

Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 89 (1971)
Heft: 1: 1. Sonderheft zum 70. Geburtstag von Prof. Dr. F. Stüssi

Artikel: Anwendungsgebiete der Kryotechnik
Autor: [s.n.]
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-84727>

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

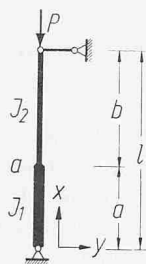
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées 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: 13.01.2026

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



$$y_b = d_2 L_2 \sin \frac{x-a}{L_2} + d_1 \cos \frac{x-a}{L_2}$$

$$y_a = c_2 L_1 \sin \frac{x}{L_1} + c_1 \cos \frac{x}{L_1}$$

für $x=0$: $y_a=0$, $c_1=0$

Übergangsbedingung für $x=a$:

$$y_b = d_1 = y_a = c_2 L_1 \sin \alpha, \quad d_1 = c_2 L_1 \sin \alpha,$$

$$y'_b = d_2 = y'_a = c_2 \cos \alpha, \quad d_2 = c_2 \cos \alpha;$$

damit wird: $y_b = c_2 L_1 [\sin \alpha \cos \frac{x-a}{L_2} + \lambda \cos \alpha \sin \frac{x-a}{L_2}]$, $\lambda = \frac{L_2}{L_1} = \sqrt{\frac{J_1}{J_2}}$.

Randbed. $x=L$: $y_b = c_2 L_1 [\sin \alpha \cos \beta + \lambda \cos \alpha \sin \beta] = 0$, $\alpha = \frac{a}{L_1}$; $\beta = \frac{b}{L_2}$.

y nur dann $=0$, wenn $[\] = 0$, d.h. $\lambda = -\frac{\tan \alpha}{\tan \beta}$

$$\text{oder } \lambda = -\frac{\tan \pi \sqrt{P/P_{E1}}}{\tan \pi \sqrt{P/P_{E2}}}, \quad P_{E1} = \pi^2 \frac{EJ_1}{a^2}, \quad P_{E2} = \pi^2 \frac{EJ_2}{b^2}.$$

Beispiel: $a=b$; $J_1=2J_2$; $\lambda=\sqrt{2}$ ergibt $P=0,183 P_{E1}$ durch Probieren.

Bild 10. Druckstab mit wechselndem Querschnitt und zentrischer Last P

schwinden, das heisst $c_3 = 0$ und $c_4 = 0$. Übrig bleibt ein zweigliedriger Ausdruck. Wir haben nun einen zweiten Anteil y_2 hinzuzufügen, der die Wirkung der Last in $x = a$ beschreibt, mithin die Partikularlösung darstellt. Seine Gültigkeit ist auf $x > a$ beschränkt, so dass die Differentialgleichung lautet

$$y_2'''' + 4 \frac{y_2}{L^4} = \frac{p(x)}{EJ} = \frac{p(x)}{EJ} u(a, x).$$

Die Konstanten c_1 und c_2 werden aus den Bedingungen für das rechte Stabende bestimmt, wo $M = -EJy'' = 0$ und $Q = -EJy''' = 0$ gefordert wird.

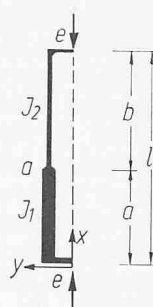
Bild 9 zeigt die Lösungsfunktionen für einen Druckstab ohne Querlast. Wenn ein solcher aus zwei Abschnitten mit verschiedenen Querschnitten besteht (Bild 10), ändert sich der Koeffizient J der Differentialgleichung an der Bereichsgrenze, und es wechselt das Argument der Lösungsfunktion x/L . Man muss daher x für die beiden Bereiche getrennt ansetzen und die beschränkte Gültigkeit für einen Bereich a bis b im allgemeinen Falle durch

$$y = [e_1 g_1(x-a) + e_2 g_2(x-a)] [u(a, x) - u(b, x)]$$

kenntlich machen. Statt der Differenz der Werte u kann man auch schreiben $u(a, x, b)$.

Anwendungsgebiete der Kryotechnik

An einem höchst beachtenswerten Vortrag mit dem Titel «Zukunftsaspekte der Kältetechnik», den Prof. Dr.-Ing. Th. E. Schmidt, Universität Stuttgart, an der Fachtagung Klima- und Kältetechnik 1970 am 29. April in Hannover gehalten hatte (veröffentlicht in «Kältetechnik – Klimatisierung» 22 (1970), H. 9, S. 274–278, wird unter anderem auf jene interessanten Anwendungen der Tieftemperaturtechnik (Kryotechnik) hingewiesen, die auf der Feststellung beruhen, dass der elektrische Widerstand von Metallen bei sehr tiefen Temperaturen nahezu verschwindet. Heute sind über hundert supraleitende Verbindungen bekannt. Spulen aus solchem Material gestatten etwa die



$$y_b = d_1 \cos \frac{x-a}{L_2} + d_2 L_2 \sin \frac{x-a}{L_2}$$

$$y_a = c_1 \cos \frac{x}{L_1} + c_2 L_1 \sin \frac{x}{L_1}$$

für $x=0$: $y_a=e$, $c_1=e$

Übergangsbedingung für $x=a$:

$$y_b = d_1 = y_a = e \cos \alpha + c_2 L_1 \sin \alpha,$$

$$y'_b = d_2 = y'_a = -\frac{e}{L_1} \sin \alpha + c_2 \cos \alpha,$$

damit wird: $y_b = (c_2 \cos \alpha - \frac{e}{L_1} \sin \alpha) L_2 \sin \frac{x-a}{L_2} + (c_2 L_1 \sin \alpha + e \cos \alpha) \cos \frac{x-a}{L_2}$,

Randbed. $x=L$: $y_b=e$ liefert

$$c_2 = \frac{e}{L_1} \frac{1 + \lambda \sin \alpha \sin \beta - \cos \alpha \cos \beta}{\lambda \cos \alpha \sin \beta + \sin \alpha \cos \beta};$$

wenn $\lambda = \lambda_K$, d.h. $P = P_K$ (zentrische Knicklast), wird der Nenner $=0$ und c_1 sowie $y \rightarrow \infty$.

Bild 11. Druckstab mit wechselndem Querschnitt und exzentrischer Last P

Für unseren Fall setzen wir wieder die Funktionen in der angepassten Form an:

$$y_1 = c_1 g_1(x) + c_2 g_2(x)$$

$$y_2 = d_1 g_1(x-a) + d_2 g_2(x-a).$$

An der Nahtstelle müssen beide Anteile mit Ordinate und Neigung ineinander übergehen. Dadurch lassen sich die Beiwerte d auf die c zurückführen, allgemein gesprochen auf diejenigen des vorhergehenden Bereiches und damit die aller folgenden Bereiche auf die des ersten. Die Randbedingungen für $x=1$ liefern die kritische Last P oder bei zusätzlicher Querbelastung, die sich leicht in den Rechnungsgang einbauen lässt, die Werte von c_1 und c_2 , wie in Bild 11 dargestellt ist.

Der Verfasser wird die hier im Grundriss gezeigte Methode in einer in Kürze erscheinenden Broschüre ausführlicher darstellen und verschiedene Anwendungsgebiete behandeln.

Literaturverzeichnis

- [1] Mikusinski, Jan: Operatorenrechnung. Berlin 1957, VEB-Verlag.
- [2] Dimitrov, Nikola: Operatorenstatik. Ein Beitrag zur Algebra der Gitterpunktfunktionen. Fortschrittbericht VDI-Zeitschrift, Reihe 4, Nr. 4, Jan. 1968. Düsseldorf, VDI-Verlag 1968.
- [3] Pilkey, W. D.: Clebsch's method for beam deflections. «Journal of Engineering Education» 54 (1964), Nr. 5, S. 170–174.

DK 621.56.004

zehnfache Stromdichte und ein zehnfaches Magnetfeld; es lässt sich somit die hundertfache Leistung verwirklichen.

In England wurde ein Elektromotor mit supraleitender Feldwicklung entwickelt, der 2800 kW bei 110 U/min und einem Wirkungsgrad von 97 % leistet. Vorteilhaft ist diese Bauart für Maschinen grosser Leistung und niedriger Drehzahl, da sie geringes Gewicht und kleine Abmessungen ergibt und daher wirtschaftlich überlegen sein kann. Um die Spulen in supraleitendem Zustand zu erhalten, genügt deren Kühlung auf 4,4 K, wozu nur ein sehr geringer Leistungsaufwand erforderlich ist. Man hofft bis zum Jahre 2000 Generatoren für Leistungen von 10 000 MW bauen zu können.

Erhebliche Energieverluste treten in den Übertragungsleitungen auf. Sie lassen sich durch Kühlen auf tiefe Temperaturen verringern. Man erreicht schon vor Eintritt der Supraleitung wirtschaftlich interessante Erparnisse. Vorerst sind noch schwierige technologische Probleme zu lösen. Die Verwirklichung solcher Kabel ist nur sinnvoll, wenn grosse Energien über mässige Entfernungen zu übertragen sind. Laufende Projekte betreffen die Energieversorgung in Ballungsräumen, wo sich Freileitungen nicht anwenden lassen. Man prüft auch die Möglichkeit, ein solches Kabel mit einer Leitung für flüssiges Erdgas zu vereinen, das mit

— 150 °C den Kabelmantel kühlen würde, wodurch die Helium-Kältemaschine, die das Kabel kühlt, entlastet und die gesamten Baukosten für eine Energieversorgung mit Strom und Gas vermindert würden.

Ein weiteres Anwendungsgebiet bildet die Kryoelektronik, bei der man die Phänomene der Supraleitung ausnützt. Hierfür eignen sich kleine, transportable Helium-Kältemaschinen. Die hier angeführten Beispiele lassen erkennen, dass auf dem Gebiet der tiefen Temperaturen ein neuer, zusätzlicher Markt entsteht, dessen Umfang sich heute noch nicht abschätzen lässt.

Wirklichkeitsnahe Berechnung schwerbelasteter Holzbauteile

DK 694.2.001.2

Von Prof. Dr.-Ing. Karl Möhler

1. Problemstellung

Die begrenzten Längen- und Querschnittsabmessungen der verfügbaren Bohlen- und Kantholzquerschnitte, die sich aus den Abmessungen des Rundholzes ergeben, beschränken die Anwendung von einteiligen Querschnitten im Holzbau auf gering belastbare Biege- und Druckglieder und einfache Zugstäbe. Bei schwerbelasteten Trägern und Stützen muss man zum zusammengesetzten Querschnitt übergehen, den man aus mehreren Einzelquerschnitten zusammenfügt, die in der Regel durch Dübel oder Nägel kontinuierlich miteinander verbunden werden. Heute spielen auch die schweren, aus verleimten Brettern bestehenden Trägerformen eine bedeutende Rolle, die als rechteckige Brettschichtträger oder I-förmige Stegträger mit einem aus mehreren Brettlagen aufgebauten Steg vorkommen. Auch Furnierplatten können als Stege schwer belasteter Träger verwendet werden.

Während die Berechnung verleimter Träger und Stützen, die durch eine flächenhafte, starre Verleimung der Einzelteile einen praktisch einheitlich wirkenden Querschnitt darstellen, keine Schwierigkeiten bereitet, ergeben sich bei den durch Dübel oder Nägel nachgiebig verbundenen Holzbauteilen besondere Verhältnisse bezüglich Spannungsverteilung, Biegesteifigkeit und Knickverhalten. Den abmindernden Einfluss der Nachgiebigkeit der Verbindungen, den man bei Versuchen mit zusammengesetzten Trägern feststellte, hat man bisher in den meisten Holzbauvorschriften durch die Einführung von konstanten Wirkungsgraden für das Trägheits- und Widerstandsmoment zu erfassen versucht, ohne sich über die tatsächlichen Gesetzmässigkeiten des nachgiebigen Verbundes ausreichende Klarheit zu verschaffen. In ähnlicher Weise ging man bei den zusammengesetzten Holzdruckstäben vor. Hier hat man zum Beispiel in Deutschland nur für gegliederte, durch verschraubte Zwischenhölzer verbundene Stäbe eine aus wenigen Versuchen abgeleitete Formel zur Berechnung des wirksamen Trägheitsmomentes benutzt, welche weder die massgebenden Einflussgrössen enthielt noch die tatsächlichen Verhältnisse bei den unterschiedlichen Bauarten erfasste. Dabei wurde auch eine Bemessung der Querverbindungen für die beim Ausknicken auftretende Querkraft nicht vorgesehen.

Nachdem durch versuchstechnische und theoretische Untersuchungen an Verbundträgern die Wirksamkeit der Dübelnachgiebigkeit von Stüssi (1943) [1] gezeigt wurde und weitere Arbeiten von Granholm (1949) [2], Lombardi (1951) [3], Hoischen (1952) [4] vorlagen, konnten systematische Versuche mit zusammengesetzten Trägern und Druckstäben aus Holz angesetzt werden mit dem Ziel, allgemein gültige Berechnungsverfahren zu begründen. Die komplexen Einflüsse, die bei der Anisotropie des Holzes das Verhalten eines Verbindungsmittels bei einer bestimmten konstruktiven Anordnung bestimmen, machten es erforderlich, die Versuche jeweils am betreffenden

Tragwerkselement selbst durchzuführen. Dabei zeigte sich, dass das Verhalten der mannigfachen, nachgiebig verbundenen Träger- und Stabformen rechnerisch noch mit einem tragbaren Aufwand erfasst werden konnte, wenn man einen «Verschiebungsmodul C » des zur Anwendung gelangenden Verbindungsmittels einführt. Dieser Wert C in kp/cm entspricht bei einer geradlinig verlaufenden Last-Verschiebungslinie eines Holzverbindungsmoduls derjenigen Belastung, unter welcher die Verschiebung 1 cm auftreten würde. Unabhängig von dem zumindest bei höheren Belastungen von der angenommenen geradlinigen Form abweichenden Verlauf der Lastverschiebungslinie wurde aus jedem Versuch ein tatsächlich wirksamer Verschiebungsmodul C erhalten. Damit konnte das Tragverhalten der einzelnen Bauformen weit zuverlässiger beurteilt und rechnerisch erfasst werden, als es nach den bisherigen Berechnungsvorschriften für zusammengesetzte Biegeträger und Druckstäbe im Ingenieurholzbau der Fall war. Für die praktische Anwendung wurden in den deutschen Berechnungsvorschriften der DIN 1052, Ausgabe Oktober 1969, für Biege- und Druckglieder mit kontinuierlicher nachgiebiger Verbindung Bemessungsgleichungen vorgeschlagen, die von dem wirksamen Trägheitsmoment J_w ausgehen, das sich beim gleichmässig belasteten Biegeträger und beim beiderseits gelenkig gelagerten Druckstab mit genügender Genauigkeit in gleicher Weise berechnen lässt.

2. Grundgleichungen für den zwei- und dreiteiligen, nachgiebig verbundenen Querschnitt bei Biegebeanspruchung

Zwischen der Verschiebung $\delta(x)$ und der Durchbiegung $y(x)$ an der Stelle x ergeben sich unter Berücksichtigung von

$$M = M_1 + M_2 + N a$$

beim zweiteiligen (Bild 1) und

$$M = 2 M_G + M_S + N 2 a_1$$

beim symmetrischen dreiteiligen Querschnitt (Bild 2) die Gleichungssysteme

$$\begin{array}{ll} \text{zweiteiliger Querschnitt} & \text{dreiteiliger Querschnitt} \\ (1a) \quad \delta'' - \omega^2 \delta = a y''' & (1b) \quad \delta'' - \omega^2 \delta = a_1 y''' \end{array}$$

$$(2a) \quad y'' - \frac{\alpha^2}{a} \cdot \delta' = - \frac{1}{E J_v} M$$

$$(2b) \quad y'' - \frac{\alpha^2}{a_1} \cdot \delta' = - \frac{1}{E_G J_v} M$$

Darin bedeuten:

$$(3a) \quad \omega^2 = \frac{C}{e'} \cdot \left(1 + \frac{F_1}{n F_2} \right) \quad (3b) \quad \omega^2 = \frac{C}{e'} \cdot \frac{1}{E_G F_G}$$