrhunderts vom Eisenbahn-Landmesser Nalenz († 1910) erfunden und von Höfer¹⁶⁾ theoretisch ausreichend begründet und für das Bogenabstecken praktisch brauchbar gemacht. Es hat folgende wesentliche Kennzeichen: Der gewünschte Krümmungsverlauf des Bogens wird unmittelbar hergestellt ohne den Umweg über Abszissen, Ordinaten und die anderen genannten Hilfsgrößen. Da der Zweck eines Gleisbogens aber lediglich der richtige Krümmungsverlauf ist, ist allein

¹⁶⁾ „Die Absteckung von Gleisbogen aus Evolventenunterschieden“, Berlin 1927.

⁵⁾ Vergl. „Die Gestaltung von Gegenbogen“, Verkehrstechn. Woche 1934, Heft 29.

⁶⁾ Org. Fortschr. Eisenbahnwes. 1907, S. 186.

⁷⁾ Org. Fortschr. Eisenbahnwes. 1911, Heft 17 und 1913, Heft 24.

⁸⁾ Org. Fortschr. Eisenbahnwes. 1903, S. 59.

⁹⁾ Org. Fortschr. Eisenbahnwes. 1916, S. 355.

¹⁰⁾ Zbl. Bauverw. 1919, S. 359 und Org. Fortschr. Eisenbahnwes. 1921, S. 161.

¹¹⁾ Org. Fortschr. Eisenbahnwes. 1923, S. 71.

¹²⁾ Org. Fortschr. Eisenbahnwes. 1909, Heft 24, S. 380.

¹³⁾ Org. Fortschr. Eisenbahnwes. 1909, Heft 24.

¹⁴⁾ Rev. gén. Chem. de Fer 1903 und 1910.

¹⁵⁾ Rev. gén. Chem. de Fer, April 1908 und April 1910.

dieses Verfahren der Gleisbogenabsteckung angemessen. Daneben zeichnet es sich durch große Genauigkeit und Anpassungsfähigkeit an die gegebenen Verhältnisse aus¹⁷⁾. Schwierige Aufgaben konnten mit den alten Verfahren oft nur durch langwierige Versuchsabsteckungen und dann vielfach auch nur zufällig gut gelöst werden, während das Winkelbildverfahren solche Aufgaben zielsicher und sehr leicht löst. Dieses Verfahren wurde weiterhin in eine so allgemeingültige Form gebracht, daß es jetzt möglich ist, Bogen mit jedem beliebigen Krümmungsverlauf sehr genau abzustecken, und zwar in ganz einfacher Weise ohne größeren Arbeitsaufwand¹⁸⁾. Damit waren auch für die Gestaltung der Übergangsbogen alle Absteckeschwierigkeiten plötzlich aus dem Wege geräumt und man war zum erstenmal auch praktisch über Nördling und Helmert hinausgekommen.

Die Fahrgeschwindigkeiten, die sich in den vorhergehenden Jahrzehnten kaum verändert hatten, wurden in den letzten Jahren auf einmal sprunghaft gesteigert. Galt bisher 100 km/h als größte zulässige Geschwindigkeit, so wird jetzt verschiedentlich 160 km/h gefahren und man spricht gelegentlich schon von 200 km/h. Früher war die Geschwindigkeit 100 km/h erst bei Bogen mit Halbmessern von 900 m an aufwärts zulässig; jetzt darf bereits der Bogen mit 500 m Halbmesser mit dieser Geschwindigkeit befahren werden. Dadurch ergaben sich aber für die Bogengestaltung plötzlich große Schwierigkeiten, und zwar aus folgenden Gründen: Im Laufe der Zeit war man durch Versuche mehr und mehr zu der Erkenntnis gelangt, daß die Neigung der geradlinig ansteigenden Überhöhungsrampe abhängig gemacht werden müsse von der Geschwindigkeit¹⁹⁾. Diese Erkenntnis fand ihren Ausdruck in der Forderung, die Rampenneigung solle möglichst den Wert

$$1:m = 1:10 V$$

(V = Geschwindigkeit in km/h) nicht überschreiten, wenn die Ein- und Ausfahrt in die Überhöhungsrampe einwandfrei sein solle. Dem entspricht für die Rampen- und Übergangsbogenlänge die Bedingung:

$$l \geq 10 \cdot V \cdot h \dots \dots \dots 1)$$

(l = Übergangsbogenlänge in m, h = Überhöhung in m). Da nun die Überhöhung aber nach der Gleichung

$$h = \frac{0,008 \cdot V^2}{H} \dots \dots \dots 2)$$

(H = Halbmesser in m) vom Quadrat der Geschwindigkeit abhängig gemacht wird, so ergibt sich für die Übergangsbogenlänge nach den Gl. 1) und 2) die Forderung:

$$l \geq 0,08 \cdot \frac{V^3}{H} \dots \dots \dots 3)$$

Beim Einschalten der kubischen Parabel als Übergangsbogen wird aber bekanntlich eine Seitenverschiebung f des Kreisbogens nach innen nötig; sie hat die Größe:

$$f = \frac{l^2}{24 \cdot H} \dots \dots \dots 4)$$

Setzt man hierin den Wert für l aus Gl. 3) ein, so ergibt sich:

$$f \geq 0,000267 \cdot \frac{V^6}{H^3} \dots \dots \dots 5)$$

Das heißt, wenn man bei einem gegebenen Kreisbogen H die Geschwindigkeit erhöht, so wächst dabei die erforderliche Seitenverschiebung f mit der sechsten Potenz der Geschwindigkeit. Steigert man beispielsweise in einem Kreisbogen mit 500 m Halbmesser die Geschwindigkeit von V = 80 auf V = 100 km/h, d. h. auf das 1,25fache, so wächst die Seitenverschiebung f auf das 1,25⁶ = 3,81fache; statt f = 0,56 m ergibt sich f = 2,14 m. Zwar kann man jetzt mittels des Winkelbildverfahrens viel besser als früher das Mögliche an Verbesserung im Rahmen der angegebenen Linienführung herausholen; aber in sehr vielen Fällen bleiben immer noch große Seitenverschiebungen übrig, die nur mit hohen Kosten und oft überhaupt nicht vorgenommen werden können. Man sah sich daher bald genötigt, die Forderung an die Rampenlänge [Gl. 1)] etwas zu mildern, indem man sich mit einer Rampenneigung 1:8 V, d. h. mit einer Übergangsbogenlänge l = 8 · V · h begnügte. Aber auch dabei ergeben sich noch recht große Seitenverschiebungen, die häufig nicht zu verwirklichen sind.

Die Frage kam daher seit der Erhöhung der Geschwindigkeiten nicht zur Ruhe. Im Org. Fortschr. Eisenbahnwes. wurden z. B. in den letzten zehn Jahren mehr Aufsätze über diesen Gegenstand veröffentlicht als in den vorhergehenden Jahren zusammen seit seinem ersten Erscheinen 1845. Die S-förmig geschwungene Rampe wurde jetzt erneut und unabhängig von den früheren Veröffentlichungen zur Erörterung gestellt²⁰⁾.

Der Übergangsbogen mit geschwungener Krümmungslinie und Rampe nach Abb. 2 hat die Eigenschaft, daß bei gleicher Übergangsbogenlänge l_s die Seitenverschiebung nur halb so groß ist wie bei dem Übergangsbogen mit gerader Krümmungslinie, nämlich:

$$f_s = \frac{l_s^2}{48 \cdot H} \dots \dots \dots 6)$$

Besonders eingehend wies Petersen²¹⁾ auf die Möglichkeit und Zweckmäßigkeit dieser Übergangsbogengestaltung hin, und zwar auf Grund folgenden Gedankenganges: Die Versuche und Erfahrungen bei der Schwebebahn Elberfeld—Barmen haben gezeigt, daß das Einfahren in die Bogen für den Fahrgast unmerklich sanft ist, wenn die Übergangsbogenlänge

$$l_{(m)} = V_{(km/h)}$$

ist. Dabei schwingt das hängende Fahrzeug infolge der Fliehkraft seitlich aus, und sein Schwerpunkt beschreibt im Aufriß eine geschwungene Bahn nach Abb. 2. Wenn man nun das Fahrzeug einer Standbahn zwangsläufig so führt, daß es sich beim Einfahren in den Bogen ebenso bewegt wie der Schwebebahnwagen, so muß die Fahrt für den Reisenden ebenso sanft sein wie bei der Schwebebahn. Diese Führung wird genügend gut erreicht, wenn man der Überhöhungsrampe eine S-förmig geschwungene Gestalt nach Abb. 2 gibt und dementsprechend auch den Übergangsbogen im Grundriß mit geschwungener Krümmungslinie ausführt.

Dieser Gedankengang ist nicht nur richtig, sondern auch einfach und klar. Trotzdem wurden daraufhin Stimmen laut, es sei abwegig, Erfahrungen bei der Schwebebahn auf die Standbahn zu übertragen. Man verwechselte dabei die Führung auf der geschwungenen Rampe mit den Schwingungen der Fahrzeuge auf ihren Tragfedern.

Für die Bemessung der Übergangsbogenlänge genügen nach Petersen folgende Forderungen: Erstens die genannte Erfahrungsregel, daß l ≥ V sein solle, und zweitens die Bedingung, daß die größte Rampenneigung, die in der Mitte der geschwungenen Rampe auftritt, nicht größer sein dürfe, als

²⁰⁾ „Der vollkommene Gleisbogen“, Berlin: Julius Springer 1931.

²¹⁾ „Der Übergangsbogen im Eisenbahngleis“, Org. Fortschr. Eisenbahnwes. 1932, S. 409.

¹⁷⁾ Vergl. „Die Genauigkeit von Gleisbogenabsteckungen und die verschiedenen Absteckverfahren“, Org. Fortschr. Eisenbahnwes. 1935, S. 460.

¹⁸⁾ Vergl. „Das Winkelbildverfahren zum Abstecken von Bogen“, Z. Vermess. Wes. 1934, Heft 3 und Mschr. int. Eisenbahn-Kongr.-Vereinig., September 1934.

„Abstecken und Vermarken von Gleisbogen nach dem Winkelbildverfahren (Nalenz-Höfer-Verfahren)“, Berlin 1937, Verkehrswissenschaftliche Lehrmittelgesellschaft.

¹⁹⁾ Vergl. Schwanter: „Die Gestaltung der Gleisbogen“, Verkehrstechn. 1929, Heft 6—7 und Jaehn: „Beziehungen zwischen Fahrzeug und Gleis...“, Mschr. int. Eisenbahn-Kongr.-Vereinig., November 1932.

es mit Rücksicht auf die Bauart der Fahrzeuge zulässig ist. Nach der Eisenbahn-Bau- und Betriebsordnung (§10²) muß die Überhöhung „auf eine möglichst große Länge, mindestens aber auf das 300fache ihres Betrags auslaufen“. Über die Rampenneigung ist diesem Wortlaut nach nichts Eindeutiges ausgesagt. Wahrscheinlich hat man aber stillschweigend die gerade Rampe vorausgesetzt, und dann besagt diese Vorschrift, daß die planmäßige Rampenneigung nicht größer als 1:300 sein darf. Die Oberbauvorschriften fordern $1:m \geq 1:400$, und zwar im Hinblick darauf, daß durch den Betrieb die Rampen stellenweise steiler werden können. Man verlangt also als planmäßige Neigung 1:400, um die von der Bau- und Betriebsordnung geforderte Neigung 1:300 sicher einzuhalten. Diese Bedingung der Oberbauvorschriften ist schon reichlich streng; denn tatsächlich vertragen alle Fahrzeuge anstandslos noch viel größere Rampenneigungen. Legt man nach den Oberbauvorschriften 1:400 als größte zulässige Rampenneigung zugrunde, so ergeben sich nach Petersen für die Länge l_s der geschwungenen Rampe (= Übergangsbogenlänge) die Bedingungen:

$$l_s = \begin{cases} V \\ 800 \cdot h \end{cases}$$

Der größere Wert ist maßgebend. Berechnet man für die verschiedenen Halbmesser die hiernach erforderlichen Übergangsbogenlängen und die zugehörigen Seitenverschiebungen f_s [Gl. 6)], so zeigt sich, daß bei großen Geschwindigkeiten und 150 mm Überhöhung die Seitenverschiebungen um rund 140 cm kleiner ausfallen als bei geraden Rampen mit der Neigung 1:10 V. Damit gewann die Sache plötzlich eine große wirtschaftliche Bedeutung, ähnlich wie die Frage der Zwischengeraden. Eine grundsätzliche Klärung schien im Hinblick auf die angestrebten Linienvverbesserungen nötig zu sein, zumal an der Zweckmäßigkeit oder Durchführbarkeit dieser Gestaltung Zweifel laut wurden. Auf der einen Seite stand eine altbewährte Übergangsbogen- und Rampenform, allerdings unter Verhältnissen, die sich durch die Steigerung der Geschwindigkeiten und Überhöhungen plötzlich ganz verändert hatten; und auf der anderen Seite stand die Behauptung, daß man das gleiche, wenn nicht gar etwas besseres, mit viel geringeren Kosten erreichen könne.

3. Die Versuche der Deutschen Reichsbahn.

Auf Grund der Behandlung der Frage in dieser Zeitschrift²²⁾ entschloß sich die Reichsbahn, Versuche in größerem Maßstabe anzustellen. Ende des Jahres 1934 wurden zwölf Reichsbahndirektionen beauftragt, Übergangsbogen mit geschwungenen Rampen und Krümmungslinien zu verlegen. Es wurde eine genaue Anweisung über das Abstecken und Verlegen herausgegeben und dabei für die größte Rampenneigung $1:m_M$ in Rampenmitte zunächst vorgeschrieben:

$$1:m_M = \begin{cases} 1:5 V \\ 1:600 \end{cases}$$

Danach ergaben sich bei Geschwindigkeiten von 120 km/h an aufwärts doppelt so steile Rampen als nach den Oberbauvorschriften. Für die Übergangsbogenlängen war dementsprechend verlangt:

$$l_s = \begin{cases} 10 \cdot V \cdot h \\ 1200 \cdot h \end{cases}$$

Bis zum September 1935 waren ungefähr 300 derartige Übergangsbogen hergestellt, davon 180 auf der Strecke Naumburg—Bebra, die im Frühjahr 1935 für den Schnelltriebwagenverkehr Berlin—Frankfurt (M) hergerichtet worden war. 45 von den 108 Bogen dieser Strecke haben Übergangsbogen mit geschwungenen Überhöhungsrampen, und zwar mit Nei-

gungen $1:m_M = 1:5$ bis $1:3,7 V$; als größte Neigung wurde mehrfach 1:500 angewendet. Die oben angegebenen Übergangsbogenlängen wurden also z. T. noch wesentlich unterschritten. Die übrigen Bogen haben gerade Rampen mit Neigungen 1:10 bis 1:8 V. Diese Strecke ist daher für den Vergleich der beiden Übergangsbogengestaltungen hervorragend geeignet. Der Schnelltriebwagen Berlin—Frankfurt (M) verkehrt auf ihr seit Mitte August 1935.

Zunächst wurden die Gleise mit dem Oberbaumeßwagen aufgenommen, um festzustellen, ob die Rampen und Übergangsbogen einwandfrei verlegt waren. Das Ergebnis war durchaus befriedigend. Bekanntlich bedurfte es einer jahrelangen Erziehung durch den Oberbaumeßwagen, bis es allgemein gelang, die geraden Rampen einwandfrei herzustellen. Daher hätte man sich nicht wundern dürfen, wenn die geschwungenen Rampen aufs erstemal mangelhaft ausgefallen wären. Dies war aber tatsächlich nicht der Fall. Es hat sich vielmehr gezeigt und wurde von den ausführenden Stellen bestätigt, daß bei sachgemäßem Vorgehen die geschwungenen Rampen nicht nennenswert schwieriger ausführbar sind als lange gerade Rampen.

Nachdem auf diese Weise über den wirklichen Zustand der Strecke Klarheit geschaffen war, wurde der Lauf der Fahrzeuge mit Schwingungs- und Beschleunigungsmessern verschiedener Bauart aufgenommen. Die Versuchsfahrten wurden mit der für die Absteckung zugrunde gelegten Höchstgeschwindigkeit ausgeführt. Das Ergebnis dieser Messungen, von dem die Meßstreifen Zeugnis ablegen, ist folgendes: Die geschwungenen Rampen mit den größten Neigungen $1:m_M \approx 1:4 V$ befahren sich ebenso gut wie die geraden Rampen mit der Neigung 1:10 V. Das gleiche lehrten Versuchsfahrten auf der Strecke Berlin—Hamburg. Auch der Reisende spürt keinen Unterschied zwischen den beiden Gestaltungen. Der Kenner aber kann bei aufmerksamer Beobachtung den Einfluß der geschwungenen Rampen auf die Bewegung der Fahrzeuge wohl wahrnehmen. Man kann ihn am besten dadurch kennzeichnen, daß man sagt: Die geschwungenen Rampen befahren sich „weicher“ als die geraden Rampen. Lokomotiv- und Schnelltriebwagenführer, die die Strecken Berlin—Hamburg und Naumburg—Bebra regelmäßig befahren, bestätigen dies. Wenn also überhaupt ein Unterschied zwischen dem Lauf über geschwungene Rampen 1:4 V und gerade Rampen 1:10 V festzustellen ist, so fällt er offenbar zugunsten der ersten aus.

Die Versuche entsprechen demnach genau den Erwartungen, die man auf Grund richtiger Überlegungen hegen mußte. Sie beweisen, daß die Einwände, die gelegentlich gegen diese neue Gestaltung erhoben worden sind, verfehlt waren. Eine einfache Betrachtung lehrt, daß die Verwindungsgeschwindigkeit, mit der sich das Fahrzeug bei der Einfahrt in die Rampe auf die windschiefe Fläche einstellen muß, bei den geschwungenen Rampen stets viel kleiner ist als bei den geraden Rampen; denn bei diesen muß die Eindrehung auf die Fahrzeuglänge vor sich gehen, bei jenen dagegen auf die halbe Übergangsbogenlänge; und diese ist immer ein Vielfaches der Fahrzeuglänge (s. Anm. 24).

Im übrigen ist ohne weiteres klar: Etwas planmäßig Ausgerundetes kann in dynamischer Hinsicht keinesfalls schlechter sein als etwas planmäßig Nichtausgerundetes (Eckiges). Genau so wie dieser Grundsatz für die Neigungswechsel und Gleisverziehungen im Grundriß gilt, gilt er auch für die Überhöhungsrampen, die ja nichts anderes sind als Gleisverziehungen im Aufriß. Bekanntlich werden beim Vergrößern des Gleisabstandes von 3,5 auf 4 m häufig flache Verziehungen im Grundriß nötig, z. B. um das Maß von 25 cm. Solche Verziehungen setzt man nach Abb. 3 aus zwei Bogen (qua-

²²⁾ „Beitrag zur Gleisbogengestaltung für hohe Fahr- geschwindigkeiten“, Org. Fortschr. Eisenbahnwes. 1934, Heft 23.

dratischen Parabeln) zusammen mit Krümmungshalbmessern von 20000 bis 40000 m. Bei $V = 160 \text{ km/h}$ und $e = 0,25 \text{ m}$ genügt z. B. eine solche geschwungene Verziehung von 160 m Länge²³⁾. Wer nun die gerade Rampe als einfacher oder besser empfiehlt, müßte folgerichtig eine entsprechende Gestaltung für den Grundriß der Gleisverziehungen vorschlagen, etwa folgendermaßen: „Solche Verziehungen stellt

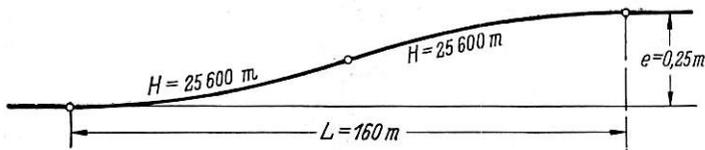


Abb. 3.

Grundriß einer Gleisverziehung aus zwei Kreisbögen (verzerzt).

man am einfachsten nach Abb. 4 geradlinig 1:x her. Man gibt draußen nur den Anfangspunkt A und den Endpunkt E der Verziehung an. Der Rottenmeister zieht dann von A bis E das Gleis geradlinig zusammen; die Knicke bei A und E runden sich schon ganz von selbst aus; besonderer Bogen bedarf es dazu gar nicht. Macht man nämlich die Verziehung

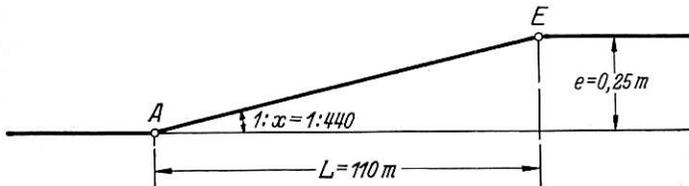


Abb. 4. Grundriß einer Gleisverziehung (verzerzt).

etwa 110 m lang (Abb. 4), so weicht sie von der 160 m langen geschwungenen Verziehung (Abb. 3) nur bis zu 11 mm seitlich ab. Dieser Unterschied spielt praktisch keine Rolle. Bogen nach Abb. 3 lassen sich weder herstellen noch im Betriebe erhalten. Es ist daher viel einfacher und richtiger, wenn

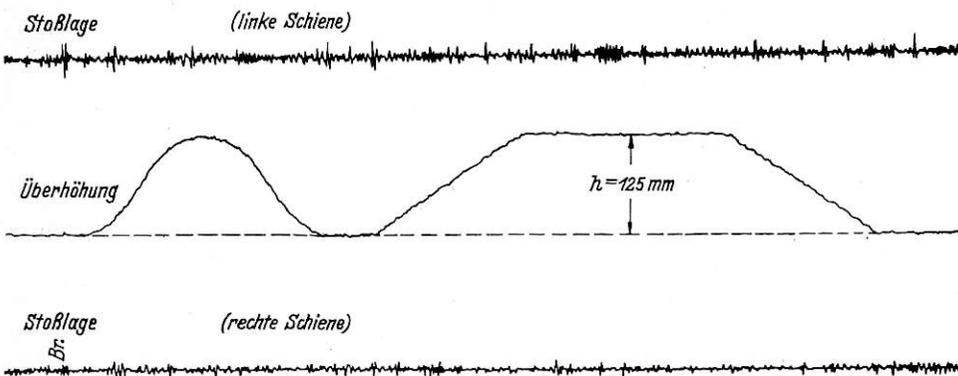


Abb. 5. Ausschnitt aus einem Meßstreifen des Oberbaumeßwagens (1:2·verkleinert).

man die Gleisverziehungen nicht bogenförmig, sondern geradlinig (eckig) ausführt.“

Ein solcher Gedankengang wäre eine vollständige Verkenntung der Bedeutung von Gleisbögen. Gewiß, man könnte jeden Bogen in ein Vieleck auflösen, das höchstens einige cm seitlich von dem Bogen abweicht. Niemandem wird es aber einfallen, ein solches Vieleck statt des Bogens zur Ausführung zu empfehlen, weil es „praktisch ebenso gut“, in der Herstellung aber „einfacher“ sei als der Bogen. Auch die Gleisverziehungen könnte man nach Abb. 4 eckig ausführen, ohne damit einen betriebsgefährlichen Zustand zu schaffen. Hält man aber bei dieser Ausführung etwa die Knicke $1:x = 1:440$ bei A und E als zu groß und fordert statt dessen wie bei den

geraden Rampen die Neigung $1:10 V = 1:1600$, so ist damit zunächst einmal zugegeben, daß die seitliche Abweichung von nur 11 mm bei großen Geschwindigkeiten doch eine Rolle spielt. Die Verziehung würde dann aber nicht wie bei der geschwungenen Ausführung nach Abb. 3 nur 160 m lang, sondern statt dessen $160 \cdot 0,25 = 400 \text{ m}$. Dies wäre ein großer Nachteil; und einfacher oder gar richtiger wäre eine derartige Gestaltung keineswegs; denn die Bogen der geschwungenen Verziehung lassen sich erfahrungsgemäß einwandfrei herstellen und halten sich im Betriebe jedenfalls besser als eckige Gleisverziehungen. Daher läßt man mit Recht eckige Gleisverziehungen überhaupt nicht zu. Beim Anschauen einer solchen Verziehung würde man sofort feststellen, daß die Gleisführung recht schlecht aussähe und daß man das doch ebenso einfach aber viel besser durch Einlegen von Bogen machen könne. Warum soll man die Ausrundung dem Zufall oder dem Geschick des Rottenmeisters überlassen, statt sie planmäßig durch Bogen herzustellen? Hätte man den Aufriß der geraden Überhöhungsrampen genau so vor sich liegen, wie die Gleisverziehungen im Grundriß, so müßte man das gleiche feststellen, und man wäre wohl überhaupt nicht auf den Gedanken gekommen, die Rampen anders als bogenförmig auszuführen.

Die Übergangsbogen mit geschwungenen Rampen lassen sich genau so leicht abstecken und ausrichten, wie die Bogen der Gleisverziehungen oder die senkrechten Ausrundungen der Neigungswechsel. Die Erfahrung bei über 300 ausgeführten Rampen hat dies bewiesen.

Abb. 5 zeigt z. B. einen Ausschnitt aus einem Meßstreifen des Oberbaumeßwagens. Es handelt sich um einen Streckenabschnitt, der mit der Geschwindigkeit $V = 160 \text{ km/h}$ befahren wird. Die beiden dargestellten Bogen haben Halbmesser $H = 1400 \text{ m}$ und Überhöhungen $h = 0,125 \text{ m}$. Der erste Bogen ist als „Scheitelbogen“ ausgebildet, d. h. er besteht lediglich aus zwei Übergangsbogen, die sich mit ihren Enden berühren (ohne dazwischenliegenden Kreisbogen).

Es sind geschwungene Rampen angewendet; ihre größte Rampenneigung in Rampenmitte ist $1:m_M = 1:4 V = 1:640$. Der zweite Bogen hat gerade Rampen $1:10 V = 1:1600$. Wie das Meßbild zeigt, sind die geschwungenen Rampen ebenso gut verlegt wie die geraden Rampen. Der Meßstreifen wurde im Herbst 1935 $\frac{1}{4}$ Jahr nach der Durcharbeitung des Gleises aufgenommen. Die Bogen haben sich im Betrieb sehr gut gehalten: Eine neue Meßwagenaufnahme, die 1 Jahr später stattfand, zeigt nur ganz geringe Unterschiede gegenüber Abb. 5. In der Verkehrstechn. Woche

1937, Heft 2 sind die beiden Meßstreifen einander gegenübergestellt.

Der Bogen mit den geschwungenen Rampen befährt sich auch bei der größten Geschwindigkeit $V = 160 \text{ km/h}$ völlig einwandfrei. Die Seitenverschiebungen sind jedoch um 0,81 m kleiner als bei dem zweiten Bogen mit den geraden Rampen.

Man kann nun noch fragen, wie es mit der Unterhaltung geschwungener Rampen stehe. Die Antwort ist einfach: Genau so wie mit der Unterhaltung der geraden Rampen! Wenn in dieser Hinsicht überhaupt ein Unterschied bestehen sollte, was unwahrscheinlich ist, so könnte er nur zugunsten der geschwungenen Rampen ausfallen. Denn da der Lauf der Fahrzeuge ebenso gut, allenfalls besser ist als bei den geraden Rampen, so werden die geschwungenen Rampen durch den Betrieb keinesfalls mehr, sondern

²³⁾ Man bemißt die Verziehungslänge am besten nach der Gleichung: $L \geq 2 \cdot V \cdot \sqrt{e}$ (L und e in m, V in km/h).

höchstens weniger beansprucht. Die bisherige Erfahrung hat diese Überlegungen bestätigt.

4. Das Ergebnis.

Mit geschwungenen Rampen $1:m_M = 1:4 V$ erreicht man hinsichtlich des ruhigen Laufs der Fahrzeuge und der Annehmlichkeit der Fahrt mindestens das gleiche wie mit geraden Rampen $1:10 V$. Darüber besteht jetzt nach den Versuchen völlige Klarheit. Was für ein Nutzen ergab sich nun z. B. auf der Versuchsstrecke Naumburg—Bebra durch diese neue Übergangsbogengestaltung? Bei den 45 Bogen, die mit geschwungenen Rampen hergestellt wurden, reichte der gegebene Bahnkörper durchweg aus, weil die Seitenverschiebungen bei diesen Übergangsbogen sehr gering sind. Hätte man dagegen die Bogen mit geraden Rampen $1:10 V$ versehen wollen, so wären auf eine Streckenlänge von 20 km beide Gleise durchschnittlich um 83 cm seitlich zu verschieben gewesen. Man kann leicht abschätzen, wieviel Tagewerke diese Seitenverschiebungen und die vermehrte Nacharbeit wegen der großen Beunruhigung der Gleislage erfordert hätten. Dies wäre aber nur der kleinere Teil der anfallenden Kosten gewesen; denn

Warum soll man denselben Weg nochmals gehen? Man müßte erneut die gleichen schlechten Erfahrungen machen und allmählich wieder zu geraden Rampen $1:10 V$ zurückkehren. Jede Versteilerung der geraden Rampen beeinträchtigt erfahrungsgemäß die Annehmlichkeit der Fahrt und die Fahr-sicherheit bei der Eintahrt, besonders aber bei der Ausfahrt aus den Bogen. Diese Maßnahme zur Verringerung der Seitenverschiebungen kann daher nicht in Frage kommen.

Zu 2.: Diese Lösung ist in Abb. 6a dargestellt, und zwar für die Bogenhöchstgeschwindigkeit $V = 4,5 \cdot \sqrt{H}$. Die Rampe erhält die planmäßige Länge $l_r = 10 \cdot V \cdot h$ oder äußerstenfalls $8 \cdot V \cdot h$. Damit die Seitenverschiebung wie beim Übergangsbogen mit geschwungener Krümmungslinie auf die Hälfte herabgedrückt wird, muß die Übergangsbogenlänge auf das Maß $l = \frac{l_r}{\sqrt{2}}$ verkürzt werden. Die Rampe ist auf der einen

Seite in die Gerade, auf der anderen in den Kreisbogen vorgeschoben. Die Anfänge und Enden der Rampe und des Übergangsbogens sind mit RA, RE, ÜA und ÜE bezeichnet. Die ausgezogene Linie stellt die Rampe, also den wirklichen Ver-

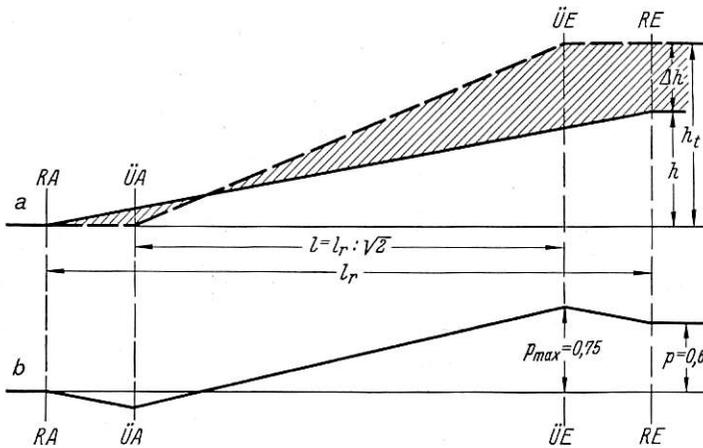


Abb. 6a und b.

Gekürzter Übergangsbogen bei gerader Rampe.
a) Wirkliche und theoretische Überhöhung.
b) Überschuss an Fliehbeschleunigung (p).

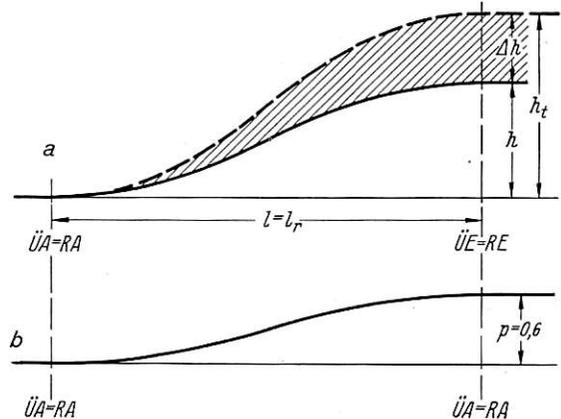


Abb. 7a und b.

Geschwungene Rampe, $l = l_r$.
a) Wirkliche und theoretische Überhöhung.
b) Überschuss an Fliehbeschleunigung (p).

die Seitenverschiebungen hätten zahlreiche Dammschüttungen, Einschnittserweiterungen, Grabenverlegungen, Änderungen an Stützmauern, Brücken und Durchlässen usw. bedingt. Bei der Durchführung der Linienverbesserung in dieser Weise hätte man wohl einige hunderttausend Mark aufwenden müssen, und dabei wäre die angestrebte Geschwindigkeit vielleicht noch nicht einmal überall erreicht worden. Tatsächlich ist aber mit den geschwungenen Rampen ohne diese Kosten ein Zustand erzielt worden, der in jeder Hinsicht befriedigt.

Wäre der gleiche Erfolg aber nicht doch auf irgendeine Weise mit geraden Rampen zu erreichen? Diese Frage ist zu verneinen. Es kämen die drei folgenden Gestaltungen in Betracht:

1. Man könnte gerade Rampen zulassen mit steilerer Neigung als die jetzt vorgeschriebene $1:8 V$.

2. Man könnte bei gerader Rampe den Übergangsbogen kürzer machen als die Rampe, um dadurch die Seitenverschiebungen kleiner zu halten.

3. Man könnte die geraden Rampen an den Enden planmäßig auf größere Länge ausrunden. Dabei dürften die Rampen steiler und damit die Übergangsbogen kürzer gewählt werden als bei unausgerundeten geraden Rampen.

Zu 1.: Die Anwendung steilerer gerader Rampen wäre lediglich ein Rückschritt zu einer Gestaltung, die man aus gutem Grunde verlassen hat, nämlich weil sie den Anforderungen an den ruhigen Lauf der Fahrzeuge nicht genügt.

lauf der Überhöhung, dar und die gestrichelte Linie die theoretische Überhöhung $h_t = \frac{0,0118 \cdot V^2}{H}$, die bei dem gegebenen

Krümmungsverlauf die Wirkung der Fliehkraft aufheben würde. Der Überschuss an Fliehbeschleunigung (p), der durch die vorhandene Überhöhung nicht ausgeglichen ist und der daher für den Reisenden wirksam wird, ist dem Unterschiede der theoretischen und der wirklichen Überhöhung $\Delta h = h_t - h$ verhältnismäßig. Die gestrichelte Fläche zeigt demnach den Verlauf von p. Der Anschaulichkeit wegen ist er in Abb. 6b noch besonders dargestellt. Abb. 7a zeigt dagegen die Gestaltung mit geschwungener Rampe für die gleiche Seitenverschiebung. Vergleicht man den Verlauf der überschüssigen Fliehbeschleunigung p nach Abb. 6b mit dem nach Abb. 7b, so fällt die Mangelhaftigkeit der Lösung nach Abb. 6 ohne weiteres in die Augen. Sie hat folgende Nachteile:

Erstens: Die Fliehbeschleunigung wechselt das Vorzeichen; am Ende der Geraden und am Anfang des Übergangsbogens ist sie nach innen gerichtet, im weiteren Verlauf dagegen nach außen.

Zweitens: Die größte Fliehbeschleunigung p, die für den Bogen zugrunde gelegt ist (gewöhnlich $p_{max} = 0,6 \text{ m/s}^2$), wird bei ÜE überschritten, und zwar um so mehr, je mehr der Übergangsbogen gegenüber der Rampe verkürzt ist. Für den Lauf der Fahrzeuge kann dies allenfalls ungünstig sein.

Drittens: Die Lösung ist nicht einfacher, sondern um-

ständlicher als die Lösung mit geschwungener Rampe. Denn statt der beiden Punkte $\ddot{U}A = RA$ und $\ddot{U}E = RE$ hat man beim Abstecken und Verlegen vier verschiedene Punkte zu unterscheiden. Dadurch besteht die Gefahr von Verwechslungen und falschem Anlegen der Rampen. Die Lösung nach Abb. 6 ist eben nur eine Flicklösung, während die nach Abb. 7 eine einwandfreie Lösung aus einem Guß ist.

Es wäre ein Irrtum, zu glauben, daß man mit der Flicklösung nach Abb. 6 wenigstens in bezug auf die Seitenverschiebung dasselbe erreicht hätte wie bei dem Übergangsbogen mit geschwungener Krümmungslinie. Das ist nur scheinbar der Fall. Denn was der geraden Rampe recht ist, ist der geschwungenen billig: Auch bei ihr kann man den Übergangsbogen gegenüber der Rampe kürzen. Die dadurch entstehende und in Abb. 8a und b dargestellte Lösung wäre im Hinblick auf den guten Lauf der Fahrzeuge und die Annehmlichkeit der Fahrt keinesfalls schlechter, sondern immer noch besser als die Lösung nach Abb. 6. Während die Seitenver-

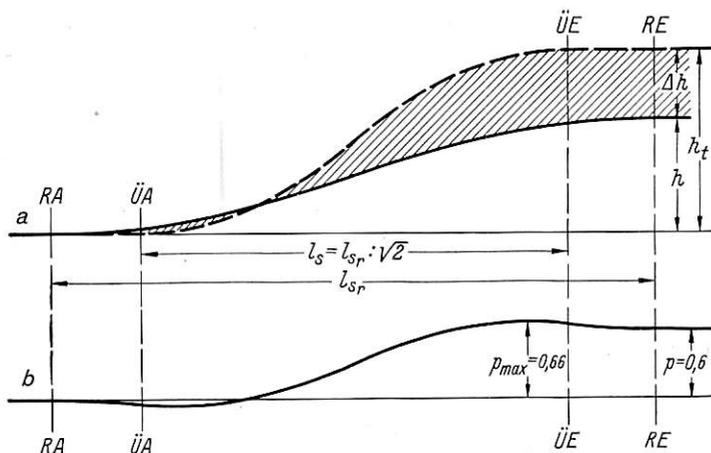


Abb. 8 a und b.

Gekürzter Übergangsbogen bei geschwungener Rampe.

- a) Wirkliche und theoretische Überhöhung.
- b) Überschuss an Fliehbeschleunigung (p).

schiebung dabei wiederum nur halb so groß ausfällt, ist der Verlauf der Seitenbeschleunigung p (Abb. 8b) immer noch günstiger als bei der geraden Rampe (Abb. 6b).

Die erwähnten Flicklösungen nach Abb. 6 und 8 sollen hier aber keineswegs empfohlen werden, im Gegenteil: Man sollte sie nur ausnahmsweise anwenden, nämlich dann, wenn beim gründlichen Durcharbeiten der Gleise wegen der Steigerung der Geschwindigkeit die Überhöhung vergrößert werden muß und man an der bereits bestehenden Bogenvermarkung und an der Gleislage im Grundriß nichts ändern möchte oder kann. Sowie es sich aber um eine Neuabsteckung oder um eine Gleiserneuerung handelt, wird man Rampe und Übergangsbogen grundsätzlich zusammenfallen lassen und die bessere Lösung nach Abb. 7 mit geschwungener Rampe wählen.

Zu 3.: Beschränkt man sich auf planmäßige Ausrundung der Rampenenden in Verbindung mit einem Übergangsbogen mit gerader Krümmungslinie, so wird die Lösung unnötig verwickelt: Man muß dann an den beiden Rampenenden je drei Punkte abstecken, vermarken, kennzeichnen und beim Verlegen des Gleises beachten, nämlich den Ausrundungsanfang (= Rampenanfang), den Übergangsbogenanfang (oder -Ende) und das Ausrundungsende. Diese Gestaltung kommt daher aus praktischen Gründen nicht in Frage. Wenn man sich schon dazu entschließt, die Rampen planmäßig auszurunden, so macht man besser gleich ganze Arbeit und geht zu der einfacheren und besseren Lösung mit S-förmig geschwungenen Rampen über²⁴⁾.

Wie wird nun künftig bei Linienverbesserungen zu verfahren sein? Die Versuche führen geradezu zwangsläufig zu folgender Regel: Soweit es ohne besondere Kosten möglich ist, kann man wie bisher gerade Rampen mit der Neigung:

$$1:m \leq \begin{cases} 1:10 V \\ 1:400 \end{cases}$$

anwenden. Dabei ist der Übergangsbogen ebenso lang wie die Rampe zu machen; für seine Länge gilt die Bedingung:

$$l \geq \begin{cases} 10 \cdot V \cdot h \\ 400 \cdot h \end{cases} \dots \dots \dots 7)$$

Läßt sich diese Länge, oder wenigstens die Länge $l = 8 \cdot V \cdot h$, wegen zu großer Seitenverschiebungen nicht erreichen oder nur mit erheblichen Kosten, so wendet man besser geschwungene Rampen in Verbindung mit gleichlangen Übergangsbogen mit geschwungener Krümmungslinie an, und zwar von der Länge:

$$l_s \geq \begin{cases} 8 \cdot V \cdot h \\ 800 \cdot h \end{cases} \dots \dots \dots 8)$$

Der größere Wert ist maßgebend; bei Geschwindigkeiten über 100 km/h ist es der obere ($8 \cdot V \cdot h$), bei Geschwindigkeiten unter 100 km/h der untere ($800 \cdot h$). Die Übergangsbogenlängen, die nach den Bedingungen Gl. 7) und 8) für gerade und geschwungene Rampen bei den verschiedenen Halbmessern und den zugehörigen Höchstgeschwindigkeiten erforderlich sind, sind in der folgenden Zusammenstellung 2 gegeben.

Zusammenstellung 2.

Erforderliche Übergangsbogenlängen bei geraden und geschwungenen Rampen und Unterschiede der Seitenverschiebungen.

1	2	3	4	5	6
Halbmesser H m	Höchstgeschwindigkeit V km/h	Überhöhung h cm	Rampenlänge $l = 10 \cdot V \cdot h$ m	Rampenlänge $l_s = 8 \cdot V \cdot h$ m	Unterschied der Seitenverschiebungen $\Delta f = f - f_s$ cm
2000	200	15	300	240	128
1800	190	15	285	228	128
1600	180	15	270	216	129
1500	175	15	262	210	130
1400	170	15	255	204	132
1300	160	15	240	192	134
1200	155	15	232	186	127
1100	150	15	225	180	131
1000	140	15	218	174	135
950	140	15	210	168	132
900	135	15	203	162	130
850	130	15	195	156	127
800	130	15	195	156	135
750	125	15	188	150	132
700	120	15	180	144	131
650	115	15	173	138	131
600	110	15	165	132	131
550	105	15	158	126	130
500	100	15	150	120	128
450	95	15	143	114	130
400	90	15	135	108	115
350	80	15	120	96	86
300	75	15	113	90	78
275	70	15	105	84	59
250	65	15	98	78	40
225	60	14,5	87	70	16

²⁴⁾ Vergl. Verkehrstechn. Woche 1937, H. 2, S. 18.

Der Vorteil der Rampen nach Spalte 5 der Zusammenstellung 2 liegt aber nicht nur in den geringeren Seitenverschiebungen, sondern auch vor allem darin, daß man in vielen Fällen bei Steigerung der Geschwindigkeit die Kreisbogen und die Geraden überhaupt nicht zu rücken braucht. Hierfür ein Beispiel: Es liege ein Kreisbogen mit dem Halbmesser $H = 500$ m vor, der bisher mit $V = 85$ km/h befahren worden sei. Er habe die Regelüberhöhung

$$h = \frac{0,008 \cdot V^2}{H} = \frac{0,008 \cdot 85^2}{500} = 0,115 \text{ m}$$

und die Übergangsbogenlänge $l = 90$ m, die nach den geltenden Vorschriften noch ausreicht. Die Geschwindigkeit soll auf $V = 100$ km/h gesteigert werden. Damit wird eine Überhöhung $h = 0,150$ m nötig und eine Übergangsbogenlänge von mindestens $l = 8 \cdot V \cdot h = 8 \cdot 100 \cdot 0,150 = 120$ m. Um diesen Übergangsbogen einzuschalten, müßte man bei Anwendung gerader Rampen den Bogen um 52,5 cm seitlich nach innen verschieben. Wollte man aber gar die Regelübergangsbogenlänge $l = 10 \cdot V \cdot h = 10 \cdot 100 \cdot 0,150 = 150$ m herstellen, so ergäbe sich sogar eine Seitenverschiebung von 120 cm. Diese Verschiebung kann man sich durch Anwendung geschwungener Rampen ersparen. Denn ohne Änderung am Kreisbogen oder an der Geraden lassen sich statt der vorhandenen Übergangsbogen $l = 90$ m Übergangsbogen mit geschwungener Krümmungslinie von der Länge $l_s = 90 \cdot \sqrt{2} = 126$ m einschalten. Diese reichen aber nach der Zusammenstellung 2 vollständig aus. Nur auf die Länge der Übergangsbogen braucht das Gleis um wenige cm gerückt und die Absteckung berichtigt zu werden. Im übrigen sind nur die Rampen und die Überhöhung durch Stopfen herzurichten.

Nach den Versuchen gibt es keinen Zweifel mehr darüber, daß die Übergangsbogenlängen nach den Gl. 8) (Zusammenstellung 2) genügen. Allenfalls wäre noch zu klären, ob statt der ersten dieser Gleichungen nicht die oben in Abschnitt 2 erwähnte Bedingung von Petersen

$$l \geq V$$

ausreichte. Bei Überhöhungen über 125 mm ergäben sich damit noch etwas kürzere Übergangsbogen, als in der Zusammenstellung 2 angegeben. An den Seitenverschiebungen würde dabei allerdings nicht mehr viel eingespart.

Es ist unbedenklich, bei den geschwungenen Rampen als größte Neigung $1:m_M = 1:400$ anzuwenden. Zu den flachen Rampenneigungen ist man nämlich nicht etwa wegen der Bauart der Fahrzeuge übergegangen, sondern nur deswegen, weil bei großen Geschwindigkeiten die Fahrzeuge in steile gerade Rampen nicht stoßfrei ein- und ausfahren und das führende Rad bei der Einfahrt in die Rampe vom Kreisbogen her zu stark entlastet werden kann, was lediglich Folgen der mangelnden Ausrundungen bei RA und RE sind. Der Grund für die flachen geraden Rampen ist also ein rein dynamischer, kein statisch-geometrischer, mit der Bauart der Fahrzeuge zusammenhängender. Bei den geschwungenen Rampen dagegen ist der Ein- und Auslauf in die Rampen völlig stoßfrei, und eine dynamische Entlastung des führenden Rades tritt praktisch überhaupt nicht ein, gleichgültig, wie groß die Neigung $1:m_M$ in Rampenmitte ist. Mit der strengen Forderung der Oberbauvorschriften $1:m \leq 1:400$ bleibt man aber weit von dem weg, was die Fahrzeuge noch an Rampenneigung vertragen können (vergl. Abschnitt 2). Ferner muß man bedenken, daß die größte zugrunde gelegte Neigung $1:m_M$ planmäßig nur an einem Punkt, nämlich in Rampenmitte, auftritt, während beiderseits die Neigung flacher wird. Im übrigen haben genaue Messungen gelehrt, daß bei sorgfältigem Verlegen die Rampenneigung $1:m_M$ in Rampenmitte sich nur recht wenig verändert. Zum Beispiel war an einer

geschwungenen Rampe, die mit der planmäßigen Neigung $1:m_M = 1:845$ sorgfältig verlegt worden war und seitdem täglich mit Geschwindigkeiten bis zu 160 km/h befahren wird, nach $\frac{3}{4}$ Jahren als größte Neigung $1:830$ festzustellen, das ist eine Abweichung von nur 1,7%. Demnach wären Bedenken, daß mit Rücksicht auf die Fahrzeuge planmäßige Rampen $1:m_M = 1:400$ unzulässig oder gar gefährlich seien, unbegründet.

Wenn man lediglich den genügend betriebssicheren Fahrzeuglauf im Auge hat, und nicht gleichzeitig den möglichst ruhigen, dann könnte man auch gerade Rampen mit viel größeren Neigungen als $1:10$ V anwenden, wie man das früher ja auch getan hat. Darüber gibt es keinen Zweifel, und erst kürzlich ist dies durch besondere Lokomotivversuche erneut bewiesen worden. Es handelt sich aber hier bei der Übergangsbogengestaltung überhaupt nicht um die Betriebssicherheit — sie ist eine selbstverständliche Voraussetzung aller in Frage kommender Bogengestaltungen —, sondern lediglich um die Frage: Wie schafft man mit möglichst geringem Aufwand die oberbautechnischen Voraussetzungen für einen möglichst ruhigen, sanften Fahrzeuglauf bei großen

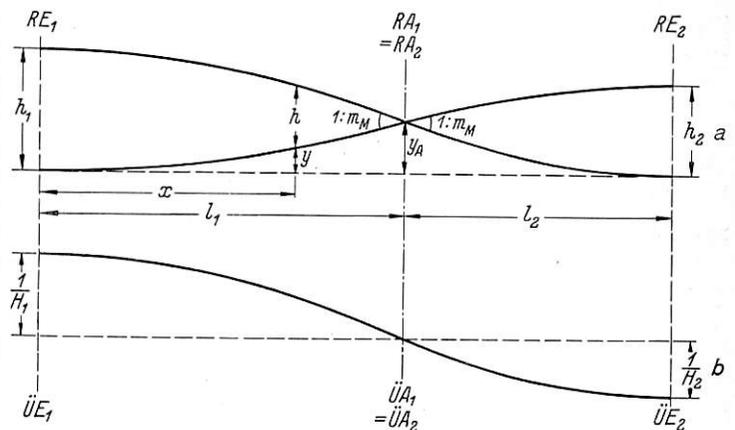


Abb. 9a und b. Übergangsbogen mit geschwungener Rampe und Krümmungslinie bei Gegenbogen ohne Zwischengerade. a) Rampenbild, b) Krümmungslinie.

Geschwindigkeiten? Die theoretischen Untersuchungen und mehrjährigen praktischen Erfahrungen haben hierauf die Antwort gegeben: Dieses Ziel wird am besten durch die Anwendung von Übergangsbogen mit S-förmig geschwungener Überhöhungsrampe erreicht.

Bei Gegenbogen ohne Zwischengerade ist ein Rampen- und Krümmungsverlauf nach Abb. 9a, b anzuwenden²⁵⁾. Die Rampen und Übergangsbogen haben hier nicht S-förmig geschwungene, sondern einfach parabolische Gestalt. Die Seitenverschiebung f bei solchen Übergangsbogen ist:

$$f = \frac{l^2}{36 \cdot H} \dots \dots \dots 9)$$

Für die Bemessung der Rampenlängen (= Übergangsbogenlängen) gelten ebenfalls die Gl. 8).

Die geschwungene Rampe und Krümmungslinie nach Abb. 2, die sich aus zwei quadratischen Parabeln zusammensetzt, hat den Vorzug, daß ihre Ordinaten sich rechnerisch oder zeichnerisch sehr leicht ermitteln lassen; sie ist aber keineswegs die einzig mögliche. Übergangsbogen mit andersartigen geschwungenen Rampen haben früher z. B. Watorek, Franke und Hallade entwickelt (s. Anmerkungen 6, 12 und 15); und neuerdings haben Bloss und Thellier de

²⁵⁾ Vergl. „Die Gestaltung der Gleisbogen bei hohen Geschwindigkeiten“, Verkehrstechn. Woche 1936, H. 36, S. 487.

la Neuville unabhängig voneinander eine weitere Lösung gefunden²⁶⁾. Die Krümmungslinie hat die Gleichung:

$$\frac{1}{\rho} = \frac{3 \cdot x^2}{l^2 \cdot H} - \frac{2 \cdot x^3}{l^3 \cdot H}$$

Ihr entspricht die Gleichung für die Überhöhungsrampe:

$$h_x = \frac{3 \cdot x^2}{l^2} \cdot h - \frac{2 \cdot x^3}{l^3} \cdot h$$

Die Gleichung für den Übergangsbogen, bezogen auf die Übergangsbogenanfangstangente als Abszisse mit ÜA als Nullpunkt, lautet:

$$y = \frac{x^4}{4 \cdot l^2 \cdot H} - \frac{x^5}{10 \cdot l^3 \cdot H}$$

Nach dieser Gleichung kann der Übergangsbogen auf seine ganze Länge von der Anfangstangente aus abgesteckt werden; und sie ist wahrscheinlich die einfachste derartige algebraische Lösung, die möglich ist. Die größte Rampenmeinigung in Rampenmitte ist bei diesem Übergangsbogen:

$$1 : m_M = 1,5 \cdot \frac{h}{l}$$

Er hält in dieser Hinsicht also genau die Mitte zwischen der geraden Rampe und der bisher angewendeten geschwungenen Rampe nach Abb. 2. Die erforderliche Seitenverschiebung des Kreisbogens ist:

$$f = \frac{l^2}{40 \cdot H}$$

gegenüber $\frac{l_s^2}{48 \cdot H}$ beim Übergangsbogen mit Krümmungslinie nach Abb. 2.

Diesen Übergangsbogen nach Bloss kann man beim Abstecken neuer Bahnlinien wohl anwenden. Beim Neuabstecken der Gleise bestehender Bahnlinien dagegen, wo man fast ausnahmslos nach dem Winkelbildverfahren arbeitet, wird man jedoch den Übergangsbogen mit Rampen- und Krümmungsverlauf nach Abb. 2 vorziehen.

Auch für die Straßenbahnen ist die Übergangsbogenfrage von Bedeutung. Die Verhältnisse liegen aber hier insofern etwas anders, als die Bogen meist keine Überhöhung, dagegen oft sehr kleine Halbmesser haben. Ferner müssen die Schienen in der Regel wegen der starken Krümmung vor dem Verlegen gebogen werden. Für die Straßenbogen konnte die kubische Parabel als Übergangsbogen in der Nördlingischen Art von vornherein nur sehr beschränkt verwendet werden, weil sie bei einem Zentriwinkel des Übergangsbogens von etwa 7° aufwärts schon zu ungenau wird. Bei einem Halbmesser von 30 m wird diese Grenze z. B. schon bei einer Übergangsbogenlänge $l \approx 7$ m erreicht. Man verzichtete daher bei den Straßenbahnbogen vielfach überhaupt auf Übergangsbogen, oder man verwendete statt des Übergangsbogens einen kreisförmigen Vorbogen. In beiden Fällen ergibt sich aber eine unbefriedigende Gleisführung.

Das Winkelbildverfahren hat auch hier die Schwierigkeiten beseitigt. Petersen²⁷⁾ zeigte, wie sich alle Aufgaben, die bei der Bogenführung der Straßenbahnen wichtig sind, mit diesem Verfahren leicht lösen lassen. Da die Straßenbahnschienen in den Werken aber am einfachsten kreisförmig gebogen werden, ist es im allgemeinen zweckmäßig, für das Biegen die Übergangsbogen in eine Anzahl Kreisbogen aufzulösen. Diese Aufgabe hat Übing²⁸⁾ — ebenfalls auf der Grundlage des

Winkelbildverfahrens — gelöst, sowohl für Übergangsbogen mit gerader als auch mit geschwungener Krümmungslinie. Der Anwendung beliebig langer und beliebig geformter Übergangsbogen bei den Straßenbahnbogen steht daher jetzt nichts mehr im Wege.

Im Straßenbau hat die Übergangsbogenfrage nicht die ausschlaggebende Bedeutung wie im Eisenbahnbau, und zwar wegen der guten Bogenläufigkeit der Kraftfahrzeuge. Trotzdem sind auch bei den Kraftwagenstraßen lange Übergangsbogen immer vorteilhaft²⁹⁾, und man sollte sie daher stets anwenden, zumal dies ohne Mehrkosten beim Bau der Straßen möglich ist³⁰⁾.

5. Ausblick.

Stehen wir vorläufig am Ende in der Entwicklung der Übergangsbogenfrage, oder könnte z. B. eine weitere Steigerung der Geschwindigkeiten neue Gesichtspunkte bringen? Wahrscheinlich nicht! Fortschritte in der Übergangsbogengestaltung wären nur noch auf folgende vier Arten möglich:

1. Man könnte die besonders von Cherbuliez (s. Anm. 9) behandelte Forderung wieder aufgreifen, daß nicht die Räder, sondern der Fahrzeugschwerpunkt auf einer bestimmten Bahn geführt werden sollte. Einfache Überlegungen lehren aber, daß sich dadurch gegenüber der geschwungenen Rampe in der jetzigen Form nur rein theoretisch noch Verbesserungen ergäben. Praktisch wäre diese Maßnahme völlig bedeutungslos. Denn bei den jetzt angewendeten Übergangsbogen mit geschwungener Rampe und Krümmungslinie wird der Fahrzeugschwerpunkt bereits vollkommen stetig geführt, sowohl im Grundriß wie im Aufriß, so daß es hier nichts mehr zu verbessern gibt.

2. Man könnte die Parabelform der geschwungenen Rampe und Krümmungslinie (Abb. 2) abändern oder sie durch eine Sinuslinie oder dergl. ersetzen. Auch hier zeigt eine flüchtige Betrachtung, daß dies lediglich auf eine mathematische Spielerei ohne praktischen Wert hinausläufe.

3. Man könnte die Überhöhung dadurch herstellen, daß man nicht nur den äußeren Schienenstrang hebt, sondern gleichzeitig den inneren Strang absenkt. Dies wird bei manchen Verwaltungen bereits gemacht, auch bei der Reichsbahn, wenn es sich um Übergangsbogen zwischen Gegenbogen handelt. Besondere praktische Bedeutung käme aber auch dieser Maßnahme nicht zu; denn bei der geschwungenen Rampe wird das Fahrzeug unmerklich sanft gehoben. Das Absenken der inneren Schiene brächte aber gegenüber dem jetzigen Verfahren gewisse Unbequemlichkeiten beim Abstecken und Verlegen mit sich, so daß seine allgemeine Einführung sich nicht empfehlen wird.

4. Es könnten neue Verfahren zum Abstecken der Übergangsbogen gefunden werden. Es ist unwahrscheinlich, daß ein grundsätzlich neues oder wenigstens ein einfacheres Absteckverfahren entdeckt wird; und die Frage der Übergangsbogengestaltung könnte auch dadurch nicht mehr berührt werden.

Demnach scheint es, als ob die Übergangsbogenfrage, soweit es sich um Schienenbahnen handelt, jetzt, nach hundert Jahren Eisenbahngeschichte, zu einem gewissen Abschluß gekommen ist.

²⁶⁾ Bloss: „Übergangsbogen mit geschwungener Überhöhungsrampe“, Org. Fortsch. Eisenbahnwes. 1936, H. 15, S. 319;

Th. de la Neuville: „Les Raccordements des Courbes circulaires“, Génie civ., Mai und Juni 1936, S. 532.

²⁷⁾ „Der Übergangsbogen im Straßenbahngleis“, Verkehrstechn. 1933, Heft 15—16.

²⁸⁾ Vergl. F. Müller: „Einschätzung der Übergangskurven und der nicht kreisförmigen Bogen in Straßenkrümmungen für große Geschwindigkeiten“, Verkehrstechn. 1935, H. 16—17.

³⁰⁾ Vergl. „Entwerfen und Abstecken von Straßenbogen mit langen Übergangsbogen“, Verkehrstechn. 1936, H. 6 und 8, S. 163.

Die Messung der Gleisrichtung.

Von Reichsbahnrat M. Herrmann, Berlin-Wilmersdorf.

Unter der Messung der Gleisrichtung soll die Feststellung der Lage von Gleisbogen, Übergangsbogen und Gleisgeraden verstanden werden. Zwei Meßverfahren stehen für diese zur Beurteilung der allgemeinen Gleislage recht wesentliche Messung zur Verfügung: Das Sehnenmeßverfahren und das Winkelmeßverfahren.

Das Sehnenmeßverfahren ist für örtliche punktweise Aufnahmen das übliche. Es beruht bekanntlich auf dem Grundsatz, daß man an die Innenseite eines Schienenstranges 14 mm unter Schienenoberkante eine Sehne von bekannter Länge legt und die Pfeilhöhe mißt. Den Halbmesser H der an dieser Stelle vorhandenen Gleiskrümmung bestimmt man genügend genau aus der Gleichung $H = \frac{s^2}{8p}$, wobei s die Länge der Sehne und p die gemessene Pfeilhöhe darstellt.

Man hat versucht, dieses Meßverfahren als laufende Messung ähnlich wie bei dem Dorpmüllerschen Gleismesserapparat für die Spur- und Überhöhungsmessung durchzubilden. In der Zeitschrift „Der Bahnbau“ 1932*) sind zwei derartige Geräte beschrieben. Die Pfeilhöhen werden während der Fahrt von einem kleinen Wagen aus mit einem geeigneten Meßgerät laufend auf einem Meßstreifen als Schaulinie aufgezeichnet. Das eine Gerät ist im Zusammenhang mit einem Dorpmüllerschen Gleismesser, das andere als selbständig fahrbarer Kleinwagen ausgebildet. Diese Geräte sind trotz der vorliegenden guten Ergebnisse leider nicht weiter verwendet oder durchgebildet worden. Die zulässige Fahrgeschwindigkeit während der Messung beträgt bis 20 km/h.

In der „Reichsbahn“ 1931**) sind zwei Meßeinrichtungen angegeben, die ebenfalls von dem Grundsatz der Pfeilhöhenmessung ausgehen. Das eine Meßgerät ist als Ergänzung des Dorpmüllerschen Gleismessers gedacht. Dieses Gerät ist insofern bemerkenswert, als es die übliche lange Meßsehne vermeidet und parallel zu dieser eine kürzere Hilfssehne einführt. Dadurch umgeht man die schwierige bauliche Durchbildung langer Meßsehnen. Weiter wird in dem erwähnten Aufsatz ein Pfeilhöhenmeßverfahren für einen schnellfahrenden Oberbaumeßwagen angegeben, das unter Verwendung von drei Teleskopachsen ebenfalls von dem Gebrauch einer Hilfssehne ausgeht.

Das Winkelmeßverfahren beruht auf dem Grundsatz, daß an einem Gleisbogen entlang eine Tangente geführt wird und die Winkel, die diese Tangente mit einer Ausgangsrichtung bildet, laufend gemessen und als Schaubild aufgetragen werden.

Die Schweizerischen Bundesbahnen verwenden bei ihrem vierachsigen Meßwagen als Ausgangsrichtung die Verbindungslinie der beiden Wagendrehzapfen [(„Rly. Gaz.“ 1936***)]. An der Innenkante eines Schienenstranges werden zwei Schleifbügel angepreßt, die auf den Achsbuchsen eines Drehgestells ungefedert gelagert sind. Die Verbindungslinie der Berührungspunkte der beiden Schleifbügel mit den Schienen ist entweder parallel zur Ausgangsrichtung oder sie bildet einen Winkel α mit ihr, der gemessen und während der Meßfahrt laufend als Schaulinie aufgetragen werden kann. Bei dieser rein mechanischen Meßordnung ist zu beachten, daß die Ausgangsrichtung veränderlich ist und durch die Gleisrichtungsfehler beeinflusst wird. Schleifbügel können infolge von Prellschlägen usw. leicht Eigenbewegungen ausführen, die das Meßbild beeinflussen. Dieser Nachteil macht sich um so mehr bemerkbar,

*) Fruhmann: Zwei neue Gleiskrümmungsmesser.

**) Beck: Mechanische Pfeilhöhenmessung mit dem Dorpmüllerschen Gleismesser und dem Oberbaumeßwagen.

***) Dynamometer car with track inspection equipment by the Swiss Federal Railway.

je schneller der Wagen fährt, und je kürzer der Abstand der beiden Schleifbügel voneinander gewählt worden ist.

Bei den sechsachsigen Meßwagen der Deutschen Reichsbahn ist die Ausgangsrichtung für die Gleismessung unveränderlich fest. Die Winkel, die die Wagenachse während der Fahrt mit der Ausgangsrichtung bildet, werden gemessen und laufend als Schaulinie auf einem Meßstreifen aufgetragen. Weder bei den Schweizerischen Bundesbahnen noch bei der Deutschen Reichsbahn wird also eine Tangente an das Gleis gelegt, sondern man verwendet aus praktischen Gründen Sehnen von bestimmter Länge.

Abb. 1 zeigt ein Meßbild nach dem Verfahren der Deutschen Reichsbahn. Die dünnen waagerechten Linien bedeuten die Gradeinteilung entsprechend dem Winkel von einer festliegenden Richtung aus. Die dick ausgezogene Linie ist das Meßbild. Gleisbogen stellen sich also durch geneigte Linien dar, die Gleisgeraden als waagerechte Linien. Ist der Gleisbogen einwandfrei verlegt, so wird die geneigte Linie als sein Meßbild eine gerade Linie sein. Weist der Gleisbogen Fehler auf, so wird die geneigte Linie entsprechende Abweichungen von einer Geraden zeigen. Jedem Winkel der geneigten Linie

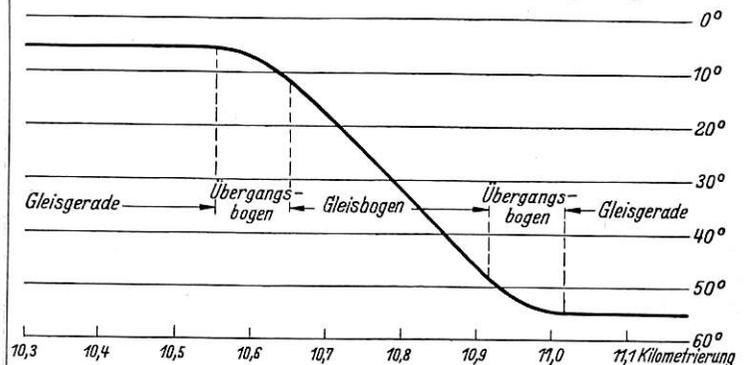


Abb. 1. Meßbild der Gleisrichtung nach dem Verfahren der Deutschen Reichsbahn.

mit der Waagerechten entspricht ein bestimmter Bogenhalbmesser. Man kann also durch den Gebrauch einer „Meßrose“ sofort den Bogenhalbmesser aus der Meßaufzeichnung ablesen.

Zur Herstellung der Ausgangsrichtung, von der aus gemessen werden soll, und die während der Meßdauer gehalten werden muß, werden Kreislergeräte benutzt. Schon im Jahre 1912 wurde bei den damaligen preußisch-hessischen Staatsbahnen zu Oberbaumeßzwecke ein Kreislergerät eingeführt, das aber wegen seiner technischen Unvollkommenheiten wenig gebraucht wurde. Es ist beschrieben in der „Verkehrstechn. Woche“ 1919*).

Es war ein erheblicher Fortschritt, als im Jahre 1926 mit dem Bau des sechsachsigen Oberbaumeßwagens 1 der Deutschen Reichsbahn der Anschützsche Kreislerkompaß für die Gleisrichtungsmessung eingeführt wurde. Mit diesem Meßgerät gelang es, Gleisrichtungsmessungen in größerem Umfange von einem schnellfahrenden Fahrzeug aus durchzuführen. Eine eingehende Beschreibung befindet sich in der „Reichsbahn“ 1930**). Als Meßgrundlage (Ausgangsrichtung) wird die geographische Nord-Südrichtung verwendet. Der Kreislerkompaß hat den Nachteil, daß er im Aufbau sehr verwickelt ist und einer sehr sorgfältigen Wartung bedarf, wenn er gute Meßergebnisse liefern soll.

*) Höfinghoff: Der Meßwagen des Eisenbahnzentralamts bei Benutzung zur Überwachung der Gleislage.

**) Dr. Zinßer und Herrmann: Der Oberbaumeßwagen der Deutschen Reichsbahn-Gesellschaft.

Ein neues Kreiselgerät, das von der Firma Anschütz u. Co., G. m. b. H., in Kiel-Neumühlen durchgebildet wurde, nimmt nicht mehr die Nord-Südrichtung, sondern irgendeine Richtung, die während der Meßdauer gehalten wird, als Meßgrundlage an. Dadurch vereinfacht sich das Gerät weitgehend. Elektrische Übertragungseinrichtungen, die zur Ursache von Fehlmessungen werden können, sind vollständig vermieden und durch mechanische ersetzt. Dieser Meßapparat und sein Schreibgerät sollen wegen der Neuartigkeit in ihrem Aufbau im folgenden näher beschrieben werden.

Abb. 2 stellt das neue Meßgerät in der Ansicht dar, Abb. 3 ist das Schreibgerät.

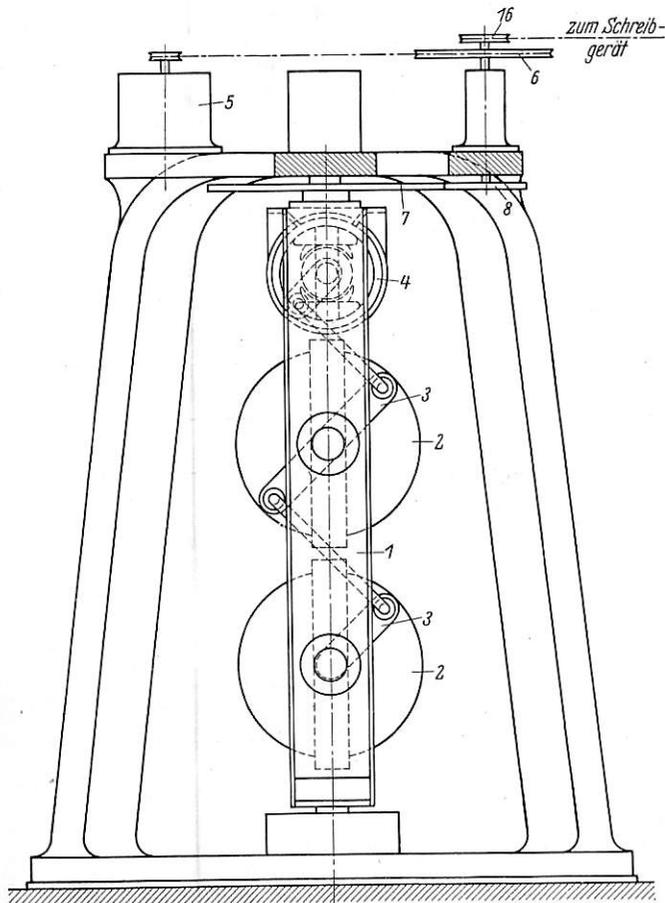


Abb. 2. Ansicht des neuen Kreiselgeräts.

In einem drehbaren O-förmigen Rahmen (1) (Abb. 2) sind zwei Kreisel mit waagerechten Achsen gelagert. Die rund 3600 g schweren Kreisel sind in Hüllkugeln (2), die mit Wasserstoff gefüllt sind, luftdicht eingeschlossen. Die Umdrehungszahl der Kreisel beträgt 20000 in der Minute. Der eine Kreisel dreht sich links, der andere rechts herum. Beide Kreisel sind durch Hebel (3) mit einem Drehtransformator (4) so verbunden, daß der Anker des Transformators aus seiner Grundstellung herausgedreht wird, wenn man die Hüllkugeln mit den Kreiseln um ihre waagerechte Achse kippt. Ein Wendemotor (5) wird durch den Drehtransformator (4) in derselben Weise gesteuert, wie es bereits im „Org. Fortsch. Eisenbahnwes.“ 1936*) beschrieben worden ist. Wenn z. B. bei der Fahrt des Meßwagens durch die Lagerreibung des Rahmens (1) und durch die Betätigung des Schreibgeräts Kräftepaare auf die Kreisel rückwirken, die versuchen, die Kreisel gemäß der „Präzession“ um ihre waagerechte Achse zu kippen, so wird dadurch der Drehtransformator (4) verdreht, der den Wendemotor (5) betätigt.

*) Herrmann: Die Messung der gegenseitigen Höhenlage der Fahrsschienen in den Oberbaumeßwagen der Deutschen Reichsbahn.

Der Wendemotor übt über ein Vorgelege (6) und die Zahnräder (7) und (8) Drehmomente auf die Kreisel aus, die den angreifenden Kräftepaaren entgegengesetzt gerichtet sind und ihren Einfluß aufheben. Die Kreiselachsen werden also in ihrer waagerechten Lage gehalten. Diese Einrichtung ist notwendig, da die Kreisel gegen angreifende Kräfte sehr empfindlich sind. Wenn nicht die oben beschriebene Einrichtung getroffen wird, kippen die Kreiselachsen leicht infolge der angreifenden Kräfte aus ihrer waagerechten Lage, und die Kreisel beginnen Eigenschwingungen auszuführen. Die Meßergebnisse werden dadurch unbrauchbar.

Die während der Fahrt auftretenden Fliehkräfte und die Lagenänderungen des Kreiselgeräts infolge der Überhöhungen in den Gleisbogen sind ohne Belang, da der eine Kreisel sich rechts herum, der andere links herum dreht. Die Kreisel versuchen in diesem Falle in entgegengesetzter Richtung um eine senkrechte Achse zu kippen. Dies ist nicht möglich, da sie durch ihre Lagerung in demselben Rahmen (1) daran gehindert werden.

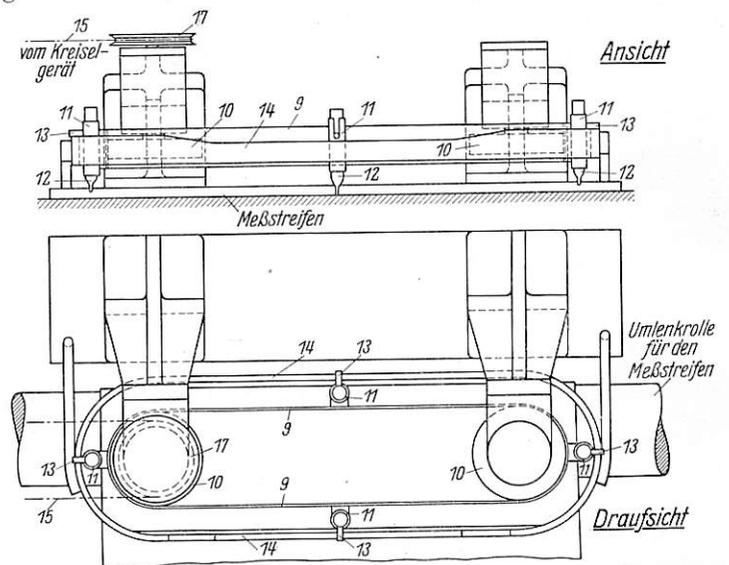


Abb. 3. Das neue Schreibgerät für die Richtungsmessung.

Das Schreibgerät (Abb. 3) besteht aus einem Stahlband ohne Ende (9), das um zwei Rollen (10) geleitet wird. An dem Stahlband sind vier Schreiberhülsen (11) in gleichen Abständen befestigt. Die zum Schreiben benötigten Glasfedern (12) können in den Schreiberhülsen auf- und abgleiten. Die Glasfedern haben waagerechte Ansätze (13), die durch die Schiene (14) in der Höhenlage so geführt werden, daß stets nur eine Glasfeder in der zur Verfügung stehenden Meßstreifenbreite schreibt. Erreicht eine Schreibfeder den einen Rand des Schreibbereichs, so beginnt die zweite Schreibfeder am anderen Rande zu schreiben. Diese Einrichtung ist notwendig, da andernfalls bei Verwendung nur einer Schreibfeder wegen langer Gleisbogen ein ungewöhnlich breiter Meßstreifen vorgehalten werden müßte, was technisch kaum ausführbar und auch nicht wirtschaftlich wäre.

Schreib- und Kreiselgerät sind durch den geflochtenen Nirostafaden (15), der über die Rollen (16) und (17) (Abb. 2 und 3) läuft, verbunden, so daß die Drehbewegungen des Schreibgeräts durch die Kreisel über die Zahnräder (7) und (8) gesteuert werden.

Zur Erzeugung des zum Antrieb der Kreisel benötigten 120 Volt Drehstroms von 333 Perioden wird ein Motorumformer mit selbsttätiger Drehzahlregelung verwendet. Der Motorumformer wird durch 65 Volt Gleichstrom gespeist, der einer Batterie entnommen oder in einer Achsdynamo erzeugt wird. Die grundsätzliche Anordnung ist ähnlich wie bei der elektrischen Zugbeleuchtung. Fahrt der Meßwagen mit einer

Fahrgeschwindigkeit von weniger als 25 km/h, so wird der Umformer von der Batterie aus mit 65 Volt Gleichstrom versorgt. Führt der Wagen schneller als 25 km/h, so erhält der

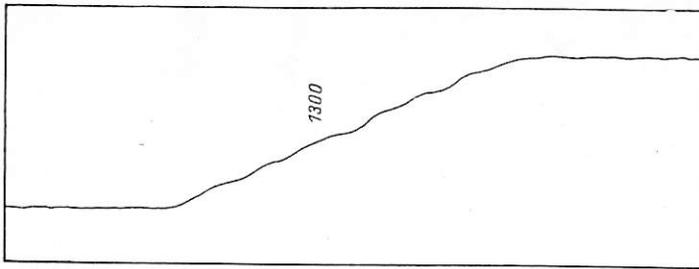


Abb. 4. Schlecht liegender Gleisbogen. Maßstab: $\frac{3}{4}$ der nat. Größe.

Umformer den Gleichstrom über einen Spannungsregler unmittelbar von der Achsdynamo. Zugleich wird die Batterie von der Dynamo aufgeladen. Die Umschaltung von Batterie auf Achsdynamo und umgekehrt erfolgt selbsttätig.

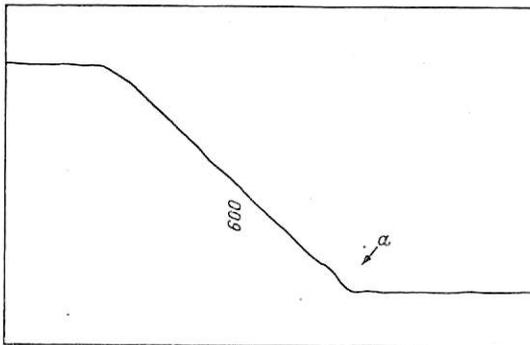


Abb. 5. Ohne Übergangsbogen verlegter Gleisbogen. Maßstab: $\frac{3}{4}$ der nat. Größe. (Bei „a“ ist der Gleisbogen verfahren.)

Der Kreiselapparat und das Schreibgerät werden im Wagen aufgestellt. Man legt also meßtechnisch keine Tangente an den Gleisbogen, sondern man verfolgt die Winkeländerungen, die eine an die Schienen gelegte Sehne während der Fahrt

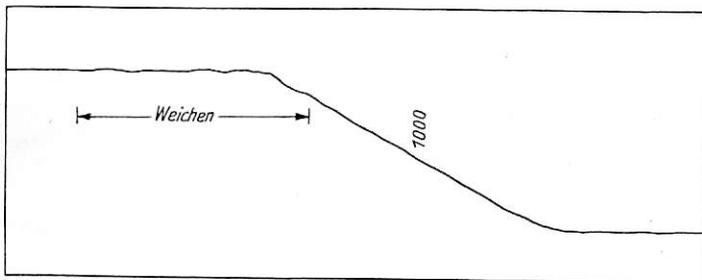


Abb. 6. Schlecht liegende Weichen. Maßstab: $\frac{3}{4}$ der nat. Größe.

ausführt. Die Länge der Sehne ist ungefähr gleich dem Drehzapfenabstand des Meßwagens. Diese Abweichung von der theoretisch genauen Messung durch eine Tangente ist jedoch für den praktischen Gebrauch kein Fehler. Man wird lediglich dort, wo keine Übergangsbogen vorhanden sind, in der Schaulinie kleine Ausrundungen statt scharfe Ecken vorfinden (Abb. 5). Die Länge dieser Ausrundungen ist ungefähr gleich dem Drehzapfenabstand des Wagens. Bei dem geringen Vorschub des Meßstreifens je Kilometer tritt dieser Fehler praktisch kaum in Erscheinung; er kann auch bei einer genauen Auswertung berücksichtigt werden.

Weiterhin mißt man genau genommen die Winkeländerungen zwischen Wagenachse und der vom Kreiselgerät gehaltenen festen Richtung. Sollen diese Winkeländerungen

mit den Änderungen der Gleisrichtung übereinstimmen, so müssen wagenbaulich gewisse Voraussetzungen gegeben sein. Man wird als Meßwagen möglichst einen Drehgestellwagen mit großem Radstand wählen, das Wiegenspiel in den Drehgestellen wird man unbedenklich beseitigen können. Durch die Verwendung von Rollenlagern für die Achsen wird das seitliche Spiel in den Achsbuchsen beseitigt. Es bleibt lediglich das Spiel zwischen den Rädern und dem Schienenstrang, dessen Einwirkung auf die Messung man durch weitere geeignete Maßnahmen in ausreichendem Grade einschränken kann. Man muß dafür sorgen, daß der Wagen ein Gutläufer ist und daß der Gewichtsausgleich des Wagenkastens und der Drehgestelle der denkbar beste ist. Die besonders gehärteten Radreifen werden 1:40 oder zylindrisch abgedreht. Während der Fahrt muß der Meßwagen mit seinem Beiwagen fest gekuppelt werden.

Diese Maßnahmen, die in den Oberbaumeßwagen der Deutschen Reichsbahn durchgeführt sind, haben den Erfolg gehabt, daß die Meßergebnisse des neuen Geräts für den praktischen Gebrauch einwandfrei sind. Durch zahlreiche örtliche Nachmessungen von Gleisbogen und durch Vergleich mit den aufgenommenen Schaulinien ist die gute Übereinstimmung festgestellt worden.

Im nachfolgenden werden einige Schaulinien gezeigt, wie sie auf Meßfahrten gewonnen wurden.

Abb. 4 gibt die Schaulinie eines verbesserungsbedürftigen Gleisbogens mit einem Halbmesser von $H = 1300$ m wieder. Abb. 5 zeigt einen ohne Übergangsbogen verlegten Gleisbogen einer eingleisigen Strecke ($H = 600$ m). Bei „a“ ist der Gleisbogen stark verfahren.

In der Richtung schlecht liegende Weichen sind aus Abb. 6 zu erkennen. Es handelt sich hier um eine in den Hauptgleisen liegende Weichenstraße, deren Unterhaltungszustand mangelhaft ist.

In Abb. 7 sind zwei Gleisbogen von je 4200 m Halbmesser ohne Übergangsbogen aneinandergestoßen. Da es sich um einen Streckenabschnitt für hohe Fahrgeschwindigkeiten handelt, würde es trotz der großen Halbmesser zweckmäßig sein, Übergangsbogen einzuschalten entsprechend wie bei den Gegenbogen mit den Halbmessern 5000 m und 4200 m derselben Abbildung.

Abb. 8 stellt einen sehr gut verlegten Streckenabschnitt der Sonderklasse im Flachland dar. Die Zwischengerade zwischen den Gleisbogen ist weggefallen. Die Übergangsbogen haben Längen von 160 m und 190 m.

Abb. 9 zeigt einen Abschnitt einer wichtigen Hauptstrecke im Mittelgebirge. Auch hier sind die Zwischengeraden zwischen den Gegenbogen weggefallen. Die Gleisrichtung kann man als gut bezeichnen.

Abb. 10a zeigt das Ergebnis der örtlichen Aufmessung eines Gleisbogens nach dem Sehnenmeßverfahren. In Abb. 10b ist die örtliche Aufmessung desselben Gleisbogens nach dem Winkelmeßverfahren im gleichen Längenmaßstab wie Abb. 10a dargestellt. Abb. 10c bis g geben die mit den Meßgeräten auf-

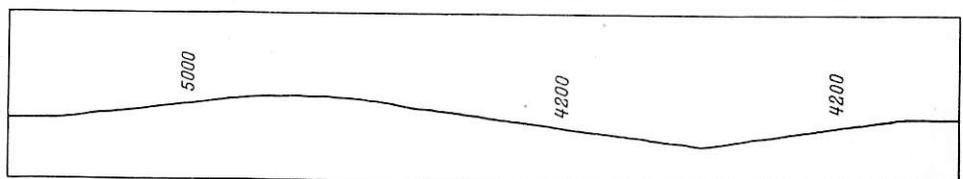


Abb. 7. Zwei aneinander stoßende Gleisbogen. $H = 4200$ m ohne Übergangsbogen. Maßstab: $\frac{3}{4}$ der nat. Größe.

genommenen Schaulinien wieder, und zwar bei Fahrt mit verschiedenen Geschwindigkeiten, verschiedenen Fahrtrichtungen bei geschobenem und gezogenem Meßwagen.

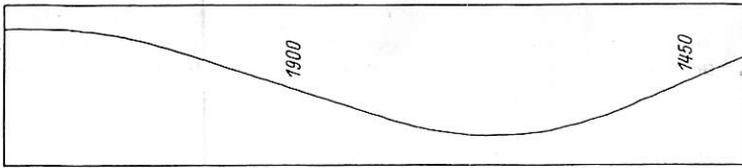


Abb. 8. Zwei gut verlegte Gegenbogen mit Wegfall der Zwischengeraden. Maßstab: $\frac{1}{2}$ der nat. Größe.

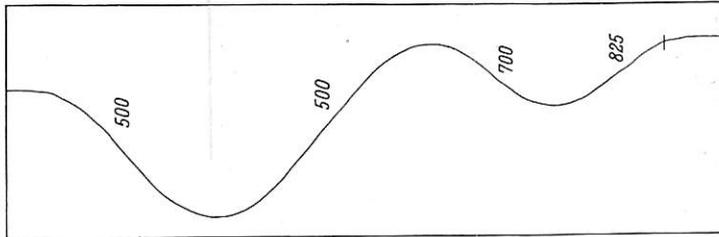


Abb. 9. Abschnitt einer Mittelgebirgsstrecke. Die Zwischengeraden bei Gegenbogen sind fortgefallen. Maßstab: $\frac{1}{2}$ der nat. Größe.

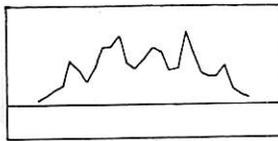


Abb. 10 a. Pfeilhöhen des Gleisbogens nach örtlicher Aufnahme.

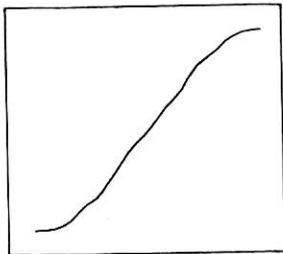


Abb. 10 b. Aufgetragene Schaulinien nach örtlicher Aufnahme.

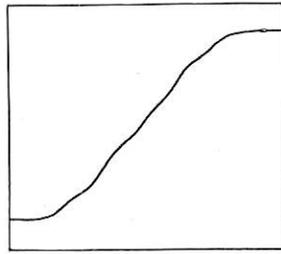


Abb. 10 c. Fahrtrichtung ← Wagen gezogen. $V = 20$ km/h.

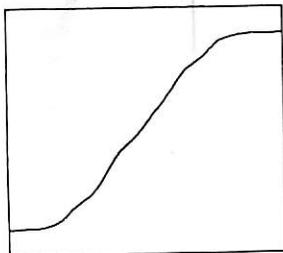


Abb. 10 d. Wagen geschoben. $V = 30$ km/h.

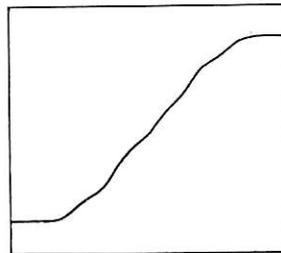


Abb. 10 e. Wagen gezogen. $V = 50$ km/h.

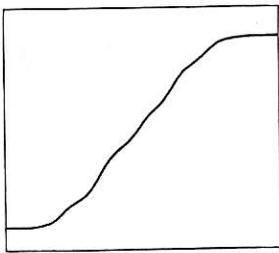


Abb. 10 f. Wagen geschoben. $V = 60$ km/h.

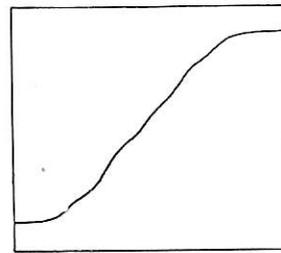


Abb. 10 g. Wagen gezogen. $V = 90$ km/h.

Abb. 10.

Örtliche Aufmessung und mit dem Meßwagen aufgenommene Schaulinien desselben Gleisbogens. Maßstab: $\frac{3}{4}$ der nat. Größe.

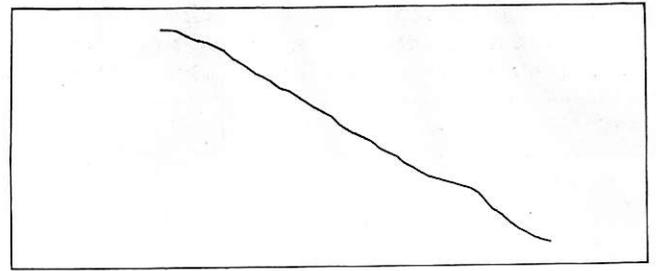


Abb. 11 a. Aufgetragene Schaulinie nach örtlicher Aufnahme.

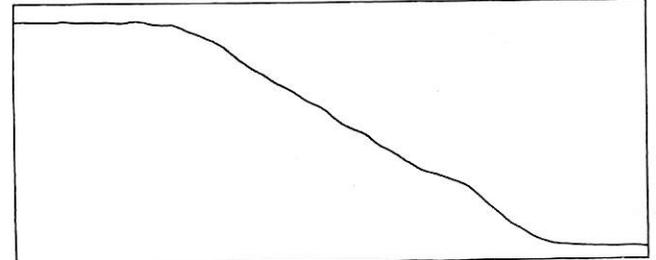


Abb. 11 b. Wagen gezogen. $V = 30$ km/h. Fahrtrichtung →

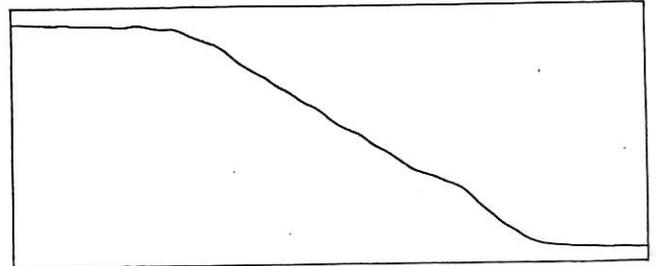


Abb. 11 c. Wagen geschoben. $V = 40$ km/h. Fahrtrichtung ←

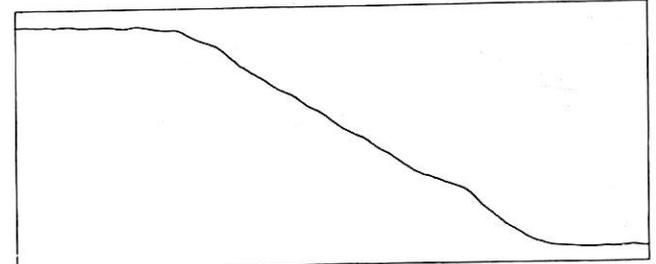


Abb. 11 d. Wagen gezogen. $V = 60$ km/h. Fahrtrichtung →

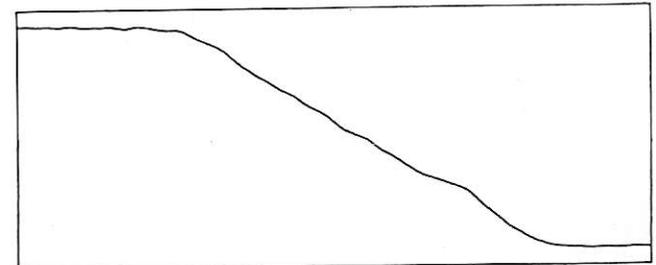


Abb. 11 e. Wagen geschoben. $V = 60$ km/h. Fahrtrichtung ←

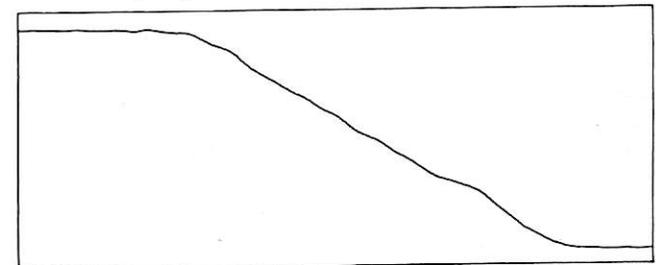


Abb. 11 f. Wagen gezogen. $V = 80$ km/h. Fahrtrichtung →

Abb. 11.

Örtliche Aufmessung und mit dem Meßwagen aufgenommene Schaulinien desselben Gleisbogens. Maßstab: $\frac{3}{4}$ der nat. Größe.

Abb. 11a bis f zeigen die örtliche Aufmessung (11a) und die Schaulinien (11b bis f) eines anderen Gleisbogens. Die Fahrgeschwindigkeiten und die Fahrtrichtungen sind in den Abbildungen eingetragen.

Der Vergleich der Meßergebnisse zeigt, daß die Eigenbewegungen des Wagens, die nicht von der Gleisrichtung abhängig sind, in den Schaulinien kaum zum Ausdruck kommen. Man muß ferner bei der Betrachtung der Meßergebnisse beachten, daß das Gleis sich unter dem Wagen verformt. Die seitliche Nachgiebigkeit des Schienenstranges, besonders bei älteren Gleisen mit leichten Schienenbefestigungsmitteln, ist manchmal erheblich. Die Meßaufzeichnungen können aus diesem Grunde von der örtlichen Aufnahme in mäßigen Grenzen abweichen.

Will man den geringen Einfluß des Spieles zwischen Rad und Schiene aus den Meßaufzeichnungen beseitigen, dann ist eine Lösung technisch durchführbar, bei der an den Innenkanten der Schienen entlanglaufende Schleifbügel verwendet werden.

Das Übersetzungsverhältnis der Übertragungseinrichtungen muß so sein, daß die Linie a — a (Abb. 12c) stets parallel zu der Sehne ist, welche die Berührungspunkte der beiden Schleifbügel an den Schienen verbindet.

Das Meßgerät, das in Abb. 12 nur andeutungsweise dargestellt ist, entspricht der Abb. 2. Nur sind die auf derselben Achse sitzenden Zahnräder und Rollen 6, 8, 16 (Abb. 2) nicht fest mit dem Rahmen des Kreiselgeräts verbunden, sondern sie befinden sich auf der drehbaren Scheibe (19). Die Scheibe (19) erhält die bereits erwähnten Drehbewegungen durch das Zahnrad (22), das durch die Wechselstromgeber über Wechselstromempfänger in Verbindung mit einem Differential gesteuert wird. Die Rolle (16) erhält somit zu den vom Kreiselgerät veranlaßten Drehbewegungen zusätzliche Bewegungen, die sich über den Fadenzug (20) auf die Rolle (17) des Schreibgeräts übertragen. Dadurch gelingt es, den Einfluß des Spieles zwischen Rad und Schiene aus dem Meßergebnis auszuschalten. Die Drehbewegungen der Scheibe (19) sind sehr klein. Es genügt daher, den Fadenzug (20) möglichst lang zu machen,

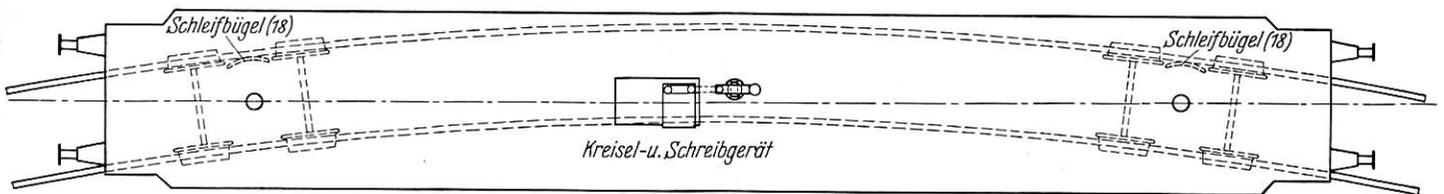


Abb. 12 a. Draufsicht.

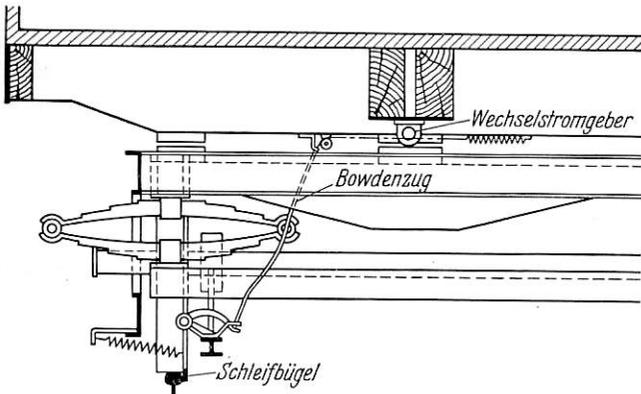


Abb. 12 b. Querschnitt am Schleifbügel.

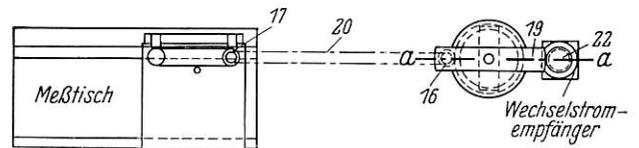


Abb. 12 c. Draufsicht des Kreisel- und Schreibgeräts.

Abb. 12. Messung der Gleisrichtung mittels eines Kreiselgeräts in Verbindung mit Schleifbügeln.

Abb. 12 zeigt die grundsätzliche Anordnung. An den Wagenenden ist je ein Schleifbügel (18) am selben Schienenstrang angebracht. Wenn man die Gleisrichtung beider Schienenstränge messen will, sind vier Schleifbügel erforderlich. Sie werden mittels Spiralfedern an die Schienenköpfe angepreßt. Die an den Achsen gelagerten Schleifbügel führen während der Fahrt Relativbewegungen zum Drehgestell aus, die bei Aufhebung des Spieles in den Achsbuchsen und in den Wiegen mit denen zum Wagenkasten übereinstimmen. Diese Relativbewegungen der Schleifbügel eines Schienenstranges werden unter Verwendung mechanischer oder elektrischer Übertragungseinrichtungen zu einer resultierenden Bewegung zusammengefaßt, die der Scheibe (19) (Abb. 12c) eine Drehbewegung gibt. Als elektrische Übertragungseinrichtung können mit gutem Erfolg, wie praktische Anwendungen im Meßwagen gezeigt haben, Wechselstromgeber und -empfänger verwendet werden. Die Wirkungsweise dieser Geber und Empfänger beruht darauf, daß Drehstromanker, die sich in parallel geschalteten Wechselstromfeldern (50 Volt, 50 Perioden) als Geber und Empfänger befinden, stets in der gleichen Winkelstellung zueinander verharren. Wird der Anker des Gebers um einen Winkel α verdreht, so verdreht sich der Anker des Empfängers um denselben Winkel.

um die Änderungen des Abstandes der Rollen (16) und (17) während der Bewegungen der Scheibe (19) vernachlässigen zu können.

Für den zweiten Schienenstrang muß eine zweite Scheibe mit einem zweiten Schreibgerät vorhanden sein. Das Schreibgerät ist in seinem Aufbau übereinstimmend mit der Abb. 2.

Man erhält damit die genaue Gleisrichtungsmessung, und zwar werden zwei Schaulinien gewonnen, die die Richtung jedes der beiden Schienenstränge darstellen.

Die Durchführung dieser Anlage bietet technisch keine Schwierigkeiten. Es ist jedoch von der Ausführung vorerst Abstand genommen worden, da der in Kauf genommene Fehler bei Nichtausführung dieser Zusatzanlage als belanglos angesehen wird. Außerdem dürfte man bei Verwendung von Schleifbügeln kaum größere Fahrgeschwindigkeiten als rund 40 km/h erzielen, da die Schleifbügel andernfalls infolge von Prellschlägen an den Schienenstößen und Herzstücklücken Eigenbewegungen ausführen können, die das Meßbild ungenau machen. Man kann wohl diese Eigenbewegungen durch starke Anpreßdrücke der Schleifbügel an den Schienen einschränken. Jedoch gibt es auch hier erfahrungsmäßig eine obere Grenze, die u. a. durch die Abnutzung der Schleifstücke in den Schleifbügeln und durch die federnden Knieschienen

in den Weichen der preußischen Form 8 bedingt ist. Bei den Schaulinien der Spurmessung in den Oberbaumeßwagen, die ebenfalls unter Verwendung von Schleifbügeln (Anpreßdruck rund 20 kg, Erwärmung der Schleifstücke während der Fahrt

bis 300°, Laufleistung 1500 km bei 5 mm Abnutzung) gewonnen werden, sind die Prellschläge deutlich erkennbar. Sie können jedoch hier in Kauf genommen werden, da sie das Meßbild nicht undeutlich und unauswertbar machen.

Grundsätzliches über Bau und Betrieb einer selbsttätigen Zulaufanlage.

Von Prof. Dr.-Ing. Friedrich Raab, Karlsruhe.

Bei Gefällbahnhöfen sind die Höhenverhältnisse so zu wählen, daß das Zerlegen und das Zusammenstellen der Züge unter dem Einfluß der Schwere möglichst ohne Lokomotivkraft erfolgt. Praktisch und theoretisch gewonnene Erkenntnisse waren maßgebend für die heute allseits als richtig erkannte Anordnung, bei der die Gleise, aus denen der zu zerlegende Zug ablaufen soll, in der Ablaufrichtung zunehmendes Gefälle zeigen. Über die Gestaltung der Höhenverhältnisse von Zulaufprofilen im einzelnen ist eine Reihe von wissenschaftlichen Untersuchungen angestellt worden, unter denen die von Ammann*) veröffentlichte insofern eine Sonderstellung einnimmt, als für sie energiewirtschaftliche Gesichtspunkte grundlegend sind. Nach Ammann muß ein Zulaufprofil so gestaltet sein, daß nach Lösen einer Bremse, mit der die Zugspitze zunächst festgehalten wird, beliebig lange Züge durch die wirksam werdenden Kräfte in Bewegung kommen, und daß die aufgespeicherte Energie gerade ausreicht, um einem Zug mit beliebiger Achszahl die Überwindung der Widerstände und nach einem vorgegebenen Laufweg das Erreichen einer bestimmten Geschwindigkeit zu ermöglichen. Diese für das Auffinden der Profilform gestellten Bedingungen sind in technischer und wirtschaftlicher Beziehung richtig und zweckmäßig. Fraglich ist aber zunächst noch, ob die von Ammann zur Aufstellung der Profilageichung gemachten Annahmen den tatsächlichen Verhältnissen in allen Fällen genügend gerecht werden. Die Ammannsche Profilageichung ist nämlich nur dann genau zutreffend, wenn der Zug sich so verhält, wie das der Ableitung zugrunde liegende Ersatzsystem, bei dem beispielsweise eine gleichmäßige Gewichtsverteilung im Zuge und eine der wirkenden Kraft verhältnismäßige Stauchung vorausgesetzt ist, und bei dem weiter angenommen ist, daß die Pufferkräfte von der Zugspitze gegen das Zugende zu geradlinig abnehmen. Bedenken hinsichtlich der Verlässlichkeit der Berechnungen mit dem Ammannschen Ersatzsystem haben andere Forscher veranlaßt, die Anlaufvorgänge bei Zügen mit ungleichmäßiger Gewichtsverteilung und unter genauerer Berücksichtigung des Einflusses der Pufferfeder-Vorspannung, durch die im hinteren Zugteil eine Energiespeicherung in den Pufferfedern unmöglich wird, zahlenmäßig zu untersuchen. So aufschlußreich diese Untersuchungen im einzelnen auch sind, so können sie doch nicht ganz befriedigen, im allgemeinen nicht, weil die dabei gemachten Einzelannahmen einen Einblick in die grundlegenden Zusammenhänge zwischen Profilform, Beschaffenheit der zu zerlegenden Züge und den Bewegungsvorgängen erschweren, im besonderen nicht, weil den Untersuchungen teilweise Profilformen zugrunde liegen, die den an den Energiehaushalt zu stellenden Anforderungen nicht gerecht werden.

Bei Untersuchungen über die Anlaufbewegung ist davon auszugehen, daß die Bewegungsvorgänge unmittelbar durch die Differenz zwischen treibenden und hemmenden Kräften, die nach Lösen der Haltebremse wirksam werden, sowie durch einen gewissen Überschuß der potentiellen Energie im Vergleich zu der Energie, die bei Überwindung der Bewegungswiderstände aufgezehrt wird, bedingt sind. Energiebetrachtungen allein genügen im allgemeinen Falle nicht, um Schlüsse auf den Bewegungszustand zu ziehen, sie sind vielmehr nur in Sonderfällen hinreichend, zu denen aber das Ersatzsystem

nach Ammann gehört. Soll eine Bewegung zustande kommen, so müssen die treibenden Kräfte größer sein als die hemmenden. Gleichgewicht liegt vor, wenn die Änderung der Gesamtenergie, nämlich der durch die Lage und in den Pufferfedern gespeicherten, zuzüglich der zur Überwindung der Widerstände aufzuwendenden Energie bei einer unendlich kleinen, sogenannten virtuellen Verschiebung Null ist. Die verlangte Bewegung kommt zustande, wenn die Energieänderung bei einem virtuellen Verschiebungsweg negativ wird. Man hat demnach in der Ableitung der Gesamtenergie nach dem Verschiebungsweg ein einfaches Kriterium für das Zustandekommen der Anlaufbewegung. Es wird dem Leser überlassen, sich davon zu überzeugen, daß die letztgenannte Bedingung beim Ammannschen Profil und dem zugehörigen Ersatzsystem zutrifft. Da aber bei jeder möglichen, unendlich kleinen Bewegung des mit dem Zuge verglichenen Ersatzsystemes die Wege aller Teile unendlich klein in derselben Größenordnung sind, ist der Nachweis für das Zustandekommen der Anlaufbewegung schon dann erbracht, wenn bei beliebig angenommener Zuglänge ein Überschuß der gespeicherten Energie festgestellt wird. Hierin liegt die tiefere Begründung dafür, daß das Zustandekommen der Bewegung bei Zugrundelegung des Ammannschen Profils nicht mehr besonders nachgewiesen werden muß, denn die Profilageichung umfaßt die Anlaufbedingung, wenn man bei der Herleitung für jede beliebige Zuglänge die Gleichheitsbedingung der Laufwiderstandsenergien zuzüglich der Beschleunigungsenergie einerseits und der gespeicherten Energien andererseits eingeführt hat.

Diese Betrachtungen treffen für die Verhältnisse des Ammannschen Ersatzsystems genau zu; es müßte aber noch untersucht werden, inwieweit die Ergebnisse Gültigkeit haben im Hinblick auf Fälle, bei denen mehr oder weniger abweichende Voraussetzungen vorliegen. Für die Praxis entscheidende Umstände geben aber Veranlassung, auf andere, weit wertvollere Untersuchungen hinzuweisen, die Erkenntnisse bezüglich der Gestaltung eines Zulaufprofils und seiner Betriebsweise vermitteln.

Bei der Ableitung der Ammannschen Profilageichung ist die gespeicherte Energie als Summe der Lageenergie und der Pufferfederenergie berechnet. Wenn man die Anteile dieser Energieformen, wie es Professor Zoche getan hat*), zahlenmäßig vergleicht, so findet man, daß die Pufferfederenergie nur einen verhältnismäßig kleinen Hundertsatz der Lageenergie ausmacht. Besteht der Zug nur aus wenigen Wagen, so kann der Fall eintreten, daß in den Pufferfedern überhaupt keine Energiespeicherung auftritt, da die Druckkräfte nicht hinreichen, um die Puffer einzudrücken. Bei Zügen mit großer Achszahl tritt gewöhnlich nur im vorderen Zugteil eine Energiespeicherung ein, die durch künstliche Stauchung noch etwas vermehrt werden kann im Vergleich zu der Energiemenge, die bei natürlicher Stauchung speicherbar ist. Letztere ist aber im Verhältnis zur Lageenergie in jedem Falle so klein, daß sie bei Ableitung der Profilageichung vernachlässigt werden kann, um so mehr, als dann ein für das selbsttätige Anlaufen des Zuges günstigeres Profil ermittelt wird.

Mit der genannten Vernachlässigung kann die Gleichung des Zulaufprofils wie folgt hergeleitet werden:

*) Siehe Verkehrstechn. Woche 1936, 9. Sonderheft der Studiengesellschaft für Rangiertechnik.

*) Org. Fortschr. Eisenbahnwes., Jahrgang 1931, Heft 9.

Die Federenergie ist:

$$A_{p_1} = 0;$$

die Änderung der Lageenergie:

$$A_{p_2} = q \cdot x \cdot s \left(\frac{x d}{2 l_0} + l_v \right).$$

In dem Ausdruck für A_{p_2} bedeutet s die Tangente des Neigungswinkels der Verbindungslinie zwischen Zugspitze und der Profilstelle x , so daß $x \cdot s$ der Profilhöhe y an der Stelle x entspricht. Bei einem Zuggewicht q auf den laufenden Meter stellt also $q \cdot x \cdot s$ die Kraft an der Zugspitze dar; die, wie ersichtlich, bei gleichmäßiger Gewichtsverteilung lediglich von der Profilhöhe im Punkte x abhängig ist, ähnlich wie der Druck einer in einem Rohr ruhenden Wassersäule allein von der Wasserspiegelhöhe über dem betrachteten Punkt abhängt. Streckt sich der Zug bei lang hängenden Kuppelketten, die eine Entfernung der Pufferteller zwischen je zwei l_0 Meter langen Wagen um l_d Meter zulassen, und bewegt sich der ganze Zug nach Streckung um l_v Meter talwärts, dann wirkt die hinreichend genau als unveränderlich angenommene Kraft $q \cdot x \cdot s$ auf einem Weg $\frac{x d}{2 l_0} + l_v$.

Als kinetische Energie hat man:

$$A_{w_1} = \frac{q \cdot x \cdot v_1^2}{2 g'}$$

bei einer Geschwindigkeit v_1 und bei einer unter Berücksichtigung der sich drehenden Massen verminderten Erdbeschleunigung g' .

Als Energie, die zur Überwindung des Anlaufwiderstandes w_a auf dem Wege l_a verzehrt wird, ergibt sich:

$$A_{w_2} = q \cdot x \cdot w_a \cdot l_a.$$

Die Energie, die bei Überwindung des Laufwiderstandes w_e auf dem Restwege verzehrt wird, berechnet sich zu:

$$A_{w_3} = q \cdot x \cdot w_e \left(\frac{x d}{2 l_0} + l_v - l_a \right)$$

Die Gleichsetzung der die Bewegung begünstigenden Energie mit den die Bewegung hemmenden Energien liefert:

$$A_{p_2} = A_{w_1} + A_{w_2} + A_{w_3}.$$

Setzt man zur Vereinfachung des Schreibwerkes:

$$\begin{aligned} k_1 &= 2d \cdot w_e \\ k_2 &= 4 l_0 \left[\frac{v^2}{2 g'} + l_a \cdot w_a + (l_v - l_a) \cdot w_e \right] \\ k_3 &= 2d \\ k_4 &= 4 l_v \cdot l_0, \end{aligned}$$

so ergibt sich unter Berücksichtigung, daß $x \cdot s = y$ ist:

$$y = \frac{x (k_1 \cdot x + k_2)}{k_3 \cdot x + k_4}.$$

Diese Gleichung gibt den Zusammenhang zwischen den Abszissen x und den Ordinaten y für die in k_1, k_2, k_3 und k_4 zusammengefaßten Größen, die die Voraussetzungen für die betrieblichen Verhältnisse und diese selbst kennzeichnen. Sie enthält schon in sich die Bedingungen für das Zustandekommen der Bewegung, ist dabei genügend einfach und beschreibt ein Zulaufprofil, nach dem das Zerlegegleis im Bau und Betrieb wirtschaftlich gestaltet werden kann.

In Abb. 1 ist ein der Gleichung entsprechendes Profil für folgende Zahlenwerte beispielsweise aufgetragen:

$$\begin{aligned} l_0 &= 9,0 \text{ m} \\ d &= 0,05 \text{ m} \\ l_v &= 1,0 \text{ m} \\ l_a &= 0,5 \text{ m} \\ w_a &= 10,0 \text{ kg/t} \\ w_e &= 6,5 \text{ kg/t} \\ v_1 &= 0,25 \text{ m/s.} \end{aligned}$$

Wie ersichtlich, ergibt sich an der Stelle $x = 700 \text{ m}$ eine Profilhöhe von $y = 5,80 \text{ m}$, der eine mittlere Neigung $s = 8,28\%$ entspricht.

Durch Umformung erhält man:

$$y = w_e \cdot x + \frac{1}{k_3} \left[k_2 - k_4 \left(\frac{k_1 \cdot x + k_2}{k_3 \cdot x + k_4} \right) \right] = y_1 + y_2.$$

Die Profilhöhe y stellt sich hiernach als Summe einer Laufwiderstandshöhe $y_1 = w_e \cdot x$ und einer Höhe y_2 dar, die wesentlich von den Anlaufwiderständen und der Geschwindigkeit v_1 abhängig ist. Die Größe x_2 strebt mit wachsendem x einem Grenzwert zu, der bei Berücksichtigung der Ausdrücke für die k -Werte zu:

$$y_{2\text{max}} = \frac{2 l_0}{d} \left[\frac{v_1^2}{2 g'} + l_a (w_a - w_e) \right]$$

ermittelt wird. Die Gleichung der in Abb. 1 strichpunktiert eingetragenen Asymptote lautet:

$$y = w_e \cdot x + \frac{2 l_0}{d} \left[\frac{v_1^2}{2 g'} + l_a (w_a - w_e) \right]$$

Durch die Festlegung der Asymptote wird der Entwurf eines Zulaufprofils erleichtert.

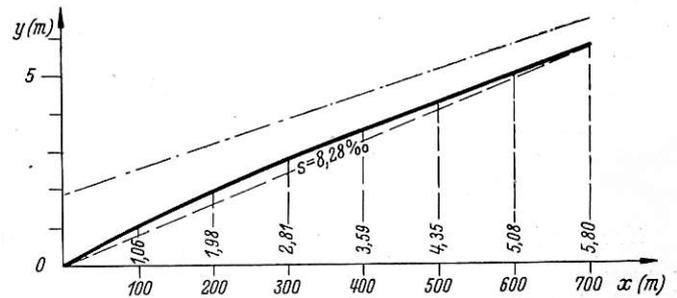


Abb. 1. Zulaufprofil.

Über die Profilineigungen erhält man durch Bildung des Differentialquotienten $\frac{dy}{dx}$ Aufschluß. Es ergibt sich:

$$\frac{dy}{dx} = \frac{k_1 k_3 \cdot x^2 + 2 k_1 k_4 \cdot x + k_2 k_4}{(k_3 \cdot x + k_4)^2}$$

Die Neigung im tiefsten Punkte des Zulaufprofils ist:

$$\frac{dy}{dx(x=0)} = \frac{k_2}{k_4} = \frac{v_1^2}{2 g' l_v} + w_a \frac{l_a}{l_v} + w_e \frac{l_v - l_a}{l_v}.$$

Setzt man dabei:

$$w_a \cdot \frac{l_a}{l_v} + w_e \frac{l_v - l_a}{l_v} + w_0^*,$$

so hat man:

$$\frac{dy}{dx(x=0)} = \frac{v_1^2}{2 g' l_v} + w_0^*.$$

Die Anfangsneigung ergibt sich demnach aus dem allgemeinen arithmetischen Mittel zwischen w_a und w_e zuzüglich einem Betrage, der das vorgegebene Beschleunigungsmaß berücksichtigt. Stellt man die Forderung, daß auch ein in der Gleisbremse festgehaltener Einzelwagen ohne äußere Kraftwirkung, allein unter dem Einfluß seiner Schwerkraft in Bewegung kommt, so muß die Profilineigung im tiefsten Punkt mindestens gleich dem Anlaufwiderstand w_a gewählt werden. Da sich die Neigung im tiefsten Profilverpunkt mit den oben genannten Zahlenwerten zu

$$\frac{dy}{dx(x=0)} = 0,0117$$

ergibt, ist ersichtlich, daß bei den sonstigen Voraussetzungen auch ein Einzelwagen mit einem Anlaufwiderstand $w_a = 10\%$ von selbst in Bewegung kommt.

An der Stelle $x = 700$ m errechnet man die Neigung:

$$\frac{dy}{dx(x=700)} = 0,0071.$$

Die Neigungsverhältnisse auf dem 700 m langen Profil sind in Abb. 2 dargestellt. Wie man durch eine Grenzbetrachtung in einfacher Weise feststellen kann, strebt die Profilneigung mit wachsendem x dem Endwert w_0 zu, der in Abb. 2 dem Abstand der strichpunktierten Asymptote von der Abszissenachse entspricht.

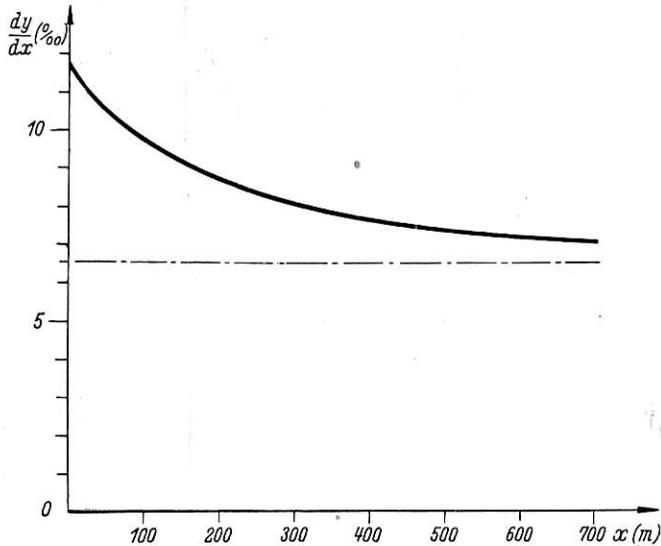


Abb. 2. Neigungen des Zulaufprofils.

Zur Ermittlung des Einflusses des bei der Ableitung der Profildifferentialgleichung unberücksichtigt gebliebenen, das Zustandekommen der Bewegung begünstigenden Energiebetrages auf die Profilhöhe wird die noch näher zu untersuchende Staucharbeit mit A_{p1} in die Rechnung eingeführt. Durch Gleichsetzen der die Bewegung begünstigenden und der die Bewegung hemmenden Energien findet man die Gleichung:

$$y = \frac{x(x \cdot k_1 + k_2) - \frac{4 \cdot l_0}{q} \cdot A_{p1}}{k_3 \cdot x + k_4}$$

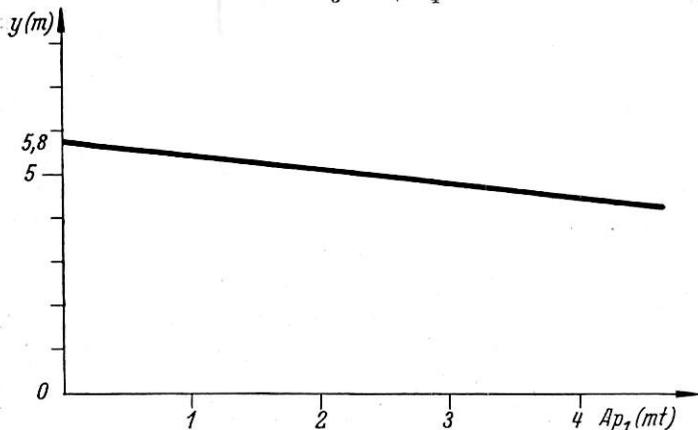


Abb. 3. Abhängigkeit der Profilhöhe y bei $x = 700$ m von der Staucharbeit A_{p1} .

Die Abhängigkeit zwischen der Profilhöhe y und der Staucharbeit A_{p1} ist in Abb. 3 für $x = 700$ m durch eine Kurve dargestellt, der die Gleichung

$$y = 5,80 - 0,306 \cdot A_{p1}$$

entspricht.

Um einen Anhaltspunkt über die in Betracht zu ziehenden Werte A_{p1} zu gewinnen, kann man die Staucharbeit durch die Gleichung:

$$A_{p1} = q \cdot q^2 (s - w_0)^2 \frac{x^3}{4 \cdot l_0 \cdot \lambda}$$

ausdrücken. Darin bedeutet q einen Faktor zur Berücksichtigung der Vorspannung der Pufferfedern, w_0 den Laufwiderstandsbeiwert des Zuges unmittelbar nach der Einfahrt, λ eine Federkonstante, die dem ersatzweise durch die Gleichung

$$P = \lambda \cdot \delta$$

angenommenen Zusammenhang zwischen Pufferkraft P und Puffereindrückung δ entspricht. Die Formel gilt hinreichend genau für den Fall, daß die im tiefsten Punkt des Profils abwärts wirkende Kraft mit der Gleichung

$$P_{max} = q \cdot x (s - w_0) = q \cdot y - q \cdot x \cdot w_0$$

berechnet werden kann, eine Voraussetzung, die unabhängig von der Profilmform stets zutrifft, wenn ein Zug mit einem Gewicht q auf die Längeneinheit und der Länge x so eingefahren ist, daß das Zugende x Meter über dem Nullpunkt des Profils liegt und der Laufwiderstand w_0 als Reibungswiderstand nach Eintritt einer Bewegung druckvermindernd wirkt. Wird ein in der Ablaufrichtung einfahrender Zug, solange er noch in Bewegung ist, durch Hemmen der Zugspitze in der Haltebremse, oder wird ein in der Haltebremse festgehaltener Zug

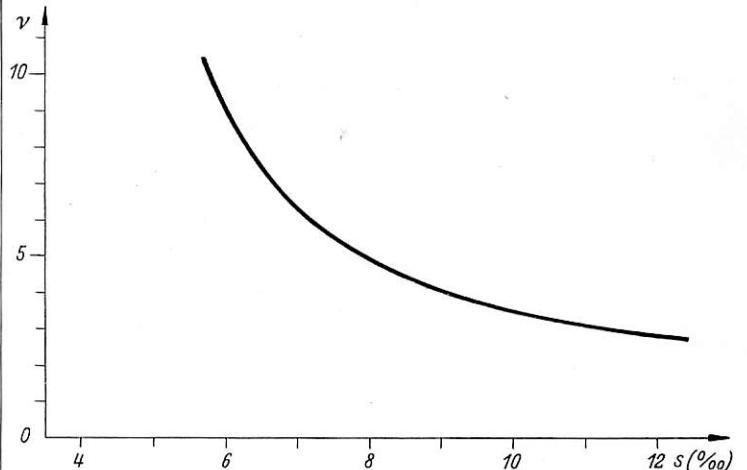


Abb. 4. Verhältnis ν der künstlichen zur natürlichen Staucharbeit in Abhängigkeit von der mittleren Steigung s .

durch eine am Zugende drückende Lokomotive gestaucht, dann kann die im Punkt 0 abwärts wirkende Kraft den Betrag

$$P_{max}^* = q \cdot y + q \cdot x \cdot w_0$$

erreichen, weil nunmehr der Laufwiderstand die Streckung des durch die Massenkräfte beim Einlauf oder durch die Drucklokomotive gestauchten Zuges nach oben verhindert. Der Laufwiderstand w_0 liefert in diesem Falle eine Zusatzkraft, die den Betrag

$$2 q \cdot x \cdot w_0$$

erreicht, so daß die Arbeit der elastischen Stauchung durch die Gleichung

$$A_{p1}^* = q^* (s + w_0)^2 \frac{x^3}{4 \cdot l_0 \cdot \lambda}$$

ausgedrückt werden kann. Unter sonst gleichen Verhältnissen und unter der Annahme $q = q^*$ liefert der Quotient:

$$\frac{A_{p1}^*}{A_{p1}} = \left(\frac{s + w_0}{s - w_0} \right)^2 = \nu$$

das Verhältnis der künstlichen zur natürlichen Staucharbeit. Die Arbeit der elastischen Stauchung, die bei Verwendung einer Drucklokomotive aufgespeichert werden kann, ist also ν -mal so groß als jene, welche ohne Verwendung einer Drucklokomotive aufspeicherbar ist. Nimmt man $w_0 = 3$ kg/t als Durchschnittswert an, so ist der genannte Faktor lediglich eine Funktion von s . Für die bei einer Zuglänge $x = 700$ m in Betracht kommenden Durchschnittssteigungen s kann der Faktor ν aus Abb. 4 entnommen werden. Dabei ist bemerkens-

wert, daß durch künstliche Stauchung der Energiebetrag gegenüber jenem bei natürlicher Stauchung auf ein Vielfaches vermehrt werden kann. Wenn man nach Streckung des Zuges auf einen Puffertellerabstand von 0,05 m eine Talwärtsbewegung des Zuges von $l_v = 1,0$ m voraussetzt, kann die bei der natürlichen Stauchung speicherbare Energiemenge bei den Wagen der Deutschen Reichsbahn mit Hülsenpuffern und Kegelfedern, die mit einer Vorspannung von 1 t eingesetzt sind, allenfalls zu rund $\frac{1}{10}$ der die Bewegung begünstigenden Gesamtenergie geschätzt werden. Mit Hilfe dieser Angabe ist

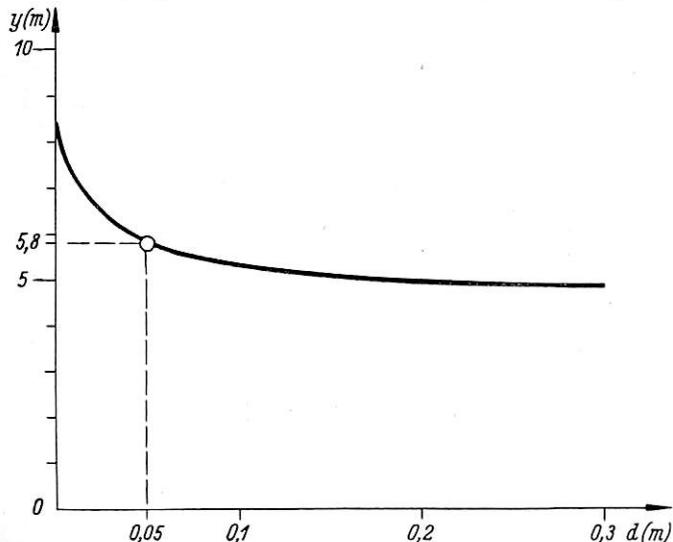


Abb. 5. Abhängigkeit der Profilhöhe y bei $x = 700$ m vom Puffertellerabstand d .

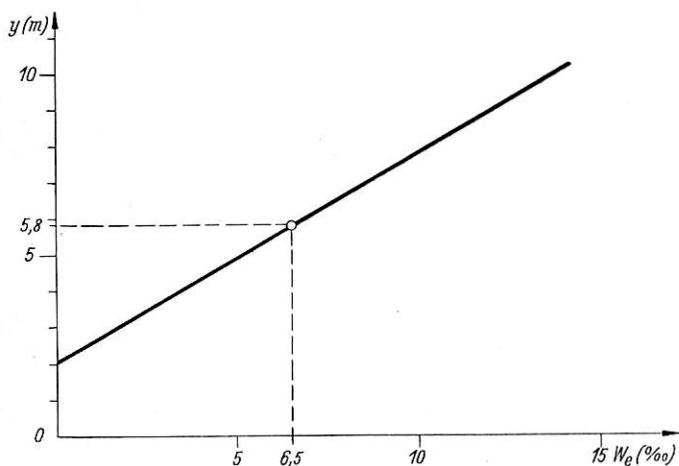


Abb. 6. Abhängigkeit der Profilhöhe y bei $x = 700$ m vom Laufwiderstand w_e .

erkennbar, daß der Einfluß der bei künstlicher Stauchung speicherbaren Energie auf das Zustandekommen der Bewegung recht erheblich sein kann.

In Anbetracht des dargelegten entscheidenden Einflusses der Betriebsweise erscheinen Einzeluntersuchungen über die Anlaufbewegung sowie solche über den Einfluß einer verschiedenen Gewichtsverteilung im Zuge als nebensächlich. Bei der Anlage eines Zulaufprofils trägt man im Sinne einer Vereinfachung der Betriebsweise und aus Sicherheitsgründen auch betrieblich ungünstigen Verhältnissen Rechnung, wenn man die Höhenverhältnisse überhaupt ohne Berücksichtigung des günstigen Einflusses der Pufferfederenergie wählt. Tritt aber aus irgendeinem Grunde an den entwerfenden Ingenieur die Forderung heran, das Zulaufprofil so flach als möglich zu gestalten, dann muß ermittelt werden, inwieweit der Betrieb eine künstliche Stauchung allgemein zuläßt, um die Profilhöhen

unter Ausnützung der Energie der Pufferfederstauchung so klein als möglich zu halten.

Eine weitere, für die Betriebsweise wichtige Maßnahme besteht darin, daß man durch Veränderung der Länge der Kuppelketten den nach Streckung des Zuges bedingten Puffertellerabstand regelt. Der Einfluß auf die Profilhöhen kann mit Hilfe der abgeleiteten Profilgleichung gezeigt werden. Mit den angenommenen Zahlenwerten findet man:

$$y = \frac{0,013 \cdot d \cdot x^2 + 0,4234 \cdot x}{2 \cdot d \cdot x + 36}$$

eine Gleichung, mit der für jede Profilstelle x die Abhängigkeit zwischen y und dem Puffertellerabstand d festgestellt werden kann. In Abb. 5 ist die Abhängigkeit für $x = 700$ m wiedergegeben. Die Kurve entspricht der Gleichung:

$$y = \frac{6370 \cdot d + 296,38}{1400 \cdot d + 36}$$

Aus der Darstellung ist ersichtlich, daß eine Vergrößerung des Puffertellerabstandes bis auf etwa 0,15 m einen sehr wesentlichen Einfluß auf die Profilhöhe hat, denn ein Puffertellerabstand von nur 0,05 m gestattet bei $x = 700$ m gegenüber

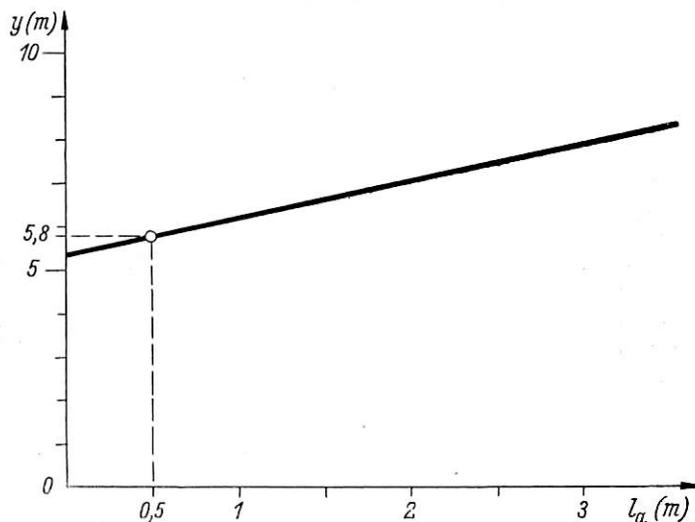


Abb. 7. Abhängigkeit der Profilhöhe y bei $x = 700$ m vom Weg l_a .

einem solchen von 0 m eine Verminderung der Profilhöhe um 2,4 m; man kann also auf einer bestehenden Anlage durch Langhängen der Kupplungen ähnlich günstige Anlaufbedingungen schaffen, wie sie bei einem erheblich steileren Profil vorhanden wären.

Einen nicht unwesentlichen Einfluß auf die zu wählende Profilhöhe haben die Widerstände w_e , mit denen im Hinblick auf die aufkommenden Wagengattungen ungünstigenfalls zu rechnen ist. Ähnlich wie bei der Betrachtung bezüglich des Puffertellerabstandes d kann die Abhängigkeit der Profilhöhe y von w_e mit Hilfe der abgeleiteten Profilgleichung ermittelt werden. Mit den genannten Zahlenwerten findet man:

$$y = \frac{0,306 \cdot x + (0,1 \cdot x^2 + 18 \cdot x) \cdot w_e}{0,1 \cdot x + 36}$$

In Abb. 6 ist diese Abhängigkeit für $x = 700$ m wiedergegeben. Die Kurve entspricht der Gleichung:

$$y = 581,13 \cdot w_e + 2,02.$$

Wie ersichtlich, ändern sich die Profilhöhen gradlinig mit dem Wagenwiderstand w_e in starkem Maße, so daß der der Profilhöhe zugrunde zu legende Wagenwiderstand w_e jedenfalls sorgfältig ermittelt werden muß.

Auch der Laufweg l_a , auf dem der zunächst vorhandene Anlaufwiderstand w_a auf den eben behandelten Laufwiderstand w_e herabsinkt, hat einen merklichen Einfluß auf die Profilhöhe.

Für eine beliebige Profilstelle x ergibt sich der Zusammenhang nach der Gleichung:

$$y = \frac{0,00065 \cdot x^2 + 0,3604 \cdot x + 0,126 \cdot x \cdot l_a}{0,1 \cdot x + 36}$$

In Abb. 7 ist der Zusammenhang zwischen Profilhöhe und l_a für $x = 700$ m durch eine Kurve dargestellt, der die Gleichung $y = 0,832 \cdot l_a + 5,38$ entspricht.

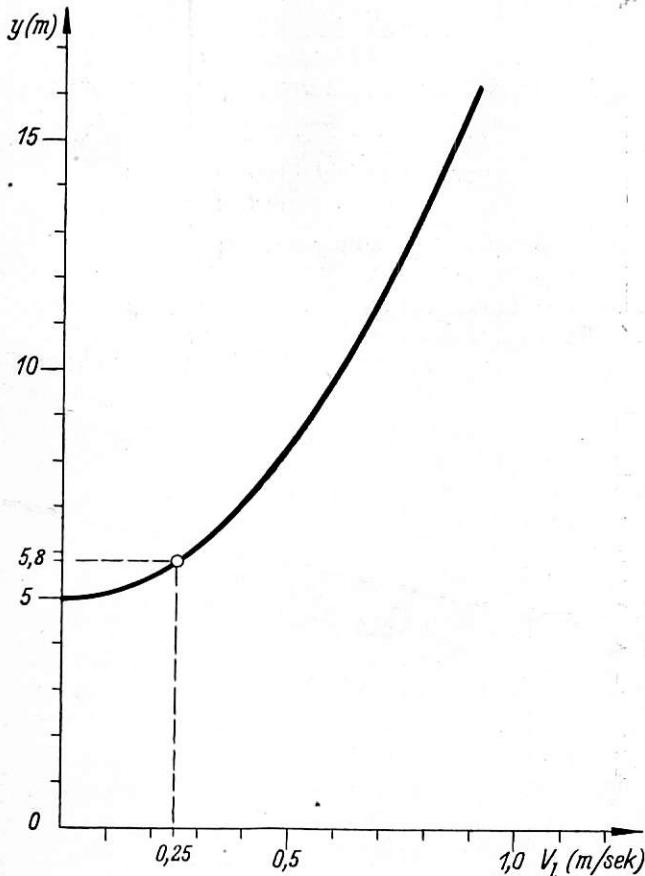


Abb. 8. Abhängigkeit der Profilhöhe y bei $x = 700$ m von der Geschwindigkeit v_1 .

In der abgeleiteten Profildifferentialgleichung ist ein Parameter k_2 enthalten, in dem der Einfluß der Geschwindigkeit v_1 zum Ausdruck kommt, die auf einem zweckmäßig einheitlich zu $1,0$ m anzunehmenden Laufweg l_v erreicht werden soll. Um Irrtümern vorzubeugen, sei ausdrücklich hervorgehoben, daß dadurch lediglich ein ausreichendes Beschleunigungsmaß festgesetzt wird, dessen Größe keine entscheidende Bedeutung für die Betriebstüchtigkeit eines Zulaufprofils zukommt, da auch mit einem geringen Beschleunigungsmaß die praktisch in Frage kommende Zulaufgeschwindigkeit erreicht werden kann. Der Einfluß des geforderten Beschleunigungsmaßes

VDE-Vorschriftenbuch. Die neue, 21. Auflage des VDE-Vorschriftenbuches ist soeben nach dem Stande am 1. Januar 1937 erschienen. Der Band enthält alle an diesem Tage gültigen VDE-Bestimmungen und darüber hinaus auch diejenigen, welche am 1. Januar 1937 abgeschlossen und genehmigt waren, aber erst zu einem späteren Termin in Kraft treten. Über die Änderungen gegenüber der letzten (20.) Auflage unterrichtet ein ausführlicher Prospekt, der von der Geschäftsstelle des VDE, Berlin-

kann für jede Profilstelle x und die eingeführten Zahlenwerte durch die Gleichung:

$$y = \frac{0,00065 \cdot x^2 + x(2,022 \cdot v_1^2 + 0,297)}{0,1 \cdot x + 36}$$

ermittelt werden, in der y als Funktion der Geschwindigkeit v_1 erscheint. Für $x = 700$ m ist die Abhängigkeit in Abb. 8 durch eine Kurve dargestellt, der die Gleichung

$$y = 13,35 \cdot v_1^2 + 4,97$$

entspricht. Aus der Darstellung geht hervor, daß man sich zur Vermeidung unnötiger Höhen und unnötiger Bremsarbeit mit einem bescheidenen Beschleunigungsmaß zufrieden geben sollte, namentlich deshalb, weil höhere v_1 -Werte keine ins Gewicht fallenden Vorteile für den Betrieb bringen. Ein durch höhere Beschleunigungen erzielter Zeitgewinn spielt ja nur bei Beginn und nach einer Unterbrechung des Zerlegegeschäftes eine untergeordnete Rolle.

Soll im Einzelfall der Einfluß ungleichmäßigen Zuggewichtes auf das Zustandekommen der Anlaufbewegung ermittelt werden, so stellt man mit Vorteil ähnliche Energiebetrachtungen an wie bei der Entwicklung der Profildifferentialgleichung.

In der abgeleiteten vereinfachten Gleichung, in der die Pufferfederenergie unberücksichtigt blieb, kommt zwar das Zuggewicht überhaupt nicht vor. Hieraus geht zunächst hervor, daß die Profildifferentialgleichung bei Außerachtlassung der Pufferfederenergie unabhängig ist von der absoluten Größe eines gleichmäßig verteilt angenommenen Zuggewichtes. Wie Untersuchungen über den Einfluß der Pufferfederenergie zeigen, kommt auf ein und demselben Profil die Anlaufbewegung bei einem schweren Zug wegen der größeren Energieaufspeicherung in den Pufferfedern leichter zustande als bei einem leichten. Ungünstige Vorbedingungen für die Anlaufbewegung liegen vor, wenn die Gewichtsverteilung ungleichmäßig in der Weise ist, daß die Wagen mit höherem Gewicht im hinteren Zugteil stehen. Dieser Fall läßt sich aber ebenfalls mit der Energiemethode erfassen, wenn man die überschüssige Bewegungsenergie des vorderen leichten Zugteiles mit der für das Ingangkommen des hinteren schweren Zugteiles fehlenden Energie vergleicht. In jedem Falle, in dem der Energieüberschuß des vorderen leichten Zugteiles hinreicht, um die für das Anlaufen des hinteren schweren Zugteiles zur Verfügung stehende Energie auf den nötigen Betrag zu ergänzen, ist das Profil betriebstüchtig. Die angedeutete Untersuchung bietet offensichtlich keinerlei Schwierigkeiten; man hat nur nötig, die die Bewegung begünstigenden und hemmenden Energien gesondert zu rechnen.

Aus den angestellten Betrachtungen ergibt sich, daß die Profildifferentialgleichung zweckmäßig nach energiewirtschaftlichen Gesichtspunkten mit der abgeleiteten Gleichung bestimmt wird, weil nur auf diesem Wege die Einflüsse der im Einzelfall vorliegenden Systemgrößen, die an die Wagenbeschaffenheit gebunden sind, sowie der Größen, die durch die beabsichtigte Betriebsweise bedingt sind, systematisch verfolgt werden können.

Charlottenburg 4, Bismarckstraße 33, VDE-Haus, kostenlos bezogen werden kann.

Die Preise sind: Ganzleinen mit Daumenregister *R.M.* 16,20, für VDE-Mitglieder *R.M.* 14,60, bei portofreier Rücksendung eines Vorschriftenbuches der 20. Auflage *R.M.* 13,80.

Der Umtauschpreis von *R.M.* 13,80 wird nur für so viele Vorschriftenbücher gewährt, als solche der 20. Auflage zurückgeliefert werden.

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.