DORTMUNDER MODELL BAUWESEN

ARCHITEKT UND INGENIEUR

Philipp Gleich

Das Erweiterte Druckbogenmodell zur Beschreibung des Betontraganteils bei Querkraft

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DORTMUND
SCHRIFTENREIHE BETONBAU
Herausgeber: Professor Dr.-Ing. Reinhard Maurer

HEFT 12
2020

Philipp Gleich

Das Erweiterte Druckbogenmodell zur Beschreibung des Betontraganteils bei Querkraft

Die *Schriftenreihe Betonbau* der Technischen Universität Dortmund – Fakultät Architektur und Bauingenieurwesen umfasst Veröffentlichungen des Lehrstuhls Betonbau in den Bereichen Lehre, Forschung und Praxis.

Herausgeber

Univ. Prof. Dr.-Ing. Reinhard Maurer
Lehrstuhl Betonbau
Technische Universität Dortmund
August-Schmidt-Str. 8
44227 Dortmund

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über http://dnb.d-nb.de abrufbar.

Zugl.: Dortmund, Technische Univ., Diss., 2019

Copyright Shaker Verlag 2020
Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung, vorbehalten.

Printed in Germany.

Heft 12 der Schriftenreihe Betonbau, Fachbereich Architektur und Bauingenieurwesen, TU Dortmund
ISSN 1867-7886
ISBN 978-3-8440-7449-9

Shaker Verlag GmbH • Am Langen Graben 15a • 52353 Düren
Telefon: 02421 / 99 0 11 - 0 • Telefax: 02421 / 99 0 11 - 9
Internet: www.shaker.de • E-Mail: info@shaker.de

Das Erweiterte Druckbogenmodell zur Beschreibung des Betontraganteils bei Querkraft

Von der Fakultät Architektur und Bauingenieurwesen der
Technischen Universität Dortmund
zur Erlangung des akademischen Grades
Doktor-Ingenieur (Dr.-Ing.)

genehmigte Dissertation

von

Dipl.-Ing. Philipp Gleich

Prüfungskommission:

Vorsitzende:	Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Janette Orlowski
Referent:	Univ.-Prof. Dr.-Ing. Reinhard Maurer
Korreferent:	Univ.-Prof. Dr. Ing. Josef Hegger

Tag der mündlichen Prüfung: 8. November 2019

Dortmund, 2020

Kurzfassung

Im Zuge der Nachrechnung bestehender, älterer Spannbetonbrücken nach heute gültiger Norm erweist sich häufig die vorhandene Querkraftbewehrung in Brückenlängsrichtung als stark unterdimensioniert. Dies resultiert teilweise aus dem stetig ansteigenden Schwerlastverkehr, vor allem jedoch aus den im Laufe der letzten Jahrzehnte häufig und mitunter grundlegend modifizierten Querkraftnachweise. Infolge dieser Modifikationen änderten sich auch die konstruktiven Anforderungen an die Querkraftbewehrung. Zudem wurde in Deutschland erst im Jahr 1966 eine verbindliche Mindestquerkraftbewehrung normativ festgelegt. Letztlich ergeben sich aus diesen Modifikationen auf der Einwirkungs- und Widerstandsseite in vielen Fällen (mathematische) Querkrafttragfähigkeitsdefizite, sodass aktuell eine Vielzahl an Betonbrücken querkraftverstärkt oder sogar durch Ersatzneubauten ersetzt werden. Genauere Nachweisverfahren zur Bestimmung der tatsächlichen Querkrafttragfähigkeit sind daher für die Nachrechnung bestehender Spannbetonbrücken von großer Bedeutung.

Das den aktuellen Normen zugrundeliegende parallelgurtige Fachwerkmodell mit Rissreibung wurde im Wesentlichen an Querkraftversuchen an einfeldrigen Stahlbetonträgern kalibriert. Derartige Versuche sind in der einschlägigen Literatur umfangreich dokumentiert und liegen in großer Zahl vor. Aufgrund der i.d.R. gegebenen Kleinmaßstäblichkeit und statischen Einfeldträgersystemen blieb das spezifische Tragverhalten durchlaufender Spannbetonbalken bisher jedoch weitgehend unberücksichtigt. Es ist daher zu vermuten, dass das empirisch hergeleitete idealisierte Fachwerkmodell das spezifische Querkrafttragverhalten derartiger Tragsysteme nicht realitätsnah abbilden kann. Das Tragverhalten repräsentativer Spannbetonträger mit Durchlaufwirkung, also Durchlaufträger bzw. Einfeldträger mit ballastiertem Kragarm, wurde bislang jedoch nur im Rahmen weniger Versuche experimentell untersucht und brauchbar dokumentiert. Zur experimentellen Untersuchung des Querkrafttragverhaltens zweifeldriger Spannbetonträger wurden daher an der TU Dortmund umfangreiche Großversuche durchgeführt, wobei der Fokus auf der Variation des Querkraftbewehrungsgrades und der Belastungsart lag. Diese Versuche und die mithilfe umfangreicher Messtechnik bestimmten Ergebnisse werden umfassend dokumentiert und ausgewertet. Die Druckbogenwirkung in den Spannbetonbalken kann dabei auch messtechnisch erfasst und belegt werden.

Mithilfe des FE-Programmsystems ABAQUS werden die durchgeführten Großversuche numerisch nichtlinear simuliert und analysiert. Dazu werden zunächst das phänomenologischen Werkstoffverhaltens von Beton, Betonstahl und Spannstahl sowie die Grundalgen der numerischen Umsetzung des jeweiligen Werkstoff- und Verbundverhaltens beschrieben. Im Rahmen der anschließenden numerischen Simulationen wird untersucht, wie sich der Verlauf der inneren Kräfte lastabhängig einstellt. Im Fokus der Auswertungen steht dabei die Untersuchung der Druckbogenwirkung hinsichtlich der Beteiligung am Querkraftlastabtrag. Aufbauend auf den numerischen Simulationen der durchgeführten Großversuche werden weitergehende numerische Parameterstudien durchgeführt. In diesen Studien werden modellierungs-, geometrie- und systemabhängige Einflussgrößen untersucht, welche im Rahmen der experimentellen Untersuchungen nicht variiert und erforscht werden konnten.

Es werden zwei analytische Rechenmodelle zur Ermittlung eines zusätzlichen Querkrafttraganteils infolge Druckbogenwirkung bei der Ermittlung der Querkrafttragfähigkeit vorgespannter Balken vorgestellt: das

Druckbogenmodell (DBM) nach *Maurer* und *Kiziltan* sowie das Erweiterte Druckbogenmodell (EDBM). Bei dem DBM wird dem Fachwerkmodell mit Rissreibung die Tragwirkung eines vereinfacht bestimmten Betondruckbogens überlagert. Der Druckbogenverlauf bestimmt sich aus der Lage der horizontalen Biegedruckkraft in diskreten vertikalen Schnitten unter Berücksichtigung des Biegemomentes und der Vorspannwirkung. Es wird gezeigt, dass das DBM mit ausreichender Genauigkeit zur Ermittlung der Querkrafttragfähigkeit vorgespannter Balken im ungerissenen Zustand I oder bei ausschließlicher Biegerissbildung herangezogen werden kann. Das EDBM hingegen dient der Ermittlung der Querkrafttragfähigkeit vorgespannter Balken bei Schrägrissbildung im Grenzzustand der Tragfähigkeit. Auf Basis dieses Modells lassen sich die experimentell bestimmten Systemtraglasten in sehr guter Näherung erklären und bestimmen. Das EDBM beruht methodisch teilweise auf dem Vorgehen bei Anwendung des DBM. Zusätzlich zur horizontalen Biegedruckkraft wird jedoch auch die horizontale Komponente der geneigten Druckstrebenkräfte aus der Fachwerkwirkung im Steg infolge Querkraft bei der Bestimmung des Druckbogenverlaufes in Ansatz gebracht. Beide Ingenieurmodelle, das DBM und das EDBM, sind insbesondere für die wirklichkeitsnahe Ermittlung der Querkrafttragfähigkeit von Balkenstegen bestehender Betonbrücken entwickelt worden. Bei der Bemessung neuer Brückenbauwerke sollte hingegen weiterhin Wert auf robuste Konstruktionen durch eine querschnittsbezogene Bemessung gelegt werden.

Auf Basis der experimentellen, numerischen und analytischen Untersuchungen wird gezeigt, dass sich bei vorgespannten Balken eine deutliche Druckbogenwirkung einstellen kann. Der Druckbogen ist dabei die Stützlinie für die gegebene Belastung. Die Form der Stützlinie unter Einzelbelastung kann näherungsweise durch ein Sprengwerk idealisiert werden; die unter Streckenbelastung entspricht näherungsweise der eines Bogens. Insgesamt zeigen die Versuchsnachrechnungen, dass zur wirklichkeitsnahen Ermittlung der Querkrafttragfähigkeit der untersuchten Versuchsträger der Ansatz eines Betontraganteils infolge Druckbogenwirkung geeignet ist.

Vorwort des Herausgebers

Versuche an Spannbetonträgern zeigen, dass die tatsächliche Querkrafttragfähigkeit deutlich größer ist als die nach dem idealisierten Fachwerkmodell in Eurocode 2 rechnerisch ermittelte, selbst bei Ansatz der am Versuchsbauteil bestimmten Mittelwerte der Materialeigenschaften. Mittlerweile haben theoretische und experimentelle Untersuchungen an verschiedenen Forschungseinrichtungen zweifelsfrei gezeigt, dass die höhere Querkrafttragfähigkeit auf einen additiven Betontraganteil zurückzuführen ist. Dieser findet im idealisierten Fachwerkmodell des Eurocode 2 derzeit keine Berücksichtigung.

Das Themenfeld um den Betontraganteil bei der rechnerischen Ermittlung der Querkrafttragfähigkeit ist von prinzipieller Bedeutung sowohl für die Bemessung und Konstruktion von neuen Spannbetonbrücken, als auch besonders für die Bewertung der Tragsicherheit bestehender älterer Spannbetonbrücken. Trotz jahrzehntelanger Forschung auf nationaler und internationaler Ebene zur Beschreibung des Tragverhaltens bei einer Querkraftbeanspruchung von Spannbetonbauteilen fehlt aufgrund des sehr komplexen Zusammenwirkens verschiedener Tragmechanismen bis heute ein allgemein anerkanntes Modell. Weitgehend unstrittig sind die einzelnen Traganteile in qualitativer Hinsicht. Unterschiedliche Auffassungen bestehen jedoch im Hinblick auf ihre vom Beanspruchungsniveau abhängigen Interaktion sowie ihrer zuverlässigen Quantifizierung.

Die große baupraktische Bedeutung resultiert daraus, dass eine Vielzahl bestehender älterer Bauwerke mit den jeweils zum Zeitpunkt ihrer Herstellung gültigen Normen bemessen und hinsichtlich ihrer Bewehrung konstruktiv durchgebildet wurden. Diese Regeln wurden jedoch kontinuierlich weiterentwickelt und an neue wissenschaftlich basierte Erkenntnisse angepasst. Dadurch unterliegen bis heute die entsprechenden Bemessungsmodelle und Konstruktionsregeln bei Querkraft in den Normen starken Veränderungen. Dies hat zur Folge, dass mit den heute gültigen Normen für die älteren Bauwerke des Bestands meist keine ausreichende normgemäße Tragsicherheit bei Querkraft nachgewiesen werden kann.

Herr Gleich hat sich mit seiner Dissertation das Ziel gesetzt, dem Tragverhalten von Spannbetonbalken bei Querkraftbeanspruchung mit verschiedenen Methoden sowohl experimentell als auch theoretisch nachzugehen. Letztere umfassen sowohl numerische Simulationsberechnungen mit der nichtlinearen FEM unter Verwendung des Programmsystems ABAQUS als auch die Entwicklung eines analytischen Rechenmodells. Speziell untersucht er dabei die Fragestellung, in wie weit sich aus der Druckbogenwirkung bei Spannbetonbalken der Betontraganteil zuverlässig quantifizieren lässt, um die tatsächliche Querkrafttragfähigkeit genauer als bisher bestimmen zu können. Dazu muss zunächst der Druckbogenverlauf auch im Bereich der Innenstützen von Durchlaufträgern mit gleichzeitig hoher Querkraft- und Biegebeanspruchung zutreffend bestimmt werden. Dies führt auf eine Erweiterung des bisherigen an Einfeldträgern hergeleiteten Druckbogenmodells (DBM), wie es Kiziltan in Heft 4 der Schriftenreihe Betonbau beschrieben hat. Mit dem „Erweiterten Druckbogenmodell“ (EDBM) ist Herr Gleich in der Lage, die tatsächliche Querkrafttragfähigkeit mit ihren wesentlichen Traganteilen auch von durchlaufenden Spannbetonträgern zutreffend und sehr anschaulich abzubilden. Damit führen seine Untersuchungen zu einem besseren Verständnis des Querkrafttragverhaltens auf Bauteilebene. Die auf unterschiedlichen Wegen experimentell, numerisch und analytisch ermittelten Druckbogenverläufe, weisen eine sehr gute Übereinstimmung auf. Daraus kann Herr Gleich den Schluss ziehen, dass der Druckbogen,

den er dem idealisierten Fachwerkmodell und der Tragwirkung aus den girlandenförmig verlaufenden Spanngliedern überlagert, den entscheidenden zusätzlichen additiven Betontraganteil bei Querkraft liefert.

Der Arbeit kommt auch eine große praktische Bedeutung zu, da mit dem EDBM für bestehende ältere Bauwerke im Rahmen der Stufe 4 der Nachrechnungsrichtlinie noch eine ausreichende Tragfähigkeit bei Querkraft nachgewiesen werden kann und ggf. unnötige aufwändige Verstärkungen oder ein vorzeitiger Abriss und Neubau zumindest vorerst vermieden werden können.

Herr Gleich hat die von ihm durchgeführten Großversuche sehr detailliert und akkurat dokumentiert, damit sie auch noch im Rahmen künftiger wissenschaftlicher Untersuchungen zum Querkrafttragverhalten optimal genutzt werden können.

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Reinhard Maurer

November 2019

Vorwort des Autors

Die vorliegende Arbeit entstand zu wesentlichen Anteilen während meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl Betonbau der TU Dortmund. Mein ausdrücklicher Dank gilt Herrn Univ.-Prof. Dr.-Ing. Reinhard Maurer, Inhaber des Lehrstuhls Betonbau der TU Dortmund, für die Möglichkeit und Anregung zu dieser Arbeit. Ganz besonders möchte ich mich bei Herrn Prof. Maurer für seine sehr wertvolle Unterstützung in Form von zahllosen Gesprächen, das mir entgegengebrachte Vertrauen, seine Loyalität und sein ernsthaftes Interesse an meinem Erfolg bedanken.

Ebenso danke ich Herrn Univ.-Prof. Dr.-Ing. Josef Hegger, Inhaber des Lehrstuhls und Instituts für Massivbau der RWTH Aachen, für die Übernahme des Koreferats, die kritische Durchsicht und Anregungen zu meiner Arbeit sowie Frau Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Janette Orlowski für die Übernahme des Vorsitzes der Prüfungskommission.

Ich möchte mich ebenfalls ausdrücklich bei meinen vielen ehemaligen Kolleginnen und Kollegen am Lehrstuhl Betonbau für die freundschaftlich-kollegiale Zusammenarbeit und bei den vielen studentischen Hilfskräften für die tatkräftige Unterstützung bei der Realisierung meiner Großversuche bedanken. Ein besonderer Dank gilt Frau Dr.-Ing. Agnieszka Kolodziejczyk für die vielen konstruktiven, freundschaftlichen und unterstützenden Gespräche und fachlichen Diskussionen.

Ebenso bedanke ich mich herzlich bei den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern der Experimentierhalle, mit ausdrücklichem Dank an Herrn Dipl.-Ing. Christoph Rempe. Ohne dessen enormes Engagement und Unterstützung wären meine experimentellen Untersuchungen kaum umsetzbar gewesen.

Des Weiteren möchte ich mich bei meinen Kolleginnen und Kollegen der Fa. Exponent für ihr Verständnis während der Zeit bedanken, in der ich meine Arbeit parallel zu meinen Büroverpflichtungen abgeschlossen habe. Insbesondere bin ich Herrn Prof. Dr.-Ing. habil. Piotr Noakowski und Herrn Dr.-Ing. Andreas Harling für ihre Unterstützung und das mir entgegengebrachte Vertrauen sehr dankbar.

Auch möchte ich mich von Herzen bei Hilde und René Brüggemann dafür bedanken, mir das Berufsfeld des Bauingenieurs nahegebracht zu haben. Darüber hinaus haben mich die vielen interessanten Gespräche in vielerlei Hinsicht immer wieder unterstützt und inspiriert.

Ein ganz besonderer Dank gilt meinen Eltern und meiner Schwester für ihre stete, liebevolle und bedingungslose Unterstützung. Ohne diese Unterstützung meiner Familie wäre mein Weg ein anderer gewesen.

Schließlich möchte ich mich von Herzen bei meiner Freundin Nadja für ihre Nachsicht und ihr Anspornen bedanken. Und für das Käsebuffet am Tag meiner Verteidigung.

Philipp Gleich

Hamburg, Februar 2020

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung ... 1

1.1 Ausgangslage ... 1

1.2 Zielsetzung und Vorgehensweise ... 3

2 Grundlagen ... 5

2.1 Allgemeines ... 5

2.2 Querkrafttragverhalten ... 5

2.2.1 Versagensarten ... 5

2.2.2 Tragverhalten im ungerissenen Zustand I ... 7

2.2.3 Tragverhalten im gerissenen Zustand II ... 10

2.2.4 Weitere Einflussfaktoren auf das Querkrafttragverhalten ... 20

2.3 Querkraftbemessung und Querkraftnachrechnung in Deutschland ... 24

2.3.1 Evolution der Bemessungsvorschriften im Spannbetonbau ... 24

2.3.2 Modellgrundlagen der DIN EN 1992-2/NA ... 25

2.3.3 DIN EN 1992-2 und zugehöriger NA ... 31

2.3.4 Nachrechnungsrichtlinie (NRR) ... 34

3 Experimentelle Untersuchungen ... 37

3.1 Allgemeines ... 37

3.2 Versuchsprogramm ... 38

3.2.1 Versuchsstand ... 38

3.2.2 Versuchsablauf ... 40

3.2.3 Belastung ... 42

3.2.4 Spannweite und Querschnittsgeometrie ... 43

3.2.5 Längs- und Querkraftbewehrung ... 44

3.2.6 Spannglieder und Vorspannung ... 46

3.3 Messtechnik ... 47

3.4 Materialeigenschaften ... 52

3.5 Versuchsergebnisse und Versuchsauswertungen ... 54

3.5.1 Selektion wesentlicher Belastungsniveaus ... 54

3.5.2 Schnittgrößen ... 55

3.5.3 Vorspannkräfte ... 55

3.5.4 Last-Durchbiegungs-Beziehungen ... 58

3.5.5 Rissbildung und Bruchverhalten 60
3.5.6 Stahldehnungen und Stahlspannungen 67
3.5.7 Betondehnungen 74
3.6 Zusammenfassung 82
4 Physikalisches Materialverhalten und numerische Modellierung 83
4.1 Allgemeines 83
4.2 Physikalisches Materialverhalten unter mechanischer Beanspruchung 83
4.2.1 Beton 83
4.2.2 Beton- und Spannstahl 89
4.2.3 Tragverhalten des Verbundwerkstoffs Stahlbeton bzw. Spannbeton 90
4.3 Materialmodellierung 91
4.3.1 Einführung 91
4.3.2 Concrete Damaged Plasticity 91
4.3.3 Betonstahl, Spannstahl und Baustahl 100
4.3.4 Verbund 100
4.4 Zusammenfassung 101
5 Numerische Simulationen 103
5.1 Allgemeines 103
5.2 Strukturmodellierung 103
5.2.1 Modellbildung 103
5.2.2 Elementwahl und Diskretisierung 103
5.2.3 Vorspannung 104
5.2.4 Lagerungen und Lasten 104
5.2.5 Sonderbereiche 105
5.3 Postprocessing 106
5.3.1 Allgemeine Übersicht 106
5.3.2 Vorgehen bei der Bestimmung des Druckbogenverlaufs der numerischen Simulation 107
5.4 Simulation durchgeführter Großversuche 109
5.4.1 Allgemeines 109
5.4.2 Zum Ansatz des Viskositätsparameters 111
5.4.3 Versuchsträger unter Einzellasten (DLT 1 – DLT 3) 113

5.4.4 Versuchsträger unter Streckenlast (DLT 4) 127
5.5 Numerische Parameterstudien 133
5.5.1 Zum Einfluss des Querkraftbewehrungsgrades 134
5.5.2 Zum Einfluss des Vorspanngrades 137
5.5.3 Zum Einfluss der Laststellung 141
5.5.4 Zum Einfluss des Lastbildes 143
5.5.5 Zum Einfluss der Biegeschlankheit 146
5.6 Zusammenfassung 151
6 Analytisches Ingenieurmodell 153
6.1 Allgemeines 153
6.1.1 Verwandte Modellvorstellungen 153
6.2 Das Druckbogenmodell (DBM) 155
6.2.1 Allgemeines 155
6.2.2 Methodik bei der Anwendung 156
6.2.3 Annahmen und Vereinfachungen 157
6.3 Das Erweiterte Druckbogenmodell (EDBM) 158
6.3.1 Allgemeines 158
6.3.2 Methodik bei der Anwendung 163
6.3.3 Annahmen und Vereinfachungen 165
6.4 Nachrechnung der Dortmunder Großversuche 165
6.4.1 Querkrafttragfähigkeit gem. DIN EN 1992-2/NA 165
6.4.2 Zum Ansatz der Druckstrebenneigung bei Versuchsnachrechnungen 165
6.4.3 Querkrafttragfähigkeit im GZT 167
6.4.4 Zum Ansatz des Lastangriffs von F_{cwh} 178
6.5 Gegenüberstellung experimentell, numerisch und analytisch bestimmter Druckbogenverläufe 179
6.5.1 Allgemeines 179
6.5.2 Übergang DBM zu EDBM 180
6.5.3 Versuchsträger DLT 1 184
6.5.4 Versuchsträger DLT 2 184
6.5.5 Versuchsträger DLT 3 184
6.5.6 Versuchsträger DLT 4 186

6.6 Zusammenfassung 188

7 Zusammenfassung und Ausblick 189

7.1 Zusammenfassung 189

7.2 Ausblick 192

Literatur 195

Tabellenverzeichnis 207

Anhang 209

Abkürzungsverzeichnis

B-Bereich	Bernoulli-Bereich
BASt	Bundesanstalt für Straßenwesen
BPZ	Bruchprozesszone
CDP	Concrete Damaged Plasticity
D-Bereich	Diskontinuitätsbereich
DIN	Deutsches Institut für Normung
DLT	Durchlaufträger
DMS	Dehnungsmessstreifen
E-Modul	Elastizitätsmodul
EN	Europäische Norm
ESZ	Ebener Spannungszustand
FA	Festanker eines Spanngliedes
FB	Fachbericht
FE	Finite-Elemente
FEM	Finite-Elemente-Methode
Gl.	Gleichung
GZG	Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit
GZT	Grenzzustand der Tragfähigkeit
ISO	International Organization for Standardization
KMD	Kraftmessdose
LS	Laststufe
LVK	Last-Verformungskurve oder Last-Verformungskurven
MCFT	Modified Compression Field Theory
NA	Nationaler Anhang
NRR	Richtlinie zur Nachrechnung von Straßenbrücken (Nachrechnungsrichtlinie)
QK	Querkraft
RH	Relative Luftfeuchte der Umgebung
Rili	Richtlinie
SA	Spannanker eines Spanngliedes
SDL	Spannungs-Dehnungs-Linie
SPG	Spannglied
TU	Technische Universität
VBA	Visual Basic for Applications
WA	Wegaufnehmer
Z^{I}	Zustand I, Querschnitt ungerissen
Z^{II}	Zustand II, Querschnitt gerissen
ZB	Zusätzliche Bestimmungen

Lateinische Großbuchstaben

A_n	Summe der projizierten Kontaktfläche der Gesteinskörner normal zur Rissfläche
A_p	Querschnittsfläche des Spannstahls
$A_{s,i}$	Querschnittsfläche eines Querkraftbewehrungselements
A_{sl}	Fläche der Längsbewehrung
A_{sw}	Querschnittsfläche der Querkraftbewehrung
A_t	Summe der projizierten Kontaktfläche der Gesteinskörner tangential zur Rissfläche
D	Schädigungsparameter
D_{max}	Größtkorndurchmesser
E_{cm}	Mittlerer Elastizitätsmodul des Betons als Sekante
E_{pm}	Mittlerer Elastizitätsmodul des Spannstahl
E_{sm}	Mittlerer Elastizitätsmodul des Betonstahls
F	Einzellast, Kraft
F_c	Biegedruckkraft, horizontale Druckbogenkraft gem. DBM
$F_{c,M+V}$	Horizontale Biegedruckkraft gem. EDBM
F_{cd}	Bemessungswert der Betondruckkraft in Richtung der Längsachse des Bauteils
F_{cdw}	Bemessungswert der schrägen Betondruckstreben infolge Querkraft
F_{ch}	horizontale Biegedruckkraft
F_{cw}	Schrägen Betondruckstrebenkraft infolge Querkraft
F_{cwh}	Horizontale Kraftkomponente der schrägen Betondruckstrebe infolge Querkraft
F_{pd}	Bemessungswert der Spannstahlkraft
F_{sd}	Bemessungswert der Zugkraft der Biegebewehrung aus Betonstahl
F_{sdw}	Bemessungswert der summierten Bügelkräfte entlang eines schrägen Schnitts
F_{s+p}	Resultierende Zugkraft im Beton- und Spannstahl
$F_{u,Exp}$	Experimentell ermittelte Systemtraglast
$F_{u,Sim}$	Systemtraglast einer numerischen Simulation
G	Konstruktionseigengewicht
G_{cl}	Zerstauchungsenergie
K_c	Invariantenverhältnis auf Zug- und Druckmeridianen
M_E	Einwirkendes Biegemoment
N_{Ed}	Bemessungswert der Längsdruckkraft im Querschnitt
P	Vorspannung
$P_{0a,SA,Exp}$	Gemessene Vorspannkraft vor dem Verankern der Spannglieder am Spannanker
$P_{0e,SA,Exp}$	Gemessene Vorspannkraft nach dem Verankern der Spannglieder am Spannanker
$P_{m0,FA,Exp}$	Gemessene Vorspannkraft direkt nach dem Verankern der Spannglieder am Festanker
$P_{m0,FA,calc}$	Rechnerische Vorspannkraft direkt nach dem Verankern der Spannglieder am Festanker
V_{Ed0}	Bemessungswert der einwirkenden Querkraft
V_{BPZ}	Querkrafttraganteil der Bruchprozesszone des Betons
V_{cc}	Querkrafttraganteil der Betondruckzone, auch Querkrafttraganteil des Betons infolge Druckbogenwirkung
V_{ccd}	Bemessungswert der Querkraftkomponente in der Druckzone bei geneigtem Druckgurt

V_{cr}	Querkrafttraganteil des Betons infolge Rissuferverzahnung
V_D	Querkrafttraganteil infolge Dübelwirkung der Biegezugbewehrung
V_{Ed}	Bemessungswert der einwirkenden Querkraft, welche durch Querkraftbewehrung aufgenommen werden muss
V_p	Querkrafttraganteil infolge Vorspannwirkung (häufig auch synonym für den statisch bestimmten Anteil der Querkraft infolge Vorspannwirkung verwendet)
$V_{p,dir}$	Statisch bestimmter Anteil der Querkraft infolge Vorspannwirkung
$V_{p,ind}$	Statisch unbestimmter Anteil der Querkraft infolge Vorspannwirkung
V_{Rd}	Bemessungswert des Querkraftwiderstands
$V_{Rd,c}$	Bemessungswert des Querkraftwiderstands eines Bauteils ohne Querkraftbewehrung
$V_{Rd,cc}$	Bemessungswert des Betontraganteils infolge Rissverzahnungswirkung
$V_{Rd,max}$	Bemessungswert des durch die Druckstrebenfestigkeit begrenzten maximalen Querkraftwiderstands
$V_{Rd,s}$	Bemessungswert des durch die Fließgrenze der Querkraftbewehrung begrenzten Querkraftwiderstands
V_{Rs}	Querkrafttraganteil der Querkraftbewehrung
V_{td}	Bemessungswert der Querkraftkomponente in der Zugbewehrung bei geneigtem Zuggurt
V_u	Querkrafttragwiderstand

Lateinische Kleinbuchstaben

a	Schubspannweite
b_c	Schädigungsparameter im Druckbereich
b_F	Breite des Flansches eines Querschnitts
b_t	Schädigungsparameter im Zugbereich
b_w	Kleinste Querschnittsbreite zwischen Zug- und Druckgurt
d	Statische Höhe
d_p	Statische Höhe des Spannstahls
d_s	Statische Höhe des Betonstahls
f	Frequenz, Streckenlast
$f_{c,cube}$	Würfeldruckfestigkeit von Beton
f_{cm}	Mittelwert der Zylinderdruckfestigkeit des Betons
$f_{cm,cube}$	Mittelwert der Würfeldruckfestigkeit des Betons
f_{ct}	Zentrische Betonzugfestigkeit
f_{ctm}	Mittelwert der zentrischen Betonzugfestigkeit
$f_{p0,1}$	Technische Fließspannung des Spannstahls
f_{ym}	Mittelwert der Streckgrenze des Betonstahls
f_{ywd}	Bemessungswert der Streckgrenze der Querkraftbewehrung
h	Höhe eines Querschnitts
h_F	Höhe des Flansches eines Querschnitts
l	Feldspannweite

s_w	Abstand der Querkraftbewehrung entlang der Bauteilachse
w	Rissbreite
w_c	Kritische Rissöffnung
w_{cr}	Rissöffnung (senkrecht zum Riss)
x	Druckzonenhöhe; Position längs eines Balkens
z	Innerer Hebelarm
z_s	Innerer Hebelarm bezogen auf die Schwerelinie des Betonstahls
z_p	Innerer Hebelarm bezogen auf die Schwerelinie des Spannglieds
z_{gew}	Gewichteter innerer Hebelarm
z_{M+V}	Innerer Hebelarm bei Querkraftbiegung

Griechische Buchstaben

α	Winkel zwischen Querkraftbewehrung und der rechtwinklig zur Querkraft verlaufenden Bauteilachse
α_{cw}	Beiwert zur Berücksichtigung des Spannungszustandes im Druckgurt
α_e	Formgebungsparameter zur Beschreibung der Fließregel
β_r	Winkel zwischen Rissneigung und der Bauteilachse
β_z	Charakteristischer Wert der Spannstahlzugfestigkeit gem. DIN 4227 Teil 1:10-1953
$\Delta\varepsilon_p$	Dehnungsänderung im Spannglied
Δ_{cr}	Rissgleitung (parallel zum Riss)
ε	Dehnung
ε_1	Hauptzugdehnung
ε_2	Hauptdruckdehnung
ε_p	Dehnung des Spanngliedes
$\varepsilon_{p0,1}$	0,1%-Dehngrenze des Spannstahls
$\varepsilon_{p,0}$	Vordehnung des Spanngliedes
θ	Druckstrebenwinkel
θ_B	Druckstrebenwinkel im B-Bereich
θ_{LS}	Resultierender Druckstrebenwinkel unter einer Laststufe, welche unterhalb der Laststufe im GZT liegt
θ_{Ri}	Resultierender Druckstrebenwinkel innerhalb eines Druckstrebenfächers im D-Bereich
λ_B	Biegeschlankheit
λ_S	Schubschlankheit
μ	Viskositätsparameter, Reibbeiwert zwischen Spannglied und Hüllrohr, Reibungskoeffizient zwischen Gesteinskörnung und Zementmatrix
ν_1	Abminderungsbeiwert für die Betonfestigkeit bei Schubrissen
ν_c	Querdehnzahl von Beton
ρ_l	Geometrisches Bewehrungsverhältnis der Längsbewehrung
$\rho_{w,geo}$	Geometrisches Bewehrungsverhältnis der Querkraftbewehrung
$\rho_{w,min}$	Mindestquerkraftbewehrungsgrad

η	Faktor zur Anpassung der Druckstrebenneigung im Rahmen des EDBM
σ	Spannung
σ_1	Hauptzugspannung
σ_2	Hauptdruckspannung
σ_c	Spannung im Beton
σ_{cp}	Bemessungswert der Betonlängsspannung in Höhe des Schwerpunkts des Querschnitts
σ_{cr}	Spannungskomponente infolge Rissreibung senkrecht zum Riss
σ_{pu}	Druckfestigkeit der Zementmatrix
σ_s	Spannung im Stahl
$\sigma_{s,i}$	Spannung eines Querkraftbewehrungselements
σ_x	Spannung in Balkenlängsrichtung
τ_{cr}	Spannungskomponente infolge Rissreibung parallel zum Riss
τ_{xy}	Schubspannung im Schnitt senkrecht zur Balkenlängsachse
ψ	Dilatanzwinkel