



UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Die Statik im Stahlbetonbau

Beyer, Kurt

Berlin [u.a.], 1956

12. Die Sicherheit des Tragwerks

[urn:nbn:de:hbz:466:1-74292](https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:hbz:466:1-74292)

ausgeführten Eisenbetonbrücken im Eisenbahndirektionsbezirke Kattowitz und Breslau. Z. Bauw. 1916 S. 99. — Haberkalt: Das Schwinden des Betons und sein Einfluß auf Rißbildung und Tragfähigkeit von Bauwerken aus Beton und Eisenbeton. Öst. Wochenschr. öffentl. Baudienst 1916 Heft 4, 5, 6. — Schürch, H.: Versuche beim Bau des Langwieser Talüberganges. Berlin 1916. — Hencky, K.: Wärmeverluste durch ebene Wände. München 1921. — Schüle, F.: Der Einfluß des Schwindens auf einseitig bewehrte Eisenbetonbalken. Beton u. Eisen 1922 Heft 1. — Derselbe: Versuche über das Schwinden von Beton. Mitteilungen über Versuche, ausgeführt vom Eisenbetonausschuß des Österr. Ing. und Arch.-Vereins Heft 9. — Lewe, V.: Die statische Wirkung heißer Füllungen von Flüssigkeitsbehältern. Bauing. 1922 S. 516. Handb. Eisenbeton 5. Bd. 3. Aufl. S. 174. Flüssigkeitsbehälter. — Döring, K.: Wind und Wärme bei der Berechnung hoher Schornsteine. Berlin 1925. — Herzka, L.: Schwindspannungen in Trägern aus Eisenbeton. Leipzig 1925. — Derselbe: Grundlagen für die Berechnung von Rahmen bei ungleichmäßiger Durchwärmung. Bauing. 1926 Heft 24/25. — Stadelmann, E.: Temperaturbeobachtungen an ausgeführten Betonbauwerken der Schweiz. Schweiz. Ing.-Bauten in Theorie und Praxis. Zürich 1926. — Knoblauch, O.: Über den Temperaturverlauf im Schornsteinschacht. Bauing. 1927 Heft 23. — Busemann, A., u. O. Föppl: Physikalische Grundlagen der Elastomechanik, Handb. Physik Bd. 6: Mechanik der elastischen Körper. Berlin 1928. — Herzka, L.: Das statische Verhalten der unter Schwindeinfluß stehenden Rahmentragwerke aus Eisenbeton. Beton u. Eisen 1929 S. 220. — Derselbe: Über Riß-, insbesondere Schwindrisserscheinungen an Bauwerken aus Beton und Eisenbeton. Bericht über die zweite Internat. Tagung für Brückenbau und Hochbau 1928 S. 702. Wien 1929. — Graf, O.: Die wichtigsten Ergebnisse der Versuche mit Eisenbeton. Handb. Eisenbetonbau Bd. 1. Berlin 1930. — Dumas, F.: Le béton armé et ses hypothèses. Génie civ. Bd. 47 (1930) Nr. 23 u. 24. — Deininger, K.: Die Entwicklung des Eisenbetonschornsteins in Theorie und Praxis. Stuttgart 1932. — Faber, O.: Elasticity, plasticity and shrinkage Abschn. VI 2 des Vorberichts zum ersten Kongreß der Internat. Vereinigung für Brücken- und Hochbau. Paris 1932. — Campus, F.: Ausbau der Statik des Eisenbetons mit Rücksicht auf die Baustoffeigenschaften. Bericht des 1. Internat. Kongr. für Brücken- und Hochbau. Zürich 1932. — Luftschitz, H.: Die Raumänderungen der Baustoffe. Berlin 1932.

12. Die Sicherheit des Tragwerks.

Die erfolgreiche Lösung einer Bauaufgabe erfüllt neben den allgemeinen Bedingungen für die Brauchbarkeit der Anlage die Forderung nach deren Sicherheit. Sie wird auf die Gebrauchsbelastung und auf die Festigkeitseigenschaften der Baustoffe bezogen und in der Regel getrennt für die Bauteile, ihre Verbindungen und für die Grenzschicht des Baugrundes nachgewiesen. Die äußeren Kräfte sind entweder ruhende Lasten und bewegliche Lasten, die als ruhend angesehen werden, oder Energien, die von bewegten Lasten herrühren und unter Umständen periodisch auftreten. Im ersten Falle wird die Sicherheit allein durch die Größe, Richtung und Eintragung der Lasten bestimmt. Im zweiten Falle hängt die Sicherheit außerdem von der Amplitude und der Frequenz der Energieübertragung ab. Die Sicherheit des Tragwerks kann daher bei ruhenden Lasten als Verhältnis ν_p von Bruchbelastung und Gebrauchsbelastung angegeben werden. Sie bedarf aber bei der Eintragung von Energie der Ergänzung durch das Verhältnis ν_E der Betriebsfrequenz zu den Eigenfrequenzen der belasteten Bauteile. Unter Umständen sind dabei auch die Eigenfrequenzen des ganzen Bauwerks einschließlich Gründung maßgebend.

Die Festigkeit eines Bauteils, eines mehrteiligen Tragwerks und seiner Verbindungen wird durch den Spannungs- und Verschiebungszustand der ungünstigsten Gebrauchsbelastung nachgewiesen. Dazu gehört unter Umständen auch die Nachprüfung der Stabilität des Gleichgewichts zwischen den äußeren und inneren Kräften. Für den Nachweis der dynamischen Stabilität werden die Eigenfrequenzen des Tragwerks aus dessen elastischen Eigenschaften abgeleitet.

Die Beziehung zwischen der Festigkeit des Tragwerks und dem Spannungs- oder Verzerrungstensor wird durch Hypothesen hergestellt, die sich bei der versuchstechnischen Nachprüfung bewährt haben. Hieraus sind dann allgemein anerkannte zulässige Spannungsgrenzen entwickelt und behördlich bestätigt worden, deren Einhaltung die Festigkeit und damit auch die Sicherheit der Bauteile verbürgt. Da jedoch die Versuche in der Regel nur einen einachsigen Spannungszustand

hervorrufen, bedeutet die Überschreitung der Grenzwerte in einzelnen Punkten um so weniger die allgemeine Minderung der Sicherheit eines Tragwerks, je höher der Grad der statischen Unbestimmtheit des Spannungszustandes ist und je weniger die physikalischen Eigenschaften des Baustoffs dabei Risse, also die Verwandlung von elastischer Energie in Oberflächenenergie im Sinne von A. A. Griffith, erwarten lassen. Diese Erkenntnis kommt daher am meisten den Baustoffen mit großem Arbeitsvermögen zugute. Sie ist aber auch bereits früher zur Beurteilung der Risse in Gewölben aus Beton und Mauerwerk herangezogen worden, die durch Eigenspannungen des Baustoffs entstanden sind. Sie gewinnt vor allem für räumlich zusammenhängende Konstruktionen Bedeutung, da Platten und Schalen, in schmale Streifen aufgelöst gedacht, als hochgradig statisch unbestimmte Verflechtung linearer Bauteile angesehen werden können, für welche die Überschreitung der Spannungsgrenze und die Zerstörung des Baustoffs an einzelnen Punkten nicht gleichzeitig den Zusammenbruch des Bauteils bedeuten. Der Versuch hat die größere Festigkeit kreuzweise bewehrter Platten gegenüber einseitig bewehrten Plattenstreifen eindeutig bestätigt. Das rührt zum Teil von der Mitwirkung zweier Hauptspannungen her, kann aber sonst nur durch den zweidimensionalen Charakter des Bauteils begründet werden. Dasselbe gilt auch bei Schalen, obwohl hier oft die Stabilität des Spannungszustandes für die Festigkeit ausschlaggebend sein wird.

Der Bruchvorgang ist auf die größte Hauptspannung, auf die größte Dehnung und die ihr zugeordneten Ersatzspannungen bei einachsiger Beanspruchung oder auf die größte Schubspannung zurückgeführt worden. Jede dieser Theorien steht mit anerkannten Regeln und mit der Beobachtung oder Versuchsergebnissen im Widerspruch. Dagegen kann die erweiterte Bruchtheorie von O. Mohr den Versuchsergebnissen und damit den physikalischen Eigenschaften der einzelnen Werkstoffe gut angepaßt werden. Sie gilt für Verschiebungsbrüche und beschreibt die Festigkeit eines Werkstoffs durch eine experimentell festzustellende Grenzkurve (g), welche die für die Grenzstände σ^* , τ^* aufgezeichneten Mohrschen Kreise umhüllt (Abb. 35). Die mittlere Hauptspannung scheidet daher bei dieser Beurteilung des Bruchvorganges aus. Hierin liegt ein Widerspruch zu den Versuchsergebnissen.

Der Einfluß von dynamischen Wirkungen und von Ermüdungserscheinungen auf die Festigkeit eines Werkstoffs eröffnet den energetischen Betrachtungen auch auf diesem Gebiete der Mechanik ein aussichtsvolles Feld. Die Festigkeit wird darnach als Grenzwert der auf die Volumeneinheit bezogenen Gestaltänderungsenergie beschrieben. Die Definition versagt aber ebenso wie die Mohrsche Bruchhypothese bei spröden Stoffen. Sie stützt sich in diesem Fall nach der jüngsten Erkenntnis besser auf den Einfluß der Oberflächenbeschaffenheit als auf die Festigkeit des Stoffes. Der Bruchvorgang spröder Stoffe ist von A. A. Griffith hiernach als Erweiterung vorhandener Lockerstellen und inhomogener Einschlüsse zu Rissen entwickelt und als Umwandlung der aufgespeicherten elastischen Energie in Oberflächenenergie berechnet und durch Versuche geprüft worden. Mit dieser Theorie werden die Beziehungen zwischen der Festigkeit eines Werkstoffes und seinen physikalischen Eigenschaften geknüpft, also zwischen statischen, energetischen und thermischen Einflüssen auf der einen Seite und Dichte und molekularem Aufbau auf der anderen Seite. Die ausführliche Diskussion des Festigkeitsbegriffes ist nicht Gegenstand dieses Werkes. Sie kann an Hand der Literatur nachgelesen werden. Die kurzen Bemerkungen sind jedoch als Einführung in die Baustatik wichtig.

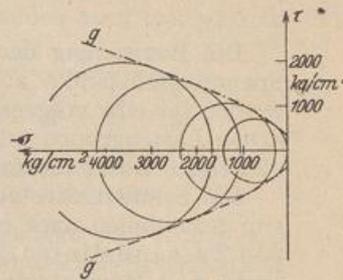


Abb. 35.

Duguet, Ch.: Limite d'élasticité et résistance à la rupture. II^{me} partie, Statique générale 1885. — Mohr: Welche Umstände bedingen die Elastizitätsgrenze und den Bruch eines Materials?

Z. VDI 1900 S. 1524. — Derselbe: Abhandlungen aus dem Gebiete der technischen Mechanik S. 187. Berlin 1906. — Kármán, Th. v.: Festigkeitsversuche unter allseitigem Druck. Mitt. über Forschungsarbeiten auf dem Gebiete des Ingenieurwesens Heft 118 und Z. VDI 1911 S. 1751. — Honegger, E., Zürich: Das Verhalten mechanisch beanspruchter Metalle. Eisenbau 1921 S. 47. — Sandel, G. D.: Über die Festigkeitsbedingungen. Leipzig 1925. — Schleicher: Der Spannungszustand an der Fließgrenze. Z. angew. Math. Mech. 1926 S. 199. — Derselbe: Über die Sicherheit gegen Überschreiten der Fließgrenze. Bauing. 1928 S. 253. — Náđai, A.: Plastizität und Erddruck. Handb. Physik Bd. 6: Mechanik der elastischen Körper. Berlin 1928. — Gehler, W.: Sicherheitsgrad und Beanspruchung. Bericht über die 2. Internat. Tagung für Brücken- und Hochbau S. 176. Wien 1929. — Griffith, A. A.: The Phenomena of Rupture and Flow in Solids. Philos. Trans. Roy. Soc. A. vol. 221 (1921) S. 163; Proc. Int. Congr. Appl. Mech. Delft 1924 S. 55. — Smekal, A.: Naturwiss. Bd. 10 (1922) S. 799; Handb. der Physikalischen und Technischen Mechanik Bd. 4. 2. Hälfte. Leipzig 1931. Abschn. Kohäsion der Festkörper.

II. Das statisch bestimmte Stabwerk.

13. Allgemeine Bemerkungen über Schnittkräfte, Zustands- und Einflußlinien.

Die Beurteilung der Sicherheit eines Stabwerks ist mit der Feststellung des Spannungszustandes auf die Berechnung der Schnittkräfte zurückgeführt. Diese werden für eine vorgegebene Belastung, für die ungünstigste Stellung einer beweglichen Lastengruppe oder auch für die einem jeden Querschnitt zugeordnete ungünstigste Zusammenfassung aller möglichen Belastungen angegeben.

Die Schnittkräfte aus einer vorgegebenen Belastung bilden, als die Ordinaten von Schaulinien nach einer ausgezeichneten Richtung zur Stabachse aufgetragen, drei Zustandslinien, die je nach der Art der Schnittkraft als Längskraft-, Querkraft- und Momentenlinie bezeichnet werden.

Die anderen beiden Aufgaben setzen die Gültigkeit des Superpositionsgesetzes voraus, nach dem eine beliebige Kraftwirkung W_h , also Stützenwiderstand, Schnittkraft oder Formänderung, als lineare Funktion der einzelnen Lasten oder Lastengruppen

$$W_h = \sum_{m=1}^{m=n} W_{hm} P_m \quad (77)$$

angegeben werden kann. Diese Voraussetzung ist nach S. 19 für alle kinematisch starren Tragwerke erfüllt, deren elastische Eigenschaften im Belastungsbereich durch das Hookesche Gesetz beschrieben werden. Das Superpositionsgesetz gilt daher nicht für Stabwerke mit veränderlicher Gliederung.

Die Grenzwerte einer Schnittkraft aus einer beweglichen Gruppe gleichgerichteter, gebundener Einzellasten P_m oder einer stetigen, gleichgerichteten Streckenbelastung $p(x)$ werden mit der Einflußlinie der Schnittkraft bestimmt. Ihre Ordinaten sind die graphische Darstellung der Schnittkraft W_{hm} , welche durch die verschiebbliche, jedoch in ihrer Richtung unveränderliche Last $P_m = 1\text{ t}$ in allen möglichen Stellungen hervorgerufen wird. Die Ordinate $W_{hm} = \eta_m$ wird von einer Bezugsgeraden im Schnittpunkt m' der Wirkungslinie von P_m in deren Richtung aufgetragen. Man unterscheidet daher Einflußlinien für senkrechte, waagerechte oder schräge Belastung des Stabzugs. Ihre Ordinaten sind im allgemeinen positiv oder negativ.

Die Einflußlinie dient zur Ermittlung der beiden ungünstigsten Stellungen der beweglichen Belastung mit

$$W_h = \sum W_{hm} P_m + \int p(x) W_{hm} dx = \max_{\min} W_{hp} \quad (78)$$

als positivem oder negativem Grenzwert. Diese können darnach auch selbst bestimmt