

# Das Langschienen-Problem

Autor(en): **Hoffmann, H.O.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Bauzeitung**

Band (Jahr): **119/120 (1942)**

Heft 25

PDF erstellt am: **21.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-52382>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

von der neuen Krankheit, der Platzangst, befallen. Ist der Mensch wieder einmal Sklave seiner eigenen Erfindungen geworden? Dank der bekannten Erscheinung, dass sich der Mensch an alles gewöhnt, nimmt er auch diese Umstände als unabänderlich hin. Es braucht das Erlebnis der Altstadt, um die Unabänderlichkeit dieser Situation in Frage zu stellen. Jedermann zieht es vor, in der Altstadt zu flanieren, statt in einem neuen Vorstadtquartier. Auf die Frage «Warum?» wird der Laie antworten: Es ist gemütlicher — es ist intimer. Wir Architekten kennen die Gründe für die angenehme Atmosphäre der Altstadt. Es ist die lebendige Räumlichkeit von Strassen und Plätzen und die Harmonie der Bauten, die durch Qualität und Taktgefühl oder, anders ausgedrückt, durch eine gesunde Baugesinnung entstanden sind.

Können wir für unsere neuen Stadtteile nicht wieder eine angenehmere Atmosphäre schaffen, in der sich wieder jedermann wohlfühlen würde? Dieses Problem können wir mit Hilfe eines sog. Heimatstils bestimmt nicht lösen, indem wir Altstadtteile in der Art von Attrappendörfern der Weltausstellungen kopieren. Wir müssen weiterhin die technischen Aufgaben des modernen Verkehrs einwandfrei lösen. Dazu brauchen wir breite, sehr breite Strassenprofile und wir brauchen weite Bauabstände, um den hygienischen Anforderungen zu genügen. Diese weiten Räume erlauben uns nun aber, die Natur mehr wie bis anhin in unsere Städte zurückzubringen. Sie erlauben Baumpflanzungen in grosser Fülle, aber nicht in der Art der steifen geometrischen Baumalleen, sondern in dem landschaftlichen Charakter, wie wir heute unsere Gärten gestalten. Wenn wir uns dann endlich entschliessen würden, darauf zu verzichten, die oft recht schmalen Vorgärten mit Sockel und Geländer abzuschliessen und die Vorgartenstreifen der gärtnerischen Gestaltung des Strassenraumes zur Verfügung zu stellen, könnten wir unseren heutigen nüchternen Verkehrsstrassen oder auch Verkehrskanälen den Charakter von Grünflächen geben. Die Idee der Gartenstadt übertragen wir dann nicht nur auf die Gärten zwischen den Strassen, sondern auch auf den Strassenraum. Von der lebendigen Räumlichkeit der Altstadtstrassen wollen wir lernen, dass es nicht genügt, den Strassenraum durch die abstrakten, immer parallel verlaufenden Baulinien zu bestimmen, sondern dass wir den Strassenraum vorerst architektonisch gestalten müssen, bevor wir die Baulinien festlegen. Wenn wir aber das Problem Fussgänger und Auto vollständig lösen wollen, müssen wir dazu übergehen, Fussgängerverkehr und Autoverkehr zu trennen. Wir würden in diesem Falle nicht nur ein Netz von Verkehrsstrassen projektieren, sondern auch ein Netz von zusammenhängenden Fussgängerwegen, wobei wir dem wichtigen Detail eines angenehmen Belages besondere Aufmerksamkeit schenken sollten. Und wir sollten nicht nur Verkehrsplätze für das Auto, sondern auch Plätze für den Fussgänger oder Menschen projektieren. Diese vom Verkehr unberührten, ruhigen Plätze dienen als Vorplätze von öffentlichen Gebäuden oder als Zentren von Läden und Gaststätten. Denken wir einen Augenblick an den Markusplatz in Venedig oder auch an einen intimen Dorfplatz im Tessin. Solchen Plätzen könnte man Dimensionen geben, die eine räumliche Geschlossenheit wieder gewährleisten, die den grossen Verkehrsplätzen mit den breiten einmündenden Verkehrsstrassen für immer versagt bleibt. Wir können auch sprechen vom verkehrstechnischen und vom künstlerischen Platz. Diese künstlerischen Plätze wären wieder würdige Räume zur Aufstellung von Werken der Plastik und Malerei. Mit diesem Beispiel möchte ich die allgemeine Forderung verbinden, dass wir uns nicht nur auf die Planung für die praktischen und technischen Probleme mehr im Sinne von Stadtplanung beschränken sollten, sondern auch ideale und kulturelle Probleme im Sinne einer ideenreichen Stadtbaukunst zu lösen haben, die der Stadt den künstlerischen Charakter und eine wohlthuende, lebendige Atmosphäre geben sollen.

Sie werden gestatten, dass ich meine Ausführungen noch mit einem Beispiel aus meiner eigenen Tätigkeit belege. Bei der Planung der Landesausstellung habe ich mich immer wieder durch den Gedanken leiten lassen, eine Atmosphäre zu schaffen, in der sich möglichst viele Besucher wohlfühlen sollten. Ich möchte diese Absicht bezeichnen mit «Dienst am Menschen». Der große Erfolg hat selbstverständlich meine Ansichten über Stadtbaukunst gefestigt und in mir den Glauben erweckt, dass es möglich sein sollte, eine «Landschaft-Atmosphäre» in permanenter Form auch auf unsere Städte zu übertragen, auch mit der gleichen Arbeitsmethode der Zusammenarbeit der besten künstlerischen Kräfte. Für dieses Ziel braucht es den starken Bauwillen einer Stadt, nicht nur eine praktische Stadt zu verwalten, sondern auch eine schöne und angenehme Stadt zu gestalten. Ein starker Bauwille, der sich nicht in die unzähligen Alltagsprobleme verliert und sich von den wesentlichen Dingen des menschlichen Lebens nicht abdrängen lässt. Schon Aristoteles

stellte für die Planung einer Stadt die Forderung auf, dass sich der Mensch darin sicher und glücklich fühlen sollte. Um glücklich zu sein, brauchen wir nicht nur materielle Dinge, sondern auch Schönheit und die Schönheit der Werke der Baukunst, der Plastik und der Malerei. Wir brauchen eine Baugesinnung oder Ideale, die Bauherr, Publikum und Fachmann verbinden, und wir brauchen weniger die dem Laien oft geheimnisvolle Berufssprache, sondern mehr die Sprache des gesunden Menschenverstandes und des Gefühls. Wie das Ziel erreicht wird, ist Sache des Architekten, des Ingenieurs, des Gartengestalters, des Bildhauers und des Malers und ist in erster Linie eine Sache der Begabung. Der Begabung allein kann es gelingen, eine Synthese der unzähligen Probleme für eine sinnvolle und vollendete Lösung zu finden. Im Namen der Begabungen ist es zu wünschen, dass wir uns nicht durch einen formalistischen Stil, durch Schlagworte und Rezepte einengen, sondern uns die Freiheit wahren, damit jeder seine künstlerische Handschrift schreiben kann — wohlverstanden nicht im Sinne von l'art pour l'art, sondern im Geiste einer hohen und idealen Baugesinnung. Wir können es wohl getrost der Nachwelt überlassen, unserer Zeit die endgültige Stilbezeichnung zu verleihen.

In einem Punkt aber wollen wir intolerant sein! Wir wollen intolerant sein gegen den Mangel an Qualität und gegen die Unehrlichkeit und uns dabei auch fragen: Ist es richtig, dass jedermann bauen darf und dass jeder ungestraft eine schöne Landschaft verunstalten kann? Die Baugesinnung, die ich meine, bedeutet nicht nur ideale Zielsetzung, sondern sie verpflichtet auch auf die besten menschlichen Qualitäten des Charakters, wie Ehrlichkeit, Taktgefühl, Zuverlässigkeit und Pflächterfüllung. Eine Baugesinnung, die der besten Tradition und Eigenart unseres Landes entspricht und dem Ideal der Menschlichkeit dienen soll.

In diesem Sinne versuche ich, meiner Aufgabe an unserer Hochschule gerecht zu werden. Ich möchte den jungen Architekten helfen, ihre Begabungen zu entwickeln, tüchtige Berufsleute mit Sinn für die Realität zu werden, aber auch Menschen mit einem gesunden Idealismus und einem ernststen Verantwortlichkeitsgefühl gegenüber ihrem Land, gegenüber Gegenwart und Zukunft.

## Das Langschienen-Problem

Von Ing. H. O. HOFFMANN, Zürich

Das Problem der Langschiene ist so alt wie die Eisenbahn selbst. Noch in der neuesten Literatur ist der Satz zu finden: «Der Stoss ist die schwächste Stelle im Geleise, eine allseitig genügende Anordnung zur Behebung seiner Mängel ist noch nicht gefunden». Tatsächlich ist der altherwürdige, verschraubte Laschenstoss auch heute noch durchgehend die Regel. Dem Tempo, das in stets steigendem Masse unser gesamtes Wirtschaftsleben beherrscht, müssen naturgemäss auch die Transportmittel sich anpassen, indem ein zunehmend sich erhöhender Gütertausch, mit obendrein beschleunigter Geschwindigkeit, zu bewältigen ist. Die Konkurrenz des freizügigen, seine Transportgüter sich auswählenden Autoverkehrs, zwingt die Bahnverwaltungen im besonderen mit der Entwicklung der Dinge Schritt zu halten, indem sie durch den zweckmässigen, modernen Ausbau ihrer Anlagen die Transportgeschwindigkeit zu erhöhen und durch einschneidende Sparmassnahmen im Betriebe die Frachtsätze zu vermindern suchen. Eines der Mittel um beiden Zwecken zu dienen ist unbestritten in der *Lösung des Langschienen-Problems* gegeben. Den Aussenstehenden mutet es oft sonderbar an, mit welch zaudernder Langsamkeit, trotz der brennenden Notwendigkeit, vielerorts zur Lösung der Frage seitens der interessierten Kreise die Mitarbeit geliehen wird. Gerade der Verlauf der jüngsten Ereignisse hat gezeigt, wie auf der einen Seite ob dem Widerstreit der Fachleute nichts geleistet, während auf der andern Seite jede offerierte Idee unvoreingenommen und eingehend geprüft und wenn gut befunden, übernommen und damit Vollendetes vollbracht wurde. Auf dem gewiss unverfänglichen Forum einer der letzten Internationalen Schienentagungen war folgendes zu hören: «... Die Tatsache, dass bei der bisherigen Geleisekonstruktion von statischen Gesichtspunkten ausgegangen wurde, obwohl die Eisenbahn Sinnbild der Bewegung ist und daher die Dynamik in erster Linie Grundlage für die Ausgestaltung des Oberbaues hätte sein müssen, ist die Ursache, weshalb wir einen Fortschritt bei der Eisenbahn, gemessen an der ausserordentlichen Entwicklung der neuzeitlichen Verkehrsmittel, nicht beobachten konnten! Erst in jüngster Zeit erkannte man, dass der Dynamik entscheidende Bedeutung für die Steigerung der Leistung der Verkehrsmittel zukommt. Wenn wir für die Eisenbahn erfolgversprechende Massnahmen treffen und ihre *ehemalige Führung wieder zurückgewinnen* wollen, kann dies

nur durch die Beachtung der Dynamik im Oberbau erreicht werden. Das tiefe Eindringen in die bei ihm durch den Betrieb entstehenden Bewegungsvorgänge hat erst gezeigt, wie das seit der Schaffung der Eisenbahn bestehende Problem des Schienenstosses mit Erfolg zu lösen ist . . . ». Es wird sich niemand der Einsicht verschliessen können, dass gerade heute, angesichts des noch längere Zeit darniederliegenden Autoverkehrs, sich die günstigste Gelegenheit für die Eisenbahnen bietet die «ehemalige Führung» im Transportwesen «wieder zurückzugewinnen». Diese Erkenntnis wird die von unseren Behörden, in weiser Voraussicht der kommenden Dinge, beschlossenen, enormen Opfer für die Arbeitsbeschaffung in besonderem Masse zu fruktifizieren vermögen.

Ein zweckmässiger Oberbau ist, in Anbetracht der stets steigenden Zugsgeschwindigkeiten und erhöhten Radlasten, erste Voraussetzung für die glatte Abwicklung des Verkehrs und die Erhöhung des Reisekomforts. Er zieht aber einen Grossteil (40 ÷ 50 %) der Gesamtausgaben für die Bahnerhaltung auf sich. Die American Railway Engineering Association gibt den Kosten-Anteil des Geleiseunterhaltes, der durch die bisherige Schienen-Verbindung verursacht wird, auf 45 % des gesamten Geleise-Unterhaltes an. Dazu kommen noch die Schäden in beträchtlichem Umfange am Rollmaterial. Nach authentischen Informationen verausgabten im Jahre 1938 die Deutsche Reichsbahn rd. 22000 RM, die Oesterreichische Bundesbahn 15500 S pro Betriebskilometer und Jahr für Bahnerhaltung und Instandhaltung des Fahrparks. Es ist deshalb eine unbestrittene Tatsache, dass für jede Bahnverwaltung die zwingende Notwendigkeit besteht, einer erhöhten Pflege und der Modernisierung ihres Oberbaues ihre ganze Aufmerksamkeit zu schenken, insbesondere wenn dadurch bedeutende Ersparnisse in seiner Erhaltung und des Rollmaterials verbunden werden können.

Die besonderen Verhältnisse bei städtischen Strassenbahnen ermöglichten diesen das Langschienen-System bis zur idealen Lösung — der endlosen Schiene — zu entwickeln. Nach den vorstehenden Ausführungen bedeutet für die Normalbahn die Einführung eines, wenn nicht fugenlosen, so doch fugenarmen Geleisestranges ein Problem, für das die gegenwärtige Zeit energisch nach einer Lösung verlangt. Der erste Anlauf begann mit dem Auswalzen möglichst langer Schienen. Die Schwierigkeiten und Kosten von deren Handhabung und Beförderung beschränken ihre Länge jedoch sehr rasch. So ist man in der Schweiz nicht über eine solche von 36 m hinausgegangen, obwohl die Werke heute imstande sind, Schienen von 100 und mehr Metern Länge herauszubringen. Vor allem sind es aber wirtschaftliche Faktoren, die die Verwendung der in den Geleisen in ungeheuren Mengen eingebauten Kurzschienen bedingen. Verflossenen Herbst erschien unter dem selben Titel vom Verfasser eine *Denkschrift zur Einführung des Sicherheits-Schienenschweisstosses «SS» und des Dilatationsstosses «SD»*, auf Grund umfangreicher Versuche in der EMPA und verschiedenen Hauptgeleisen in Wien, Prag und Richterswil. Sie gab Veranlassung zu einem weiteren Probeinbau auf dem SBB-Hauptgeleise der Ostrampe der Bötzbögel-Linie, Richtung Brugg. Nachdem in dieser Denkschrift der Nachweis für das dringende Bedürfnis für das Langschienen-Geleise erbracht wird und Mittel und Wege zu seiner einwandfreien Konstruktion angegeben werden, zeigte sich auch die Notwendigkeit der Entwicklung seiner *allgemeinen Theorie* und deren praktischen Anwendung für alle vorkommenden Geleise-Arten und gegebenen und angenommenen Voraussetzungen, wobei auch die Messergebnisse der Versuchs-Langschiene im Geleise Zürich-Altstetten-Wiedikon, die in der E. T. H.-Dissertation von Ing. Dr. P. Toneatti behandelt werden, mit in Betracht gezogen erscheinen. Sie sollen an einigen Beispielen erläutert werden.

Es wird von der grundlegenden Tatsache ausgegangen, dass die Schienenmitte unter den Temperatureinflüssen bewegungslos bleibt und nur die beiden Schienenenden gleichmässig ihre Länge ändern, d. h. «atmen» (Theorie von Prof. Dr. Raab, deren Richtigkeit u. a. auch durch die Messungen an der Zürcher-Langschiene bestätigt wird). Es ist klar, dass die Kraft, die die Längenänderungen in jedem Querschnitt der Schiene infolge der Temperaturdifferenzen bewirkt, gleich ist der Temperaturkraft  $P_T$  minus dem Widerstand  $W$ , den die Bettung leistet, bzw. diesem plus einer zusätzlichen, künstlichen Hemmung an den Schienen-Enden (z. B. durch einen Schraubenlaschenstoss). Es bezeichnen ferner:

- $L$  die halbe Länge der Langschiene,
- $L_0$  die «Atmungslänge» der halben Langschiene,
- $\Delta L$  die Längenänderung der halben Langschiene,
- $\Delta T$  die Temperatur-Differenz in °C gegenüber der Montage-Temperatur,

- $\alpha$  den Ausdehnungskoeffizienten des Schienenmaterials (0,0000115),
- $p$  den natürlichen, spezif. Bettungswiderstand pro m Schienenstrang,
- $P_z$  eine künstlich hemmende, zusätzliche Kraft am Schienen-Ende,
- $\varepsilon$  ein empirischer Koeffizient,
- $E$  den Elastizitätsmodul des Schienenmaterials (2200 t pro cm<sup>2</sup>),
- $F$  den Schienen-Querschnitt (SBB I = 58,5 cm<sup>2</sup>),
- $C = EF$ , für eine bestimmte Schiene konstant.

Die Auswertung der Messungen an der Zürcher-Langschiene führten zu folgenden Ueberlegungen: Die Wahl der Länge  $2L$  für die Langschiene hängt ab im wesentlichen vom Einfluss des spezifischen Bettungswiderstandes  $p$ , als dem natürlichen Widerstand, wie er in jedem Geleise auftritt, und von einer allfälligen zusätzlichen, künstlich bewerkstelligten Hemmung  $P_z$  am Stosse selbst. Ueber die Grösse von  $p$  herrschen die verschiedensten Auffassungen. So berechnet Bräuning den Widerstand des Bettungskörpers zwischen den Schwellen im unbelasteten Zustande mit 300 kg und den zusätzlichen Reibungswiderstand der Schwelle auf ihrer Unterlage mit 150 kg, sodass jeder Schwelle im unbelasteten Zustande ein Widerstand von 450 kg entgegengesetzt wird, was bei 24 Schwellen pro Geleise-Joch von 15 m Länge 10800 kg, bzw. 5400 kg Längsschub pro Schienenstrang oder  $p = 0,36$  t/m entsprechen würde. Raab stellte auf dem Geleise-Prüfstand  $p = 0,6$  t/m fest. Wieder Andere schätzen den Bettungswiderstand  $p$  zunehmend mit dem Quadrat der Schienenlänge; Nemscek rechnet mit einer Konstanten plus einem linear wachsenden Widerstande pro m Schienenlänge, usw. Betrachtet man das Kräfte-diagramm im Graphikon 1, so sieht man, dass der Differenzkraft  $P_T - W = D$  gegen den Stoss hin von der angrenzenden Langschiene eine theoretisch gleich grosse Längskraft  $D$  entgegenwirkt; folglich wird der Bettungskörper gegen den Stoss hin zusammengedrückt und nimmt er diese Schubkräfte elastisch auf. Bei der Kontraktion der Schienen tritt derselbe Vorgang gegen die Schienenmitte hin auf. Es ist daraus ersichtlich, dass der Bettungswiderstand nicht linear anwachsen kann, sondern progressiv zunehmen muss. Es lässt sich daraus die folgende Entwicklung einer allgemein gültigen Rechnung für alle möglichen vorkommenden Verhältnisse ableiten.

Der Widerstand, den die Bettung der Verschiebung eines Querschnittes der Schiene der Temperaturkraft  $P_T$  entgegenstellt ist  $W = pL^\varepsilon$ ,  $W_{\max}$  ist gleich  $P_T$ , also

$$W_{\max} = pL^\varepsilon = P_T = \alpha C \Delta T,$$

woraus sich für jede Temperaturdifferenz  $T$  die Atmungslänge  $L_0$  bestimmen lässt, bei der die ganze Schienenhälfte  $L$  noch Längenänderungen unterworfen ist, d. h. atmet, indem man  $L = L_0$  setzt, somit ist

$$L_0 = \frac{(\alpha C)^{1/\varepsilon}}{p} \Delta T^{1/\varepsilon} \dots \dots \dots (1)$$

Die kritische Temperaturdifferenz  $\Delta T_k$  berechnet sich aus obigen Gleichungen zu

$$\Delta T_k = \frac{p}{\alpha C} L^\varepsilon \dots \dots \dots (2)$$

Für den Fall, dass noch eine künstlich hemmende Kraft  $P_z$  zusätzlich am Schienenstoss wirkt, ergibt sich aus  $W_{\max} = pL^\varepsilon + P_z = \alpha C \Delta T$  wiederum

$$L'_0 = \frac{(\alpha C \Delta T - P_z)^{1/\varepsilon}}{p} \dots \dots \dots (3)$$

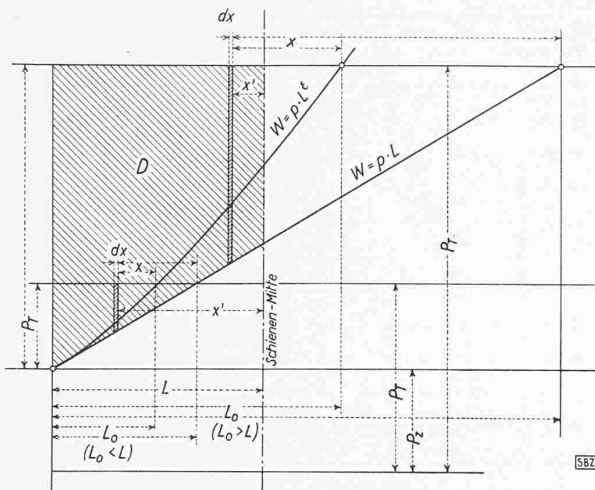
und für die kritische Temperaturdifferenz

$$\Delta T'_k = \frac{p}{\alpha C} L^\varepsilon + \frac{P_z}{\alpha C} \dots \dots \dots (4)$$

Für  $\Delta T < \Delta T_k$  bzw.  $\Delta T'_k$  ist auch  $L_0$  bzw.  $L'_0 < L$ , d. h. es atmen nur die Schienenenden; ist dagegen  $\Delta T \geq \Delta T_k$  bzw.  $\Delta T'_k$ , dann atmet die ganze Schiene.

Die Längenänderungen berechnen sich nach dem Hooke'schen Gesetz  $\Delta dx = \frac{p dx}{C}$ , sodass sich die Längenänderung für die halbe Langschiene im Abstand  $x$  von der Mitte, für  $L_0 < L$  ergibt (siehe Graphikon 1):

$$\Delta x = \Delta x' = \int_0^x (P_T - p(L_0 - x)^\varepsilon) \frac{dx}{C}$$



Graphikon 1 zur Theorie des Langschienen-Problems

Substituiert man  $(L_0 - x) = u$ , so erhält man

$$\Delta x = \Delta x' = \int_0^x (P_T - p u^\epsilon) \frac{dx}{C}$$

$$\frac{du}{dx} = \frac{d(L_0 - x)}{dx} = -1 \quad | \quad dx = -du, \text{ demnach}$$

$$\Delta x = \Delta x' = - \int_0^x (P_T - p u^\epsilon) \frac{du}{C}$$

$$\Delta x = \Delta x' = - \frac{1}{C} \left( P_T u - \frac{p}{(\epsilon + 1)} u^{(\epsilon + 1)} \right) \quad (5)$$

Nach Einsetzen der Werte für  $u$  und  $x = x' - (L - L_0)$  ergibt sich

$$\Delta x' = \frac{1}{C} \left[ P_T (x' + L_0 - L) - \frac{p}{(\epsilon + 1)} (L_0^{(\epsilon + 1)} + (L - x')^{(\epsilon + 1)}) \right] \quad (6)$$

für  $x' = L$ ; nach Einsetzen der Werte für  $L_0$  und  $P_T$  schliesslich:

$$\Delta L = \frac{\alpha^{(1+1/\epsilon)} C^{(1+1/\epsilon)}}{p^{(1/\epsilon)}} T^{(1+1/\epsilon)} \cdot \frac{1}{(1+1/\epsilon)} \quad (7)$$

Für  $\Delta T = \Delta T_k$  nach Gl. (2) eingesetzt, erhält man

$$\Delta L_k = \frac{p}{C} L^{(\epsilon + 1)} \left( 1 - \frac{1}{(\epsilon + 1)} \right) \quad (7a)$$

Ist  $L_0 > L$  lautet die Gl. (5):

$$\Delta x = \Delta x' = - \frac{1}{C} \left( P_T u - \frac{p}{(\epsilon + 1)} u^{(\epsilon + 1)} \right) \quad (5a)$$

Nach Einsetzen der Werte für  $u$  und  $x = x' + (L_0 - L)$  ergibt sich

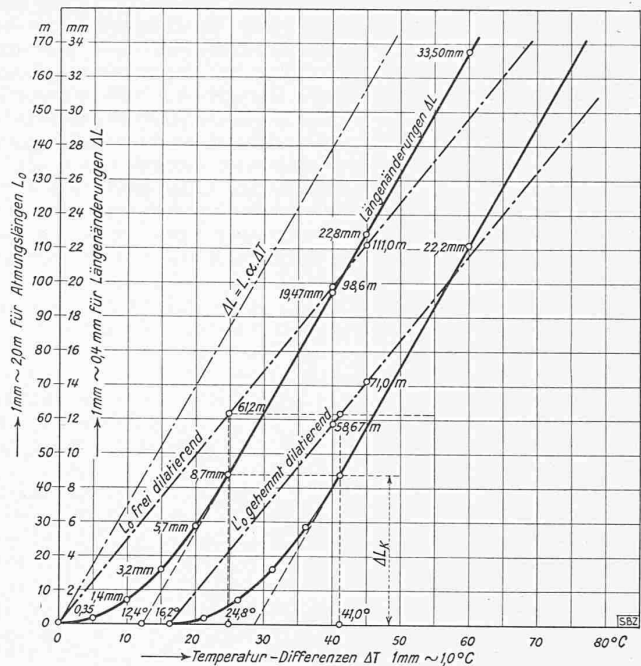
$$\Delta x' = \frac{P_T}{C} x' + \frac{p}{(\epsilon + 1) C} ((L - x')^{(\epsilon + 1)} - L^{(\epsilon + 1)}) \quad (6a)$$

für  $x' = L$  und den Wert für  $P_T$  eingesetzt, ergibt schliesslich

$$\Delta L = L \alpha \Delta T - \frac{p L^{(\epsilon + 1)}}{(\epsilon + 1) C} \quad (8)$$

Für  $\Delta T = \Delta T_k$  nach Gl. (2) eingesetzt, erhält man wiederum die Gl. (7a). Differenziert man die Gl. (7) nach  $\Delta T$  und setzt für dieses den Wert für  $\Delta T_k$  ein, so erhält man die trig. Tangente der Parabel im Punkte  $\Delta T_k / \Delta L_k$ , die identisch ist mit derjenigen der Geraden nach Gl. (8), nämlich  $\text{tg } \tau = L \alpha$ . Somit ist diese Gerade die Tangente an die Parabel nach Gl. (7) und zwar verläuft sie parallel zur Geraden für  $\Delta L$  nach der fundamentalen Gleichung  $\Delta L = L \alpha \Delta T$ ; das bedeutet aber nichts anderes, als dass auch die Längenänderungen der Langschiene dem fundamentalen Gesetze der Längenänderungen folgen, sobald  $L_0 > L$  wird, d. h. die ganze Langschiene zu atmen beginnt.

Für die Rechnung für eine zusätzliche, künstliche Hemmung der Dilatation am Langschienen-Ende, dadurch bewirkt, dass z. B. der althergebrachte Schraubenlaschenstoss in der Uebergangszeit zur Verbindung der Langschienen verwendet wird oder durch Verwendung des «SD»-Dilatationsstosses, der auch für hemmende Dilatation eingerichtet werden kann, ergibt sich nach vorstehender Entwicklung als Ausgangsgleichung:



Graphikon 2. Atmungslängen  $L_0$  und Längenänderungen  $\Delta L$  der Langschiene bei verschiedenen Temperatur-Differenzen, frei und gehemmt dilatierend für  $L = 61,2$  m, und  $W_i = pL$  bzw.  $W = pL + P_z$

$$\text{für } L_0 < L: \quad \Delta x = \Delta x' = \int_0^x (P_T - P_z) - p (L' - x^\epsilon) \frac{dx}{C}$$

und nach Substitution von  $(L_0 - x) = u$ :

$$\Delta x = \Delta x' = - \frac{1}{C} \left( P_T u - P_z u - \frac{p}{(\epsilon + 1)} u^{(\epsilon + 1)} \right) \quad (9)$$

nach Einsetzen der Werte für  $u$  und  $x = x' - (L - L_0)$

$$\Delta x' = \frac{p}{C} \frac{(L - x')^{(\epsilon + 1)}}{(\epsilon + 1)} - \frac{L_0^{(\epsilon + 1)}}{(\epsilon + 1)} + \frac{(x' - L + L_0)^\epsilon}{C} (P_T - P_z) \quad (10)$$

für  $x' = L$  und Einsetzen der Werte für  $L_0$  aus Gl. (3) und  $P_T$  schliesslich

$$\Delta L' = \frac{(\alpha C \Delta T - P_z)^{(1+1/\epsilon)}}{C p^{(1/\epsilon)}} \frac{1}{(1+1/\epsilon)} \quad (11)$$

Für  $\Delta T = \Delta T_k$  aus Gl. (4)

$$\Delta L'_k = \frac{p L^{(\epsilon + 1)}}{C} \left( 1 - \frac{1}{(\epsilon + 1)} \right) \quad (11a)$$

Für  $L_0 > L$  lautet die Gl. (9):

$$\Delta x = \Delta x' = - \frac{1}{C} \left( P_T u - P_z u - \frac{p}{(\epsilon + 1)} u^{(\epsilon + 1)} \right) \quad (9a)$$

nach Einsetzen der Werte für  $u$  und  $x = x' + (L_0 - L)$

$$x' = \frac{1}{C} (P_T - P_z) x' - \frac{p}{(\epsilon + 1)} (L^{(\epsilon + 1)} - (L - x')^{(\epsilon + 1)}) \quad (10a)$$

für  $x' = L$  und den Wert für  $P_T$  eingesetzt, ergibt sich schliesslich

$$\Delta L' = L \alpha \Delta T - \frac{L}{C} \left( P_z + \frac{p}{(\epsilon + 1)} L^\epsilon \right) \quad (12)$$

Für  $\Delta T = \Delta T_k$  nach Gl. (4) eingesetzt ergibt wiederum die Gl. (11a).

Die trig. Tangente des Punktes  $\Delta T'_k / \Delta L'_k$  der Parabel nach Gl. (11) bestimmt sich wiederum zu  $\text{tg } \tau = L \alpha$ , also gleich derjenigen der Geraden nach Gl. (12), die somit die Tangente an die Parabel ist, parallel zur Geraden für  $\Delta L = L \alpha \Delta T$ .

In Graphikon 2 erscheint das in der eingangs erwähnten Denkschrift gewählte konkrete Beispiel, ohne und mit einer zusätzlichen Kraft  $P_z$  durchgerechnet, und zwar für eine Langschiene von 120,0 m plus der Baulänge des «SD»-Dilatationsstosses von 2,40 m, also von  $2L = 122,40$  m Länge. Für  $p$  und  $P_z$  wurden die von Raab auf seinem Geleiseprüfstand festgestellten Werte von 0,6 t/m bzw. 24 t Gleitwiderstand einer Schraubenlaschen-Verbindung angenommen, wodurch für  $\epsilon$  der Wert 1 bedingt ist.

Auf Grund der mehrfach erwähnten Messungen an der Zürcher Langschiene wurde versucht den Koeffizienten  $\epsilon$  zu bestimmen. Es darf füglich angenommen werden, dass jede einzelne Schwelle, bei fester Verbindung mit der Schiene, den von Bräunung nach allgemeiner Regel angegebenen Widerstand entgegensetzt. Dieser natürliche Bettungswiderstand pro m Schiene wurde in der Durchrechnung der nachfolgenden Beispiele (siehe Graphikon 3) mit  $p = 0,35 \text{ t/m}$  eingesetzt, woraus sich  $\epsilon$  mit  $\frac{5}{4}$  bestimmen liess. Die damit errechneten Längenänderungen ergeben eine sehr gute Übereinstimmung mit den Beobachtungen an der Versuchslangschiene. Es sei aber gleich darauf hingewiesen, dass auch diese keine einwandfreie Basis bilden können, indem der erwähnte Versuch insofern unvollständig ist, als nur eine Langschiene von 120 m, statt deren mindestens zwei aneinanderstossende Langschienen von derselben Länge beobachtet wurden, denn im gegenständlichen Falle war nur ein Langschienen-Joch in ein Geleise von 15 m langen Schienen mit Schraubenlaschen eingebunden worden. Ebenso spielt die Gleitfestigkeit der Schienen im Befestigungsmechanismus auf der Schwelle eine wesentliche Rolle und es wird sich die Notwendigkeit ergeben diese regulieren zu können.

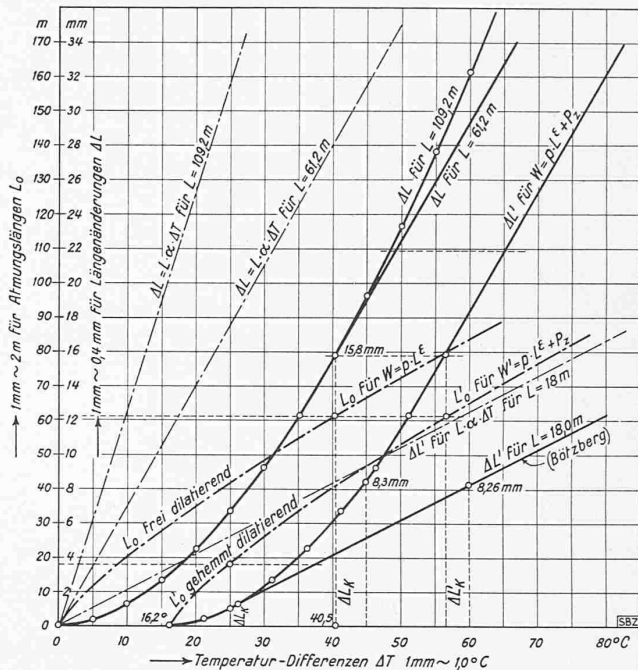
Bevor diese Betrachtungen fortgesetzt werden, seien zum bessern Verständnis die im Graphikon 3 gezeigten Beispiele kurz erörtert. Die Kurven für  $L_0$  (18) und  $\Delta L$  (18) zeigen die Verhältnisse beim Versuchsgleise am Bötzingberg. Die «SS»-Stösse wurden hier bei einer Schientemperatur um  $\pm 0^\circ \text{C}$  herum hergestellt, eine Temperatur, die schon mit Rücksicht auf die Schweissarbeit als die minimale Montage-Temperatur bezeichnet werden muss und den Geltungsbereich der Diagramme für  $\Delta T$  bis  $+60^\circ \text{C}$  erfordert. Für  $P_z$  wurden auch hier 24 t angenommen. Ferner sind die Kurven für  $L = 61,2 \text{ m}$  wie im Graphikon 2 und für  $L = 109,2 \text{ m}$  für eine Langschiene von  $12 \times 18,0$ , bzw.  $6 \times 36,0 \text{ m}$  plus Baulänge des Dilatationsstosses «SD», d. s. 218,4 m, eingezeichnet. Für jede dieser Längen ist die Gerade für  $\Delta L = L \alpha \Delta T$ , quasi als Leitgerade, wie sie in den Formeln (8) und (12) erscheint, ebenfalls angegeben. Sie hat diese Eigenschaft allerdings nur für  $\Delta L$  für  $L_0 > L$ . Da beim Langschienenbau in der Regel einzig die maximalen Längenänderungen eine ausschlaggebende Rolle spielen, beschränkt sich dieser Fall auf die «kurzen» Langschienen; für die angestrebten grösseren Längen der Langschienen kommen ausschliesslich die Formeln für  $\Delta L$  für  $L_0 < L$  zur Geltung, wie aus dem Beispiel für  $L = 109,2 \text{ m}$  deutlich hervorgeht.

Es ergibt sich darnach folgendes einfache Verfahren für die analytisch-graphische Lösung einer gestellten Aufgabe zur Berechnung eines Langschienen-Geleises, auf Grund gegebener oder angenommener Daten:

1. Man zeichnet die Gerade für  $\Delta L = L \alpha \Delta T$  im dargestellten Axensystem,
2. man zeichnet die Kurve für  $L_0$ ,
3. man zeichnet die Kurve für  $\Delta L$  für  $L_0 < L$ ,
4. man zieht im Abstände  $L$  von der Abszissenaxe eine Horizontale,
5. man zieht im Schnittpunkt dieser Horizontalen mit der Kurve für  $L_0$  eine Vertikale,
6. der Schnittpunkt dieser Vertikalen mit der Abszissenaxe ergibt auf derselben die kritische Temperaturdifferenz  $\Delta T_k$ , bei der die ganze Schiene zu atmen beginnt, d. h. für die  $L_0 = L$  ist,
7. der Schnittpunkt dieser Vertikalen mit der Kurve für  $\Delta L$  nach 3. ergibt den Punkt, von dem an die Kurve für  $\Delta L$  als Tangente an die diese verläuft und zwar parallel zur zugehörigen Geraden für  $\Delta L = L \alpha \Delta T$ ,
8. beim Vorhandensein einer zusätzlichen Hemmungskraft  $P_z$  am Schienenende, verschiebt sich das konstruierte System um den Betrag von  $\frac{P_z}{\alpha C}$  nach rechts.

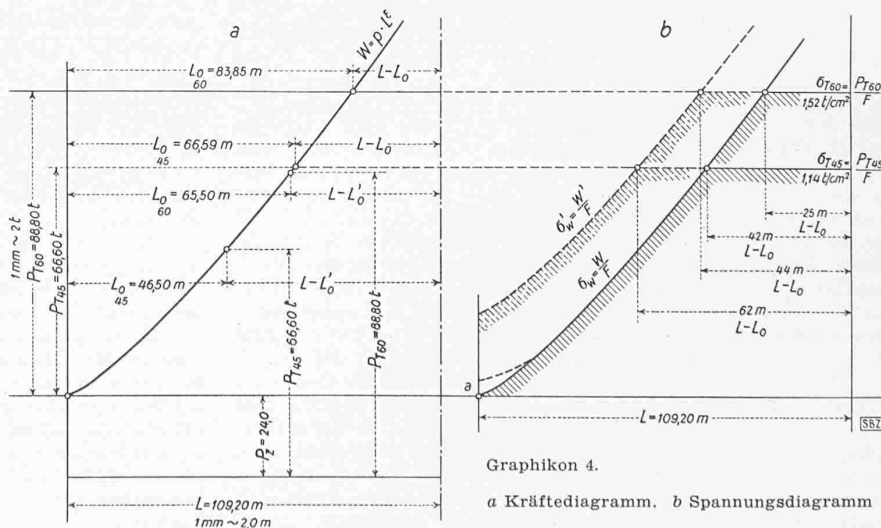
Je grösser nun  $L$  gewählt wird, desto weiter nach rechts liegen die Schnittpunkte nach 5. und 6., d. h., sie fallen schliesslich ausserhalb der praktisch möglichen Temperaturdifferenzen  $\Delta T$ , die für die minimale Montage-Temperatur, wie bereits angedeutet,  $\Delta T_{\text{max}} = +60^\circ \text{C}$  ist.

Betrachtet man nun aus diesen Überlegungen heraus das Kräfte-Diagramm im Graphikon 1, das im Graphikon 4a für dieselben in entsprechender Form gezeichnet ist, so sieht man, dass die

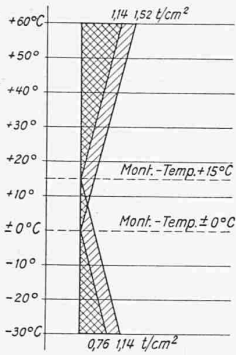


Graphikon 3. Atmungs-längen  $L_0$  und Längenänderungen  $\Delta L$  der Langschiene bei verschiedenen Temperatur-Differenzen, frei und gehemmt dilatierend für  $L = 18,0, 61,2$  u.  $109,2 \text{ m}$ , und  $W = pL \epsilon$ , bzw.  $W = pL \epsilon + P_z$ .

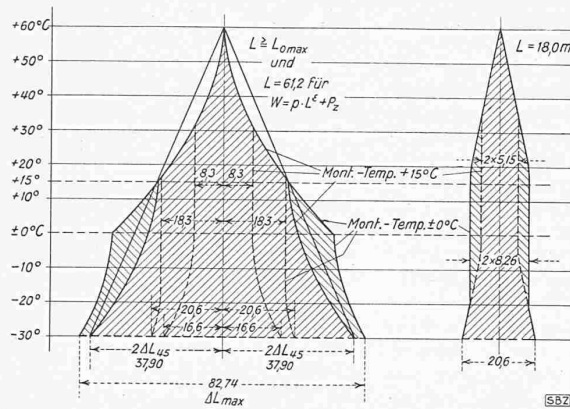
Kurve für den Bettungswiderstand  $W$  die Horizontale für  $P_{T \text{ max}}$ , d. h. in unserem Falle für  $P_{T 60^\circ} = \alpha C \Delta T_{60} = 88,80 \text{ t}$  bei  $L_0 = 83,85 \text{ m}$  schneidet. Für die mittlere Montage-Temperatur von  $+15^\circ \text{C}$  beträgt  $P_{T 45^\circ} = 66,60 \text{ t}$  und ergibt  $L_0 = 66,59 \text{ m}$ . Diese beiden Abschnitte  $L_0$  lassen sich auch aus der Formel (1) berechnen. Man sieht daraus, dass also auch für  $L_0$  ein Maximum existiert, es beträgt für die unserer Rechnung zu Grunde gelegten Daten, wie eben festgestellt  $83,85 \text{ m}$  für  $\Delta T_{\text{max}} = +60^\circ \text{C}$ . Es folgt daraus weiter, dass es auch für die Längenänderungen  $\Delta L$  ein Maximum gibt, und zwar unbekümmert um die Länge der Langschiene, wenn deren halbe Länge  $L \geq L_{0 \text{ max}}$  ist. Mit andern Worten: Es tritt die maximale Längenänderung  $\Delta L_{\text{max}}$  einer Langschiene auf bei einer Mindestlänge von  $2 \times 83,85 \sim 168 \text{ m}$  und darüber, bei der minimalen Montage-Temperatur von  $\pm 0^\circ \text{C}$ , bei der mittleren Montage-Temperatur von  $+15^\circ \text{C}$  dagegen bei einer Mindestlänge von  $2 \times 66,59 \sim 133 \text{ m}$  und darüber. Diese Tatsache verleitet zu dem Schluss, dass die Länge einer Langschiene, bei der  $L_{0 \text{ max}}$  mindestens gleich  $L$  ist, beliebig lang gewählt werden kann, indem bei jeder noch so langen Langschiene nur  $83,85$  bzw.  $66,59 \text{ m}$  von jedem Schienen-Ende gegen die Schienenmitte zu gemessen, atmen, während das Mittelstück bewegungslos bleibt. Theoretisch ist dies wohl richtig, praktisch erweist sich dies als offener Trugschluss. Denn dieses Mittelstück von  $2(L - L_0)$  Länge liegt stets unter der maximalen Spannung, hervorgerufen von der jeweils herr-



Graphikon 4. a) Kräfte-Diagramm. b) Spannungsdiagramm



Graphikon 5. Spannungsdiagramm für total verminderte Ausdehnung im Gebiete 2 ( $L - L_0$ ). — Wo der Oberbau z. B. bei  $\pm 0^\circ\text{C}$  verlegt wurde, die Langschienen-Montage aber bei  $15^\circ\text{C}$  erfolgte, gilt auch für die Langschiene annähernd das Spannungsdiagramm für  $\pm 0^\circ\text{C}$



Graphikon 6. Lückenweiten für versch. Temp. bei Montage-T von  $+15^\circ\text{C}$  und  $\pm 0^\circ\text{C}$  für die berechneten Langschienen für  $L \geq L_{0\text{max}}$  und  $L = 61,2\text{ m}$  und  $18,0\text{ m}$  für  $p = 0,35\text{ t/m}$ ,  $\epsilon = \frac{5}{1}$ ,  $P = 24\text{ t}$  (Masse in mm)

schenden Temperaturkraft  $P_T$ , jenem Zustand ähnlich, wie er zwischen Baugrund und Fundament einer Baukonstruktion vorliegt: gibt jener nach, so tritt die Katastrophe ein. Die praktisch mögliche Länge einer Langschiene ist demnach abhängig von der Möglichkeit, den der Rechnung zu Grunde gelegten Bettungswiderstand im mittlern Teilstück von  $2(L - L_0)$  tatsächlich als wirksam zu sichern. Das Diagramm im Graphikon 5 zeigt die Spannungen, die in diesem mittleren Teilstück auftreten bei Temperaturänderungen gegenüber der Montagetemperatur von  $+15^\circ\text{C}$  und  $\pm 0^\circ\text{C}$  und wie sie ein ganz respektables Mass erreichen können. So wird aus Schweden berichtet, dass beim unvorsichtigen Lösen einer Schiene den beiden Arbeitern die Beine abgeschlagen wurden. Es erklärt sich damit ferner die Tatsache, dass immer wieder, entgegen aller bisherigen Theorien, Geleise-Verwerfungen vorkommen, die die heilige Scheu vor der Langschiene nähren. Ohne Widerlegung der gegenständlichen Theorie entbehrt sie aber jeder Begründung. Denn andererseits ist die Möglichkeit kilometerlanger Langschienen, deren Anlage aus Amerika beharrlich berichtet wird, als durchaus gegeben erwiesen (authentische Bestätigungen waren z. Zt. nicht zu beschaffen). Als besonderer Vorzug derselben ist zu werten, dass sie klar den Zusammenhang mit der fundamentalen Formel für die Längenänderung,  $\Delta L = \Delta L_a \Delta T$  zum Ausdruck bringen.

Die Spannungsverteilung in der Langschiene ist aus dem Spannungs-Diagramm im Graphikon 4b ersichtlich. Man sieht daraus, dass die Spannung in jedem einzelnen Querschnitt der Schiene bestimmt ist durch die Summe aller Widerstände in demselben. Denn die Differenzkraft zwischen der Temperaturkraft  $P_T$  — die unabhängig von  $L$ , in der ganzen Länge der Langschiene in derselben Grösse sich auswirkt — und dem Widerstand, hervorgerufen durch  $W$  bzw.  $W'$  in jedem Querschnitt, wird durch die Formänderungsarbeit aufgebraucht. Wären keine dilatationshemmenden Kräfte vorhanden, so würde das atmende Schienenstück  $L_0$  mechanisch spannungslos sein, wie wenn die Schiene auf reibungslosen Rollen lagern würde, in welchem Falle aber  $L_0$  immer gleich  $L$  wäre. Die Spannung für jeden Querschnitt der Langschiene ist demnach aus der Kurve für  $W$  bzw.  $W'$  abzulesen, indem man  $W$  bzw.  $W'$  durch den Schienenquerschnitt  $F$  dividiert.  $\sigma_w = \frac{W}{F}$  steigt somit vom Schienenende gegen die Schienenmitte zu an, entsprechend dem grösser werdenden Bettungswiderstand, bis zum Maximum von  $\sigma_T = \frac{P_T}{F}$ . Bezeichnet man diejenige Länge als Normallänge

der Langschiene, für die  $L_{0\text{max}} = L$  ist, d. h. für die bei  $\Delta T_{\text{max}}$  in der Schienenmitte  $\sigma_w$  gerade noch  $\sigma_T$  erreicht, so sieht man, dass sie auf die Montagetemperatur bezogen werden muss. Denn je mehr diese von der mittleren Montagetemperatur nach oben oder unten abweicht, ist die Normallänge grösser. In unserem Falle ist sie, wie bereits gezeigt, bei der mittleren Montagetemperatur von  $+15^\circ\text{C}$  133 m; sie steigt bis 168 m an bei der minimalen Montagetemperatur von  $\pm 0^\circ\text{C}$  bzw. bei einer solchen von  $+30^\circ\text{C}$ . Ist für die Sicherung des der Rechnung zu Grunde gelegten Bettungswiderstandes durch möglichst grosse Biegungs- und Knickfestigkeit des Geleises gesorgt (Eisenbetonschwellen!), können weit grössere Längen in Anwendung kommen, wobei der mittlere Abschnitt  $2(L - L_0)$  dann stets die maxi-

male Spannung  $\sigma_T$  aufweist, bestimmt durch die herrschende Temperatur-Kraft  $P_T$ , während im Gebiete der Atmungslängen  $L_0$  die Spannung  $\sigma_w$  in vorerwählter Weise auftritt, gegen die Schienen-Enden sich theoretisch auf 0 senkend. Zu diesen Spannungen, infolge der Temperaturkräfte im unbelasteten Zustande des Langschienen-Geleises, kommen nun noch jene von der Verkehrs-Belastung hinzu. In der Denkschrift ist die Tatsache nachgewiesen worden, dass die Zugerümdungsfestigkeit geschweisster Elemente geringer und vor allem unzuverlässiger ist als deren Druckermüddungsfestigkeit. Vom Standpunkt der geschweissten Langschiene will das heissen, dass den Spannungsverhältnissen bei Temperaturen unter der Montagetemperatur, insbesondere bei Tiefsttemperaturen grösste Beachtung geschenkt werden muss, indem sich in diesem Falle die Temperatur-Zugspannungen zu den Zugspannungen aus der statischen und dynamischen Belastung addieren, sodass die Gesamtzugspannung in der Zugzone der Schienenquerschnitte

bis zur Grenze der Zugfestigkeit des Materials sich steigern kann. In diesem Umstand liegt die Tatsache begründet, dass die geschweissten Enelement-Stösse in kalten Wintern meistens versagen.

In Graphikon 6 sind die Lückenweiten, entsprechend den erörterten Rechnungen für die  $\Delta L$  zu ersehen, wie sie für die Mont. Temp. von  $+15^\circ$  und  $\pm 0^\circ\text{C}$  einzustellen sind und wie sie sich bei steigenden und fallenden Temperaturen im Intervall von  $-30^\circ$  bis  $+60^\circ\text{C}$  ändern. So beträgt die maximale Lückenweite für die Langschiene von  $2L = 122,4\text{ m}$  bei einer Mont. Temp. von  $+15^\circ\text{C}$   $4 \times 18,95\text{ mm} = 75,80\text{ mm}$ , bei einer Mont. Temp. von  $\pm 0^\circ\text{C}$   $77,48\text{ mm}$  bei der Tiefsttemperatur von  $-30^\circ\text{C}$ . Die Lückenweite für  $L_{\text{max}}$  dagegen beträgt für eine Langschiene von mindestens  $2L_{\text{max}} = 2 \times 83,85 \sim 168\text{ m}$  Länge und darüber, bei einer Mont. Temp. von  $+15^\circ\text{C}$   $4 \times 19,15 = 76,60\text{ mm}$  und bei einer solchen von  $\pm 0^\circ\text{C}$   $82,74\text{ mm}$ . Man sieht daraus, dass bei der mittleren Mont. Temp. die maximalen Lückenweiten bei Langschienen-Längen von 122 bis 168 m praktisch gleich gross sind, und dass grössere Unterschiede (ca. 7%) nur bei den extremen Mont. Temp. auftreten. Solche maximalen Lückenweiten können natürlich einzig von einem Dilatationsstoss überbrückt werden, der das absolut schlagfreie Abrollen der Räder gewährleistet. Es sei aber jetzt schon darauf hingewiesen, dass bei zweckentsprechender Konstruktion des Langschienen-Geleises diese berechneten, maximalen Lückenweiten wesentlich verringert werden können.

Wir sehen weiter, dass bei Anbringung einer zusätzlichen, künstlich hemmenden Kraft  $P_z = 24\text{ t}$  die max. Lückenweite sich bis unter die Hälfte der oben festgestellten herabsetzen lässt, je nach der Mont. Temp., vorausgesetzt, dass die Mittel für deren Anbringung auch deren rechnermässige Wirkung gewährleisten. Aus dem Spannungsdiagramm in Graphikon 4b ergibt sich aber, dass man diese Verringerung der max. Lückenweite mit der fast doppelten Verlängerung des Mittelstückes  $2(L - L_0)$  mit der max. Spannung  $\sigma_T$  und überhaupt wesentlich höhere Spannungen von Anfang an, in Kauf nehmen muss. Bei schweiz. Bahnnetzen dürfte im allgemeinen, wenn nicht besonders günstige Verhältnisse es anders gestatten, beim heute üblichen Oberbau kaum über die definierten Normallängen von  $2L = 133 - 168\text{ m}$  hinausgegangen werden, sodass nur bei den extremen Temperaturen die höchsten Spannungen  $\sigma_T$  gerade noch in der Mitte der Langschiene auftreten, mit steilem Abfall von  $\sigma_w$  gegen die Schienen-Enden hin. Man wird also einer Langschiene ohne zusätzlicher Hemmung mit maximalen Lückenweiten, nachdem diese schon schlagfrei überbrückbar sind, aus Sicherheitsgründen den Vorzug geben, vor einer solchen mit mehr oder weniger langem Mittelstück  $2(L - L_0)$ , das in weitem Temperaturintervall stets unter höchster Spannung liegt.

Wenn weiter oben die Ueberlegung gemacht wurde, dass der Bettungswiderstand gegen den Stoss, bzw. gegen die Schienen-Mitte hin zusammengedrückt wird, so ist daraus weiter zu schliessen, dass an diesen Stellen bei zunehmenden Längenänderungen ein mehr oder weniger elastisches Kissen sich bildet, das die Spannungskurve der Langschiene für  $\sigma_w$  nicht auf 0, sondern mit der Ordinate  $a$  ausmünden lässt. Damit kommt man der Annahme näher, rein rechnerisch nicht aber in ihrer Bedeutung, von der Dr.-Ing. Nemscek bei der Entwicklung seiner

Formeln ausgegangen ist, wobei die gegenständliche Theorie den Vorzug weit grösserer Uebersichtlichkeit und leichter zeichnerischer Darstellung voraus hat, abgesehen davon, dass sie sich weitgehend auf Versuchsergebnisse stützen kann. Dass die Bildung und die Wirkung dieses Pufferkissens in gewissem Rahmen beeinflusst werden kann, ist bereits mit der Andeutung der Regulierung der Gleitfestigkeit der Schienen auf den Schwellen vorerst berührt worden. Wie aus dem Spannungsdiagramm ersichtlich, ist die Grösse  $a = f(\Delta T)$  darin als Kraft dargestellt und fügt sie sich ohne weiteres in unsere Formeln ein anstelle von  $P_z$  bzw. additiv dazu. Sie wird aber erst bei extremen Temperaturen mit einem Wert auftreten, der nicht mehr vernachlässigt werden darf.

Es dürfte klar sein, dass der Entwurf eines Langschienen-Geleises eine sorgfältige, in alle Einzelheiten gehende Berechnung erfordert, wobei die spezifisch eigenen Verhältnisse des betreffenden Bahnnetzes oder der Bahnstrecke in Bezug auf Gefäll- und Kurvenverhältnisse, Charakter des Oberbaues und Unterbaues, Verkehrsbelastung, Klima usw. eine ausschlaggebende Rolle spielen für die Bestimmung der anzuwendenden Länge  $2L$  der Langschienen. Es wurde deshalb vom Verfasser der weitere Begriff der *virtuellen Länge* der Langschiene geprägt, die jedem Bahnnetz oder jeder grösseren Bahnstrecke von einheitlichem Charakter eigen ist. Sie ist diejenige Länge der Langschiene, für die alle für die projektierte Linie mitspielenden und in Betracht zu ziehenden Faktoren sich in der günstigsten Konstellation auswirken.

Wie schon oben angedeutet, handelt es sich nun in erster Linie darum, den Exponenten  $\epsilon$  einwandfrei für die verschiedenen Arten von Oberbau durch Versuche und Beobachtungen festzustellen, desgl. auch die Grösse  $a = f(\Delta T)$ . Die Untersuchung der Reaktion der Langschiene auf die Temperatur-Wechsel, sowie die Theorie des Schienenstosses sind weiteren Aufsätzen vorbehalten.

### Sind Flanschen hoch beansprucht?

Von Ing. Dr. O. SCHNYDER, Ges. der Ludw. von Roll'schen Eisenwerke, Eisenwerk Klus

In vielen Fällen bewähren sich bereits schwache Flanschen, während sich in anderen Fällen starke als ungenügend erweisen. Es ist so nicht zu verwundern, dass die Auffassungen über die Beanspruchung der Flanschverbindungen auseinander gehen.

Spannungsmessungen erlauben eine interessante Feststellung. Bei nicht hinterdrehten Flanschen weist die Uebergangskurve zum Rohr oft Druckspannungen auf. Es sind die an der Flanschentrennfläche wirkenden Stützkkräfte und der innere Leitungsdruck, die diese Beanspruchung herbeiführen. Vergleichen wir nach Abb. 1 und 2 einen abgestützten und einen hinterdrehten Flansch, so ergibt sich, wenn  $S$  die Schraubkraft,  $A$  die Rohraxialkraft und  $Z$  die Stützkraft bezogen auf 1 cm des Rohrumfanges  $2r\pi$  bedeuten für die erste Flanschart ein äusseres Biegemoment von

$$M_A = Aa - (S - A)z = Aa - Zz$$

und für die zweite Form ein solches von

$$M^*_A = Aa + (S - A)z = Aa + Z^*z^*$$

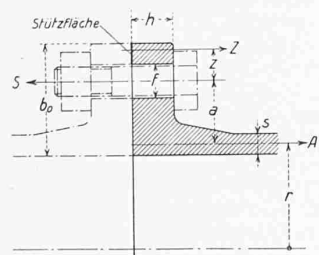


Abb. 1 Abgestützter Flansch

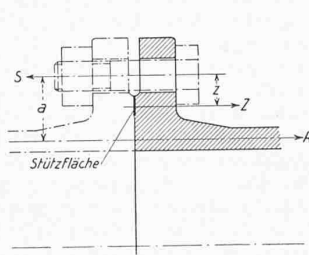


Abb. 2 Hinterdrehter Flansch

Während bei der hinterdrehten Form das Moment sich durch Anziehen der Schrauben erhöht, erfolgt bei der abgestützten Bauart das Gegenteil. Für  $A_a = Z_z$  wird das Moment sogar null. Diese, vielen Praktikern bekannte Erscheinung wird merkwürdigerweise in der Literatur selten erwähnt<sup>1)</sup>. Das vom Flansch auf das Rohr übertragene innere Biegemoment  $M$  und die innere Querkraft  $Q$  lassen sich für ein zylindrisches Rohr gleicher Wandstärke, wenn man von Nebensächlichem absieht, nach der Schalentheorie berechnen. Die Verdrehung  $\delta_F$  des Flansches bestimmt

<sup>1)</sup> Schulz-Grunow macht hiervon in dem sehr beachtenswerten Aufsatz: Die Festigkeit verschraubter Druckleitungen in «Wasserkraft und Wasserwirtschaft», 1934, Heft 15, eine Ausnahme.

sich mit  $\alpha_F$  und  $\beta_F$  als Einflusszahlen für Moment und Querkraft nach Abb. 3 zu

$$\delta_F = \alpha_F (M_A - M) + \beta_F Q$$

Ebenso findet man die Flanschaufweitung  $y_F$  an der Uebergangsstelle zum Rohr mit den Einflusszahlen  $\varphi_F$  und  $\psi_F$  zu

$$y_F = -\varphi_F (M_A - M) - \psi_F Q$$

Analog ergibt sich für die Rohrrandverdrehung  $\delta_R$  entsprechend den Einflusszahlen  $\alpha_R$  und  $\beta_R$  die Beziehung

$$\delta_R = \alpha_R M + \beta_R Q$$

und für die Rohraufweitung  $y_R$  mit den Einflusszahlen  $\varphi_R$  und  $\psi_R$  die Formel

$$y_R = \varphi_R M + \psi_R Q$$

Somit folgen aus der Bedingung  $\delta_F = \delta_R$  und  $y_F = y_R$

zwei Bestimmungsgleichungen für  $M$  und  $Q$ :

$$(\alpha_R + \alpha_F) M + (\beta_R - \beta_F) Q = \alpha_F M_A$$

$$(\varphi_R - \varphi_F) M + (\psi_R + \psi_F) Q = -\varphi_F M_A$$

Wir beschränken nun unsere weitere Berechnung auf Flanschen die im Verhältnis zum Rohrdurchmesser nur eine geringe Breite besitzen und daher als Ringe betrachtet werden dürfen. Dann besteht unter den Einflusszahlen folgender Zusammenhang, der die Flanschberechnung wesentlich erleichtert:

$$\beta_R = \frac{l}{2} \alpha_R \quad \beta_F = \frac{h}{2} \alpha_F$$

$$\varphi_R = \frac{l}{2} \alpha_R \quad \varphi_F = \frac{h}{2} \alpha_F$$

$$\psi_R = \frac{l^2}{2} \alpha_R \quad \psi_F = \frac{h^2}{3} \alpha_F^2$$

Nach einem Vorschlag von Widerkehr<sup>3)</sup> bedeutet  $l$  den Zylinder-Modul der nach der Formel  $l = 0,77\sqrt{r s}$  von den Rohrabmessungen abhängig ist. Ferner besitzt die

Rohrrandverdrehung die Einflusszahl  $\alpha_R = 12 \frac{m^2 - 1}{m^2} \frac{l}{s^3 E}$

und die Flanschverdrehung eine solche von  $\alpha_F = \frac{12 R r}{b h^3 E}$

Für die Flanschberechnung ist es zweckmässig,  $\frac{h}{2} Q = N$  zu setzen und zwei Flanschformziffern

$$x = \frac{\alpha_F}{\alpha_R} \quad \text{und} \quad y = \frac{l}{h}$$

zu benutzen. Dadurch erhalten die Bestimmungsgleichungen für  $M$  und  $Q$  bzw.  $N$  die einfache Form

$$(1 + x) M + (y - x) N = x M_A$$

$$(y - x) M + \left(2y^2 + \frac{4}{3}x\right) N = -x M_A$$

aus denen sich

$$M = \frac{2y^2 + y + \frac{x}{3}}{y^2 + 2xy^2 + 2xy + \frac{4}{3}x + \frac{x^2}{3}} x M_A = \varphi M_A$$

$$\text{und } N = \frac{-(1 + y)}{y^2 + 2xy^2 + 2xy + \frac{4}{3}x + \frac{x^2}{3}} x M_A = \psi M_A$$

herausfinden.

Der Rohrdruck  $p$  erzeugt in genügender Entfernung vom Flansch eine Rohraufweitung

$$y_R = \frac{r^2 p}{s E}$$

wogegen der «freie» Flansch durch  $p$  nur um den Betrag

$$y_F = \frac{r^2 p}{b E}$$

nach aussen geschoben wird. — Die «gegenseitige Verschiebung»

$$y_P = y_R - y_F = \frac{p r^2}{E s} \left(1 - \frac{s}{b}\right)$$

wird durch eine Querkraft  $Q_P$  und ein Biegemoment  $M_P$  verhindert. Der Flansch spannt das Rohr ein, und wie aus Abb. 4 (nebenan) ersichtlich, treten in der äusseren Faser der Hohlkehle Druckspannungen auf. — Das Randbiegemoment für eine vollständige Einspannung des Rohres beträgt

$$M_l = -p \left(1 - \frac{s}{b}\right) \frac{l^2}{2}$$

<sup>2)</sup> Hier ist berücksichtigt, dass  $Q$  den Flansch auch auf Zug beansprucht.

<sup>3)</sup> Widerkehr: Die Berechnung der Flansche. «Technik und Betrieb», 1937, Nr. 38/39.

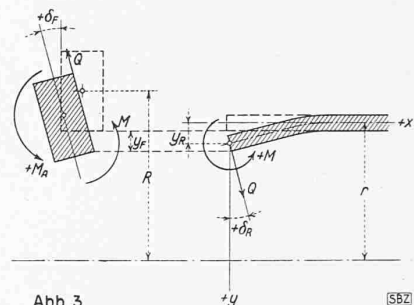


Abb. 3

SBZ