Über Spannungsmessungen an Eisenbahnschienen

Autor(en): **Koroneos, Nik.-Joh. G.**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Bauzeitung**

Band (Jahr): **80 (1962)**

Heft 48

PDF erstellt am: **28.03.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-66272

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

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

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

ORGAN DES SCHWEIZERISCHEN INGENIEUR- UND ARCHITEKTEN-VEREINS S.I.A. UND DER GESELLSCHAFT EHEMALIGER STUDIERENDER DER EIDGENÖSSISCHEN TECHNISCHEN HOCHSCHULE G.E.P.

Über Spannungsmessungen an Eisenbahnschienen

DK 625.143.001.4

Von Prof. Dr.-Ing. **Nik.-Joh. G. Koroneos,** Universität Thessaloniki

I. Problemstellung

Wie aus den bisher bekannten Messungen der Spannungen an Eisenbahnschienen im Freien und in Versuchsanstalten hervorgeht, besteht heute noch kein völlig klares Bild des Spannungsverlaufs bei den im Betrieb vorkommenden Belastungen. Ausserdem werden die Ergebnisse, die bei Messungen im Freien und bei Zugbetrieb gewonnen werden, im allgemeinen durch zusätzliche dynamische Beanspruchungen beeinflusst, und es kann die Grösse der Spannungen nur für den Fall *gleichzeitig* einwirkender senkrechter, seitlicher und längsgerichteter Kräfte ermittelt werden, jedoch nicht getrennt für jeden einzelnen Fall.

Um ein klares Bild der Spannungen bei verschiedenen Belastungsgrössen zu erhalten, erschien es zweckmässig, die Spannungen an jeder Stelle der Schiene experimentell zu ermitteln, und zwar für senkrechte zentrische, exzentrische und schräge, sowie statische, pulsierende und stossartige Belastungen. Die in der Versuchsanstalt des Institutes für Eisenbahnbau und Strassenbau in München (Prof. Dr. *H. Meier)* vorgenommenen Messungen entsprechen zwar nicht völlig den tatsächlichen Gegebenheiten, doch sind die Versuchsergebnisse zu diesen weitgehend verhältnisgleich und geben daher interessante Aufschlüsse über die vorkommenden Spannungen.

II. Beschreibung des Messverfahrens

Die Messungen wurden mittels Dehnungsmessstreifen und einer elektrischen Messbrücke vorgenommen. Als Schiene gelangte die S 49 von 1 m Länge zur Verwendung. Die Messstreifen wurden in fünf Querschnitten von je 10 cm Abstand aufgeklebt (Bild 1). Eine Pulsiermaschine erlaubte, Belastungen bis 60 t auf die Schiene auszuüben. Hierbei ruhte die Schiene auf Stützen von 65 cm Abstand, was dem üblichen Abstand der Schwellen entspricht. Die Messtreifen wurden in Richtung der Schienenlängsaxe und quer dazu aufgeklebt. Die Belastung erfolgte durch Einzellast auf die Mitte des freien Feldes, d. h. auf den Querschnitt I, welcher auch die ungünstigste Stelle ist. Wegen der symmetrischen Anordnung der Querschnitte war es möglich, an den Querschnitten II und IV die Streifen in Längsrichtung, an den Querschnitten III und V in Querrichtung anzuordnen; am Querschnitt I sind Längs- und Querstreifen angebracht worden. Bilder 2, 3 und 4 zeigen die Anordnung der Messtreifen. Dabei stellt die linke Seite der Bilder jeweils die Aussenseite der Schiene dar. Die Querstreifen sind mit b bezeichnet, die Längsstreifen mit a. Insgesamt wurden 81 Streifen angebracht; dazu kamen weitere 15 Längsstreifen zwischen den Querschnitten II und III an der Unterseite des Schienenkopfes, in einer Entfernung von 41 mm von der Oberfläche des Kopfes, Bild 5.

Die in der Versuchsanstalt durchgeführten Untersuchungen betrafen folgende Belastungsfälle:

I. Statische Belastung
   - a) Senkrechte zentrische Belastung durch Kugel (Bild 6);
   - b) Senkrechte zentrische Belastung durch Walze;
   - c) Senkrechte exzentrische Belastung durch Kegel;
   - d) Schräge Belastung (Bild 7).

II. Pulsierende Belastung
   - a) Senkrechte zentrische Belastung durch Kugel;
   - b) Schräge Belastung.

III. Stossartige Belastung
   - a) Senkrechte zentrische Belastung (Bild 8).

In den Fällen Ia und IIa wurde die Belastung auf die Axe des Schienenquerschnitts und im Falle Ic in 20 mm Entfernung von der Schienenaxe nach innen ausgeübt. Die Versuche mit Lastübertragung durch Kugel und Kegel entspricht dem Fall von gänzlich neuen Schienen und Rädern, in wel-

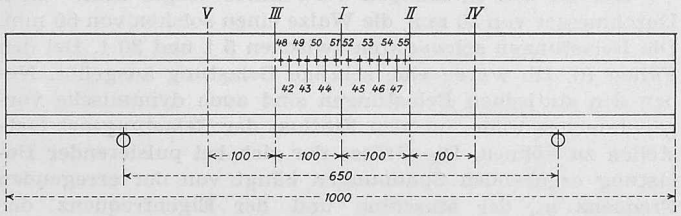


Bild 1. Das Untersuchungsobjekt mit den Messquerschnitten I bis V

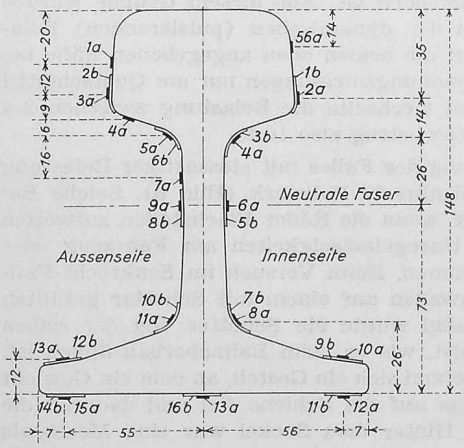


Bild 2. Querschnitt I

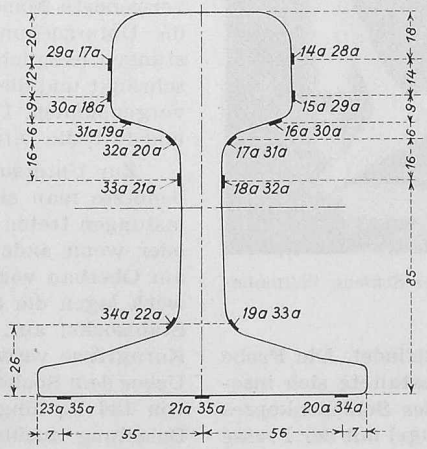


Bild 3. Querschnitte II und IV (Längsstreifen)

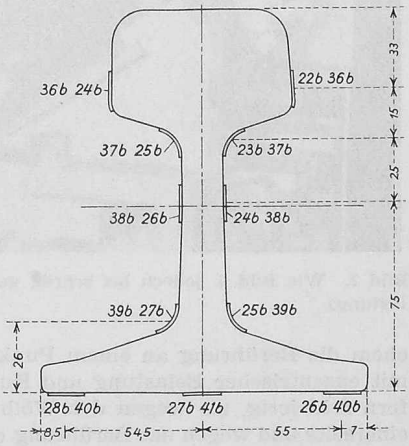


Bild 4. Querschnitte III und V (Querstreifen)

Bilder 2, 3 und 4. Anordnung der Messtreifen an den Querschnitten I bis V

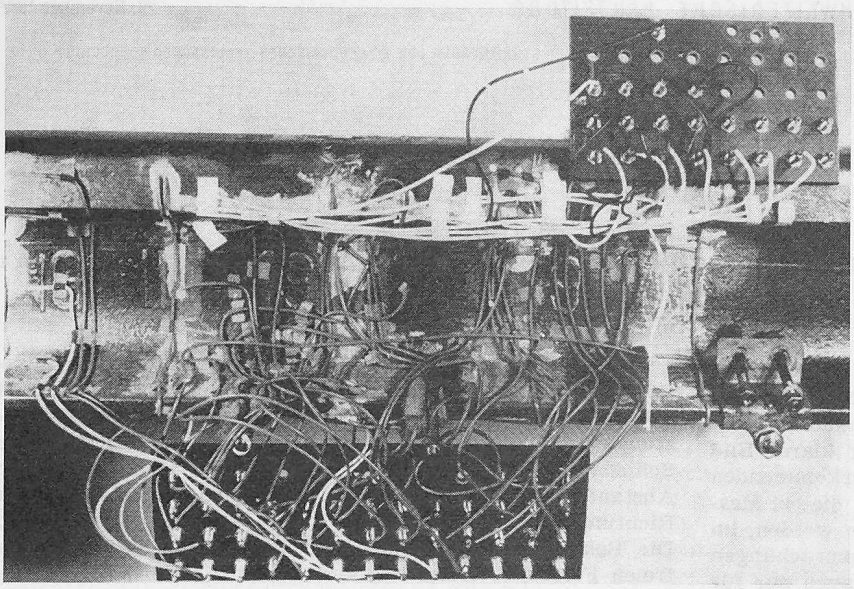


Bild 5. Das Versuchsobjekt mit den Messtreifen gesehen von der Innenseite

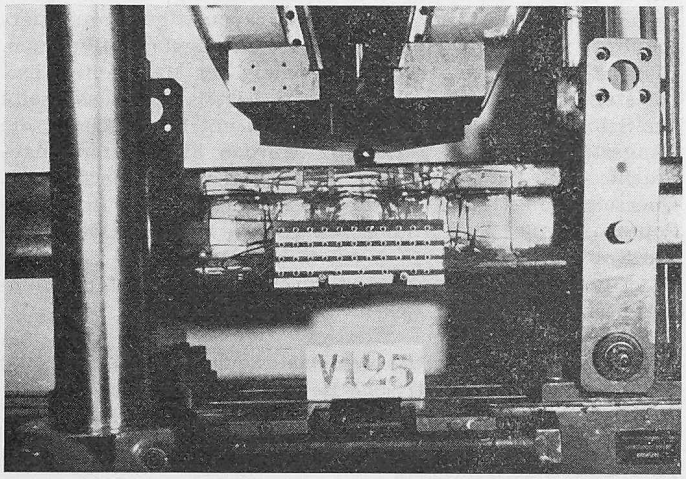


Bild 6. Das Versuchsobjekt in der Belastungsvorrichtung bei senkrechter zentrischer Belastung durch eine Kugel

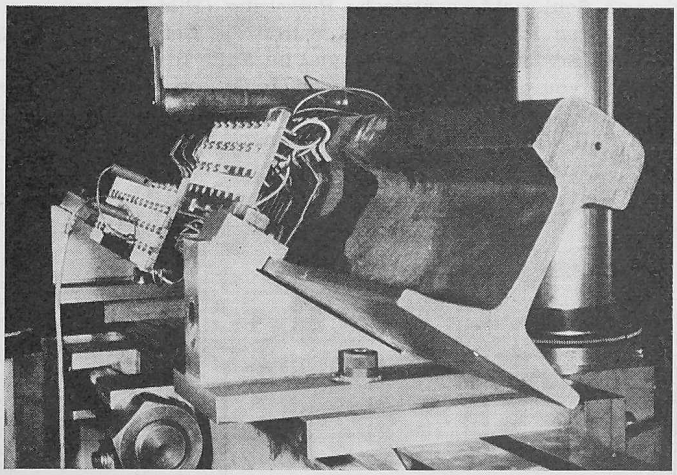


Bild 7. Wie Bild 6, jedoch bei schräg gestützter Schiene (Seitenbelastung)

chem die Berührung an einem Punkt stattfindet. Die Probe mit exzentrischer Belastung und Kugel gestaltete sich insofern schwierig, als wegen der Wölbung des Schienenkopfes einerseits und wegen der Berührung der Kugel mit der Presse anderseits die Gefahr eines seitlichen Herausschleuderns der Kugel bestand. Die Probe wurde deshalb mittels eines Kegels vorgenommen, dessen Grundfläche die Fläche der Presse berührte, während die abgerundete Spitze des Kegels auf dem

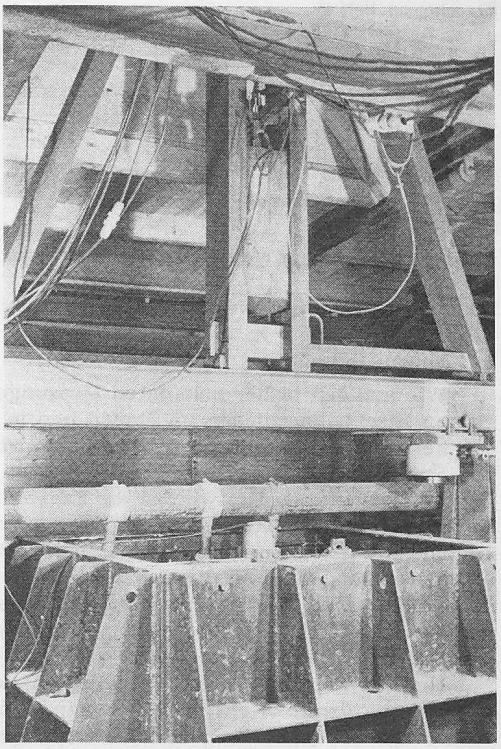


Bild 8. Senkrecht-Fallwerk

Schienenkopf auflag. Damit war die Berührung des Schienenkopfes mit der Kegelspitze von gleicher Art wie die Berührung von Schienenkopf und Kugel.

Da indessen die Berührung wegen der Verformung der Kontaktfläche sich nicht auf einen Punkt beschränkt, sondern an einer elliptischen Fläche stattfindet, wurde die Untersuchung auch mittels einer Walze (Ib) durchgeführt, und zwar für den Fall einer zentrischen Belastung. Die Walze überträgt die durch die Presse ausgeübte Belastung über ihre zylindrische Oberfläche auf die Schiene. Dieser Fall entspricht eher den tatsächlichen Gegebenheiten.

Die zu den Messungen verwendete Kugel hatte einen Durchmesser von 30 mm, die Walze einen solchen von 50 mm. Die Belastungen schwankten zwischen 5 t und 30 t. Bei den Fällen Id, IIb wurde eine schräge Belastung ausgeübt. Neben den statischen Belastungen sind auch dynamische vorgenommen worden, um den Einfluss der Belastungsart feststellen zu können. Die Grösse der sich bei pulsierender Belastung ergebenden Spannungen hängt von der erregenden Frequenz n_m der Maschine und der Eigenfrequenz der Schiene n_e ab. Die sich ergebenden Spannungen müssen ungefähr die gleichen sein wie jene bei statischer Belastung, da der Verhältniswert n_e/n_m für die in der Versuchsanstalt verwendete Maschine hoch ist. Aus diesem Grunde wurden die Untersuchungen der dynamischen (pulsierenden) Belastungen lediglich auf die beiden oben angegebenen Fälle beschränkt und die Spannungsmessungen nur am Querschnitt I vorgenommen. Dabei wechselte die Belastung zwischen 2 t und 12 t, die Differenz betrug also 10 t.

Zur Untersuchung des Falles mit stossartiger Belastung benützte man ein Senkrecht-Fallwerk (Bild 8). Solche Belastungen treten auf, wenn die Räder Flachstellen aufweisen oder wenn andere Unregelmässigkeiten am Fahrzeug oder am Oberbau vorkommen. Beim Versuch im Senkrecht-Fallwerk lagen die Schwellen auf einem mit Schotter gefüllten Stahlsockel auf. Dabei wurde ein Schotter von der selben Korngrösse verwendet, wie er beim Bahnoberbau üblich ist. Ueber dem Sockel befand sich ein Gestell, an dem ein Gewicht von 186 kg hing, das auf die Schiene fiel und dadurch die Belastung ausübte. Hinter dem Sockel war eine Messbasis errichtet worden, von welcher aus die Senkungen der Schiene und der Schwellen gemessen wurden. Die Fallhöhe des Gewichts betrug bei den Messungen 30 cm, der Schwellenabstand 65 cm.

III. Ergebnisse

Die gemessenen Spannungen wurden in Diagrammen aufgezeichnet, von denen hier nur eine Auswahl gezeigt wird, Bilder 9 bis 16. Aus ihnen ergeben sich folgende Feststellungen:

Die Spannungen stehen zu den jeweils ausgeübten Belastungen im gleichen Verhältnis. Bei senkrechter zentrischer Belastung tritt bemerkenswerter Weise an der unteren Fläche des Schienenkopfes neben dem Messtreifen 4a und zwar in der Nähe des Querschnitts I, auf welchen die Belastung ausgeübt wird, eine Zugspannungsspitze auf, während an dieser Stelle Druckspannungen zu erwarten wären (Bild 9). Erst in einiger Entfernung vom genannten Querschnitt verschwindet die Zugspannungsspitze (Bild 10).

Die maximalen Spannungen in Querrichtung treten infolge der Wirkung der senkrechten zentrischen Belastung am Schienensteg auf, und zwar beim mittleren Querschnitt I am Steg und an der oberen Kehle der Schiene, bei den Querschnitten II und III bzw. IV und V am Steg und an der Uebergangsstelle vom Steg zum Schienenfuss.

Die Grösse der Spannungen ist in beiden Fällen von senkrechter zentrischer Belastung durch Kugel und Walze ungefähr gleich. Bei der Kugel konnten etwas höhere Spannungen am Schienenkopf und in der Nähe der Belastungsstelle festgestellt werden als bei der Walze.

Beim Fall der senkrechten exzentrischen Belastung sind beim Querschnitt I die Längsspannungen zu beachten. So entstehen an der Aussenseite und am Kopf der Schiene Druckspannungen, deren Grösse sich vom oberen Teil des Schienenkopfes nach dem unteren verringert und an der Kehle den Nullwert erreicht, Bild 11. Unterhalb der Kehle entstehen Zugspannungen, die ihren Maximalwert am Schienenfuss aufweisen. An der Innenseite der Schiene finden sich nur Zugspannungen vor; sie sind am Steg am kleinsten und am Schienenkopf und am Schienenfuss am grössten.

Mit zunehmender Entfernung vom mittleren Querschnitt stellt man am oberen Teil der Schiene beidseitig Druckspannungen und am unteren Teil Zugspannungen fest, Bild 12. Ihr Nullwert liegt im Steg. Die Druckspannungen an der Innenseite bei den dem mittleren Querschnitt nahe gelegenen Querschnitten sind kleiner als die an der Aussenseite. Die Zugspannungen an der Innenseite werden bei zunehmender Entfernung vom mittleren Querschnitt I grösser als diejenigen an der Aussenseite.

Beim gleichen Fall senkrechter exzentrischer Belastung verhält sich die Grösse der entstehenden Spannungen in Querrichtung wie folgt: Der Schienenfuss ist stets auf Druck beansprucht; mit zunehmender Entfernung von Querschnitt I verrin-

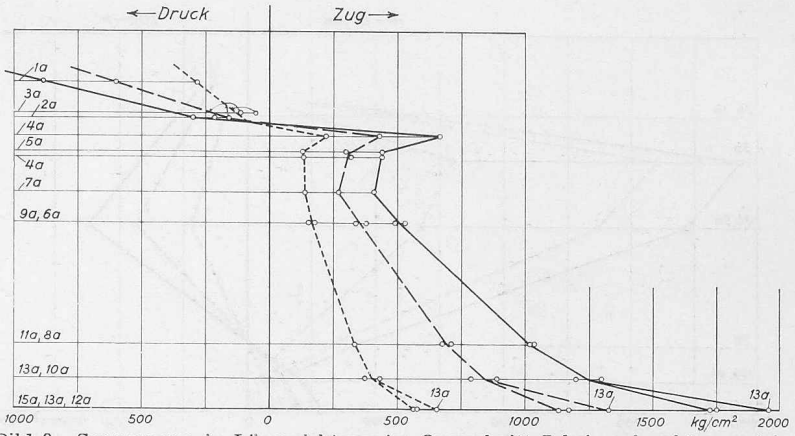


Bild 9. Spannungen in Längsrichtung im Querschnitt I bei senkrechter zentrischer Belastung durch Walze

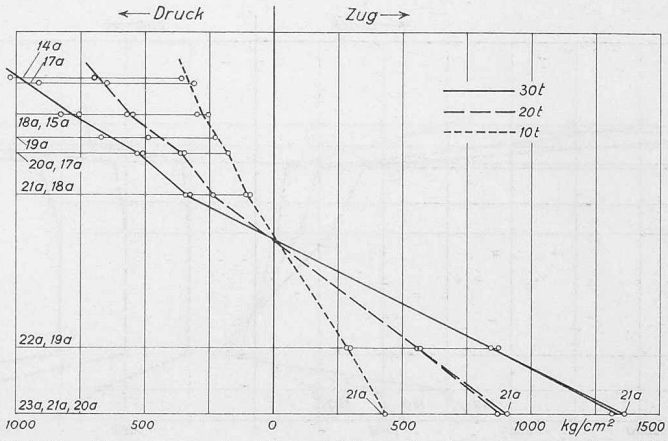


Bild 10. Spannungen in Längsrichtung in den Querschnitten II und III bei senkrechter zentrischer Belastung durch Walze

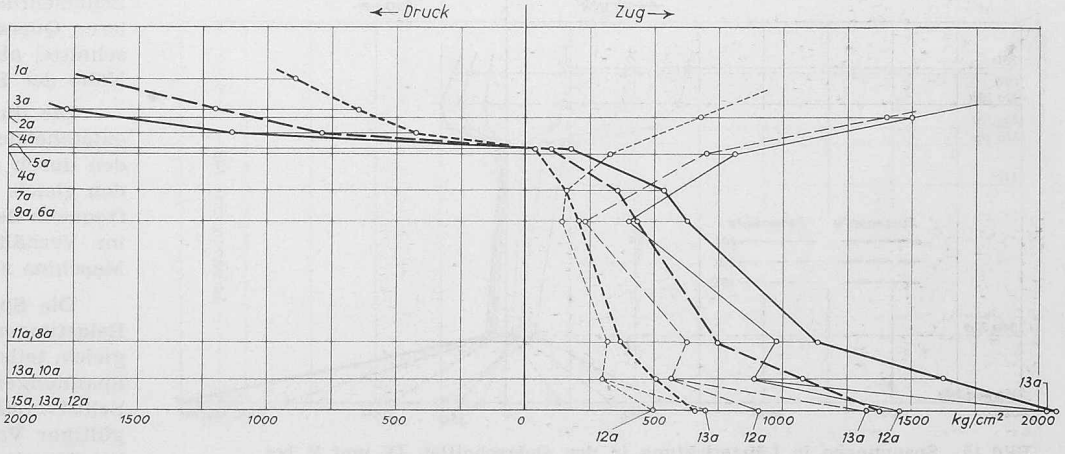


Bild 11. Spannungen in Längsrichtung im Querschnitt I bei senkrechter exzentrischer Belastung durch einen Kegel

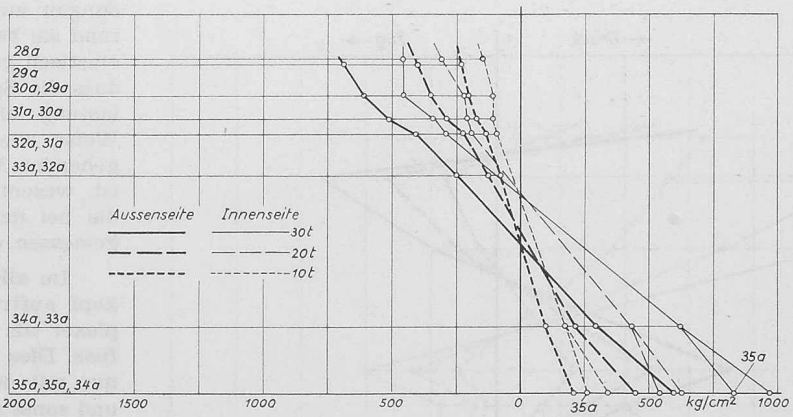


Bild 12 (links). Spannungen in Längsrichtung in den Querschnitten IV und V bei senkrechter exzentrischer Belastung durch einen Kegel

Bilder 9 bis 16. Gemessene Spannungen auf der Aussenseite (dicke Linien) und auf der Innenseite (dünne Linien) der Schiene bei einer Belastung im Querschnitt I von 30 t (ausgezogen), von 20 t (gestrichelt) und von 10 t (punktiert)

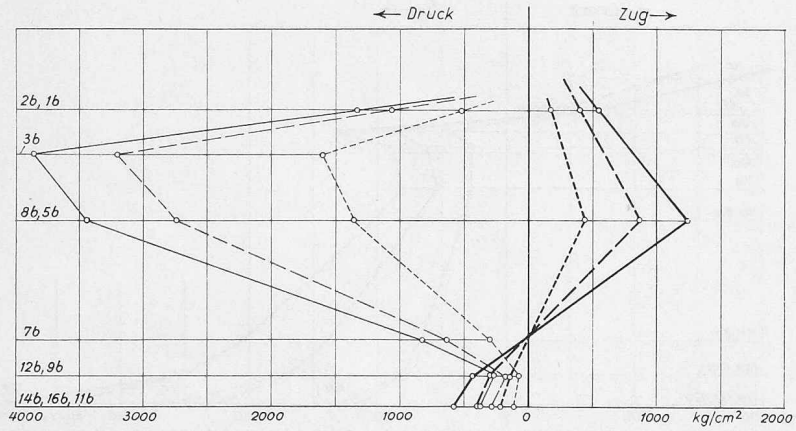


Bild 13. Spannungen in Querrichtung im Querschnitt I bei senkrechter exzentrischer Belastung durch einen Kegel

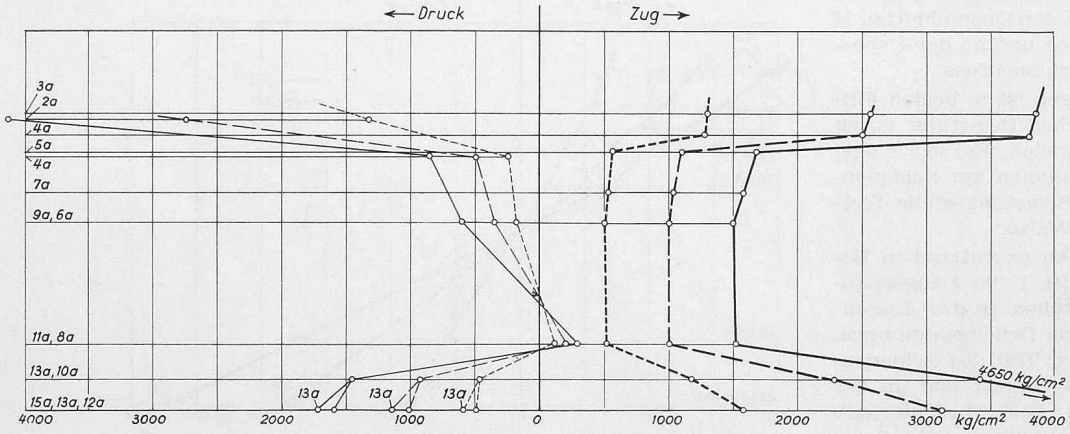


Bild 14. Spannungen in Längsrichtung im Querschnitt I bei Seitenbelastung

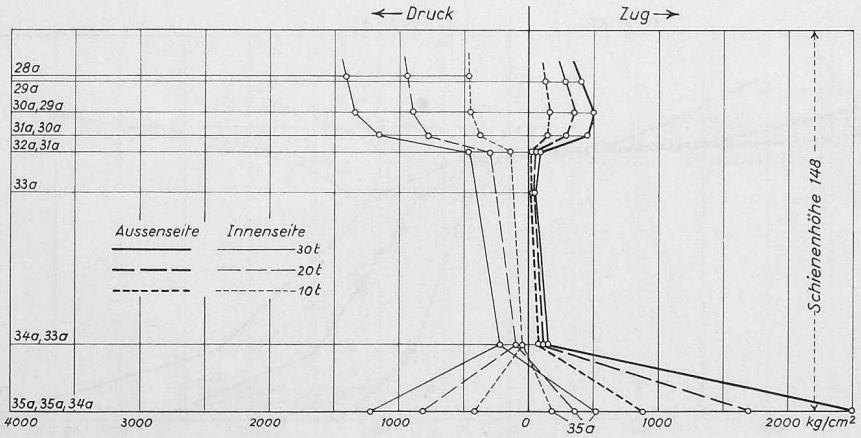


Bild 15. Spannungen in Längsrichtung in den Querschnitten IV und V bei Seitenbelastung

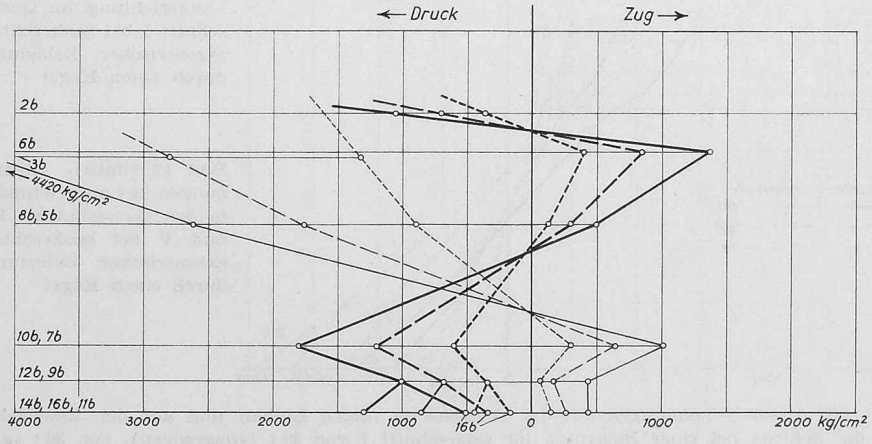


Bild 16. Spannungen in Querrichtung im Querschnitt I bei Seitenbelastung

gert sich diese Beanspruchung. Am Steg, an der oberen Kehle und an der Unterseite des Schienenkopfes wurden an der Aussenseite Zugspannungen, an der Innenseite Druckspannungen gemessen, die ihren Höchstwert ungefähr bei der neutralen Faser der Schiene aufweisen, Bild 13.

Beim Fall der Seitenbelastung oder der senkrechten Belastung auf schräg gestützter Schiene ergeben sich in Längsrichtung an der Aussenseite Zugspannungen, an der Innenseite hingegen Druckspannungen, an der Uebergangsstelle vom Steg zum Schienenfuss geringe Zugspannungen, Bild 14. Diese Spannungen erreichen ihren Maximalwert am Schienenkopf und am Schienenfuss, während sie am Steg minimal sind. An der Kehle springen sowohl die Druckspannungen wie auch die Zugspannungen plötzlich von den kleinen Werten am Steg hinauf zu den grossen Werten am Schienenkopf. Am Schienenfuss geht dieses Ansteigen weniger schroff vor sich.

Die quer zur Längsrichtung entstehenden Spannungen zeigen bedeutende Veränderungen in ihrem Verlauf an jeder Stelle der Schiene, Bild 16. Kennzeichnende Stellen sind die an der oberen Kehle gelegenen Punkte sowie diejenigen an der Uebergangsstelle vom Steg zum Schienenfuss, vor allem für die dem mittleren Querschnitt I nahe gelegenen Querschnitte, also für die Querschnitte in der Nähe der Belastungsstelle.

Die durch die dynamische Belastung entstehenden Spannungen sind ungefähr den durch statische Belastung entstehenden gleich. Dies ist auf die grosse Eigenfrequenz des betreffenden Schienenstücks im Verhältnis zur Erregerfrequenz der Maschine zurückzuführen.

Die Spannungen, die bei stossartigen Belastungen entstehen, sind teils nahezu gleich, teils grösser als die entsprechenden Spannungen bei statischer Belastung. Selbstverständlich lässt sich kein völlig gültiger Vergleich ziehen, da die Schiene bei den statischen und dynamischen Messungen auf starren Stützen ruhte, während sie bei den stossartigen Belastungen elastisch gelagert war. Es ist zu erwarten, dass die Spannungen bei stossartiger Belastung einer Schiene, die auf gleiche Weise wie die Schiene bei den vorhergehenden Messungen (also starr) gestützt ist, wesentlich grösser ausfallen als jene, die bei der elastisch gelagerten Schiene gemessen wurden.

Im allgemeinen sind die im Schienenkopf auftretenden Spannungen viel komplexer als die Spannungen im Schienenfuss. Dies erklärt sich dadurch, dass der nur mit dem schlanken Steg verbundene und sonst freie Schienenkopf eine Verdrillung und eine Verbiegung erfährt, während der Schienenfuss auf den Stützen einen festen Halt hat. Der Schienensteg

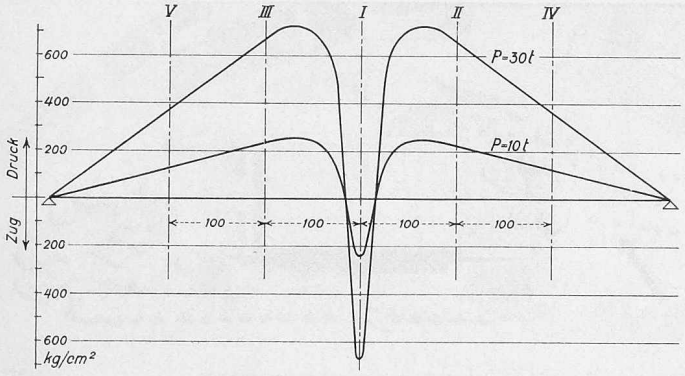


Bild 17. Spannungsverlauf in Abhängigkeit von der Schienenlängsaxe an der Unterseite des Schienenkopfes (41 mm unter Schienenkopfoberfläche) bei senkrechter zentrischer Belastung von 30 bzw. 10 t

erfährt infolge seiner Biegsamkeit bei der Belastung eine Einsenkung, wodurch eine beachtliche sekundäre Biegung des Schienenkopfes auftritt. Somit entstehen zusätzliche Druckspannungen im oberen Teil und zusätzliche Zugspannungen, die ihre Spitzen an der unteren Fläche des Schienenkopfes erreichen. Dies tritt an den in der Nähe der Belastungsstelle gelegenen Querschnitten auf, Bilder 9 und 10. Demnach kann die gesamte Schiene als ein zusammengesetzter Träger angesehen werden, wobei der Kopf wegen der elastischen Einsenkbarkeit des Steges als ein zweiter Träger zu betrachten ist. Auf diese Weise erklärt sich das Entstehen der Zugspannungen am unteren Teil des Schienenkopfes.

Die sekundäre Biegung des Schienenkopfes tritt in einem Bereich auf, der insgesamt 15 cm lang ist und in dessen Mitte sich die Belastungsstelle befindet, Bild 17. Aus Bild 17 ist auch der Spannungsverlauf an der Kopfunterseite (in einer Entfernung von 41 mm von der Oberfläche des Kopfes) im Falle von senkrechten zentrischen Belastungen von 10 t bis 30 t ersichtlich. Bild 18b zeigt den Spannungsverlauf an der Schienenkehle im Falle von senkrechten zentrischen Belastungen von 10 t, 20 t und 30 t, wobei die Spannungen durch zusätzlich aufgeklebte Messtreifen ermittelt wurden. Infolge der obenerwähnten zusätzlichen Spannungen entstehen am Schienenfuss kleinere Spannungen, Bild 18a. So tritt am Schienenfuss unter der Belastungsstelle die theoretisch ermittelte Spannungsspitze nicht auf. Vielmehr verläuft das Spannungsdiagramm in Längsrichtung in der Nähe der Belastungsstelle in Form einer Parabel, und es ergibt sich eine Beanspruchungsverminderung von 15 % gegenüber der theoretisch berechneten Beanspruchung. Der Bereich, in welchem diese Beanspruchungsverminderung auftritt, ist etwa 12 cm lang.

Adresse des Verfassers: Prof. Dr. *N.-J. Koroneos,* Fokylidustrasse 11, Athen, Griechenland.

Literaturverzeichnis

[1] *v. Gruenewaldt:* Amerikanische Oberbauuntersuchungen (Schienenspannungen). «Organ für die Fortschritte des Eisenbahnwesens», 1929, H. 6—7.

[2] *H. Meier:* Kräfte und Spannungen im Langschienengleis. «Zeitschrift des Vereins Deutscher Ingenieure», 1935, H. 12, S. 380.

[3] *H. Meier:* Eigenspannungen in Eisenbahnschienen. «Org. Fortschr. Eisenbahnw.» Bd. 91 (1936), S. 320.

[4] *K. Schönrock:* Höhe der Eigenspannungen in verschieden behandelten Schienen. Bericht 4. Internationale Schienentagung. Düsseldorf 1938.

[5] *C. Popp:* Ueber die Stosswirkungen unrunder Eisenbahnräder. «Archiv für Eisenbahntechnik», Juni 1952, S. 11—27.

[6] *Rubin:* Beitrag zur Frage der Schienenspannungen infolge unrunder Räder. «Archiv f. Eisenbahntechnik», Folge 1, Juli 1952.

[7] *U. Schlumpf:* Ueber eine bisher nicht berücksichtigte Beanspruchungsart von Eisenbahnschienen, SBZ 1954, H. 1, S. 6—9.

[8] *Birmann und Deutler:* Spannungsoptische Untersuchungen an Eisenbahnschienen. «Eisenbahntechnische Rundschau» 1956, H. 4, S. 146—153.

[9] *G. Schramm:* Die Beanspruchung der Schienen durch die Eisenbahnfahrzeuge. «Glasers Annalen» 1955, H. 11, S. 317—323.

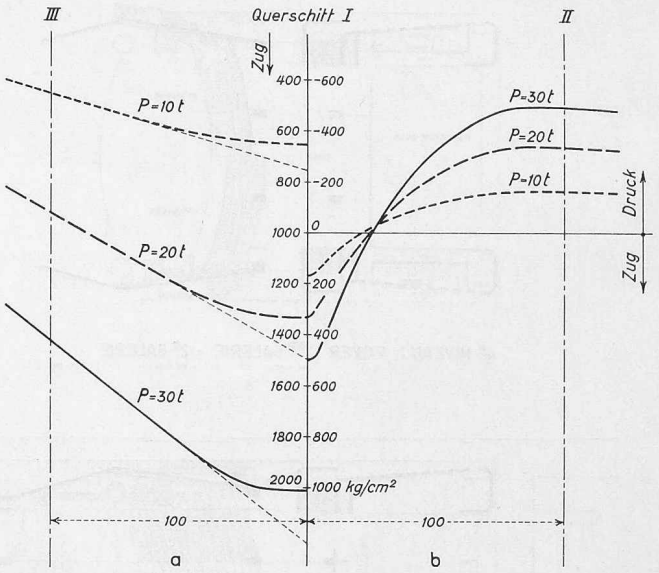


Bild 18a. Spannungsverlauf an der Unterseite des Schienenfusses (Mitte)

Bild 18b. Spannungsverlauf an der Schienenkehle

Bild 18. Spannungsverlauf in Abhängigkeit von der Schienenlängsaxe bei senkrechter zentrischer Belastung von 30 t, bzw. 20 t bzw. 10 t

[10] *Betzhold:* Erhöhung der Beanspruchung des Eisenbahnoberbaus durch Wechselwirkung zwischen Fahrzeug und Oberbau. «Glasers Annalen» 1957. H. 3—5.

[11] *H. Meier:* Experimentelle Oberbauforschung. «Der Eisenbahn-Ingenieur». 1957, H. 7, S. 159—166.

[12] *A. Kammerer:* La photoelasticimétrie à trois dimensions. «La pratique des industries mécaniques», Sept. 1958, No. 9.

Einbeulen von Stollenpanzerungen

DK 624.075.2:624.19

In den Jahren 1950 (H. 9, S. 102) und 1953 (H. 16, S. 229) haben wir Arbeiten von Ing. *Ernst Amstutz* über dieses Thema veröffentlicht, die nachher von anderer Seite (SBZ 1953, H. 26, S. 382) kritisiert worden sind. Wir hatten damals den Wunsch, einen mehrmaligen Schriftwechsel zu vermeiden und eine bereinigte Schlussveröffentlichung zu bringen. Leider ist dies nicht möglich geworden. Um so lieber teilen wir heute mit, dass die Auffassungen von Ing. E. Amstutz volle Rechtfertigung gefunden haben in einer Dissertation, die 1960 in Deutschland erschienen ist [1]).

Die von Dr. *F. Hertrich* durchgeführten Versuche haben eine verblüffend genaue Uebereinstimmung mit der Theorie von E. Amstutz ergeben. In bezug auf die erwähnte Auseinandersetzung entnehmen wir der Dissertation Hertrich, dass die Annahmen von Amstutz bei den im Schachtbau gebräuchlichen Abmessungen in guter Näherung («die Kunst des Ingenieurs ist es, richtig zu vernachlässigen») zu den gleichen Ergebnissen führen wie die exakt durchgeführten Berechnungen seines Gegners. Dessen Formeln beurteilt Hertrich zwar im wissenschaftlichen Sinne als richtig, jedoch als zu kompliziert für praktische Berechnungen. In seiner Zusammenfassung stellt Hertrich fest, dass die Formeln von Amstutz vorzuziehen sind, da sie wesentlich einfacher und in der Anwendung vielseitiger seien.

In Anbetracht der Tatsache, dass die Theorie von Amstutz die erste brauchbare Veröffentlichung auf diesem Gebiete war und nicht Anspruch auf eine endgültige Fassung erhob, darf ihn diese Beurteilung durch einen unbeteiligten Fachmann mit Genugtuung erfüllen. Wir lassen ihm, der seinerzeit nicht in dem von ihm gewünschten Mass zu Wort gekommen ist, daher gern diese späte Rechtfertigung zu Teil werden.

Die Redaktion

[1]) **Die Einbeulgefahr bei Tübbingsegmentschachtauskleidungen.** Dissertation zur Erlangung des Grades eines Dr.-Ing., vorgelegt von Dipl.-Ing. *Friedrich Hertrich* aus Gelsenkirchen, genehmigt von der Fakultät für Bergbau und Hüttenwesen der Bergakademie Clausthal, 15. Juli 1960. 154 S. Format A5.