

Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 115/116 (1940)
Heft: 9

Artikel: Zum Verwerfungsproblem des Eisenbahngeleises
Autor: Broszko, M.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-51147>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 18.02.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

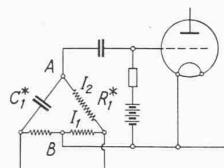


Abb. 4. Phasenschieber, darunter das zugehörige Spannungsdiagramm

schen Eingangs- und Ausgangsabgleichung hervorgeht, kann die Phasenlage aus dem Vektordiagramm (Abb. 4) berechnet werden. Es ist nämlich $\operatorname{tg} \varphi_{1/2} = 1/(\omega C_1^* R_1^*)$ für den Phasenschieber 1; das gleiche gilt naturgemäß für Phasenschieber 2.

Die charakteristischen Größen (Werte des mechanischen Systems), die bei den Versuchen verwendet wurden, sind nachfolgend tabelliert; das Ergebnis der Messungen ist in untenstehendem Polardiagramm (Abb. 5) in logarithmischem Maßstab zusammengestellt.

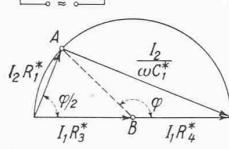


Abb. 5. Polardiagramm des Spannungsübertragungs-Vektors in logarithmischem Maßstab

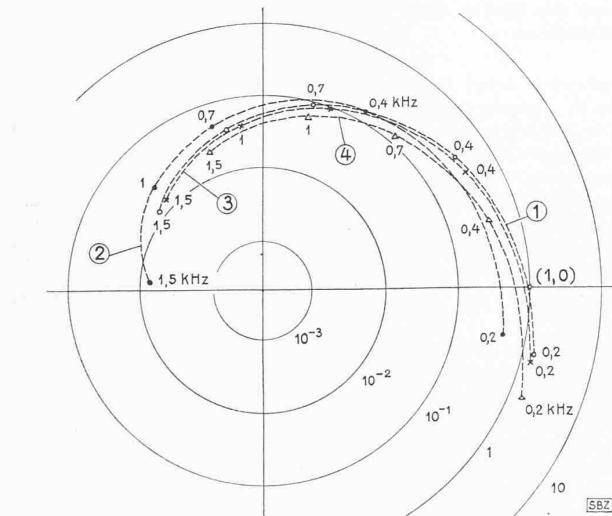


Abb. 5. Polardiagramm des Spannungsübertragungs-Vektors in logarithmischem Maßstab

Kurve No.	T_a	T_s	T_e	$\frac{T_a}{T_s T_e} (T_s + T_e) \delta$
1	11	0,917	0,245	1,132
2	33	0,917	0,245	3,396
3	11	0,481	0,245	1,354
4	11	0,917	0,099	2,460

Das Kriterium von Hurwitz liefert für das mechanische System die Beziehung: $\frac{T_a}{T_s T_e} (T_s + T_e) \delta > 1$. Je stärker diese Ungleichung ist, desto stabiler ist die Regulierung. Im Vektordiagramm kommt dies im Abstand der betreffenden Kurve vom Punkt (1,0) zum Ausdruck. Damit die elektrischen Größen nicht extreme Werte annehmen, wurden die charakteristischen Größen im elektrischen System 10^3 mal kleiner gewählt als im mechanischen Schema.

Diskussion des polaren Vektordiagrammes:

Um den Versuchen einen realen Hintergrund zu geben, wurden Werte benutzt, die unlängst in einer Abhandlung publiziert wurden⁷⁾. Die dort abgeleiteten und experimentell konstatierten Einflüsse des Dampfraumes zwischen Ventil und Turbine finden sich im elektrischen Modell bestätigt: Bei Verkürzung der Anlaufzeit des Dampfraumes T_e tritt eine stabilisierende Wirkung ein: Kurve 1 geht in Kurve 4 über, rückt somit von Punkt (1,0) weg. Eine Verlängerung der Anlaufzeit der Maschine T_a wirkt stabilisierend, d. h. Kurve 1 geht in Kurve 2 über und rückt ebenfalls von Punkt (1,0) weg. Ferner ist eine stabilisierende Wirkung durch Verkürzung der Schliesszeit des Servomotors zu erreichen, wie dies durch das Abrücken der Kurve 3 von Kurve 1 und damit auch vom Einheitspunkt hervorgeht. Die Eigenschwingungsdauer des ganzen Reguliersystems beträgt rd. 3,5 s. Die entsprechende Eigenschwingungsdauer des elektrischen Modells ist $\tau = 3,5 \cdot 10^{-3}$ s, da dort alle Vorgänge 10^3 mal rascher vor sich gehen; demnach ist $f = 285$ Hz. In der Tat schneidet Kurve 1 die positive reelle Achse bei der Frequenz $f \sim 0,3$ kHz. Ferner hat eine Verkürzung der Anlaufzeit des Dampfraumes eine Verkürzung der Eigenschwingungsdauer des Systems zur Folge. Die selbe Tendenz

⁷⁾ F. Weiss: Diss. Wien 1936. Der Einfluss von Dampfräumen auf die Regulierung von Dampfturbinen, «SBZ» Bd. 108, S. 137* (26. Sept. 1936).

geht auch aus dem Vergleich von Kurve 1 und 4 in Abb. 5 her vor, indem der Schnittpunkt der Kurve 4 mit der positiven reellen Axe einer höheren Frequenz entspricht.

Verfolgt man den beschrittenen Weg weiter, so sieht man leicht ein, dass der Spannungsübertragungsvektor auch graphisch gefunden werden kann, sobald man das elektrische Analogon der Regulierung ermittelt hat. Auf Grund dieser Überlegungen hat der Verfasser eine neue Methode zur Untersuchung der Stabilität von Regulierungen anhand des Vektorbildes geschaffen⁸⁾, die von der mechanisch-elektrischen Analogie überhaupt absicht und direkt den mechanischen Kraftübertragungsvektor ermittelt. Diese Methode gestaltet das Problem der Stabilität von Regulierungen wesentlich durchsichtiger und erlaubt auch in komplizierten Fällen eine befriedigende Lösung.

Zum Verwerfungsproblem des Eisenbahngeleises

Von Prof. M. BROSZKO, Techn. Hochschule Warschau

(Manuskripteingang 11. Juli 1939)

[Zur Einführung in dieses, in der «SBZ» schon lange nicht mehr behandelte Problem, wiederholen wir als Abb. 1 aus Bd. 86, S. 201 (17. Okt. 1925) das Bild einer Schienenverwerfung, die sich unter dem Einfluss grosser Sommerhitze ereignet hatte. Es war am 9. August um 14.45 h, die Temperatur in der Sonne überstieg 50° C. Die Verwerfung ereignete sich auf 130 m Länge in einer 1650 m langen geraden Langsamfahr-Strecke, die sich im Umbau befand; dabei waren zahlreiche Schwellen vom umgebenden Schotter entblösst, was die Wärmeleitung in die Bettung erschwerte. Die Abweichung der S-förmig verworfenen Schienen aus der Geraden betrug nach jeder Seite etwa 50 cm. Bezuglich neuer schweizerischer Untersuchungen vergl. die Mitteilung auf S. 106. Red.]

Den Gleichungen der bisherigen Verwerfungstheorien liegt die Voraussetzung zugrunde, dass die Verwerfung der lückenlosen Eisenbahngeleise durch Wärmespannungen sich im Gültigkeitsbereiche des Hookeschen Gesetzes vollziehe. Die Unvereinbarkeit dieser Voraussetzung mit den Erfahrungstatsachen ist von F. Raab anhand der Ergebnisse eines Verwerfungsversuches dargelegt worden¹⁾. Unter Zugrundelegung der allgemeinsten Annahme über den Zusammenhang zwischen Kraft und Längenänderung werden im folgenden die Gleichungen einer allgemeinen, d. h. auch den unelastischen Verwerfungsvorgang umfassenden Verwerfungstheorie aufgestellt. Im Anschluss an den Vergleich der Ergebnisse dieser Theorie mit den versuchsmässigen Feststellungen werden weiterhin die Unsicherheiten gezeigt mit denen das vorliegende Versuchsmaterial behaftet ist.

Grundgleichungen

Den Angelpunkt für die theoretische Erfassung der Verwerfungserscheinung bildet die Erkenntnis, dass die Geleiseverwerfung mit der Knickung eines quergestützten Stabes wesensgleich ist, und der Verwerfungsvorgang sich demzufolge mit den selben Methoden der Mechanik behandeln lässt, die bei der

⁸⁾ R. Feiss: Diss. Zürich 1939. Untersuchung der Stabilität von Regulierungen an Hand des Vektorbildes.

¹⁾ F. Raab, «Z.VDI» Bd. 78, 1934, S. 405.

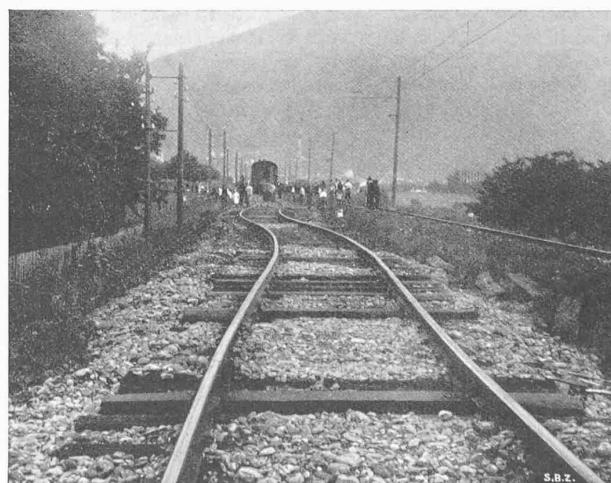


Abb. 1. S-förmige Geleiseverwerfung bei Masans auf der SBB-Strecke Zizers-Chur am 9. Aug. 1925, um 14.25 h, gegen Chur geschen Strecke im Umbau (Schwellen-Auswechselung)

von F. Engesser im Angriff genommenen Druckgurtuntersuchung offener Brücken²⁾ erstmals Anwendung gefunden haben.

Unter der Voraussetzung, dass eine geradaxige, lückenlose Geleisestrecke sich unter der Einwirkung einer axial gerichteten Druckkraft wie ein in einem nachgiebigen Medium gebetteter und an seinen Enden gelenkig festgehaltener Stab verhalte, wird man bei Anwendung der Engesserschen Knickungstheorie auf das Verwerfungsproblem zu den folgenden Aussagen geführt:

a) Bei der Verwerfung in der Ebene der Fahrbahn knicken die beiden Schienenstränge mit Wellenlinien, deren einzelne Wellen unter sich kongruent sind, und deren Wendepunkte auf den ursprünglichen, geraden Schienenachsen liegen. Die Endpunkte der letztgenannten fallen dabei mit den Wendepunkten der Knicklinien zusammen, und die Schienenlänge wird deshalb in eine ganze Anzahl von Halbwellen zerlegt.

b) Die Knickkraft ist durch die Gleichung

$$P_k = \frac{\pi^2 T J}{l^2} n^2 + \frac{C l^2}{\pi^2 n^2} \quad \dots \dots \dots \quad (1)$$

gegeben, worin T den dem Knicklastwert P_k zugeordneten Knickmodul des Schienenwerkstoffes, J das seitliche Trägheitsmoment des Geleises, l die Schienenlänge, n die Anzahl der Halbwellen, und C den Bettungsmodul bezeichnet, dessen mechanische Bedeutung aus der Gleichung

$$q = C y$$

hervorgeht, durch die der Zusammenhang zwischen der Querverschiebung y der Geleiseaxe und der auf die Längeneinheit des Geleises wirkenden Seitenkraft q in dem vorliegenden Fall ausgedrückt werden kann, wie immer auch die Funktion $C = C(y)$ lauten mag. Hierbei ist n als jene ganze Zahl aufzufassen, mit der die rechte Seite der Gl. (1) ihren kleinstmöglichen Wert annimmt.

Die Anzahl der Halbwellen, in die die Länge einer lückenlosen Geleisestrecke beim Erreichen der Knickgrenze zerfällt, ist im allgemeinen durch die vorstehende Definition der Grösse n eindeutig festgelegt. In der Gesamtheit aller Werte, die die Länge eines Geleises bestimmter Bauart annehmen kann, müssen aber, infolge der Ganzzahligkeit der Grösse n , ausser solchen Werten von l , denen eine eindeutig feststellbare Anzahl der Halbwellen zugeordnet ist, auch gewisse Sonderwerte l_1, l_2, l_3, \dots enthalten sein, deren Merkmal darin besteht, dass in den Schienen eines Geleises von der Länge l_n (wobei der Ordnungszeiger n eine beliebige positive, ganze Zahl bedeutet) sich im Augenblick des Ausknickens entweder n oder $n+1$ Halbwellen ausbilden können. Der mit P_{kn} bezeichnete Wert der Knicklast eines Geleises von der Länge l_n kann demzufolge sowohl durch die Formel

$$P_{kn} = \frac{\pi^2 T_n J n^2}{l_n^2} + \frac{C l_n^2}{\pi^2 n^2} \quad \dots \dots \dots \quad (2)$$

also auch durch die Formel

$$P_{kn} = \frac{\pi^2 T_n J (n+1)^2}{l_n^2} + \frac{C l_n^2}{\pi^2 (n+1)^2} \quad \dots \dots \quad (3)$$

ausgedrückt werden, wenn T_n den Wert bedeutet, den der Knickmodul bei der Belastung P_{kn} annimmt. Der Vergleich der letzten mit der vorletzten Gleichung liefert nun die Formel

$$l_n = \pi \sqrt[4]{\frac{T_n J}{C}} \sqrt{n^2 + n} \quad \dots \dots \dots \quad (4)$$

und nach Einführung dieses Ausdrucks für l_n in die Gl. (2) wird

$$P_{kn} = 2 \sqrt{C T_n J} \left(1 + \frac{1}{2 n^2 + 2 n} \right) \quad \dots \dots \dots \quad (5)$$

Ausser den durch die Gl. (4) bestimmten Sonderwerten sind jene Werte der Geleiselänge für die rechnungsmässige Untersuchung des Verwerfungsvergangs von Belang, die die Knickkraft zu einem Minimum machen. Zur Ermittlung dieser Werte gelangt man durch Anwendung der analytischen Bedingung für den Eintritt des Minimums einer Funktion auf den durch die Gl. (1) ausgedrückten funktionalen Zusammenhang $P_k = f\left(\frac{l}{n}\right)$.

Und zwar ergibt sich aus der letzterwähnten Bedingung zunächst die Formel für die dem Minimum der Knickkraft zugehörigen Geleiselängen

$$l_{kn} = n \pi \sqrt[4]{\frac{T_o J}{C}} \quad \dots \dots \dots \quad (6)$$

²⁾ F. Engesser, «Zbl. d. Bauverw.» Bd. 4, 1884, S. 415.

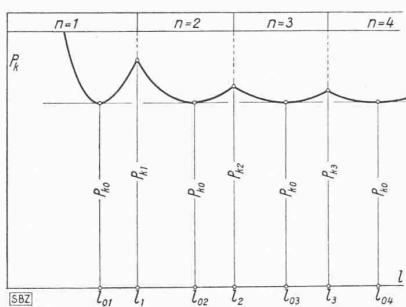


Abb. 2. Zusammenhang zwischen Knicklast und Geleiselänge

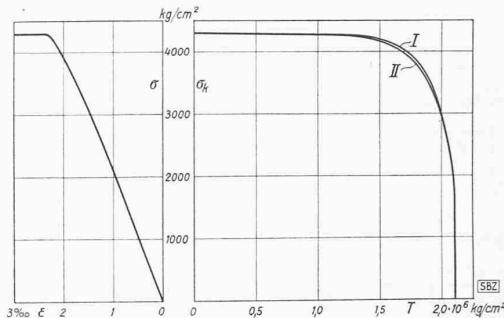


Abb. 3a (links). Druckstauchungsdiagramm des Schienenwerkstoffes. — Abb. 3b (rechts). Zusammenhang zwischen Knickspannung und Knickmodul

und aus der Gl. (1) folgt dann mit $l = l_{kn}$ der Kleinstwert der Knickkraft zu

$$P_{kn} = 2 \sqrt{C T_0 J} \quad \dots \dots \dots \quad (7)$$

Es bedeutet dabei T_0 jenen Wert des Knickmoduls, der dem Werte P_{kn} zugeordnet ist.

Die Abhängigkeit zwischen Knicklast und Geleiselänge lässt sich für jede Geleisebauart auf Grund der vorstehenden Formeln zahlmäßig festlegen, sofern ausser den diese Bauart kennzeichnenden Werten der Konstanten C und J noch das Druckstauchungs-Diagramm des Schienenwerkstoffes gegeben ist. Die graphische Darstellung dieser Abhängigkeit erscheint in der Form eines gebrochenen Kurvenzugs, Abb. 2.

Herleitung der Konstanten aus versuchsmässigen Feststellungen

Sowohl der Bettungsmodul als auch das seitliche Trägheitsmoment eines bestimmten Geleises können, je nach dessen Verformungszustand, sehr verschiedene Werte annehmen. In den Grundgleichungen der Verwerfungstheorie treten als «Konstanten» jene Werte des Bettungsmoduls und des Trägheitsmomentes auf, die dem im Augenblick des Ausknickens vorhandenen Verformungszustand zugehören. Als Grundlage für die Herleitung dieser Augenblickswerte aus den Erfahrungstatsachen kommen demgemäss nur die Ergebnisse von Verwerfungsversuchen in Betracht; denn bei andersartigen Versuchen liegen die den Wert der Konstanten beeinflussenden Umstände in der Regel ganz anders als beim Ausknicken eines bis zur Verwerfung erwärmeden Geleises. Eine eindeutige Festlegung der Werte von C und J auf Grund der Ergebnisse eines Verwerfungsversuchs ist indessen undurchführbar. Es können vielmehr anhand dieser Ergebnisse nur die Grenzen jener beiden Intervalle ermittelt werden, innerhalb derer die mit den Grundgleichungen verträglichen Werte des Bettungsmoduls bzw. des seitlichen Trägheitsmomentes enthalten sind. Und zwar sind diese, in Anbetracht der Gleichungen (1), (5) und (7), durch die beiden Gleichungssysteme

$$\left. \begin{aligned} P_k &= 2 a \sqrt{C T J} \\ l &= n \pi \sqrt[4]{\frac{T J}{C}} \sqrt{a - \sqrt{a^2 - 1}} \end{aligned} \right\} \quad \dots \dots \dots \quad (8)$$

und

$$\left. \begin{aligned} P_k &= 2 b \sqrt{C T J} \\ l &= n \pi \sqrt[4]{\frac{T J}{C}} \sqrt{b + \sqrt{b^2 - 1}} \end{aligned} \right\} \quad \dots \dots \dots \quad (9)$$

bestimmt, in denen P_k den beim Verwerfungsversuch ermittelten Knicklastwert, n die im Augenblick des Ausknickens versuchsmässig festgestellte Anzahl der Halbwellen, T den dem Knicklastwert P_k zugeordneten Knickmodul, und a bzw. b Beiwerte bezeichnen, deren Bereiche durch die Ungleichungen

$$1 \leqq a \leqq 1 + \frac{1}{2(n^2 - n)} \quad \dots \dots \dots \quad (10)$$

bzw.

$$1 \leqq b \leqq 1 + \frac{1}{2(n^2 + n)} \quad \dots \dots \dots \quad (11)$$

festgelegt sind.

Versuchsmässige Unterlagen für die rationelle Herleitung der Konstanten liegen in äusserst bescheidenem Ausmass vor. Denn das gesamte hierfür verwertbare Material bleibt bislang auf die Ergebnisse eines einzigen Verwerfungsversuches beschränkt, der an einer 46,17 m langen, in normalem Schotterbett auf Holzschwellen verlegten Geleisestrecke des Reichsbahn-Oberbaues K von F. Raab auf dem Geleiseprüfstand der Technischen Hochschule Karlsruhe i. J. 1934 durchgeführt wurde¹⁾. Aber auch dieses spärliche Material ist insofern unvollständig, als im Bericht über den Raabschen Verwerfungsversuch hin-

reichende Angaben über das Druck-Stauchungs-Diagramm des Schienenwerkstoffs fehlen. Zur Bestimmung der mit den Grundgleichungen verträglichen Wertepaare (C, J) muss daher im folgenden eine anderwärts ermittelte σ - ϵ -Linie des artgleichen Werkstoffs, Abb. 3a, herangezogen werden. Aus dieser Linie ist das zugehörige T - σ_k -Diagramm einmal unter der Voraussetzung abgeleitet worden, dass die beiden Schienen bei der Verwerfung in keiner Weise durch die Schwellen beeinflusst würden, das anderemal aber auf Grund der gegensätzlichen Annahme, dass der aus den Schienen und Schwellen bestehende Rahmenstab vollkommen eckensteif sei. Das Ergebnis dieser beiden Ableitungen, die unter Zugrundelegung der Abmessungen einer Schiene S 49 und der normalen Spurweite durchgeführt worden sind, wurde in der Abb. 3b durch die mit «I» bzw. «II» bezeichneten Kurvenzüge dargestellt. Die letztgenannten weichen offensichtlich nur unerheblich voneinander ab und innerhalb des für die Auswertung in Betracht kommenden Bereiches fallen sie fast ganz genau zusammen.

Nach Einführung der aus Versuchsergebnissen hergeleiteten Werte

$$P_k = 346 \text{ t} \quad T = 2,019 \cdot 10^6 \text{ kg/cm}^2 \quad l:n = 769,5 \text{ cm}$$

in die Formeln (8) bis (11) gelangt man durch Auflösung der Gleichungssysteme (8) und (9) nach C und J zu den Ungleichungen

$2,364 \text{ kg/cm}^2 \leq C \leq 3,324 \text{ kg/cm}^2 \quad 4354,7 \text{ cm}^4 \leq J \leq 6067,9 \text{ cm}^4$, die mit den Ergebnissen der bisherigen Nachrechnungen des Karlsruher Verwerfungsversuches im Einklang stehen, da sowohl der Wert $C = 3 \text{ kg/cm}^2$, den F. Raab³⁾ und Th. Pöschl⁴⁾ bei ihren Untersuchungen benutzt haben, als auch der zugehörige Wert des seitlichen Trägheitsmomentes mit den von uns ermittelten Intervallgrenzen verträglich sind.

Im Zusammenhang mit den vorstehenden Ausführungen soll nicht unerwähnt bleiben, dass die aus den Ergebnissen des Karlsruher Verwerfungsversuches anhand der Knickungstheorie herleitbaren Werte von C und J sich nicht mit jenen Werten vereinbaren lassen, die bei getrennter versuchsmässiger Bestimmung des Bettungsmoduls und der Biegungssteifigkeit erhalten worden sind⁵⁾. Diese Unstimmigkeit wirkt zunächst überraschend. Sie erweist sich indessen als leicht erklärlich, wenn bei näherer Ueberlegung die Abhängigkeit der beiden Konstanten von dem Verformungszustand des Geleises in Betracht gezogen, und außerdem berücksichtigt wird, dass nach Ueberschreitung der Knickgrenze eine unendlich kleine Ausbiegung des quergestützten Stabes zur Auslösung seines Zusammenbruchs hinreicht. Denn die einer unendlich kleinen Ausbiegung zugehörigen, für den Eintritt der Verwerfung massgebenden, und nur aus den Ergebnissen der Verwerfungsversuche herleitbaren Werte des Bettungsmoduls und des Trägheitsmomentes entziehen sich einer getrennten versuchsmässigen Bestimmung und dürfen demgemäß nicht mit den Werten verglichen werden, die sich bei getrennter experimenteller Untersuchung der Eigenschaften des Gestänges und seines Bettens unter grundverschiedenen Umständen für eine endliche Ausbiegung ergeben haben.

Bewertung des vorliegenden Versuchsmaterials

Die vorstehenden Erörterungen mögen zum Schluss durch einige Bemerkungen über die Messverfahren ergänzt werden, die bei versuchsmässiger Bestimmung des Knicklastwertes sowie der Anzahl von Halbwellen auf dem Geleiseprüfstand der Technischen Hochschule Karlsruhe zur Anwendung gelangten. Eine Bewertung dieser Messverfahren erscheint insofern am Platze, als von deren Art und Durchführungsweise die Zuverlässigkeit der ermittelten Grenzwerte von C und J abhängt.

Die einwandfreie Bestimmung des Knicklastwertes bietet bei einem sachgemäss angestellten Verwerfungsversuch keine besonderen Schwierigkeiten. Denn wird die Längskraft in den lückenlos verschweissten Schienensträngen durch deren Erwärmung bei behinderter Dehnungsmöglichkeit erzeugt, und ist die Wärmeausdehnungszahl des Schienenwerkstoffs sowie die Temperatur bekannt, bei der das Geleise verlegt wurde, so beschränken sich die zwecks Ermittlung des Knicklastwertes auszuführenden Messhandlungen auf die Feststellung der Schienentemperatur im Augenblick des Ausknickens und auf die Ermittlung der gleichzeitigen Verschiebung der Widerlager, gegen die die Schienenenden vor der Erwärmung der Versuchsgeleisestrecke vorspannungsfrei festgelegt wurden. Die Durchführung und die Auswertung dieser einfachen Messungen kann aber kaum zu unbefriedigenden Ergebnissen führen, wenn nur bei der Bestim-

mung der Schienentemperatur beachtet wird, dass die Verwendung von Quecksilberthermometern in der von O. Ammann und v. Gruenewaldt angegebenen Anordnung⁶⁾ sehr erhebliche Messfehler zur Folge haben kann, falls die Geleiseerwärmung (wie beim Karlsruher Verwerfungsversuch) mittels elektrischen Wechselstromes erzeugt wird⁷⁾ — und wenn ferner die Auswertung der versuchsmässigen Feststellungen unter Berücksichtigung der Tatsache durchgeführt wird, dass die einwandfreie Herleitung des Knicklastwertes aus der gemessenen Stauchung die Kenntnis des Druck-Stauchungs-Diagramms zur Voraussetzung hat, falls die Verwerfung wie beim Karlsruher Verwerfungsversuch im unelastischen Gebiet der Verformungen erfolgte.

Erheblich schwieriger als die Bestimmung des zutreffenden Knicklastwertes erscheint die einwandfreie versuchsmässige Festlegung der Anzahl der Halbwellen, die dem Augenblick des Ausknickens zugeordnet ist. Die Ermittlung dieses für den Eintritt der Verwerfung massgebenden Augenblickswertes wird nämlich ungemein erschwert durch den raschen Verlauf der Aenderungen, denen die labile Gestalt der Geleiseaxe bei der Annäherung an die Knickgrenze unterliegt. Der Verlauf der eigentlichen Knickwelle konnte deshalb beim Karlsruher Verwerfungsversuch mit den zur Verfügung stehenden Messvorrichtungen nicht bestimmt werden, und der vorhin angegebene Wert der mittleren Halbwellenlänge ist von F. Raab aus einer Biegelinie abgeleitet worden, die nach dem Ausknicken der Versuchsgeleisestrecke aufgenommen wurde. Einem derartigen Verfahren liegt offenbar die stillschweigend eingeführte Annahme zugrunde, dass die Anzahl der Halbwellen, in die die Geleiselänge gemäss der Theorie beim Ausknicken zerlegt wird, der durch Beobachtung festgestellten Anzahl der Halbwellen gleich gesetzt werden dürfe, die sich nach dem Ausknicken des Geleises ausbildet. Ob und inwiefern eine derartige Annahme berechtigt sei, kann nur die Erfahrung lehren. Für ihre Berechtigung scheint das günstige Ergebnis der bekannten Modellversuche Engessers⁸⁾ zu sprechen, die unter Zugrundelegung dieser Annahme durchgeführt worden sind. Durch Auswertung anderweitiger Messungsergebnisse wird man aber belehrt, es sei anderseits nicht statthaft, die Anzahl der Halbwellen, in die die Geleiselänge beim Erreichen der Knickgrenze zerfällt, der vor dem Ausknicken sich ausbildenden Halbwellenzahl gleich zu setzen, wie es M. T. Huber bei der Auswertung seines an einem Geleisemodell angestellten Knickversuches getan hat⁹⁾. Denn nach Einführung der aus den Ergebnissen des Huberschen Einzelversuchs hergeleiteten Werte

$P_k = 900 \text{ kg} \quad TJ = EJ = 4,2 \cdot 10^5 \text{ kg/cm}^2 \quad l:n = 54,5 \text{ cm}$ in die Hauptgleichung (1) folgt aus dieser Gleichung für den notorisch positiven Bettungsmodul ein negativer Wert. Die Unterschiedlichkeit der bei unkritischen Belastungen auftretenden Wellung von der Knickwelle ist im übrigen bereits von F. Engesser versuchsmässig festgestellt und in seiner letztangeführten Abhandlung ausdrücklich hervorgehoben worden.

Holzkohlengas-Triebwagen der SNCF

Die starke Motorisierung des Verkehrs stellt, besonders bei der heutigen Ölknappheit, neue Fragen der Brennstoffversorgung. Im Eisenbahnbetrieb sind Holzgas, bzw. Holzkohlengas, Anthrazitgas und Leuchtgas als Ersatztriebstoffe erprobt worden, wobei Holzkohlengas besonders erfolgversprechend ist, weil die Holzkohle z. T. aus alten Holzschwellen gewonnen werden kann. Die nachstehend kurz beschriebenen Wagen (Abb. 1 und 2) sind von De Dietrich, Niederbronn, als Fahrzeugfabrikant und Panhard-Levassor als Generator- und Motorlieferant für die französischen Bahnen erstellt worden. Ihre Hauptdaten sind:

Leergewicht	32 t	Länge über Puffer	22 850 mm
Dienstgewicht	42 t	Drehzapfenabstand	13 800 mm
Sitzplätze	54	Radstand Triebgestell	3 850 mm
Stehplätze	46	Radstand Laufgestell	2 950 mm
Gepäck	1000 kg	Bodenhöhe über S.O.	1000 mm
Brennstoffvorräte	1500 kg	Kastenbreite	2 787 mm
V_{\max}	120 km/h	Holzkohleverbrauch	
Motorleistung	270 PS		0,410 kg/PSh

Der Triebwagen besitzt zwei Führerstände mit links angeordnetem Führersitz. Auf Seite des Triebgestells ragt der Motor in den Wagenkasten. Es folgen zwei Fahrgasträume mit zwischenliegendem Einstieg, anschliessend der Gaserzeuger und die Toilette, ein weiterer Einstieg und ein Gepäckraum mit Notsitzen,

⁶⁾ O. Ammann und v. Gruenewaldt, «Z.VDI» Bd. 73, 1929, S. 157.

⁷⁾ Vgl. A. Gramberg, «Technische Messungen bei Maschinenuntersuchungen und zur Betriebskontrolle», 5. Aufl., Berlin 1923, S. 426.

⁸⁾ F. Engesser, «Eisenbau», Bd. 9, 1918, S. 28.

⁹⁾ M. T. Huber, «Über die Stabilität gerader, lückenloser Geleise», Bericht über die III. Internat. Schienentagung, Budapest 1936, S. 149.

³⁾ F. Raab, «Gleistechn. Fahr.-Bau» Bd. 13, 1937, S. 82.
⁴⁾ Th. Pöschl, «Z. angew. Math. Mech.» Bd. 17, 1937, S. 360.
⁵⁾ Vgl. F. Raab, «Das Eisenbahngleise unter dem Gesichtspunkt der Verwerfungssicherheit», Bericht über die IV. Internationale Schienentagung, Düsseldorf 1939, S. 30/39.