

Fachheft:

Die Gestaltung des Gleisbogens.

Vorbemerkung der Schriftleitung:

Das Entwerfen und Abstecken von Gleisbogen wurde lange Zeit nur unter dem Gesichtswinkel betrachtet, daß der Bogen neu in Erscheinung tritt, so wie es etwa bei Linien-Neubauten der Fall ist. Nalenz und Höfer haben dazu die Aufgabe gefügt, einen Gleisbogen aus einem anderen, vorhandenen herauszugestalten. Daraus ergaben sich außerordentlich fruchtbare Gesichtspunkte für die Berichtigung von Gleisbogen. Auch wurde der Blick scharf auf den Übergangsbogen gelenkt. Schramm hat der Ableitung eines Gleisbogens aus einem anderen ein besonders sinnfälliges, mathematisches Gewand gegeben und mit seinem Winkelbildverfahren neue Formen des Übergangsbogens abgeleitet. Im Organ Heft 22, Jahrgang 1932 hat Professor Dr. Petersen eine Reihe dieser Entwicklungsfragen zusammenfassend behandelt. Seine Veröffentlichung hat eine Anzahl von Fachleuten auf den Plan gerufen, die zu den neuen, drängenden Gedanken abwandelnd und ergänzend Stellung nehmen. So sind Darlegungen entstanden, die auf den Gegenbogen, auf Schwingungsvorgänge beim Durchfahren des Übergangsbogens und auf andere Beziehungen neue Lichter werfen. Die Schriftleitung übergibt diese Äußerungen in der Form eines Fachheftes gesammelt der Fachwelt, in der Erwartung, daß sie klärend und anregend wirken werden.

Der Gegenbogen im Eisenbahngleis.

Von Ing. Dr. Robert Hanker, Privatdozent an der Technischen Hochschule in Wien.

1. Wissenschaftliche Grundlagen.

Die Arbeiten von Schramm*) werden, wie besonders Petersen**) überzeugend dartut, Anlaß zu einer Änderung der Gestaltung unserer Gleisbogen geben.

Nach dem Verfahren von Schramm kann man mit theoretisch stetigem Krümmungsverlauf aus der Geraden in einen Bogen übergehen, was bei der üblichen kubischen Parabel als Übergangsbogen nicht möglich war. Der theoretische Vorzug wird sich zwar bei unserem heutigen Querschwellengleis, wie Höfer***) sehr treffend bemerkt, in Wirklichkeit nur wenig auswirken können, da die Abweichung der neuen Bogengestaltung gegenüber der alten innerhalb der Grenzen liegt, um die sich das Gleis erfahrungsgemäß unter der Einwirkung der Seitenstöße der Fahrzeuge ohnehin verschiebt.

Nichtsdestoweniger wird sich die neue Anordnung im Zusammenhang mit dem neuen, so überaus einfachen Absteckverfahren aber doch durchsetzen, denn es ist kein Grund vorhanden, die theoretisch befriedigendere Lösung dort nicht anzuwenden, wo es leicht geht, also beim Übergang aus einer langen Geraden in eine andere, wenn man durch keine anschließenden Gegenbogen irgendwie behindert ist. Die größere Länge des Übergangsbogens hat in diesem Falle keinen praktischen Nachteil, die seitliche Abweichung von der Geraden ist auf eine lange Strecke nur gering, die Absteckung macht keine Mehrarbeit — warum sollte man also nicht die „richtigere“

Lösung anwenden, also einen Krümmungsverlauf, wo man in jedem Punkt die der Krümmung entsprechende Überhöhung auch ausführen kann Abb. 1. (Krümmungsbild und Überhöhung der Außenschiene fallen genau zusammen.)

Schließen jedoch Bogen und Gegenbogen unmittelbar aneinander an, dann ist es nicht mehr so eindeutig, was man als „richtige“ Lösung bezeichnen soll.

Unter Zugrundelegung der kubischen Parabel als Übergangsbogen und bei der üblichen Verlegungsart des Gleises „ganze Überhöhung immer der Außenschiene“ stellt sich ein Gegenbogen nach Abb. 2 dar.

Der Krümmungsverlauf zeigt die bekannten Unstetigkeiten, die die Überhöhung selbstredend nicht mitmachen darf: bei der Überhöhungsrampe müssen alle Knickstellen ausgerundet sein. Man braucht daher, wenn sich die Überhöhungsrampen nicht überschneiden sollen, unbedingt noch eine Zwischengerade. Ein Überschneiden der Überhöhungsrampen muß vermieden werden, weil bei Festsetzung eines für eine bestimmte Bahngattung zulässigen Höchstmaßes von α (Rampenneigung 1:m) an der Schnittstelle das doppelte Maß 2α auf Verwindung der Fahrzeuge wirken würde und überdies (wie später gezeigt werden wird) zu große Drehbeschleunigungen auftreten würden. Um gehörig ausrunden zu können, hat man als Zwischengerade eine Länge von mindestens 10 bis 30 m je nach der Größe der Fahrgeschwindigkeit als notwendig erachtet.

Aus dem gleichen Grund ist auch ein unmittelbares Aneinanderschließen der Überhöhungsrampen in Bogenmitte unzulässig gefunden worden; die Vorschrift, daß das „voll überhöhte Kreisbogenstück“ (gemeint ist natürlich der Kreisbogen M N in Abb. 2) mindestens ebenso lang sein muß wie die Über-

*) Der vollkommene Gleisbogen, Berlin 1931.

**) Der Übergangsbogen im Eisenbahngleis, Org. Fortschr. Eisenbahnwes. 1932, Heft 22.

***) Winkelbild- oder Pfeilhöhenverfahren, Org. Fortschr. Eisenbahnwes. 1932, S. 426.

gangsbogenlänge, hat also eine gewisse Berechtigung, wenn sie in dieser Form auch nicht sehr zweckmäßig erscheint.

Nach der neuen Gestaltung des Überganges mit geschwungenem Krümmungsverlauf (Abb. 1) wäre eine Zwischen-

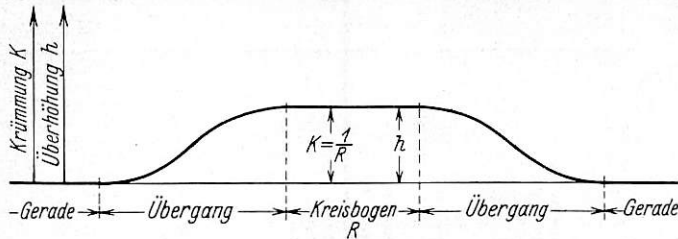


Abb. 1.

gerade nicht mehr nötig, der Krümmungsverlauf im Gegenbogen würde sich dann nach Abb. 3 darstellen. Praktisch würde sich an der Gestaltung des Überganges gegenüber der jetzt gebräuchlichen nicht viel ändern, denn nach durch-

bisher üblichen Anordnung der Überhöhung in Gegenbogen möglichst lange Zwischengerade zwischen den Bogen anzuordnen.

Daß jedoch Abb. 3 nicht die ideale Lösung der Krümmungsgestaltung in einem Gegenbogen sein kann, zeigt schon der Augenschein. Der Krümmungsverlauf ist zwar stetig, alle Kanten und Ecken sind verschwunden, aber er erscheint noch unnötig unruhig. Ein Krümmungsverlauf nach Abb. 4 müßte doch besser entsprechen.

Schon Bräuning*) beschreibt die Versuchsfahrt durch einen Gegenbogen mit derart ausgeführter Krümmung, Wegfall der Zwischengeraden und entsprechender Anordnung der Überhöhung als äußerst ruhig und stoßfrei.

Eine Betrachtung der Kräftewirkungen zwischen Fahrzeug und Gleis beim Befahren der Überhöhungsrampe soll dies näher begründen.

Wenn ein Fahrzeug eine Überhöhungsrampe befährt, muß es sich um eine zur Längsachse gleichlaufende Gerade drehen

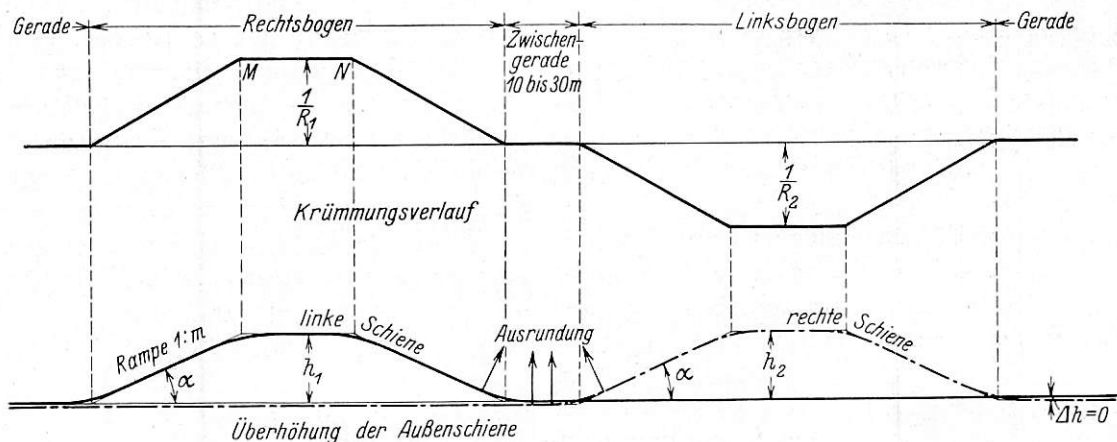


Abb. 2.

gerechneten Beispielen (Organ 1932, S. 421) würde der neue Übergang im Bogenwendepunkt (Abb. 3 Raum „a“) je nach dem Bogenhalbmesser praktisch eine 60 bis 80 m lange „Zwischengerade“ darstellen, da die Abweichung von der

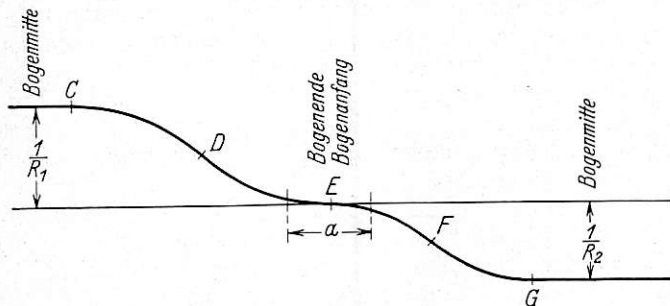


Abb. 3.

(bei der jetzt gebräuchlichen Anordnung der Überhöhung „ganze Überhöhung der Außenschiene“ dreht es sich um die Innenschiene) und zwar bei zunehmender Krümmung und Überhöhung in der Pfeilrichtung ω (Abb. 5). Bei gradliniger

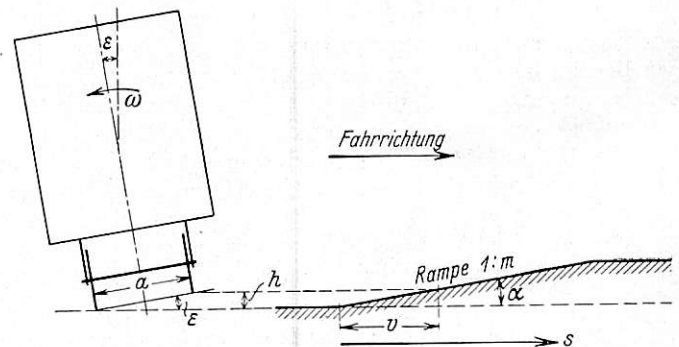


Abb. 5.

Anrampung ($\alpha = \text{Festwert}$) ist auch die Winkelgeschwindigkeit ω unveränderlich, die Drehbewegung eine gleichförmige, äußere Kräftewirkungen aus Anlaß dieser Drehung finden nicht statt. Die Winkelgeschwindigkeit ergibt sich als Zunahme des Drehwinkels ε in der Zeiteinheit mit

$$\omega = \varepsilon = \frac{h}{a} = \frac{v \cdot \alpha}{a},$$

wenn h die in der Zeiteinheit überwundene Höhe, v die Fahrgeschwindigkeit in m/sec, a die Spurweite und α die Neigung der Rampe bedeutet. (Wegen Kleinheit von α ist $\sin \alpha = \tan \alpha = \alpha$ gesetzt.)

*) Grundlagen des Gleisbaues, Berlin 1920, S. 104.

theoretischen Geraden nur etwa 10 mm beträgt. Im Gegenteil, obwohl nach Abb. 3 die Zwischengerade nunmehr theoretisch Null erscheint, wäre sie in Wirklichkeit eher länger geworden als gemäß Abb. 2 bis jetzt als Mindestmaß festgesetzt worden ist. Dies ist ein Beweis, wie richtig das Gefühl war, bei der

Ist die Anrampung nicht geradlinig, wie an den Ausrundungsstellen oder wie bei stetigem Verlauf der Krümmung und Überhöhung, dann ändert sich α und damit die Winkelgeschwindigkeit. Ihre Änderung nach der Zeit, die Winkelbeschleunigung γ , erhält man

$$\gamma = \frac{d\omega}{dt} = \frac{v \cdot d\alpha}{a \cdot dt}$$

oder auf den Weg s bezogen, gemäß $v = \frac{ds}{dt}$

$$\gamma = \frac{v^2 \cdot d\alpha}{a \cdot ds} \dots \dots \dots 1)$$

Führt man die Überhöhung so aus, daß die Wirkung der Fliehkraft durch die Überhöhung aufgehoben wird, so muß $h = \frac{a \cdot v^2 \cdot K}{g}$ sein, wenn K die Krümmung $\frac{1}{R}$ in dem betrachteten Bahnpunkt und g die Erdbeschleunigung bedeutet. Bei veränderlicher Krümmung muß daher

$$\frac{dh}{ds} = \frac{a \cdot v^2}{g} \cdot \frac{dK}{ds} = \alpha, \quad \frac{d\alpha}{ds} = \frac{a \cdot v^2}{g} \cdot \frac{d^2K}{ds^2}$$

sein und mit Verwendung der Gleichung 1) wird

$$\gamma = \frac{v^4 \cdot d^2K}{g \cdot ds^2} \dots \dots \dots 2)$$

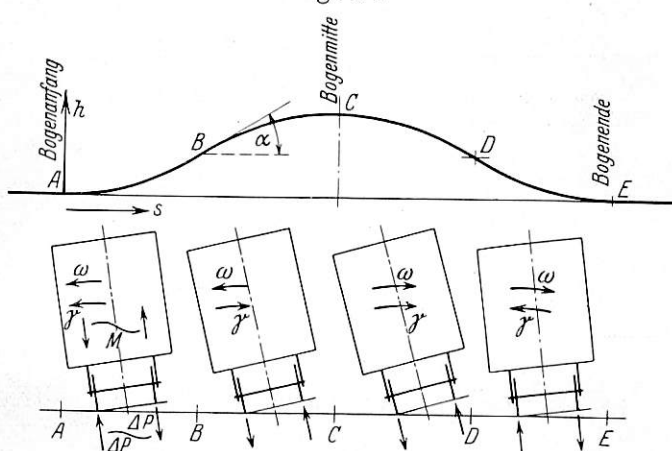


Abb. 6.

Zur Erzeugung dieser Drehbeschleunigung γ muß auf das Fahrzeug ein Kräftepaar M wirken, das von den Schienen auf das Fahrzeug zu übertragen ist, so daß diese als Gegenwirkung mit den Kräften ΔP mehr, bzw. weniger belastet werden (Abb. 6). Bei der Fahrt von A über B nach C, D und E ist γ von A bis B Beschleunigung, die Richtung von ω und γ fallen zusammen, die äußere Schiene wird überlastet, die Innenschiene wird entlastet. Von B nach C ist γ eine Verzögerung, ω und γ sind entgegengesetzt gerichtet, die Außenschiene wird entlastet, die Innenschiene überlastet. In C dreht die Winkelgeschwindigkeit ω die Richtung um, γ wirkt bei stetigem Krümmungsverlauf in voller Größe weiter und wird erst in D wieder zu Null; von B bis D ist daher die Außenschiene entlastet, die Innenschiene überlastet. [Entgleisungsgefahr*]. Von D nach E ist γ wieder Verzögerung, die zusätzlichen Schienenbe- und -entlastungen kehren sich wieder um, in E sind ω und γ Null.

*) Zu dieser „dynamischen“ Entgleisungsgefahr kommt dann noch die „statische“ zufolge der Verwindung der Fahrzeuge um den Unterschied α (1:m) der Schienenneigungen von Innen- und Außenschiene. Bei der üblichen Anordnung der Überhöhung vergrößert diese Verwindung den Druck des führenden Vorderwades auf dem Weg BC und verkleinert ihn auf dem Weg CD. Auf dem Weg CD addieren sich also die beiden Einflüsse, während auf dem Weg BC die statischen und dynamischen Einflüsse sich teilweise aufheben. Die größte Entgleisungsgefahr besteht daher bei der Ausfahrt aus einer Krümmung, wenn das Fahrzeug vom Kreisbogen auf die geneigte Überhöhungsrampe übergeht.

Während also bei einem Krümmungsverlauf nach Abb. 3 das Fahrzeug auf der Fahrt von C nach G die eingeleitete Drehbewegung in E unnötig unterbrechen muß, um bis F nochmals auf dieselbe Winkelgeschwindigkeit beschleunigt zu werden (Abb. 7), erfolgt bei einem Krümmungsverlauf nach Abb. 4 auf der Fahrt von C_1 nach G_1 die Beschleunigung und Verzögerung der Drehbewegung in einem Zug gemäß Abb. 8.

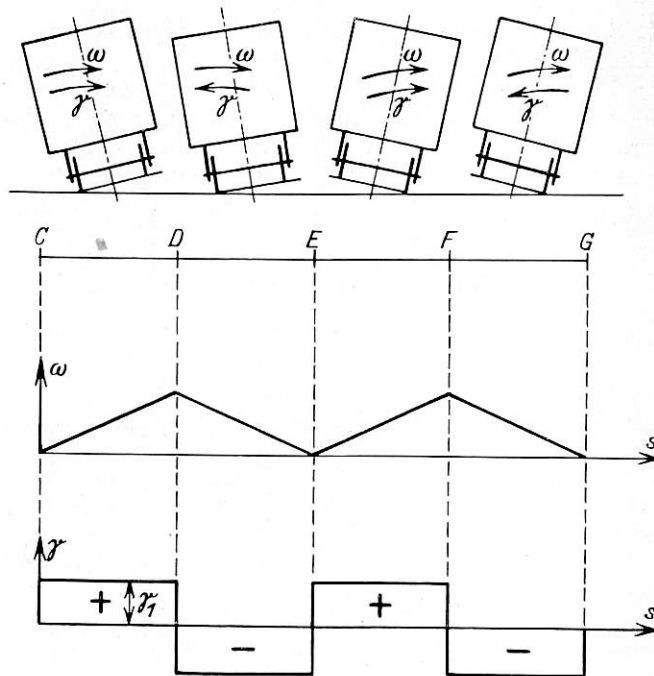


Abb. 7.

Dadurch kann entweder bei gegebenem Höchstmaß α der Rampeneigung an erforderlicher Länge des Überganges eingespart werden (die erforderlichen Tangentenlängen T

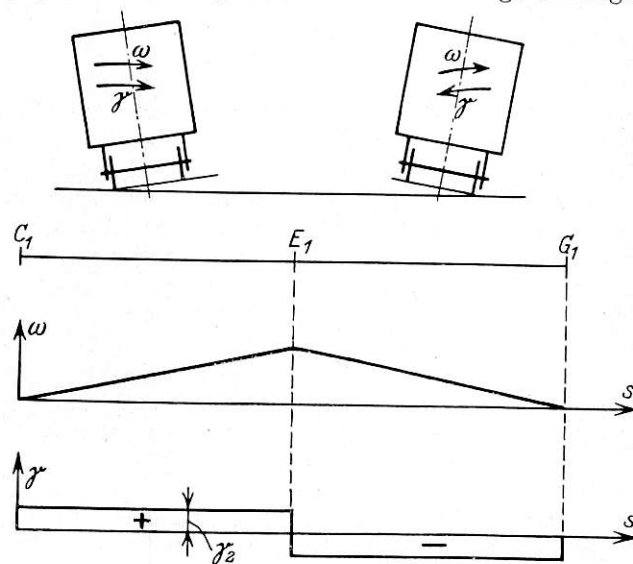


Abb. 8.

werden kleiner) Abb. 9, oder bei vorgegebener Bogenlage (Tangentenlängen) eine sanftere Überhöhungsrampe eingelegt werden, Abb. 10. Sanftere Ausrundung der Überhöhungsrampe verkleinert das $\frac{d^2K}{ds^2}$ ($\gamma_2 < \gamma_1$, Abb. 7 und Abb. 8), was bei großen Fahrgeschwindigkeiten von ausschlaggebender Bedeutung ist, da nach Gleichung 2) die Beschleunigungs-drehkräfte mit der vierten Potenz der Fahrgeschwindigkeit wachsen.

An dieser Stelle sei lediglich der Vollständigkeit wegen mit Bezug auf die Ausführungen von Schramm in „Schwüngen beim Durchfahren der Überhöhungsrampen“ (Verkehrstechn. Woche 1931, S. 403, letzter Absatz), wo die Verwendung der Sinuslinie als Übergangsbogen kritisch beleuchtet wird, darauf hingewiesen, daß es wohl richtig ist, daß die Sin-Linie beim Übergang aus der Geraden gegenüber der kubischen Parabel keine wesentlichen Vorteile hat, was vom Verfasser seinerzeit im Org. Fortschr. Eisenbahnwes. 1922, S. 299 auch ausdrücklich betont worden ist, daß die Sin-Linie hingegen besonders geeignet ist, die Vorzüge des stetigen Krümmungsverlaufes bei unmittelbar aneinander anschließenden Gegenbogen zu zeigen, da sie auch in ihren weiteren Ableitungen stetig bleibt. Beim geschwungenen Krümmungsverlauf, aus Parabelstücken zusammengesetzt, ist im Gegensatz hierzu $\frac{dK}{ds}$ bereits unstetig der Tangente nach; $\frac{d^2K}{ds^2}$ ändert sich demgemäß im Punkte D, E und F (Abb. 7) sprunghaft, es schlägt aus einem größten positiven in einen

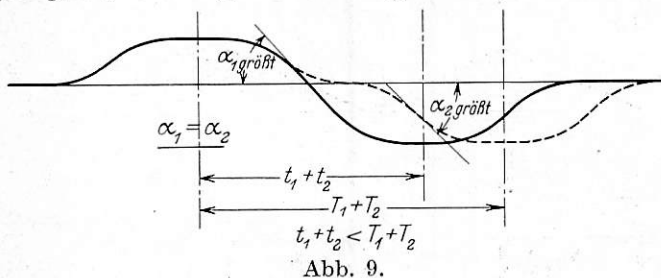


Abb. 9.

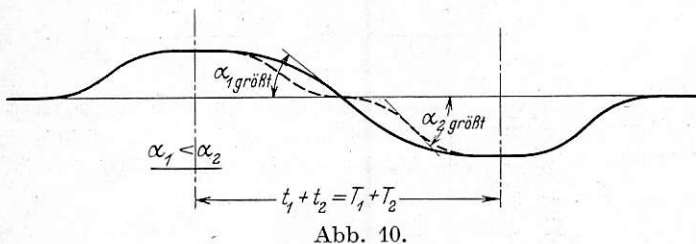


Abb. 10.

größten negativen Wert um, und damit auch die Drehbeschleunigung γ . Ob das praktisch von Bedeutung ist, hängt von der Größe der Fahrgeschwindigkeit ab. Mit Vorstehendem sollte nur gezeigt werden, daß die Behauptung Schramms mit dem von ihm vorgeschlagenen Übergang „das Maximum an Stetigkeit, das überhaupt denkbar ist, erreicht zu haben“ etwas zu weit geht und daß schon noch Gleisbogengestaltungen denkbar sind, die möglicherweise einen besseren Lauf der Fahrzeuge gewährleisten könnten.

Da mit der Größe der Beschleunigungsdrehkräfte die Entgleisungsicherheit innig zusammenhängt, wird man jedenfalls trachten, die Verwindung α und die Krümmung der Rampenausrundungen klein zu halten, wobei möglicherweise der zweiten Bedingung sogar ein gewisser Vorrang gebührt. Zur Lösung nach Abb. 4 werden übrigens die Verhältnisse von selbst drängen, wenn bei schon vorgegebenen Hauptanlageverhältnissen, bei scharf aufeinanderfolgenden Gegenbogen die nötige Länge für die Unterbringung eines Überganges nach Abb. 3 nicht vorhanden sein wird.

2. Praktische Durchführung.

Die praktische Durchführung des Krümmungsverlaufes nach Abb. 4 erfordert lediglich, daß der Grundsatz „ganze Überhöhung der Außenschiene“ aufgegeben wird. Und das ist in der heutigen Zeit, wo man bereits allenthalben darangeht, die Gleise zu vermarken, nicht mehr so schwer, als es früher einmal geschehen hätte. Ohne Vermarkung ist im übrigen

auch die geschwungene Überhöhungsrampe nach Schramm kaum ausführbar.

Einfachste Lösung: Die eine Schiene liegt immer in der Höhe, die dem Bahnlängenschnitt entspricht (Abb. 11, Sch. O. K. 1), die andere Schiene bekommt die ganze „Überhöhung“ oder „Absenkung“.

Bei Neubauten wird der Unterbaulängenschnitt so gestaltet, wie Abb. 11 zeigt. Die Bahnquerschnitte ändern sich dann gegenüber heute nicht; unter der Innenschiene ist immer die kleinste Schotterstärke vorhanden, nach der Bogenaußenseite ist das Schotterbett der Überhöhung entsprechend verstärkt.

Bei Bahnumbauten wird man, wenn eine entsprechend tiefe Auskofferung des Unterbaues möglich ist, auch bei dieser Lösung bleiben. Ist das Tieferlegen der einen Schiene untunlich (nasse Einschnitte, gewachsener Fels, Brücken usw.), so wird man eine Lösung nach Abb. 12 wählen. Auch hier ist die Verwindung der Fahrzeuge nie größer als der Neigung α_1 (1:m) entspricht, die für die betreffende Bahngattung als zulässig erkannt worden ist ($\alpha_1 = \alpha_2$). Die Anordnung der Überhöhung nach Abb. 11 hat den Vorteil, daß die richtige Lage wenigstens der einen Schiene (1) bei der Oberbauarbeit durch

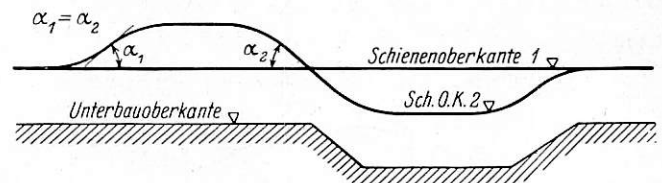


Abb. 11.

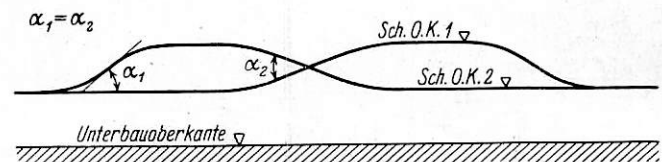


Abb. 12.

Abfluchten leicht überprüfbar ist, während man bei der Anordnung nach Abb. 12 beide Schienen an die Vermarkung anbinden muß. Dadurch wird die Oberbauverlege- und Erhaltungsarbeit zwar etwas erschwert, in der heutigen Zeit aber, in der man von der Notwendigkeit und Zweckmäßigkeit der Vermarkung der Eisenbahngleise bereits überzeugt ist, kann das nicht mehr ausschlaggebend sein, denn hat man einmal die Vermarkung, dann bereitet die punktweise Festlegung der Höhe der Schienen mit Hilfe dieser Vermarkung keine besonderen Schwierigkeiten, wenn auch die Schienen in Raumkurven liegen.

3. Zusammenfassung.

Die Ausbildung des Überganges nach Schramm bedeutet gegenüber der Verwendung der kubischen Parabel jedenfalls einen theoretischen Fortschritt; wie weit sich dieser in der Praxis auswirken wird, muß die Erfahrung zeigen. Alte Oberbaupraktiker, die von den Übergangsbogen überhaupt keine hohe Meinung hatten (mit Rücksicht auf die leichte Seitenverschieblichkeit unserer derzeit üblichen Querschwellenleise nicht ganz zu Unrecht) legten größten Wert auf eine sanft ansteigende, schon in der Geraden beginnende, also der Krümmung vorausseilende Überhöhungsrampe. Die neue Form des Überganges ist zufolge seiner geringen Anfangskrümmung praktisch auch nichts anderes als eine Gerade, in der die äußere Schiene bereits anzusteigen beginnt. Was die Alten gefühlsmäßig als richtig erkannt, findet nun wenigstens

zum Teil seine rechnerische Begründung; nur zum Teil deshalb, weil ein stärkeres Voreilen der Überhöhung nach den Versuchen von Bräuning wahrscheinlich noch günstigere Laufverhältnisse bringen dürfte. Wesentlich scheint nämlich, daß durch die mit dem Heben der Außenschiene verbundene Schwenkung des Schwerpunktes der Fahrzeuge nach innen der führende Radsatz gegen die Außenschiene gedrängt und dadurch der sanfte Einlauf gefördert wird.

Im übrigen hängt aber nach wie vor die mehr oder weniger gute Einfahrt aus der Geraden in den Bogen von der mehr oder weniger guten Gleislage ab: das Fahrzeug kommt schlingernd*) durch die Gerade, die wegen der unausgesprochenen Führung die größte Unstetigkeit in sich selbst darstellt, eine praktische Unstetigkeit, die sich wegen der geringen Seitenabweichung des neuen Überganges noch 40 bis 50 m in den „Bogen“ erstreckt; Zufälligkeiten der Gleislage werden daher auch bei der neuen Anordnung des Überganges ausschlaggebend die Größe des Seitenstoßes bestimmen, mit dem schließlich die Außenschiene die Führung übernimmt.

Bei der Fahrt durch einen Gegenbogen ohne Zwischen-

*) Siehe Caesar, Schlingerbewegungen von Drehgestellwagen, Org. Fortschr. Eisenbahnwes. 1929, S. 501 und Hanker, Zu den Schlingerbewegungen von Drehgestellwagen, Org. Fortschr. Eisenbahnwes. 1930, S. 378.

gerade besteht zwar auch im Wendepunkt eine Unstetigkeit der Führung; bei stetiger Krümmung und Ausführung einer stetig durchlaufenden Überhöhungsrampe hat aber das Fahrzeug im Unstetigkeitspunkt der Führung seine größte Drehgeschwindigkeit ω und diese stetige Drehbewegung des Fahrzeuges dürfte eine sanfte Überleitung der Führung von einer Schiene zur anderen bewirken, ohne daß das Fahrzeug zum Schlingern kommen kann.

Diese rein praktische Überlegung war für den Verfasser der ausschlaggebende Grund für Höchstfahrgeschwindigkeiten Gleise mit „vollkommen“ stetiger Linienführung in Sinuslinien unter Ausschaltung jeder Geraden vorzuschlagen*). Ob man in besonderen Fällen noch einmal auf die „vollkommen“ stetige Linienführung nach dem Vorschlag des Verfassers (heute selbstredend mit Verwendung der Schrammschen Absteckmethoden) zurückkommt, wird die Zukunft lehren. Wenn erst eine größere Anzahl von Gegenbogen liegen werden, die nach dem Vorschlag von Bräuning und gemäß vorstehender Überlegungen ausgeführt worden sind, wird man hinsichtlich der Zweckmäßigkeit des „vollkommen“ stetigen Krümmungsverlaufes schon klarer sehen und urteilen können.

*) Hanker, Gestaltung des Gleises für große Fahrgeschwindigkeit, Org. Fortschr. Eisenbahnwes. 1922, S. 297.

Der Übergangsbogen im Eisenbahngleis.

Von Dr. H. Saller, Regensburg.

Die Aufsatzreihe des Heftes 22 des Organs 1932, namentlich die Abhandlung von Prof. Petersen, bringt dem altbekannten Nalenz-Höfer-Verfahren nicht so sehr eine neue Entwicklung oder Vervollkommnung als vielmehr eine größere Beweglichkeit und eine neue mathematische Begründung, die das Anwendungsgebiet des Verfahrens erweitert und besonders auch für den Neubau die analytische Behandlung der Aufgabe in einfacher Form ermöglicht. Sie schlägt weiter an Stelle alt-eingebürgerter Bezeichnungen einige neue vor, über deren Beurteilung die Ansichten auseinandergehen können, wie die Ausführungen von Höfer zeigen. Nicht zu diesen mehr förmlichen Neuerungen möchte hier Stellung genommen werden. Daß es technisch nur zu begrüßen wäre, wenn der Übergangsbogen möglichst lang gemacht werden, ja wenn der ganze Übergang von einer Geraden in die andere nur als einziger Übergangsbogen ohne Zwischenschaltung eines Kreisbogens bewerkstelligt werden könnte, ist theoretisch nicht anzuzweifeln.

Prof. Petersen kommt in seiner Abhandlung auf die schon in seiner bedeutsamen Schrift „Die Gestaltung der Bogen im Eisenbahngleis“, München: C. W. Kreidels Verlag 1920, aufgestellte, von der Schwebebahn Barmen—Elberfeld—Vohwinkel übernommene Forderung zurück, daß die Übergangsbogen auch bei den Standbahnen mindestens so lange sein sollten, daß die Zeit der Fahrt durch den Übergangsbogen gleich der Dauer zweier Pendelschwingungen des Fahrzeugs quer zur Gleisachse, d. h. also eines vollen Hin- und Herganges, einer vollen Schwingung des Wagenkastens in der quer zur Gleisachse liegende Ebene wird. Nur dann werde die Beschleunigung anfangs und die Verzögerung am Ende für die Reisenden erträglich sein. In der Anpassungsfähigkeit des Schrammschen Verfahrens an diesen seinen Lieblingsgedanken sieht er die große Bedeutung dieses Verfahrens. Freilich ist eine Schwebebahn eine Einschienbahn mit ganz anderen Verhältnissen als eine Standbahn. Ihr Gleis liegt fest. Es wird nicht in dem Sinne unterhalten wie das einer Standbahn. Diese Zeitdauer einer Vollschiwingung hat Petersen an der Schwebebahn zu 3 Sek. als in den Belangen der Reisenden wünschenswert und tatsächlich auch annähernd vorhanden festgestellt. Er

fordert auf Grund eines Ähnlichkeitsschlusses die Zeit für die Drehung der Gleichgewichtslage zwischen Anfang und Ende des Übergangsbogens bei Standbahnen zu etwa 3,6 Sek. Er leitet daraus zwischen der Länge des Übergangsbogens und der Fahrgeschwindigkeit in km/Std. die einfache Beziehung $l \geq v$ ab. Er fordert damit Längen der Übergangsbogen, die über die derzeit angewendeten in vielen Fällen weit hinausgehen. Er schlägt weiter vor, den Verlauf der Krümmungslinie nicht geradlinig, sondern nach einer geschwungenen Linie in Anpassung an die angenommene Pendellinie der Wagenschwingung zu gestalten. Schließlich bezeichnet er die bisherigen Vorschriften der Bahnverwaltungen als überholt und einer Neufassung bedürftig.

Diese Feststellungen und weitgehenden Forderungen von Petersen, so sehr sie an sich theoretisch vielleicht vertretbar zu sein scheinen, werden die in der Ausübung von Bahnbau und Bahnunterhaltung Stehenden wohl nicht ohne Widerspruch hinnehmen. So sehr es theoretisch wünschenswert wäre, die Übergangsbogen möglichst lang zu machen, so sehr stehen dem praktische Bedenken gegenüber. Manche Strecken in welligem Gelände mit kurzen Zwischengeraden sind überhaupt in vielen Fällen gar nicht imstande, so lange Übergangsbogen, wie sie Petersen im Auge hat, aufzunehmen. Weiterhin aber ist der nach einer kubischen Parabel oder sonstwie ausgebildete Übergangsbogen ein bekannter wunder Punkt in der Bahnunterhaltung. Eine kubische Parabel geht im allgemeinen schon über das hinaus, was einem in Wind und Wetter stehenden Gleisvorarbeiter an Wissenschaft zugemutet werden kann und der Bahnmeister hat nicht die Zeit, um diese Übergangsbogen ständig unter seine schützenden Fittiche nehmen zu können. Die Anforderung, diesen kubischen Parabeln eine so bedeutende Länge zu geben, ja etwa bei allen Richtungswechseln mit Zentriwinkeln bis zu etwa 48° die Gleiskurve ganz aus zwei kubischen Parabeln zu bilden, würde an Stelle des auch für den Vorarbeiter in seinen Grundgesetzen leicht übersehbaren Kreisbogens fast durchwegs das schwierige Gebilde der kubischen Parabel setzen. Aus manchen zügigen Strecken würden damit die Kreisbogen überhaupt verschwinden. An ihre Stelle würde etwas treten, was der von Theorie wenig

angekränkelte Vorarbeiter in Ermangelung der nötigen Wissenschaft, um es vom Standpunkt der Ausübung gerade herauszusagen, größtenteils „nach Gesicht und Gefühl“ einlegen und unterhalten wird. Es bliebe also nichts anderes übrig, als die Hauptgleisachsen in diesen langen kubischen Parabeln nach Lage und Höhe durch Festpunkte zu vermarken. Die verwickelten Eigenschaften dieser Übergangsbogen würden dabei offenbar eine sehr dichte Lage der Vermarkungspunkte bedingen. Das kostet Geld und die Erhaltung und Überprüfung dieser Punkte macht Schwierigkeiten. Man wird sich praktisch immer lieber, so weit nur möglich, der viel einfacheren Kreisform bedienen. Aus diesen rein praktischen Gesichtspunkten heraus wird bei Standbahnen der Kreisbogen wohl immer sein Daseinsrecht behaupten. Es wird sich nur darum handeln können, wie lang der Ein- und Auslauf am Kreisbogen anzulegen sein wird. Es steht in der Ausübung keineswegs fest, daß so bedeutend verlängerte Übergangsbogen tatsächlich ein Gebot dringender Notwendigkeit sind.

Um die Anforderungen von Petersen richtig zu beurteilen, wird es unerlässlich sein, sich zunächst einmal ganz allgemein zu überzeugen, in welchen angenäherten Größenverhältnissen sich die Schwingungszeiten des Wankens der bei uns in Personenzügen gebräuchlichen Lokomotiv- und Eisenbahnwagenkasten tatsächlich bewegen. Ich habe schon im Zbl. Bauverw. 1922, Nr. 99 das Bedauern ausgesprochen, daß über Zeitangaben für solche Schwingungen aus der Ausübung fast nichts zu erfahren ist. Wiewohl in der Schwingungstechnik inzwischen unzweifelhaft große Fortschritte gemacht worden sind und die nötigen Meßgeräte jetzt zur Verfügung stünden, finden sich auch heute im Schrifttum nur verschwindend wenige, für den vorliegenden Zweck brauchbare Angaben über Schwingungsdauer der Fahrzeuge. Der Verfasser hat damals den Weg betreten, der bei unseren Bahnen in Ermangelung entsprechender Versuchsergebnisse, Versuchsmöglichkeiten und -gelegenheiten vielfach allein gangbar, wiewohl bei den Ausübenden wenig beliebt und angesehen ist, nämlich den der wissenschaftlichen Berechnung. Für zwei im Personenverkehr übliche und als bezeichnend ansprechbare Personenwagenarten: einen dreiachsigen Cim³ mit 10,35 m Kastenlänge, 12,35 m Gestelllänge, 13,75 m über Puffer, Gesamtgewicht 19400 kg, von denen 4390 auf die drei Radsätze samt Achsbüchsen, End- und Mittelfedern treffen, sonach rund 15000 kg für den dem Wanken unterworfenen Wagenkasten verbleiben, wurden mit der Federziffer 207 kg/cm die Schwingungszeiten berechnet, ebenso für einen Drehgestellwagen ABBü mit 13,2 m Drehzapfenabstand, 18,45 m Kastenlänge, 19,725 m Länge über Puffer, 42200 kg Gesamtgewicht, von denen rund 36200 auf den dem Wanken unterworfenen Wagenkasten zu rechnen sind, Federziffer 151 kg/cm.

In beiden Fällen wurde eine mittlere Personenbesetzung angenommen und eine überschlägliche, aber für den vorliegenden Zweck genügende Berechnung des polaren Trägheitsmoments vorgenommen. Für den Cim³ ergab sich die Schwingungsdauer für das Wanken des Wagenkastens zu 0,778 Sek., für den ABBü zu 1,31 Sek. Die Berechnung, die zudem den Einfluß der Dämpfung, die die Schwingungsdauer vergrößert und sicher vorhanden ist, vernachlässigt, macht nicht Anspruch auf unbeschränkte Sicherheit, aber sie läßt doch erkennen, daß die Petersensche Annahme von 3,6 Sek. für einen vollen Hin- und Hergang der wankenden Schwingung eines Standbahnwagens weitaus zu hoch gegriffen ist. Diese Berechnungsergebnisse ließen sich durch ungefähre

Beobachtungen der Schwingungen zweier hintereinander laufender Wagen gleicher Art bei dem in der Regel vorhandenen zeitlichen Nichtübereinstimmen der Schwingungsphasen ungefähr überprüfen und schienen annähernd zu stimmen. Zufällig kam ich damals auf eine Schriftangabe in Glasers Ann. 1908, Nr. 741, Mehliß, „Theoretische Betrachtungen über die Schwingungen an schnellfahrenden D-Zugwagen und deren praktische Messung“. Mehliß hatte bei Versuchen an einem Abteilwagen 2./3. Klasse mit Drehgestell der preußischen Staatseisenbahn in der Eisenbahnwerkstätte Grunewald festgestellt, daß der Wagen bei 33000 kg abgefedertem Gewicht ohne Personen, 18 m Wagenkastenlänge, also ungefähr bei den unserem ABBü entsprechenden Verhältnissen, unter einer Belastung mit 30 Arbeitern seitliche Schwingungen des Wankens bei ungefähr 1,304 Sek. Schwingungsdauer ausführte, also eine geradezu überraschende, natürlich mehr zufällige Übereinstimmung der Ergebnisse. Das Reichsbahnzentralamt für Maschinenbau schreibt mir von allerneuesten Versuchsergebnissen solcher Querschwingungen an Wechselstromtriebwagen (Stuttgarter Triebwagen, Görlitzer Drehgestell, Parallelpennel), wonach die Dauer einer vollen Pendelschwingung ohne Berücksichtigung der Federung 1 Sek. betrage und spricht dabei die Vermutung aus, daß gewöhnliche Personenwagen ohne die schweren Massen der elektrischen Triebausrüstung wohl noch kürzere Schwingungszeiten haben müßten. Das abgefederte Gewicht dieser Triebwagen beträgt 51 bis 56 t. In dem kürzlich herausgekommenen Buche „Mechanische Schwingungen der Brücken“ von Homann-Bernhard finden sich Seite 194 einige Angaben über die Zeitdauer des Wankens. Darnach ergäbe sich, auf Zeitdauer umgerechnet, für das Wanken einer Pt 35,15 Lokomotive 0,127 Sek., einer S 36,20-Lokomotive 0,294 Sek., eines Großraumgüterwagens 0,173 Sek. In dem Bericht des Heinrich-Hertz-Institutes für Schwingungsforschung „Untersuchung der Laufeigenschaften von Drehgestellen“, April 1931, werden, auf Zeitdauer umgerechnet, für Triebwagen Schwingungsdauern der Querdreherschwingungen zwischen 0,25 Sek. und 0,42 Sek. angegeben. Schramm nimmt in Verkehrstechn. Woche 1931, Heft 31, für die Schwingungszeit eines vollbelasteten Fahrzeugs 0,28 Sek. an. Also lauter Angaben, die mindestens darauf schließen lassen, daß die Petersensche Annahme von 3,6 Sek. für Standfahrzeuge sich von der Wirklichkeit weit entfernt. Wenn wir überschläglich annehmen, daß sich die Zeitdauer des Wankens bei unseren Personenwagen um 1,2 Sek. bewegt (bei Lokomotiven ist sie offenbar weit geringer), so ergibt sich auf Petersenscher Grundlage zwischen der Länge des Übergangsbogens in m und der Fahrgeschwindigkeit in km/Std. die Beziehung $1 \geq \frac{v}{3}$.

Diese Beziehung ist aber, wie eine einfache Durchsicht der Anlage 10 unserer OBV ergibt, überall erfüllt, meist in einem Ausmaße, das überhaupt den Gesichtspunkt ausschließt, die Länge der Übergangskurven nach der Zeit eines vollen Hin- und Herganges einer Schwingung des Wankens zu bemessen. Dazu kommt ja wohl, daß man es bei der Standbahn, abweichend von der Schwebbahn, nicht mit mehr einheitlichen Fahrzeugtypen zu tun hat, sondern mit Fahrzeugen verschiedenster Art und offenbar auch der verschiedensten Schwingungsdauern. Diese Zeitdauern liegen aber durchwegs weit unter den 3,6 Sek., die Petersen seinen Betrachtungen zugrunde legt und für die er eine geschwungene, natürlich auf einheitlichen Fahrzeugtyp zugeschnittene Krümmungslinie vorschlagen möchte. Welcher dieser ganz verschiedenen Pendelschwingungen soll die Krümmungslinie angepaßt werden?

Winkelbild- oder Pfeilhöhenverfahren?

Von Reichsbahnrat Leisner, Nürnberg.

Den Ausführungen Höfers zu diesem Thema in Heft 22, 1932 dieser Zeitschrift möchte ich in Übereinstimmung mit Höfer nachstehendes hinzufügen.

Wie Höfer und jedenfalls viele Kenner des Nalenz-Höfer-Verfahrens, glaube ich, daß die Untersuchungen Dr. Schramms nichts grundsätzlich Neues gebracht haben. Uneingeschränktes Verdienst hat sich Dr. Schramm jedoch dadurch erworben, daß er für das bekannte Nalenz-Höfer-Verfahren eine einfache Arbeitsweise entwickelt und durch entsprechende Veröffentlichungen weiten Kreisen zugänglich gemacht hat.

Die mathematische Begründung, die Dr. Schramm vom Nalenz-Höfer-Verfahren gibt, ist zwar interessant, ändert jedoch das Wesen des Verfahrens in keiner Weise. Die Begründung ist auch kein Beweis dafür, daß das Verfahren

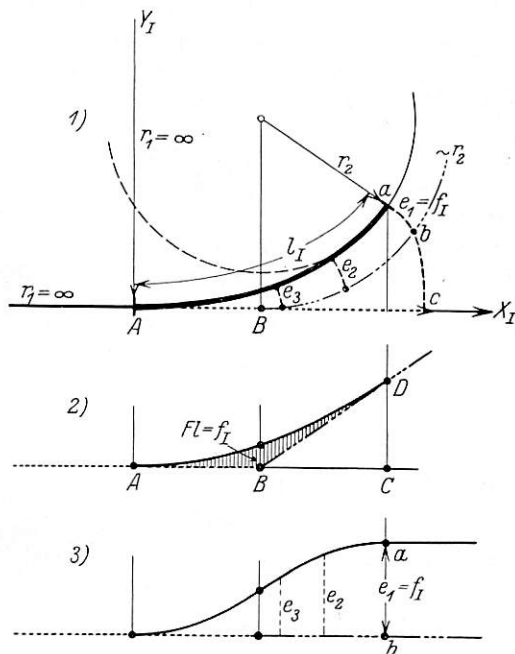


Abb. 1.

nichts mit Evolventen zu tun hat, weil auch die von Dr. Schramm verwendeten Winkelbilder der gleichen mathematischen Vorstellung folgen, wie etwa die Darstellung der Evolventen eines Kreisbogens $\frac{x^2}{2r}$ durch Dreiecksflächen

$\frac{x}{2} \cdot \frac{x}{r}$, wie sie Höfer schon vor Jahren angewendet hat.

Der Vorschlag Dr. Schramms, die Überhöhungsrampe durch eine Raumkurve zu ersetzen, deren Projektion in die Ebene nach dem vierten Grade gekrümmt ist, hängt mit dem Verfahren selbst unmittelbar nicht zusammen. Hierauf soll weiter unten nochmals zurückgekommen werden.

Im übrigen glaube ich, daß die Schrammschen Erörterungen über den Übergangsbogen, wegen der gleichzeitigen Behandlung mit seinem neuen Arbeitsverfahren, die richtige Auffassung vom Wesen des Übergangsbogens nicht gestärkt haben.

Nach wie vor steht das Wesen des Übergangsbogens unverrückbar fest; wie die Absteckung erfolgen soll, trigonometrisch, nach dem Nalenz-Höfer-Verfahren, oder nach der Schrammschen Arbeitsweise ist gleichgültig.

Zur Klärung der Sache diene folgendes:

Die Deutsche Reichsbahn-Gesellschaft schreibt vor, daß Kreisbogen oder Kreisbogen und Gerade durch Parabeln dritten Grades ineinander übergeleitet werden müssen (Gerade = Kreisbogen mit Halbmessern $r = \infty$). Die Gleichungen für die Überleitungskurven oder Übergangsbogen lauten bezogen auf die Bogen $r_1 = \infty$ (Abb. 1) bzw. $r_1 = r_1$ (Abb. 2) als Achsen:

$$1) \dots y_I = \frac{x^3}{6 l_I r_2} = 4 f_I \left(\frac{x}{l_I} \right)^3 \quad \text{Abb. 1.}$$

$$2) \dots y_{II} = \frac{x^3}{6 l_{II} r_2} = 4 f_{II} \left(\frac{x}{l_{II}} \right)^3 \quad \text{Abb. 2.}$$

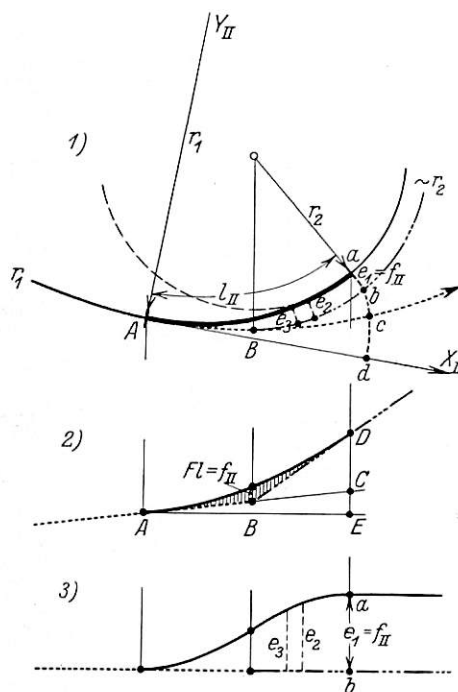


Abb. 2.

Die Ableitung für Gl. 2) habe ich im Org. Fortschr. Eisenbahnwes. Heft 24, 1929 (Übergangsbögen in Korbbogen), durchgeführt. Es besteht darnach kein Unterschied zwischen der Überleitungskurve vom Kreisbogen zur Geraden und zwischen Kreisbogen, wenn man jeweils den größeren Halbmesser ($\infty > r_1$ bzw. $r_1 > r_2$) als X-Achse betrachtet.

Die gleiche Feststellung läßt sich machen beim Bezug der Parabeln (Abb. 1 und 2) auf die im Anfangspunkt A der Parabeln gezogenen Tangenten als X-Achsen. Die Gleichungen lauten:

$$3) \dots y_I = \frac{x^2}{2 r_1} + 4 f_I \left(\frac{x^3}{l_I} \right)^3 \quad \text{Abb. 1}$$

und

$$4) \dots y_{II} = \frac{x^2}{2 r_1} + 4 f_{II} \left(\frac{x^3}{l_{II}} \right)^3 \quad \text{Abb. 2.}$$

Die Ableitung für diese Gleichungen findet sich ebenfalls in dem genannten Aufsatz. Für den Fall, daß $r_1 = \infty$ ist, wird, wie bei Gl. 3), das erste Glied der Gleichung zu 0, da in diesem Fall die Tangente in Punkt A mit dem Bogen $r_1 = \infty$ zusammenfällt.

Es gilt daher allgemein: Die Gleichung der Parabel oder eines Abschnittes davon mit den Krümmungen $1/r_1$ und $1/r_2$

(gleiche Abwicklungsstrecken vorausgesetzt) z. B. verhalten wie

$$\alpha = 2 \frac{\varphi}{2} \quad \text{für } x = 1$$

und

$$\frac{\alpha}{4} = \frac{\varphi}{2} \quad \text{für } x = \frac{1}{2}.$$

oder allgemein wie $\varphi_x = 2\alpha_x$, wo φ_x zum Kreisbogen von der Länge $x = \frac{1}{m}$ und mit dem Halbmesser $m r$ gehört.

Bei gleichen Abwicklungsstrecken dx wird also das Differential der Evolventen des Übergangsbogens de_u im Vergleich zu dem des Kreisbogens de_k im Verhältnis der Winkel $2\alpha_x = \varphi_x$ und der Halbmesser $m r = r_x$ geändert. Mit Gl. 8) wird daher

$$2 \cdot m \cdot de_u = de_k = \frac{x}{r} dx$$

$$12) \dots \dots de_u = \frac{1}{2m} \cdot \frac{x}{r} \cdot dx = \frac{x^2}{2lr} dx, \text{ da } m = \frac{1}{x} \text{ ist}$$

und schließlich

$$13) \dots \dots e_x = \int \frac{x^2}{2lr} = \frac{x^3}{6lr}$$

für die gleichen Grenzen von 0 bis φ , wie bei Gl. 7).

Damit sind die Koordinatenlängen als Evolventenlängen nachgewiesen und der Zusammenhang der Untersuchungen mit dem Thema „Winkelbild, oder Pfeilhöhenverfahren“ ist wieder hergestellt.

Es sei noch erwähnt, daß aus der Beziehung

$$2\alpha_x = \varphi_x \text{ oder } \alpha_x = \frac{\varphi_x}{2}$$

eine sehr einfache Berechnung der Tangentenwinkel zur

Achse AC folgt. Allgemein ist, da $\varphi = \frac{1}{2r\pi} 360^\circ$,

$$\alpha_x = \frac{1}{2} \cdot \frac{m}{2mr\pi} 360^\circ = \frac{1}{2} \cdot \frac{x}{\frac{1}{x}r\pi} \cdot 360^\circ$$

oder

$$14) \dots \dots \alpha_x = \frac{1}{2} \frac{x^2}{2lr} \cdot \frac{360^\circ}{\pi} = \frac{x^2}{lr} \cdot 28,65^\circ.$$

Aus Abb. 3, die maßstäblich gezeichnet ist, geht hervor, daß der Übergangsbogen AC' über die Stelle C' hinaus beliebig fortgesetzt werden kann. Es entsteht dann eine Spirale (siehe auch Dr. Saller in Heft 21, 1932). Beim Nalenz-Höfer-Verfahren hat man es daher mit Spiralen zu tun, beim trigonometrischen Verfahren (mit senkrechten Ordinaten zur Achse AC), dagegen mit kubischen Parabeln.

Die Gleichung der Spirale ist nicht bekannt. Sie dürfte wesentlich komplizierter sein, als die Gleichung

$$15) \dots \dots y = r - \sqrt{r^2 - x^2},$$

die zu den Evolventen $e_k = \frac{x^2}{2r}$ gehört. Sie ließe sich

ableiten aus den Beziehungen der Gl. 10) und 14), bzw. aus der Beziehung, daß sich die Tangenten an die Parabel und die Normalen dieser Kurve auf der Achse AC, als geometrischen

Ort, je für die Parabellängen $x = \frac{1}{m}$ für die Tangente und

$x = \frac{2}{3} \frac{1}{m}$ für die Normale schneiden.

Wichtig ist die Ableitung dieser Gleichung jedoch nicht. Denn wollte man nach einer komplizierten Gleichung abstecken, so müßte man vorher auch den Anfangspunkt A der Parabel aus der Mittelpunkt Lage AD (Abb. 3), die nicht

Organ für die Fortschritte des Eisenbahnwesens. Neue Folge. LXX. Band.

gleich $AB = \frac{1}{2}$ ist, und den Abstand DE, der nicht gleich $\frac{l^2}{24r}$ ist, aus derselben Gleichung bestimmen, um wirklich den Kreisbogen r im Punkte C' tangential zu überschneiden.

Die Ableitung einer befriedigenden Gleichung für den Übergangsbogen muß daher Rücksicht nehmen auf die stets gegebene Lage des Kreismittelpunktes zur Absteckungsachse AC. Da sich diese mit Bezug auf Abb. 3 in der Praxis aus $AD = AB$ und aus $DE = BF = 2 \cdot BG = \frac{l^2}{24r}$ ergibt, wobei die Mittelpunkt Lage O' entsteht, so gilt für die Ordinate y_1 an der Stelle $x = 1$.

$$16) \dots \dots y_1 = \frac{l^2}{24r} + \left(r - \sqrt{r^2 - \left(\frac{1}{2} \right)^2} \right) \text{ [s. Gl. 15)]}$$

und somit für beliebige Punkte der Parabel im Abstande $x = \frac{1}{m}$ im Abstand von A

$$y_x = \frac{l^2}{24mr} + \left(mr - \sqrt{m^2 r^2 - \frac{l^2}{4}} \right)$$

oder

$$17) \dots \dots y = \frac{x^2}{2} \cdot \frac{x}{6lr} + \left(\frac{1}{x} r \right) - \sqrt{\left(\frac{1}{x} r \right)^2 - \frac{x^2}{4}}.$$

Die Kurve nach Gl. 17) ist keine Spirale, sie kommt ihr aber bei Absteckungen wegen der im Vergleich zu den Größen r verhältnismäßig kleinen Längen l an allen Punkten sehr nahe.

Gl. 17) hätte großen Wert für die trigonometrische Absteckung, falls man diese wählen sollte, wenn die Fehler, die bei der Absteckung nach diesem Verfahren entstehen, tatsächlich so beträchtlich wären, daß, wie Dr. Petersen in Heft 22, 1932 des Org. Fortsch. Eisenbahnwes. angibt, Knicke im Zusammenstoß der Übergangsbogen und der Kreisbogen entstehen.

Die Fehler sind aber nicht so groß. Selbst bei dem von Dr. Petersen günstig gewählten Beispiel mit $r = 300$ m und $l = 90$ m ergibt sich ein Berührungsfehler von nur 18 mm. Das Beispiel mit $r = 300$ m und $l = 200$ m, bei dem der Fehler mit 49 mm angegeben wird, kommt in der Praxis nicht vor. Allgemein können die Fehler am Endpunkt der Parabel leicht berechnet werden aus Gl. 16), indem man die Differenzen aus der Ordinaten y_1 und der Evolventen e_1 bildet. Sie betragen

$$\text{Diff.} = y_1 - e_u = \left[f + r - \sqrt{r^2 - \left(\frac{1}{2} \right)^2} \right] - 4f$$

oder

$$18) \dots \dots \text{Diff.} = r - \sqrt{r^2 - \left(\frac{1}{2} \right)^2} - 3f.$$

Nimmt man für die Berechnung der ausschlaggebenden Übergangsbogenlänge l die Rampeneignungsverhältnisse $1:n = 1:10$ v. als Minimalverhältnisse, als Regelverhältnisse jedoch $1:n = 1:(10 \text{ v. } 1,25)$ an, so kann man sich davon überzeugen, daß sich die Differenzen bei allen Kreisbögen zwischen rund 300 m und rund 650 m zwischen 10 bis 20 mm, bei Halbmessern über rund 650 m unter 10 mm bewegen und, daß sie sich erst bei Halbmessern zwischen rund 225 m und rund 300 m der Grenze von 30 mm nähern. Solche Fehler geben aber zu Befürchtungen noch keinen Anlaß. Im übrigen können sie unter Zuhilfenahme von Gl. 17), wenn das Bedürfnis hierzu besteht, jederzeit berechnet und beliebig viele Punkte wegen Korrektur der Absteckungsgrößen in gleicher Weise eingeschaltet werden.

Da nun Gl. 17) auch für Übergangsbogen in Korbboogen (Abb. 2) gilt, wenn man den größeren Bogen r_1 als Achse

18. Heft 1933.

auffaßt und außerdem ein Übergangsbogen im Korbbogen genauer abgesteckt werden kann, als ein gewöhnlicher Übergangsbogen, erübrigen sich Fehlerberechnungen zwecks Nachprüfung überhaupt.

Zum Schlusse noch einige Bemerkungen über die von Dr. Schramm vorgeschlagene neue Ausgestaltung der Übergangsbogen.

Dr. Petersen sagt in Heft 22, 1932 des Org. Fortschr. Eisenbahnw. dazu: „Die lang umstrittene Frage des Übergangsbogens ist damit grundsätzlich gelöst.

Man kann künftig die Gleisbogen so gestalten, daß die Fahrzeuge in ihnen keine Stöße mehr erleiden. Das konnte man bisher nicht.

Die bisherigen Vorschriften der Bahnverwaltungen über die Gestaltung der Gleisbogen, die sich auf die kubische Parabel beziehen, sind damit überholt und bedürfen einer Neufassung.“

Zunächst ist zu sagen, daß das Wesen der kubischen Parabel $y = \frac{x^3}{6lr}$ mit den einfachen geometrischen Beziehungen

nach Gl. 10) und 11) schon bisher vollkommen geklärt war. Was das Verhältnis des Nalenz-Höfer-Verfahrens zur Form des Übergangsbogens anlangt, so bestanden in dieser Hinsicht überhaupt nie Zweifel. Warum die kubische Parabel überholt sein soll, wenigstens soweit das Absteckungsverfahren in Frage kommt, ist daher nicht ohne weiteres verständlich. Im Gegenteil würden bei allgemeiner Einführung der neuen Form die trigonometrische Lage der Kreisbögen zueinander (Gerade: $r_1 = \infty$) verwickelter werden und die einfache Vorstellung vom Wesen des Übergangsbogens würde sehr leiden.

Etwas anderes ist es, ob mit der neuen Form das dynamische Verhalten der Fahrzeuge im Übergangsbogen so gebessert würde, daß der Erfolg die verwickelteren Berechnungsverhältnisse für die trigonometrische Absteckung, wie auch für das Schrammsche Verfahren rechtfertigen. Dies muß bezweifelt werden.

Sowohl hinsichtlich der Übergangsbogen, deren Längen bei gleicher Bogenverschiebung f auf die $\sqrt{2} = 1,41$ fache Länge gebracht werden können, als auch hinsichtlich der Übergangsbogen, die bei gleichen Längen nur mit der halben Bogenverschiebung f auskommen, ergeben sich keine Änderungen, die mit Bezug auf die vorausgeschauten Wirkungen stark augenfällig wären.

Z. B. weicht bei den von Dr. Petersen im genannten Aufsatz gebrachten zwei Beispielen der normale Bogen (1) vom neuen Bogen (1,41 . 1) auf 200 m Länge nur um 71 mm, bzw. nur um 20 mm ab. Dabei ist die Abweichung von 71 mm noch unter der Voraussetzung berechnet, daß der normale Übergangsbogen $l = \frac{200}{\sqrt{2}} = 141$ m beträgt, gegenüber einem

Soll von nur 90 m. Es wird nur wenige Gleisbauer geben, die solchen geringfügigen Abweichungen, die sich auf größere Längen ausgleichen, besondere dynamische Wirkungen zuzuschreiben gewillt sind, zumal die neuen Übergangsbogen gerade in ihrem empfindlichen Teil, nämlich am Bogeneinlauf, von der bisherigen Form kaum abweichen. Meines Erachtens spielen die vorgeschlagenen Richtungsverbesserungen, die im Zusammenhange mit entsprechenden Änderungen der Überhöhungen den Erfolg bringen sollen, schon im Vergleich damit, daß die erforderlichen Überhöhungen an sich nur $\frac{8v^2}{r}$ betragen, statt $\frac{11,8v^2}{r}$, wie es die dynamischen Verhältnisse erforderten, eine untergeordnete Rolle. Es scheint fast so, als seien bei der Eleganz der Schrammschen Arbeitsweise die Auswirkungen auf die Gleislage erheblich überschätzt

worden. Die neuen Parabeln sind doch nicht mit den alten, verbesserungsbedürftigen Übergangsbogen zu vergleichen, sondern mit denen, die nach den Oberbauvorschriften der Deutschen Reichsbahn vom 1. Januar 1928 auszuführen sind. Für diese aber steht fest, daß sie sich bei guter Lage stoßfrei befahren, woraus wiederum zu schließen ist, daß sowohl die vorgeschriebenen Längen der Übergangsbogen, wie auch der Verlauf der Winkeländerungen bei den Drehungen der Fahrzeuge um die waagerechte und lotrechte Achse allen Anforderungen genügen. Wenn gleichwohl in Übergangskurven öfters Stöße zu verspüren sind, so ist das nur ein Beweis für die unvorschriftsmäßige Lage der Übergangsbogen, oder dafür, daß die alten Formen der Übergangsbogen noch vorhanden sind. Das beweisen die Ergebnisse der Meßwagenfahrten immer wieder. Auch die von Dr. Petersen geforderte Fahrzeit durch die Übergangsbogen von 3,6 Sek. ist nach der Vorschrift in allen Fällen gewahrt.

Nach Schramm soll nun weiter, wie schon bemerkt, der Erfolg der neuen Übergangsbogen nicht allein durch die Richtungsänderung, sondern auch durch entsprechende Änderung der Überhöhungen in den Übergangsbogenrampen erzielt werden, so daß künftig die Überhöhungsrampen in Form einer Raumkurve auszugestalten wären. Über diesen Vorschlag ließe sich reden. Er könnte jedoch ohne weiteres auch für die z. Z. vorschriftsmäßige Form der Übergangsbogen angewendet werden, da sich die Schrammschen Übergangsbogen mit dieser Form in der Praxis fast genau decken. Ich möchte aber für eine Abweichung vom bisherigen Gebrauch aus folgenden Gründen nicht eintreten.

Wenn man nämlich die Ausrundungen am Fuße und am Kopfe der Überhöhungsrampen nach Geschwindigkeiten abstuft, etwa so, daß die Ausrundungshalbmesser $0,70 v^2$ am Fuße (konkav) und $1,05 v^2$ am Kopfe (konvex) betragen, so machen die Ausrundungslängen für die Regelübergangsbogenlängen 1

$$l = \frac{8v^2}{r} \cdot \frac{n}{1000} = \frac{8v^2}{r} \cdot \frac{12,5v}{1000}$$

oder

$$19) \dots \dots \dots l = \frac{v^3}{10r} \quad (\text{für } n = 12,5v)$$

im Bereiche der Rampen nur einen verschwindend geringen Betrag der gesamten Übergangsbogenlängen aus. Z. B. treffen auf die Ausrundungen bei $r = 1000$ m, $v = 120$ km/h,

$$n = 120 \cdot 12,5 = 1500 \text{ für } l = 172 \text{ m nur } t_1 = 0,70 v^2 \cdot \frac{1}{2 \cdot 1500}$$

$$= \text{rund } 3,5 \text{ m und } t_2 = 1,05 v^2 \cdot \frac{1}{2 \cdot 1500} = \text{rund } 5 \text{ m und bei}$$

$$r = 300 \text{ m, } v = 65 \text{ km, } n = 65 \cdot 12,5 = 810 \text{ für } l = 92 \text{ m, nur}$$

$$t_1 = 0,70 v^2 \cdot \frac{1}{2 \cdot 810} = \text{rund } 2 \text{ m und } t_2 = 1,05 v^2 \cdot \frac{1}{2 \cdot 810} =$$

rund 3 m. Außerdem reichen die Ausrundungslängen aus, um für alle Geschwindigkeiten den Übergang von der Geraden auf die Rampe und den Übergang von der Rampe in die Kreisbogen während der gleichen sekundlichen Zeit je für Fuß und Kopf der Rampe zu gewährleisten.

Es ist daher nicht einzusehen, warum das bisher einfache Gebilde des Übergangsbogens, dessen Richtung und dessen Rampe (wegen des geradlinigen Verlaufes) auch von unteren Bediensteten so leicht zu überprüfen ist, durch Umgestaltung zu einer Raumkurve zu einem höchst verwickelten Gleisgebilde gemacht werden soll. Man lasse es bei dem ursprünglichen, einfacheren Nalenz-Höfer-Verfahren und bei der älteren Schrammschen Arbeitsweise.

Was nun weiter die Anwendung des Schrammschen Vorschlages auf Übergangsbogen mit vorschriftsmäßigen Längen (OBV vom 1. Januar 1928) anlangt, so erscheint mir

die Anwendung des Verfahrens überhaupt bedenklich. Etwas Vollkommeneres, als der normale Übergangsbogen es bisher gewesen ist, kann dabei jedenfalls nicht entstehen, wenn die Bogenverschiebung f unter sonst ganz gleichen Verhältnissen auf die Hälfte abgemindert wird.

Allen, die mit Anpassungsarbeiten zu tun haben, ist bekannt, daß um die vorgeschriebenen Bogenverschiebungen f nicht heranzukommen ist und daß bei Abminderung der Maße f höchst unbefriedigende Ergebnisse erzielt werden, weil damit auch die Übergangsbogenlängen zu kürzen sind (etwa von HK auf H'K' in Abb. 3) und über die Übergangsbogenenden hinaus in der Praxis so etwas Ähnliches entsteht, wie die Schrammschen Kurven vierten Grades, die ja am

Einlauf und am Ende der Kurven mit den vorschriftsmäßigen Kurven fast zusammenfallen.

In Abb. 3 habe ich im Vergleich zum Übergangsbogen AC' einen Übergangsbogen der gleichen Länge, jedoch mit der halben Bogenverschiebung symmetrisch eingezeichnet. Es bedarf keiner weiteren Erklärungen, um zu erkennen, daß dieser Bogen mit dem Bogen AC' nicht gleichwertig sein kann, gleichgültig, ob man glaubt die dynamischen Wirkungen in diesem Bogen durch seine Gestaltung zu einer Raumkurve verbessern zu können und gleichgültig, ob man diesen Bogen nach dem vierten Grade oder nach einer anderen Regel krümmt, sofern man nur die Stetigkeit über die Punkte HIK hinweg wahrt.

Der Übergangsbogen im Eisenbahngleis.

Von Prof. Dr. Ing. E. h. Richard Petersen, Danzig.

Die Ausführungen der Herren Saller, Leisner und Hanke zu meinen Darlegungen im Org. Fortschr. Eisenbahnwes. 1932, Heft 22 begrüße ich als wertvolle Beiträge zur Frage des Übergangsbogens.

Von besonderer Bedeutung für diese Frage ist ferner der Deutsche Bericht*) zum Internationalen Eisenbahnkongreß in Kairo, Januar 1933. Der Kongreß befaßte sich mit der Frage, welche Bedingungen an die Fahrzeuge und an das Gleis bei hohen Geschwindigkeiten zu stellen sind. Der Deutsche Bericht stammt in dem Abschnitt, der die Fahrzeuge behandelt, von Baumann, Karlsruhe, in dem Abschnitt, der sich mit dem Gleis befaßt, von Jaehn, Berlin. Unter den erstatteten Berichten steht der Deutsche Bericht in seiner Gründlichkeit und seinen Folgerungen auf bemerkenswerter Höhe.

Zwei Aufgaben sind meines Erachtens scharf zu trennen:

1. Wie ist der Gleisbogen anzulegen, den ich beim Neubau einer Bahn für hohe Geschwindigkeiten möglichst vollkommen gestalten will?

2. Was kann ich tun, um einen vorhandenen, schlecht liegenden Gleisbogen in eine befriedigende Form zu bringen?

Nur mit der ersten Aufgabe habe ich mich im Org. Fortschr. Eisenbahnwes. 1932, Heft 22 eingehend befaßt, die zweite habe ich kaum gestreift.

Bezüglich der ersten Aufgabe freue ich mich, die Zustimmung von Saller und Hanke gefunden zu haben, in dem Aufsatz von Leisner finde ich keinen Widerspruch dagegen.

Die Entgegnungen dieser Herren beziehen sich auf die zweite Aufgabe.

Darin stimme ich ihnen ohne weiteres zu, daß man vorhandene schlechtliegende Gleisbogen nachträglich nur selten in die bestmögliche Form wird bringen können, weil dies ohne weitgehenden und kostspieligen Umbau des Unterbaues überhaupt nicht mehr möglich ist.

Auf diesem Gebiet liegen ferner sehr wertvolle, allerdings noch nicht der Allgemeinheit zugängliche Arbeiten von Niemann vor, der mir bestätigte, daß er mit meinen Vorschlägen für den Neubau von Bahnen ganz einverstanden sei, daß aber ihre blinde Anwendung auf den Umbau vorhandener Anlagen einen unverantwortlichen Kostenaufwand erfordern würde, und daß man wegen des Kostenaufwandes beim Umbau vorhandener Anlagen auf die vollkommene Lösung verzichten und sich mit einer einigermaßen befriedigenden Verbesserung begnügen müsse.

Indem ich diesen Gedankengängen zustimme, besteht über die grundsätzlichen Fragen meines Erachtens überhaupt keine Meinungsverschiedenheit mehr.

*) Monatsschrift der Internationalen Eisenbahnkongreßvereinigung 1932, Heft 11.

Auch halte ich es wohl für möglich, die theoretischen Vorteile des Übergangsbogens mit geschwungenem Krümmungsverlauf praktisch durch einen Übergangsbogen mit geradem Krümmungsverlauf zu erreichen, wenn man diesen entsprechend länger machen kann.

Die große Bedeutung des Schrammschen Verfahrens liegt meines Erachtens darin, daß man auf ganz einfache Weise jeden beliebigen gewünschten Krümmungsverlauf, sei er geradlinig, sei er geschwungen, sei er nach irgend einem Gesetz für die Drehbeschleunigung der Lokomotive um ihre senkrechte Achse gestaltet, in einer Länge herstellen kann, die den höchsten Anforderungen entspricht, die überhaupt gestellt werden können.

Nur darum handelte es sich in meiner Arbeit.

Daß man den Gleisbogen nach Lage und Höhe durch Festpunkte vermarken muß, die nicht zu weit auseinander liegen, ist eine Erkenntnis, die allerdings etwas spät Anerkennung gefunden hat und anscheinend auch noch nicht allgemein durchgedrungen ist.

Diese Vermarkung ist bei Gleisen für hohe Fahrgeschwindigkeiten notwendig, um die Unterhaltung der richtigen Gleislage sicherzustellen. Gleichgültig aber ist es bezüglich des Arbeitsaufwandes für die Herstellung dieser Vermarkung, nach welchem Gesetz der Gleisbogen gekrümmt ist.

Wenn der Bahnmeister damit nicht fertig wird, nun so wird ein Landmesser das schon machen. Gewiß kostet eine dichte Vermarkung, ihre Erhaltung und Überprüfung Geld. Aber ich glaube, daß dieser Aufwand sich durch bessere und leichtere Unterhaltung bald bezahlt macht.

Saller beanstandet meine Forderung, daß die Länge l des (vollkommenen) Übergangsbogens in Meter mindestens gleich der Fahrgeschwindigkeit in km/h sein soll

$$l \text{ [m]} = V \text{ [km/h]}.$$

Sie ist entwickelt aus der Pendelschwingung des Schwebewagens und bedeutet, daß die Fahrzeit durch den (vollkommenen) Übergangsbogen (bei geschwungenem Krümmungsverlauf) mindestens

$$t \geq 3,6 \text{ Sek.}$$

betragen sollte.

Jaehn beziffert die Fahrzeit durch den Übergangsbogen mit

$$t = 4,32 \text{ Sek. als gut und mit}$$

$$t = 2,59 \text{ Sek. als untere Grenze.}$$

Entwickelt sind diese Zahlen von Jaehn aus den Untersuchungen von Baumann über die Drehbeschleunigung der Lokomotiven um ihre senkrechte Achse besonders beim Auslauf aus dem Bogen unter Zugrundelegung einer geraden Überhöhungsrampe (vergl. nebenstehende Fußnote).

Somit ist Jaehn auf einem ganz anderen Wege zu einem ähnlichen Ergebnis gekommen wie ich.

Die Schwingungszeiten des Wankens der Lokomotiven und Wagen, die Saller anführt, haben meines Erachtens mit dieser Frage wenig zu tun.

Dagegen stimme ich Saller zu, daß man die Übergangsbogen auch kürzer machen kann, wenn es nicht anders geht, ohne daß die Fahrt deshalb schlecht oder gefährlich wird.

Andererseits erkenne ich den Einwand gegen größere Längen der Übergangsbogen, daß die Absteckung und die Erhaltung der Lage schwieriger sei, nicht an.

Der Unterschied im Arbeitsaufwand für die Berechnung und Absteckung spielt überhaupt keine Rolle, und unter Voraussetzung einer genügend dichten Vermarkung, die doch nötig ist, ist es wiederum für die Verlegung des Gleises und für die Erhaltung der Gleislage gleichgültig, nach welchem Gesetz der Bogen gekrümmt ist.

Auch wird die Verdrückung des Gleisbogens durch den Betrieb um so kleiner, je vollkommener der Übergangsbogen ist, und je kleiner infolgedessen die verdrückenden Kräfte sind.

Auf die Ausführungen Leisners bezüglich der Evolvententheorie einzugehen, möchte ich mir versagen. Die Evolvententheorie ist durch das einfachere und elegantere Winkelbildverfahren von Schramm erledigt. Allerdings ist das Verfahren nach Schramm, wenn man es zeichnerisch durchführt, das gleiche, wie das Verfahren von Höfer, dessen Bedeutung für die vorgenannte zweite Aufgabe, die Verbesserung vorhandener Gleisbogen, durch Schramms neue Begründung nicht herabgesetzt, sondern im Gegenteil gehoben wird.

Ich würde es sehr bedauern, wenn jemand aus meinem Aufsatz eine Herabsetzung der großen Leistung Höfers herausgelesen haben sollte. Es ist doch die Regel, daß große neue Gedanken erstmalig noch nicht in der einfachen Form erscheinen, in der die Nachwelt sie später übernimmt.

Den übrigen theoretischen Ausführungen Leisners stelle ich in Abb. 1 und 2 die Berechnung eines Übergangsbogens mit geradem Krümmungsverlauf nach Schramm und in Abb. 3 und 4 die Berechnung eines Übergangsbogens mit geschwungenem Krümmungsverlauf nach Schramm entgegen.

Ich überlasse das Urteil darüber, ob die Lösung von Schramm oder die von Leisner einfacher und besser ist, gern dem Leser. Auch hier gilt das Wort: Das Bessere ist des Guten Feind.

In Abb. 1 und 2 ist der halbe Übergangsbogen von $x = 0$ bis $x = a$ die alte kubische Parabel, brauchbar bis etwa $\beta \sim 6^\circ$.

Die Lösung nach Schramm erlaubt, diesen Übergangsbogen über den vierfachen Winkel der Endtangente zu erstrecken.

Bei der alten kubischen Parabel war das Verhältnis der möglichen Übergangslänge l zum Halbmesser r

$$\frac{l}{r} \sim 0,2$$

nach der Lösung von Schramm wird

$$\frac{l}{r} \sim 0,8$$

und wenn man berücksichtigt, daß eine kleine Abweichung vom beabsichtigten Krümmungsverlauf in der Mitte des Übergangsbogens nichts schadet, wenn nur die Anschlüsse an den Enden richtig sind, so ergibt sich nach Schramm als möglich

$$\frac{l}{r} \sim 1,0.$$

Und wenn die Schrammsche Lösung nichts weiter gebracht hätte als dieses Ergebnis, so wäre damit schon die große bisher nicht gelöste Aufgabe erfüllt, einen vollbefriedigenden Übergangsbogen von ausreichender Länge herstellen zu können.

Dieses Ergebnis, als Ergänzung zu der Arbeit von Jaehn hinzugefügt, würde alle billigen Anforderungen erfüllen, die an ein Gleis für hohe Geschwindigkeiten zu stellen sind.

Aber man kann es noch besser machen.

Der geschwungene Krümmungsverlauf nach Abb. 3 und 4 ergibt eine noch ruhigere Fahrt der Lokomotiven und Fahrzeuge.

Wenn die Querverschiebungen am Anfang und Ende dieses Übergangsbogens auch nur Bruchteile von mm betragen

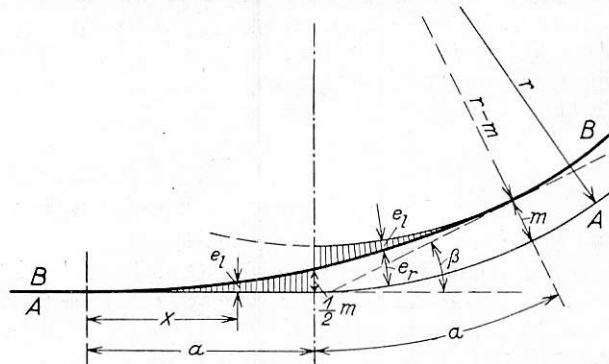


Abb. 1. Grundriß nicht maßstäblich.

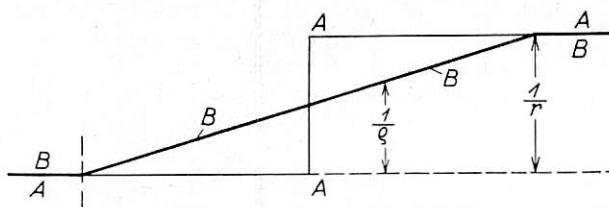


Abb. 2. Krümmungsbild der Bogen A und B.

Abb. 1 und 2. Übergangsbogen mit geradem Krümmungsverlauf nach Schramm.

Der Bogen B—B mit dem Krümmungsverlauf nach Abb. 2 wird gefunden durch Querverschiebung des Bogens A—A, der aus der Anfangsgeraden und dem anschließenden Kreisbogen mit dem Halbmesser r besteht.

Die Längen x und a werden auf dem Bogen A—A gemessen.

Die Berechnung des Übergangsbogens geschieht nach folgenden Gleichungen:

$$m = \frac{a^2}{6r}.$$

$$\text{Für } x = 0 \text{ bis } x = a \text{ ist } e_1 = \left(\frac{x}{a}\right)^3 \cdot \frac{m}{2},$$

$$\text{für } x = a \text{ bis } x = 2a \text{ ist } e_r = m - e_1,$$

wobei e_1 in dem gleichen Abstand links von der Mitte zu nehmen ist, wie e_r rechts davon liegt.

Am Ende des Übergangsbogens ist $\beta_{2a} = \frac{a}{r}$ (im Bogenmaß),

in der Mitte des Übergangsbogens ist $\beta_a = \frac{a}{4r}$ (im Bogenmaß)

$$\text{oder } \beta^0 = \beta \cdot \frac{180^\circ}{3,14} \text{ (im Gradmaß)}$$

gültig bis $\beta_{2a}^0 \sim 30^\circ$ oder bis $a \sim 0,5r$.

und damit die bei der Ausführung unvermeidbare Fehlergrenze nicht erreichen, so ist das doch nur ein Beweis dafür, wie fein der Übergang sich vollzieht.

Nicht gleichgültig ist es aber, ob die bei der Ausführung unvermeidlichen Ungenauigkeiten um eine theoretisch vollkommene oder um eine theoretisch mangelhafte Linie herumspielen. Allerdings ist die Herstellung und Erhaltung der geschwungenen Überhöhungsrampe ein bißchen umständlicher als bei der geraden Rampe. Ob aber dieses Mehr an Arbeit so groß ist, daß man deswegen auf die bessere Form verzichten wird, kann nur der Versuch entscheiden. Mit Erörterungen auf dem Papier löst man diese Frage nicht.

Die Deutsche Reichsbahn-Gesellschaft hat dankenswerterweise Versuche mit meinen Vorschlägen eingeleitet.

Die Berechnung dieser Übergangsbogen mit geschwungenem Krümmungsverlauf ist, wie Abb. 3 und 4 zeigen, ebenso einfach wie beim Bogen mit geradem Krümmungsverlauf.

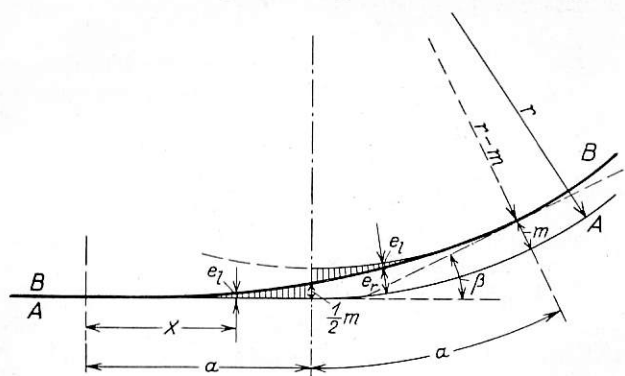


Abb. 3. Grundriß nicht maßstäblich.

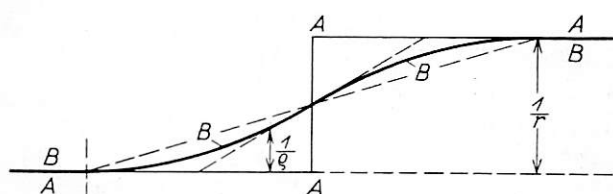


Abb. 4. Krümmungsbild der Bogen A und B.

Abb. 3 und 4. Übergangsbogen mit geschwungenem Krümmungsverlauf nach Schramm.

Der Bogen B—B mit dem Krümmungsverlauf nach Abb. 4 wird gefunden durch Querverschiebung des Bogens A—A, der aus der Anfangsgeraden und dem anschließenden Kreisbogen mit dem Halbmesser r besteht.

Die Längen x und a sind auf dem Bogen A—A zu messen.

Die Berechnung des Übergangsbogens geschieht nach folgenden Gleichungen:

$$m = \frac{a^2}{12r}$$

$$\text{Für } x=0 \text{ bis } x=a \text{ ist } e_1 = \left(\frac{x}{a}\right)^4 \cdot \frac{m}{2},$$

$$\text{für } x=a \text{ bis } x=2a \text{ ist } e_r = m - e_1,$$

wobei e_1 in dem gleichen Abstand links von der Mitte zu nehmen ist, wie e_r rechts davon liegt.

Am Ende des Übergangsbogens ist $\beta_{2a} = \frac{a}{r}$ (im Bogenmaß),

in der Mitte des Übergangsbogens ist $\beta_a = \frac{a}{6r}$ (im Bogenmaß),

$$\text{oder } \beta^0 = \beta \cdot \frac{180^0}{3,14} \text{ (im Gradmaß)}$$

gültig bis $\beta_{2a}^0 \sim 45^0$ oder bis $a \sim 0,75 r$.

Ist der Winkel der Tangente gegen die Anfangsgerade in der Mitte des Übergangsbogens $\beta = 5^0, 6^0, 7\frac{1}{2}^0$, so wird die größte Abweichung*) der

wirklichen Krümmung $\frac{1}{\rho}$ von der geplanten in der Mitte des Übergangsbogens

$$= \frac{1}{\rho} (1 - \cos^3 \beta) = 1,1, 1,6, 2,5 \%$$

der geplanten Krümmung $\frac{1}{\rho}$.

Das ist eine überraschend hohe Genauigkeit.

*) Org. Fortschr. Eisenbahnwes. 1932, Heft 22, S. 418.

Der Winkel der Tangente am Ende des Übergangsbogens gegen die Anfangsgerade wird

bei geradem Krümmungsverlauf $\beta =$	20°	24°	30°
bei geschwungenem Krümmungsverlauf	30°	36°	45°.

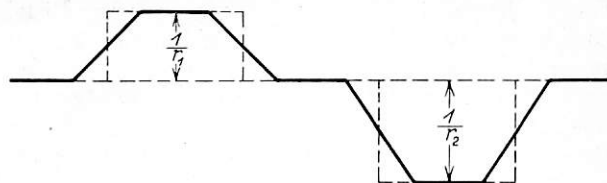


Abb. 5.

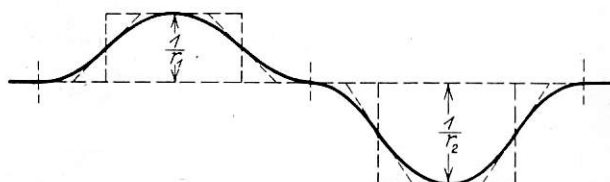


Abb. 6.

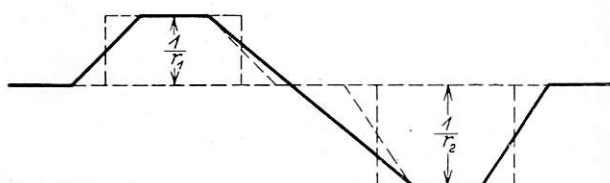


Abb. 7.

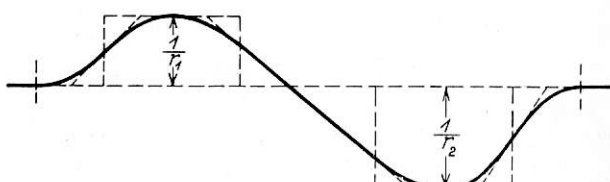


Abb. 8.

Abb. 5 bis 8. Krümmungsbilder von Gegenbogen.

Aufgaben, die einen größeren Winkel zwischen den Endtangente eines Übergangsbogens erfordern könnten, kommen im Fernbahngleis überhaupt nicht vor.

Bei Stadtschnellbahnen und bei Straßenbahnen genügen diese Winkel den höchsten Anforderungen, die überhaupt gestellt werden können.

Auch mit Bezug auf die Drehbeschleunigung der Lokomotive um ihre senkrechte Achse halte ich die Lösung nach Abb. 3 und 4 für die beste, die überhaupt denkbar ist.

Eine Einschränkung kann diese Auffassung bei einfachen Richtungswechseln nur dann erfahren, wenn die Übergangsbogen möglichst kurz gemacht werden müssen. Dann muß man den Krümmungsverlauf nach Abb. 1 und 2 nehmen, damit die zulässige Höchstneigung der Überhöhungsrampe nicht überschritten wird.

Bei Gegenbogen ist der heute übliche Krümmungsverlauf nach Abb. 1 und 2 in Abb. 5 dargestellt. Er ist nicht gut. Abb. 6 zeigt einen Krümmungsverlauf nach Abb. 3 und 4. Auch dieser geschlängelte Krümmungsverlauf ist nicht gut. Wesentlich besser ist der Krümmungsverlauf nach Abb. 7. Er ist rechnerisch genau so einfach wie in Abb. 1 und 2 zu lösen. Noch besser ist der Krümmungsverlauf nach Abb. 8, der rechnerisch etwas umständlicher, zeichnerisch einfach zu lösen ist. Die erforderliche Länge dieses Übergangsbogens ergibt sich aus der zulässigen steilsten Neigung der Überhöhungsrampe.

In den beiden letzten Fällen, Abb. 7 und 8, muß die bisher übliche Zwischengerade wegfallen. Der Über-

höhung der Außenschiene im ersten Bogen folgt zweckmäßig eine Absenkung der Innenschiene im zweiten Bogen derart, daß die Änderung der Querneigung des Gleises durch Änderung der Höhenlage der einen Schiene erreicht wird, während die andere Schiene in der Höhenlage unverändert durchläuft.

Bei großen Halbmessern wird man in der Regel mit der Anordnung nach Abb. 7 gut auskommen, bei kleinen Halbmessern, besonders bei Stadtschnellbahnen, ist der bessere Verlauf nach Abb. 8 schon der Mühe einiger Mehrarbeit wert.

Den wertvollen Ausführungen von Hanker über diese Frage stimme ich zu.

Als Gesamtergebnis dieser Erörterungen möchte ich feststellen:

1. Bei neu zu erbauenden Bahnen für hohe Geschwindigkeiten werden die Untersuchungen von Baumann und Jaehn (siehe die Fußnote S. 353), ergänzt durch das Winkelbildverfahren von Schramm zu einer Lösung (im allgemeinen rechnerisch) führen, die den höchsten Anforderungen vollkommen entspricht. Offen ist dabei nur noch die Frage,

wie steil die Neigung der Überhöhungsrampe mit Rücksicht auf die Federverdrückung und die Verwindung der Fahrzeuge auf dem windschiefen Gleis genommen werden darf. Die Drehbeschleunigung der Lokomotive um die senkrechte Achse spielt bei geschwungenem Krümmungsverlauf keine Rolle mehr. Ich möchte eine Neigung 1:400 noch für zulässig halten.

2. Bei der Verbesserung vorhandener schlechtliegender Gleise ist diese vollkommene Lösung im allgemeinen nicht erreichbar, weil die erforderlichen Querverschiebungen der vorhandenen Gleise zu kostspielige Umbauten des Unterbaues erfordern würden. Den Vorschlägen von Niemann, die dahin zielen, die Lage des Bogens so weit zu verbessern, als es ohne übermäßigen Kostenaufwand möglich ist, stimme ich zu. Jedenfalls ist gegenüber dem heutigen Zustand in der Regel eine beträchtliche Verbesserung möglich.

Für die Lösung dieser zweiten Aufgabe kommt ausschließlich das zeichnerische Verfahren nach Höfer in Betracht, das durch die Schrammsche Theorie an Verständlichkeit bedeutend gewonnen hat.

Winkelbildverfahren und Gleisbogengestaltung.

Von Reichsbahnrat Dr. Ing. Gerhard Schramm, Mannheim.

Im folgenden sollen einige Betrachtungen angestellt werden über die Frage des Winkelbildverfahrens und der Gleisbogengestaltung. Es liegt dabei im Interesse der Sache, die folgenden Punkte scharf auseinanderzuhalten: A. das Winkelbildverfahren, und zwar 1. die Theorie, 2. die Anwendung; B. die zweckmäßige Gestaltung der Gleisbogen, 1. einfache Bogen, 2. Gegenbogen.

A. Das Winkelbildverfahren.

1. Zur Theorie des Verfahrens.

Das Verfahren kann ausreichend sowohl mittels Evolventen nach Höfer¹⁾ begründet werden, als auch mit der Winkelbildtheorie des Verfassers²⁾, deren Grundlage die beiden folgenden Gleichungen bilden. Aus Abb. 1 kann man unmittelbar ablesen:

$$\Delta e = \delta \cdot \Delta l \dots\dots\dots 1)$$

Hieraus folgt:

$$e = \Sigma \delta \cdot \Delta l \dots\dots\dots 2)$$

oder

$$e = \int \delta \cdot dl \dots\dots\dots 2a)$$

Damit ist das Verfahren grundsätzlich gegeben. Mir scheint eine Ableitung, die noch einfacher ist und noch weniger voraussetzt, nicht gut denkbar zu sein. (Vgl. die Evolventengleichungen von Leisner.) Es ist nicht einzusehen, warum man diese einfache Sache [Gl. 1), 2)] durch Hineintragen des Evolventenbegriffes unnötigerweise künstlich verwickelt machen soll.

Die Bemerkung von Leisner, daß das Verfahren im allgemeinen Falle Spiralen liefert, ist richtig. Hierfür ein einfaches Beispiel:

Als Standlinie sei ein genauer Kreisbogen $\bar{B}_1$ gegeben; seine Bildlinie (Winkelbild) sei die Gerade B_1 in Abb. 2a. Wählt man als Entwurf die Gerade B , die zu B_1 parallel ist, so ergibt sich als Summenlinie (Abb. 2b) eine Gerade S . Der neue Bogen $\bar{B}$ entsteht nun, indem man diese geradlinig veränderlichen Ordinaten e der Summenlinie von der kreis-

förmigen Standlinie $\bar{B}_1$ aus abträgt, und das Ergebnis ist infolgedessen statt eines Kreisbogens genau eine archimedische Spirale:

$p = R + A \cdot \varphi \dots 3)$
Sind Bildlinie und Entwurf zwei gegeneinander geneigte Gerade, so erhält man eine quadratische Spirale von der Form:

$p = R + A \cdot \varphi + B \cdot \varphi^2 \dots 3a)$
(p = Polarkoordinaten - Leitstrahl, A und B = Konstante). Sind die Winkeldifferenzen δ zwischen der Standlinie und dem neuen Bogen (s. Abb. 1)

klein ($\delta \lesssim 0,11 \approx 6^\circ$), eine Forderung, die eine Voraussetzung für die Anwendung des Verfahrens ist und die in allen

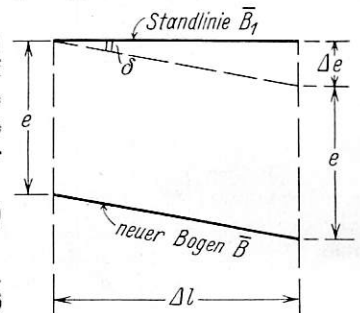


Abb. 1.

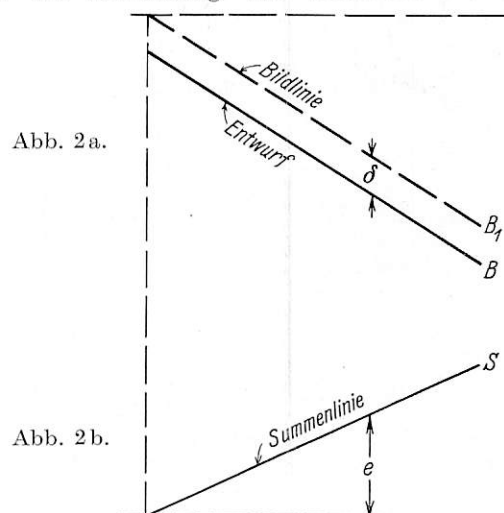


Abb. 2a. Winkelbild.

Abb. 2b. Summenlinie.

¹⁾ S. Höfer: „Die Absteckung von Gleisbogen aus Evolventenunterschieden“, Berlin 1927.

²⁾ Siehe Org. Fortschr. Eisenbahnwes. 1932, Heft 22 und Org. Fortschr. Eisenbahnwes. 1934, Heft 16. (Die dort S. 337 stehende Bemerkung, daß die Benennung „Ausgleichverfahren“, zu „seltsam verschwommenen Vorstellungen“ Anlaß gegeben hat, hat Höfer leider mißverständlich auf sich bezogen. Die Bemerkung war gemünzt auf die vielen, die sich über das Verfahren ein Urteil erlauben, ohne seine Grundlagen und seine Anwendung zu kennen.)

praktischen Fällen ohne weiteres erfüllt werden kann, so weicht die Krümmung dieser Spiralen nur verschwindend wenig von der beabsichtigten Kreiskrümmung ($\frac{1}{R}$) ab, und man hat daher das Recht, von Kreisbogen statt von Spiralen zu reden.

2. Zur Anwendung des Verfahrens.

Benutzt man einen Gleisbogen als Standlinie, wählt man ferner die Bogenteilung genügend klein und konstant, so führt die Winkelbildtheorie genau zu der gleichen Anwendung, wie sie Höfer auf Grund der Evolvententheorie entwickelt hat³⁾.

Darüber hinausgehend hat der Verfasser auf Grund der Winkelbildtheorie gezeigt, wie das Verfahren sich nicht nur zeichnerisch, sondern auch analytisch handhaben läßt⁴⁾, und wie man jeden beliebigen Polygonzug als Standlinie benutzen kann⁵⁾. Dadurch ist das Verfahren für alle denkbaren Fälle des Bogenabsteckens anwendbar geworden (z. B. Abstecken von vorhandenen Festpunkten aus zur Berichtigung derselben, Abstecken von Straßen-, Fluß- oder Kanalstrecken usw.). Das Abstecken von einem Polygonzuge aus auf Grund von Pfeilhöhenmessung hat auch Chappellet behandelt⁵⁾. Dieser kennt jedoch nicht die Winkelbildarstellung der Bogen und seine Lösung auf rein rechnerischem Wege ist daher überaus umständlich und langwierig, während das

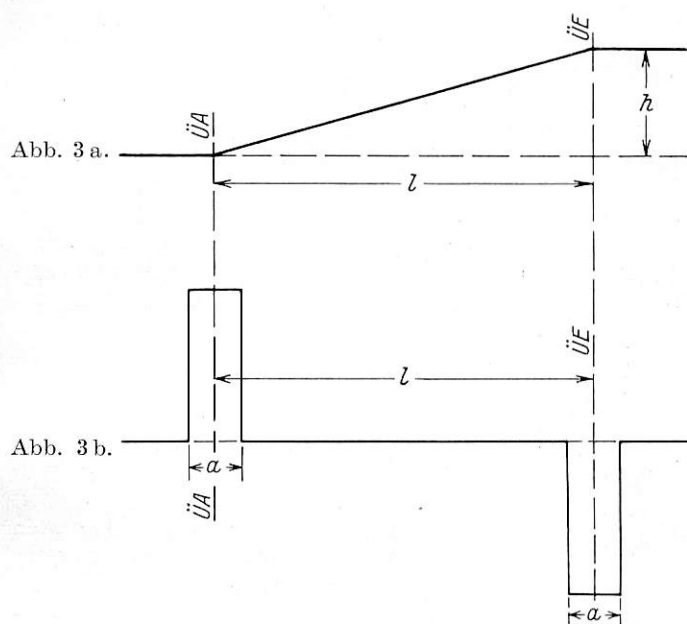


Abb. 3 a. Geradlinige Überhöhungsrampe.

Abb. 3 b. Hubbeschleunigung bei geradliniger Überhöhungsrampe.

Winkelbildverfahren viel besser und rascher zum Ziele führt (siehe Org. Fortschr. Eisenbahnwes. 1932, S. 424, Abb. 5a/b).

Der Kenner und Praktiker des Nalenz-Höfer-Verfahrens muß sich wundern, daß immer wieder noch, oft mit großem mathematischen Aufwande, Koordinatengleichungen zum Abstecken von Übergangsbogen, Korbbogen, Verbindungsbogen usw. abgeleitet und veröffentlicht werden. Denn all diese Parabeln, Klothoiden, Lemniskaten, Sinuslinien usw. sind doch von dem Augenblick an offenbar das Überflüssigste von der Welt, wo ein Verfahren zur Verfügung steht, das jeden beliebigen gewünschten Krümmungsverlauf abzustecken gestattet, und zwar mit nicht zu überbietender Genauigkeit³⁾ und mit geringstem Arbeitsaufwande, ohne Trigonometrie, ohne Kurvengleichungen, ohne umständliche Rechnungen und Tabellen und ohne elliptische Integrale. Genau dieses aber

³⁾ Vergl. Org. Fortschr. Eisenbahnwes. 1932, Heft 22, S. 424—425.

⁴⁾ „Der vollkommene Gleisbogen, seine Gestaltung als Kurve mit stetigem Krümmungsverlauf“, Berlin 1931; siehe auch Anmerkung 2).

⁵⁾ „Planmäßige Berichtigung einer Kurvenabsteckung durch Änderung der Pfeilhöhen“, Monatsschrift der Internationalen Eisenbahn-Kongreß-Vereinigung, 1931, S. 1077.

leistet das Nalenz-Höfer-Verfahren (Winkelbildverfahren). Die kubischen Parabeln, Sinuslinien usw. waren doch nicht Selbstzweck; sie sollten doch nur dazu dienen, einen bestimmten gegebenen Krümmungsverlauf in der Natur zu verwirklichen, und sie lieferten im allgemeinen nur mehr oder weniger gute Annäherungen an den gewünschten Krümmungsverlauf. Mittels des Nalenz-Höfer-Verfahrens dagegen kann man jeden beliebigen Krümmungsverlauf herstellen, ohne daß man sich überhaupt um die Kurvengleichungen, bezogen auf irgend welche Koordinaten, zu kümmern brauchte. Durch dieses Verfahren sind daher alle bisherigen Veröffentlichungen über das Abstecken von Bogen mit all den vielen Formeln und Tabellen völlig überflüssig geworden. Sich noch weiterhin mit den erwähnten Parabeln, Klothoiden usw. für Bogenabsteckungen zu befassen, ist daher genau das gleiche, als wenn man sich jetzt den Kopf zerbräche über Verbesserungen und Neukonstruktionen von Postkutschen, zu einer Zeit, wo die Eisenbahn, die rascher, billiger und sicherer fährt, längst zur Verfügung steht. Aber das Wissen um das Nalenz-Höfer-Verfahren scheint immer noch nicht genügend verbreitet zu sein; sonst hätte man längst die alten Verfahren und Vorstellungen beim Bogenabstecken über Bord geworfen. In dem kürzlich von der Reichsbahn herausgegebenen Lehrstoffheft für Vermessungskunde ist das Nalenz-Höfer-

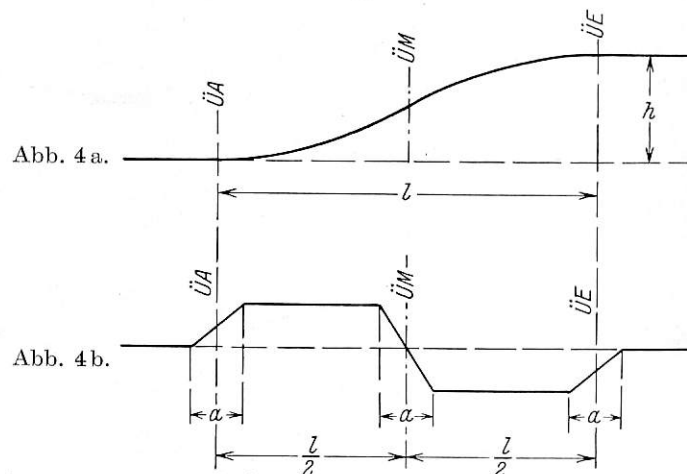


Abb. 4 a. S-förmig geschwungene Überhöhungsrampe.

Abb. 4 b. Hubbeschleunigung bei S-förmig geschwungener Überhöhungsrampe.

Verfahren überhaupt nicht erwähnt. Dagegen ist dort auf mehreren Seiten das Abstecken der Bogenkleinpunkte von End- und Hilfstangenten aus mit Hilfe der bekannten Kurventabellen behandelt. Niemand, der das Winkelbildverfahren beherrscht, wird beim Neubau von Bahnlinien die Bogenkleinpunkte zum Verlegen des Oberbaus auf diese Art abstecken; denn mit Hilfe des Winkelbildverfahrens⁶⁾ erhält man bei geringerem Arbeitsaufwande eine genauere Absteckung der Gleisachsen. Es wäre notwendig, daß die Lehranstalten — von den technischen Hochschulen herab bis zu den Eisenbahndienstfängerschulen — sich einmal des Verfahrens annähmen. Die Trigonometrie zum Abstecken von Bogen war einmal gut, solange man nichts Besseres hatte; sie ist durch Nalenz und Höfer genau so überholt worden, wie die Postkutsche durch die Eisenbahn.

Das Nalenz-Höfer-Verfahren (Winkelbildverfahren) hat dem Abstecken von Gleisbogen eine früher nicht geahnte Beweglichkeit und Leichtigkeit gegeben. Es ermöglicht, bei Linienverbesserungen die neuen Bogen je nach den Bedürfnissen und Möglichkeiten des vorliegenden Falles un-

⁶⁾ Vergl. den demnächst in der Z. Vermess.-Wes. erscheinenden Aufsatz „Das Winkelbildverfahren zum Abstecken von Bogen“.

mittelbar zu konstruieren, während die früheren rechnerischen Methoden im Vergleich dazu nur als ein Herumtappen im Dunkeln angesprochen werden können, bei dem man in schwierigen Fällen nur selten und mehr zufällig einmal die beste Lösung finden konnte.

B. Die zweckmäßige Gestaltung der Gleisbogen.

1. Einfache Bogen.

Grundsatz jeder Bogengestaltung ist: Die Krümmung $\frac{1}{R}$ muß proportional der Überhöhung ausgeführt werden (mathematisch gesprochen: Die Krümmungslinie muß zur Überhöhungslinie affin sein). Hat man sich daher für einen bestimmten Verlauf der Überhöhung entschieden, so liegt der Krümmungsverlauf und damit die Grundrißgestaltung eindeutig fest. Leisner dagegen sieht anscheinend die Gestaltung der Überhöhungslinie und der Krümmungslinie als Dinge an, die voneinander unabhängig sind; denn er schreibt, man könne eine Überhöhungsrampe nach Abb. 4a ausführen in Verbindung mit einer Krümmungslinie nach Abb. 3a. Das ist natürlich nicht angängig; denn ein Abweichen von dem

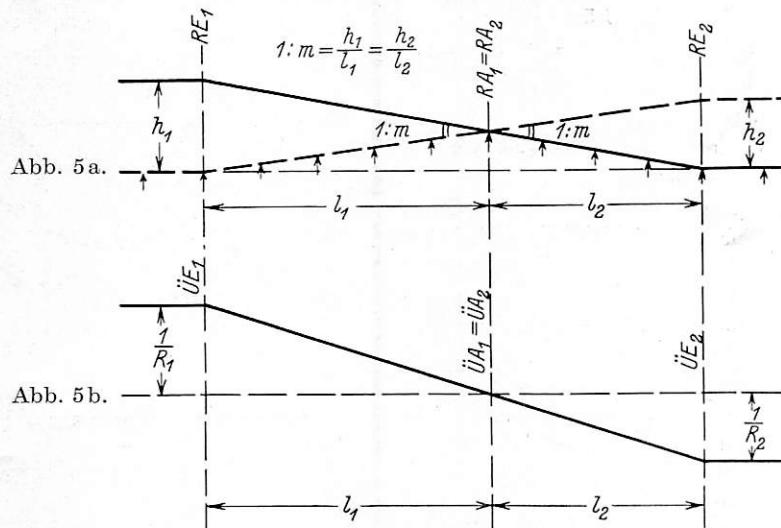


Abb. 5a. Stetige Rampengestaltung bei einer Gegenkrümmung.
Abb. 5b. Krümmungslinie.

angegebenen Grundsatz wäre allenfalls gelegentlich in Ausnahmefällen zulässig, keineswegs aber als Regel.

Die geradlinig ansteigende Überhöhungsrampe (Abb. 3a), die einen Übergangsbogen mit linearem Krümmungsverlauf bedingt, ergibt wohl hinsichtlich der Drehbewegung der Fahrzeuge um die senkrechte Achse befriedigende Verhältnisse: Die Dreh-Beschleunigung ist auf die Übergangsbogenlänge konstant und daher ein Kleinstwert. Weniger günstig ist diese Gestaltung aber hinsichtlich der Dreh-Beschleunigung der Fahrzeuge um die waagerechte Längs- und Querachse (Hub-Beschleunigung). Diese tritt nur am Übergangsbogenanfang und -ende auf und ist daher verhältnismäßig groß (Abb. 3b, a = Abstand der ersten von der letzten Fahrzeugachse). Man kann sie wohl dadurch ausreichend klein halten, daß man die geradlinige Rampe sehr flach macht; jedoch ist dies nur ein Umweg. Der unmittelbare Weg ist der, daß man die Rampe so gestaltet, daß die Hub-Beschleunigung bei gegebener Rampenlänge ein Kleinstwert wird. Diese Forderung führt zu der Rampe nach Abb. 4a, die schon früher vorgeschlagen worden ist⁷⁾. Bei ihr verteilt sich die Hub-Beschleunigung

auf die ganze Rampe und hat daher bei gegebener Rampenlänge einen Kleinstwert (Abb. 4b). Hat man sich für diese Rampengestaltung entschieden, so liegt nach dem Grundsatz „Krümmung proportional Überhöhung“ der Krümmungsverlauf, d. h. die Grundrißgestaltung, fest. Daß das Abstecken von Bogen mit einem derartigen Krümmungsverlauf auf der Grundlage des Winkelbildverfahrens keine Schwierigkeiten bereitet, ist vom Verfasser nachgewiesen worden⁴⁾.

Hierüber hinauszugehen wäre nur noch möglich, wenn man die Forderung aufstellte, daß nicht die Fahrzeugräder auf der Bahn nach Abb. 4a geführt werden sollen, sondern die Fahrzeugschwerpunkte⁸⁾. Diese Forderung dürfte jedoch eine Spielerei sein, der keine praktische Bedeutung mehr zukommt. Zu erwägen wäre allenfalls, ob man nicht bei der Herstellung der Überhöhung die äußere Schiene um das halbe Maß heben, die innere senken soll, wie dies bei manchen Verwaltungen üblich ist. Dadurch wird die Höhenlage der Fahrzeugschwerpunkte weniger verändert.

Gestatten die Geländeverhältnisse das Einrücken des bestehenden Bogens nur um ein gewisses Maß f , so erlaubt die Gestaltung der Krümmung nach Abb. 4a $\sqrt{2}$ mal so lange Übergangsbogen wie der geradlinige Krümmungszuwachs nach Abb. 3a. Daß dies ein Vorteil ist, dürfte schwerlich abzuleugnen sein; denn die bei der geraden Rampe auf Übergangsbogenlänge konstante Drehbeschleunigung um die senkrechte Achse tritt dann nur noch in Übergangsbogenmitte als Maximum auf, während die Hubbeschleunigung verschwindend klein wird. Diese Rampenform entspricht auch am besten den Anforderungen, die Heumann an die Gleisgestaltung gestellt hat im Hinblick auf die Entgleisungssicherheit der Fahrzeuge⁹⁾.

Den Einwand, daß es für die Praxis gleichgültig sei, ob man die Rampe nach Abb. 3a oder Abb. 4a ausführt, habe ich vorausgesehen und darüber früher Folgendes gesagt¹⁰⁾:

„Selbst wenn die Überhöhung nach einiger Zeit infolge des Betriebes nicht mehr genau dem beabsichtigten Verlaufe entspricht, so werden die Abweichungen nicht größer sein, als sie bei der jetzigen Gestaltung, mit beabsichtigtem geraden Verlaufe der Rampe, auch auftreten. Die Ausführung in dieser Weise (mit S-förmiger Rampe) würde auf jeden Fall eine bedeutende Verbesserung darstellen; denn praktisch ist die wirkliche Lage eines Gleises, sowohl im Grundriß wie auch im Aufriß, stets nur eine mehr oder weniger guten Annäherung an den beabsichtigten Zustand, sie wird aber — absolut genommen — um so besser sein, je mehr der beabsichtigte Zustand dem idealen entspricht.“

Ob und inwieweit dabei für den Bau und die Bahnunterhaltung Schwierigkeiten entstehen könnten, darüber kann, wie Petersen richtig bemerkt, allein die Erfahrung, der Versuch, Aufschluß geben. Für das Abstecken und die Bogenvermarkung entstehen jedenfalls keine Schwierigkeiten, und die Herstellung kann nicht schwieriger sein als das Ausrunden eines Neigungswechsels mit einem großen Halbmesser. Festpunktabstände von 10 bis 15 m werden in jedem Falle genügen.

2. Gegenbogen.

Daß Hanker die Frage des Gegenbogens angeschnitten hat, ist sehr zu begrüßen. Es scheint Hanker entgangen zu sein, daß sich meine früheren Ausführungen stets nur auf

⁸⁾ Vergl. Cherbuliez: „Die Gestaltung der Übergangs- und Verbindungsbogen in Eisenbahngleisen.“ Org. Fortschr. Eisenbahnwes. 1916, H. 22—23.

⁹⁾ Heumann: „Die Entgleisungsgefahr im Gleisbogen“, Ztg. Ver. mitteleurop. Eisenb.-Verw. 1932, Heft 43—44.

¹⁰⁾ „Der vollkommene Gleisbogen“, S. 4.

⁷⁾ Z. B. Franke, Org. Fortschr. Eisenbahnwes. 1899, S. 265; Hofmann, Org. Fortschr. Eisenbahnwes. 1911, S. 294; Petersen: „Die Gestaltung der Bogen im Eisenbahngleis“, Berlin 1920; Watorek, Org. Fortschr. Eisenbahnwes. 1907, Heft 9.

einfache Bogen, nicht auf Gegenbogen, bezogen. Nur für die erstgenannten habe ich die Gestaltung nach Abb. 4a als vollkommene bezeichnet. Den geeigneten Überhöhungs- und Krümmungsverlauf für Gegenbogen stellen selbstverständlich die Abb. 4 und 12 des Hankerschen Aufsatzes dar; denn dabei erfolgt die Drehung der Fahrzeuge von der einen Schräglage in die andere am stetigsten.

Praktisch ist die Frage der Gegenkrümmungen als geklärt anzusehen: Im Bezirke der Reichsbahndirektion Ludwigshafen liegen, teilweise schon seit 2½ Jahren, neun Gegenkrümmungen, die planmäßig (als Versuch) mit einem Rampen- und Krümmungsverlauf nach Abb. 5a/b ohne Zwischengerade ausgeführt worden sind und seitdem beobachtet werden. Es handelt sich um Gleise verschiedener Schienenformen, Halbmesser (zwischen 300 und 1000 m), Übergangsbogenlängen und Fahrgeschwindigkeiten bis zu 90 km/h.

Diese Gegenkrümmungen befahren sich ausgezeichnet, halten sich im Betriebe gut und beweisen, daß diese Gestaltung der Ausführung mit einer Zwischengeraden (Abb. 6) weit überlegen ist. Verbessern ließe sie sich allenfalls noch dadurch,

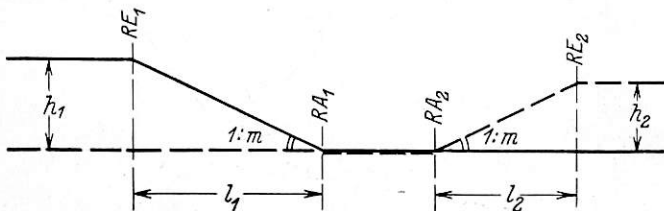


Abb. 6. Un stetige Rampengestaltung bei einer Gegenkrümmung.

daß man planmäßig Rampen und Krümmungslinie nach Abb. 4 und 12 von Hanker ausrundet, was mit Hilfe des Winkelbildverfahrens leicht geschehen kann⁶⁾. Damit hätte man dann wohl einen „vollkommenen“ Gegenbogen, d. h. einen solchen, bei dem es grundsätzlich nichts mehr zu verbessern gibt.

Die Stellung der Festpunkte bei den ausgeführten Gegenbogen ist in Abb. 5a durch die Pfeile angedeutet. Infolge dieser Anordnung braucht der Rottenmeister keineswegs umzulernen; denn die Festpunkte geben wie immer bisher einfach die Höhe des niederen Schienenstranges an. Daß es sich um eine von der bisherigen Regel abweichende Gestaltung handelt, braucht ihm überhaupt nicht zum Bewußtsein zu kommen.

Die Fahrzeugverwindungen bei solchen Gegenrampen nach Abb. 5a sind genau die gleichen wie in einer gewöhnlichen Rampe vom gleichen Neigungsverhältnis 1:m der beiden Schienen gegeneinander (hier scheint Hanker ein Versehen unterlaufen zu sein). Genügende Länge der Übergangsbogen ist jedoch erforderlich wegen der Drehbeschleunigung um die senkrechte Fahrzeugachse, also mit Rücksicht auf die dynamischen Verhältnisse. Hierfür dürfte aber die Bedingung der Technischen Vereinbarungen (§ 20/4):

$$l \geq 600 \cdot h \dots \dots \dots 4)$$

Reinigung der kubischen Parabel.

Von Dr. Ing. Bloss, Dresden.

Aus dem Beitrag von Prof. Dr. Petersen im vorliegenden Heft geht hervor, daß der Übergangsbogen mit geradlinigem Krümmungsverlauf in vielen Fällen weiterhin seine Berechtigung behält. Damit entsteht auch die Aufgabe, die kubische Parabel von den Schlacken zu befreien, die ihr bisher anhafteten. Es handelt sich sozusagen darum, die schöne Fehleruntersuchung, die Petersen im Org. Fortschr. Eisenbahnwes. 1932, Heft 22 veröffentlicht hat, zu einer Reinigung der kubischen Parabel zu verwerten.

Organ für die Fortschritte des Eisenbahnwesens. Neue Folge. LXX. Band.

vollauf genügen. Denn verbindet man bei einer Gegenkrümmung nach Abb. 5a/b mit Übergangsbogenlängen gemäß Gl. 4) die beiden Übergangsbogenpunkte, die je 15 m vom Wendepunkt entfernt liegen, geradlinig miteinander, so weicht der Bogen von dieser 30 m langen Geraden immer nur um wenige mm seitlich ab. Die Beschleunigungsverhältnisse um die senkrechte Fahrzeugachse können also keinesfalls schlechter sein als bei einer 30 oder 50 m langen Zwischengeraden; im Gegenteil, sie werden, da ja die frühere Zwischengerade für längere Übergangsbogen nutzbar wird, meist wesentlich besser sein.

Bei den Versuchsausführungen der RBD Ludwigshafen, die Rampenneigungen 1:m=1:700 und kleiner aufweisen, ist der Wechsel der Drehrichtung um die senkrechte Achse am Wendepunkte gar nicht merkbar; und da der Rampenverlauf am Wendepunkt stetig ist, so hat man überhaupt nicht das Gefühl, eine Gegenkrümmung zu durchfahren. Bei der Anordnung mit einer Zwischengeraden (Abb. 6) dagegen wird die gleichmäßige Drehung des Fahrzeuges um die waagerechte Längsachse durch die Zwischengerade gestört und damit künstlich eine Un stetigkeit in die Bogengestaltung hineingetragen. Dazu lehrt die Erfahrung, daß die vorgeschriebene Zwischengerade meist erkaufte werden muß durch Maßnahmen, die mit Rücksicht auf den ruhigen Lauf der Fahrzeuge und die Ausführungskosten nachteilig sind: verkürzte Übergangsbogen, verminderte Überhöhung, steilere Rampenneigungen, verkleinerte Bogenhalbmesser, große Seitenverschiebungen der Gleise und damit große Kosten.

Die Zwischengerade war einmal notwendig, als man noch keine Übergangsbogen einlegte, und aus jener Zeit stammt die betreffende Bestimmung der BO. Die Zwischengerade ist heute bei den langen Übergangsbogen im Hinblick auf einen sicheren und ruhigen Lauf der Fahrzeuge nicht nur überflüssig sondern schädlich, weil sie den mangelhaften Überhöhungsverlauf nach Abb. 6 bedingt¹¹⁾.

Wir haben oben gesehen, daß bei der Gestaltung nach Abb. 5a/b praktisch das Gleis im Bereich des Wendepunktes auf eine beträchtliche Länge so gut wie gerade ist; man sollte daher richtiger nicht von „Gegenkrümmungen ohne oder mit Zwischengerader“ sprechen, sondern statt dessen besser von Gegenkrümmungen „mit stetigen Rampen“ (Abb. 5a) und „mit un stetigen Rampen“ (Abb. 6). Eigenartigerweise verlangen nun die bestehenden Vorschriften die Gestaltung der Gegenbogen mit un stetigen Rampen und verbieten damit die richtige Gestaltung mit stetigen Rampen.

¹¹⁾ Eine ähnliche Beurteilung der Zwischengeraden findet man u. a. bei den folgenden Verfassern: 1. v. Borries, Org. Fortschr. Eisenbahnwes. 1905, S. 22 bis 23; 2. Petersen, „Die Gestaltung der Bogen im Eisenbahngleis“, Berlin 1920, S. 32; 3. Bräuning, „Die Grundlagen des Gleisbaues“, Berlin 1920, S. 104; 4. Hanker, Org. Fortschr. Eisenbahnwes. 1922, H. 20; 5. Schwanter, Verkehrstechnik 1929, H. 6 bis 7; 6. Chappellet, Monatsschr. d. Internationalen Eisenbahn-Kongreß-Vereinigung 1930, S. 3390 bis 3391; 7. Jaehn, Monatsschr. d. Internationalen Eisenbahn-Kongreß-Vereinigung 1932, S. 2218 bis 2219 und 2224 bis 2225.

Die Fehler gerieten in die kubische Parabel ja dadurch hinein, daß man den Übergangsbogen aus einer gewünschten Überhöhungsrampe mit einer angenäherten Differentialgleichung entwickelte. Man kam auf diesem Wege dazu, die Bogenlänge der kubischen Parabel ihrem Grundrißschatten gleichzusetzen. Ferner war der Blick viel zu starr auf den Bogenanfang des eingerückten Kreisbogens gerichtet. Da sollte der Übergangsbogen zur Hälfte in die Gerade, zur Hälfte in den Kreisbogen fallen, auch sollte er dort die Ein-

rückestrecke gerade halbieren. Aus alledem ergaben sich dann die Anschlußfehler am Ende des Übergangsbogens. Sie sind leicht zu beseitigen und sollten daher schon aus Gründen der Sauberkeit nicht geduldet werden.

Man kann nämlich die kubische Parabel auch durch Probieren gestalten. Man wird auf sie, wenn man bei der rechtwinkligen Koordinatengeometrie bleiben will, ohne Ableitung ja schon dadurch geführt, daß sie die einfachste Gleichung eines Übergangsbogens liefert. Wir benutzen dann die bisherigen Erfahrungen dazu, eine Gleichung der kubischen Parabel für jeden Krümmungshalbmesser des anschließenden Kreisbogens als gegeben anzunehmen. Diese kubische Parabel lassen wir aber nach ihrem Eigengesetze in reiner Form ausschwingen; wir haben dann nur noch dafür zu sorgen, daß an sie der Kreisbogen in der richtigen Endordinate mit der gleichen Tangentenrichtung und mit fehlerlosem Krümmungsmaße anschließt. Die Beurteilung der Überhöhungsrampe bildet den nachprüfenden Abschluß des ganzen Rechenverfahrens.

Das Verfahren sei an einem Beispiel dargestellt. Nach den Oberbauvorschriften der Deutschen Reichsbahn gehorcht der Übergangsbogen für den Halbmesser von 500 m der Gleichung

$$y = \frac{x^3}{360\,000}.$$

Für $x = 120$ m erhält man daraus nach der strengen Formel, d. h. ohne Vernachlässigung des ersten Differentialquotienten, den Krümmungshalbmesser am Ende des Übergangsbogens zu 510,8 m. Man kann sich nun durch einiges Probieren dem verlangten Werte von 500 m bis zu jeder gewünschten Genauigkeit nähern. Für $x = 123$ m erhält man aus der angenommenen Gleichung

die Endordinate $y = 5,169$ m,

die Endtangente $\frac{dy}{dx} = 0,1268$,

oder im Gradmaß $= 7^\circ 11' 16''$,

und den Krümmungshalbmesser am Ende des Übergangsbogens genau zu $r = 499,4$ m, was eine mehr als hinreichende Annäherung darstellt. Weiter ergibt sich für die geradlinige Überhöhungsrampe das Steigungsverhältnis 1:1071. Hierbei ist die Länge des Übergangsbogens zu 123,196 m nach der Formel

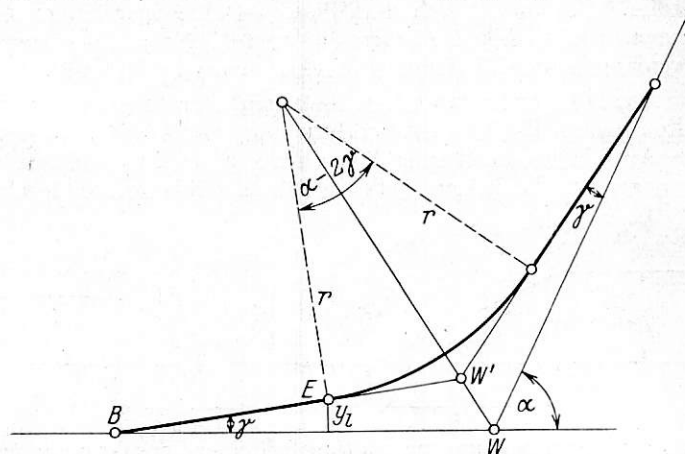
$$L = 1 \left(1 + \frac{1}{10} k l^4 - \frac{1}{72} k^2 l^8 + \dots \right)$$

berechnet, die im Org. Fortschr. Eisenbahnwes. 1931, Heft 3, S. 95 für die Bogenlänge der kubischen Parabel abgeleitet ist. Endlich hat man noch die Tangentenlänge am Ende des Übergangsbogens zu berechnen:

$$BE = y : \sin \gamma = 1 : 3 \cos \gamma.$$

Damit sind für diesen Fall alle Werte ermittelt, die für die Tafel der Übergangsbogen erforderlich sind. Das Maß, um das der Kreisbogen nach innen einzurücken ist, erscheint dabei überhaupt nicht mehr.

Hat man nun im Polygonzuge einer Linienabsteckung im Winkelpunkte W den Richtungswinkel α gemessen, so entfällt auf den reinen Kreisbogen noch der Zentriwinkel $(\alpha - 2\gamma)$. Die entsprechende Tangentenlänge — Strecke $W'E$ in der beistehenden Abbildung — wird somit $r \tan \left(\frac{\alpha}{2} - \gamma \right)$. Man kennt also in dem Dreieck $BW'W$ die Seite BW' und sämtliche Winkel, da man die Tangentenlänge BE und den Winkel γ aus der Tafel der Übergangsbogen entnehmen



kann. Löst man das Dreieck $BW'W$ nach dem Sinussatze auf, so erhält man die Strecke WW' und damit die Lage des Winkelpunktes W' für den reinen Kreisbogen. Ebenso gewinnt man die Strecke BW . Diese einfache Berechnung ist im Felde leicht durchführbar. Auch für die Vorarbeiten auf dem Papier wird man die kleine Mühe dieser Berechnung nicht scheuen dürfen. Damit ist die fehlerfreie Form des Übergangsbogens und des Kreisbogens gewonnen.

Nebenbei sei bemerkt, daß man nach diesem Verfahren auch längere Übergangsbogen fehlerfrei herstellen kann, als sie heute üblich und vorgeschrieben sind. Ebenso kann man den Übergangsbogen für Korbbogen leicht dadurch gewinnen, daß man aus einer passenden kubischen Parabel das Stück zwischen den Krümmungshalbmessern r_1 und r_2 heraus-schneidet. Der Kürze halber soll aber auf diese Verhältnisse hier nicht weiter eingegangen werden.

Die Forderung Petersens, daß die Vorschriften für den Übergangsbogen geändert werden sollten, läßt sich hiernach auch für die kubische Parabel erheben.

Geradliniger oder geschwungener Krümmungsverlauf im Übergangsbogen?

Von Heinrich Zangl, Reichsbahnoberrat in Nürnberg.

In dem Aufsatz „Der Übergangsbogen im Eisenbahngleis“ empfiehlt Prof. Dr. Petersen, sowohl dem Krümmungsbild des Übergangsbogens als auch der Überhöhungsrampe eine geschwungene Form (Parabeläste 0—1—2 und 2—3—4 in Abb. 1) zu geben, statt diese Linien, wie bisher vorgeschrieben, geradlinig ansteigen zu lassen (Gerade 0—2—4).

Ein Übergangsbogen für beispielsweise 900 m Halbmesser von 140 m Länge, dessen Krümmung hiernach gestaltet wäre, hätte sich in der Mitte, also in einer Entfernung von 70 m vom Übergangsbogenanfang, erst um eine Handspanne (23 cm) von der Richtung der an den Übergangsbogen anschließenden Geraden entfernt und besäße am letzten Viertel der Übergangsbogenlänge einen Halbmesser von 1029 m gleich dem 1,14fachen und am

letzten Achtel einen Halbmesser von 929 m gleich dem 1,03fachen Werte des Endhalbmessers. Er würde sich also in der ersten Hälfte von einer Geraden und im letzten Teil vom kreisförmigen Hauptbogen fast gar nicht unterscheiden. Seine ablenkende Wirkung würde sich in seinem mittleren Teil zusammendrängen (Abb. 2).

Als man den Übergangsbogen schuf, war man von dem Bestreben geleitet, den am Einlauf der übergangslosen Bogen auftretenden plötzlichen und gefährlichen Schwungimpuls zu beseitigen und auf eine längere Zeit und einen längeren Weg zu verteilen. Mit dem vorgeschlagenen neuen Übergangsbogen würde offensichtlich nur ein Mittelding zwischen einem Bogen ohne Übergang und einem anderen, der mit einem Übergangsbogen nach der Oberbauvorschrift der

Deutschen Reichsbahn ausgestattet wäre, geschaffen. Dieser neuformte Übergangsbogen hätte weiterhin die unangenehme Eigenschaft, daß er in seinem Gesamtverlauf, namentlich aber in seiner ersten Hälfte, gegen Fehlereinflüsse überempfindlich und noch schwerer herzustellen und zu erhalten wäre, als es der Übergangsbogen der heutigen Form an sich schon ist. Die Schwierigkeit der Erhaltung seines ordnungsmäßigen Zustandes wäre auch dann nicht behoben, wenn man seine Achse in dichtester Festpunktfolge vermarken wollte, weil die Feinheiten, auf denen das Wesen dieser Übergangsbogen beruht, unter der Einwirkung der Züge bald wieder verschwinden würden und weil man schwerlich genügend Zeit und Leute hätte, um sie ständig

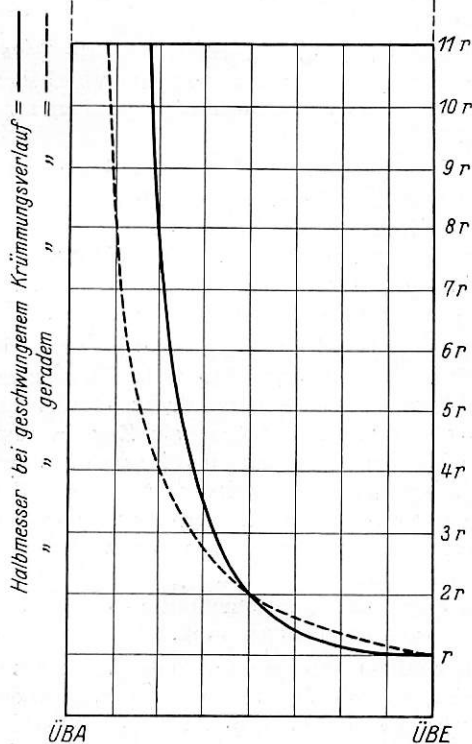
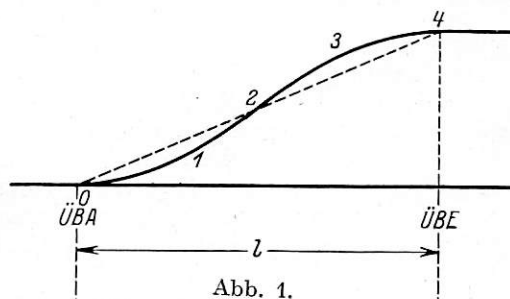


Abb. 2.

auf voller Höhe zu halten. Erst recht gilt dieses Urteil für die Anlage S-förmig geschwungener Überhöhungsrampen. Im günstigsten Fall, d. i. bei einer Überhöhung von 120 mm und einer Rampenlänge von 120 m würde die Rampeneinführung in der ersten und der Rampenbuckel in der zweiten Hälfte des Übergangsbogens nur 15 mm, also kaum die Dicke eines kleinen Fingers, betragen und zwar auf eine Meßlänge von je 60 m. In den Rampenvierteln würden diese Maße nicht einmal ganz 4 mm ausmachen. Niemand wäre im Stande, auf der ungleichmäßig gearteten grobkörnigen Bettung jemals eine dauerhafte Rampe von solcher Präzision herzustellen. Alles bliebe graue Theorie.

Ich kann mir nicht vorstellen, daß in beiden Vorschlägen eine — noch dazu gewaltige — Verbesserung liege und zwar um so weniger, als die Gedankengänge, die zu ihnen führten, anfechtbar sind.

Im vorletzten Absatz des ersten Abschnittes (S. 412) des Aufsatzes wird vorgeschlagen „den Verlauf der $1/\rho$ Krümmung nicht geradlinig, sondern entsprechend Abb. 10 nach einer geschwungenen Linie ähnlich dem Pendelschwingung des Schwebbahnwagens“ zu gestalten. Die Abb. 10 bis 12 des Aufsatzes „Der Übergangsbogen im Eisenbahngleis“ sind in den Abb. 3 bis 5 wiedergegeben. Die geschwungenen punktierten Linien sollen den Weg des Wagenschwerpunktes während der Pendelschwingung im Grundriß und die ausgezogenen Linien den Weg der — um $\tan \varphi = \frac{V^2}{127} \cdot 1/\rho$ gegen das Gleis verschobenen — Gleichgewichtslage des Wagenschwerpunktes darstellen.

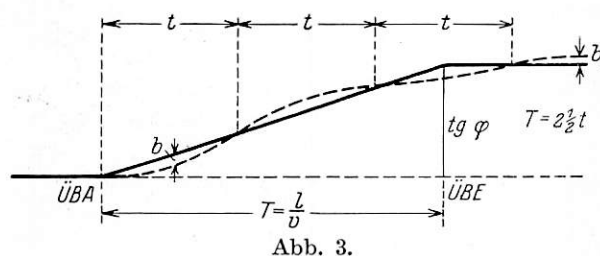


Abb. 3.

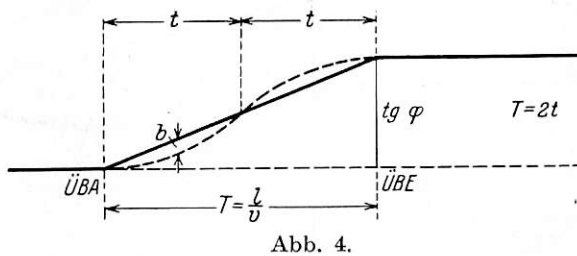


Abb. 4.

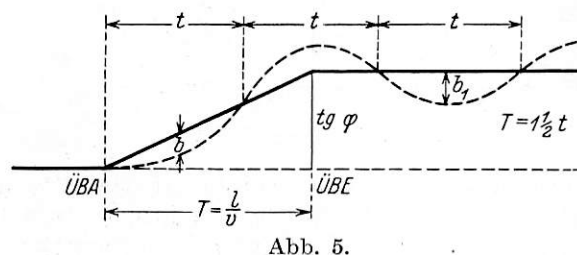


Abb. 5.

Wie Abb. 6 zeigt, muß nun der Schwerpunkt eines Fahrzeugs unmittelbar hinter dem Bogeneinlauf der ihm seitlich entfliehenden Schienenbahn nachhaken, also von außen herein durch die Gleichgewichtslinie hindurch auf die Schienenbahn zu schwingen. Der Schwingungsvorgang spielt sich nach dem Schema der Abb. 7 ab. Die Abb. 10 bis 12 des Aufsatzes (vergl. Abb. 3 bis 5) entsprechen also nicht dem tatsächlichen Verlauf. Eine Ähnlichkeitsbeziehung zwischen dem Weg der Pendelschwingung und dem Krümmungsbild ($1/\rho$) oder der Lage der Gleichgewichtsbahn ($\tan \varphi$) besteht nicht.

Der Aufsatz enthält weiterhin die Behauptung, daß die Bewegung im Übergangsbogen bei einer Schwebbahn eine freie Pendelschwingung, bei der gewöhnlichen Eisenbahn aber eine erzwungene sei.

Der Fall einer freien Schwingung liegt nur dann vor, wenn ein Körper, der einer elastischen Zentralkraft unterworfen ist, durch irgend eine äußere Ursache aus seiner Ruhelage entfernt und hierauf sich selbst überlassen wird. Erst dann, wenn außer der Zentralkraft zugleich noch eine andere unmittelbar gegebene Kraft an ihm angreift, werden die in diesem Falle zustandekommenden Schwingungen als erzwungene bezeichnet.

Ein Fahrzeug, das sich in einem Übergangsbogen bewegt, steht unter der Einwirkung einer Zwangskraft, die von der

Schienenbahn ausgeht und die es zwingt, der Ablenkung des Gleisbogens zu folgen. Diese Einwirkung setzt keinen Augenblick aus. Die Fahrzeugschwingung, die hierbei erregt wird, ist demnach eine erzwungene. Ob es sich um ein Fahrzeug einer Schwebbahn oder um das einer gewöhnlichen Eisenbahn handelt, bleibt sich völlig gleich. Denn es macht für den Charakter der Schwingung nichts aus, ob der pendelnde Fahrzeugkasten unter dem Aufhängepunkt hängt oder über dem Momentanzentrum der Pendelung steht, und ob die Kraft des Schwingungsfeldes wie im ersten Falle auf der potentiellen Energie der Schwerpunktslage des schwingenden Wagenkastens oder wie im zweiten Falle auf dem Spannungszustand der Kastenfederung beruht.

Abb. 6 (naturähnlich).

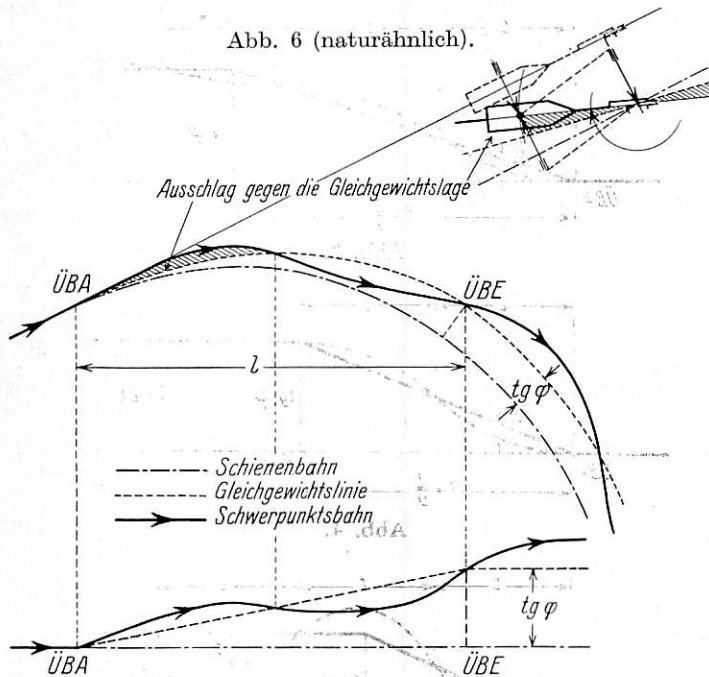


Abb. 7 (schematisch).

Die Zwangskraft der Schienenbahn steigert sich im Übergangsbogen von Punkt zu Punkt in jedem Augenblick der Bewegung. Die Heftigkeit der Schwingungsausschläge muß daher in jedem Übergangsbogen gegen das Bogenende zu anwachsen. Ob der Übergangsbogen kurz oder lang ist und ob die letzte Teilschwingung noch ganz in den Übergangsbogen fällt, oder ob sie über ihn hinaus mehr oder weniger in den Hauptbogen übergreift, ändert an dieser Erscheinung nichts.

Auf Grund dieser Überlegungen halte ich die Schlüsse, die aus Beobachtungen an der Schwebbahn Barmen—Elberfeld auf Seite 411 des Aufsatzes gezogen werden, nicht für beweiskräftig. Es steht keineswegs fest, daß die Schwingungsausschläge hinter dem Übergangsbogen dann größer oder kleiner werden als der erste Ausschlag am Übergangsbogen-einlauf, wenn die Übergangsbogenlänge — im Zeitmaß gemessen — kleiner oder größer als die Eigenschwingung des Fahrzeugs sei, oder gar, daß am Übergangsbogenende außer der Beschleunigung auch die Geschwindigkeit der Querschwingung dann gleich null werde und die Schwingung erlösche, wenn die Übergangsbogenlänge genau der Eigenschwingung entspreche.

Ich bezweifle nun keineswegs, daß die Schwingungsvorgänge, die bei den Versuchen an der Schwebbahn Barmen—Elberfeld beobachtet worden waren, den geschilderten Verlauf tatsächlich genommen haben. Ich fechte nur ihre Auslegung an und bin der festen Überzeugung, daß alle diese Er-

scheinungen sich ohne Widerspruch mit den Schwingungsgesetzen in befriedigender Weise aufklären, wenn man ihre Ursache in der Unterschiedlichkeit der dämpfenden Einflüsse sucht, die in den einzelnen Fällen sich geltend machen. Die im Aufsatz „Der Übergangsbogen im Eisenbahngleis“ behauptete zahlenmäßige Beziehung zwischen Eigenschwingung und Übergangsbogenlänge geht dabei allerdings verloren. Dies schadet aber nichts. Denn einerseits weiß man ja ohnehin schon aus gefühlsmäßiger Überlegung, daß die Vorbedingungen für einen schwingungsarmen Verlauf um so günstiger würden, je länger man den Übergangsbogen bauen könnte und daß es in dieser Hinsicht im Prinzip gar keine Grenze gäbe. Andererseits hätte aber außerdem eine derartige Beziehung, selbst wenn sie für eine Pendelbahn gälte, für eine gewöhnliche Eisenbahn noch aus anderen Gründen keine Bedeutung. Die Federn der Fahrzeuge der vollspurigen Eisenbahn lassen im Verhältnis zur Pendelweite eines Schwebbahnwagens nur geringe Ausschläge zustande kommen. Es muß daher dort die elastische Kraft des Schwingungsfeldes wesentlich größer und die Dauer einer Eigenschwingung wesentlich kleiner sein. Wenn man nun die Übergangsbogenlänge auch bei der gewöhnlichen Eisenbahn nach dem Grundsatz: „Fahrzeit durch den Übergangsbogen gleich Dauer der vollen Eigenschwingung“ bemessen würde, so ergäben sich offenbar zu kleine Werte.

Ein weiterer Grund liegt darin, daß die gewöhnliche Eisenbahn zu einem Zustandekommen wirklicher Querschwingungen in viel geringerem Maße veranlagt ist, als eine Schwebbahn.

Die Überhöhungsrampe, die der Schwebbahn fehlt, erregt bei der gewöhnlichen Eisenbahn Schwingungen, deren Drehsinn dem Drehsinn der vom Bogenlauf stammenden Schwingungen entgegengesetzt ist. Da beide Schwingungen zur selben Zeit erregt werden, schwächen sie sich gegenseitig durch Interferenz.

In einem Zuge sind ferner die Zugstangen der Fahrzeuge unter sich starr gekuppelt und laufen von einem bis zum anderen Zugende wie ein Stahldraht in einer Litze ohne Unterbrechung durch. Durchfährt ein Zug in gestrecktem Lauf einen Gleisbogen, so ist das Zugstangenband straff gespannt. Es wirkt wie ein Seilzug und versteift sich an dem Vieleck der preßliegenden Innenpuffer. Zugstangenband und Puffervieleck bilden ähnlich wie Fachwerkgurte eine Art Zug- und Druckband, das die Fahrzeugschwingung in jeder Richtung des Schwungs dämpfen und vielleicht sogar zum aperiodischen Erlöschen bringen muß.

Die tägliche Erfahrung scheint diese Vermutung zu bestätigen. Denn bei Einfahrt in einen Übergangsbogen fühlt man wohl, wie der Fahrzeugkasten sich allmählich neigt und in einer bestimmten Endlage verharret. Von einer wirklichen Schwingung, also einem Hin- und Herpendeln merkt man jedoch in der Regel nichts. Die kurzweiligen Oberschwingungen, die den Wagen leise durchzittern und erst dann lästig auffallen, wenn man z. B. schreiben möchte, haben mit dem Bogen- und Rampenlauf der Fahrzeuge nichts zu tun. Sie rühren von den Rauheiten der Laufflächen der Räder und Schienen und von kleinen Fehlern im Aufbau und Grundriß der Fahrzeugführung her und verursachen das „harte“ Fahren. Wenn aber ein Fahrzeug wirklich einmal merklich stampft und schlingert, dann weiß jeder Praktiker, daß es am Gleis fehlt, nicht aber an der Unzulänglichkeit der mathematischen Funktion unserer Übergangsbogen.

Es besteht also weder ein Anlaß, eine Verbesserung zu erstreben, noch die Aussicht, eine solche mit der vorgeschlagenen Form erzielen zu können.