Zeitschrift: IABSE reports = Rapports AIPC = IVBH Berichte
Band: 37 (1982)

Artikel: Betriebsfestigkeitsberechnung von Spannbetonquerschnitten
Autor: Körner, Ch.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-28940

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: 14.07.2025

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

Betriebsfestigkeitsberechnung von Spannbetonquerschnitten

Limit State Design Method for Prestressed Concrete Sections

Méthode de dimensionnement aux états limites pour les sections en béton précontraint

CH. KÖRNER
Dr. -Ing.
Institut für Stahlbeton
Dresden, DDR

ZUSAMMENFASSUNG
Es werden die theoretischen Grundlagen eines Verfahrens zur Betriebsfestigkeitsberechnung dynamisch beanspruchter Spannbetonquerschnitte nach den Prinzipien der Grenzzustände behandelt. Dabei werden die Norm- und Rechenwerte für die Lastgrössen, Schnittgrössen und Baustoffestigkeiten mit Hilfe eines Systems von Normwert-Koeffizienten und Rechenfaktoren bestimmt.

SUMMARY
The paper presents the theoretical basis of the principles of a limit state design method for prestressed concrete sections subjected to dynamic loading. This includes the means of evaluating permissible and calculated values of loads, sectional forces and material strength from statistical coefficients and calculation factors.

RESUME
L'article présente les bases théoriques d'un procédé applicable au calcul de la résistance des sections transversales en béton précontraint sous charges dynamiques selon les principes des états limites. On détermine les valeurs normalisées et de calcul des charges, des efforts intérieurs et des résistances des matériaux à l'aide d'un système de coefficients statistiques et de facteurs de calcul.

1. EINLEITUNG

Die Ablösung der auf die Wöhlerlinie gegründeten Berechnung der Ermüdungstragfähigkeit durch eine Betriebsfestigkeitsberechnung ist eine der wesentlichen Voraussetzungen sowohl für die effektivere Gestaltung dynamisch beanspruchter Stahlbeton- und Spannbetonkonstruktionen als auch für die Nutzung vorhandener Tragreserven /1/. Im folgenden werden die Prinzipien einer Betriebsfestigkeitsberechnung auf der Grundlage von Beanspruchungskollektiven sowie zugeordneter Betriebsdauerlinien vorgestellt.

2. LÖSUNG DES SICHERHEITSPROBLEMS

Dem jeweiligen Stand der bautechnischen Entwicklung entsprechend wurden in der Vergangenheit Berechnungsmethoden entwickelt, in denen der Nachweis ausreichender Sicherheit auf der Basis ganz unterschiedlicher Sicherheitsvorstellungen geführt wird. In Bild 1 ist unter Bezug auf /2/ eine schematische Übersicht über die einzelnen Methoden sowie deren Zuordnung gegeben.

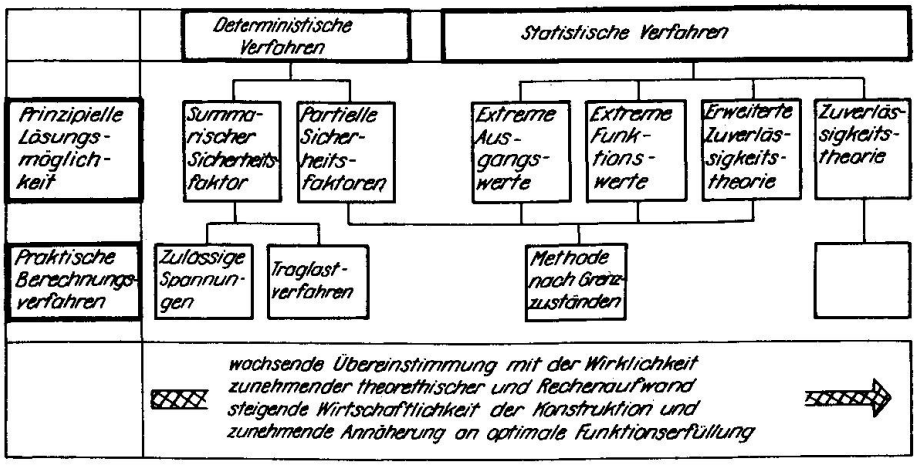


Bild 1 Prinzipielle Lösungsmöglichkeiten und praktische Berechnungsverfahren zur Führung des Sicherheitsnachweises

Die Prinzipien der Methode der extremen Ausgangswerte bilden die theoretische Grundlage für die Berechnungsmethode nach Grenzzuständen, die gegenwärtig als einheitliches und progressives Berechnungsverfahren zur Aufbereitung und Anwendung geeignet ist. Sie ist als eine Stufe zur Einführung der in Zukunft anwendungsfähig

auszuarbeitenden Zuverlässigkeitskonzeption für die Berechnung der Baukonstruktionen anzusehen.
Bei dynamisch beanspruchten Konstruktionen ist die Orientierung auf die Berechnungsmethode nach Grenzzuständen weniger zwingend als bei statisch beanspruchten, weil auch andere Methoden bestimmte Vorzüge aufweisen; doch muß die Entscheidung für das eine oder andere Verfahren vor dem Hintergrund der sich international abzeichnenden Tendenz in der Weiterentwicklung der Berechnungsverfahren gesehen werden. Mit dem RGW-Standard ST RGW 1406-78 "Beton- und Stahlbetonkonstruktionen; Projektierungsgrundlagen" /3/ sowie den "Internationalen Richtlinien des CEB/FIP zur Berechnung und Ausführung von Betonbauwerken" /4/ ist der Weg für die zukünftige Entwicklung abgesteckt.
Aus den dargelegten Gründen ist es zweckmäßig, das Berechnungsverfahren für dynamisch beanspruchte Spannbetonquerschnitte auf die Methode der Grenzzustände zu gründen.

3. GRUNDZÜGE EINES BERECHNUNGSVERFAHRENS /5/

3.1 Form des Sicherheitsnachweises

Im betrachteten Querschnitt steht der Beanspruchung $S(u_i, c_i)$ die Tragfähigkeit $R(v_j, d_j)$ gegenüber. In dieser symbolischen Schreibweise bedeuten u_i die zufallsabhängigen, c_i die nicht zufallsabhängigen Parameter der Beanspruchung S. Analog sind v_j die zufallsabhängigen, d_j die nicht zufallsabhängigen Parameter der Tragfähigkeit R.
Für dynamisch beanspruchte Spannbetonquerschnitte ist nach /1/ der Nachweis ausreichender Sicherheit gegen Eintreten des Grenzzustandes der Tragfähigkeit in zweifacher Hinsicht zu führen:

a) Für statische bzw. quasistatische Lasteinwirkungen darf die Beanspruchung, z. B. das Biegemoment M, die Tragfähigkeit, z. B. das Bruchmoment M_B, nicht überschreiten

$$M(\text{extrem } u_i, c_i) \leq M_B(\text{extrem } v_j, d_j) \qquad (1)$$

b) Für dynamische Lasteinwirkungen darf die Beanspruchung M_F nicht größer sein als die Ermüdungstragfähigkeit $M_{B,F}$

$$M_F(\text{extrem } u_i, c_i) \leq M_{B,F}(\text{extrem } v_j, d_j) \qquad (2)$$

bzw. die Spannungen σ_F infolge dynamischer Lasteinwirkungen müssen kleiner als die zugeordneten Ermüdungsfestigkeiten R_F sein

$$\sigma_F(\text{extrem } u_i, c_i) \leqq R_F(\text{extrem } v_j, d_j) \qquad (3)$$

Der Nachweis nach Gl. (1) für statische Lasteinwirkung ist, unabhängig von den Nachweisen für dynamische Lasteinwirkungen, nach den Prinzipien der Berechnung nach Grenzzuständen zu führen.

Beim Nachweis der Ermüdungstragfähigkeit stellt im Hinblick auf den notwendigen Berechnungsvorgang bei der Führung des Sicherheitsnachweises die konventionelle Form nach Gl. (3) die geeignete Grundlage dar. Auf der linken Gleichungsseite steht der Maximalwert σ_F der Beanspruchungsverteilung, die aus den Verteilungen aller zugehörigen Einflußgrößen berechnet werden muß. Erst danach kann durch Einordnung der Beanspruchungsverteilung in ein System der Normbeanspruchungskollektive oder durch direkte Berechnung der zugeordnete Wert der Ermüdungsfestigkeit R_F in Abhängigkeit von der Beanspruchungsverteilung aus dem System der Betriebsdauerlinien festgelegt werden. σ_F stellt somit in Verbindung mit der Kollektivform der Beanspruchung den Schlüsselwert dar, anhand dessen der Vergleich zwischen Beanspruchung und Tragfähigkeit auf der Spannungsebene geführt wird.

3.2 Bildung der Extremwerte für Lastgrößen und Festigkeiten

Gl. (3) zum Nachweis des Grenzzustandes der Tragfähigkeit nimmt für Spannbetonquerschnitt folgende allgemeine Form an

$$\sigma_F(C, Z^{(0)};\ F, J, y) \leqq R_F(N, K) \qquad (4)$$

σ_F ist eine Funktion der Schnittgröße C, der Vorspannkraft $Z^{(0)}$ sowie der Querschnittskenngrößen F, J, y. Im Hinblick auf die Intensität der Streuungen sind die Schnittgrößen C, die Ermüdungsfestigkeit R_F sowie wegen des großen Einflusses auf den Spannungszustand eines Querschnitts auch die Vorspannkraft $Z^{(0)}$ als stochastisch veränderliche Größen mit ihren Verteilungen in die Rechnung einzuführen, während die Querschnittskenngrößen F, J, y, die Lastspielzahl N sowie die Form des Spannungskollektivs K in der Regel als determinierte Größen betrachtet werden können

$$\text{extrem } u_i = \left\{C, Z^{(0)}\right\};\quad c_i = \left\{F, J, y\right\} \qquad (5)$$

$$\text{extrem } v_j = R_F;\qquad d_j = \left\{N, K\right\} \qquad (6)$$

Diese Festlegungen stehen in Übereinstimmung mit /3/. In der praktischen Berechnung treten die Extremwerte der Ausgangsgrößen

Bild 2 Nachweis der Sicherheit gegen Ermüdungsbruch

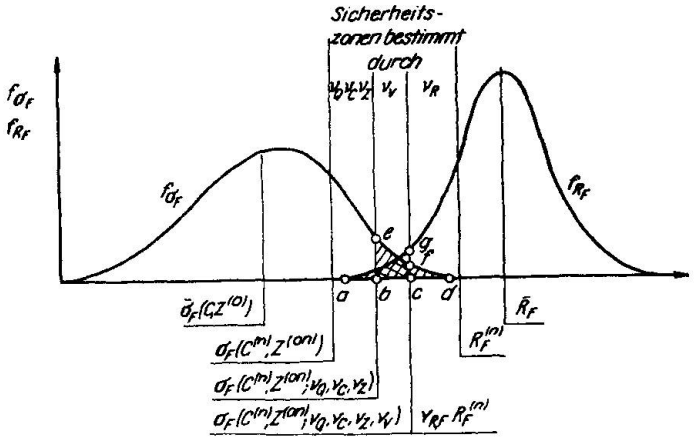


Bild 3 Rechenfaktoren γ_i zur Berücksichtigung von Unsicherheiten in den Einflußgrößen

	Einflußgrößen						
	Zufällige Streuungen unter Berücksichtigung des Prüfverfahr. a	Vereinfachte Berechnungsannahmen b	Ungünstige Lastkombinationen c	Ermüdung unter Berücksichtigung der Spannungsverteilung d	Qualität der Bausausführung; Bauüberwachung e	Bruchverhalten von Querschnitt und Konstruktion f	Folgen eines Versagens g
Lastgrößen Q	$\boxed{\gamma_{Qa}}$	γ_{Qb}	γ_{Qc}				
Schnittgrößen C (Vorspannkraft Z)		$\boxed{\gamma_{Cb}}$	$\boxed{\gamma_{Cc}}$	γ_{Cd}			
Festigkeiten R	$\boxed{\gamma_{Ra}}$	γ_{Rb}		$\boxed{\gamma_{Rd}}$	$\boxed{\gamma_{Re}}$	γ_{Rf}	
Verhalten der Konstruktion V	γ_{Va}	γ_{Vb}	γ_{Vc}	γ_{Vd}	γ_{Ve}	$\boxed{\gamma_{Vf}}$	$\boxed{\gamma_{Vg}}$

$C,Z^{(O)}$, R_F als Rechenwerte (r) auf. Die Sicherheitsbedingung lautet dann (vgl. Bild 2)

$$\sigma_F(C^{(r)},Z^{(Or)};\ F,J,y) \leqq R_F^{(r)} \quad (N,K) \qquad (7)$$

Zur Festlegung der Extremwerte der Ausgangsgrößen (≙Rechenwerte) wird mit Hilfe der statistischen Parameter der Häufigkeitsverteilung unter Beschränkung auf den Bereich mittlerer, d. h. statistisch gesicherter Wahrscheinlichkeiten für einen relativ kleinen Normwert-Koeffizienten $k^{(n)}$ zunächst ein statistisch gesicherter Normwert berechnet und hieraus mittels empirischer Rechenfaktoren γ_i der Rechenwert bestimmt.

3.3 Gliederung der Rechenfaktoren

Die unterschiedlichen Unsicherheiten können nach der Art ihres Auftretens und dem Charakter ihrer Auswirkungen in 4 Gruppen zusammengefaßt werden. Sie treten auf in

- den Lastgrößen

- der Ermittlung der Schnittgrößen und Querschnittsbeanspruchungen
- den Materialfestigkeiten
- dem Gesamtverhalten einer Konstruktion.

Für einen dynamisch beanspruchten Spannbetonquerschnitt sind in Anlehnung an /2/ die wichtigsten Einflüsse symbolisch für die genannten Gruppen in Bild 3 zusammengestellt. Es ist gegenwärtig nicht möglich, die einzelnen Einflüsse quantitativ zu belegen. Zur Vereinfachung der praktischen Berechnung sind sie zu wenigen Rechenfaktoren zusammenzufassen und an den entsprechenden Stellen in die Berechnung einzuführen (vgl. Abschn. 3.2).
Die für dynamisch beanspruchte Spannbetonquerschnitte durch Rechenfaktoren γ_i zu berücksichtigenden Einflüsse sind in Bild 3 besonders gekennzeichnet.

Der Inhalt der Sicherheitsbedingung läßt sich symbolisch in der in Bild 2 gezeigten Form darstellen. Die Sicherheit gegen Überschreiten extremer Werte

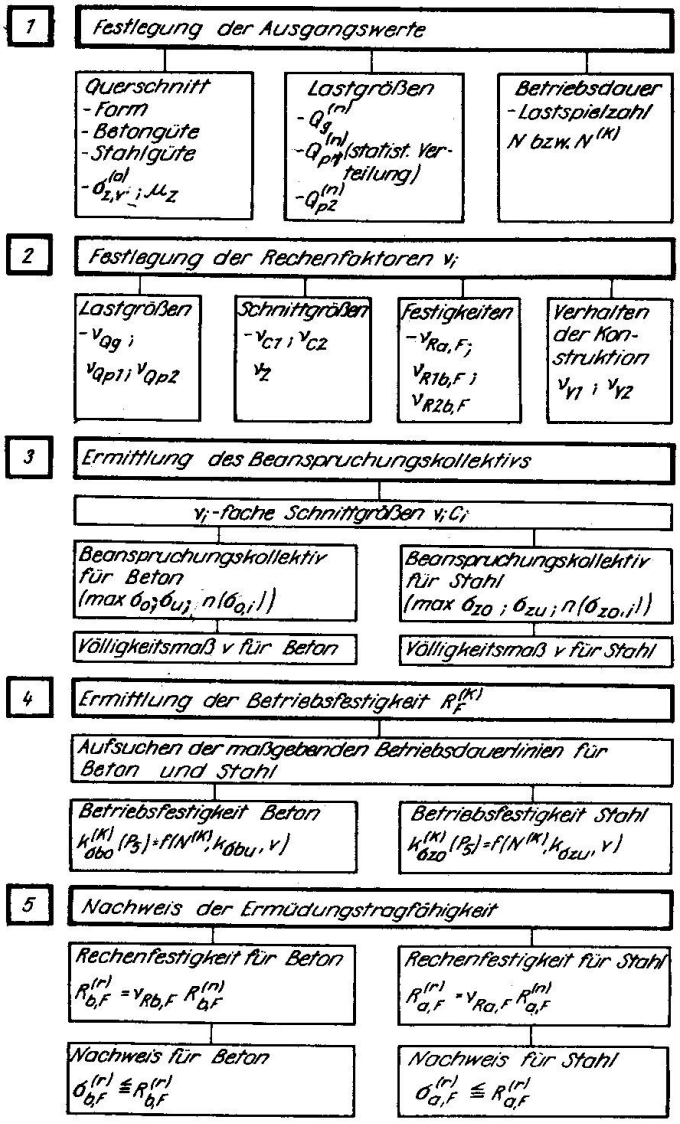
der Spannung $\sigma_F(C^{(n)}, Z^{(On)};\ \gamma_Q, \gamma_C, \gamma_Z, \gamma_V)$ bzw.

der Ermüdungsfestigkeit $\gamma_{R,F} R_F^{(n)}$

wird durch flexible Wahrscheinlichkeiten charakterisiert, die den Flächen a-c-g bzw. c-d-f zugeordnet sind.

Die zahlenmäßige Belegung der Rechenfaktoren ist zweckmäßig auf dem Wege vergleichender Rechnungen nach dem vorgelegten Entwurf des Berechnungsverfahrens und einem anderen Berechnungsverfahren für dynamisch beanspruchte Spannbetonquerschnitte durchzuführen (calibration method). Dabei werden die disponiblen Rechenfaktoren so festgelegt, daß die Berechnung nach dem Entwurf des Berechnungsverfahrens für einen möglichst großen, verschiedene Beanspruchungsverhältnisse und Querschnittsausbildung umfassenden, Bereich zu den gleichen Ergebnissen führt wie das Vergleichsverfahren.

In Bild 4 ist der Berechnungsgang zum Nachweis der Tragfähigkeit eines dynamisch beanspruchten Spannbetonquerschnitts unter Berücksichtigung der Betriebsbeanspruchung in Form eines Flußdiagramms dargestellt.



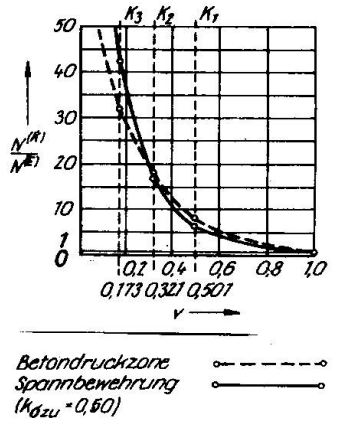


Bild 5 Einfluß der Kollekform auf die mittlere relative Lebensdauer $\frac{N^{(K)}}{N^{(E)}}$ im Zeitfestigkeitsbereich ($N < 2 \cdot 10^6$)

Bild 4 Rechenvorschrift zum Nachweis der Ermüdungstragfähigkeit eines dynamisch beanspruchten Spannbetonquerschnitts unter Berücksichtigung der Betriebsbeanspruchung

4. PRAKTISCHE ANWENDUNG DER BETRIEBSFESTIGKEITSBERECHNUNG

Die durch eine Betriebsfestigkeitsberechnung aktivierten Tragfähigkeitsreserven eines dynamisch beanspruchten Spannbetonquerschnitts können auf folgende Weise genutzt werden:

- Einsparung an Material durch Reduzierung der Querschnittsabmessungen oder Senkung des Bewehrungsgrads
- Erhöhung der zulässigen Belastung bei Beibehaltung der Querschnittsausbildung
- Verlängerung der Lebensdauer bei Beibehaltung der Querschnittsausbildung und der Belastung.

Der letztgenannte Effekt wird durch Bild 5 verdeutlicht, in dem der Einfluß von Lastkollektiven K unterschiedlicher statistischer Verteilung, gekennzeichnet durch sogenannte Völligkeitsmaße v_1, v_2 und v_3, auf die Lebensdauer angegeben ist. Gegenüber einer Bemessung auf der Grundlage der Einstufenbelastung (ertragbare Lastspielzahl $N^{(E)}$) kann bei Ansatz der Betriebsbelastung (ertragbare Lastspielzahl $N^{(K)}$) je nach Kollektivvölligkeit v in vorliegendem Fall die sechs- bis vierzigfache Lebensdauer, d. h. $N^{(K)} = (6 \ldots 40)\ N^{(E)}$, nachgewiesen werden.

LITERATUR

/1/ Körner, C.: Tragfähigkeit dynamisch beanspruchter Spannbetonquerschnitte. Bauakademie der DDR, Schriftenreihe der Bauforschung, Reihe Stahlbeton, H. 15, Bauinformation, Berlin 1970

/2/ Dahl, J.; Spaethe, G.: Sicherheit und Zuverlässigkeit von Bauwerken. Bauakademie der DDR, Schriftenreihen der Bauforschung, Reihe Technik und Organisation, H. 36, Bauinformation, Berlin 1970

/3/ RGW-Standard ST RGW 1406-78 "Beton und Stahlbetonkonstruktionen; Projektierungsgrundlagen"

/4/ CEB/FIP: Internationale Richtlinie zur Berechnung und Ausführung von Betonbauwerken, 1977

/5/ Körner, C.: Betriebsfestigkeit dynamisch beanspruchter Spannbetonquerschnitte; Berechnungsgrundlagen. Bauakademie der DDR, Bauforschung-Baupraxis, H. 24, Bauinformation, Berlin 1979