Zeitschrift: IABSE reports of the working commissions = Rapports des commissions de travail AIPC = IVBH Berichte der Arbeitskommissionen

Band: 16 (1974)

Artikel: Ein wahrscheinlichkeitstheoretisches Konzept zur Ermittlung "bester" Bemessungswerte für schlanke Stahlbetondruckglieder

Autor: Rackwitz, R. / Knappe, O.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-15735

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: 19.08.2025

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

Ein wahrscheinlichkeitstheoretisches Konzept zur Ermittlung "bester" Bemessungswerte für schlanke Stahlbetondruckglieder

A Probability Theory Concept for the Determination of "Best" Design Values of Slender Reinforced Concrete Compression Members

Un concept basé sur la théorie de probabilité permettant d'obtenir les "meilleures" valeurs de dimensionnement pour les pièces comprimées élancées en béton armé

R. RACKWITZ O. KNAPPE
Wiss. Mitarbeiter am Institut für Massivbau
Technische Universität München
München, BRD

1. Einführung

Ein Versagen von schlanken Stahlbetondruckgliedern erfolgt ohne Vorankündigung und ist in der Regel mit hohen Schadensfolgen verbunden. Der "sicheren" Bemessung solcher Bauteile kommt daher besondere Bedeutung zu. Es ist dabei notwendig, die mechanische und geometrische Nichtlinearität des Tragverhaltens bei der Festlegung der Bemessungswerte zu berücksichtigen.

Die aktuelle Größe der Variablen ist im vorhinein unbekannt und vom Zufall beeinflußt. Eine sicherheitstheoretische Betrachtung des Problems der Sicherheit von Druckgliedern ist daher mit den Methoden der Wahrscheinlichkeitslehre zu führen. Der Begriff "Sicherheit" ist durch Zuverlässigkeit zu ersetzen und z.B. durch den Wert der Versagenswahrscheinlichkeit zu beschreiben. Die Unsicherheit über eine Einflußgröße findet in Form eines Verteilungsgesetzes oder einer zufälligen Funktion quantitativ Ausdruck.

Genormte Bemessungsanweisungen müssen einfach sein. Sie sind so einzurichten, daß im gesamtem Anwendungsbereich eine gleichmäßige, ausreichend kleine und wirtschaftlich vertretbare Versagenswahrscheinlichkeit gegeben ist.

Demnach ist zunächst die Versagenswahrscheinlichkeit für definierte Versagenskriterien zu berechnen /1/ und ihre Empfindlichkeit gegenüber den Einflußgrößen zu untersuchen /2/. Dann ist das Kriterium zu formulieren, welches die Ableitung von Bemessungsanweisungen erlaubt, welche den vorstehend genannten Bedingungen in bestmöglicher Weise entsprechen. Die Kenntnisse sind noch nicht ausreichend, Wirtschaftlichkeit und Zuverlässigkeit unmittelbar zu optimieren. Das Hauptaugenmerk ist vorerst auf Gleichmäßigkeit des Sicherheitsniveaus zu richten. Der Zielwert der Versagenswahrscheinlichkeit ist daher einstweilen in Übereinstimmung mit dem Sicherheitsniveau gewählt, welches durch die derzeit üblichen Bemessungsverfahren im Mittel garantiert wird.

2. Mechanisch-physikalische Grundlagen

Gegeben sei eine Kragstütze mit symmetrisch bewehrtem Rechteckquerschnitt, welche durch eine Normalkraft $N = N_a$ und ein Biegemoment $M = M_a^o$

belastet wird (Abb. 1). Ihre Schlankheit sei $\lambda = 2 \cdot l/i$ (l = Stützenhöhe, i = Trägheitsradius des Betonquerschnitts). Für die Werkstoffe gelten folgende wirklichkeitsnahen Annahmen:

a) Beton - die Spannungsdehnungslinie folgt dem Parabelrechteckgesetz (Abb. 2). Die Rechenfestigkeit β_R beträgt bei kurzzeitiger Belastung 85 % der Würfelfestigkeit β_w und sinkt bei andauernder Belastung auf 0,72 β_w ab. (Siehe /1/).

b) Betonstahl - zugrundegelegt wird die Verwendung eines naturharten Betonstahls, dessen Spannungsdehnungslinie bilinear verläuft (Abb. 3).

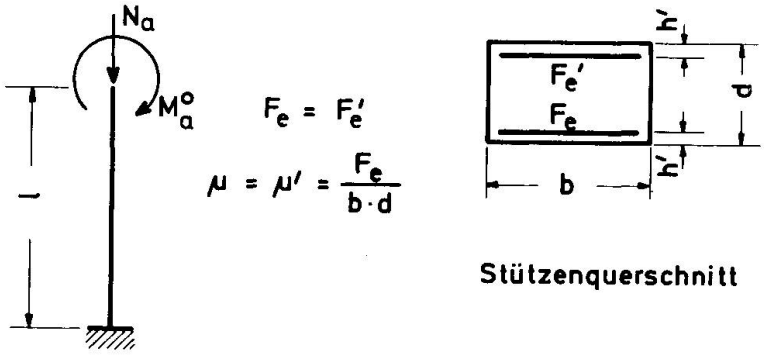


Abb. 1: Statisches System und Stützenquerschnitt

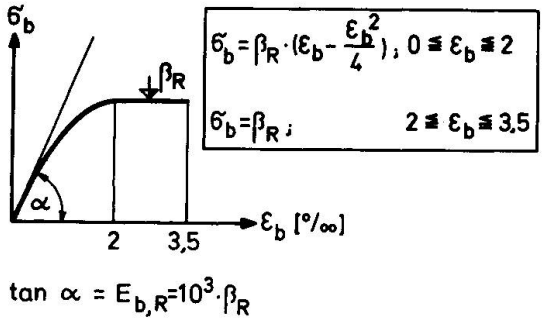


Abb. 2

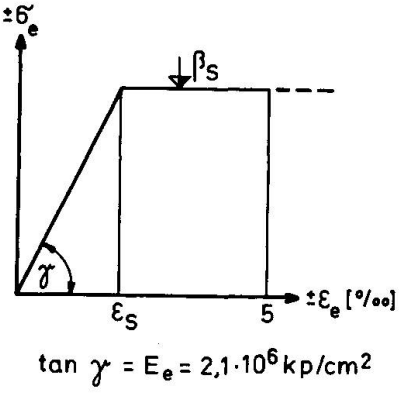


Abb. 3

Im übrigen gelten die üblichen Voraussetzungen der Tragwerksberechnung nach Theorie II.Ordnung (z.B. /3/).

Das Versagen einer Stahlbetonstütze kann auf drei Arten (Grenzzustände) erfolgen, die sich gegenseitig ausschließen:

a) Bruch der Betondruckzone durch Überschreiten der Bruchstauchungen; dieser Zustand wird im folgenden als Versagensart A bezeichnet.

b) Überschreiten einer plastischen Verformungsgrenze der auf der Zugseite liegenden Bewehrung - Versagensart B.

c) Instabilität der Stütze, bevor die Grenzdehnungen des Betons oder Betonstahls erreicht werden - Versagensart C.

Versagensart B kennzeichnet kein Versagen durch Verlust des Gleichgewichtes, sondern ist durch Überlegungen zur Gebrauchsfähigkeit und Dauerhaftigkeit des Bauteils festzulegen. Ein Versagen durch Zerreißen der Bewehrung kann wegen der großen Bruchdehnungen der üblichen Betonstäh-

le außeracht gelassen werden.

Zur Berechnung der möglichen Grenzzustände wird die inhomogene Differentialgleichung der Biegelinie der Stütze (siehe Abb. 4 bzw. Abb.5)

$$y''(x) = -\frac{M(x)}{[EJ](x)} = -\frac{\Delta\varepsilon(x)}{d} \qquad (1)$$

in zwei gekoppelte Differentialgleichungen I.Ordnung zerlegt,

$$y_1(x) = y'(x) \text{ mit } y_1(x) = y''(x); \quad y_2(x) = y(x) \text{ mit } y_2' = y'(x) = y_1(x); \qquad (2)$$

welche durch eine Extrapolationsmethode /4/, ausgehend von den Anfangswerten am Stützenfuß, schrittweise gelöst werden.

Die Stütze ist labil, wenn das Moment M^o für gegebene Normalkraft zu einem Maximum wird, also

$$M_C^o = \max\ M^o\ (N,\ y(l)) \qquad (3)$$

Die Gleichgewichtsbedingung liefert das zugehörige Fußmoment M_c^u. Die Stütze versagt im Zustand B, wenn die Dehnung der Zugbewehrung im Stützenfuß $\varepsilon_e = 5$ ‰ überschreitet und im Zustand A, wenn an der gleichen Stelle die Betonstauchung $\varepsilon_b = -3{,}5$ ‰ unterschreitet.

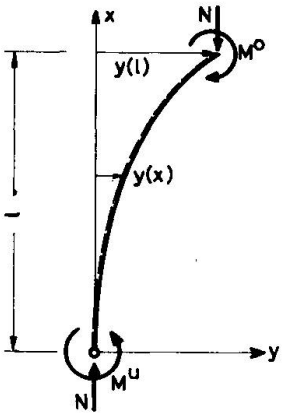


Abb.4:Verformtes System

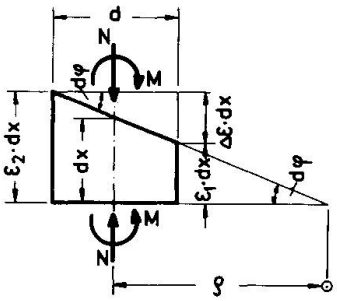


Abb.5:Beziehungen am verformten Stützenelement

Per Definition versagt die Stütze, wenn einer der genannten Grenzzustände erreicht wird. Mithin gilt für alle N das folgende Versagenskriterium

$$V = \left\{ M_a^u|N > M_A^u|N \ \cup\ M_a^u|N > M_B^u|N \ \cup\ M_a^o|N > M_C^o|N \right\} \qquad (4)$$

worin vereinfachend angenommen wird, daß die mechanischen und geometrischen Eigenschaften längs der Stütze konstant sind.

3.Zuverlässigkeitsanalyse

Die wichtigsten Einflußgrößen auf den Tragzustand der Kragstütze sind die Querschnittsbreite b, die Querschnittshöhe d, die Betonüberdeckung h', die Betonfestigkeit β_R, die Stahlstreckgrenze β_s sowie die angreifende Last $N = N_a$ und das angreifende Kopfmoment M_a^o. Deren stochastisches Verhalten sei durch die Wahrscheinlichkeitsdichten $f(\cdot)$ beschrieben. Die Variablen seien bis auf die Querschnittshöhe und -breite, welche streng korreliert angenommen werden, stochastisch paarweise voneinander unabhängig.

Wir berechnen zunächst die Versagenswahrscheinlichkeit am Ort des Versagens (Fuß der Stütze). Die Lösungen der in Abschnitt 2 erläuterten Differentialgleichungen stellen den Zusammenhang zwischen M_a^o und M_a^u bzw. M_A^u, M_B^u, M_C^u für jede Kombination der Variablen her. Sowohl angreifendes Moment M_a^u, als auch die widerstehenden Momente M_U^u, U = A,B,C sind dann Funktionen der Einflußvariablen und stochastisch voneinander abhängig. Demnach sind durch Anwendung der Transformationsregeln für Funktionen von Zufallsvariablen die zweidimensionalen Randdichten $f\,(M_a^u, M_U^u)$ für alle N zu bilden /5/. Bei gegebenem N ist dann mit (siehe auch Abb. 6)

$$P_{f,U} = \iint\limits_{(M_a^u > M_U^u)} f(M_a^u, M_U^u)\, dM_a^u \; dM_U^u \qquad (5)$$

die Versagenswahrscheinlichkeit wegen Gl. (4)

$$\begin{aligned} P_f(N) &= P_{f,A}\,(N) \cup P_{f,B}\,(N) \cup P_{f,C}\,(N) \\ &= P_{f,A}\,(N) + P_{f,B}\,(N) + P_{f,C}\,(N) - P_{f,A}(N)\cdot P_{f,B}(N) - P_{f,A}(N)\cdot P_{f,C}(N) \\ &\quad - P_{f,B}(N)\cdot P_{f,C}\,(N) + P_{f,A}\,(N)\cdot P_{f,B}(N)\cdot P_{f,C}(N) \qquad (6) \end{aligned}$$

und nach Integration über alle N schließlich

$$P_f = \int\limits_{(N)} f\,(N)\cdot P_f\,(N)\, dN \qquad (7)$$

Eine exakte numerische Lösung erfordert bei Einsatz großer Rechenanlagen bereits bei Berechnung von M_a^u und M_U^u und weiter bei der Bildung der gemeinsamen Dichten $f\,(M_a^u, M_U^u)$ erheblichen Aufwand, so daß Nährungslösungen gesucht werden.

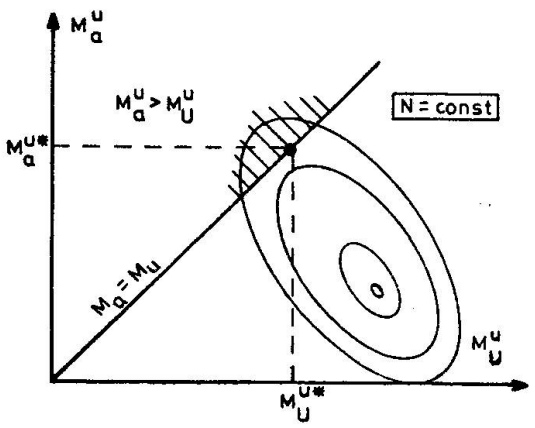


Abb.6

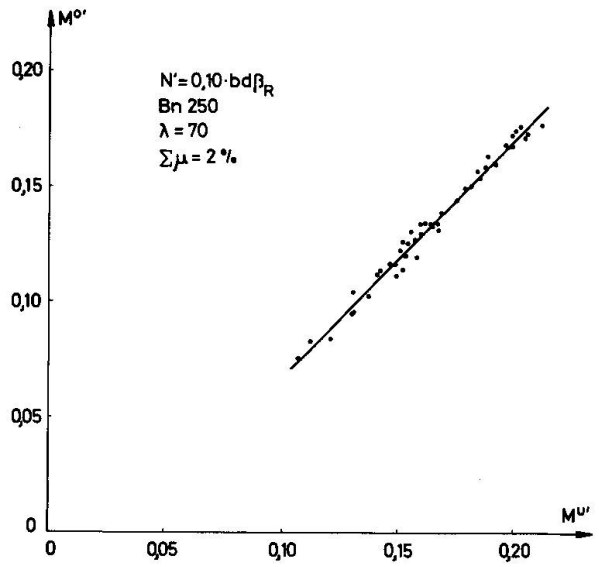


Abb.7: Zusammenhang zwischen M_U^o und M_U^u

Zunächst kann man das Versagenskriterium derart transformieren, daß Beanspruchung und Beanspruchbarkeit näherungsweise stochastisch voneinander unabhängig werden. Dies gelingt durch Formulierung des Versagenskriteriums am Stützenkopf. Zwischen dem Moment am Stützenfuß und am Stützenkopf existiert nämlich in jedem Versagenszustand ein relativ straffer, positiver in guter Näherung linearer Zusammenhang, wie das Beispiel von Abb.7 zeigt /1/. Damit können die Verteilungsdichten von Beanspruchung und Beanspruchbarkeit vorab und unabhängig berechnet werden.

Transformiert man also die Momente M_U^u in Kopfmomente M_U^o (vgl.Abb.8) bei bereits ermitteltem M_a^u so, daß

$$M_U^o \mid N = F^{-1}(p_U) \text{ mit } p_U = \int_0^{M_a^u|N} f_U(M_U^u \mid N)\, dM_U^u = F_U\,(M_a^u \mid N), \qquad (8)$$

so vereinfacht sich die Berechnung der Versagenswahrscheinlichkeit nach Einführung des Gl. (5) entsprechenden Ausdrucks

$$P_{f,U}(N) = \int_0^\infty f(M_a^o) \cdot F_U\,(M_a^o \mid N)\, dM_a^o \qquad (9)$$

wenn

$$F_U = F_U\,(M_a^o \mid N) = \int_0^{M_a^o|N} f_U(M_U^o|N)\, d\, M_U^o \qquad (10)$$

und unter Beachtung von Gl. (6) zu

$$P_f = \int_0^\infty f(N) \left\{ \int_0^\infty f(M_a^o) \left[F_A + F_B + F_C - F_A \cdot F_B - F_A \cdot F_C - F_B \cdot F_C + F_A \cdot F_B \cdot F_C \right] dM_a^o \right\} dN \qquad (11)$$

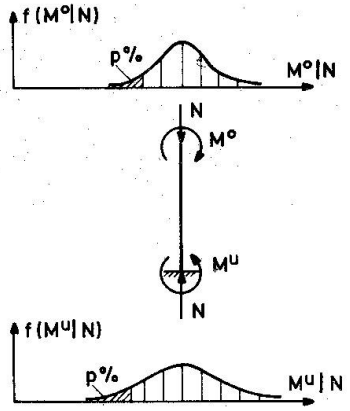


Abb.8

Weitere Näherungen sind bei Berechnung der Dichten $f_U^o\,(M_U^o \mid N)$ notwendig. Um erste Anhaltspunkte über die Form dieser Verteilungsdichte zu erhalten - daß immer die Bedingung N gilt, wird im folgenden nicht mehr gesondert bezeichnet - wurde zunächst mit Hilfe der Monte-Carlo-Methode unter Zugrundelegung der Angaben von Tabelle 1 die Beanspruchbarkeit simuliert. Statistische Anpassungstests ergaben, daß die Hypothese zugrundeliegender Normalverteilungen mit einer statistischen Sicherheit von 95 % nicht verworfen werden muß. Betrachtet man das Modell einer bei Null gestutzten Normalverteilung als hinreichend genau, so kann man sich im weiteren mit der Berechnung der ersten beiden Momente der Verteilung der Beanspruchbarkeit begnügen /6/:

$$E\,(M_U) \approx g_U\,(E\,(x_i)\,) \qquad (12)$$

$$Var\,(M_U) \approx \sum_{(i)} \left(\frac{\partial g_U}{\partial x_i}\right)^2 \cdot Var\,(x_i) \qquad (13)$$

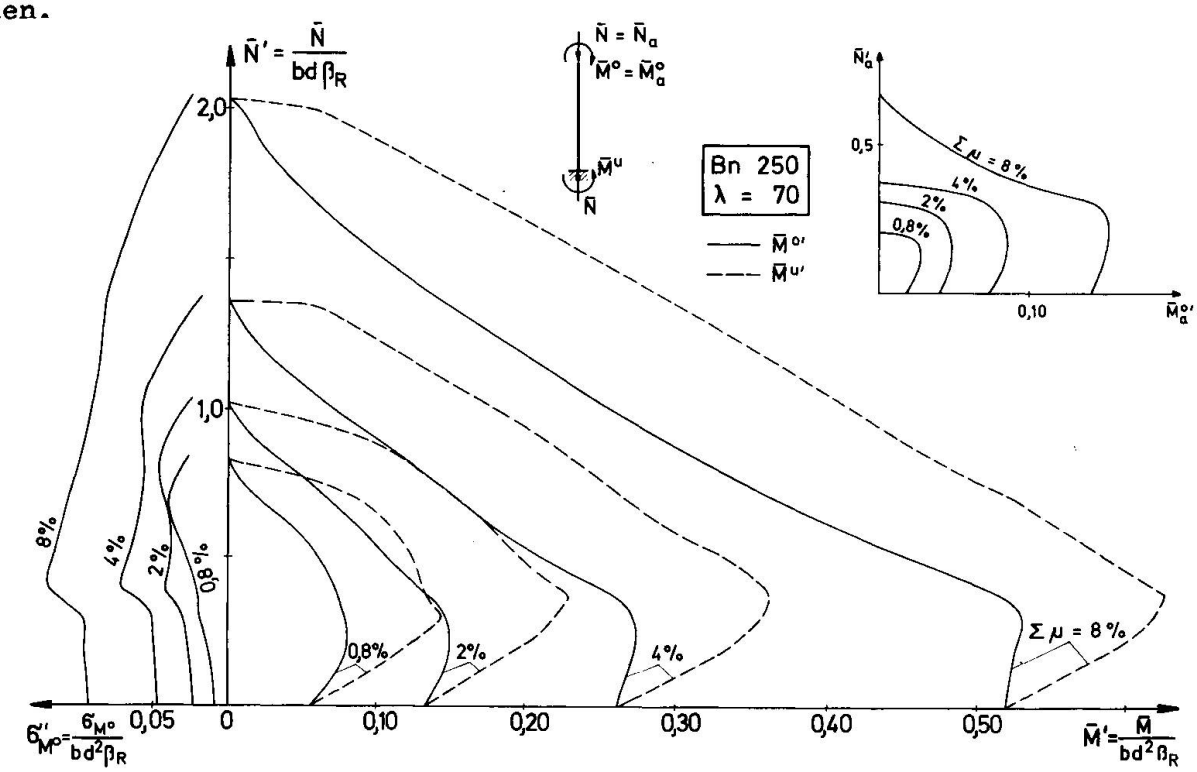
Hierin ist $g_U\,(\cdot)$ das in Abschnitt 2 beschriebene Berechnungsverfahren zur Bestimmung der Grenzzustände und x_i die Zufallsvariablen nach Tab.1.

Tabelle 1

Zufallsvariable +)	Mittelwert	Streuung
Querschnittsabmessungen b, d	-	$V_b = V_d = 0{,}05$
Betonüberdeckung h'	$0{,}1 \cdot \bar{d}$ ++)	$V_{h'} = 0{,}30$
Betonfestigkeit β_w	330 kp/cm²	$\sigma = 50$ kp/cm²
Betonstahlstreckgrenze β_s	4600 kp/cm²	$\sigma = 243$ kp/cm²
Normalkraft N_a	-	$V_N = 0{,}10$
Moment M_a^o	-	$V_M = 0{,}20$

+) Sämtliche Variablen werden normalverteilt angenommen
++) Der Querstrich kennzeichnet Mittelwerte (Erwartungswerte).

Die Versagenswahrscheinlichkeit ist nunmehr näherungsweise berechenbar. Umgekehrt können bei vorgegebener Versagenswahrscheinlichkeit und bekannten Verteilungsgesetzen der die Beanspruchbarkeit beeinflußenden Variablen die Verteilungsparameter der zugehörigen Beanspruchung iterativ ermittelt werden.



In Abb. 8 sind für die Stützenschlankheit $\lambda = 70$ und mehrere Bewehrungsgehalte die Ergebnisse einer Rechnung für $P_f = 10^{-4}$ aufgetragen. Auf der linken Seite des Bildes ist die Größe der Standardabweichung des Kopfmomentes für die Versagensart C dargestellt, im Diagramm selbst finden sich die Interaktionsbeziehungen der mittleren Grenztragfähigkeit und im Diagramm oben rechts sind die Mittelwerte der zugehörigen Beanspruchung angegeben. Der Wert β_R ist die 5 %-Fraktile des zu $0{,}85 \cdot \beta_w$ gehörigen Kollektivs nach Tabelle 1.

Abb. 9 zeigt für $\lambda = 70$ und $\sum \mu = 2\%$ den geometrischen Ort der 95%-Fraktilen der Komponenten N_a und M_a^o für die Versagenswahrscheinlichkeiten $P_f = 10^{-3}$, 10^{-4} und 10^{-5}. Zusätzlich sind die zulässigen Werte bei der Bemessung nach DIN 1045 /7/, den CEB-Empfehlungen /8/ und den ACI Vorschriften /9/ eingezeichnet.

Die im linken Teil der Abbildung aufgetragene bezogene Streuung des Kopfmoments ändert sich spürbar mit zunehmender Normalkraft. Dabei überwiegen die Streuungen der Querschnittsabmessungen und der Betonfestigkeit für die nach Tabelle 1 getroffenen Annahmen.

Man erkennt weiter, daß keine dieser Bemessungsanweisungen ein gleichmäßiges Sicherheitsniveau gewährleistet. Diese Feststellung bleibt auch bei anderen Annahmen für die Verteilungsgesetze sowie für andere Betongüten, Stahlgüten, Querschnittsformen, Schlankheiten etc. im Prinzip gültig /1/. Anzumerken ist, daß die jeweilige Größe der Versagenswahrscheinlichkeit als operativer Rechenwert zu verstehen ist, welcher nur in Verbindung mit den getroffenen Annahmen und Vereinfachungen Aussagekraft besitzt.

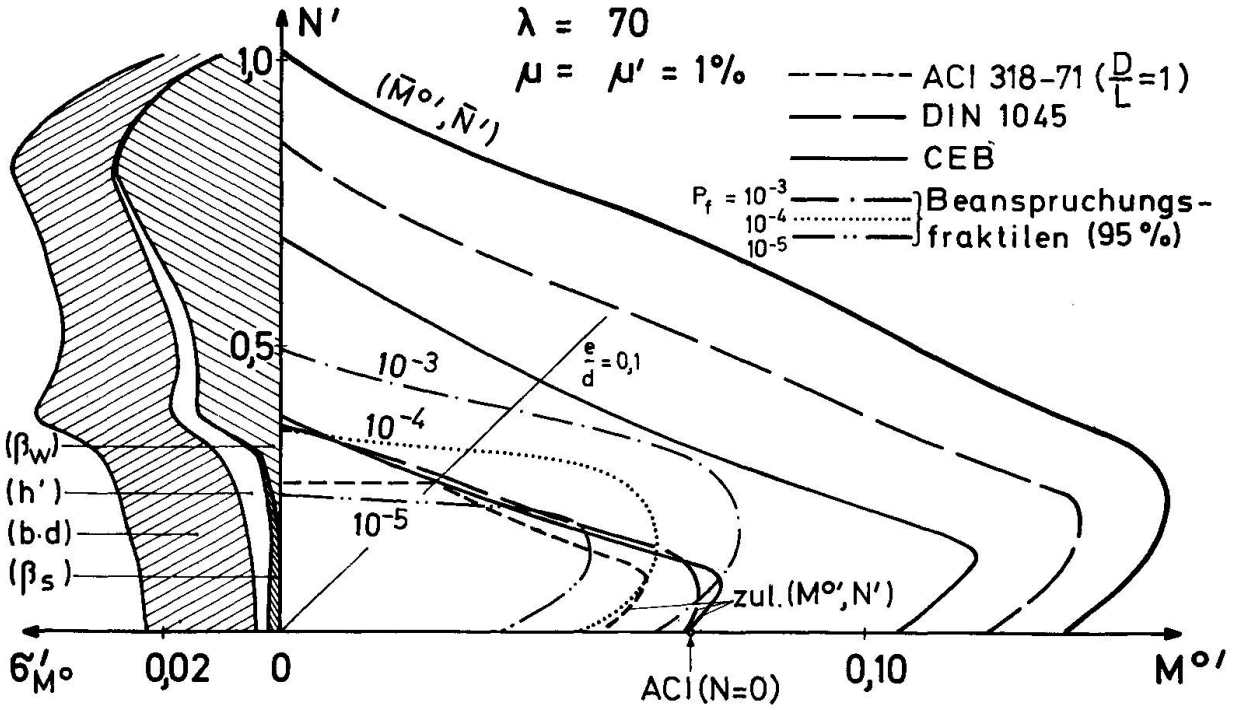


Abb. 9

4. Bestimmung von "besten" Bemessungswerten

Vom praktischen Standpunkt aus kann die Forderung nach Einfachheit und Durchsichtigkeit von Bemessungsregeln nicht genug hervorgehoben werden. Es ist z.B. wünschenswert, jede Einflußgröße darin durch einen einzigen Bemessungswert zu charakterisieren, welcher allerdings als Funktion der Verteilungsparameter angebbar sein sollte. Eine praktikable Bemessungsanweisung kann im vorliegendem Fall etwa wie folgt aussehen:

$$M_a^o \mid N^* \leq M_U^{o*} \mid N^* = g^*(b^*, d^*, h'^*, \beta_w^*, \beta_s^*, N^*) \qquad (14)$$

Im Falle der Gleichheit ist $M_a^o = M_a^{o*}$, $g^*(\ldots)$ die vorgeschriebene, u.U.

vereinfachte Berechnungsanweisung.

Unendlich viele Kombinationen von Bemessungswerten erfüllen diese Ungleichung, wenn ein vorgegebener Rechenwert der Versagenswahrscheinlichkeit angezielt werden soll. So wird z.B. in einigen Vorschriften N bzw. M_a^o sehr ungünstig angesetzt; die anderen Bemessungswerte weichen nicht spürbar von den mittleren Werten ab. Es wird also unterstellt, daß Stützen dann versagen, wenn die Belastung extrem groß wird. Damit wird den Verformungsmomenten übergewichtiger Einfluß eingeräumt, obwohl Versagen ebenso gut durch ein spürbares Absinken der Betonfestigkeit ausgelöst werden kann.

Um die Verhältnisse in einem Grenzzustand so wirklichkeitsnah wie möglich zu erfassen, ist es daher sinnvoll, als Bemessungswerte jene Realisationen der Variablen auszuwählen, für die Versagen, sofern es eintritt, am wahrscheinlichsten ist (vgl. Abb. 6). Nur dann wird der Einfluß der einzelnen Unsicherheiten auf die Sicherheit der Stütze in bestmöglicher Weise eingeschätzt. Wir suchen also das Maximum der bedingten Dichte der Versagenswahrscheinlichkeit. Die Bemessungswerte N_a^* und M_a^{o*} ergeben sich z.B. als Lösungen der Gleichungen:

$$\frac{\partial f_p\,(M^o,\,N)}{\partial M^o} = 0 \qquad\qquad \frac{\partial f_p\,(M^o,\,N)}{\partial N} = 0 \qquad (15a,b)$$

worin

$$f_p\,(M^o,\,N) = \frac{\partial^2 \left\{ \frac{1}{P_f} \cdot \int_0^N f(N_a) \cdot \left[\int_0^{M^o} f(M_a^o) \cdot F_U(M_a^o \mid N_a)\, dM_a^o \right] dN_a \right\}}{\partial M^o \cdot \partial N} \qquad (16)$$

die bedingte Dichte der Versagenswahrscheinlichkeit ist. Die Lösungen N_a und M_a^o können als Fraktilen der Randdichten $f(N_a)$ und $f(M_a)$ gedeutet werden.

Bild 1o veranschaulicht die Ergebnisse einer Rechnung in Form von Höhenschichtlinien der Dichte der Beanspruchung $f\,(M_a,\,N)$, der bedingten Dichte der Beanspruchbarkeit $f\,(M_U \mid N)$ sowie der Dichte $f_p\,(M,\,N)$ am Stützenkopf.

Eine Anwendung dieses Prinzips auf die übrigen Variablen führt zu n Gleichungen vom Typ (15) mit den Lösungen x_i^*, wenn n die Anzahl der berücksichtigten Zufallsvariablen ist.

Vergleichsrechnungen haben gezeigt, daß die Lösungen x_1^*, x_2^*, ...x_n^* bei Vorliegen von Normalverteilungen für die Variablen als Fraktilen in der Form

$$x_i^* = \bar{x}_i \pm \alpha_i \cdot \beta_i \cdot \sigma_i \qquad (17)$$

dargestellt werden können. Hierbei ist $\bar{x}_i$ der Erwartungswert, σ_i die Standardabweichung, α_i ein Korrekturfaktor, der eine Funktion der Ableitung des Versagenskriteriums nach der Variablen X_i an der Stelle x_i^* und β_i die standardisierte Variable der Verteilungen zur Wahrscheinlichkeit P_f ist. Zu dem gleichen Ergebnis kommt Paloheimo - allerdings auf anderem Wege /1o/.

Das Maximum der bedingten Dichte der Versagenswahrscheinlichkeit ist wenig ausgeprägt, wie auch Abb. 1o veranschaulicht. Eine exakte Bestimmung der α-Werte ist daher nicht notwendig - ein Umstand, der der Normungsarbeit sehr entgegen kommen dürfte.

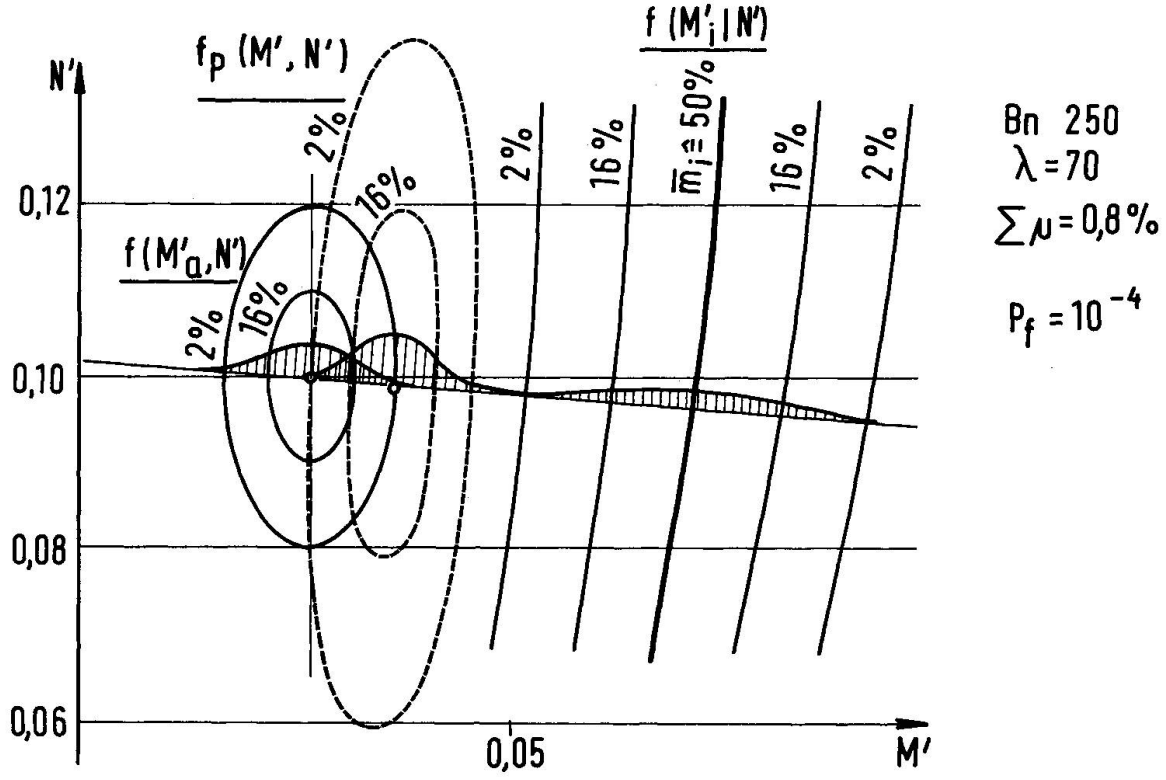


Abb. 1o

Natürlich können von (17) ausgehend auch die traditionellen Sicherheitselemente, wie z.B. Teilsicherheitsfaktoren, abgeleitet werden:

$$\gamma_i = \frac{x_{i,c}}{x_i^*} = \frac{\bar{x}_i \pm k \cdot \sigma_i}{\bar{x}_i \pm \alpha_i \cdot \beta_i \cdot \sigma_i} \qquad (18)$$

$x_{i,c}$ ist der charakteristische Wert.

5. Numerische Ergebnisse und Folgerungen

Für den betrachteten Knickstab wurden bislang folgende Werte berechnet:

$$\alpha_{M_a^o} = \alpha_{N_a} \approx 0{,}3 \text{ bis } 0{,}5; \quad \alpha_{M_U^o} \approx 1;$$

Setzt man insbesondere $\alpha_b = \alpha_h = \alpha_{h'} = 0$, eine Maßnahme die aus praktischen Gründen angemessen erscheint, so ergibt sich bei Analyse $\alpha_{M_U^o}$

$$\alpha_{\beta_w} = 0{,}95 \text{ ./. } 1{,}0; \quad \alpha_{\beta_s} = 0{,}9 \text{ ./. } 1{,}0$$

Ist weiter $\beta = 3{,}7$ - ein Wert, der im Mittel dem Rechenwert der Versagenswahrscheinlichkeit bei Anwendung der bisher üblichen Bemessungsverfahren entspricht (siehe Abb.9), ergeben sich in erster Näherung die folgenden Formeln zur Bestimmung der Rechenwerte.

$$b^* = E(b);\ d^* = E(d);\ h'^* = E(h')$$

$$\beta_w^* \approx E(\beta_w) - 3{,}7 \cdot \sigma_{\beta_w}\ ;\ \beta_s^* \approx E(\beta_s) - 3{,}7 \cdot \sigma_{\beta_s}$$

$$N_a^* \approx E(N_a) + 1{,}5 \cdot \sigma_{N_a}\ ;\ M_a^{o*} \approx E(M_a) + 1{,}5 \cdot \sigma_{M_a}$$

Entsprechend Gl. (18) eingeführte Teilsicherheitsfaktoren werden daraus für die in Tabelle 1 angegebenen Streuungen der Variablen zu

$$\gamma_{\beta_w} = \frac{1}{1{,}6};\quad \gamma_{\beta_s} = \frac{1}{1{,}2};\quad \gamma_{N_a} = \gamma_{M_a} \approx 1{,}o$$

berechnet, wobei in Übereinstimmung mit den CEB-Empfehlungen k = /1,65/gesetzt wurde.

Die numerischen Untersuchungen sind noch nicht abgeschlossen, so daß die mitgeteilten Ergebnisse vorerst nur als Anhaltswerte gelten können. Nachstehende Folgerungen lassen sich jedoch bereits jetzt ziehen.

- Globale Sicherheitsbeiwerte, gegebenenfalls im Verein mit vorgeschriebenen zusätzlichen oder Mindestausmitten, vermögen den erforderlichen Abstand zwischen Beanspruchbarkeit und Beanspruchung nicht in allen Bemessungssituationen gleichmäßig gut herzustellen.
- Am zweckmäßigsten scheint eine Festlegung der Bemessungswerte aufgrund des in Abschnitt 4 erläuterten Prinzips entsprechend Gleichung (17) oder die Verwendung partieller Sicherheitsfaktoren in Verbindung mit definierten Nennwerten entsprechend Gl. (18) zu sein.

6. Literaturhinweise

/1/ KNAPPE, O., RACKWITZ, R.: Wahrscheinlichkeitstheoretische Untersuchung der Knicksicherheit von schlanken Stahlbetonstützen, Arbeitsberichte zur Sicherheit von Bauwerken, Laboratorium für den Konstruktiven Ingenieurbau, Techn.Universität München, Heft 4, 1973.

/2/ KNAPPE, O.: Einführung in die Sicherheit schlanker Stahlbetondruckglieder,
HEUNISCH, M.:Bemessung u.Sicherheit von Stahlbetondruckgliedern Deutscher Beton-Verein e.V., Arbeitstagung 1973 in Berlin. "Sicherheit von Betonbauten" - Berichtsband, Wiesbaden, 1973

/3/ WARNER, R.F.: Physical-Mathematical Models and Theoretical Considerations, IABSE Symposium "Design and Safety of Reinforced Concrete Compression Members", Quebec, Canada, Introductory Report, 1974

/4/ BULIRSCH, R., STOER, J.: "Numerical Treatment of Ordinary Differential Equations by Extrapolation Methods", Numerische Mathematik 8, 1966.

/5/ HEINOLD, J., GAEDE, K.: Ingenieurstatistik, Oldenbourg, München, 1968

/6/ BENJAMIN, J.R., CORNELL, C.A.: Probability, Statistics and Decision for Civil Engineers, Mc Graw-Hill, New York, 197o.

/7/ DIN 1045, Beton-und Stahlbeton - Bemessung und Ausführung, 1972

/8/ CEB/FIP: Internationale Empfehlungen zur Berechnung und Ausführung von Betonbauwerken, Prag, 197o

/9/ ACI-Standard, Requirements for Reinforced Concrete, 318-71, 1971

/10/ PALOHEIMO, E.: "Eine Bemessungsmethode, die sich auf variierende Fraktilen gründet", siehe /2/

ZUSAMMENFASSUNG

Die Theorie zur Berechnung der Versagenswahrscheinlichkeit einer schlanken Stahlbetonstütze wird erläutert. Die numerische Rechnung gelingt durch Einführung von Näherungen für einige Beispiele. Es zeigt sich, dass die derzeitigen Berechnungsverfahren kaum gleichmässige Zuverlässigkeit der Bauteile gewährleisten. Ein Verfahren, "beste" Bemessungswerte aufzusuchen, wird angegeben. Erste numerische Ergebnisse werden mitgeteilt.

SUMMARY

A theory for the computation of failure probabilities for slender reinforced concrete columns is presented. Approximate numerical solutions for some examples are given. It turns out that present design methods cannot guarentee an uniform safety level. A method to evaluate "best" design values is derived and illustrated by some numerical results.

RESUME

On expose une théorie pour le calcul de la probibilité de ruine d'une colonne élancée en béton armé. On procède au calcul numérique pour quelques exemples en introduisant des approximations. On constate que les méthodes de calcul actuelles ne conduisent pas à une sécurité uniforme. On indique un procédé permettant d'obtenir les "meilleures" valeurs de dimensionnement. On communique les premiers résultats numériques.

Leere Seite
Blank page
Page vide