

### Die Stabilität des lückenlosen Gleises.

Von Alfred Bloch, München.

#### Vorwort.

Die Knicksicherheit des lückenlosen Gleises ist heute eine brennende Frage. Mit einer Kraft, die man schon fast als immanent empfindet, steuert die Entwicklung auf das durchgehend geschweißte Gleis hin. Das lückige Gleis ist nicht die Fahrbahn, die wir brauchen, und obwohl wir sehr wahrscheinlich den Schienenstoß noch verbessern können, kommen wir doch so nicht zu einer voll befriedigenden Lösung. Der Wettbewerb des Autos drängt aber zu neuen Formen. Die Vermeidung der Stöße wäre eine der wichtigsten Fortschritte in der Annehmlichkeit des Reisens, soweit wir nicht etwa bei der Eisenbahn zu Gummirädern kommen.

Das lückenlose Gleis ist ein Wagnis. Schon die 30 m-Schiene und erst recht die 60 m-Schiene sind es gewesen. Es ist überraschend gut gegangen. Aber die Sorge bleibt, namentlich, wenn wir in dieser Richtung weiter gehen. Nicht umsonst drängen also von allen Seiten Theorie und Praxis zu einer Lösung. Scharfes Suchen wird auch hier den Erfolg bringen.

Versuche, die mehr geben sollen als Tatbeweis und grobe Erfahrung, müssen von einer Theorie getragen sein. Mit Recht haben deshalb die zwei Forscher, die sich dem Studium dieser Frage in letzter Zeit vorzugsweise gewidmet haben, auch eine Theorie entwickelt. Die Frage ist, ob sie hinreicht. Wir müssen das leider verneinen. Nur eine Theorie ist gut, die in sich widerspruchsfrei ist und die anerkannten Grundsätze der Mechanik nicht verletzt. Über Annahmen kann man im übrigen streiten, aber von obiger Forderung gibt es keine Befreiung.

Daß die aufgestellte Theorie nicht haltbar ist, zeigt der nachfolgende Aufsatz von Bloch. Mit wenig Rechnung werden hierin die mechanischen Verhältnisse klargestellt. Eine Schiene, die durch ihr Eigengewicht belastet ist, kann nicht in der Weise ausknicken, wie wir es beim gewöhnlichen Knickvorgang beobachten.

Durch die Wirkung des Eigengewichts entsteht vielmehr ein mechanisches System, das man am besten als einen Mechanismus mit Totpunktspernung auffaßt. Man spricht auch besser statt von Ausknicken von einem Um- oder Hochschnappen.

Dieses Hochschnappen der Schiene kann erst eintreten, wenn die Schiene durch äußere Kräfte um ein verhältnismäßig beträchtliches Stück aus ihrer Strecklage emporgehoben worden ist. Solange die Störungen durch äußere Kräfte kleiner bleiben als dieser kritische Wert, solange ist „begrenzte“ Sicherheit vorhanden.

Beim Hochkrümmen der Schiene tritt eine Entspannung ein. Unter Umständen ist sie hinreichend, um ein „Schnappen“ überhaupt auszuschließen. Es ist dann der Zustand der „vollkommenen“ Sicherheit gegen Schnappen erreicht.

Es wird sich wohl empfehlen, in absehbarer Zeit eine Arbeitsgemeinschaft einzusetzen, die diese Fragen im einzelnen weiter verfolgt. In dieser dürfte ein anerkannter Fachmann der Mechanik nicht fehlen. Andernfalls besteht offenbar große Gefahr, daß die Entwicklung in ähnlicher Weise verläuft, wie wir es in der Rangiertechnik erlebt haben.

Dort war ein Jahrzehnt notwendig, um nach viel wissenschaftlichem Leerlauf die Grundanschauungen der Mechanik zur Geltung zu bringen und die klaren und einfachen Linien herauszuarbeiten, die die Praxis für ihre Entscheidungen braucht.

Bäsel.

Die nachstehenden Ausführungen bringen eine Untersuchung der Stabilität des lückenlosen Gleises an Hand einfacher Energiebetrachtungen (Prinzip der virtuellen Verschiebungen). Es wird sich hierbei herausstellen, daß hier Gleichgewichtsverhältnisse vorliegen, die sich in charakteristischer Weise von denen des gewöhnlichen Knickvorgangs unterscheiden\*).

Die Untersuchung, die nur das Grundsätzliche klären soll, sei im folgenden beschränkt auf den Fall des nach oben aus-

\*) Untersuchungen ähnlicher Art hat in Heft 4 und 13, Jahrgang 1931 v. Gruenewaldt veröffentlicht. Diese Untersuchungen sind in Heft 6 des laufenden Jahrgangs durch einen Bericht über Versuche, die Prof. Dr. Ammann, Karlsruhe, gemeinsam mit Dr. v. Gruenewaldt ausgeführt hat, sowie durch einige theoretische Ergänzungen hierzu zu einem vorläufigen Abschluß gebracht.

So wertvoller Stoff hierin im einzelnen enthalten ist, so ist doch zu sagen, daß die grundlegenden Anschauungen an entscheidender Stelle nicht als richtig angesehen werden können. Der Gleichgewichtsansatz, der sich dort findet, entspricht wohl der üblichen, etwas unscharfen Fassung, in der man das Energieprinzip auf den gewöhnlichen Knickvorgang anwendet. Hier ist er nicht zulässig; er führt nicht nur zu unzutreffenden, teilweise sogar physikalisch undenkbaaren Ergebnissen, sondern läßt auch die Eigenart des vorliegenden Stabilitätsproblems nicht erkennen.

knickenden Gleises. Die Untersuchung des nach der Seite ausweichenden Gleises läßt sich in entsprechender Weise durchführen.

Als Ausgangspunkt der Betrachtungen sei eine Anordnung gemäß Abb. 1 gewählt. Die Abbildung zeigt einen beiderseits

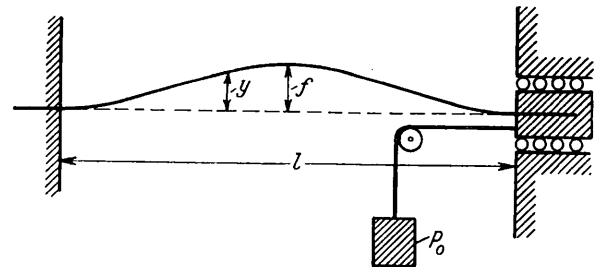


Abb. 1. Stabilitätsverhältnisse beim gewöhnlichen Knickvorgang. eingespannten Träger; durch ein Rollenlager ist das rechte Ende so gehalten, daß es sich zwar verschieben aber nicht verdrehen kann. Das am Seil hängende Gewicht übt auf den Träger die Druckkraft  $P_0$  aus.

Zunächst sei an dieser Anordnung der gewöhnliche Knickvorgang betrachtet.

Man nimmt hierzu als passende virtuelle Verschiebung\*) eine Ausbiegung der Stabachse von der Form

$$1) \dots \dots \dots y = f \sin^2 \frac{\pi x}{l}$$

Da der Stab hierbei unter dem Einfluß der konstanten Kraft  $P_0$  steht, behält er bei dieser virtuellen Verschiebung seine Länge bei; das rechte Auflager geht daher um ein Stück  $\lambda$  nach links, das aus einer kurzen geometrischen Betrachtung (siehe z. B. auch den Aufsatz Dr. von Gruenewaldts) folgt zu

$$2) \dots \dots \dots \lambda = \frac{f^2 \pi^2}{4l}$$

In der ausgebogenen Form enthält der Stab gegenüber der gestreckten Form eine gewisse zusätzliche Biegearbeit  $A_b$ ,

$$3) \dots A_b = \frac{EJ}{2} \int (y'')^2 dx = \frac{4EJ\pi^2}{l^2} \cdot \frac{f^2 \pi^2}{4l} = K \cdot \lambda,$$

wenn wir abkürzend für den 1. Faktor den Buchstaben  $K$  einführen.

Die hier vorgenommene virtuelle Verschiebung kann selbstverständlich statt durch die Angabe von  $f$  auch durch die Angabe von  $\lambda$  gekennzeichnet werden.

Die potentielle Energie des gesamten Systems hat sich hierbei um folgende Beträge geändert:

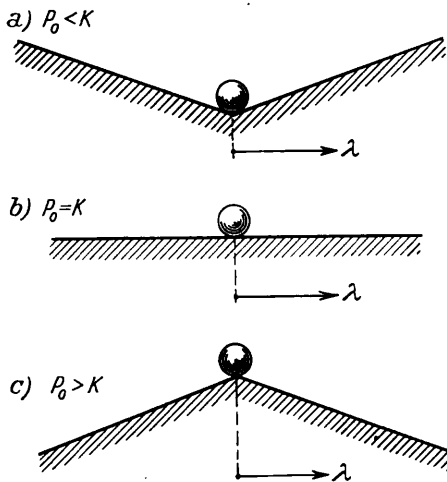


Abb. 2. Stabilitätsverhältnisse beim gewöhnlichen Knickvorgang. (Anordnung gemäß Abb. 1.)

Das Gewicht hat sich um den Betrag  $\lambda$  gesenkt, und damit ist der im Gewicht steckende Anteil an potentieller Energie um  $P_0 \cdot \lambda$  vermindert.

Dafür ist als elastische Formänderungsarbeit neu gespeichert der Betrag  $K \cdot \lambda$ .

a) Ist  $K \cdot \lambda > P_0 \cdot \lambda$  oder  $K > P_0$ ,

\*) Für die Leser, die mit der hier angewendeten „Energie-methode“ weniger vertraut sind, sei angemerkt, daß als solche virtuelle Verschiebung jede Verschiebung gewählt werden darf, die mit den Grenzbedingungen (im vorliegenden Fall mit der Einspannung der beiden Trägerenden) verträglich ist. So könnte man hier z. B. auch aus Parabel- oder Kreisbögen eine passende krumme Linie mit horizontalem Anfang und Ende bilden; bei der nachfolgenden Rechnung würde man hierdurch natürlich etwas andere Zahlenergebnisse erhalten.

Wie man sich durch Nachrechnung leicht überzeugen kann (man vergleiche etwa auch die Beispiele in Föppl, „Drang und Zwang“, Bd. II, S. 300 ff.), weichen die so erhaltenen verschiedenen Lösungen sehr wenig von der genauen Lösung ab. Die genaue Lösung erhält man, wenn man (zufällig) eine Verschiebung angenommen hat, die mit der Form der tatsächlich auftretenden Biegelinie übereinstimmt; das trifft z. B. hier zu. Gewöhnlich wird das aber nicht der Fall sein; nach einem allgemeinen Satz erhält man dann durch diese Näherungsmethode eine Knicklast, die etwas größer ist, als die wirkliche Knicklast, unterschätzt also die Knickgefahr. In Anbetracht der Geringfügigkeit des Fehlers wird dieser Nachteil gern in Kauf genommen, um so mehr, als in bezug auf Einfachheit und Anschaulichkeit die Energie-methode allen anderen Methoden weit überlegen ist.

so muß zur Erreichung der vorgenommenen Verschiebung, und sei sie noch so klein, Energie von außen zugeführt werden, d. h.: die gestreckte Lage des Stabes ist stabil.

b) Wird  $K \cdot \lambda = P_0 \cdot \lambda$ , so kann man den Stab ohne äußere Energiezufuhr in jede beliebige der durch  $\lambda$  gekennzeichneten gekrümmten Formen überführen: der hierzu notwendige Verbrauch an Energie wird eben gerade durch das absinkende Gewicht geliefert. Die Anordnung befindet sich in jeder dieser Lagen im indifferenten Gleichgewicht.

c) Entsprechend wird bei  $K \cdot \lambda < P_0 \cdot \lambda$  beim Übergang aus der gestreckten Lage in die gekrümmte ein Betrag an Energie frei vom Betrag  $(P_0 - K) \cdot \lambda$ , der dazu verwendet wird den Stab nach außen zu schnellen; es tritt Knicken ein.

Die Knickgrenze ergibt sich hiernach also zu

$$4) \dots \dots \dots P_0 = K = \frac{4EJ\pi^2}{l^2}$$

Man erkennt leicht, daß die Stabilitätsverhältnisse des oben behandelten Falles a) gemäß Abb. 2, a) veranschaulicht werden können durch eine Kugel, die in einer Vertiefung liegt. Auch hier muß bei einer Verschiebung  $\lambda$  Energie von außen zugeführt werden.

Abb. 2, b) entspricht dem obigen Fall b); die Neigung der Ränder der Vertiefung ist hier gleich Null. Schließlich ist im Falle c) die Neigung dieser Ränder sogar negativ.

Nun betrachte man erneut den Stab (Abb. 1) unter der gleichzeitigen Einwirkung einer gleichmäßig über seine Länge verteilten Last von der Intensität  $g$ . Es soll wieder das Ausknicken nach oben untersucht werden. Die Form, in die die Stabachse übergeht, sei gleich angenommen wie im vorhergehenden Falle.

Dann hat die potentielle Energie des Systems bei der Ausbauchung nicht nur um den Betrag an Biegearbeit, sondern auch um den Betrag für das Heben von  $g$  zugenommen. Dieser wird

$$5) \dots \dots \dots A_h = g \cdot \int_{x=0}^{x=l} y dx = g \cdot l \cdot \frac{f}{2}$$

wie man auch ohne weitere Rechnung sieht, da ja die mittlere Höhe der angenommenen Wellenlinie eben gleich  $\frac{f}{2}$  wird.

Drückt man  $f$  durch  $\lambda$  aus, so erhält man

$$6) \dots \dots \dots A_h = \frac{g \cdot l}{2} \cdot \frac{2}{\pi} \cdot \sqrt{l \cdot \lambda} = \frac{g \cdot l}{\pi} \cdot \sqrt{l \cdot \lambda}$$

Am besten verfolgt man nun die Änderung der potentiellen Energie des gesamten Systems in einer graphischen Darstellung (Abb. 3a).

In Abhängigkeit von der gewählten Verschiebung ist hier durch die Parabel  $\frac{g \cdot l}{\pi} \sqrt{l \cdot \lambda}$  die Energiezunahme durch die Hubarbeit  $A_h$  dargestellt, während durch die Gerade  $(P_0 - K) \cdot \lambda$  die gleichzeitige Energieabnahme, herrührend vom Absinken des Gewichts  $(P_0 \cdot \lambda)$ , abzüglich der Biegearbeit  $(K \cdot \lambda)$ , dargestellt wird.

Diese Gerade verläuft offenbar um so steiler, je größer  $P_0$  gegenüber  $K$  ist.

Der Verlauf der beiden Linien läßt erkennen, daß zunächst (unabhängig von den besonderen Werten für  $g$  und  $l$ ) bei der allerersten Verschiebung aus der Strecklage des Stabes dem System Energie von außerhalb zugeführt werden muß, da zunächst auf jeden Fall die Parabel über der Geraden verläuft.

Bei einer bestimmten Größe der Verschiebung (sie soll mit  $\lambda_1$  bezeichnet werden) verläuft die Tangente an die Parabel parallel zur Geraden. Das besagt, daß für eine weitere Ver-

schiebung  $\pm d\lambda$  die Energiezunahme durch Hubarbeit gleich der Energieabnahme ist (bis auf Größen zweiter Ordnung), also daß hierbei die gesamte Energie des Systems sich nicht ändert. Das System ist also bei dieser Lage im Gleichgewicht. Dieses Gleichgewicht ist, wie man weiter sofort ablesen kann, instabil, da bei Verschiebungen  $\pm d\lambda$  die Gesamtenergie des Systems um unendlich kleine (von zweiter Ordnung kleine) Energiebeträge abnimmt, das System also in dieser Lage ein Maximum an potentieller Energie besitzt.

Es sei noch auf den Schnittpunkt der beiden Linien mit der Abszisse  $\lambda_2$  eingegangen. Er entspricht einer Verschiebung, bei der das System im ausgeknickten Zustand dieselbe Energie besitzt wie vor der Ausknickung, d. h. also: die anfänglich zur Einleitung der Ausknickung aufgewandte Energie ist wieder vollständig zurückgegeben worden\*). Man muß sich darüber klar werden, daß das System in dieser Lage nicht im Gleichgewicht ist, da bei unendlich kleinen Verschiebungen  $\pm d\lambda$  Energiebeträge aufgenommen oder abgegeben werden, die unendlich klein von erster Ordnung sind oder anders ausgedrückt, weil diese Verschiebung  $\lambda_2$  weder einem Maximum noch einem Minimum an potentieller Energie des Systems entspricht.

Man erkennt leicht, daß die hier auftretenden Stabilitätsverhältnisse dieselben sind, wie sie für einen materiellen Punkt (als Kugel gezeichnet) gelten, der in einer Vertiefung von der durch Abb. 3b gegebenen Form liegt.

Es ist zweckmäßig, von der Darstellung gemäß Abb. 3a auf die Darstellung 3c überzugehen. Hier stellt die mit  $(P_0 - K)$  gekennzeichnete horizontale Linie den konstanten Differentialquotienten der Geraden  $(P_0 - K) \cdot \lambda$  dar, ebenso die hyperbelartige Linie  $\frac{g l \sqrt{l}}{2 \pi \sqrt{\lambda}}$  den Differentialquotienten der Parabel

$$\frac{g l}{\pi} \sqrt{l} \cdot \sqrt{\lambda}.$$

Beiden Linien der Abb. 3c kann man physikalische Bedeutung geben: man kann sie nämlich als generalisierte Kräfte (zur generalisierten Systemkoordinate  $\lambda$  gehörig) auffassen, da sie ja, multipliziert mit der Verschiebung  $d\lambda$  jeweils die zugehörigen Änderungen der einzelnen Energiebeträge ergeben.

In dieser Darstellung kennzeichnet sich der Gleichgewichtszustand als Schnittpunkt der beiden Linien und dies läßt sich leicht anschaulich deuten: Es muß die generalisierte, vom Gewicht  $g$  herrührende Kraft (die das Ausknicken zu hindern sucht) gleich werden der generalisierten Kraft, die das Ausknicken zu fördern sucht. Letztere Kraft ( $P_0$  vermindert um den konstanten Betrag  $K$ ) ist ohnedies sehr gut anschaulich vorstellbar.

Die Instabilität des Gleichgewichtszustandes ( $\lambda_1$ ) ist jetzt deutlich an folgendem zu erkennen. Wird eine kleine Störung am System vorgenommen, z. B.  $\lambda_1$  um  $d\lambda$  vergrößert, so nimmt die das Knicken hindernde Kraft ab, die andere, fördernde Kraft, bleibt gleich groß. Es besteht also kein Bestreben, in

\*) Es ist dies der Punkt, der durch den Ansatz von v. Gruenewaldt gefunden wird und in dem er irrtümlich das System im Gleichgewicht glaubt.

Dr. v. Gruenewaldt vergleicht dann sein Ergebnis mit der genauen Lösung, die aus der Differentialgleichung der Biegelinie folgt. Die Tatsache, daß die beiden Lösungen sich deutlich um den Faktor 2 unterscheiden, gibt ihm Veranlassung, ein Glied dieser Differentialgleichung mit dem „Korrekturfaktor“ 2 zu versehen. Auf diese Weise ergibt sich dann Übereinstimmung der beiden Lösungen. (Siehe Anmerkung 10, Seite 110, 1931 und „Berichtigung“, Seite 298, 1931.) Die Begründung, die er hierfür gibt, ist allerdings physikalisch nicht haltbar; ebensowenig der Arbeitsansatz für das Ausknicken des Gleises in wagrechter Richtung, der in der genannten Berichtigung mit anderer Begründung als im ersten Aufsatz aufrecht erhalten wird.

(Die hier gefundene Lösung —  $\lambda_1$  — stimmt ohne weiteres mit der Lösung der richtigen Differential-Gleichung überein.)

die alte Lage zurückzukehren: der Stab schnappt hoch. Analoges gilt bei einer Verminderung von  $\lambda_1$  um  $d\lambda$ : der Stab fällt in die Strecklage zurück.

Die Verschiebung von der Größe  $\lambda_2$ , die für diese Betrachtungen als bedeutungslos erkannt wurde, ist im neuen Diagramm überhaupt nicht besonders ausgezeichnet.

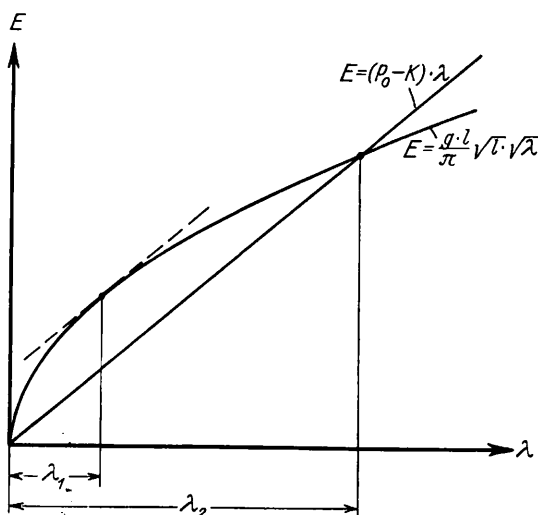


Abb. 3a.

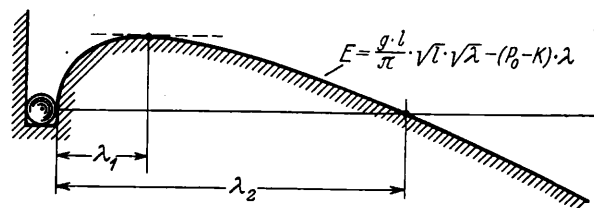


Abb. 3b.

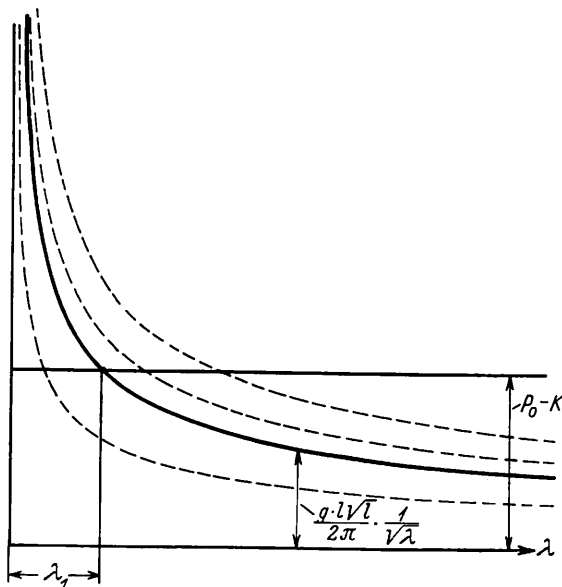


Abb. 3c.

Es ist ganz zweckmäßig sich das Neue und Kennzeichnende dieser Stabilitätsverhältnisse, die durchaus von denen des gewöhnlichen (Eulerschen) Knickvorgangs abweichen, noch an einem einfacheren Beispiel klarzumachen.

In Abb. 4 ist ein Kniehebelmechanismus dargestellt, der im mittleren Gelenk durch ein Gewicht  $G$  belastet ist. Das Wesentliche hieran ist, daß auch hierbei die Verschiebung  $\lambda$  des rechten Auflagers quadratisch abhängig ist vom Hub  $f$ :

$$7) \dots \dots \lambda = 1 \cdot \frac{\alpha^2}{2} = \frac{1}{2} \cdot \left( \frac{2f}{1} \right)^2 = \frac{2f^2}{1}.$$

Die Änderung der Energie des Systems beim Übergang aus der Strecklage in die gezeichnete Lage beträgt

$$8) \dots E = G \cdot f - P_0 \cdot \lambda = G \cdot \sqrt{\frac{l}{2}} \cdot \sqrt{\lambda} - P_0 \cdot \lambda.$$

Man würde diese Beziehung in einer graphischen Darstellung analog zu Abb. 3a wiedergeben können.

Gleichgewicht ist vorhanden, wenn

$$9) \dots \frac{dE}{d\lambda} = 0 = \frac{G}{2} \cdot \sqrt{\frac{l}{2\lambda}} - P_0$$

oder, in f ausgedrückt

$$10) \dots G = P_0 \cdot \frac{4f}{l}$$

Der weitere Vergleich dieser Anordnung mit der Anordnung gemäß Abb. 1 kann dem Leser selbst überlassen werden.

Im Fall der Anordnung Abb. 1 ergibt sich für die Koordinate  $\lambda_1$  bei der Gleichgewicht eintritt, nach dem früheren (s. Abb. 3c) die Beziehung

$$11) \dots P_0 - K = \frac{g l \sqrt{l}}{2 \pi \cdot \sqrt{\lambda}}$$

oder, wenn man statt  $\lambda$  wieder f einführt [s. Gl. 2)]

$$12) \dots P_0 - K = \frac{g l^2}{\pi^2 \cdot f}$$

$$13) \dots g = (P_0 - K) \cdot \frac{\pi^2}{l^2} \cdot f.$$

Der physikalische Inhalt der zuletzt abgeleiteten Beziehung sei nochmals in Worten ausgedrückt: Man kann dem System eine bestimmte Verschiebung  $\lambda$  bzw. f zunächst willkürlich vorschreiben. Durch Wahl eines bestimmten Wertes von g kann man dann erreichen, daß diese Lage des Systems zu einer — allerdings instabilen — Gleichgewichtslage wird.

In der graphischen Darstellung der Abb. 3c drückt sich dies in folgender Weise aus: Den verschiedenen Werten von g entsprechen eine Reihe von solchen hyperbelartigen Kurven (in der Abb. 3c gestrichelt), die alle auseinander durch affine Verzerrung in Richtung der vertikalen Achse hervorgehen. Jede schneidet einmal die Linie  $(P_0 - K)$ . Umgekehrt ist durch Wahl der Abszisse  $\lambda$  des Schnittpunktes aus dieser Kurvenschar eine mit einem ganz bestimmten Wert von g herausgewählt.

Damit ist dieser allereinfachste Fall genügend geklärt.

Er gibt zugleich den Fall des nach oben ausknickenden Gleises wieder, wenn man die Entspannung des Gleises vernachlässigt, die beim Übergang in die gekrümmte Form auftritt.

Man kann daher unmittelbar hieran die Frage knüpfen: Wie ist die Sicherheit einer solchen Anordnung zu beurteilen? Offenbar richtet sich das ganz danach, welche größte Störung (Heraustreiben aus der Strecklage) im ungünstigsten Falle zu erwarten ist.

Während beim „Eulerschen“ Ausknicken (bei Erfüllung der hierfür notwendigen Bedingung) der Knickvorgang ausgelöst wird durch eine unendlich kleine Störung, ist hier immer eine durchaus endliche Störung (sowohl in bezug auf den Mindestbiegungspfeil f wie in bezug auf die hierzu nötige Energie) notwendig. Es ist daher wohl zweckmäßig statt von einem Knicken in einem derartigen Fall von einem „(Um-)Schnappen“ zu sprechen. (Im vorliegenden Fall statt von einem Umschnappen anschaulicher noch von einem „Auf“- oder „Hoch“-Schnappen.)

Man wird offenbar den Betrag dieser zulässigen Störung als Maß der erreichten Sicherheit betrachten. Das Maß dieser Störung selbst kann noch verschiedener Natur sein. Man kann

z. B. entweder den gerade noch zulässigen Biegungspfeil f angeben, bei dem dann das Umschnappen eintritt oder man kann den Energiebetrag angeben, den man zuführen muß, um die Anordnung in diese kritische Lage zu bringen.

Von einem System, das sich in der vorliegenden Weise verhält, wollen wir in Zukunft sagen, daß es „begrenzte Sicherheit gegen Umschnappen besitzt“. In abgekürzter Weise sei auch von einer „begrenzten Schnapp-Sicherheit“ gesprochen. Wir werden im folgenden erkennen, daß unter Umständen solche Systeme noch einen höheren Grad von Sicherheit erreichen können, den wir als „volle Sicherheit gegen Umschnappen“ (abgekürzt als „vollkommene Schnapp-sicherheit“) bezeichnen wollen.

Führt man als Maß der zulässigen Störung den Biegungspfeil f ein, so verlaufen die Betrachtungen in folgender Form weiter:

Aus Gl. 13) folgt für die zulässige Störung f

$$14) \dots f = \frac{g l^2}{\pi^2} \cdot \frac{1}{P_0 - K} = \frac{g l^2}{\pi^2} \cdot \frac{1}{P_0 - \frac{4 E J \pi^2}{l^2}}$$

Hier hängt f noch (bei gegebenem  $P_0$  und g) von der Wahl von l ab. Diejenige Schienenlänge l die den kleinsten Wert für f liefert, wird man als maßgebend betrachten.

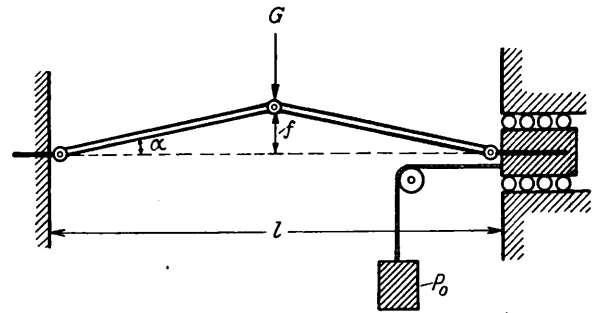


Abb. 4.

In der üblichen Rechenweise findet man als kritischen Wert von l

$$15) \dots l = 2 \pi \sqrt{\frac{2 E J}{P_0}}$$

und hieraus

$$16) \dots f = \frac{16 g E J}{P_0^2}$$

Als Zahlenbeispiel sei durchgerechnet der Fall der Schiene S 49 bei 45° Temperaturerhöhung. (Zahlenangaben nach Dr. v. Gruenewaldt.)  $P_0 = 140 \text{ t}$ ,  $g = 200 \text{ kg/m}$ ,  $J = 3600 \text{ cm}^4$ ,  $E = 2,1 \cdot 10^6 \text{ at}$ . Es ergibt sich:

$$l = 2 \pi \sqrt{\frac{2 \cdot 2,1 \cdot 10^6 \cdot 3600}{140 \cdot 1000}} \text{ cm} = 20,3 \text{ m}$$

$$f = \frac{16 \cdot 2 \cdot 2,1 \cdot 10^6 \cdot 3600}{140 \cdot 1000^2} = 12,4 \text{ cm.}$$

Man erkennt, daß die „begrenzte Schnappsicherheit“ hierbei noch recht erheblich ist und man wird die Frage wohl zu prüfen haben, ob es in allen Fällen notwendig und praktisch erreichbar ist, den Zustand der „vollkommenen Schnapp-sicherheit“ zu erreichen, der im nachstehenden besprochen sei.

Um auch hier klare physikalische Vorstellungen bilden zu können, sei wieder an den Fall des beiderseits eingespannten Balkens angeknüpft, der ebenfalls in der Strecklage zunächst mit  $P_0$  belastet wurde, bei dem aber dann das vorhin bewegliche rechte Auflager unbeweglich gemacht wird. Infolgedessen wird beim Ausknicken (für das wir wieder die gleiche Form des ausgebogenen Trägers annehmen), jetzt keine Verschiebung dieses Auflagers mehr eintreten, sondern eine entsprechend

gleich große Verlängerung der Stabachse und damit ein Herabgehen der im Stab herrschenden Druckkraft von  $P_0$  auf  $P_0 - \lambda c$ , wenn wir abkürzend  $\frac{EF}{l} = c$  setzen.

Die einzelnen Verschiebungen können auch jetzt wieder gekennzeichnet werden statt durch Angabe des Biegunspfeiles  $f$  durch das zugehörige [Formel 2)]  $\lambda$ , das nur jetzt eine andere physikalische Bedeutung hat. Die Biegungsarbeit drückt sich daher in der gleichen Form aus wie vorhin; der Energieverminderung des Systems, die vorhin vom Absinken des Gewichts  $P_0$  herrührte, entspricht jetzt die Verminderung der Kompressionsenergie des Stabes. Diese Energie beträgt in der Strecklage  $\frac{P_0^2}{2c}$ , in der ausgeknickten Lage  $\frac{P^2}{2c} = \frac{(P_0 - \lambda c)^2}{2c}$ .

Bei einer Änderung um  $d\lambda$  ändert sie sich um den Betrag  
18)  $dA = \frac{\partial}{\partial \lambda} \left[ \frac{(P_0 - \lambda c)^2}{2c} \right] d\lambda = -(P_0 - \lambda c) d\lambda = -P d\lambda$ .

Daraus folgt, daß die das Knicken hindernde generalisierte Kraft einfach statt des vorhin gefundenen Wertes  $(P_0 - K)$  den Wert  $P_0 - K - \lambda c$  besitzt. Mit wachsendem  $\lambda$  nimmt eben das Bestreben des Stabes, auszuknicken, ab.

In der graphischen Darstellung (Abb. 5 a) zeigt sich dies darin, daß an Stelle der horizontalen Linie  $(P_0 - K)$  die schräg nach abwärts geneigte Linie  $(P_0 - K - \lambda c)$  auftritt.

Sie gibt auf jeden Fall zwei Schnittpunkte mit der Linie  $\frac{g l \sqrt{l}}{\pi 2 \sqrt{\lambda}}$ ; der erste entspricht dem bereits vorhin diskutierten instabilen Gleichgewichtszustand mit der Abszisse  $\lambda_1$ , der zweite mit der Abszisse  $\lambda_3$  entspricht dem (stabilen) Endzustand, in den der Stab zum Schluß übergeht, nachdem er über  $\lambda_1$  hinausgeschnappt ist.

Es ist ganz zweckmäßig, auch nochmals auf die Darstellung der Energieverhältnisse gemäß Abb. 3a zurückzugreifen. Die Parabel  $E = \frac{g l}{\pi} \cdot \sqrt{l} \cdot \sqrt{\lambda}$  bleibt erhalten, dagegen ist die Gerade  $E = (P_0 - K) \cdot \lambda$  zu ersetzen durch eine diese Gerade tangierende Parabel vom Ausdruck

19) 
$$E = (P_0 - K) \cdot \lambda - \frac{\lambda^2 \cdot c}{2}$$

Der Darstellung der Stabilitätsverhältnisse, gemäß Abb. 3c, entspricht daher jetzt eine Anordnung gemäß Abb. 5b. Die Berandung der „Vertiefung“ muß sich wegen des quadratischen Gliedes in  $\lambda$  nunmehr zum Schluß nach oben krümmen. Auf den Energiegipfel ( $\lambda_1$ ) folgt also unbedingt ein Tal ( $\lambda_3$ ).

Die Abszissen dieser Gleichgewichtspunkte ergeben sich gemäß Abb. 5a aus der Gleichung:

20) 
$$P_0 - K - \lambda c = \frac{g l \cdot \sqrt{l}}{2 \pi \cdot \sqrt{\lambda}}$$

Man kann auch diese Gleichung wieder so deuten, daß man sagt, sie ordnet einem bestimmten, zunächst willkürlich wählbaren Wert von  $\lambda$  ein ganz bestimmtes  $g$  zu, nämlich

21) 
$$g = (P_0 - K - \lambda c) \cdot \frac{2 \pi \sqrt{\lambda}}{l \sqrt{l}}$$

Man braucht in Abb. 5 a nur immer diejenige Kurve aus der Schar der „Hyperbeln“ auszusuchen, die eben an dem gewählten Punkt die Linie  $(P_0 - K - \lambda c)$  schneidet.

Man erkennt, daß es unter den verschiedenen hierdurch bestimmten Werten von  $g$  einen Maximalwert gibt. Er entspricht offenbar der eingezeichneten Kurve  $g_{max}$ , die die Gerade  $P_0 - K - \lambda c$  gerade berührt. (In der Tat: Faßt man  $g$  als Parameter der „hyperbel“artigen Kurvenschar auf, so drückt sich die Bedingung des Berührens offenbar dadurch aus, daß bei einer Änderung von  $\lambda$  um  $d\lambda$  kein Übergang zu einer Kurve

mit einem neuen Parameterwert  $g$  auftritt, also

22) 
$$\frac{dg}{d\lambda} = 0.$$

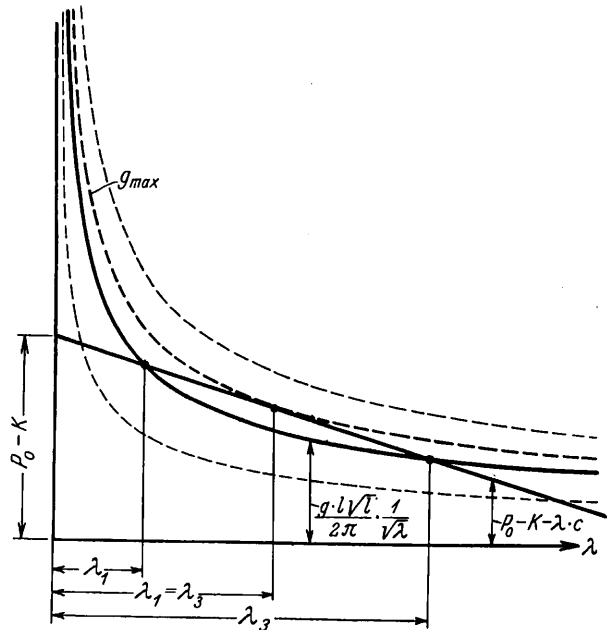


Abb. 5a.

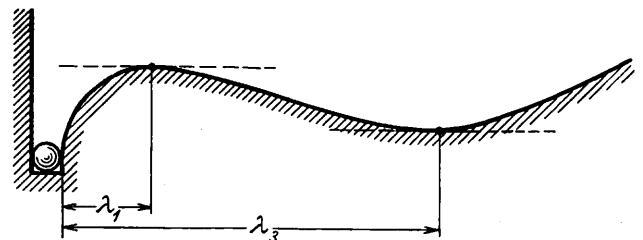


Abb. 5b.

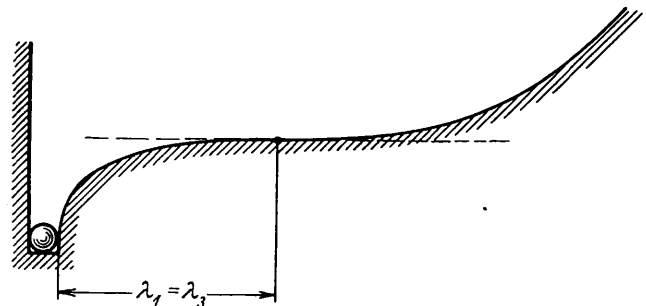


Abb. 5c.

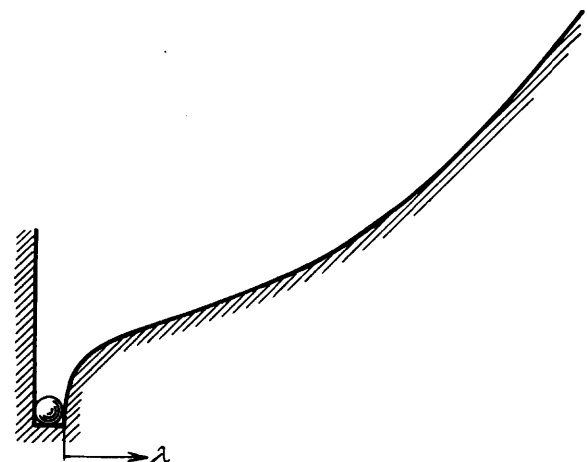


Abb. 5d.

Es genügt, zur Bestimmung des Maximums die Untersuchung des vereinfachten Ausdrucks

$$22a) \dots \dots \dots \varphi = (P_0 - K - \lambda c) \sqrt{\lambda}.$$

$$22b) \dots \dots \frac{\delta \varphi}{\delta \lambda} = \sqrt{\lambda} (-c) + \frac{(P_0 - K - \lambda c)}{2 \sqrt{\lambda}} = 0$$

oder

$$23) \dots \dots \dots \lambda = \frac{P_0 - K}{3c}.$$

Eingesetzt in 24) ergibt dies

$$24) \begin{cases} g = \left( P_0 - K - \frac{P_0 - K}{3} \right) \cdot \frac{2 \pi}{1 \sqrt{1}} \left( \frac{P_0 - K}{3c} \right)^{1/2} \\ = (P_0 - K)^{3/2} \cdot \frac{2}{3} \cdot \frac{2 \pi}{1 \sqrt{1} \sqrt{3c}} = \frac{4 \pi}{3 \sqrt{3}} \frac{1}{\sqrt{EF}} (P_0 - K)^{3/2} \cdot \frac{1}{l} \end{cases}$$

Der so bestimmte Wert von g ist also der maximale Wert, bei dem es gerade noch möglich ist, außerhalb der Strecklage noch eine Gleichgewichtslage zu finden. Das Gleichgewicht in dieser angehobenen Lage ist für diesen besonderen Fall (wegen der Berührung der beiden Kraftkurven in Abb. 5a) indifferent.

Der „Schnapp-Weg“, den das Gleis in den früheren Fällen beim Umschnappen zurückgelegt hätte (Übergang von  $\lambda_1$  auf  $\lambda_3$ ), und der gemäß Abb. 5a mit wachsendem g immer kleiner wird, ist jetzt zu Null geworden. Bei noch höherem g wird man überhaupt keinen Gleichgewichtszustand außerhalb der Strecklage finden. Der Balken wird stets das Bestreben haben in die Strecklage zurückzufallen, unabhängig davon, wie weit er von dieser durch eine aufgebrauchte Störung entfernt wurde.

Die Anordnung sei für diesen Fall als „vollkommen sicher gegen Umschnappen“ bezeichnet. (In abgekürzter Sprechweise: als „vollkommen schnappsicher“.)

Das zur Darstellung der Stabilitätsverhältnisse im Vorhergehenden immer herangezogene Kugelmodell würde für den Grenzfall  $g_{max}$  eine Form gemäß Abb. 5c erhalten: für noch höheres g würde es dann in eine Form gemäß Abb. 5d übergehen.

Vor der Übertragung dieser Betrachtungen auf die Schiene kann man nun noch Balken verschiedener Länge untersuchen. Man wird hier verschiedene Werte von  $g_{max}$  finden. Zunächst sei derjenige Wert von l ermittelt, der den größten Wert für  $g_{max}$  erfordert. Er ergibt sich (in der üblichen Rechenweise) zu

$$25) \dots \dots \dots l = 4 \pi \sqrt{\frac{E J}{P_0}}$$

für diesen Wert ergibt sich

$$26) \dots \dots \dots K = \frac{4 E J \pi^2}{16 \pi^2 E J} P_0 = \frac{P_0}{4}$$

und demnach g nach Gl. 24) zu

$$27) \dots g = \frac{4 \pi}{3 \sqrt{3}} \cdot \frac{1}{\sqrt{EF}} (3/4 P_0)^{3/2} \cdot \frac{\sqrt{P_0}}{4 \pi \sqrt{E J}} = (3/4)^{3/2} \cdot \frac{P_0^2}{3 \sqrt{3} E \sqrt{J F}} = \frac{0,125 \cdot P_0^2}{E \sqrt{J F}}$$

Nunmehr kann auch der für das Ausknicken der Schiene interessierende Sonderfall gemäß Abb. 6 leicht behandelt werden. Hier schließen sich rechts und links an den ausknickenden Teil von der kritischen Länge l noch gestreckt bleibende Teile (die aber reibungsfrei verschiebbar sein sollen) an. Die zu betrachtende Gesamtlänge des Stabes sei jetzt gleich n l.

Der neue Fall unterscheidet sich vom vorhergehenden offenbar dadurch, daß jetzt die bei A, B zu denkenden Wider-

lager elastisch nachgiebig sind. Auch hier entspricht aber (wenn man die Form der Ausknickung wieder wie vorhin annimmt), jedem Pfeil f eine gewisse Änderung der Kurvenlänge CADBE vom Betrag  $\lambda$ , die mit f offenbar wieder durch  $\lambda = \frac{f^2 \pi^2}{4 l}$  zusammenhängt.

Die Änderung in der im System steckenden Kompressionsarbeit läßt sich analog wie vorhin angeben durch  $|dA| = Pd \lambda = (P_0 - \lambda c') d \lambda$ , wo nur jetzt

$$28) \dots \dots \dots c' = \frac{E F}{n l} = \frac{c}{n}.$$

Da sich die Biegearbeit in derselben Weise wie vorhin darstellen läßt, ergibt sich einfach, daß Gl. 24) übergeht in

$$29) \dots \dots g = \frac{4 \pi}{3 \sqrt{3}} \frac{\sqrt{n}}{\sqrt{E F}} (P_0 - K)^{3/2} \frac{1}{l}$$

und weiter, weil vorhin gemäß 25) die kritische Länge unabhängig von c sich ergab, daß 27) übergeht in

$$30) \dots \dots \dots g = \frac{0,125 \sqrt{n}}{E \sqrt{J F}} P_0^2.$$

Die von Dr. v. Gruenewaldt angegebene Formel hat den gleichen Aufbau, nur steht dort statt des Koeffizienten 0,125 der Koeffizient  $\frac{0,177}{2} = 0,088$ .

(Siehe Berichtigung von Dr. v. Gruenewaldt Heft 13, 1931).

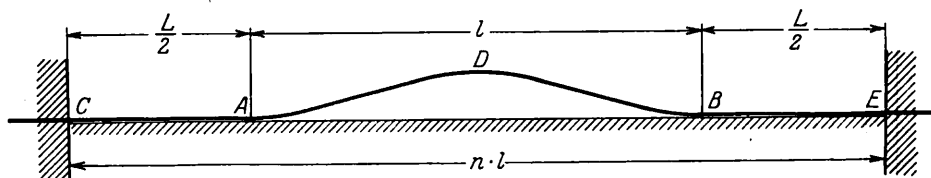


Abb. 6.

Die hier bei der Fundamentalformel zutage tretende Abweichung macht sich dann nochmals, allerdings im entgegengesetzten Sinn, bemerkbar, wenn die Reibung des anschließenden Gleisstückes berücksichtigt wird.

Es sei hier, wie es Dr. von Gruenewaldt getan hat, näherungsweise vorgegangen und das an die Knickstelle anschließende, gestreckt bleibende und unendlich lange Gleis, das aber mit Reibung behaftet ist, ersetzt durch ein reibungsfreies Gleis von endlicher Länge, das so gewählt ist, daß die gleiche Verschiebung der Widerlager A, B beim Ausknicken auftritt. Diese Ersatzlänge ergibt sich (für die kurze Rechnung, siehe die Arbeit v. Gruenewaldt Gl. 24) zu

$$31) \dots \dots \dots L = \frac{P_0 - P_0}{p},$$

wo  $P_0$  die sich einstellende Endkraft und p den Widerstand des Gleises gegen Längsverschiebung (pro Längeneinheit) darstellt.

Hierfür läßt sich offensichtlich auch schreiben

$$32) \dots \dots \dots L = \frac{\lambda c'}{p}.$$

Mit dem oben Gl. 23) errechneten kritischen Wert von  $\lambda$  ergibt dies unter Berücksichtigung von Gl. 26)

$$33) \dots \dots \dots L = \frac{P_0 - K}{3 p} = \frac{3}{4} \frac{P_0}{3 p} = \frac{P_0}{4 p}$$

(v. Gruenewaldt:  $\frac{P_0}{2 p}$ ), so daß die oben eingeführte Verhältniszahl

$$33a) \dots \dots \dots n = \frac{L + l}{l} = \frac{P_0}{4 p l} + 1$$

wird.

Das Zahlenbeispiel der v. Gruenewaldtschen Arbeit ( $P_0 = 140 \text{ t}$ ,  $E = 2,1 \cdot 10^6 \text{ kg}$ ,  $J = 3562 \text{ cm}^4$ ,  $F = 124,6 \text{ cm}^2$ ,  $p = 10 \text{ kg/cm}$  — Schiene S 49 bei  $45^\circ$  Temperatur-Erhöhung) ergibt dann folgende Werte

$$l = 4\pi \sqrt{\frac{EJ}{P_0}} = 4\pi \sqrt{\frac{2,1 \cdot 10^6 \cdot 3,56 \cdot 10^3}{1,4 \cdot 10^5}} = 2900 \text{ cm}$$

(übereinstimmend)

$$n = \frac{140000}{4 \cdot 10 \cdot 2900} + 1 = 2,21 \text{ (v. Gruenewaldt: 3,41)}$$

$$g = \frac{0,125 \cdot \sqrt{2,21} \cdot 1,4^2 \cdot 10^{10}}{2,1 \cdot 10^6 \sqrt{124,6 \cdot 3562}} = 2,58 \frac{\text{kg}}{\text{cm}} = 258 \text{ kg/m}$$

(v. Gruenewaldt:  $g = 229 \text{ kg/m}$ ).

Von Interesse ist schließlich der zugehörige Wert des Biegungs Pfeiles  $f$ . Man errechnet zunächst nach Gl. 23) und 26)

$$\lambda = \frac{3 P_0}{4 3c} = \frac{1}{4} P_0 \frac{n l}{E F} = \frac{1}{4} \cdot \frac{140000 \cdot 2,21 \cdot 2900}{2,1 \cdot 10^6 \cdot 124,6} = 0,85 \text{ cm.}$$

$$f = \frac{2}{\pi} \sqrt{l \lambda} = \frac{2}{\pi} \sqrt{2900 \cdot 0,85} = 32 \text{ cm.}$$

Der Unterschied im Gleisgewicht, der sich hier ergibt (258 kg/m statt 229 kg/m), wäre an und für sich unerheblich. Allein man wird die Geringfügigkeit dieser Abweichung, in Anbetracht dessen, daß von ganz verschiedenen physikalischen Ansätzen ausgegangen worden ist, nur als zufällig bezeichnen dürfen.

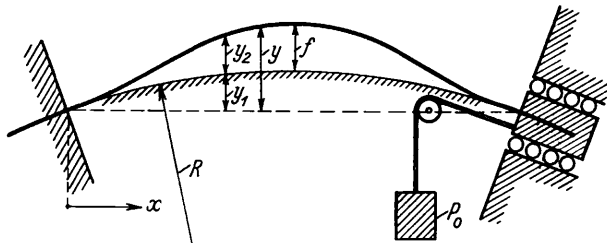


Abb. 7.

Wie stark die Ansätze in anderen Fällen voneinander abweichen können, ersieht man an dem Fall des gekrümmten Gleises der im folgenden der Vollständigkeit halber noch kurz behandelt sei.

Die Untersuchung der Sicherheitsverhältnisse gestaltet sich nämlich außerordentlich einfach, wenn man wieder die Entspannung beim Hochheben vernachlässigt.

Man betrachtet hierzu die in Abb. 7 dargestellte Anordnung. Dort ist wieder ein beiderseits eingespannter Träger von der Länge  $l$  gezeichnet, der eine geringe anfängliche Krümmung besitzt (Krümmungsradius  $R$ ). Der Träger sei wieder durch eine gleichmäßig verteilte Last von der Intensität  $g$  belastet und stützt sich daher satt auf seine durch Schraffur angedeutete Unterlage. Durch das am Seil hängende Gewicht  $\lambda$  auf den Träger eine Druckkraft  $P_0$  ausgeübt.

Zur Beurteilung der Stabilitätsverhältnisse sei nun angenommen, daß der Träger eine virtuelle Verschiebung von der Form erhält, daß die Ordinaten  $y_2$  gegeben sind durch

$$34) \dots y_2 = f \sin^2 \frac{\pi x}{l} = \frac{f}{2} \cdot \left(1 - \cos \frac{2\pi x}{l}\right).$$

Die Ordinaten  $y_1$  des ursprünglichen Kreisbogens lassen sich genügend genau angeben durch

$$35) \dots y_1 = \frac{(l-x) \cdot x}{2R}.$$

Dann ist mit dieser virtuellen Verschiebung wieder eine Senkung des Gewichts vom Betrag  $\lambda$  verknüpft, wobei (siehe die kurze Rechnung bei v. Gruenewaldt)

$$36) \dots \lambda = \frac{\pi^2 \cdot f^2}{4l} + \frac{f l}{2R}.$$

Die beim Anheben der Last geleistete Arbeit ist wieder

$$37) \dots A_h = g \int_{x=0}^{x=l} y_2 ds = g \int_{x=0}^{x=l} y_2 dx = \frac{g l f}{2}.$$

Die im Stab neu hinzugekommene Biegungsarbeit beträgt, wenn der Balken so vorgebogen war, daß er spannungsfrei montiert werden konnte:

$$38) \dots A_{b1} = \frac{EJ}{2} \cdot \int (y_2'')^2 dx = \frac{4 EJ \pi^2}{l^2} \cdot \frac{\pi^2 f^2}{4l} = K \cdot \frac{\pi^2 f^2}{4l}$$

[s. oben Gleichung 3)].

War dagegen der Stab beim Einbau in die gekrümmte Form gezwängt worden (ohne Überschreitung seiner Elastizitätsgrenze), so beträgt die in ihm nun enthaltene Biegearbeit

$$39) \dots A_{b2} = \frac{EJ}{2} \int (y_1'' + y_2'')^2 dx = \frac{4 EJ \pi^2}{l^2} \cdot \left( \frac{\pi^2 f^2}{4l} + \frac{l^3}{4R^2 \cdot \pi^2} \right).$$

(Rechnung siehe v. Gruenewaldt. Das neu hinzugekommene Glied vom Betrag  $\frac{EJ}{2} \cdot \frac{l}{R^2}$  stellt die Arbeit dar,

die beim Montieren der Anordnung in den Stab hineingesteckt werden mußte. Man kann nämlich den Stab durch zwei an seinen Enden angreifende, entgegengesetzt wirkende Momente vom Betrag  $\frac{EJ}{R}$  in die vorgeschriebene Kreisform bringen: die

beiden Enden verdrehen sich hierbei um den Winkel  $\varphi = \frac{l}{R}$  gegeneinander und die angreifenden Momente leisten hierbei die Arbeit

$$40) \dots \frac{1}{2} \cdot M \cdot \varphi = \frac{1}{2} \cdot \frac{EJ \cdot l}{R^2}.$$

Daß sich dieser Arbeitsbetrag und der Arbeitsbetrag, der von der virtuellen Verschiebung herrührt, einfach überlagern, hat seinen inneren Grund in der „Orthogonalität“ der trigonometrischen Funktionen.)

Für das folgende ist der Unterschied von  $A_{b1}$  und  $A_{b2}$  belanglos, da

$$41) \dots \frac{d A_{b1}}{d f} = \frac{d A_{b2}}{d f} \left( = \frac{d A_b}{d f} \right).$$

Gleichgewicht ist nämlich vorhanden, wenn wieder die Energieänderung gegenüber der Ausgangslage einen Extremwert besitzt. Dies gibt

$$42) \dots \frac{d E}{d f} = \frac{d A_h}{d f} + \frac{d A_b}{d f} - \frac{d A_p}{d f} = 0,$$

wenn wir die vom Gewicht beim Absinken geleistete Arbeit mit  $A_p$  bezeichnen und wenn wir hier aus Gründen der einfacheren Rechnung als Parameter der vorgenommenen virtuellen Verschiebung den Biegungs Pfeil  $f$  an Stelle der früher hierfür verwendeten Größe  $\lambda$  einführen.

Hieraus folgt

$$43) \dots \frac{g l}{2} + K \cdot \frac{\pi^2 f}{2l} - \frac{P_0 \cdot \pi^2 f}{2l} - \frac{P_0 \cdot l}{2R} = 0$$

also

$$44) \dots g = (P_0 - K) \cdot \frac{\pi^2 \cdot f}{l^2} + \frac{P_0}{R}.$$

Dieses Resultat ist äußerst einleuchtend. Es besagt, daß für  $f = 0$  Gleichgewicht vorhanden ist, wenn

$$45) \dots g = \frac{P_0}{R},$$

also gleich dem Gewicht, das sich auch unmittelbar aus einer einfachen statischen Betrachtung ergibt.

Der grundlegende Gruenewaldtsche Ansatz [(Gl. 15), Seite 293, 1931]) würde für  $f = 0$  den Wert  $g = \infty$  liefern!



Man kann übrigens das hier gefundene Ergebnis noch in etwas einfachere Form bringen, wenn man ein „fiktives“ Gleichgewicht einführt durch die Beziehung

$$46) \dots \dots \dots g' = g - \frac{P_0}{R}$$

Aus Gl. 44) erhält man hiermit

$$47) \dots \dots \dots g' = (P_0 - K) \cdot \frac{\pi^2 \cdot f}{l^2}$$

bekommt also formal vollständige Übereinstimmung mit Gl. 13), so daß auch für die weitere Diskussion auf das Frühere zurückgegriffen werden kann.

Die vorstehenden Ausführungen dürften genügen, um das Wesen der Energiemethode, sowie die Besonderheiten ihrer Anwendung für den vorliegenden Fall genügend klar zu stellen. Eine Durchführung der im Prinzip gleichartigen Betrachtungen für das Gleis, das nach der Seite oder schräg nach oben ausknickt, bietet hiernach keine weiteren Schwierigkeiten.

Soweit man sich bei der praktischen Anwendung der Rechnung mit einer genügend hohen „begrenzten Schnapp-sicherheit“ zufrieden geben will, wird man sich noch ein Bild über die Größe der möglichen Störungen und die Art ihrer Entstehung und ihres Anwachsens verschaffen müssen. Gerade über diese Punkte vermitteln die Versuche, die Prof. Ammann und Dr. v. Gruenewald durchführten, sehr wertvolles Anschauungsmaterial. Die Hauptursache für die Ausbildung der Störungen liegt hiernach wohl darin, daß sich beim Zusammenschieben des Gleises durch die Pressen die Schwellen auf dem Schotter hochschieben. Eine nähere Untersuchung der Einzelheiten wäre sehr erwünscht, um so Klarheit über die Wachstumsbedingungen der Störungen zu schaffen.

Abgesehen von Krümmungen, dürften die Verhältnisse in bezug auf das Zusammenschieben des Gleises aber wohl selten so ungünstig liegen, wie hier beim Zusammenschieben mittels hydraulischer Pressen. (Höchstens an Stellen, an denen ein scharfer Temperatursprung längs des Gleises eintritt, wären etwa vergleichbare Verhältnisse.) Verfasser möchte daher vorschlagen, bei neuen Versuchen zum Vergleich das Gleis unmittelbar durch elektrische Widerstandsheizung unter Temperaturspannungen zu setzen.

Da mit dem Bericht über die eben genannten Versuche (Heft 6, 1932) zugleich noch einige theoretische Ergänzungen der früheren Betrachtungen von Dr. v. Gruenewaldt veröffentlicht werden, sei hierzu ebenfalls noch kurz Stellung genommen.

Sowohl die theoretischen Ergänzungen wie auch die Auswertung, die sich hierauf stützt, sind nicht haltbar.

Die theoretische Ergänzung hat nämlich folgenden physikalischen Sinn:

Es wird für das Gleichgewicht des ausgehobenen Gleises eine weitere Näherungslösung angenommen, indem der emporgehobene Gleisbogen als Zweigelenkbogen aufgefaßt wird. Diese neue Beziehung wird nun kombiniert mit der früher bereits für das Gleichgewicht des ausgehobenen Gleises aufgestellten (unrichtigen) Hauptgleichung [siehe die Gl. 2), 11), 12) des betreffenden Aufsatzes!].

Nachdem die Hauptgleichung an und für sich bereits vollkommen genügt, um den kritischen Gleichgewichtszustand — abgesehen vom unrichtigen Wert — festzulegen, ist der innere Grund für die Heranziehung dieser neuen Näherungslösung nicht recht einzusehen.

Diese bringt ja doch nur in ungenauerer Weise nochmals das zum Ausdruck, was bereits mit der Hauptgleichung gesagt werden sollte.

Offenbar verknüpfen die beiden Autoren mit dem durch die Hauptgleichung festgelegten Gleichgewichtszustand physikalische Vorstellungen, die in jeder Hinsicht anders geartet sind als die Vorstellungen, die hier für den maßgebenden kritischen Gleichgewichtszustand entwickelt worden sind. Abgesehen von einigen anderen Stellen tritt dies nochmals deutlich hervor bei der zahlenmäßigen Auswertung. In die Beziehung, die in der zuletzt geschilderten Weise gefunden worden ist, wird dann nämlich nicht der Biegungs Pfeil  $f$  des maßgebenden Gleichgewichtszustandes eingesetzt, sondern der Biegungs Pfeil des hochgeschnappten und umgefallenen Gleises, der mit dem ersteren keinen unmittelbaren Zusammenhang mehr besitzt.

Daß es in dieser Weise gelingt die Versuchsergebnisse mit einer Genauigkeit von etwa 30% zu erklären, kann hiernach eigentlich nur als ein merkwürdiges Zufallsergebnis gewertet werden.

## Knicksicherheit von Gleisen.

Von Regierungsbaumeister a. D. Wattmann, Berlin.

Die Aufsätze von Dr. von Gruenewaldt über „die Knicksicherheit des lückenlosen Gleises“ in Heft 4 und 13, 1931 dieser Zeitschrift geben Veranlassung, diese eigenartige, auch von anderen Seiten schon mehrfach behandelte Frage der Mechanik von einem Gesichtspunkt aus zu betrachten, der sich von dem des Herrn Dr. von Gruenewaldt wesentlich unterscheidet.

Das Rechenverfahren Gruenewaldts geht darauf aus, eine Gleichgewichtslage des Gleises nach seiner Ausknickung festzustellen. Zu diesem Zweck nimmt er an, daß das Gleis sich aus seiner Anfangslage in die ausgeknickte Form bereits begeben habe, und er berechnet numehr die Arbeit, die dabei von den äußeren Kräften geleistet ist, sowie diejenige, welche als Formänderungsarbeit von den inneren Kräften verzehrt wurde\*). Beide müssen einander gleich sein! Die daraus abgeleitete Gleichung verhilft zur Feststellung der Beziehungen zwischen Ausknickungslänge, Ausknickungsweite, Axialkraft

und Querkräften (in senkrechter Ebene das Gleisgewicht, in waagerechter die Reibungswiderstände des Gleises in der Bettung).

Dr. von Gruenewaldt setzt demnach bei seiner Berechnung das Eintreten einer Bewegung des Gleises aus seiner anfänglichen Ruhelage unter dem Einfluß einer Axialkraft voraus, nimmt also von vornherein an, daß das Gleis in seiner Anfangslage sich in labilem Gleichgewicht befindet und ermittelt unter dieser Voraussetzung die Axialkraft, die den neuen Gleichgewichtszustand herbeiführen kann (oder bei gegebener Axialkraft das Gewicht des Gleises, bei welchem ein neuer Gleichgewichtszustand eintreten würde). Bei dieser Berechnung wären dann also nicht die Bedingungen gefunden, bei denen die Knickbewegung eingeleitet wird, sondern diejenigen, bei denen die Knickbewegung fortgesetzt wird. Es ist aber einleuchtend, daß zuerst der vorhandene Gleichgewichtszustand gestört werden muß, ehe ein neuer sich ausbilden kann. Es scheint mir daher bei diesen Berechnungen nur ein Teil des Knickproblems behandelt, der andere Teil aber gänzlich außer Acht gelassen zu sein. Die Berechnungen bedürfen daher m. E. insofern einer Ergänzung, als zu untersuchen ist, unter welchen Bedingungen ein Gleis unter der Wirkung axialer

\*) Unter Voraussetzung der Sinuskurve als Biegelinie der ausgeknickten Schiene! Eine Annahme, die v. Gruenewaldt als „genügend genau“ bezeichnet, während m. E. die wirkliche Biegelinie so wesentlich von der Sinuslinie abweicht, daß von einer „Ungenauigkeit“ wohl nicht mehr gesprochen werden kann.



Druckkräfte in labilen Gleichgewichtszustand gerät, d. h. bei allergeringster Änderung seiner Lage oder Erhöhung der Axialkräfte eine Störung des Gleichgewichts eintritt.

Es soll im folgenden vorerst einmal nur die Ausknickung in der Vertikalebene behandelt werden. Ich betrachte dabei zunächst ein nach oben gewölbtes Gleis, wie es bei einem konvexen Gefällwechsel durch Ausrundung des Winkels entsteht, und ich setze ferner voraus, daß der Bogen eine mathematisch genaue Kreisbogen sei. Wenn in einem Gleise keine Axialspannungen vorhanden sind, so unterliegt es wohl keinem Zweifel, daß die Auflagerwiderstände gleich und entgegengesetzt dem Gewicht des Gleises sein müssen. Die einander gleichen Kräfte des Gewichtes  $g$  und des Auflagerwiderstandes  $a$  heben sich daher gegenseitig auf, und das Gleis liegt spannungslos. Kommen nunmehr durch steigende Temperaturen axiale Druckspannungen in das Gleis, so zeigt jedes beliebige (kurze oder lange) Stück unseres Gleises ein Bild des Kräftespiel nach Abb. 1. Die beiden Kräfte  $P$  an den Stirnseiten unseres Gleisstückes  $AB$  können nicht miteinander im Gleichgewicht sein, da sie gegeneinander geneigt sind. Zur Herstellung des Gleichgewichts müssen daher Querkräfte  $p$  vorhanden sein, und zwar ist, wie der Kräfteplan Abb. 2 im Vergleich zu Abb. 1

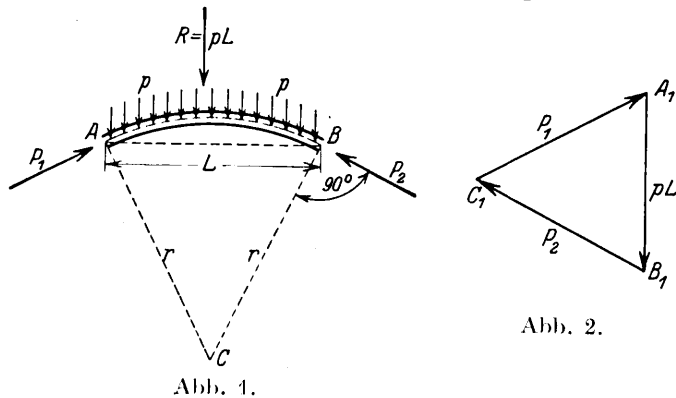


Abb. 2.

zeigt (Ähnlichkeit der Dreiecke  $ABC$  und  $A_1B_1C_1$ , deren entsprechende Seiten zueinander senkrecht stehen)

$$1) \dots \dots \dots \frac{P}{pL} = \frac{r}{L} \text{ oder } P = rp.$$

Da hiernach zur Aufrechterhaltung des Gleichgewichts das Auftreten der Querkräfte  $p$  notwendig ist, können auch nicht mehr die Gewichte  $g$  gleich den Auflagerkräften  $a$  sein, sondern es muß  $g - a = p$  sein; daraus folgt  $P = r(g - a)$  und

$$2) \dots \dots \dots a = g - \frac{P}{r}.$$

Bei kontinuierlich ansteigender Axialkraft  $P$  muß hiernach der Auflagerdruck  $a$  des Gleises auf die Unterbettung entsprechend abnehmen, bis  $P = r g$  wird und der Auflagerdruck auf 0 sinkt. Dann, aber auch erst dann, tritt der labile Gleichgewichtszustand des Gleises ein.

Durch die Gleichung  $g \geq \frac{P}{r}$  sind also die Beziehungen gegeben, die vorliegen müssen, wenn überhaupt eine Knickbewegung nach oben beginnen kann, und auch erst dann kommt die Gefahr des Aufbäumens des Gleises in Frage.

Ist ein Gleis konkav gewölbt, so bleiben die Beziehungen zwischen  $g$   $a$   $r$   $P$   $p$  genau die gleichen wie vorher, nur müssen die Kräfte  $p$  von unten nach oben angreifen (siehe Abb. 3 und 4) und es folgt daraus:  $p = a - g$  und

$$3) \dots \dots \dots \frac{P}{r} = a - g \text{ also } a = g + \frac{P}{r}$$

d. h. mit dem Anwachsen der Axialkraft  $P$  werden die Auflagerdrucke  $a$  nicht wie im konvexen Gleis kleiner, sondern sie

werden größer, so daß die Auflagerdrucke niemals durch Vergrößerung der Kräfte  $P$  verschwinden können, also auch hierdurch das Gleis niemals in ein labiles Gleichgewicht kommen kann. Demnach kann im konkaven Gleis eine Knickbewegung keinesfalls durch den Einfluß von Axialkräften eingeleitet werden. Betrachten wir im konvexen Gleis  $r$  als positiv und im konkaven Gleis  $r$  als negativ, so wird nach obigem allgemein die Beziehung:  $g > \frac{P}{r}$  als Kennzeichen für die stabile Lage des Gleises anzusehen sein.

Daß es sich tatsächlich in diesem Falle um eine stabile Lage des Gleises handelt, zeigt auch folgende Betrachtung:

Hebt man ein Gleis an einer Stelle, wo  $g > \frac{P}{r}$  ist, um Weniges an, so verkleinert man damit  $r$ . (Im konvexen Gleis wird die Wölbung stärker, im konkaven Gleis wird sie schwächer oder geht ins konvexe über.) Solange beim Anheben des Gleises  $g > \frac{P}{r}$ , also nach Gl. 1)  $g > p$  bleibt, d. h. solange das Gewicht  $g$  des Gleises größer ist als die zur Gleichgewichtslage notwendige Kraft  $p$ , solange muß bei Fortfall der Unter-

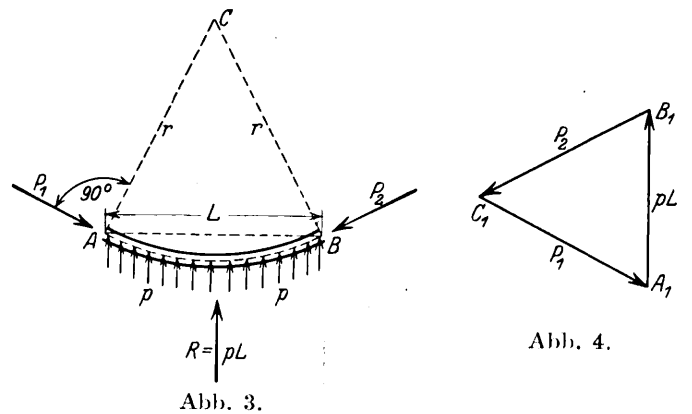


Abb. 3.

Abb. 4.

stützung des Gleises (die bei seinem Anheben stattgefunden hat) dieses sich unter der Wirkung der senkrechten Kraft  $g$  in senkrechter Richtung bewegen, d. h. in seine alte Lage zurückfallen. Es ist aber das Kennzeichen der stabilen Lage eines Körpers, daß dieser um ein Kleines aus seiner Lage herausgebracht, wieder in die alte Lage zurückkehrt.

Bei allen vorstehenden Betrachtungen ist bisher die Steifigkeit der Schienen völlig außer Acht gelassen. Es sind also Verhältnisse vorausgesetzt, wie sie etwa eintreten würden, wenn statt des Gleises eine Gallsche Kette mit vielen Gelenken verlegt wäre. Da die Steifigkeit der Schiene ihre Knickfestigkeit nur erhöhen, keinesfalls aber vermindern kann, so liefert die Beziehung:  $g > \frac{P}{r}$  bei gegebenem Gleisgewicht  $g$  eine Achsialkraft, die in jedem Fall kleiner ist, als sie die Aufrechterhaltung des stabilen Gleichgewichtes erfordert.

Wie liegen nun die Verhältnisse in Wirklichkeit? Ein vollkommen gerades Gleis, d. h. Schienen, deren Schwerpunktsachsen mathematisch gerade Linien sind, gibt es ebenso wenig, wie es konvex oder konkav gekrümmte Gleise gibt, bei denen die Schwerpunktslinie eine vollkommene Kreisbogen ist. In Wirklichkeit ist in allen Fällen die Schwerpunktslinie eine Schlangenlinie mit wechselnden Krümmungsradien und wechselndem Krümmungssinn.

In gekrümmten Gleisen kann es vorkommen, daß der Krümmungssinn nicht wechselt, d. h. daß die Krümmung immer konkav oder konvex bleibt. Bei sehr schwachen Schienenkrümmungen, wie sie für die Vertikalebene ausschließlich in Frage kommen, werden durch ungenaue Gleislage auch im

konvexen Gleis häufig konkave Krümmungen vorkommen und umgekehrt.

Nach dem vorangesagten ist es offensichtlich, daß bei gegebener Axialkraft und gegebenem Gleisgewichte der labile Gleichgewichtszustand und damit die Gefahr des Aufbäumens einer Gleisstrecke ausschließlich von dem kleinsten konvexen Krümmungsradius der Schiene abhängig sein müßte, wenn das Gleis vollkommen unsteif, d. h. das Trägheitsmoment der Schiene 0 wäre oder vernachlässigt werden könnte. Nun ist bei gegebenem Trägheitsmoment eines Stabes sein Widerstand gegen Knicken um so größer, je kürzer der Stab ist. Der Einfluß der Steifigkeit der Schiene auf die Ausknickgefahr wird also um so geringer sein, je größer die Knicklänge ist, und um so größer, je geringer sie ist. Es folgt daraus, daß bei wellenförmig gekrümmtem Gleis, wie es der Wirklichkeit stets entsprechen wird, nicht nur der Krümmungsradius, sondern auch die Länge der einzelnen konvexen Krümmungen, d. h. des Wellenberges für die Aufbäumungsgefahr maßgebend ist. Diejenige Länge des Wellenberges, bis zu welcher die Steifigkeit der Schiene allein ausreicht, um jede Ausknickung zu verhindern, kann man durch die Eulersche Formel der Knickfestigkeit eines an den Enden frei beweglichen Stabes berechnen. Nach dieser Formel ist

$$4) \dots \dots P = \pi^2 \frac{EJ}{L^2} \quad \text{oder} \quad L = \pi \sqrt{\frac{EJ}{P}}$$

Legt man (wie Dr. von Gruenewaldt) eine Axialkraft von 70000 kg in jeder Schiene bei einem Schienenquerschnitt S 49 mit  $J = 1781 \text{ cm}^4$  zugrunde, so folgt  $L = 7,3 \text{ m}$ , das würde also heißen, daß bei wellenförmiger Abweichung von der Geraden konvexe Ausbauchungen, soweit sie kürzer als 7,3 m sind, auch dann nicht Ausknickungen der Schiene herbeiführen können, wenn innerhalb dieser Strecke erhebliche Ungenauigkeiten der Gleislage vorhanden sind.

Was nun die Größe des zulässigen Krümmungsradius betrifft, so folgt aus  $g = \frac{P}{r}$ , bei Voraussetzung eines S 49 Gleises mit Holzschwellen und K Oberbau bei  $g = 250 \text{ kg/m}$  und unter Voraussetzung einer Axialkraft  $P = 70000 \text{ kg}$  ein Krümmungshalbmesser von  $r = \frac{70000}{2,50} = 28000 \text{ cm} = 280 \text{ m}$ .

Da man praktisch die Halbmesser großer Bogen durch deren Stichhöhe zu messen pflegt, so mögen für verschiedene Bogenlängen beim Halbmesser von 280 m die Stichhöhen angeführt werden. (Siehe nebenstehende Tabelle).

Da kurze Wellenbogen unter 7 m unbedenklich sind, kann nach dieser Tabelle auch nur eine Überhöhung von mehr als 22 mm auf 7 m Länge zu Ausknickungen führen. Man erkennt, daß doch schon recht erhebliche Gleisunregelmäßigkeiten, wie sie bei normaler Unterhaltung nicht vorkommen dürfen, nötig sind, um eine Ausknickungsgefahr hervorzurufen.

Bei Änderung des Gefällwechsels müssen nach den Bestimmungen der Reichsbahn Ausrundungsradien von 10000 m hergestellt werden. Die betreffende Stichhöhe der Bogen gibt Spalte 3 der Tabelle. Wie man ersieht, sind diese Stichhöhen verschwindend klein im Vergleich zu denjenigen nach Spalte 2. Nimmt man wie vorberechnet an, daß ungünstigstenfalls bei 7 m Bogenlänge und 22 mm Bogenhöhe eine Aufbäumungs-

Bogenlänge in m	Stichhöhe in mm bei	
	r = 280 m	r = 10000 m
1	0,5	0,01
2	1,8	0,05
3	4	0,1
4	7	0,2
5	11	0,3
6	16	0,45
7	22	0,6
8	28	0,8
9	36	1
10	45	1,2

gefahr eintreten kann, so würde bei einer konvexen Gefällwechselausrundung hierzu eine zusätzliche Überhöhung von  $22 - 0,6 = 21,4 \text{ mm}$  nötig sein und in konkaver Ausrundung desgleichen eine Überhöhung von  $22 + 0,6 = 22,6 \text{ mm}$ . Ein Gefällwechsel mit Ausrundungen nach den Vorschriften der Reichsbahn erhöht (in konvexen Krümmungen) oder vermindert (in konkaven Krümmungen) daher die Gefahr des Aufbäumens des Gleises nur ganz unbedeutend. Ich möchte nicht unerwähnt lassen, daß Dr. v. Grünewaldt in seinem zweiten Aufsatz die Beziehung  $P = r p$  ebenfalls erwähnt, dabei aber ohne Angaben von Gründen bemerkt, daß diese Berechnung nicht anwendbar sei. Ich kann mich dieser Auffassung nicht anschließen, glaube vielmehr im vorangehenden den Beweis geführt zu haben, daß die angeführten Beziehungen unbedingt die Grundlage der Berechnung bilden müssen.

Ich fasse meine Anschauungen dahin zusammen, daß ich das Aufbäumen eines Gleises durch axiale Druckkräfte nur dann für möglich halte, wenn erhebliche Unregelmäßigkeiten in seiner Höhenlage vorhanden sind. Für ein Gleis S 49 mit K Oberbau und 70000 kg Achsdruck würde beispielsweise eine Ausknickungsgefahr erst eintreten können, wenn auf mehr als 7 m Gleislänge Überhöhungen nach Maßgabe der Tafel Spalte 2 im Gleis vorhanden sind.

Für die Verwerfung eines Gleises in horizontaler Richtung sind die gleichen Gesetze maßgebend, wie sie vorher für die Vertikalebene entwickelt wurden, d. h. auch hier kann bei gegebener Axialkraft im geraden Gleis eine Verwerfung nur eintreten, wenn die Lage des Gleises gewisse zahlenmäßig feststellbare Abweichungen von der Geraden besitzt. Da der Widerstand gegen seitliche Verschiebung des Gleises erheblich größer ist als das Gewicht des Gleises, so ist naturgemäß die Ausknickungsgefahr hier geringer oder es bedarf erheblich viel größerer Unregelmäßigkeiten im Gleis, um eine Verwerfung herbeizuführen.

Etwas anders liegen die Verhältnisse bei horizontalen Gleiskrümmungen, weil die Halbmesser von Krümmungen in der waagerechten Ebene weit kleiner sind als in der senkrechten. Es kann insbesondere bei kleinen Krümmungshalbmessern vielleicht notwendig werden, den Widerstand der Gleise gegen Querverschiebung zu erhöhen, wobei dann Mittel in Frage kommen würden, wie sie Dr. v. Grünewaldt in seinem ersten Aufsatz bereits beschrieben hat.

## Ist das Doppel-Rüpingverfahren für die Tränkung von Buchenholz genügend?

Von Erik Petersen, Bahningenieur der Dänischen Staatseisenbahnen.

Unter dieser Überschrift war im Heft 17/1931 dieser Zeitschrift ein von Herrn Ingenieur I. A. E. van der Ploeg, Vorstand der Werkstätte und Lagerplätze von Oberbaumaterial der Niederländischen Eisenbahnen geschriebener Bericht über einige, bei den Niederländischen Eisenbahnen

vorgenommene Versuche betreffs Imprägnierung von Buchenschwellen enthalten. Auf den Dänischen Staatseisenbahnen wurden schon seit Jahren Buchenschwellen aus dänischen Forsten geliefert und in den letzten Jahren sogar ganz bedeutende Mengen — rund 120000 Stück jährlich — ein-

gebaut, die alle nach dem Doppel-Rüpingverfahren imprägniert wurden. Man wird daher verstehen können, daß obengenannter Bericht, der mit einzelnen Ausnahmen sehr ungünstige Ergeb-

Schwellen, im wesentlichen von den Ästen ausgehend, befanden. Größere Mengen Rotkern findet man nur in den Schwellen Nr. 13 und 14.



Abb. 1.



Abb. 2.

nisse der Imprägnierung aufweist, Veranlassung gegeben hat, möglichst schnell ähnliche Versuche hier vorzunehmen.

Es wurden aus den Beständen der Staatseisenbahnen 14 rohe Buchenschwellen ausgesucht, die im Sommer 1930 geliefert waren und nach äußerer Beobachtung frei von rotem Kern waren. Diese Schwellen wurden in gewöhnlicher Weise gehobelt und gebohrt, wonach sie mit anderen gewöhnlichen Buchenschwellen getränkt wurden. Nach der Tränkung, die am 29. September 1931 stattfand, lagerten die Schwellen in freier Luft etwa zwei Monate. Nach Verlauf dieser Zeit wurden die Schwellen in ganz derselben Weise, wie es bei den Versuchen von Herrn Ingenieur van der Ploeg gemacht wurde, aufgeschnitten.

Die zahlenmäßigen Ergebnisse der Imprägnierung sind aus beistehender Zusammenstellung, sowie aus den beigefügten Druck- und Temperaturdiagrammen ersichtlich. Gleichzeitig sei auf die Photographien der hergestellten Längs- und Querschnitte Abb. 1, 2, 3 und 4 hingewiesen.

Wie aus den Schnitten ersichtlich, ist die Durchtränkung im großen und ganzen befriedigend. Man findet in den Schwellen keine größeren zusammenhängenden Flecke, die nicht von dem Teeröl durchtränkt sind, natürlich abgesehen von den kleineren Mengen Rotkern, die sich im Innern der

Zusammenstellung.

Nr.	Schwellemaße cm	Gewicht der ungetränkten Schwelle		Teerölaufnahme	
		kg	kg/m <sup>3</sup>	total kg	kg/m <sup>3</sup>
1	16 × 26 × 2600	77,8	719	13,2	122
2	..	75,5	698	15,0	139
3	..	81,4	752	14,2	131
4	..	80,5	744	13,9	128
5	..	74,0	684	14,0	129
6	..	84,0	776	12,5	116
7	..	81,6	754	13,1	121
8	..	86,1	796	12,3	114
9	..	77,0	712	16,2	150
10	..	79,6	736	16,2	150
11	..	84,7	783	17,5	162
12	..	82,3	761	20,2	187
13	..	91,2	843	12,9	119
14	..	82,7	764	16,3	151

Die hier gemachten Versuche bestätigen sehr deutlich, daß das Teeröl nur durch die Hirnenden des Buchenholzes

zeigt, daß die Durchtränkung quer zur Faserrichtung, selbst durch eine ganz dünne Wand, nicht stattfinden kann.

Um die Frage zu klären, inwieweit die kleinen hellen Flecke, die sich im Innern der Schwellen befinden, frei von Imprägnieröl sein könnten, hat man Holz von diesen weißen Stellen einer



Abb. 3.

eindringen kann, und daß das Öl den natürlichen Leitungsbahnen des Holzes folgt, ohne sich quer zu der Richtung der

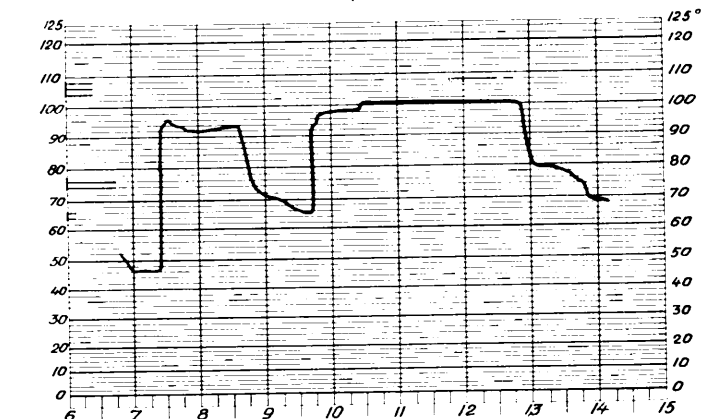


Abb. 5. Temperaturdiagramm.

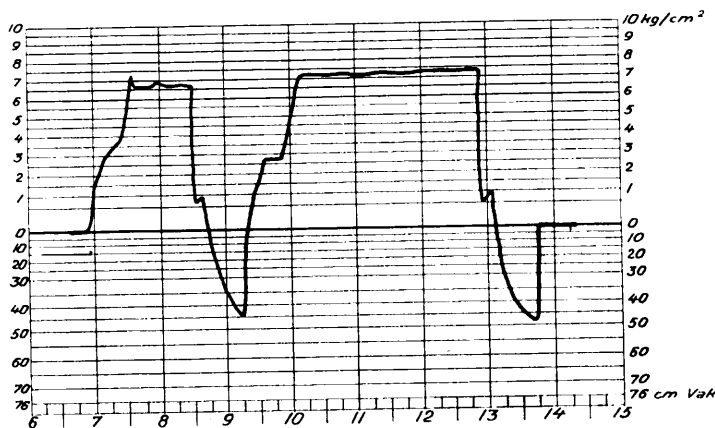


Abb. 6. Druckdiagramm.

Extraktion mit Tetrachlorkohlenstoff unterzogen. Diese Versuche gaben eine Extraktmenge von rund 0,2 bis 0,5 Gewichtsprozent. Zum Vergleich wurde auch rohes Buchenholz extrahiert, wobei sich ein Extrakt von rund 0,1 Gewichtsprozent ergab. Der Extrakt von dem imprägnierten Holz wurde auf den Gehalt an Phenolen untersucht, aber ohne eine Phenolreaktion zu erreichen. Der Extrakt hatte einen schwachen Geruch nach Teeröl. Man ist infolgedessen der Meinung, daß die obengenannte Differenz in den Gewichtsprozenten nicht vom Teeröl her stammt. Vielleicht läßt sich der größere Gehalt von Extrakt in der imprägnierten Schwelle durch eine Komprimierung der in den Gefäßen des Holzes befindlichen Stoffe (Holzgummi und dergl.) erklären, indem diese Stoffe beim Vordringen des Öles in den inneren Hohlräumen des Holzes zusammengedrückt werden.

Untersuchungen hierüber sind noch nicht vorgenommen worden; es sei im übrigen bemerkt, daß die ausgeführten Extraktionsversuche nicht in einem solchen Umfange vorgenommen sind, daß man auf den vorläufigen Ergebnissen weiterbauen könnte.

Für die Beantwortung der Frage, aus welchem Grunde die vorgenommenen Imprägnierversuche so wesentlich bessere Ergebnisse zeitigt haben als die niederländischen, werden

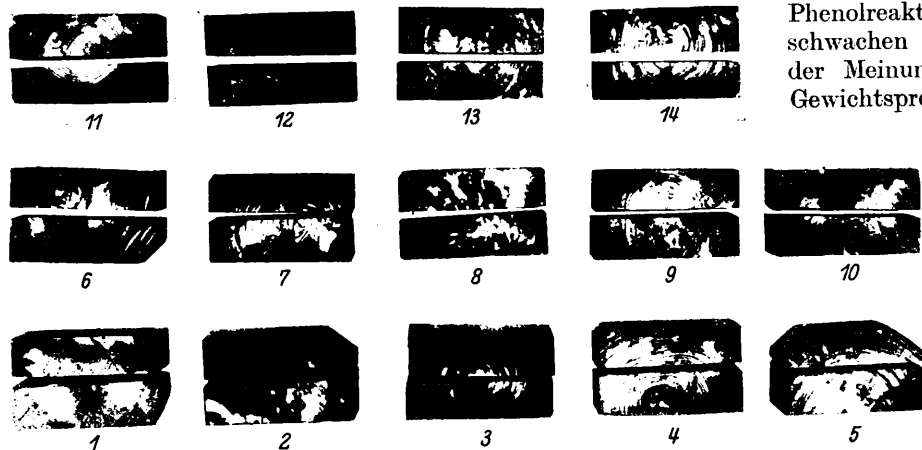


Abb. 4.

Holzfasern verbreiten zu können. Beinahe alle Längsschnitte zeigen, wie das Öl durch Vermittlung der Bohrlöcher besonders leicht in die Gefäße des Holzes hat eindringen können. Nr. 8

die Druck- und Temperaturdiagramme einen Fingerzeig geben können (Abb. 5 und 6). Aus ihnen geht hervor, daß die Öltemperatur zwischen 90 und 100° (die Temperatur wird direkt am Imprägnierzylinder gemessen), gegen 70 bis 90° bei den niederländischen Versuchen liegt. Es ist möglich, daß diese höhere Temperatur sowohl durch ihren Einfluß auf die Viskosität des Öles wie auf das Holz die Ursache zu der besseren Durchtränkung der Schwellen ist.

Die oben erwähnten Versuche zeigen, daß die Bemerkung von Herrn Ingenieur van der Ploeg, daß „das Doppel-

Rüpingverfahren für Buchenschwellen nicht geeignet ist“ keine allgemeine Gültigkeit haben kann, weil die Versuche der Dänischen Staatseisenbahnen mit der Doppelimprägnierung Resultate ergeben haben, die mit den von Herrn Ingenieur van der Ploeg durch dreifache Behandlung erzielten als gleichwertig bezeichnet werden müssen. Dieses Ergebnis ist im übrigen besonders aus dem Grunde wichtig, weil eine dreifache Imprägnierung von Buchenschwellen wegen der dadurch bedingten erhöhten Unkosten die Verwendung dänischer Buchenschwellen erschweren würde.

## Die Kerbschlagprüfung bei den Italienischen Staatsbahnen.

Von M. Füchsel.

Hierzu Tafel 14.

Das Bestreben, die Kerbschlagprüfung für den Abnahmedienst als besonders geeignetes Prüfverfahren der Zähigkeitseigenschaft der Werkstoffe zu empfehlen, hat sich während der letzten Jahre beim Zusammentreffen internationaler Fachleute, Erzeuger und Verbraucher, mehrfach bemerkbar gemacht, u. a. bei Erörterung von Lieferungsbedingungen für Schienen. Auch beim letzten Internationalen Kongreß für Materialprüfung (NJVM), der in Zürich am 6. bis 12. September 1931 stattfand, stand nicht nur die Versuchsanordnung der Kerbschlagprüfung, sondern auch ihre Verwendung bei der Güteprüfung von Lieferungsgegenständen mit im Vordergrund des Interesses. Ich denke hierbei weniger an den Diskussionsbeitrag von Prof. Dustin-Brüssel, welcher Versuchsergebnisse an Kerbschlagproben geschweißter Verbindungen mitteilte, hierbei aber offensichtlich für die mit blanken und umwickelten Drähten hergestellten Schweißungen, die höheren Zähigkeitswerte der letzteren hervorheben wollte. Größere, weitgehende Beachtung fand der beim Kongreß eingegangene und von seinem Verfasser vorgetragene Bericht des Herrn A. Steccanella „Die Kerbschlagprobe der Italienischen Staatsbahn“, fußend auf reichhaltigen Unterlagen und den achtjährigen Erfahrungen der Italienischen Eisenbahnverwaltung.

Der Bericht teilt mit, daß bei Einführung der Kerbschlagprüfung in seiner Verwaltung die einschlägigen Arbeiten anderer Länder studiert und beachtet worden sind, u. a. die 1928 veröffentlichte Studie von Fettweis „Die Kerbschlagprobe, ihre Entwicklung und Kritik“. Über die Einstellung der italienischen Stahlindustrie wird gesagt, daß sie anfangs in systematischer Opposition zu den Absichten der Staatsbahnverwaltung gestanden habe, daß sie aber in eine Art Arbeitsgemeinschaft mit letzterer, ihrem größten Kunden, eingetreten sei und in heutiger Zeit die Zweckmäßigkeit der Kerbschlagprüfung für die Werkstoffbeurteilung neben dem Zugversuch voll anerkennt. In den geltenden Lieferbedingungen für rollendes Material ist die Kerbschlagprüfung ein feststehender Bestandteil geworden, hingegen hat man auf den Biegeversuch verzichtet, hauptsächlich, weil die Materialprüfer in der Versuchsanordnung zu sehr verschiedene Wege gegangen sind. Als Probeform für Versuchsstäbe wurde die Mesnager Probe  $10 \times 10 \times 55$  mm mit Rundkerb, Durchmesser = 2 mm, Kerbtiefe 2 mm, gewählt und bei 17000 Abnahmeversuchen angewandt. Der Bericht hat das Ergebnis von rund 65000 Kerbschlagversuchen in zwei Tafeln übersichtlich zusammengestellt. Auf Tafel 14 sind die bemerkenswertesten Wertziffern wiedergegeben. Zur Untersuchung gelangte: Stahlguß, geschmiedeter Stahl, Halbzeug, Bleche, Teilstücke besonderer Verwendung. Die genannten Stoffe sind nach ihrer Zugfestigkeit je in drei Gruppen weiche, halbhart, hart unterteilt. In der Übersichtstafel sind als Ordinaten die Kerbzähigkeitswerte eingetragen. Die bei den Güteprüfungen gefundenen Werte sind in den gestrichelten Rechtecken eingetragen und lassen die ganze Streuung zwischen Höchst- und Kleinstwerten

erkennen. Sogenannte Ausreißer sind unberücksichtigt geblieben. Die nach den Lieferbedingungen geforderten Werte sind den vollen Rechtecken zu entnehmen. Als Richtlinie für die Bemessung der letzteren gibt der Bericht an, daß die Sollwerte stets unter den Kleinstwerten festgelegt worden sind, tunlichst mit einer Spanne von  $2 \text{ mkg/cm}^2$ . Z. B. betrug die Streuung der Kerbzähigkeit bei einem Werkstoff St 50 20 bis  $9 \text{ mkg/cm}^2$ ; vorgeschrieben wurde  $7 \text{ mkg/cm}^2$ . Eine reichliche Zahl Kontrollversuche sind noch nebenher gegangen, u. a. bei den weichen Kesselblechen. Steccanella hebt hervor, daß das geschilderte Verfahren der Festlegung der Sollwerte ein Zeichen für die Übereinstimmung der Belange der Erzeuger und Verbraucher sei. Die größte in der Tafel auftretende Streuung der Istwerte von  $20 \text{ mkg/cm}^2$  erklärt der Bericht damit, daß die fragliche Stahlsorte auch in der Zugfestigkeit eine Streuung von  $10 \text{ kg/mm}^2$  besitze.

Der Bericht betrachtet es als Vorzug der Kerbzähigkeitsprüfung, daß etwa bestehende Ungleichmäßigkeiten im Werkstoffzustand übertrieben werden, daß der Hersteller einen Einblick in etwa verborgene Fehler erhält und daß der Verbraucher eine wertvolle Ergänzung des Zugversuchs vornehmen kann, um sich über den Sprödigkeitsgrad der Lieferung zu unterrichten. Der italienischen Industrie sei das Einhalten der Sollwerte in laufender Lieferung nicht ganz leicht gefallen, u. a. bei dem harten Radreifenstahl. Sie hat sich auf andere Herstellungsverfahren umstellen, a. u. zweckentsprechende Einrichtungen für die Wärmebehandlung beschaffen müssen. Dafür sei nun erreicht, daß die italienische Industrie zu einer hohen Stufe der Fertigung gelangt sei. Erheblicher Aufwand an Beschaffungen sei jedoch nicht erforderlich gewesen, jedenfalls sei die Umstellung ohne Preiserhöhung vor sich gegangen. Eine starke erzieherische Wirkung auf Betriebsleiter und Werkarbeiter sei zu beobachten.

In den Augen des Berichters liegt eine wesentliche Bedeutung der Kerbschlagprüfung darin, daß eine für den Konstrukteur unerläßliche Feststellung, ob ein Werkstoff spröde ist oder nicht, klar durchgeführt werden kann. Unterlagen für eine Klassifizierung der Werkstoffe, etwa wie nach dem Ergebnis des Zugversuchs, gibt der Kerbschlagversuch nicht. Den Einwand der Ingenieure anderer Länder, daß ein aufgedeckter Fehler nur örtliche Bedeutung haben kann, nicht im ganzen Volumen des Bauteils enthalten zu sein braucht, läßt der Bericht nicht als stichhaltig gelten.

Steccanella schließt seinen Bericht mit dem Wunsch, daß die Kerbschlagprüfung in den Kreisen des NJVM weitgehende Verbreitung finden möge.

Soweit die Stimmung dieser Kreise übersehen werden kann, bestehen zwei Lager, von denen allerdings das den Empfehlungen des Berichts näherstehende das kleinere ist. Immerhin ist damit zu rechnen, daß die Frage der allgemeinen Einführung der Kerbschlagprüfung weiterhin zur Behandlung kommt.

Es sei daher auch gestattet, als Vertreter deutscher Großverbraucher einen Beitrag zu geben. Zunächst möchte ich aussprechen, daß ich die Entstehung der italienischen Stellungnahme als eine ganz natürliche ansehe und die aufgestellten Forderungen als ein berechtigtes Ziel der nationalen italienischen Wirtschaft zum gemeinsamen Besten von Erzeuger und Verbraucher verstehe. Ich stütze mich hierbei auf die im Bericht Steccanellas nochmals hervorgehobene Beteiligung der Industrie an den Versuchen. Wer sich erinnert, daß die Italienische Staatsbahn vor dem Weltkrieg ihren Bedarf an rollendem Material zumeist aus den Nachbarländern eindeckte und daß die italienische Industrie nach dem Krieg getragen von dem Nationalwillen sich erst auf den Stand der heutigen Einrichtung erhoben hat, wird es ganz begreiflich finden, daß der Erzeuger hierbei die Art und Menge der Lieferungen seines ersten Auftraggebers genau in Rechnung stellen und mit ihm Fühlung halten muß. Die Wertziffern der Tafeln geben zu Bemerkungen wenig Veranlassung. Sie werden von deutschen Stahlwerken unschwer erreicht, wenn sie gefordert würden. Bei den Kropfachsen ist dies z. B. der Fall. Die Notwendigkeit, Sprengringeisen auf Kerbzähigkeit zu prüfen, läßt sich auf

Grund seines Verwendungszwecks überhaupt nicht einsehen. Dasselbe gilt von Halbzeug, das ja eine neue Warmformgebung erfährt. Federstahl erleidet im Betrieb Beschädigungen durch Scheuerstellen, nicht weil sein durch Präzisionswärmebehandlung festgelegter Werkstoffzustand oder seine Zusammensetzung Fehler enthielte. In allen Fällen, wo deutsche Lieferbedingungen einen Schlagversuch enthalten, wie bei Achsen, Radreifen, ist dieser zweifellos der umfassendere und abweichend von der Auffassung Steccanellas der wertvollere. In den Fällen, wo dynamisch beanspruchte Teile, wie Kropfachsen, ihrer Form wegen sich für den Schlagversuch nicht eignen, wird die Kerbschlagprüfung eine wertvolle Behelfsprüfung bleiben. Vom deutschen Standpunkt, der eine andere Entwicklung hinter sich hat als die der italienischen Verwaltung, besteht somit kein Anlaß, von einer gemeinsam von Verbrauchern und Industrie geschaffene Prüfweise, die ihre Sicherheits- und Wirtschaftsbelange befriedigt, abzugehen. Wir dürfen auch den Umstand werten, daß auf deutscher Seite ein Organ der Selbstkontrolle aller Fertigungsfragen der Hüttenwerke in dem Verein Deutscher Eisenhüttenleute vorhanden ist und als wissenschaftlich-technisches Gewissen wirkt.

## Rundschau.

### Zementspritzverfahren bei Tunnel-Dichtungen.

Im Severntunnel der Great-Western Bahn der auf der Strecke von Bristol nach Wales unter dem Severnfluß durchführt, wurden in den vergangenen Jahren umfangreiche Dichtungsarbeiten des Zementspritzverfahrens ausgeführt. Dieser Tunnel ist eine der wichtigsten Verkehrsadern der Great Western-Bahn. Bei einer Unterbrechung der Verbindung zwischen Süd-Wales und London durch den Tunnel bliebe nur der alte Weg über Gloucester mit einem Umweg von 40 km.

Der Tunnel hatte wiederholt unter dem Eindringen von Wasser zu leiden, insbesondere ergaben sich 1924 beträchtliche Schwierigkeiten aus starkem Wasserandrang aus dem Severnfluß an einer Stelle, die etwa 1000 m von der Bristolöffnung entfernt lag, weil sich in der Mergelüberlagerung eine starke Wasserader gebildet hatte. Da der Beginn dieser Ader an einer Stelle im Flußbett lag, die bei Niederwasser zugänglich war, konnte man die Ader durch Zementausguß schließen. Die gleiche Störung trat 1929 auf und konnte auf die gleiche Weise behoben werden. Auch T. A. Walker, der Unternehmer des Tunnelbaus, berichtet von ähnlichen Wassereintritten während der Bauausführung. Der erste Einbruch fand 1879 statt, als die Great Western den Bau im Eigenbetrieb begonnen hatte, und zwar etwa 240 m von der Bristolöffnung entfernt, an einer Stelle, wo der Mergel in Kies übergeht. 1882 wurden die Arbeiten unterbrochen durch einen Mergelinsturz und nachfolgenden Kies mit Wasser nahe bei dem Sea Wall-Schacht. Walker dämmte den Wasserzutritt durch Einfüllen von der Flußsohle aus in gleicher Weise, wie es 1924 und 1929 geschah. Zu gleicher Zeit stürzte durch Bodensenkung ein Kamin nahe dem Ostufer ein. Die genauen geologischen Untersuchungen Walkers zeigten eine Häufung derartiger wasserführender Spalten besonders zwischen Abt. 11 + 200 und 11 + 1400 m, so daß es erforderlich schien, an dieser Stelle die Ausmauerung zu verstärken und, wenn möglich, auch etwaige Hohlräume zwischen der Ausmauerung und dem Gebirge auszufüllen, sowie den Boden zwischen Tunnel und Flußbett nach Möglichkeit zu festigen.

Zur Ausführung der erforderlichen Verstärkungsarbeiten konnte nur ein Verfahren in Frage kommen, nämlich das Einspritzen von Zement unter einem Druck, der höher sein mußte als der höchste Wasserdruck bei Flut.

Die Gesamtlänge der instandzusetzenden Strecke betrug 1700 m und bis zu einer Stelle, wo die Kies- und Mergelschichten aufhören und in Sandstein übergehen. Mit den Arbeiten wurde im Oktober 1929 begonnen. Während der ersten drei Monate des Jahres stand der Bauabteilung während der Sonntagspausen Zeit für ihre Arbeiten zur Verfügung, da diese Zeit aber nicht aus-

reichte, wurden Sperrzeiten auch auf die letzten zwei Monate des Jahres ausgedehnt.

Die Kompressoren für die Bohrer, die Mischer und Pumpen für die Förderung des Zements wurden in Maschinenhallen beim Sea Wall-Schacht untergebracht, weil dort von der ortsfesten Pumpanlage Arbeitsdampf zur Verfügung stand und die Luft- und Mörtelleitungen durch den Luftschaft in den Tunnel gezogen werden konnten. Diese Leitungen wurden unten in der ganzen Baustrecke verlegt und erhielten in bestimmten Abständen Zapfstellen zum Anschluß der Preßluftbohrer und der Einspritzrohre. Für die Bearbeitung der Tunnelwölbung wurden Gerüste hergestellt, die auf den Gleisen fahrbar waren und daher nur in den sonntäglichen Betriebspausen verwendet werden konnten. Ein wichtiges Merkmal der Arbeit war, daß außer an Sonntagen der Betrieb keinerlei Unterbrechung erleiden durfte. Alle Einrichtungen, die nicht profillfrei im Tunnel untergebracht werden konnten, mußten also immer wieder entfernt werden. Dies geschah entweder auf dem Schienenwege oder durch den Luftschaft. Zur Beschleunigung der Arbeiten wurde im ununterbrochenen 24stündigen Betrieb gearbeitet.

Zunächst wurden über die ganze zu bearbeitende Strecke die Löcher gebohrt. Die Löcher durch das Sohlgewölbe wurden während der Woche gebohrt und hatten eine Länge bis zu 3,00 m, sie reichten bis zu 1,80 m unter den tiefsten Punkt der Tunnelsohle. Die übrigen Löcher in der Ausmauerung, die eine Stärke von 0,90 m bis 1,05 m hatte, wurden in einer Länge von 1,05 bis 1,50 m, je nach dem vorgefundenen Gestein, gebohrt. Der Durchmesser der Löcher betrug in dem Mauerwerk 8 cm, dahinter 4,7 cm. Die Einspritzrohre (3,8 cm Durchmesser) wurden durch das Mauerwerk hindurch in das Gestein eingeführt und gegen das Mauerwerk am Gewölberücken abgedichtet, um zu verhindern, daß das Mauerwerk durch zu hohen Druck beschädigt werden könnte, bevor die Hohlräume dahinter voll ausgefüllt waren. Dies Verfahren leistete Gewähr dafür, daß alle Hohlräume hinter dem Mauerwerk erst ausgefüllt wurden, bevor der Mauerverband befestigt wurde.

Die Einspritzungen wurden im Sohlgewölbe begonnen und endeten im First. Während der Bohrarbeiten wurde eine beträchtliche Wassermenge angezapft und die Einspritzungen erfolgten unter einem höheren Druck als dem der über dem Tunnel stehenden Wassersäule, der bis zu 1,75 atü betrug. Anfangs war die eingespritzte Zementmenge für jedes Bohrloch genau festgesetzt, später kam man davon ab und erhöhte auch den Druck bis zu 7 atü. Das Mischungsverhältnis des Zementmörtels schwankte je nach dem Gegendruck des Wassers. Bei niedrigem Druck war die stärkste Mischung 1 Raumteil Zement zu 1,25 Raumteilen



Wasser. Bei höheren Drücken sank das Mischungsverhältnis bis auf 1:10.

Die Ergebnisse der Arbeit waren so zufriedenstellend, daß man sich entschloß, sie über eine weitere Strecke von 1700 m auszudehnen, wo der Mergel und Sandstein zusammenstießen. Dies sollte ein ständiger Schutz werden gegen auf dem Tunnel etwa entlangströmende Wassermengen.

Die Arbeitsleistungen dieser und der ersten Arbeit, die Mai 1931 vollständig abgeschlossen waren, betragen im ganzen 4233 Bohrlöcher mit einer Gesamtlänge von 6600 m, ausgespritzt mit 8250 t Zement, im Durchschnitt 4,85 t/lfd. m Tunnelstrecke. Wegen der starken Zerklüftung des Gesteins drang der eingespritzte Zementmörtel auf weite Entfernungen längs des Tunnelgewölbes in das Gestein ein und trat an Stellen, die 800 m von dem Schacht entfernt waren durch undichte Fugen im Mauerwerk wieder aus.

Rly. Engr., Sept. 1931.

Mf.

### Schneeräumung durch Abschmelzen.

In Amerika, wo nicht selten heftige Schneestürme Bahnhöfe stillzulegen drohen, hat man mancherorts, um die Einstellung großer Arbeitertrupps zu ersparen, Schneeschmelzanlagen angewendet.

Durch eine solche Anlage soll es möglich sein, während eines einzigen Schneesturmes 20 % der Anschaffungskosten zu ersparen.

Die Erfahrungen der letzten Jahre haben die Ausgestaltung dieser Anlagen sehr gefördert, so daß es nun eine Menge verschiedener Sonderbauarten für Anwendung bei Weichen, Stellwerke und Gleisbremsen gibt.

In der Hauptsache werden ortsfeste, halb tragbare und tragbare Einrichtungen angewendet. Zur ersten Gruppe gehören elektrische, Gas-, Dampf- und Petroleumheizungen, einschließlich Gruppen von Heizkörpern, die zwischen den Schwellen unter Weichen, Herzstücken usw. angebracht werden, wobei die Schienen weit über den Schmelzpunkt des Schnees erwärmt werden. Diese Anlagen sind, da sie das ganze Jahr hindurch eingebaut bleiben, immer betriebsbereit. Die zweite Gruppe besteht aus Petroleumbrennern und -behältern, die genau so wie die erste Gruppe angebracht werden, die aber erst beim Auftreten eines Schneesturmes an Ort und Stelle gebracht werden und von Zeit zu Zeit mit frischem Brennstoff versehen werden müssen. Die dritte Gruppe umfaßt Handfackeln mit tragbaren Brennstoffbehältern oder Schlauchverbindung zu ortsfesten Petroleumbehältern oder Kesselwagen, ferner Dampfstrahlapparate, die unter dem Umlaufblech von Rangierlokomotiven angeordnet sind.

Über jede dieser Arten liegen nach der Quelle Zahlen vor, die die Wirtschaftlichkeit erweisen. So konnten bei einem Schneesturm am 7. März 1931 auf dem Union-Bahnhof zu Chicago bei einer Gasheizung von 31 Doppelweichen und 19 einfachen Weichen, die mit einem Aufwand von 126000 *R.M.* eingerichtet worden war, unter Berücksichtigung des Gasverbrauchs von 42500 m<sup>3</sup> 8400 *R.M.* gespart werden. Brenner der gleichen Bauart an vier Stellwerken der Chicago & Nordwest-Bahn für 25 einfache und Entgleisungsweichen, neun Doppelweichen und 14 beweglichen Gleiskreuzungen, die 71400 *R.M.* kosteten, haben bei dem gleichen Sturm 12037 *R.M.* erspart.

Eine Anlage mit Ölfeuerung im Kostenbetrag von etwa 67000 *R.M.* auf der Illinois Central-Bahn für 237 einfache Weichen, vier einfache und 41 doppelte Kreuzungsweichen erzielte eine Reinersparnis von 29534 *R.M.* Während des gleichen Sturmes wurden auf dem Markham-Rangierbahnhof drei Unkraut-Verbrennungsfahrzeuge, sämtliche Gleisbremsen und alle Weichen zu den Ablaufgleisen von zwei Ablaufbergen schneefrei gehalten, so daß der Betrieb keinerlei Unterbrechung erlitt, während er auf anderen Bahnhöfen mit Gleisbremsen in der gleichen Gegend, die nicht mit Schneeschmelzeinrichtungen versehen waren, völlig eingestellt werden mußte. Die Tatsache, daß 80 Mann zum Schneeräumen eingesetzt werden mußten, als eine der Unkrautverbrennungsmaschinen infolge einer Störung ausfiel, gibt einen Begriff von der erzielten Ersparnissen.

Die Quelle enthält noch weitere Beispiele für erzielte Ersparnisse. Wesentlich ist dabei wohl, daß bei den amerikanischen Verhältnissen einerseits die menschliche Arbeitskraft teuer, andererseits die Kosten des Brennstoffs niedrig sind. So werden

in der Quelle die Kosten für Petroleum mit 6,5 Pfg./l. von einem Bahnunterhaltungsarbeiter mit 1,68 *R.M.* für die Stunde angegeben.

Die Gleise der Bahnhöfe und der freien Strecke werden durch Schneepflüge geräumt, die im Sommer zum Verteilen der Bettung dienen. In Bahnhöfen können diese Pflüge auch noch das Nachbargleis gleichzeitig räumen und hier geht man häufig so vor, daß man ein Gleis für den Betrieb sperrt, auf das der Schnee von etwa fünf oder sechs Nachbargleisen gelagert wird bis er schmilzt. Mf.

### Neuere englische Abnutzungsprüfversuche.

Nachdem der Engländer Saniter bereits vor dem Weltkriege eine zweckmäßige Vorrichtung für Abnutzungsversuche, deren Konstruktionsgedanke in späteren Ausführungen von Abnutzungsprüfmaschinen auf dem Kontinent, z. B. der Bauart Mohr & Federhaff, mitverwertet worden ist, veröffentlicht hatte, sind viele Jahre vergangen, in denen von englischer Seite kein erheblicher Beitrag für die Entwicklung von Abnutzungsprüfmaschinen

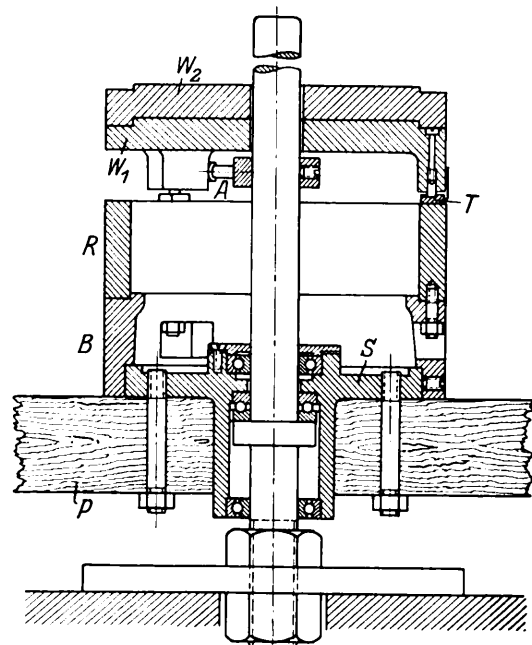


Abb. 1.

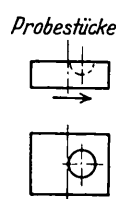


Abb. 2.

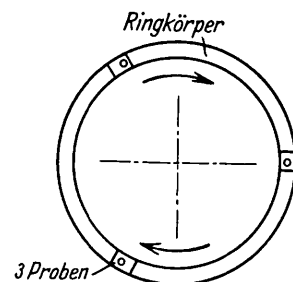


Abb. 3.

bekannt geworden ist. Neuerdings bringt der Engländer H. W. Swift in der Zeitschrift Engineering vom 19. Juni 1931 eine von ihm entworfene Prüfmaschine und Angaben für das Versuchsverfahren in Vorschlag. Wenn auch Swift selbst in seiner Veröffentlichung zu der Feststellung kommt, daß die Vorgänge bei der Abnutzung von metallischen Körpern für ihn ein schwieriges Kapitel bedeutet, so glaubt er doch, seine Prüfmaschine den Verbraucherkreisen von Stahl und Bronzen als ein einwandfreies Mittel empfehlen zu können, um verschleißfeste Werkstoffe für verschiedene Verwendungszwecke auszuwählen. Swift weist mit Recht darauf hin, daß das Widerstandsvermögen gegen die Abnutzung nicht von einer einzelnen Eigenschaft des Werkstoffs, wie beispielsweise von der Härte, abhängig ist. Er hebt die Notwendigkeit hervor, bei Abnutzung stets zwei Werkstoffe zu paaren und damit die Verhältnisse der Wirklichkeit nachzuahmen, in denen stets verschiedenartige Körper miteinander in Berührung stehen.



Als Bedingung für richtig anzustellende Prüfstandversuche fordert er 1. reine Metallreibung, d. h. ohne Verwendung von Schmierung, 2. glaubt er, nur die Verhältnisse bei rein gleitender Reibung berücksichtigen zu müssen und schaltet damit die Verhältnisse für rollende Reibung aus.

Bei der Besprechung der gleichlaufenden Versuche auf dem Kontinent erwähnt er nur die Prüfgeräte von Amsler und Brinell, nicht aber die weitergehenden Arbeiten des Deutschen Verbandes für Materialprüfung der Technik, Ausschuß 21, Abnutzungsprüfverfahren. Arbeiten, die bereits seine Auffassungen, soweit die Paarungsforderung erhoben wird, bestätigen, soweit die alleinige Beobachtung der gleitenden Reibung gefordert wird, als irrig erweisen. Swift begründet übrigens seine Abneigung, die rollende Reibung zu untersuchen, mit der Anschauung, daß durch den Anpreßdruck bei rollender Reibung, z. B. zwischen Rad und Schiene, eine Kalthärtung stattfindet, und er solche Zustandsänderung vermeiden zu müssen glaubt. In Wirklichkeit werden mit solcher Auffassung die Betriebsverhältnisse der Praxis zwischen Rad und Schiene nicht erfaßt.

Die Versuchsmaschine der Bauart Swift ist in der Abb. 1 bis 3 wiedergegeben. Drei Versuchskörper T werden gegen eine Stirnseite eines umlaufenden Ringkörpers (R), dessen Werkstoff jeweils aus dem andern der beiden zu paarenden Werkstoffe besteht, durch Belastungsgewicht W mit eingesetzten Druckbolzen angedrückt. Das Gewicht der drei Probekörper T beträgt zusammen nur 16 g. Die Versuchsgeschwindigkeit beträgt 80 U/min (0,6 m/sec). Seine Versuchsreihen sind mit Belastungen von 0,7, 1,4 und 2,1 kg/cm<sup>2</sup>, bezogen auf die Berührungsfläche, durch-

geführt, wobei Swift annimmt, daß der spezifische Druck über die Berührungsfläche gleichmäßig verteilt ist.

Als Versuchskörper hat er nitrierten Stahl, Stahlguß, Flußstahl, Gußeisen, Phosphorbronze und einen Bremsklotz-Werkstoff, genannt „Halo“ verwendet und mit ihnen 36 Paarungen durchgeführt derart, daß jeder der genannten Werkstoffe als Versuchsstück T auf dem Ringkörper sämtlicher sechs Werkstoffe und umgekehrt gelaufen ist. Die Abnutzung wird durch Wägung bestimmt. Die Wägungen sind jeweils nach 20000 Umdrehungen angestellt worden. Die Laufzeit wurde nach 250000 bis 500000 Umdrehungen, entsprechend einem Laufweg von rund 115 bis 200 km beendet. Eine Gesetzmäßigkeit in der Beziehung zwischen Abnutzung und Werkstoff ist nicht gefunden worden. Verhältnismäßig am besten hat sich der nitrierte Stahl gegen die anderen Werkstoffe, ausgenommen dem einsatzgehärteten Stahlguß, verhalten.

Die Erklärung für das Versagen seiner Versuchsanordnung und seines Prüfgeräts kann hauptsächlich darauf zurückgeführt werden, daß die in das Prüfgerät eingebrachten Werkstoffe ganz verschiedenen Erwärmungen unterworfen sind, und der Werkstoffzustand der aufeinander arbeitenden Körper ganz verschiedenartige Änderungen leidet. Swift hat, unterlassen, die Temperaturänderungen der beiden Körper anzugeben. Es muß aber damit gerechnet werden, daß die Erwärmung der kleinen nur zusammen 16 g wiegenden Probekörper T eine viel höhere ist als die an der Paarung beteiligten Ringkörper von erheblich größerer Masse. Es kann somit nicht erwartet werden, daß das Prüfgerät Bauart Swift Eingang bei den Prüfstellen, die sich mit Abnutzungsversuchen befassen, finden wird.

Füchsel.

## Bücherschau.

**Grundsätze für die bauliche Durchbildung stählerner Eisenbahnbrücken.** Zweite Auflage. Herausgegeben von der Deutschen Reichsbahn-Gesellschaft. Verlag Wilhelm Ernst u. Sohn, Berlin. Einzelpreis 1,40 *RM*.

**Die elektrischen Maschinen.** Band II, Konstruktion und Isolierung. Von Dr. Ing. Liwschitz und Dipl. Ing. Glöckner. 1931. Leipzig und Berlin. Verlag von B. G. Teubner.

Preis gebunden 19.— *RM*.

Im ersten Bande wird Bau- und Wirkungsweise elektrischer Maschinen behandelt, im zweiten Bande die konstruktive Durchbildung der Einzelteile. Ausgehend von den Isolier- und Baustoffen mit ihren Kennziffern werden einleitend Anordnung und Isolierung der verschiedenen Wicklungen behandelt. Das zweite Hauptstück ist dem Aufbau und der Durchbildung vom Ständer und Läufer der elektrischen Maschinen mit allem Zubehör und der Transformatoren gewidmet. Die Beschreibung der üblichen Maschinengattungen und Transformatoren von der kleinsten bis zur großen in reicher Auswahl vervollständigt das Bild. Ein ausgiebiges Schrifttumverzeichnis gestattet eingehenderes Studium.

Nach dem Vorwort verfolgt das Werk vor allem den Zweck, dem Studierenden und jüngeren Ingenieur das Verständnis zu vermitteln und die Grundlagen für die Konstruktion zu geben. Das ist den Verfassern bestens gelungen. 462 mustergültige Abbildungen sorgen dafür, daß aus Wort und Lichtbild, Kurvenschar oder Zeichnung ein lebensvolles Gesamtbild entsteht. Auf gleichem Raum kann kaum mehr gegeben werden. Die Normung und die Regeln sind weitgehend bedacht. Ein derartiges Werk kann nur von Verfassern geschrieben werden, die mitten im

Konstruktionsbetrieb eines großen Werkes stehen. Dabei sind Ausführungen der andern führenden Werke weitgehend berücksichtigt worden.

Dem Werk ist eine große Verbreitung zu wünschen.

Reichsbahnoberrat Wentzel.

**Tabellen und Diagramme für Wasserdampf.** Berechnet aus der spezifischen Wärme. Bearbeitet von Prof. Dr. phil., Dr.-Ing. e. h. Oscar Knoblauch, Dr.-Ing. E. Raisch, Dr.-Ing. H. Hausen und Dr.-Ing. W. Koch. Zweite neubearbeitete und erweiterte Auflage der „Tabellen und Diagramme für Wasserdampf“ von Knoblauch-Raisch-Hausen, München, R. Oldenbourg, 1932, 46 Seiten, 1 Abbildung im Text, 5 Zahlentafeln und 2 mehrfarbige Diagrammtafeln als Beilage. Lex. 8°, kartoniert 4,60 *RM*.

Ebenso wie die erste Auflage der Dampftabellen baut sich auch die neue Auflage auf der im Laboratorium für technische Physik der Technischen Hochschule München ausgeführten Bestimmung der spezifischen Wärme des Wasserdampfes auf. Dabei konnten die inzwischen von 30 at bis auf 120 at erweiterten Beobachtungen verwertet werden. Da die Technik heute Dampftabellen verlangt, die bis zum kritischen Druck reichen, mußte auch das Gebiet von 120 bis 225 at durch eine möglichst sorgfältige Extrapolation sichergestellt werden. Hierfür standen als Unterlagen noch unveröffentlichte Versuche über die spezifische Wärme von W. Koch bei 200 at zwischen Sättigungstemperatur und 450°C zur Verfügung.

Für die Praxis wurde eine Sonderausgabe der dreifarbigem i-s Diagrammtafel hergestellt (25 Stück = 12,50 *RM*).

## Berichtigungen.

In dem Aufsatz des Heftes 7 „Neuere Lokomotiv-Drehscheiben der Niederländischen Eisenbahnen“ sind folgende Druckfehler zu berichtigen:

Seite 140 links unten muß in der Formel für  $R_r$  im Klammerausdruck „+ 4 q“ statt „4 p“ stehen.

Auf der Tafel (12) ist das Profil der Kopfträger unrichtig angegeben. Es handelt sich um Profil 55, nicht 35.

Von der zuständigen Stelle der italienischen Staatsbahnen erhalten wir die Mitteilung, daß die auf Seite 132 im Heft 6 des Organs erwähnte Italienische Turbolokomotive bis jetzt nur eine Probefahrt ausgeführt hat. Weitere Fahrten fanden seit dieser Zeit nicht mehr statt.