

Photoelastische Laboratorien E.T.H. und E.M.P.A.: Ermittlung von zweidimensionalen Potentialfeldern bei beliebigen Randbedingungen

Autor(en): **Baud, R.V. / Tank, E.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Bauzeitung**

Band (Jahr): **111/112 (1938)**

Heft 14: **Lehr- und Forschungsinstitute der Eidgenössischen Technischen Hochschule: Sonderheft zum 60. Geburtstag des Schulratspräsidenten Arthur Rohn**

PDF erstellt am: **19.05.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-49817>

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.

Die Forschungstätigkeit der Volkswirtschaftlichen Abteilung des Betriebswissenschaftlichen Instituts

Bei der Gründung des Betriebswissenschaftlichen Instituts im Jahre 1929 dachte man ursprünglich daran, ein umfassenderes wirtschaftliches Ausseninstitut zu schaffen. Während der Gründungsverhandlungen ist diese Idee dann fallen gelassen worden, sodass volkswirtschaftliche Untersuchungen zunächst nur als «Nebenprodukt» durchgeführt werden konnten. Mit der Zeit entstand jedoch aus den Kreisen der Praxis ein vermehrtes Bedürfnis nach Orientierung über dieses Gebiet, sodass sich schliesslich eine selbständige Forschungsstelle entwickelte, die gegenwärtig im weiteren Ausbau begriffen ist. Diese Forschungsarbeiten der «Volkswirtschaftlichen Abteilung» sind zunächst aus der Ueberzeugung hervorgewachsen, dass die Tätigkeit der Unternehmungen und Betriebe in hohem Masse bedingt sei durch die volks- und weltwirtschaftlichen Zusammenhänge, in denen sie sich vollzieht, sowie durch die wirtschaftspolitischen Massnahmen des Staates, insbesondere auch auf dem Gebiete der Krisenpolitik. Daraus ergaben sich als nächstliegende Aufgaben:

- a) die volkswirtschaftl. Ausbildung der Betriebsbeamten,
- b) die Untersuchung der volkswirtschaftl. Wirkung bestimmter Massnahmen der Betriebe oder bestimmter Betriebsformen,
- c) die Untersuchung der volkswirtschaftl. und wirtschaftspolitischen Voraussetzungen der Tätigkeit der Unternehmungen, insbesondere auch ihrer Gewinnmarge,
- d) die laufende Beobachtung der Märkte und der Gesamtkonjunktur.

Der volkswirtschaftl. Ausbildung dienten verschiedene Kurse über allgemein wirtschaftliche Fragen sowie die laufende Analyse wirtschaftlicher Probleme in der Zeitschrift des Instituts.

Das Studium der volkswirtschaftlichen Auswirkungen betrieblicher Massnahmen hat einerseits zur Ausarbeitung verschiedener Gutachten geführt, die in der Regel nicht veröffentlicht worden sind. Andererseits ist eine umfassende Untersuchung der Wirkungen des technischen Fortschritts und der Rationalisierung begonnen worden, die zu dem vorläufigen Ergebnis führte, daß die Arbeitslosigkeit nicht der Technik als solcher zur Last gelegt werden darf, sondern den volkswirtschaftlichen Bedingungen, unter denen der technische Fortschritt vor sich geht. Ehe die Untersuchung endgültig abgeschlossen werden kann, muss eine Analyse des volkswirtschaftlichen Entwicklungsprozesses unternommen werden, die an vierter Stelle behandelt wird.

Die Untersuchung der volkswirtschaftlichen und wirtschaftspolitischen Voraussetzung der Betriebstätigkeit hat hauptsächlich zum Studium der Krisenpolitik geführt. Zunächst sind die Erfahrungen des Auslandes laufend verfolgt worden, um allgemein gültige Ergebnisse festzuhalten. Zugleich mussten aber auch die besonderen Bedingungen der Schweiz einer Prüfung unterzogen werden. Die Ergebnisse sind zum Teil in Aufsätzen der «Industriellen Organisation» und anderen Zeitschriften, zum Teil in Broschüren, zum Teil in Gutachten niedergelegt. Diese Tätigkeit wird direkt und indirekt fortgeführt durch die Arbeiten der letzten Gruppe, die gegenwärtig im Vordergrund der Tätigkeit stehen.

Die Untersuchungen über den Zusammenhang von Technik und Arbeitslosigkeit haben ergeben, dass wesentliche Fortschritte über die bisherige Forschung hinaus nur gemacht werden können, wenn es gelingt, die gestellten Probleme sowie den Zusammenhang der wirksamen Faktoren quantitativ zu formulieren. Der praktische Versuch zeigte, dass mit relativ einfachen Voraussetzungen und ohne komplizierte statistische Methoden verhältnismässig weitreichende Ergebnisse erzielt werden können, die unmittelbar für Tendenzbestimmungen Verwendung finden können. Dank der Gründung einer Erfahrungsaustauschgruppe für Konjunkturbeobachtung, an der sich etwa 30 Firmen der Industrie, des Handels und des Finanzwesens beteiligen, konnten die Mittel bereitgestellt werden, um diese Untersuchungen zunächst auf beschränkter Basis durchzuführen und um sie gleichzeitig für konjunkturelle Tendenzbestimmungen zu verwerten. Die Ergebnisse werden in Einzeluntersuchungen und Wochenberichten über die Konjunkturlage der Hauptländer niedergelegt, die im Rahmen der verfügbaren Mittel sukzessive ausgebaut werden sollen. Daneben bleibt als Forschungsziel die quantitative Bestimmung der Normen für die volkswirtschaftlichen Kreislauf- und Entwicklungsprozesse bestehen, also der Ausbau der Nationalökonomie als angewandter Wissenschaft.

E. BÖHLER

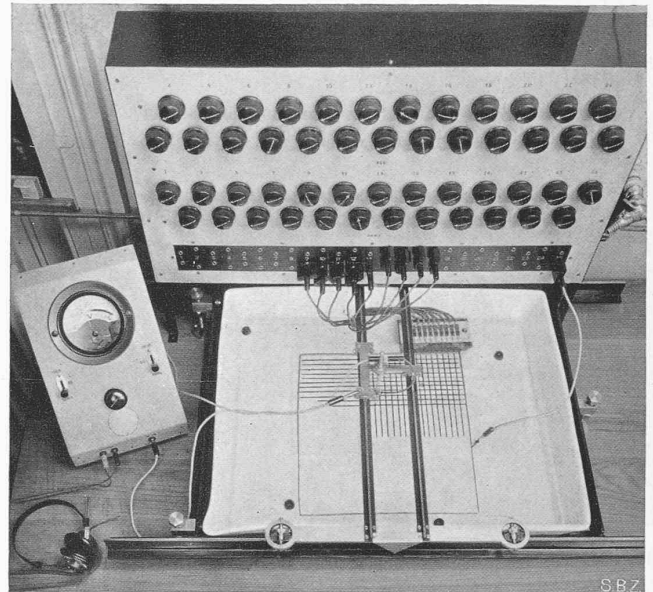


Abb. 1. Der «Elektrolytische Trog» mit Potentiometerkasten, Voltmeter u. a. m. in der Anordnung zum Versuch: Linearer Druck auf Halbebene. — Anzahl der gesteuerten Punkte: neun

Photoelastische Laboratorien E. T. H. und E. M. P. A.¹⁾ Ermittlung von zweidimensionalen Potentialfeldern bei beliebigen Randbedingungen

Zweidimensionale Potentialfelder lassen sich aus einer Funktion — der Potentialfunktion $\Phi(x, y)$ — herleiten, die einer Lösung der Laplace'schen Gleichung

$$\Delta \Phi = \left(\frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} \right) \Phi = 0 \quad \dots \quad (1)$$

entspricht. Diese Funktion kann in manchen Fällen theoretisch, so etwa auf Grund konformer Abbildungen, ermittelt werden, während in verwickelteren Fällen das Experiment zu Hilfe gezogen werden muss. Besonders geeignet hierzu ist die Lösung auf elektrischem Wege im «elektrolytischen Trog», indem hier ebenfalls gilt

$$\Delta V = 0, \quad (1a)$$

wobei V die Potentialfunktion des elektrostatistischen Feldes darstellt. Diese Methode ist seit geraumer Zeit bekannt, war aber bisher in der Anwendung insofern beschränkt, als der ganze Rand oder jeweils einzelne seiner Teile konstantes Potential aufwiesen. Neu dagegen ist nun, dem Rand irgend eine beliebige, durch das Problem vorgeschriebene Potentialverteilung aufzudrücken, wie in den nachfolgenden Beispielen praktisch gezeigt wird. Zu diesem Zwecke muss der Rand mit einem leitenden Anstrich versehen werden, dessen Widerstand verglichen mit dem Flüssigkeitswiderstand im Trog genügend klein ist und der doch nicht so stark leitet, dass infolge zu grosser Ströme eine erhebliche Erwärmung auftritt. Hierzu wurde bei den Erstversuchen²⁾ Isolatorenglimmschutzlack verwendet, wobei der Rand selbst aus Micafil bestand. Die Messergebnisse, insbesondere diejenigen in der Nähe des Randes, waren jedoch nicht konsistent, was auf Quellungserscheinungen des verwendeten Lackes zurückzuführen war. Auf Grund weiterer Versuche³⁾ wurde schliesslich eine geeignete Mischung von Wasserglas und Graphit mit dem erforderlichen Widerstand gefunden; als Modellmaterial wird Eternit gewählt⁴⁾. Diese Paste wird im elektrischen

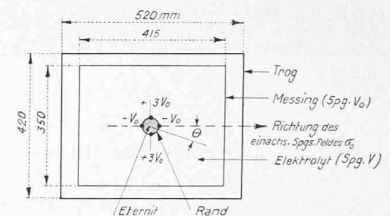


Abb. 2. Anordnung zum Lochversuch. Gesteuerte Punkte 36, d. h. alle 10°. Gesetz der Randspannungsverteilung:

$$\frac{V}{V_0}, \text{ bzw. } \frac{S}{S_0} = 1 - 2 \cos 2 \theta$$

¹⁾ Ueber das Photoelastische Laboratorium E. T. H. — E. M. P. A. vergl. «SBZ» Bd. 104 (1934) S. 45*; Bd. 109 (1937) S. 249*.

²⁾ Meyer und Tank, Helvetica Physica Acta, Bd. 8 (1935) S. 315.

³⁾ Bei diesen Versuchen stand uns Dr. A. V. Blom, Abteilungschef der EMPA, beratend zur Seite, während die Versuche selbst im wesentlichen von Dipl. Ing. Ernst Egger ausgeführt wurden. Beiden Herren sind wir für ihre Mitarbeit zu Dank verpflichtet.

⁴⁾ Tank, Baud und Schiltknecht, «SBZ» Bd. 109 (1937), S. 249*.

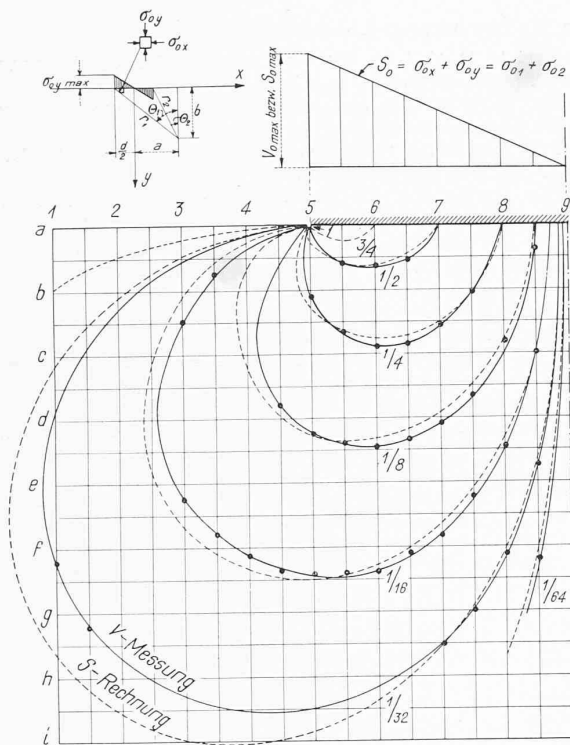


Abb. 3

Elektrisch und theoretisch ermittelte Kurven

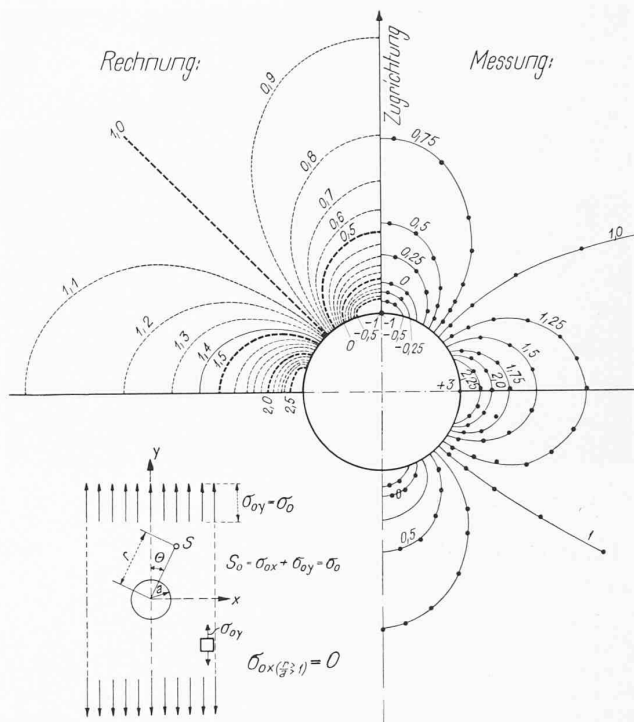
 $\frac{V}{V_0}$, bzw. $\frac{S}{S_0} = \text{konstant}$ 

Abb. 4

Ofen bei etwa 300° C in den Eternitrand eingebrannt und erweist sich als sehr haltbar. — An einzelnen, zweckmässig gewählten Randpunkten (Abb. 1 und 2) werden nunmehr die erforderlichen Potentiale zugeführt, wobei sich in den Abschnitten zwischen zwei «gesteuerten» Punkten ein linearer Spannungsabfall einstellt. Dadurch erscheint irgend eine beliebige Randverteilung meist praktisch genügend genau dargestellt. — Die geschilderte Methode lässt sich nun für irgendwelche komplizierten Potentialfelder (stationäre Wärmefelder, Potentialströmungen usw.) nutzbringend anwenden. Der uns gestellten Aufgabe gemäss, wenden wir uns in nachfolgendem der Anwendung in der Elastizitätstheorie zu.

Bekanntlich sind die Probleme der Elastizitätstheorie statisch unbestimmt, indem beispielsweise bei Scheiben zur Ermittlung der Unbekannten σ_x , σ_y und τ (bzw. σ_1 , σ_2 und α) nur zwei Gleichgewichtsbedingungen zur Verfügung stehen. Deshalb müssen die Deformationsverhältnisse auf Grund der bekannten Beziehungen:

$$\epsilon_x = \frac{\partial \xi}{\partial x}, \quad \epsilon_y = \frac{\partial \eta}{\partial y}, \quad \gamma = \frac{\partial \xi}{\partial y} + \frac{\partial \eta}{\partial x} \quad \dots (2)$$

mitberücksichtigt werden. Aus den Gl. (2) geht hervor, dass bei Scheiben die drei Verformungsgrössen mit nur zwei Verformungsgrössen verknüpft sind. Aus diesem Grunde muss zwischen den Verformungsgrössen eine weitere Beziehung, die sog. Verträglichkeitsgleichung:

$$\frac{\partial^2 \epsilon_x}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \epsilon_y}{\partial x^2} = \frac{\partial^2 \gamma}{\partial x \partial y} \quad \dots (3)$$

bestehen, die man direkt aus den Gl. (2) durch Differentiation usw. erhält. Ersetzt man hierin unter Benützung der Hooke'schen Beziehung die Verformungsgrössen durch die Spannungen, so ergibt sich unter Hinzuziehung einer weitem Differentialgleichung, die man durch Differentiation usw. der zwei Gleichgewichtsdifferentialgleichungen erhält, die Verträglichkeitsgleichung (3) in der Form:

$$\Delta S = \left(\frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} \right) S = 0, \quad \dots (4)$$

sofern man unter S die invariante Summe $(\sigma_x + \sigma_y) = (\sigma_1 + \sigma_2)$ der Normalspannungen versteht. Die Analogie der Differentialgleichung (4) mit jener der elektrostatischen Potentialverteilung (Gl. 1a) erlaubt somit, die Spannungssumme S mittels des «elektrolytischen Troges» zu ermitteln. Vorbedingung ist freilich, dass man die Verteilung der Randspannungssumme kennt, die sich indessen — von gewissen Fällen abgesehen — in einfacher Weise aus dem photoelastischen Versuch nach den Methoden B³⁾

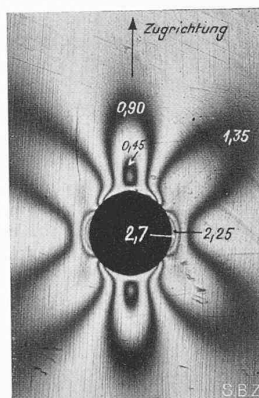


Abb. 5. Photoelast. ermittelte Kurven $\frac{\sigma_1 - \sigma_2}{\sigma_0} = \text{konstant}$ für einaxiges Spannungsfeld mit Loch

ergibt. Dieser liefert ausserdem, ebenfalls in einfachster Weise nach den Methoden A, den Winkelwert sowie ebenfalls nach den Methoden B den Differenzwert $D = \sigma_1 - \sigma_2$ für Punkte im Innern der Scheibe. Damit, d. h. zusammen mit dem Summenwert S , ist das elastische Problem der Scheibe vollständig gelöst.

Beispiele. Statt neue Lösungen der Gleichung $\Delta \Phi = 0$ zu suchen, stellten wir uns die Aufgabe, die Messergebnisse im Trog mit bekannten Lösungen der Elastizitätstheorie zu vergleichen.

Das erste Beispiel (Abb. 1 und 3) betrifft den vom erstgenannten Verfasser⁶⁾ gelösten Fall der linearen Belastung der Halbebene, für den die Beziehung besteht

$$\frac{S}{S_0 \max} = \frac{2}{\pi} \left[a (\theta_1 - \theta_2) - b \lg \frac{r_1}{r_2} \right]. \quad \dots (5)$$

Da für die Mittellinie $S = 0$ gilt, ist es möglich, den Versuch in der in Abb. 1 dargestellten, vereinfachten Weise durchzuführen. Das zweite Beispiel bezieht sich auf ein kreisrundes Loch im einaxigen Spannungsfeld, für das man nach Kirsch⁷⁾ hat:

$$\frac{S}{S_0} = 1 - 2 \frac{a^2}{r^2} \cos 2\theta. \quad (\text{Abb. 4}) \quad \dots (6)$$

Die Uebereinstimmung von Messung und Rechnung ist im grossen ganzen befriedigend, vergl. Abb. 3 und 4; immerhin hoffen wir, sie durch Verbesserungen in der Messmethodik noch erhöhen zu können. — Abb. 5 schliesslich zeigt die photoelastisch mit einem Bakelitmodell nach der Methode B 4 ermittelten $\left(\frac{\sigma_1 - \sigma_2}{\sigma_0} \right) = \text{konstant}$ -Kurven. Abb. 4 und 5 zusammen betrachtet beweisen deutlich, in wie glücklicher Weise sich die Messung von $\sigma_1 + \sigma_2$ im elektrolytischen Trog und die Bestimmung von $\sigma_1 - \sigma_2$ auf photoelastischem Wege zu einer brauchbaren, rasch arbeitenden Gesamtmethode ergänzen.

R. V. BAUD und F. TANK

⁶⁾ R. V. Baud, «Schweizer Archiv», Bd. 4, Nr. 1, Jan. 1933, S. 1.

⁷⁾ Kirsch, «Z.VDI» Bd. 32 (1898), S. 797.