

**Zeitschrift:** Schweizerische Bauzeitung  
**Herausgeber:** Verlags-AG der akademischen technischen Vereine  
**Band:** 105/106 (1935)  
**Heft:** 25

**Artikel:** Ein Seifenhaut-Modell zur Ergänzung der photoelastischen Untersuchung  
**Autor:** [s.n.]  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-47450>

#### 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:** 22.02.2026

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

8. Die Eigenfrequenz der Brücke wurde zu 4 Hertz (4 volle Amplituden pro Sekunde) ermittelt; die zugeordnete grösste lotrechte Schwingungsamplitude im Bogen Scheitel erreicht  $\pm 0,474$  mm (Abb. 6). Die Richtung der Schwingung in Resonanz für den Bogenviertel ist schräg, sie verläuft angenähert winkelrecht zur Bogenaxe (Abb. 7).

9. Der Bruch eines zentrisch gedrückten Versuchspfeilers aus Moellons aus Gilsdorfer Sandstein, mit Portlandzementmörtel 1:4 gemauert, erfolgte bei einer Belastung von 1020 t, entsprechend einer mittleren Druckspannung von 638 kg/cm<sup>2</sup>. Die Druckfestigkeit des Mauerwerkes beträgt somit  $\sim 40\%$  der Steinfestigkeit ( $\rho \beta_d = 1610$  kg/cm<sup>2</sup>). Die Erschöpfung erfolgte durch Überwindung der Biegezugfestigkeit ( $\beta_b = 183$  kg/cm<sup>2</sup>) des Sandsteines (Abb. 8 und 9).

10. Die Adolph-Brücke ist den schwersten Verkehrslasten, die die nächste Zukunft, mit Rücksicht auf die Tragfähigkeit der Straßen, noch bringen kann, gewachsen. Sie ist befähigt, doppelt so schwere Belastungszüge wie anlässlich der Versuche am 20. Oktober 1933 ohne Nachteil, d. h. innerhalb noch zulässiger Spannungsgrenzen und Verformungswerte zu tragen. Sollten in nächster Zukunft wesentlich schwerere Verkehrslasten als die anlässlich der Belastungsversuche wirklich in Frage kommen, so wäre die Tragsicherheit der Fahrbahn nachzuprüfen (was nicht Gegenstand der vorliegenden Studie war).

11. Die Bruchsicherheit, unter Zugrundelegung des schwersten Belastungszuges vom 20. Oktober 1933, bzw. der seinerzeitigen Belastungszüge anlässlich des Baues (1903), ist grösser als sechs- bzw. achtfach.

\*

Tragwerke aus Mauerwerkskörpern in Naturstein verhalten sich, trotz ihrer durch die Natur und den Aufbau bedingten Unhomogenität und Anisotropie, ingenieurtechnisch beurteilt, grundsätzlich wie elastische Gebilde. Die Festigkeits- und Verformungseigenschaften, die von der Gesteinsart, dem Fugenmörtel und der Bauart des Mauerwerkes, vom Alter des Bauwerkes, vom Grundspannungszustand infolge ständiger Last sowie von den sich diesem überlagernden Spannungswechseln aus Verkehrslast, Winddruck und Wärmewechsel abhängig sind und in den gesamten, bleibenden und namentlich in den elastischen Verformungen zum Ausdruck gelangen, müssen aber sinngemäß und gebührend berücksichtigt werden. Dabei gilt als Grundsatz: Die statischen Berechnungen von massiven Bauwerken nach der Elastizitätstheorie sollen in erster Linie die grundlegendsten Gesichtspunkte erkennen lassen, nach denen die Wahl des Materials und der Entwurf zu erfolgen hat, die baulichen Vorkehrungen zu treffen sind und der Bau durchzuführen ist.

Die Adolph-Brücke in Luxemburg verkörpert den Geist, die Erfahrung und den Formwillen ihres Schöpfers. Als unvergängliches Denkmal der klassischen französischen Brückenbaukunst ehrt das Werk durch Wahrheit, Schönheit und Kühnheit seinen Meister, Paul Séjourné.

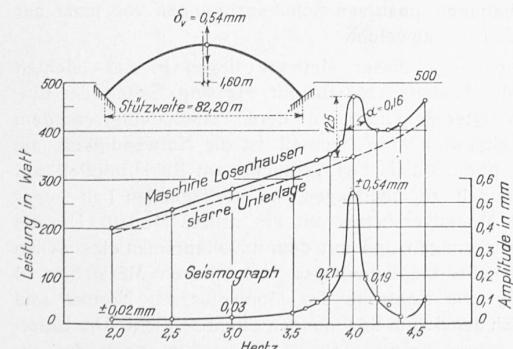


Abb. 6. Lotrechte Schwingungen des Bogen Scheitels, wachgerufen durch die Schwingungsmaschine Losenhausen.

Bemerkung zu Abb. 6: Die Schwingungsamplitude von  $\pm 0,54$  mm wurde direkt gemessen; wird die Eigenschwingung des Oszillographen berücksichtigt, so ergibt sich die wirkliche Schwingungsamplitude des Bogen Scheitels zu  $\pm 0,474$  mm.

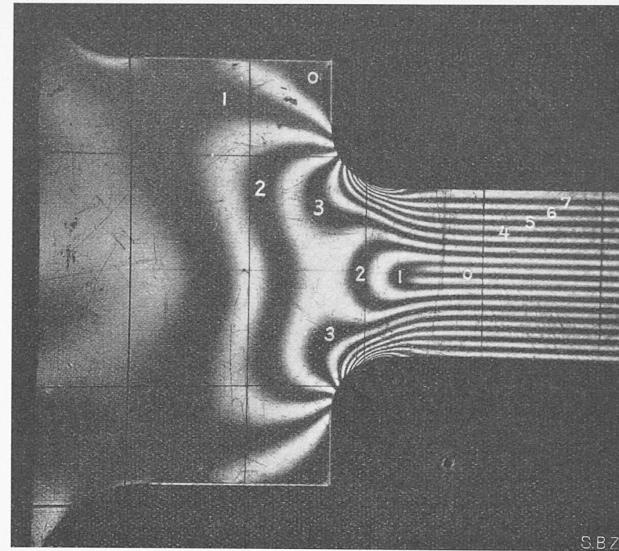


Abb. 1. Photo-elastic Streifen-Aufnahme. Reine Biegung  $R/d = 0,34$ .

### Ein Seifenhaut-Modell zur Ergänzung der photo-elasticischen Untersuchung.

Auf Anregung von Professor S. Timoshenko hat an der University of Michigan E. E. Weibel die photo-elasticche Streifen-Aufnahme (Abb. 1) eines auf reine Biegung beanspruchten Konstruktionselementes (Abb. 2) durch die Ausmessung einer Seifenmembran ergänzt, die über eine Öffnung vom Umriss der Abb. 2 gespannt wurde.<sup>1)</sup> Die Ordinaten  $z$  einer beidseitig unter Luftdruck stehenden Seifenhaut gehorchen nämlich der selben Differentialgleichung

$$\frac{\partial^2 z}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 z}{\partial y^2} = 0 \quad \dots \quad (1)$$

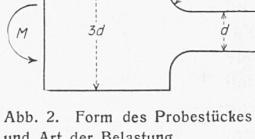


Abb. 2. Form des Probestückes und Art der Belastung.

die auch von der Summe der Hauptspannungen  $\sigma_1 + \sigma_2$  befriedigt wird. Werden also die Randordinaten der Öffnung den Randwerten der Hauptspannungssumme proportional gemacht, so gibt die

mit der auf Abb. 3 ersichtlichen einfachen Apparatur zu ermittelnde Gestalt der Seifenfläche ein Bild von den Werten der Hauptspannungssumme im Innern des Konstruktionselementes. Als Erster hat J. P. Den Hartog auf diese Analogie aufmerksam gemacht.<sup>2)</sup>

Die Streifen-Aufnahme Abb. 1 hat E. E. Weibel an einem Bakelit-Modell des Konstruktionselementes vorgenommen; zur Vermeidung von Restspannungen waren beim Anlassen des Bakelits sowie beim Herstellen des Modells genaue Vorsichtsmassregeln zu treffen. Mit Rücksicht auf das rasche „Altern“ des Bakelits hatte die Aufnahme innerhalb von vier Stunden nach Herstellung zu erfolgen. Sie liefert bekanntlich<sup>3)</sup> die Verteilung der Hauptspannungsdifferenzen  $\sigma_1 - \sigma_2$ , d. h. der maximalen Schubspannung innerhalb und (durch Extrapolation) auch am Rande des Konstruktionselementes. Da am Rande wegen Verschwindens der einen Hauptspannung  $\sigma_1 + \sigma_2$  und  $\sigma_1 - \sigma_2$  vom gleichen Betrage sind,

liegt die Streifen-Aufnahme die für die Herstellung des Membran-Modells benötigten Randwerte der Hauptspannungssumme, d. h. die den Konstrukteur vor allem interessierenden Randspannungen.

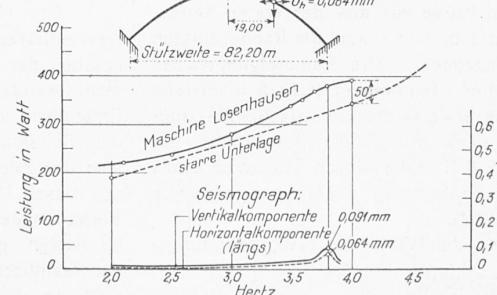


Abb. 7. Schwingungen im Bogenviertel Seite Bahnhof, wachgerufen durch die Schwingungsmaschine Losenhausen.

<sup>1)</sup> E. E. Weibel: „Studies in photelastic stress determination“, Transactions ASME, 1934 S. 637.

<sup>2)</sup> Z. A. M. M., Band 11, 1931, S. 156.

<sup>3)</sup> Vergl. R. V. Baud, „SBZ“ Bd. 100, 1932, S. 1\* und 15\*.

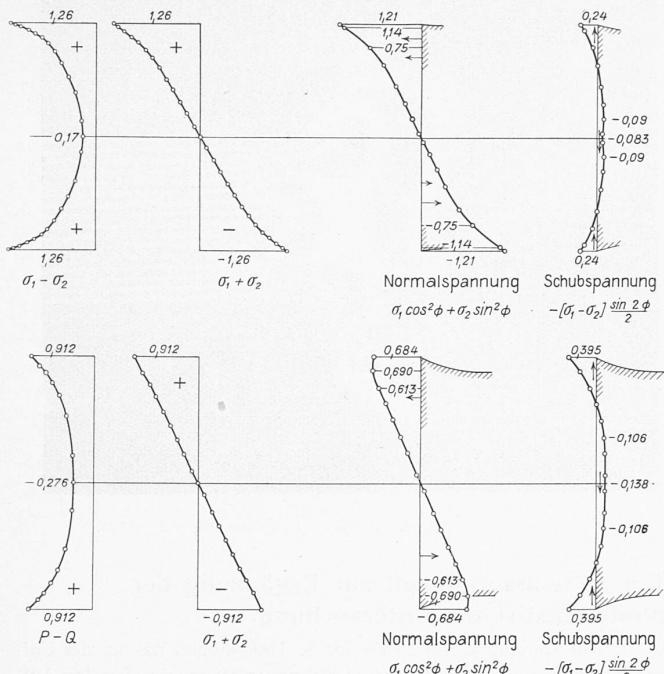
**EIN SEIFENHAUT-MODELL ZUR ERGÄNZUNG DER PHOTO-ELASTISCHEN UNTERSUCHUNG**


Abb. 6. oben: Spannungen in Schnitt I (Abb. 4).  
unten: Spannungen in Schnitt II (Abb. 4).

Mit den aus dem photo-elastischen und dem Membran-Modellversuch gewonnenen Werten  $\sigma_1 - \sigma_2$  und  $\sigma_1 + \sigma_2$  sind auch die Hauptspannungen selber bestimmt. Zu deren getrennter Ermittlung hat H. Favre<sup>4)</sup> die im photo-elastischen Institut der E.T.H. erfolgreich angewandte<sup>5)</sup> interferometrische Methode entwickelt; Den Hartog's Seifenhautmodell verfolgt den gleichen Zweck. Sofern die von der Haut überbrückten Spannweiten 8 cm nicht überschreiten, hält sich eine aus geeigneter Lösung hergestellte Membran in feuchter Atmosphäre über 20 Stunden lang. Die Randordinaten des Messingmodells für die Seifenhaut sind mit einer Genauigkeit von  $\pm 0,03$  mm einstellbar. Indem die Glasplatte von Abb. 3 auf dem Kasten so verschoben wird, dass die untere, fest eingestellte Spitze des Tiefen-Mikrometers die Membran längs einer Höhenlinie berührt, zeichnet die andere Spitze deren Bild auf. E. E. Weibel erhielt so zu den aus der Streifen-Aufnahme Abb. 1 gewonnenen Linien konstanter Hauptspannungsdifferenz (Abb. 4) auch noch Linien konstanter Hauptspannungssumme (Abb. 5).

Die Gleichung (1) setzt eine nicht allzu stark geneigte Membran-Oberfläche voraus. Da bei einem ersten Messingmodell die Seifenhaut an einer Randstelle jedoch um etwa  $36^\circ$  geneigt war, stellte Weibel ein zweites Modell der kritischen, in Abb. 5 durch die gestrichelte Kurve abgegrenzten Region her, indem er den Randordinaten längs der gestrichelten Kurve die aus der ersten Seifenfläche dort ermittelten Werte gab. In Abb. 5 sind die Randordinaten des zweiten Modells in mm angegeben. Die Randneigungen der über das zweite Modell gespannten Membran erreichten höchstens  $8,5^\circ$ . Die Mittellinie der über das erste (antisymmetrische) Messingmodell gespannten Seifenhaut sank infolge der Schwerkraft um maximal 0,15 mm unter das Null-Niveau; durch Annahme eines parabolischen Verlaufes dieser Einsenkung über die Spannweite wurde dieser Einfluss berücksichtigt.

Den Abb. 4 und 5 können die Werte der Hauptspannungs-

<sup>4)</sup> „SBZ“ Bd. 90, 1927, S. 291\* und 307\*.

<sup>5)</sup> Vergl. Prof. Dr. F. Tank: „Die Tätigkeit des photo-elastischen Laboratoriums der Eidg. Techn. Hochschule 1927 bis 1933“, „SBZ“, Bd. 104, 1934, S. 45\*. Ferner Dr. Ing. S. Rajnfeld: „Die spannungsoptische Untersuchung der Berührung zweier Kreiszylinder“, „SBZ“, Bd. 104, 1934, S. 96\*, und: „Festigkeitsuntersuchung durchlochter Laschen“, „SBZ“, Bd. 104, 1934, S. 299\*.

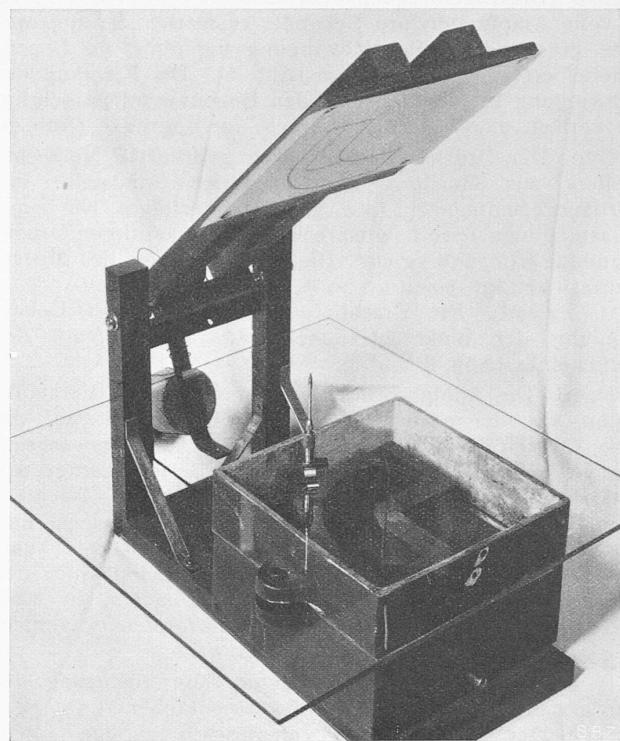


Abb. 3. Apparatur zur Herstellung und Ausmessung des Seifenhaut-Modells.

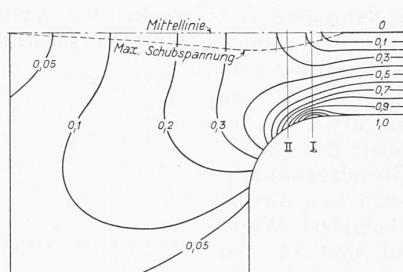


Abb. 4. Linien konstanter Hauptspannungsdifferenz  $\sigma_1 - \sigma_2$ , gemäss Streifen-Aufnahme (Abb. 1). Werte bezogen auf Randspannung 1 am geraden Ende.

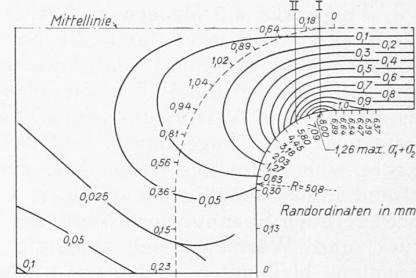


Abb. 5. Linien konstanter Hauptspannungssumme  $\sigma_1 + \sigma_2$ , gemäss Seifenhaut-Modell (Abb. 3). Werte bezogen auf Randspannung 1 am geraden Ende.

Differenz, bzw. -Summe z. B. über die Querschnitte I und II (deren erster durch die Stelle grösster Randspannung geht) entnommen werden: Abb. 6. Damit hat man auch den Verlauf der Hauptspannungen selbst über diese Querschnitte; ein (photo-elastisch ermitteltes) Isolinienbild liefert außerdem in jedem Querschnittspunkt die Hauptspannungsrichtungen, sodass nun die Kurve der Normal- und Schubspannungen aufgezeichnet werden kann (Abb. 6). Das Biegemoment der so ermittelten Normalspannungen ist für beide Querschnitte um etwa 1,9 % zu gross, während die Resultierende der erhaltenen positiven Schubspannungen von jener der negativen um rd. 10 % abweicht.

Die Hauptvorteile dieser Methode liegen in der leichten Herstellbarkeit der Modelle (aus Bakelit, Messing, Seife), der Einfachheit der benötigten Apparatur und deren Handhabung, und dem resultierenden Zeitgewinn. Ein Nachteil ist die Notwendigkeit, die Ergebnisse des photo-elastischen Versuchs am Bakelitmodell auf das Seifenhautmodell zu übertragen, im vorliegenden Fall sogar jene des zweiten Modellversuches auf ein drittes Modell. Um die mit diesen Uebertragungen und mit dem unvollkommen elastischen Verhalten des Bakelits möglicherweise verbundenen Messfehler zu entdecken, genügt die Kontrolle des Momentes der Normal- und der Resultierenden der Schub-Spannungen offenbar nicht. Die Untersuchung eines schon berechneten Belastungsfalls nach der geschilderten Methode oder ein Parallelversuch an einem Glasmodell nach der Methode von Favre könnte hierüber Aufschluss geben. Die photo-elastische Eignung des Bakelits anlangend, ist der in

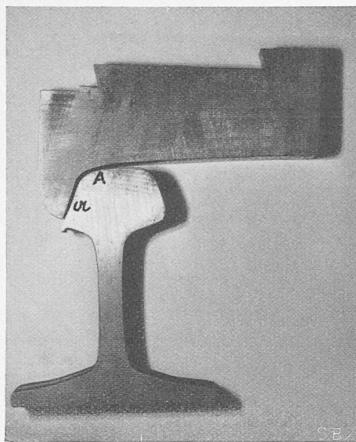


Abb. 1. Abgenützte Schiene und Radbandage.

(schätzungsweise 0,4 bzw. 0,5) spielt wegen der Kleinheit der letztgenannten eine vernachlässigbare Rolle.

Schon die in Abb. 6 niedergelegten Messergebnisse lassen die Wünschbarkeit einer umfassenden experimentellen Kontrolle (nach der einen oder andern Methode) der über die zweiaxig beanspruchten Konstruktionselemente herrschenden Vorstellungen erkennen.

### Messeinrichtung zur Bestimmung der Laufeigenschaften von Eisenbahnfahrzeugen.

Von Dipl. Ing. ROMAN LIECHTY, Bern.

Die mechanischen Bedingungen, unter denen sich Strassen- und Schienenfahrzeuge auf ihrer Bahn bewegen, sind infolge willkürlich gewählter Bauformen sehr verschieden. Ein auf einer Ebene abrollender Zylinder wird, sich selbst überlassen, sich senkrecht zu seiner Axe bewegen. Der selbe Vorgang spielt sich beim Vorwärtbewegen eines Eisenbahnradssatzes oder Automobilrades ab. Dieses ist willkürlich lenkbar, setzt einem Richtungswechsel infolge seiner kleinen axialen Auflagelänge nur geringen Widerstand entgegen und hat erfahrungsgemäss einen ruhigen Lauf.

Eisenbahnradssätze sind im allgemeinen nicht gesteuert; zu mehreren in paralleler Lage in einem gemeinsamen Rahmen gelagert, setzen sie infolge der grossen Zylinderlänge (= Spurweite) einer Ablenkung aus ihrer Bahn merklichen Widerstand entgegen. Die Führung im Geleise wird durch Spurkränze erzwungen. Abb. 1 zeigt einen Schnitt durch eine abgenützte Schiene und Bandage, aus der deutlich die starke Zerstörung der ursprünglich symmetrischen Schienenform und des in neuem Zustand unten halbkreisförmig abgerundeten Spurkränzes zu erkennen ist. Die Ursache dieser Abnutzung liegt darin begründet, dass bei nicht tangentialer Stellung des Rades zur Schiene eine Berührung in zwei Punkten stattfindet, die in Abb. 1 mit A = Aufstandspunkt und α = Spurkranzdruckpunkt bezeichnet sind. Die Momentanaxe der Radbewegung geht weder durch A noch durch α. Diese Radpunkte müssen unter grossen

Anm. 1 zitierten Abhandlung Weibels folgendes zu entnehmen: 1. Ein unter konstantem Zug oder Druck gehaltener Bakelitstab „kriecht“ wenig: Nach Verlauf von zwei Stunden vergrössert sich die Dehnung oder Stauchung um etwa 5 % des Anfangsbetrags, und zwar, zum Unterschied von Zelloid, unabhängig von der Belastung. 2. Bis zu rd. 280 kg/cm<sup>2</sup> ist die Dehnung der Spannung proportional. — Der Unterschied der Poisson'schen Konstanten für elastische und plastische Dehnung

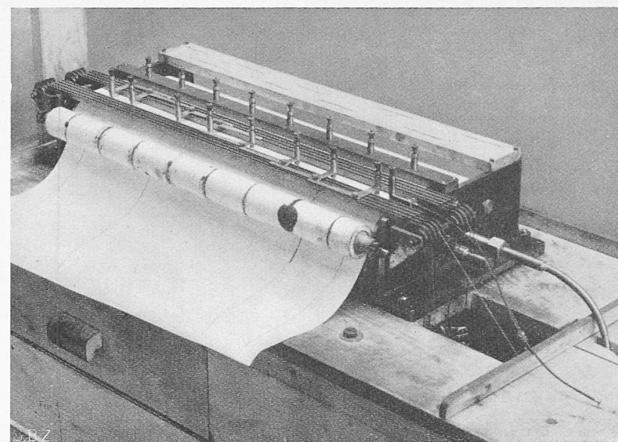


Abb. 5. Schreibvorrichtung für acht Bewegungsvorgänge.

Drücken gleiten und leisten damit die Reibarbeit, die zur Abnutzung beider Teile führt. Praktisch bedingt diese Tatsache eine Einschränkung der zulässigen Raddrücke, Radstände und kleinsten Kurvenradien und zwingt des öfteren zur Anwendung von Drehgestellen.

Die wissenschaftliche Behandlung der Frage zeigt deutlich, dass durch eine geeignete automatische Steuerung der Achsen diese Leistungs- und Materialverluste vermieden und zugleich der Lauf der Fahrzeuge von den Unregelmässigkeiten der Fahrbaahn unabhängiger gemacht werden kann. Seit den ersten Entwicklungsjahren der Eisenbahn wurden bezügliche Versuche unternommen.

Mit Unterstützung durch die „Eidg. Volkswirtschaftsstiftung“, sowie einiger schweiz. Nebenbahnen war es mir nun möglich, an verschiedenen Fahrzeugbauarten systematische Untersuchungen durchzuführen. Nachstehend soll eine kurze Beschreibung der Apparate gegeben werden, die zu diesem Zwecke von Alf. J. Amsler & Cie. Schaffhausen erbaut worden sind.

Die zu lösende Aufgabe war, die gegenseitige Lage von Rad, Schiene und Wagenkasten während der Fahrt und unter Berücksichtigung der Unregelmässigkeiten des Geleises festzustellen.

Bereits vor Jahren versuchte der Verfasser durch kinematographische Aufnahmen diese Frage zu lösen. Ein befriedigendes Resultat konnte aber infolge der kleinen in Frage stehenden Winkel und Wege, sowie der kurzen Zeitintervalle nicht erreicht werden.

Die Abb. 2, 3 und 4 zeigen die neue Messeinrichtung in ihrer Ausführung und grundsätzlichen Anordnung. Das Hauptorgan ist ein horizontaler Rahmen, der mit Holzlatten verstiftet ist und den ganzen Radsatz umgibt. Er ist in dessen Achsschenkeln aufgehängt und geführt und wird durch die in Abb. 2 und 3 sichtbaren Parallelkurbelgetriebe parallel zu den Schienen gehalten, kann im übrigen mit der Achse zusammen aber jede beliebige Bewegung gegenüber dem Wagenkasten ausführen. Drei an diesem Rahmen befestigte Taster (I, II, III, Abb. 4) werden unter Federdruck an die inneren seitlichen Flanken der Schienen gepresst und dienen der Ermittlung der relativen Bewegung von Rad, bzw. Messrahmen und Schiene.

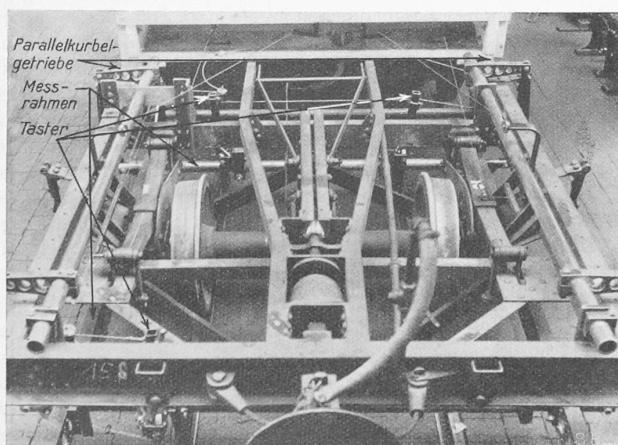


Abb. 3. Draufsicht auf die Amslersche Messvorrichtung.

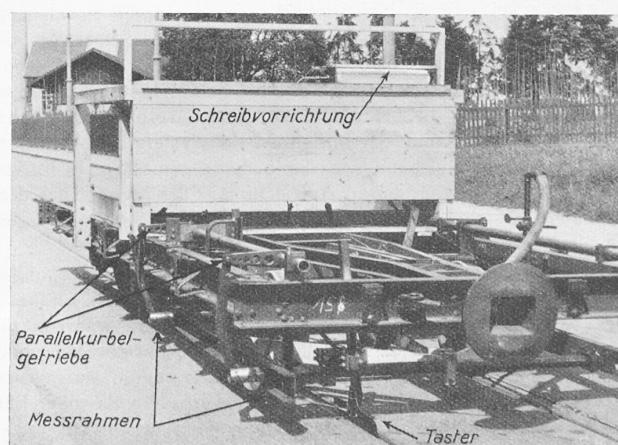


Abb. 2. Seitenansicht der Amslerschen Messvorrichtung.