

Der Einsturz des Gasbehälters in Hamburg und die Knicksicherheit von Eisenkonstruktionen

Autor(en): **Schüle, F.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Bauzeitung**

Band (Jahr): **57/58 (1911)**

Heft 22

PDF erstellt am: **22.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-82620>

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.

INHALT: Der Einsturz des Gasbehälters in Hamburg und die Knicksicherheit von Eisenkonstruktionen. — Einführung der linksufrigen Zürichseebahn in den Hauptbahnhof Zürich der S. B. B. — Landquartern Bauten. — Miscellanea: Städtebau-Ausstellung Zürich 1911. Meiringen-Jochpass-Engelberg-Bahn. XCIV. Jahresversammlung der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft. Rheinschiffahrt Basel-Bodensee. VIII. Kongress für Heizung und Lüftung in Dresden 12. bis 14. Juni 1911. LII. Haupt-

versammlung des Vereins deutscher Ingenieure. Internat. Verband für Materialprüfungen der Technik. Jahresfest der „Kunstfreunde der Länder am Rhein“. XXIV. Generalversammlung des Schweiz. elektrotechn. Vereins. — Nekrologie: Theodor Bertschinger. Fritz Häusler. — Literatur. — Vereinsnachrichten: G. e. P.: Stellenvermittlung. Tafel 62 bis 64: Wohnhausgruppe „Mühlehof“ der Fabriken Landquart. Tafel 65: Schulhaus in Landquart.

Band 57.

Nachdruck von Text oder Abbildungen ist nur mit Zustimmung der Redaktion und unter genauer Quellenangabe gestattet.

Nr. 22.

Der Einsturz des Gasbehälters in Hamburg und die Knicksicherheit von Eisenkonstruktionen.

Im Jahre 1908 wurde in Hamburg die Ausführung eines dreifach teleskopierten Gasbehälters von 200 000 m³ Inhalt mit Bassin aus Eisenkonstruktion vergeben. Der Beckenboden war flach angeordnet und ruhte auf einem Hohlpfiler in der Mitte und auf dem ringförmigen Betonfundament von 74 m äusserem Durchmesser mittelst 32 Radialbindern. Die Arbeiten wurden so gefördert, dass, nachdem das Becken mit Wasser gefüllt war und eine Probehebung der Gasometerglocke mit Luft stattgefunden hatte, der Behälter Ende November 1909 dem Betrieb übergeben werden konnte.

Am 7. Dezember 1909 fand nachmittags 3.10 Uhr bei einem Stand des Gasinhaltes von 97 000 m³, beim Einhängen des zweiten Teleskopringes, ein folgenschwerer Unfall statt, der durch Steigen einer gewaltigen Flamme, rasches Sinken der Glocke und Ueberschwemmung des Platzes um den Behälter sich nach aussen kundgab; 70 Personen wurden betroffen, von denen 20 sofort oder an den Folgen ihrer Verletzungen erlegen sind.

Aus den eingeleiteten Untersuchungen ging hervor, dass eine Gasexplosion ausgeschlossen war, dass hingegen der Bassinboden infolge der Ausknickung von Druckgliedern nachgegeben hatte. Die Staatsanwaltschaft stellte Ende 1910 das eingeleitete Strafverfahren ein, unter folgender Begründung: „Hinreichender Verdacht für das Vorliegen einer strafbaren Handlung ist nicht erbracht“.

Die Sachverständigen, Prof. Dr. Ing. Krohn, Danzig, und Direktor Schimming, Berlin, haben ihre Gutachten übereinstimmend dahin abgegeben, dass als Grund des Zusammenbruches nicht eine Explosion oder eine ähnliche elementare Ursache, sondern die zu geringe Sicherheit der Druckstäbe bei der Trägerkonstruktion des Beckenbodens zu betrachten sei. — Aus den Gutachten geht jedoch hervor, dass kein Verstoß gegen allgemein anerkannte Regeln der Baukunst nachweisbar sei, indem die Ursache der zu schwachen Dimensionierung von Druckstäben, die Anwendung der Euler'schen Knickformel ausserhalb des Bereiches ihrer Gültigkeit, in staatlichen Vorschriften noch zugelassen wird. Zu denselben Ergebnissen soll auch ein weiterer Experte, Prof. Müller-Breslau gekommen sein.

Es ist zu erwarten, dass dieser schwere Unfall dazu führen wird, über die Anwendung der Knickungsformeln mehr Licht zu bringen und die uneingeschränkte Herrschaft der Euler'schen Knickungsformel in allen bezüglichen Vorschriften zu verlassen. Inzwischen beschäftigen sich die deutschen Zeitschriften lebhaft mit dem Ausfall dieser Untersuchungen und es dürfte auch die Leser der „Schweiz. Bauzeitung“ interessieren, näheres über den jetzigen Stand dieser Frage der Knickung zu erfahren, ist doch das Ausknicken eines Stabes erfahrungsgemäss die höchste Gefahr die einem Eisenbauwerke begegnen kann.

Die Euler'sche Formel $P = \frac{\pi^2 EJ}{l^2}$ ist nach den Versuchen nur gültig, wenn die Spannung $\beta_k = \frac{P}{F} = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{l}{i}\right)^2}$

keine bleibenden Deformationen des Materials verursacht, d. h. beim Knicken im Durchschnitt 1,8 bis 2 t/cm² nicht überschreitet, oder wenn $\frac{l}{i} > 105$ bis 110 ist. Für $\frac{l}{i} < 110$ weichen die Knickspannungen β_k von den nach Euler berechneten ab, sie sind kleiner und hängen ab von den

Eigenschaften des Eisens. *Tetmajer* schlug vor, für Verhältnisse $\frac{l}{i} < 110$ zur Ermittlung der Knickungsspannung die Formel $\beta_k = 3,1 - 0,0114 \cdot \frac{l}{i}$ für Flusseisen anzuwenden; sie stimmt mit den Versuchsergebnissen in genügender Weise überein und hat sich in der Praxis bewährt. Die schweiz. Verordnung vom 19. August 1892 schreibt dementsprechend bei 4-facher Sicherheit vor, als zulässige Beanspruchung bei Berücksichtigung der Knickgefahr für Flusseisenstäbe $\sigma_k = 0,8 - 0,003 \cdot \frac{l}{i}$ in t/cm², wenn $\frac{l}{i} < 110$ ist. Es ist wohl eines der Hauptverdienste *Tetmajer's*, in dieser einfachen Weise die Ergebnisse vieler Versuche zur Erhöhung der Sicherheit der Bauwerke nutzbar gemacht zu haben.

Damit war das Studium und Experimentieren der Knickung lange nicht erschöpft; die Namen von *Jasinsky* und *Zimmermann* u. a. sind eng verbunden mit der mathematischen Lösung der komplizierteren Fragen des Ausknickens von Stäben mit veränderlicher Längskraft oder mit seitlich gleichzeitig angreifenden Kräften; in den 90er Jahren sind mehrere ausrangierte Brücken in der Schweiz und in Deutschland bis zum Bruche belastet worden, zur Feststellung des effektiven Widerstandes bestimmter Druckstäbe gegen Ausknicken. Es hat auch nicht an Vorschlägen gefehlt, um die *Tetmajer'sche* Gerade, die dem Mathematiker nicht wissenschaftlich genug ist, zu verdrängen, durch Einführung einer der Euler'schen Gleichung ähnlichen Formel, in welcher der konstante Elastizitätsmodul E durch eine dem Material entsprechende Variable $\frac{d\sigma}{d\lambda}$ zu ersetzen wäre (*Engesser, Karman*). Bei diesen Vorschlägen darf jedoch nicht ausser acht gelassen werden, dass für $\frac{l}{i} > 110$ Flusseisen für gleiche Spannungen konstante Werte der nur elastischen Deformation zeigt und seine Festigkeitseigenschaften keine Rolle spielen, für $\frac{l}{i} < 110$ hingegen die bleibenden Deformationen den Spannungen nicht proportional sind und für die nämliche Beanspruchung in weiten Grenzen variieren. Eine Knickkurve als Fortsetzung der Euler'schen Kurve gibt es daher nicht, sondern ein Büschel von Kurven, die durch Einführung von Parametern in ihrer Gleichung je nach den Materialeigenschaften sich unterscheiden müssten. Für die praktische Dimensionierung gegen Knicken wäre dieser Weg aus Mangel an Versuchen vorerhand nicht gangbar; er bliebe immer äusserst kompliziert, ja sogar unmöglich, weil beim Dimensionieren die effektive Qualität des Eisens, namentlich seine Streckgrenze für eine bestimmte Strebe unbekannt ist. Diese Frage der Ersetzung der *Tetmajer'schen* Geraden hat wohl theoretisches Interesse jedoch keine grosse Bedeutung für die Anforderungen des Eisenbaues.

Weit wichtiger, wie mehrere Einstürze erwiesen haben, ist das Verhalten zusammengesetzter Druckstäbe, insbesondere wenn solche aus zwei Einzelstäben bestehen, die durch Gitterwerk oder getrennte Bleche miteinander verbunden sind. Es war üblich, solche Druckglieder als Ganzes zu betrachten und die Entfernung der Hälften so zu wählen, dass eine hinreichende Sicherheit gegen Knicken vorhanden war; ausserdem wurden die Einzelprofile auf die kleinere Knicklänge zwischen den Querbefestigungen ebenfalls auf Knicken berechnet. Versuche haben nun erwiesen, dass solche Druckglieder nicht nur weniger getragen haben, als nach der Euler'schen Formel, sondern auch weniger als nach der *Tetmajer'schen* Formel zu erwarten gewesen wäre. Zur Berechnung solcher Fälle hat Prof. *Krohn* im Jahre 1908

eine Methode angegeben¹⁾, und wenn auch die von ihm abgeleiteten, auf der Tetmajer'schen Geraden fussenden Formeln, theoretisch nicht einwandfrei sind, so haben sie doch den Hauptvorteil, mit Versuchen eine recht gute Uebereinstimmung zu zeigen. Diese Methode soll daher kurz erläutert werden.

Bedeutet P die Knickkraft des ganzen Druckstabes von der Knicklänge l , so findet unmittelbar vor dem Ausknicken eine gefährliche Ausbiegung δ und somit eine Mehrbelastung des konkaven Einzelstabes statt; ist h der Schwerpunkt-Abstand der beiden Einzelstäbe, so ist die von dem innern Stab aufgenommene Kraft

$$P_1 = P \left(\frac{1}{2} + \frac{\delta}{h} \right) \dots \dots \dots (1)$$

Beim Ausknicken ist nun nach Tetmajer für

$$\frac{l}{i} < 105, \text{ in } t/cm^2 \beta_k = \frac{P}{F} = 3,1 - 0,0114 \cdot \frac{l}{i};$$

die übliche Biegungsformel ergibt bei exzentrischem Druck

$$\sigma = \frac{P}{F} + \frac{P\delta}{W} \text{ oder } \frac{P}{F} = \sigma - \frac{P\delta}{W}.$$

Krohn setzt nun $\sigma = 3,1 t/cm^2$, somit ist $\frac{P\delta}{W} = 0,0114 \cdot \frac{l}{i}$

$$\text{und } \delta = 0,0114 \cdot \frac{l}{i} \cdot \frac{W}{P} = 0,0114 \cdot \frac{2l}{h} \cdot \frac{F_1 \cdot h}{2F_1 (3,1 - 0,0114 \cdot \frac{2l}{h})}$$

$F_1 = \frac{F}{2}$ ist die Querschnittsfläche eines Einzelstabes, F der Gesamtquerschnitt der Druckstrebe; aus $\delta = \frac{l}{2} \cdot \frac{h}{136 h - l}$

$$\text{folgt für Gleichung (1) } P_1 = P \cdot \frac{68 h}{136 h - l}$$

gültig für $\frac{l}{i} = \frac{2l}{h} = 105$ im Maximum; es ist dann

$$P_1 = 0,81 \cdot P.$$

Mit dieser Kraft P_1 sind die Einzelstäbe auf Knickung zu berechnen.

Beim Ausknicken wirkt noch eine Scherkraft, die nach Engesser im Maximum am Stabende $Q = P \cdot \delta \cdot \frac{\pi}{l}$ beträgt, und wenn man nach Krohn den obigen Wert für $\delta = 0,0114 \cdot \frac{l}{i} \cdot \frac{W}{P}$ einsetzt, wird für $\frac{l}{i} < 105, Q = \frac{F}{28}$. Diese Scherkraft gestattet eine Prüfung der Dimensionen von Gitterwerk, Bindeblechen und Anschlussnieten der letzteren, unmittelbar vor dem Knicken, selbstverständlich wenn Bruchspannungen in die Rechnungen eingeführt werden.

Nun kann die gefährdetste Druckstrebe des Hamburger Gasometerbassinbodens nach den verschiedenen Berechnungsmethoden geprüft werden: ihr Querschnitt aus zwei \square Eisen NP 16 ist in Abb. 1 ersichtlich, die theoretische Stablänge betrug 340 cm; Abb. 2 zeigt die Anordnung der Verbindungsbleche, in 1,019 m Abstand. Die maximale Kraft betrug nach der Rechnung des Konstrukteurs 52,5 t, in Wirklichkeit nach der Rechnung der Experten 59,4 t.

Die Euler'sche Formel gibt mit $l = 340 \text{ cm } P = 120 \text{ t}$, die preussischen Vorschriften erfordern fünffache Sicherheit, somit wäre nur eine Kraft von $\frac{P}{5} = 24 \text{ t}$ nach denselben zulässig gewesen.

Der Konstrukteur berechnete nach der Euler'schen Formel mit $l = 0,7 \times 340 = 238 \text{ cm}$ und vierfacher Sicherheit; die Bruchbelastung beträgt dann $P = 244,4 \text{ t}$, zulässig

$$\frac{P}{4} = 61,1 \text{ t}.$$

¹⁾ Zentralblatt der Bauverwaltung 1908, S. 559 u. ff.

Nach Tetmajer erhält man für den Gesamtstab: mit $l = 340 \text{ cm}$ für $\frac{l}{i} = 92,9, \beta_k = 2,041 t/cm^2$ und $P = 98 \text{ t}$
 $l = 0,7 \times 340 \text{ cm}$ „ $\frac{l}{i} = 65,0, \beta_k = 2,360$ „ u. $P = 113,2 \text{ t}$
 und für die Einzelstäbe:

mit $l = 95 \text{ cm}$ für $\frac{l}{i} = 50,5, \beta_k = 2,526 t/cm^2$ u. $P = 2 P_1 = 121,2 \text{ t}$

Nach Krohn ist mit:

	$l = 340 \text{ cm}$ und $l = 0,7 \times 340 \text{ cm}$	
	$P_1 = 0,83 P$	$0,69 P$
Bruchlast d. Einzelstabes	$P_1 = 60,6 \text{ t}$	$60,6 \text{ t}$ <small>(nach Tetmajer)</small>
	somit $P = 73,0 \text{ t}$	88 t

zulässig bei vierfacher

Sicherheit	18,2 t	22 t
------------	--------	------

Es ergibt sich in vorliegendem Falle die effektive rechnungsmässige Sicherheit:

nach Krohn	1,23	1,48
nach Tetmajer	1,65	1,91
nach Euler	2,02	4,1

Aus solchen Zahlen geht die Gefährlichkeit der Euler'schen Formel deutlich hervor.

Es sei noch bemerkt, dass nach den angestellten Berechnungen nicht die Verbindungsbleche das Ausknicken durch zu schwache Abmessungen oder Vernietung veranlasst haben sollen. Ob die ganze Stablänge (340 cm) oder nur 0,7 davon als Knicklänge einzuführen sei, scheint nach Anordnung der Konstruktion für die ganze Länge entschieden werden zu sollen. Diese Wahl der Knicklänge ist bei Anwendung der Euler'schen Formel von grossem Einfluss, nach der Tetmajer'schen Berechnungsart hingegen nicht so wichtig.

Die Verteidiger der Beibehaltung der Euler'schen Knickformel in Vorschriften für alle Verhältnisse $\frac{l}{i}$, heben hervor, dass die Einführung der ganzen Stablänge von Axe zu Axe der Knotenpunkte (deutsch die „Systemlänge“) in die Berechnung und die verlangte fünffache Sicherheit genügen sollen, um vor Einstürzen zu sichern. Beim Hamburger Gasbehälter wäre immerhin nach dieser Berechnung eine zweifache Sicherheit vorhanden gewesen, aber sie hätte nach Vorschrift eine fünffache sein sollen. Eine solche Auffassung bringt jedoch nur Verwirrung in den Begriff des vorhandenen Sicherheitsgrades. Dieser Verwirrung wird in genügender Weise entgegengewirkt durch Einführung der nach Tetmajer und Krohn für kleinere Verhältnisse $\frac{l}{i}$ reduzierten Knickspannungen und durch Vorschreiben eines genügenden rechnungsmässigen Sicherheitsgrades. Eine rechnungsmässige Sicherheit von 1 bis 2 ist aber keine Sicherheit.

Zum Schlusse sei auf die in Band L der Schweiz. Bauzeitung, Seite 280 und ff. bei Anlass des Einsturzes der Quebecbrücke gemachten Mitteilungen in dieser Knickfrage hingewiesen.

Zürich, Mai 1911.

F. Schüle.

Einführung der linksufrigen Zürichseebahn in den Hauptbahnhof Zürich der S. B. B.

Auf Seite 247 dieses Bandes haben wir den Bericht der Eisenbahnkommission des „Zürcher Ingenieur- und Architekten-Vereins“ im Wortlaut veröffentlicht, begleitet von einem in der Eile angefertigtem Uebersichtsplan. Heute sind wir in der Lage, das Wesentliche der von der Eisenbahnkommission ausgearbeiteten Pläne in Ergänzung jenes Berichtes und des Sitzungsprotokolls vom 26. April d. J. (Seite 255) wiederzugeben, wobei wir uns in Darstellungsweise und Masstäben möglichst genau an die Veröffentlichung des sog. Vertragsprojektes Nr. VIII auf den Seiten 112, 124 und 156 dieses Bandes halten, um auf gleicher Basis einen einwandfreien Vergleich zu ermöglichen. Von den Originalen (Masstäbe 1 : 1000 und 1 : 100) haben die in Frage kommenden Behörden als Beilage zum Kommissionsbericht einen vollständigen Satz erhalten.

