



4H- STATIKPROGRAMME
AUS HANNOVER

DTE Desktop[®]
Engineering



pcae GmbH

Kopernikusstr. 4A

30167 Hannover

Tel 0511/70083-0

Fax 0511/70083-99

Internet www.pcae.de

Mail dte@pcae.de



- Nachweiskonzept

Nachweistypen

Oktober 2012



pcae - Nachweiskonzept

Nachweistypen

Copyright 2004-2012

pcae GmbH, Kopernikusstr. 4 A, 30167 Hannover

Letzte Aktualisierung: Okt. 2012

Zur Gesamtdokumentation des Nachweiskonzeptes gehört das Handbuch *pcae-Nachweiskonzept 2009, Theorie und programmtechnische Umsetzung*. (Der theoretische Teil und die Beschreibung der Programmhandhabung im Handbuch *pcae-Nachweiskonzept 2007/2009* behalten ihre Gültigkeit).

pcae versichert, dass Handbuch und Programm nach bestem Wissen und Gewissen erstellt wurden. Für absolute Fehlerfreiheit kann jedoch infolge der komplexen Materie keine Gewähr übernommen werden.

Änderungen an Programm und Beschreibung vorbehalten.

Korrekturen und Ergänzungen zum vorliegenden Handbuch sind ggf. auf der aktuellen Installations-CD enthalten. Ergeben sich Abweichungen zur Online-Hilfe, ist diese aktualisiert. Ferner finden Sie [Verbesserungen und Tipps im Internet unter www.pcae.de](http://www.pcae.de).

Teile dieses Handbuches dürfen unter Angabe der Quelle vervielfältigt werden.

Inhaltsverzeichnis

1	Nachweistypen.....	6
1.1	Stahlbeton.....	6
1.1.1	Allgemeines.....	6
1.1.1.1	Grundbewehrung.....	6
1.1.2	Besonderheiten.....	7
1.1.2.1	Besonderheiten bei Flächenträgern.....	7
1.1.2.2	Besonderheiten bei einachsigen Stabträgern.....	10
1.1.2.3	Besonderheiten bei zweiachsigen Stabträgern.....	11
1.1.2.4	Besonderheiten bei Unter-/Überzügen von räumlichen Flächenträgern (Faltwerken).....	12
1.1.3	Nachweise n. Eurocode 2.....	14
1.1.3.1	Stahlbetonbemessung n. Eurocode 2.....	14
1.1.3.1.1	optionale Einstellungen.....	14
1.1.3.1.2	objektbezogene Bemessungsangaben.....	15
1.1.3.1.2.1	Material.....	15
1.1.3.1.3	Biegebemessung.....	15
1.1.3.1.4	Schubbemessung.....	16
1.1.3.1.4.1	Schubbemessung für Querkraft.....	16
1.1.3.1.4.2	Schubbemessung für Torsion.....	18
1.1.3.1.4.3	Schubbemessung für Querkraft und Torsion.....	18
1.1.3.1.4.4	Nachweis der Hauptdruckspannungen im Beton.....	18
1.1.3.2	Rissnachweis n. Eurocode 2.....	19
1.1.3.2.1	optionale Einstellungen.....	19
1.1.3.2.2	objektbezogene Bemessungsangaben.....	19
1.1.3.2.2.1	Mindestbewehrung für die Begrenzung der Rissbreite (7.3.2).....	20
1.1.3.2.2.2	Begrenzung der Rissbreite ohne direkte Berechnung (7.3.3).....	20
1.1.3.2.2.3	Berechnung der Rissbreite (7.3.4).....	21
1.1.3.2.3	Rissnachweis n. Schießl bzw. Noakowski.....	21
1.1.3.3	Ermüdungsnachweis n. Eurocode 2.....	22
1.1.3.3.1	optionale Einstellungen.....	22
1.1.3.3.2	objektbezogene Bemessungsangaben.....	22
1.1.3.3.3	Verfahren.....	22
1.1.3.3.3.1	Vereinfachte Nachweise (6.8.6, 6.8.7 (2)).....	23
1.1.3.3.3.2	Nachweis über schädigungsäquivalente Spannungsschwingbreiten (6.8.5, 6.8.7 (1)).....	23
1.1.3.4	Spannungsnachweis n. Eurocode 2.....	24
1.1.3.4.1	optionale Einstellungen.....	24
1.1.3.4.2	objektbezogene Bemessungsangaben.....	25
1.1.3.4.3	Verfahren.....	25
1.1.3.4.3.1	Betondruckspannungen.....	25
1.1.3.4.3.2	Stahlzugspannungen.....	25
1.1.4	Nachweise n. DIN 1045-1.....	26
1.1.4.1	Stahlbetonbemessung n. DIN 1045-1.....	26
1.1.4.1.1	optionale Einstellungen.....	26
1.1.4.1.2	Besonderheiten bei der Querkraftbemessung von Flächentragwerken.....	26
1.1.4.1.3	objektbezogene Bemessungsangaben.....	27
1.1.4.1.3.1	Material.....	27
1.1.4.1.4	Biegebemessung.....	30
1.1.4.1.5	Schubbemessung.....	30
1.1.4.1.5.1	Schubbemessung von Flächenpositionen.....	31
1.1.4.1.5.2	Schubbemessung von Balken.....	31
1.1.4.1.5.3	Schubbemessung für Querkraft.....	31
1.1.4.1.5.4	Besonderheiten bei zweiachsiger Querkraftbeanspruchung (geneigter Querkraft).....	33
1.1.4.1.5.5	Schubbemessung für Torsion.....	34
1.1.4.1.5.6	Schubbemessung für Querkraft und Torsion.....	34
1.1.4.1.5.7	Nachweis der Hauptdruckspannungen im Beton.....	34
1.1.4.2	Rissnachweis n. DIN 1045-1.....	35
1.1.4.2.1	optionale Einstellungen.....	35
1.1.4.2.2	objektbezogene Bemessungsangaben.....	35
1.1.4.2.2.1	Mindestbewehrung für die Begrenzung der Rissbreite (11.2.2).....	36
1.1.4.2.2.2	Begrenzung der Rissbreite ohne direkte Berechnung (11.2.3).....	37
1.1.4.2.3	Berechnung der Rissbreite (11.2.4).....	37
1.1.4.2.4	Rissnachweis n. Schießl bzw. Noakowski.....	38
1.1.4.3	Ermüdungsnachweis n. DIN 1045-1.....	38
1.1.4.3.1	optionale Einstellungen.....	40

1.1.4.3.2	objektbezogene Bemessungsangaben.....	40
1.1.4.3.3	Verfahren	40
1.1.4.3.3.1	Vereinfachte Nachweise (10.8.4).....	40
1.1.4.3.3.2	Nachweis über schädigungsäquivalente Spannungsschwingbreiten (10.8.3).....	41
1.1.4.4	Spannungsnachweis n. DIN 1045-1.....	42
1.1.4.4.1	optionale Einstellungen.....	42
1.1.4.4.2	objektbezogene Bemessungsangaben.....	42
1.1.4.4.3	Verfahren	43
1.1.4.4.3.1	Betondruckspannungen.....	43
1.1.4.4.3.2	Stahlzugspannungen.....	43
1.1.4.5	Bemessung n. DIN 1045-1 (Theorie II. Ord.).....	43
1.1.4.6	Knicksicherheit n. DIN 1045-1 (Zustand 2).....	43
1.1.4.7	Durchbiegung im Zustand 2 n. DIN 1045-1.....	43
1.1.5	Nachweise n. ÖNORM B 4700.....	44
1.1.5.1	Stahlbetonbemessung n. ÖNORM B 4700.....	44
1.1.5.1.1	optionale Einstellungen.....	44
1.1.5.1.2	objektbezogene Bemessungsangaben.....	44
1.1.5.1.2.1	Material.....	45
1.1.5.1.3	Biegebemessung	46
1.1.5.1.4	Schubbemessung	47
1.1.5.1.4.1	Schubbemessung für Querkraft.....	47
1.1.5.1.4.2	Schubbemessung für Torsion.....	48
1.1.5.1.4.3	Schubbemessung für Querkraft und Torsion	49
1.1.5.1.4.4	Nachweis der Hauptdruckspannungen im Beton	49
1.1.5.2	Rissnachweis n. ÖNORM B 4700.....	49
1.1.5.2.1	optionale Einstellungen.....	49
1.1.5.2.2	objektbezogene Bemessungsangaben.....	50
1.1.5.2.2.1	Risseverteilende Bewehrung bei überwiegender Zwangsbeanspruchung (4.2.2).....	50
1.1.5.2.2.2	Bewehrungsregeln für Bauteile unter überwiegender Lastbeanspruchung (4.2.3).....	51
1.1.5.2.3	Rissnachweis n. Schießl bzw. Noakowski	51
1.1.6	Nachweise n. DIN 1045.....	52
1.1.6.1	Stahlbetonbemessung n. DIN 1045 (Theorie I. Ord.).....	52
1.1.6.1.1	optionale Einstellungen.....	52
1.1.6.1.2	Besonderheiten bei der Querkraftbemessung von Flächentragwerken	52
1.1.6.1.3	objektbezogene Bemessungsangaben.....	53
1.1.6.1.4	Material	53
1.1.6.1.5	Biegebemessung	54
1.1.6.1.6	Schubbemessung	54
1.1.6.1.6.1	Schubbemessung von Flächenpositionen.....	54
1.1.6.1.6.2	Schubbemessung von Balken.....	54
1.1.6.1.6.3	Bemessung für Querkraft	54
1.1.6.1.6.4	Bemessung für Torsion	55
1.1.6.1.6.5	Bemessung für Querkraft und Torsion	55
1.1.6.1.6.6	Nachweis der Hauptdruckspannungen im Beton	56
1.1.6.2	Rissnachweis n. DIN 1045.....	56
1.1.6.2.1	optionale Einstellungen.....	56
1.1.6.2.2	objektbezogene Bemessungsangaben.....	57
1.1.6.2.3	Rissnachweis n. DIN 1045.....	57
1.1.6.2.3.1	Mindestbewehrung (17.6.2).....	57
1.1.6.2.3.2	Regeln für die statisch erforderliche Bewehrung (17.6.3).....	58
1.1.6.2.4	Rissnachweis n. Schießl.....	59
1.1.6.2.5	Rissnachweis n. Noakowski.....	59
1.1.6.3	Schwingbreitennachweis n. DIN 1045	59
1.1.6.3.1	optionale Einstellungen.....	59
1.1.6.3.2	objektbezogene Bemessungsangaben.....	60
1.1.6.3.3	Verfahren	60
1.1.6.4	Stahlbetonbemessung n. DIN 1045 (Theorie II. Ord.).....	60
1.1.6.5	Knicksicherheit n. DIN 1045 (Zustand 2).....	61
1.1.6.6	Durchbiegung im Zustand 2 n. DIN 1045.....	61
1.2	Stahl.....	62
1.2.1	Nachweise n. DIN 18800 (Theorie I. Ord.).....	62
1.2.2	Nachweise n. DIN 18800 (Theorie II. Ord.).....	62
1.2.3	Nachweise n. DIN 18800 (Fließgelenke, Theorie II. Ord.).....	62
1.2.4	Allgemeines	62
1.2.5	elastischer Nachweis - Spannungsberechnung	63

1.2.6	plastischer Nachweis.....	64
1.2.7	grenz (b/t) - Beulnachweis der Querschnittsteile	64
1.3	Holz.....	65
1.3.1	Nachweise n. Eurocode 5.....	65
1.3.1.1	Tragfähigkeitsnachweis (Theorie I. Ord.)	65
1.3.1.2	Gebrauchstauglichkeitsnachweis	66
1.3.1.3	Brandschutznachweis	67
1.3.1.4	Tragfähigkeitsnachweis n. Th. II. Ord.	68
1.3.2	Nachweise n. DIN 1052:2008-12.....	69
1.3.2.1	Allgemeines	69
1.3.2.2	Tragfähigkeitsnachweis	70
1.3.2.2.1	Verfahren	70
1.3.2.2.2	Besonderheiten bei der Lastfallüberlagerung	71
1.3.2.2.3	stabbezogene Nachweisoptionen	73
1.3.2.3	Gebrauchstauglichkeitsnachweis in der seltenen Bemessungssituation.....	74
1.3.2.3.1	Verfahren	74
1.3.2.3.2	Besonderheiten bei der Lastfallüberlagerung	75
1.3.2.3.3	stabbezogene Nachweisoptionen	76
1.3.2.4	Gebrauchstauglichkeitsnachweis in der quasiständigen Bemessungssituation.....	77
1.3.2.4.1	Verfahren	77
1.3.2.4.2	Besonderheiten bei der Lastfallüberlagerung	77
1.3.2.4.3	stabbezogene Nachweisoptionen	77
1.3.2.5	Brandschutznachweis für Holzbauten.....	78
1.3.2.5.1	optionale Einstellungen	78
1.3.2.5.2	Verfahren	79
1.3.2.5.3	stabbezogene Nachweisoptionen	80
1.3.2.6	Tragfähigkeitsnachweis n. Theorie II. Ord.	81
1.3.2.6.1	Verfahren	81
1.3.3	Nachweise n. DIN 1052, April 1988.....	82
1.3.3.1	Allgemeines	82
1.3.3.1.1	Lastfallarten.....	82
1.3.3.1.2	Spannungen.....	82
1.3.3.1.3	Spannungsnachweis.....	82
1.3.3.1.4	Knicksicherheit.....	83
1.3.3.2	Holznachweise n. Theorie I. Ord.....	83
1.3.3.2.1	Nachweise im Lastfall H (Theorie I. Ord.).....	83
1.3.3.2.1.1	Verfahren.....	83
1.3.3.2.2	Nachweise im Lastfall HZ (Theorie I. Ord.).....	83
1.3.3.2.2.1	Verfahren.....	83
1.3.3.2.3	Nachweise im Lastfall HZS (Theorie I. Ord.)	84
1.3.3.2.3.1	Verfahren.....	84
1.3.3.3	Holznachweise n. Theorie II. Ord.....	84
1.3.3.3.1	Nachweise im Lastfall H (Theorie II. Ord.).....	84
1.3.3.3.1.1	Verfahren.....	84
1.3.3.3.2	Nachweise im Lastfall HZ (Theorie II. Ord.).....	84
1.3.3.3.2.1	Verfahren.....	84
1.4	allgemeine Materialien ohne Normenbezug	85
1.4.1	Allgemeines	85
1.4.1.1	Lastfallarten.....	85
1.4.1.2	Spannungen	85
1.4.1.3	Spannungsnachweis	85
1.4.2	Allgemeine Spannungsnachweise n. Theorie I. Ord.	86
1.4.2.1	Nachweis der Spannungen im Lastfall H (Theorie I. Ord.)	86
1.4.2.1.1	Verfahren	86
1.4.2.2	Nachweis der Spannungen im Lastfall HZ (Theorie I. Ord.)	86
1.4.2.2.1	Verfahren	86
1.4.3	allgemeine Spannungsnachweise n. Theorie II. Ord.....	86
1.4.3.1	Nachweis der Spannungen im Lastfall H (Theorie II. Ord.)	87
1.4.3.1.1	Verfahren	87
1.4.3.2	Nachweis der Spannungen im Lastfall HZ (Theorie II. Ord.)	87
1.4.3.2.1	Verfahren	87
1.5	vom Material unabhängige Nachweise	88
1.5.1	Schnittgrößenermittlung (Theorie I. Ord.)	88
1.5.2	Schnittgrößenermittlung (Theorie II. Ord.)	88

1.6	Brückenbau - Massivbrücken	89
1.6.1	DIN-Fachbericht FB 102	89
1.6.1.1	Nachweis der Tragfähigkeit für Biegung S/V	89
1.6.1.1.1	optionale Einstellungen	89
1.6.1.1.2	objektbezogene Bemessungsangaben	89
1.6.1.1.3	Verfahren	89
1.6.1.2	Nachweis der Tragfähigkeit für Biegung A	90
1.6.1.2.1	Verfahren wie 1.6.1.1.3 Tragfähigkeit für Biegung S/V (S. 89).....	90
1.6.1.3	Nachweis der Tragfähigkeit für Biegung E	90
1.6.1.3.1	Verfahren wie 1.6.1.1.3 Tragfähigkeit für Biegung S/V (S. 89).....	90
1.6.1.4	Nachweis der Tragfähigkeit für Schub S/V	90
1.6.1.4.1	objektbezogene Bemessungsangaben.....	90
1.6.1.4.2	Verfahren	91
1.6.1.4.2.1	Bemessung für Querkräfte	91
1.6.1.4.2.2	Bemessung für Torsion	92
1.6.1.4.2.3	kombinierte Beanspruchung aus Querkraft und Torsion.....	93
1.6.1.5	Nachweis der Tragfähigkeit für Schub A.....	93
1.6.1.5.1	objektbezogene Bemessungsangaben.....	93
1.6.1.5.2	Verfahren	93
1.6.1.6	Nachweis der Tragfähigkeit für Schub E.....	93
1.6.1.6.1	objektbezogene Bemessungsangaben.....	93
1.6.1.6.2	Verfahren	93
1.6.1.7	Nachweis der Robustheitsbewehrung.....	94
1.6.1.7.1	objektbezogene Bemessungsangaben.....	94
1.6.1.7.2	Verfahren	94
1.6.1.8	Allgemeines zu Ermüdungsnachweisen	94
1.6.1.8.1	Ermüdungsnachweis Stufe 1	95
1.6.1.8.1.1	Verfahren	95
1.6.1.8.2	Ermüdungsnachweis Stufe 2	96
1.6.1.8.2.1	optionale Einstellungen	96
1.6.1.8.2.2	objektbezogene Bemessungsangaben	96
1.6.1.8.2.3	Verfahren	97
1.6.1.9	Nachweis der Betonrandspannungen	97
1.6.1.9.1	Verfahren	97
1.6.1.10	Nachweis der Rissbreite Klasse A	97
1.6.1.10.1	optionale Einstellungen.....	97
1.6.1.10.2	objektbezogene Bemessungsangaben.....	98
1.6.1.10.3	Verfahren	98
1.6.1.11	Nachweis Mindestbewehrung zur Begrenzung der Rissbreite	98
1.6.1.12	Nachweis Berechnung der Rissbreite	98
1.6.1.13	Nachweis der Rissbreite Klasse B	98
1.6.1.13.1	optionale Einstellungen.....	99
1.6.1.13.2	objektbezogene Bemessungsangaben.....	99
1.6.1.13.3	Verfahren	99
1.6.1.14	Nachweis der Rissbreite Klasse C/D	99
1.6.1.14.1	optionale Einstellungen.....	99
1.6.1.14.2	objektbezogene Bemessungsangaben.....	99
1.6.1.14.3	Verfahren	99
1.6.1.15	Nachweis der Rissbreite Klasse E	99
1.6.1.15.1	optionale Einstellungen.....	99
1.6.1.15.2	objektbezogene Bemessungsangaben.....	99
1.6.1.15.3	Verfahren	99
1.6.1.16	Nachweis der Betondruckspannungen im Bauzustand	100
1.6.1.16.1	Verfahren	100
1.6.1.17	Nachweis der Betondruck- und Betonstahlspannungen.....	100
1.6.1.17.1	Verfahren	100
1.6.1.17.2	Nachweis der Betondruckspannungen	100
1.6.1.17.3	Nachweis der Betonstahlspannungen	100
1.6.1.18	Nachweis der Betondruckspannungen (K+S wesentlich)	101
1.6.1.18.1	Verfahren	101
1.6.1.19	Nachweis der Spannstahlspannungen.....	101
1.6.1.19.1	Verfahren	101
1.6.1.20	Nachweis der Dekompression Klasse A	101
1.6.1.20.1	Verfahren	101
1.6.1.21	Nachweis der Dekompression Klasse B	102

1.6.1.21.1	Verfahren	102
1.6.1.22	Nachweis der Dekompression Klasse C	102
1.6.1.22.1	Verfahren	102
1.6.1.23	Nachweis der Hauptzugspannungen	102
1.6.1.23.1	Verfahren	102
2	Verzeichnisse	103
2.1	Literaturverzeichnis	103
2.2	Verzeichnis der Abbildungen	104
2.3	Verzeichnis der Tabellen	105
2.4	Index	105

1 Nachweistypen

In diesem Abschnitt werden die in den **pcae**-Programmen zur Auswahl angebotenen Nachweistypen vorgestellt.

1.1 Stahlbeton

1.1.1 Allgemeines

In den **pcae**-Programmen *##FRAP*, *##ALFA* und *##NISI* erfolgt die Eingabe von Nachweisen an zwei Stellen.

Zum einen werden *stab- oder positionsbezogene Bemessungsoptionen* festgelegt, die - wie der Name schon sagt - stab- oder positionsweise unterschiedlich sein können. Sie werden nur bei Aktivierung des entsprechenden Nachweises verwendet.

Im Unterschied dazu sind *Nachweisoptionen* zu setzen, die dann für alle nachzuweisenden Flächenpositionen und Stäbe gelten und entweder den Ablauf des Nachweises steuern oder Speziallösungen bieten.

Das Programm *##DULAB* nutzt die Nachweisrichtlinien, benötigt aber durchlaufträgerspezifische Parameterbeschreibungen. Auf diese Besonderheiten wird in diesem Dokument nicht explizit eingegangen.

Anhand der zugehörigen Eigenschaftsblätter über stab- oder positionsbezogene Bemessungsoptionen werden die implementierten Nachweise erläutert. Die jeweils beschriebenen Abschnitte sind in den Abbildungen rot umrandet dargestellt.

Das Eigenschaftsblatt in Abb. 1 ist in eine Anzahl Registerblätter eingeteilt. Das Register *Allgemein* gilt für alle Nachweise. Hier können Stahlrandabstände, Grundbewehrung, Bewehrungsanordnung etc. angegeben werden. Insbesondere wird hier festgelegt, ob die Position oder der Stab überhaupt bei einem Stahlbetonnachweis berücksichtigt werden soll.

Die weiteren Register enthalten optionale Angaben für Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit (GZT) bzw. Gebrauchstauglichkeit (GZG), aufgeschlüsselt nach jeweils verschiedenen Richtlinien (Normen). Derzeit sind implementiert:

DIN 1045 (7.88) /17/

DIN 1045-1 (7.01) /18/

DIN-Fachbericht 102 (3.03) /22/

ÖNORM B 4700 (6.01) /23/

DIN EN 1992-1-1 (Eurocode 2, 10.05) /24/



Achtung: Bei der Generierung von Nachweisen ist auf eine sinnvolle Reihenfolge zu achten. Traglastnachweise sind vor Gebrauchsfähigkeitsnachweisen anzuordnen, da das Biegebemessungsergebnis Eingangswerte (Bewehrung) für die nachfolgenden Gebrauchsfähigkeitsnachweise liefert.

1.1.1.1 Grundbewehrung

Es kann eine Grundbewehrung (s. Abb. 1, S. 7, Abb. 2, S. 10, und Abb. 3, S. 11) angegeben werden, die mit den Bemessungsergebnissen abgeglichen wird. Die Grundbewehrung erfüllt mehrere Funktionen:

Bei Nachweisen, die im GZT nach Theorie I. Ord. geführt werden (Biegebemessung), ermöglicht sie die Berücksichtigung von konstruktiv sowieso schon vorhandener Bewehrung in den Ergebnisgrafiken.

Für Nachweise, die im GZT nach Theorie II. Ord. oder im Zustand 2 (Biegebemessung, Knicksicherheit, Durchbiegung Z2) geführt werden, dient sie als sinnvoller Startwert der Iteration.

Die Nachweise, die im GZG (Spannungsnachweis, Rissnachweis, Ermüdungs-/ Schwingnachweis) geführt werden, können auf diese Weise die vorhandene Bewehrung nutzen.

In den Ergebnisdarstellungen werden nachweisbezogen zusätzlich zur Gesamtbewehrung stets auch die in den Nachweis eingehende Bewehrung sowie die Zusatzbewehrung ausgewiesen.

1.1.2

Besonderheiten

1.1.2.1

Besonderheiten bei Flächenträgern

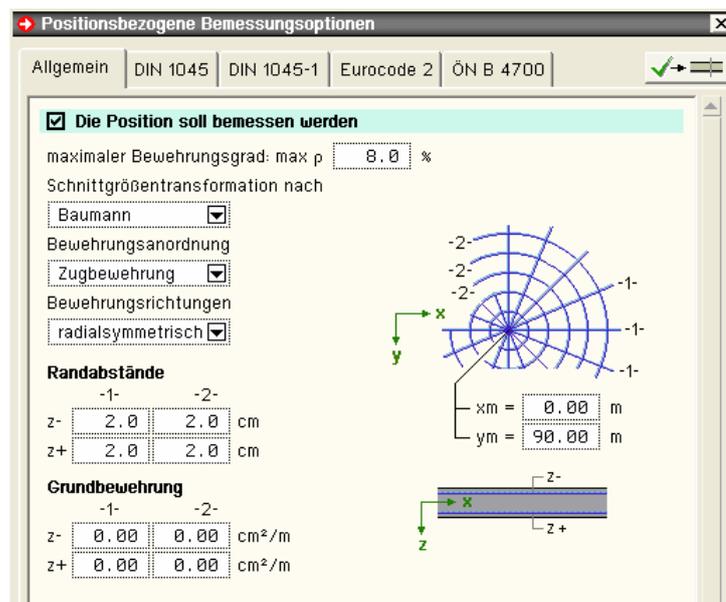


Abb. 1: Positionsbezogene Bemessungsoptionen

Wesentlich bei allen Nachweisen ist die Umrechnung der berechneten, kartesischen FEM-Schnittgrößen auf die Bewehrungsrichtungen, da sich nur dann die für einachsige Balken entwickelten und dokumentierten Nachweisverfahren anwenden lassen.

Es kann zwischen **orthogonalem**, **radialsymmetrischem**, **schiefwinkligem** und **aufgefächertem Bewehrungsgitter** gewählt werden, wobei die obere und untere Lage die gleichen Richtungen aufweisen. Das orthogonale Gitter kann um den Winkel α (Bewehrungsrichtung 1: positiv von x nach y drehend) von der x-Richtung abweichen; beim schiefwinkligen Gitter ist zusätzlich der Winkel β von Bewehrungsrichtung 1 zur Bewehrungsrichtung 2 anzugeben (orthogonal: $\beta = 90^\circ$).

Für die radialsymmetrische Bewehrung wird der Ursprung mit x_0, y_0 festgelegt (Bewehrungsrichtung 1: radial, Bewehrungsrichtung 2: tangential).

Die aufgefächerte Bewehrungsanordnung eignet sich besonders für vieleckige Plattenbauteile. Hierbei sind der Winkel α der parallelen Bewehrung (Richtung 1) sowie der Mittelpunkt der radialen Bewehrung (Richtung 2) einzugeben.

Die Transformation der Schnittgrößen aus der FEM-Rechnung kann für ebene Flächenträger nach **Baumann**, **EC2** oder **Thürlimann** erfolgen. Für **Faltwerke** gilt nur das Verfahren nach **Thürlimann**, da dort Normalkräfte und Biegemomente gemeinsam behandelt werden.

Baumann

Das Verfahren von Baumann basiert auf der Rückführung der Plattenbiegung auf Scheibenkräfte. Es gilt nur für ebene Flächenträger mit nur einer Schnittgrößenart (nur Normalkräfte oder nur Biegemomente).

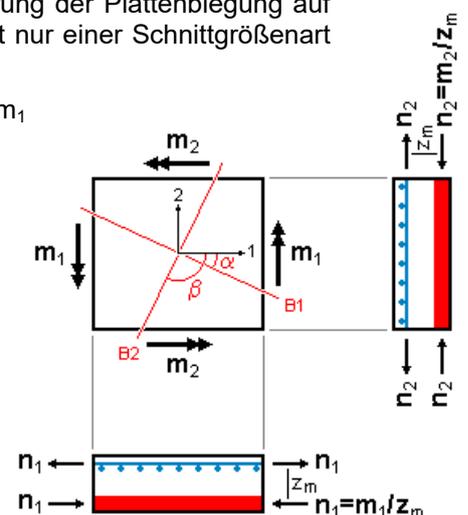
Die folgenden Formeln sind für die Hauptmomente m_1 und m_2 mit dem Hauptmomentenwinkel α_m formuliert.

Hauptmomente

$$m_1 = \frac{1}{2}(m_{xx} + m_{yy}) + \sqrt{\left(\frac{1}{2}[m_{xx} - m_{yy}]\right)^2 + m_{xy}^2}$$

$$m_2 = \frac{1}{2}(m_{xx} + m_{yy}) - \sqrt{\left(\frac{1}{2}[m_{xx} - m_{yy}]\right)^2 + m_{xy}^2}$$

$$\tan(2\alpha_m) = \frac{m_{xy}}{\frac{1}{2}(m_{xx} - m_{yy})}$$



Die folgenden Formeln sind formuliert für Schnittgrößen im Hauptachsensystem (1,2). Mit x,y werden die Zug-Bewehrungslagen (in der Grafik B1,B2) bezeichnet. Die z-Richtung entspricht der Richtung der Hauptdruckkraft.

$$t_x = \frac{n_1 \cdot \sin \beta \cdot \sin \gamma + n_2 \cdot \cos \beta \cdot \cos \gamma}{\sin(\beta - \alpha) \cdot \sin(\gamma - \alpha)}$$

$$t_y = \frac{n_1 \cdot \sin \alpha \cdot \sin \gamma + n_2 \cdot \cos \alpha \cdot \cos \gamma}{\sin(\beta - \alpha) \cdot \sin(\beta - \gamma)}$$

$$t_z = \frac{-n_1 \cdot \sin \alpha \cdot \sin \beta - n_2 \cdot \cos \alpha \cdot \cos \beta}{\sin(\beta - \gamma) \cdot \sin(\gamma - \alpha)} \leq 0$$

wobei gilt $t_x + t_y + t_z = n_1 + n_2$

mit $n_1 > n_2$:
 $\alpha = \angle(n_1, t_x)$
 $\beta = \angle(n_1, t_y)$
 $\gamma = \angle(n_1, t_z), \quad \gamma = \frac{\alpha + \beta}{2}$
 und $|\alpha| < |\beta|$.

$$\text{Betondruckkraft } \sigma_c = \frac{t_z}{h_e} \geq -0.8 \cdot f_{cd} \text{ mit } h_e \approx \frac{z_m}{3} \text{ und } z \approx (0.8 \div 0.9) \frac{d_x + d_y}{2}$$

Die in den o.a. Formeln verwendeten Hauptschnittgrößen und Winkel müssen noch weitere Bedingungen einhalten, die an dieser Stelle nicht näher erläutert werden (Siehe hierzu bitte die Literatur).

EC2 (6.92, Anh. 2) Die folgenden Formeln sind für Schnittgrößen, die bereits auf die Bewehrungsrichtungen x_t, y_t (B1, B2) bezogen sind, formuliert. Sie gelten nur für orthogonal zueinander liegende Bewehrungsstäbe. Um auch schiefwinklige Bewehrungsgitter berücksichtigen zu können, werden die FEM-Schnittgrößen zunächst in die jeweilige Bewehrungsrichtung transformiert und anschließend mittels der folgenden Formeln unter der Annahme ausgewertet, dass sich eine obere Grenze der Beanspruchung ergibt.

Es wird unterschieden zwischen Plattenschnittgrößen (m_{xx}, m_{yy}, m_{xy}) und Scheibenschnittgrößen (n_{xx}, n_{yy}, n_{xy}).

Transformation auf die Bewehrungsrichtungen:

$$\begin{bmatrix} n_{xt} \\ n_{yt} \\ n_{xyt} \end{bmatrix} = \frac{1}{\sin^2(\beta - \alpha)} \begin{bmatrix} \sin \beta \sin \beta & \cos \beta \cos \beta & -\sin(2\beta) \\ \sin \alpha \sin \alpha & \cos \alpha \cos \alpha & -\sin(2\alpha) \\ -\sin \alpha \sin \beta & -\cos \alpha \cos \beta & \sin(\alpha + \beta) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} n_{xx} \\ n_{yy} \\ n_{xy} \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} m_{xt} \\ m_{yt} \\ m_{xyt} \end{bmatrix} = \frac{1}{\sin^2(\beta - \alpha)} \begin{bmatrix} \sin \beta \sin \beta & \cos \beta \cos \beta & -\sin(2\beta) \\ \sin \alpha \sin \alpha & \cos \alpha \cos \alpha & -\sin(2\alpha) \\ -\sin \alpha \sin \beta & -\cos \alpha \cos \beta & \sin(\alpha + \beta) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} m_{xx} \\ m_{yy} \\ m_{xy} \end{bmatrix}$$

EC2 für Platten ($m_{yt} \geq m_{xt}$)

wenn $m_{xt} \geq - m_{xyt} $:	wenn $m_{yt} \leq m_{xyt} $:
$m_{ux} = m_{xt} + m_{xyt} $	$m_{ox} = -m_{xt} + m_{xyt} $
$m_{uy} = m_{yt} + m_{xyt} $	$m_{oy} = -m_{yt} + m_{xyt} $
sonst:	sonst:
$m_{ux} = 0$	$m_{ox} = -m_{xt} + m_{xyt}^2 / m_{yt} $
$m_{uy} = m_{yt} + m_{xyt}^2 / m_{xt} $	$m_{oy} = 0$

Die Tragfähigkeit gilt als nachgewiesen, wenn

$$-(m_{ux} - m_{xt}) \cdot (m_{uy} - m_{yt}) + m_{xyt}^2 \leq 0$$

$$-(m_{ox} + m_{xt}) \cdot (m_{oy} + m_{yt}) + m_{xyt}^2 \leq 0$$

$$m_{xt} \leq m_{ux}, \quad m_{yt} \leq m_{uy}, \quad m_{xt} \geq -m_{ox}, \quad m_{yt} \geq -m_{oy}$$

EC2 für Scheiben ($\sigma_y \geq \sigma_x$):

wenn $\sigma_x \geq -|\tau_{xy}|$:

$$f_{tx} = \sigma_x + |\tau_{xy}|$$

$$f_{ty} = \sigma_y + |\tau_{xy}|$$

$$\sigma_c = 2|\tau_{xy}|$$

sonst:

$$f_{tx} = 0$$

$$f_{ty} = \sigma_y + \tau_{xy}^2 / |\sigma_x|$$

$$\sigma_c = |\sigma_x| \left(1 + \left(\tau_{xy} / \sigma_x \right)^2 \right)$$

Die Tragfähigkeit gilt als nachgewiesen, wenn

$$-(f_{tx} - \sigma_x) \cdot (f_{ty} - \sigma_y) + \tau_{xy}^2 \leq 0$$

$$-(f_{cd} - \sigma_x) \cdot (f_{cd} - \sigma_y) + \tau_{xy}^2 \leq 0$$

$$\sigma_x \leq f_{tx}, \sigma_y \leq f_{ty}, \sigma_x \geq -f_{cd}, \sigma_y \geq -f_{cd}, \sigma_c \leq v f_{cd} \text{ mit } v = 0.7 - \frac{f_{ck}}{200} \geq 0.5$$

Thürlimann

Die folgenden Formeln sind für Schnittgrößen, die bereits auf die Bewehrungsrichtungen x_t, y_t (B1, B2) bezogen sind, formuliert. Sie gelten nur für orthogonal zueinander liegende Bewehrungsstäbe. Um auch schiefwinklige Bewehrungsgitter berücksichtigen zu können, werden die FEM-Schnittgrößen zunächst in die jeweilige Bewehrungsrichtung transformiert (s. S. 8) und anschließend mittels der folgenden Formeln unter der Annahme ausgewertet, dass sich eine obere Grenze der Beanspruchung ergibt.

$$n_{B1}^{sup} = n_{xt} + |n_{xyt}|, \quad n_{B1}^{inf} = n_{xt} - |n_{xyt}|$$

$$n_{B2}^{sup} = n_{yt} + |n_{xyt}|, \quad n_{B2}^{inf} = n_{yt} - |n_{xyt}|$$

$$m_{B1}^{sup} = m_{xt} + |m_{xyt}|, \quad m_{B1}^{inf} = m_{xt} - |m_{xyt}|$$

$$m_{B2}^{sup} = m_{yt} + |m_{xyt}|, \quad m_{B2}^{inf} = m_{yt} - |m_{xyt}|$$

Nachweis der Betondruckspannung:

$$n_c = n_{xx} + n_{yy} - n_{B1} - n_{B2}$$

$$m_c = m_{xx} + m_{yy} - m_{B1} - m_{B2}$$

$$\frac{n_c}{2} \pm \frac{m_c}{z_m} \geq f_{cd}$$

Für ein Faltnetz ergeben sich für eine Schnittgrößenkombination $n_{xx}, n_{yy}, n_{xy}, m_{xx}, m_{yy}, m_{xy}$ durch Kombination von n^{sup}, n^{inf} mit m^{sup}, m^{inf} acht Bemessungsschnittgrößen (je zwei für jede Bewehrungsrichtung und Lage B1o, B1u, B2o, B2u), für die die erforderliche Bewehrung ermittelt wird. Analog ergeben sich bei einer Platte für eine Schnittgrößenkombination m_{xx}, m_{yy}, m_{xy} vier Bemessungsschnittgrößen (eine für jede Bewehrungsrichtung und Lage B1o, B1u, B2o, B2u) und für eine Scheibe sind es für eine Schnittgrößenkombination n_{xx}, n_{yy}, n_{xy} maximal zwei Bemessungsschnittgrößen (eine für jede Bewehrungsrichtung B1, B2).

Literatur /1/, /2/ und /3/

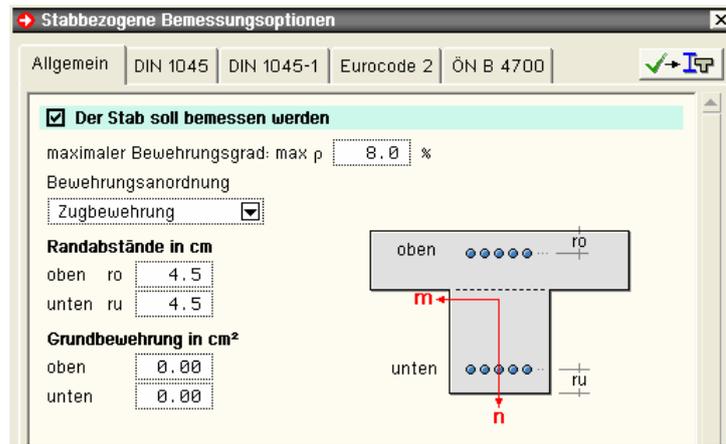
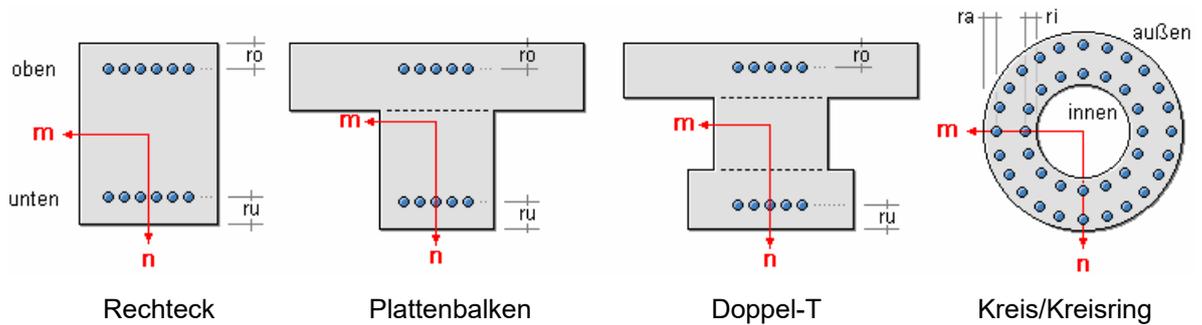


Abb. 2: Stabbezogene Bemessungsoptionen - einachsig

Folgende typisierte Stahlbetonquerschnitte können bemessen werden:



Diejenigen Querschnittsabmessungen, die sowohl der Schnittgrößenermittlung als auch der Bemessung zugrunde liegen, sind im Geometrie-Eigenschaftsblatt einzugeben. Die Stahlrandabstände (d.h. der Abstand des Bewehrungsschwerpunkts vom Betonrand) sind dagegen an dieser Stelle einzutragen, da sie nur bei der Stahlbetonbemessung eine Rolle spielen.

Ist ein "freier" Betonquerschnitt im Eigenschaftsblatt zur Querschnittseingabe definiert worden, kann er nicht bemessen bzw. nachgewiesen werden. Es erfolgt lediglich die Schnittgrößenberechnung.

Aus konstruktiven Gründen kann es sinnvoll sein, in einem einachsigen Stabträger (z. B. einer Stütze oder einem Wandstreifen) oben und unten je Bewehrungsrichtung dieselbe Bewehrungsmenge einzulegen. In diesem Fall ist die **symmetrische** Bewehrungsanordnung auszuwählen, während die **Zugbewehrung** stets die minimale Bewehrung ermittelt, bei der der Hauptteil i.A. auf der Zugseite der Position oder des Trägers liegt. Gibt es die Schnittgrößenkombination vor (z. B. reine Normalkraftbeanspruchung), wird bei **Zugbewehrung** programmintern auf **symmetrische** Bewehrungsanordnung umgeschaltet.

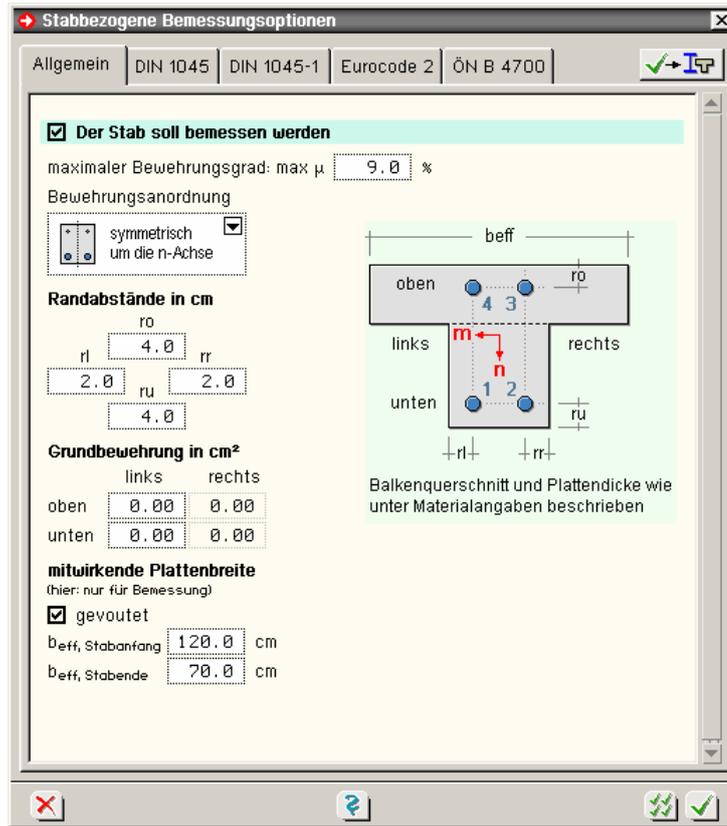
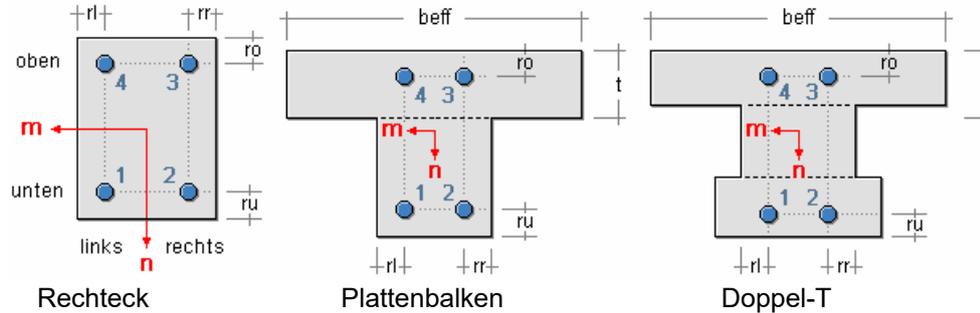


Abb. 3: Stabbezogene Bemessungsoptionen - zweiachsig

Folgende typisierte Stahlbetonquerschnitte können bemessen werden:



I.A. sind sämtliche Querschnittsabmessungen im Geometrie-Eigenschaftsblatt einzugeben, da sie sowohl der Schnittgrößenermittlung als auch der Bemessung zugrunde liegen. Lediglich im Programm #ALFA3D (räumliche Flächenträger, s.u.) ist bei Plattenbalken bzw. Überzügen die mitwirkende Plattenbreite an dieser Stelle einzugeben, da dieser Wert für die Schnittgrößenermittlung nicht von Belang ist. Die Stahlrandabstände (d.h. der Abstand des Bewehrungsschwerpunkts von den Betonrändern) sind aus demselben Grund ebenfalls an dieser Stelle einzutragen.

Ist ein "freier" Betonquerschnitt im Eigenschaftsblatt zur Querschnittseingabe definiert worden, kann er nicht bemessen bzw. nachgewiesen werden. Es erfolgt lediglich die Schnittgrößenberechnung.

Bei zweiachsiger Biegebemessung (d.h. Biegebemessung unter zweiachsiger Belastung) ist die genaue Anordnung der Bewehrung bzw. Bewehrungsgruppen von entscheidender Bedeutung. Aus Gründen der Praktikabilität wird das oben dargestellte Bewehrungsschema vom Programm vorgegeben. Das Bemessungsverfahren berechnet für diese Bewehrungsanordnung (A_{s1} -unten links, A_{s2} -unten rechts, A_{s3} -oben rechts, A_{s4} -oben links) einen gemeinsamen Faktor, um den die Stabstähle (oder Stabstahlgruppen, Stabbündel) erhöht oder reduziert werden. Das führt bei Aktivierung aller vier Bewehrungsgruppen grundsätzlich zu einer **voll symmetrischen** Lösung.

Um eine **Staffelung** zu erreichen, werden die Gruppen in Abhängigkeit der vorgegebenen Bewehrungsanordnung (**voll symmetrisch** $A_{s1} = A_{s2} = A_{s3} = A_{s4}$, **symmetrisch um die n-**

Achse $A_{s1} = A_{s2}$ bzw. $A_{s3} = A_{s4}$, bei Rechteckquerschnitten auch **symmetrisch um die m-Achse** $A_{s1} = A_{s4}$ bzw. $A_{s2} = A_{s3}$ und vollständig **unsymmetrisch** ($A_{s1} \neq A_{s2} \neq A_{s3} \neq A_{s4}$) und der zum aktuellen Lastfall gehörenden Spannungsverteilung (Zustand 1) in eine Bemessungsreihe gebracht. Stabbüdel mit Rang 1 werden zuerst und soweit bewehrt bis sich entweder ein Gleichgewicht einstellt oder der maximal mögliche Bewehrungsgehalt $\max A_s$ erreicht ist. Dazu wird jeder Gruppe programmintern eine maximale Stahlquerschnittsgröße von $\max A_s = 0.25 \cdot \max \mu \cdot A_{\text{brutto}}$ ($\max \mu$ entsprechend der Eingabe im ersten Registerblatt) zugeordnet. Tritt der zweite Fall ein, d.h. $\max A_s$ wird für die aktuelle Bewehrungsgruppe erreicht, werden anschließend diejenigen der nächstfolgenden Rangnummer bewehrt.



Ist aufgrund der aktuellen Schnittgrößenkombination eine einachsige Biegebemessung möglich, wird sie auch durchgeführt. Das Bemessungsergebnis (A_{s0}, A_{sU}) wird anschließend auf die vier Bewehrungsgruppen aufgeteilt ($A_{s1} = A_{s2} = 0.5 \cdot A_{sU}, A_{s3} = A_{s4} = 0.5 \cdot A_{s0}$).

1.1.2.4

Besonderheiten bei Unter-/Überzügen von räumlichen Flächenträgern (Faltwerken)

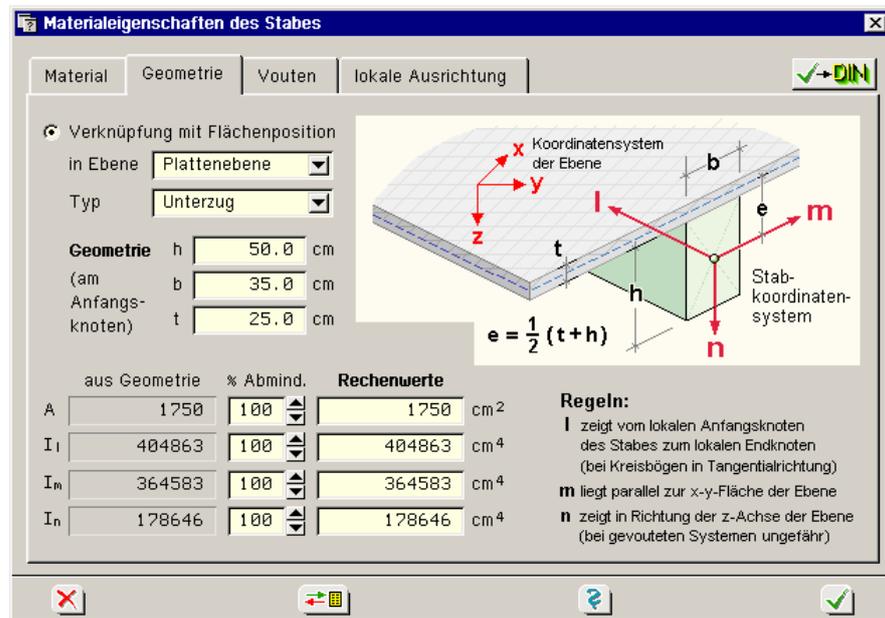


Abb. 4: Geometrieigenschaften eines Stabes im Faltwerk

Die praxisnahe Modellierung von lokal begrenzten Aussteifungen eines Flächenträgers (i.A. **Unterzüge** oder **Überzüge**, aber auch Steifen genannt) erfolgt durch Anordnung von rechteckigen 1D-Balkenelementen ober- oder unterhalb der 2D-Plattenebene. Bei der Schnittgrößenermittlung (FEM) wird so die Exzentrizität der Aussteifung exakt erfasst. Die resultierenden Balken-Schnittgrößen (Berechnungsgrößen) beziehen sich dementsprechend auf diesen angehängten Rechteckquerschnitt.

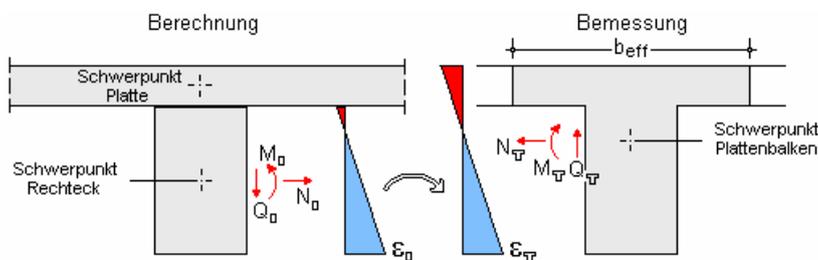


Abb. 5: Extrapolation des Dehnungszustandes

In die Stahlbetonbemessung muss korrekterweise der maßgebende Plattenbalken-Querschnitt eingehen. Die Schwierigkeiten bestehen darin, zum einen die effektiv mitwirkende Plattenbreite b_{eff} zu ermitteln, zum anderen die zugehörigen Schnittgrößen bezogen auf den Plattenbalkenschwerpunkt zu bestimmen.

Da die effektive Plattenbreite lastfallabhängig ist, die neuen Vorschriften aber eine stark variierende Lastfallgewichtung fordern, ist b_{eff} vom Anwender vorzugeben (s. 1.1.2.3, S. 11).



Die Bemessungsgrößen werden durch Extrapolation des Dehnungszustands des Rechteck-Querschnitts auf den Plattenbalken-Querschnitt gewonnen. Sie unterscheiden sich i.A. erheblich von den Berechnungsgrößen.

Da Platten im Unterschied zu Faltenwerken (räumlichen Flächenträgern) per Definition keine Normalkräfte aufnehmen, können exzentrisch angeordnete Balken nicht modelliert werden. Der Plattenbalken wird über eine Erhöhung der Plattensteifigkeit schon bei der FEM-Rechnung berücksichtigt.

1.1.3

Nachweise n. Eurocode 2

Die nationale Fassung des Eurocodes 2 /24/ enthält den vollständigen Text des Eurocodes sowie einen Nationalen Anhang. Im nationalen Anhang werden Hinweise zu den Parametern gegeben, die im Eurocode für nationale Entscheidungen offen gelassen wurden. Im Folgenden werden die im Programm offen gelassenen national festzulegenden Parameter mit **NDP** gekennzeichnet. Sie können in einem gesonderten Eigenschaftsblatt gegenüber ihrem Vorgabewert aus dem EC 2 geändert werden.

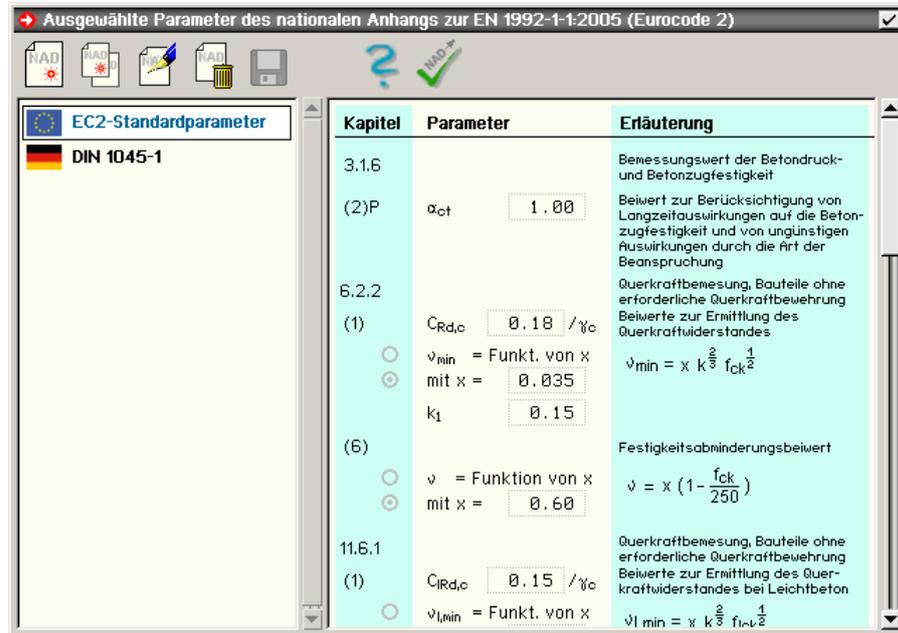


Abb. 6: Ausgewählte Parameter NDP des nationalen Anhangs zum Eurocode 2

1.1.3.1

Stahlbetonbemessung n. Eurocode 2

Kurzbezeichnung:	EC 2 Bemessung
Zusatzbezeichnung:	Tragfähigkeit n. EC 2 (6.1, 6.2, 6.3)
Programmbezug:	##-NISI, ##-FRAP, ##-ALFA
Nachweisobjekte:	Stab- und Flächenträger aus Stahlbeton
Kombinationsregel:	Tragfähigkeitsnachweis n. Eurocode
Überlagerungsvorschrift:	Extremalbildungsvorschriften und Lastkollektive
Interne Nummer:	41

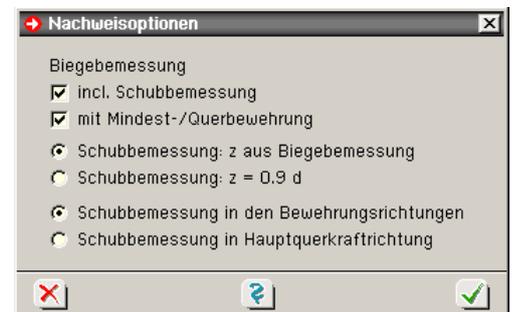
1.1.3.1.1

optionale Einstellungen

Die Querschnitte der definierten Betonstäbe werden n. EC 2, 6.1 auf Biegung, 6.2 auf Querkraft und 6.3 auf Torsion sowie Querkraft und Torsion bemessen /24/.

Die Durchführung der Schubbemessung kann an dieser Stelle nachweisglobal an- oder abgewählt werden.

Abb. 7: Nachweisoptionen Stahlbetonbemessung n. EC 2



Ebenso kann hier mit der nicht statisch erforderlichen Bewehrung (Mindestbewehrung für Biegung und Schub zur Vermeidung von Sprödbrüchen, Querbewehrung bei Flächenträgern) verfahren werden.

Der innere Hebelarm wird für diesen Nachweis entsprechend der gewählten Einstellung entweder aus der Biegebemessung übernommen oder n. 6.2.3 (1) zu $z = 0.9 \cdot d$ angenommen.

Bei Flächenpositionen kann die Querkraftbemessung in den Bewehrungsrichtungen mit anschließender Addition der Einzelbewehrungsgrade oder in Hauptquerkrafttrichtung erfolgen (s. DIN 1045-1, Besonderheiten bei der Querkraftbemessung von Flächenträgern).

Abb. 8: objektbezogene Bemessungsangaben Stahlbetonbemessung n. EC 2

Im Registerblatt *EC 2* der positions- bzw. stabbezogenen Bemessungsangaben können u.A. die Parameter zur Biege- und Schubemessung n. Eurocode 2 verändert werden. Zunächst und an erster Stelle wird das Material für alle Nachweise dieser Norm festgelegt. Anschließend werden die Parameter nach Nachweisen geordnet dargestellt.

1.1.3.1.2.1

Material

Die Beschreibung der Beton- und Betonstahlsorten stimmt mit derjenigen n. DIN 1045-1 /18/ überein und ist in Abs. 1.1.4.1.3.1, S. 27 (Material n. DIN 1045-1) zu finden. Die korrespondierenden Kapitel der Norm sind

- 3.1 Beton
- 3.2 Betonstahl
- 5.6.3 vereinfachter Nachweis der plastischen Rotation
- 11.3 Leichtbeton

1.1.3.1.3

Biegebemessung

Die Biegebemessung führt eine Bemessung der Längsbewehrung des gewählten Querschnitts für ein- oder zweiachsige Biegung mit oder ohne Längskraft und Längskraft allein n. 6.1 durch.

Zur Berücksichtigung der **Mindestbewehrung** ist

- bei überwiegend biegebeanspruchten Bauteilen n. 9.2.1.1 (1) zur Vermeidung schlagartigen Versagens

$$A_{s,min} \quad \text{s. NDP, Vorgabe: } A_{s,min} \geq 0.26 \cdot f_{ctm} / f_{yk} \geq 0.0013 \cdot b_t \cdot d$$

- bei Wänden n. 9.6.2 (1) für die vertikale Bewehrung (diese Bewehrungsrichtung ist im Eigenschaftsblatt festzulegen)

$$A_{s,min} \quad \text{s. NDP, Vorgabe: } A_{s,min} = 0.002 \cdot A_c$$

- bei Stützen n. 9.5.2 (2)

$$A_{s,min} \quad \text{s. NDP, Vorgabe: } A_{s,min} = 0.10 \cdot |N_{Ed}| / f_{yd} \geq 0.002 \cdot A_c$$

vorzusehen.

Wände und Stützen sind Druckglieder mit einer bezogenen Lastausmitte von $\frac{e_d}{h} \leq 3.5$. Im Eigenschaftsblatt kann vorgegeben werden, ob die Mindestbewehrung

- vom Programm automatisch für Biege- oder Druckglied,
- nur für Biegeglieder oder
- nur für Druckglieder

ermittelt werden soll.

Der maximale Bewehrungsgehalt wird im Registerblatt *Allgemein* (s. Abs. 1.1.2.1 bis 1.1.2.3, S. 7ff.) definiert.

Des Weiteren kann für Flächenpositionen der Mindestbewehrungsgehalt der **Querbewehrung** in Abhängigkeit der Hauptbewehrung (9.3.1.1 (2)) vorgegeben werden.



Soll bei Flächenpositionen neben der Mindestbewehrung auch die Querbewehrung ermittelt werden, wird die Mindestbewehrung für biegebeanspruchte Bauteile (Platten, Faltwerke) nur in Haupttragrichtung angesetzt.

Für jeden Lastfall (es handelt sich um die bereits mit den erforderlichen Sicherheitsbeiwerten γ_F beaufschlagten Traglasten /25/) werden je nach Festlegung der Bewehrungsanordnung (s.o.) und der Materialsicherheiten γ_c und γ_s n. Tab.2 die erforderlichen Bewehrungsquerschnitte für

- einachsige Balken A_{s0} , A_{su} in cm^2
- zweiachsige Balken A_{s1} , A_{s2} , A_{s3} , A_{s4} in cm^2
- Scheiben, Platten, Faltwerke a_{sB1o} , a_{sB1u} , a_{sB2o} , a_{sB2u} in cm^2/m berechnet.

1.1.3.1.4 Schubbemessung

Für hauptsächlich über Biegung und/oder Zug abtragende Bauteile ist eine Schubbemessung der Zug- und Druckstreben (Fachwerkmodell) durchzuführen. Bei druckbelasteten Querschnitten sind die **Hauptdruckspannungen** nachzuweisen (s.u.).

Die Schubbemessung gliedert sich in die Bemessung für Querkraft, Torsion sowie Querkraft und Torsion. Es wird separat für jede Schnittgröße die erforderliche Bügel- (Querkraft $a_{s,büQ}$) bzw. Bügel- und Längsbewehrung (Torsion $a_{s,büT}$ und $A_{s,T}$) ermittelt. Die Bügelbewehrung steht senkrecht auf der Längsbewehrung.

Für Besonderheiten bei Flächenpositionen s. Abs. 1.1.4.1.5.1, S. 31, und Balken s. Abs. 1.1.4.1.5.2, S. 31. Bei geneigter Querkraft (zweiachsigem Schub) wird dem Ansatz von P. Mark (s. Abs. 1.1.4.1.5.3, S. 31) gefolgt.

1.1.3.1.4.1 Schubbemessung für Querkraft

Der Bemessungswert der Querkrafttragfähigkeit ergibt sich zu

$$V_{Rd,ct} = \left[C_{Rd,c} \cdot k \cdot \eta_1 \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} - k_1 \cdot \sigma_{cd} \right] \cdot b_w \cdot d \leq (v_{min} - k_1 \cdot \sigma_{cd}) \cdot b_w \cdot d \text{ mit}$$

$$C_{Rd,c} \quad \text{s. NDP, Vorgabe: } C_{Rd,c} = 0.18 / \gamma_c$$

$$k = 1 + \sqrt{200/d} \leq 2.0$$

$$\eta_1 = 0.40 + 0.60 \cdot \rho / 2200 \text{ mit } \rho \text{ in } \text{kg/m}^3 \text{ (Normalbeton } \eta_1 = 1.0)$$

$$\rho_l = A_{sl} / (b_w \cdot d) \leq 0.02 \quad \text{Längsbewehrungsgrad innerhalb der Querschnittszugzone}$$

b_w wirksame Querschnittsbreite in mm

d statische Nutzhöhe der Biegebewehrung im betrachteten Querschnitt in mm

$$k_1 \quad \text{s. NDP, Vorgabe: } k_1 = 0.15$$

$$\sigma_{cd} = N_{Ed} / A_c \quad \text{Bemessungswert der Betonlängsspannung im Schwerpunkt in } \text{N/mm}^2$$

N_{Ed} Bemessungswert der Längskraft ($N_{Ed} < 0$ als Längsdruckkraft)

$$v_{min} \quad \text{s. NDP, Vorgabe: } v_{min} = 0.035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2}$$

Als wirksame Breite b_w wird analog DIN 1045-1 die minimale Querschnittsbreite in Höhe der resultierenden inneren Schnittgrößen (entweder res. Betondruckkraft oder res. Stahlzugkraft) betrachtet.

Wenn der Bemessungswert der Querkraft $V_{Ed} \leq V_{Rd,ct}$, ist n. 6.2.1 (4) rechnerisch keine Querkraftbewehrung erforderlich. Die maximal aufnehmbare Querkraft berechnet sich dann zu

$$V_{Rd,max} = 0.5 \cdot b_w \cdot d \cdot v \cdot f_{cd} \text{ mit}$$

$$v \quad \text{s. NDP, Vorgabe: } v = 0.6 \cdot (1 - f_{ck}/250), \quad f_{ck} \text{ in N/mm}^2$$

Wenn dagegen gilt $V_{Ed} > V_{Rd,ct}$, ist eine Querkraftbewehrung derart vorzusehen, dass $V_{Ed} \leq V_{Rd,sy}$. Der Bemessungswert der aufnehmbaren Querkraft

$$V_{Rd,sy} = a_{s,bü} \cdot f_{yd} \cdot z \cdot \cot \theta / \alpha_k \text{ mit}$$

z innerer Hebelarm im betrachteten Bauteilabschnitt

$$0.5 \leq \alpha_k \leq 1.0 \quad \text{Wirksamkeitsfaktor der Rundbügel (Eingabewert nur bei Kreisquerschnitten)}$$

ist dabei abhängig von der Neigung der Druckstreben $\cot \theta$. θ kann im Eigenschaftsblatt vorgegeben werden, wird aber programmintern auf seine Grenzwerte hin überprüft

$$\cot \theta \quad \text{s. NDP, Vorgabe: } 1.0 \leq \cot \theta \leq 2.5$$



Je kleiner der Druckstrebenwinkel ist, desto weniger Querkraftbewehrung wird ermittelt, aber um so größer werden die Verankerungslängen der Längsbewehrung.

Der innere Hebelarm kann entweder

- aus der Biegebemessung des zugehörigen N,M-Lastfalls übernommen oder
- n. 6.2.3 (1) zu $z = 0.9 \cdot d$ (wenn keine Normalkraft wirkt)

gesetzt werden.

Besonderheiten:

- ist der zugehörige N,M-Lastfall Null, wird angenommen $z = 0.9 \cdot d$ mit $d = h - \max(h_{so}, h_{su})$.
- ist der Querschnitt überdrückt, wird der innere Hebelarm berechnet zu $z = I/S$ (I Trägheitsmoment, S statisches Moment um die Schwerachse).
- ist der Querschnitt überzogen, ergibt sich z zum Abstand der Bewehrungslagen.
- bei Kreisquerschnitten ist bei überzogenem Querschnitt $z = \frac{4}{\pi} \cdot (r_a - h_{sa})$.
- bei Kreisquerschnitten wird die wirksame Querschnittsbreite b_w begrenzt auf die Breite in Höhe der äußersten Bewehrungslage.

Allerdings darf der Bemessungswert der einwirkenden Querkraft in keinem Querschnitt des Bauteils den Wert

$$V_{Rd,max} = \frac{b_w \cdot z \cdot \alpha_{cw} \cdot v_1 \cdot f_{cd}}{\cot \theta + \tan \theta} \text{ mit}$$

$$\alpha_{cw} \quad \text{s. NDP, Vorgabe: } \alpha_{cw} = 1.0 \cdot \eta_1$$

$$v_1 \quad \text{s. NDP, Vorgabe: } v_1 = v \text{ (s.o.)}$$

überschreiten.

Die Querkraftausnutzung wird n. 9.3.2 (3) wie folgt ermittelt:

- AB 1: $V_{Ed} \leq 1/3 V_{Rd,max}$
- AB 2: $V_{Ed} > 1/3 V_{Rd,max}$

Bei überwiegend auf Biegung beanspruchten Bauteilen wie z. B. Balken (im Gegensatz zu Wänden oder Stützen) ist grundsätzlich eine Mindestbügelbewehrung für Querkraft n. 9.2.2 (5)

$$\min a_{sbü} = \rho_{w,min} \cdot b_w \cdot \sin \alpha \quad \text{mit} \quad \rho_{w,min} \quad \text{s. NDP, Vorgabe: } \rho_{w,min} = 0.08 \cdot \sqrt{f_{ck}} / f_{yk}$$

anzuordnen.

Besonderheiten bei zweiachsiger Querkraftbeanspruchung (geneigte Querkraft) s. DIN 1045-1.

1.1.3.1.4.2 Schubbemessung für Torsion

Bei der Bemessung für Torsion ist bei Vollquerschnitten i. d. R. nur die St. Venant'sche Torsion zu betrachten. Die Torsionstragfähigkeit kann unter Annahme eines dünnwandigen, geschlossenen Querschnitts mit der Ersatzwanddicke $t_{\text{eff}} = A_c / u_c \leq 0.25 \cdot b_w$ (A_c als Gesamtfläche, u_c als äußerer Umfang) nachgewiesen werden. Die Bemessung erfordert ebenfalls drei Schritte.

Zunächst ist zu überprüfen, ob Torsionsbewehrung erforderlich ist. Dies geschieht für einen näherungsweise rechteckigen Vollquerschnitt durch

$$\frac{T_{\text{Ed}}}{T_{\text{Rd,c}}} + \frac{V_{\text{Ed}}}{V_{\text{Rd,ct}}} \leq 1.0 \quad \text{mit}$$

$$T_{\text{Rd,c}} = \tau_t \cdot t_{\text{eff}}, \quad \tau_t = f_{\text{ctd}}$$

$$f_{\text{ctd}} = \alpha_{\text{ct}} \cdot f_{\text{ctk},0.05} / \gamma_c$$

$$\alpha_{\text{ct}} \quad \text{s. NDP, Vorgabe: } \alpha_{\text{ct}} = 1.0$$

Kann der Nachweis nicht erbracht werden, ist die Bewehrung derart zu ermitteln, dass $T_{\text{Ed}} \leq T_{\text{Rd,sy}}$ gilt. Der Bemessungswert des aufnehmbaren Torsionsmoments

$$T_{\text{Rd,sy}} = a_{\text{s,büT}} \cdot f_{\text{yd}} \cdot 2 \cdot A_k \cdot \cot \theta \quad \text{bzw.} \quad T_{\text{Rd,sy}} = A_{\text{s,T}} / u_k \cdot f_{\text{yd}} \cdot 2 \cdot A_k \cdot \tan \theta \quad \text{mit}$$

A_k Kernquerschnitt, durch die Mittellinien der Querschnittswände eingeschlossene Fläche

u_k Umfang der Fläche A_k

ist dabei abhängig von der Neigung der Druckstreben. Mit dem gewählten Winkel θ ist bei kombinierter Beanspruchung aus Querkraft und Torsion der Nachweis sowohl für Querkraft als auch für Torsion zu führen.

Allerdings darf der Bemessungswert des einwirkenden Torsionsmoments in keinem Querschnitt des Bauteils den Wert

$$T_{\text{Rd,max}} = \alpha_{\text{cw}} \cdot v \cdot f_{\text{cd}} \cdot 2 \cdot A_k \cdot t_{\text{eff}} \cdot \sin \theta \cdot \cos \theta$$

überschreiten.

1.1.3.1.4.3 Schubbemessung für Querkraft und Torsion

Die maximale Tragfähigkeit bei kombinierter Beanspruchung aus Querkraft und Torsion wird durch die Druckstreben­tragfähigkeit begrenzt mit

$$\left[\frac{T_{\text{Ed}}}{T_{\text{Rd,max}}} \right] + \left[\frac{V_{\text{Ed}}}{V_{\text{Rd,max}}} \right] \leq 1.$$

1.1.3.1.4.4 Nachweis der Hauptdruckspannungen im Beton

Wände oder ähnliche, hauptsächlich über Normalkraft abtragende Bauteile sind bezüglich ihrer Hauptdruckspannung zu überprüfen. N. 6.5.2 (1) ist für ungerissene Betondruckzonen der Bemessungswert der Druckstrebenfestigkeit begrenzt mit

$$\sigma_2^I \leq 1.0 \cdot f_{\text{cd}} \quad \text{mit} \quad \sigma_2^I \text{ maximale Hauptdruckspannung}$$

1.1.3.2

Rissnachweis n. Eurocode 2

Kurzbezeichnung:	EC 2 Rissnachweis
Zusatzbezeichnung:	Gebrauchstauglichkeit n. EC 2 (7.3)
Programmbezug:	##-NISI, ##-FRAP, ##-ALFA
Nachweisobjekte:	Stab- und Flächenträger aus Stahlbeton
Kombinationsregel:	Gebrauchstauglichkeitsn. n. Eurocode für quasiständige Komb.
Überlagerungsvorschrift:	Extremalbildungsvorschriften und Lastkollektive
Interne Nummer:	42

1.1.3.2.1

optionale Einstellungen

S. Abs. 1.1.6.2.1, S. 56. Die folgenden Nachweisverfahren sind implementiert (Erläuterung s. unten):

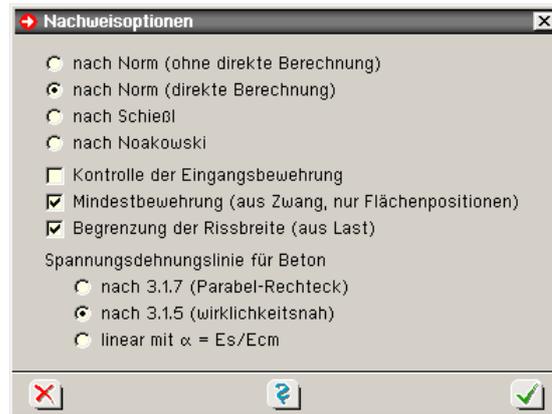


Abb. 9: Nachweisoptionen Rissnachweis n. EC 2

Zum einwandfreien Ablauf des Rissnachweises ist es unbedingt notwendig, dass die Nachweis-schnittgrößen vom Querschnitt aufgenommen werden können. D.h., die in den Nachweis eingehende Bewehrung (Startvektor) muss einer Biegebemessung standhalten. Zur Absicherung, ob die vorhandene Bewehrung ausreicht, kann vom Benutzer eingestellt werden, dass vorab eine Biegebemessung durchgeführt wird (Kontrolle der Eingangsbewehrung).

Nachweisglobal können die beiden Teilnachweise (entweder die Ermittlung der Mindestbewehrung bei überwiegender Zwangsbeanspruchung und/oder die Begrenzung der Rissbreite bei überwiegender Lastbeanspruchung) an- oder abgeschaltet werden.

Die für diesen Nachweis relevante Spannungsdehnungslinie für den Beton (s. Abs. 1.1.3.1.2.1, S. 15) wird ebenfalls hier gewählt.

1.1.3.2.2

objektbezogene Bemessungsangaben

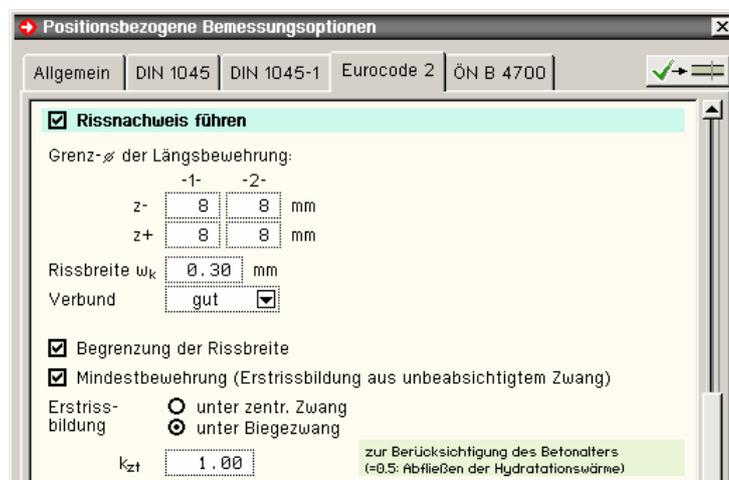


Abb. 10: objektbezogene Bemessungsangaben Rissnachweis n. EC 2

Im Folgenden werden die verwendeten Rissformeln und Eingabeparameter erläutert.

1.1.3.2.2.1

Mindestbewehrung für die Begrenzung der Rissbreite (7.3.2)

$$A_{s,\min} \cdot \sigma_s = k_c \cdot k \cdot f_{ct,eff} \cdot A_{ct}$$

$A_{s,\min}$ Mindestquerschnittsfläche der Betonstahlbewehrung innerhalb der Zugzone in cm^2

$$k_c = 0.4 \cdot \left[1 + \frac{\sigma_c}{k_1 \cdot (h/h^*) \cdot f_{ct,eff}} \right] \leq 1 \quad \text{Beiwert zur Berücksichtigung des Einflusses der}$$

Spannungsverteilung innerhalb der Zugzone vor der Erstrissbildung sowie der Änderung des inneren Hebelarms beim Übergang in den Zustand 2 ($k_c = 1.0$: reiner Zug, $k_c < 1.0$: Biegung oder Biegung mit Normalkraft)

$$\sigma_c = N_{Ed} / (b \cdot h) \quad \text{Betonspannung im Schwerpunkt } (\sigma_c < 0 \text{ bei Druck})$$

k_1 Beiwert zur Berücksichtigung der Auswirkungen der Normalkräfte auf die Spannungsverteilung ($k_1 = 1.5$: Drucknormalkraft, $k_1 = (2 \cdot h^*) / (3 \cdot h)$: Zugnormalkraft)
 $h^* = \min(h, 1 \text{ m})$

k Beiwert zur Berücksichtigung nichtlinear verteilter Betonzugspannungen, die zum Abbau von Zwang führen ($k = 1.0$ für $h \leq 300 \text{ mm}$ und $k = 0.65$ für $h \geq 800 \text{ mm}$, Zwischenwerte interpolieren)

$$f_{ct,eff} = k_{z,t} \cdot f_{ctm} \quad \text{wirksame Zugfestigkeit des Betons}$$

$k_{z,t}$ vom Alter des Betons abhängiger Beiwert ($k_{z,t} = \beta_{cc}(t)$ n. 3.1.2 (6))

$k_{z,t} > 1.0$: $f_{ct,eff} = f_{ctm}$ aus Tab. 3.1 bzw. Tab. 11.3.1

A_{ct} Fläche der Betonzugzone n. Zustand 1 (Erstrissbildung)

σ_s Betonstahlspannung n. Tab. 7.2N in Abhängigkeit von d_s^* mit

$$d_{s,gr} = d_s^* \cdot \frac{k_c \cdot h_{cr}}{2 \cdot (h-d)} \cdot \frac{f_{ct,eff}}{f_{ct,0}} \geq d_s^* \cdot \frac{f_{ct,eff}}{f_{ct,0}} \quad \text{bei Biegung}$$

$$d_{s,gr} = d_s^* \cdot \frac{h_{cr}}{8 \cdot (h-d)} \cdot \frac{f_{ct,eff}}{f_{ct,0}} \geq d_s^* \cdot \frac{f_{ct,eff}}{f_{ct,0}} \quad \text{bei Zug, } (h-d) = \min(h_{s1}, h_{s2})$$

$d_{s,gr}$ Grenzdurchmesser der Bewehrung

d_s^* Grenzdurchmesser n. Tab. 7.2N

h_{cr} Höhe der Zugzone unmittelbar vor Rissbildung

$f_{ct,0} = 2.9 \text{ N/mm}^2$ Bezugs-Zugfestigkeit des Betons



Zur Ermittlung der Mindestbewehrung zur Abdeckung von Zwangsbeanspruchungen aus Abfließen der Hydratationswärme sollte $k_{z,t} \approx 0.5$ und **Zugzwang** gesetzt sein.

1.1.3.2.2.2

Begrenzung der Rissbreite ohne direkte Berechnung (7.3.3)

$$d_{s,gr} \leq \lim d_s(\sigma_s, d_s^*)$$

$d_{s,gr}$ Grenzdurchmesser der Bewehrung

$\lim d_s$ zulässiger Bewehrungsdurchmesser

$$\lim d_s = d_s^* \cdot \frac{\sigma_s \cdot A_s \cdot k_c}{2 \cdot (h-d) \cdot b \cdot f_{ct,0}} \geq d_s^* \cdot \frac{f_{ct,eff}}{f_{ct,0}} \quad \text{bei Biegung}$$

$$\lim d_s = d_s^* \cdot \frac{\sigma_s \cdot A_s}{8 \cdot (h-d) \cdot b \cdot f_{ct,0}} \geq d_s^* \cdot \frac{f_{ct,eff}}{f_{ct,0}} \quad \text{bei Zug, } (h-d) = \min(h_{s1}, h_{s2})$$

d_s^* Grenzdurchmesser n. Tab. 7.2N

- σ_s Betonstahlspannung im Zustand 2
- A_s Einflussbereich der Betonstahlbewehrung

Die Spannungen werden mit den gewählten Spannungsdehnungslinien (s. Abs. 1.1.3.1.2.1, S. 15) ermittelt.

1.1.3.2.2.3 Berechnung der Rissbreite (7.3.4)

$$w_k = s_{r,max} \cdot (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) \quad \text{mit}$$

$$s_{r,max} = k_3 \cdot c + \frac{k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot d_s}{\text{eff } \rho}, \quad \text{wenn Stababstand } s \leq 5 \cdot \left(c + \frac{d_s}{2}\right)$$

k_3 s. NDP, Vorgabe: $k_3 = 3.4$

c Betondeckung bezogen auf die Längsbewehrung

k_1 Beiwert zur Berücksichtigung der Verbundeigenschaften der Stähle ($k_1 = 0.8$: gute Verbundeigenschaften, $k_1 = 1.6$: nahezu glatte Oberfläche)

$$k_2 = \frac{\varepsilon_{c1} + \varepsilon_{c2}}{2 \cdot \max(\varepsilon_{c1}, \varepsilon_{c2})} \geq 0.5 \quad \text{Beiwert zur Berücksichtigung der Dehnungsverteilung}$$

$\varepsilon_{c1}, \varepsilon_{c2}$ Dehnungen am Betonrand

k_4 s. NDP, Vorgabe: $k_4 = 0.425$

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = \frac{\sigma_s - k_t \cdot \frac{f_{ct,eff}}{\text{eff } \rho} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \text{eff } \rho)}{E_s} \geq 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s}$$

k_t Faktor, der von der Dauer der Lasteinwirkung abhängt ($k_t = 0.6$: kurzzeitig, $k_t = 0.4$: langfristig)

$\alpha_e = E_s / E_{cm}$, beachte die gewählte Spannungsdehnungslinie (s. Materialangaben Abs. 1.1.3.1.2.1, S. 15)!

$\text{eff } \rho = A_s / A_{c,eff}$ effektiver Bewehrungsgrad

$A_{c,eff} = h_{c,ef} \cdot b$ Wirkungsbereich der Bewehrung

$h_{c,ef}$ Höhe des Wirkungsbereichs der Bewehrung

Biegung: $h_{c,ef} = 2.5 \cdot (h - d) \leq (h - x) / 3$

Zug: $h_{c,ef} = 2.5 \cdot (h - d) \leq h / 2$

σ_s Spannung der Bewehrung im Zustand 2

$f_{ct,eff} = f_{ctm}$ wirksame Zugfestigkeit des Betons

Die Spannungen werden mit den gewählten Spannungsdehnungslinien (s. Abs. 1.1.3.1.2.1, S. 15) ermittelt.

1.1.3.2.3 Rissnachweis n. Schießl bzw. Noakowski

s. Abs. 1.1.6.2.1, S. 56.

Die Spannungen werden mit den gewählten Spannungsdehnungslinien (s. Abs. 1.1.3.1.2.1, S. 15) ermittelt.

1.1.3.3

Ermüdungsnachweis n. Eurocode 2

Kurzbezeichnung:	EC 2 Ermüdungsnachweis
Zusatzbezeichnung:	Tragfähigkeit n. EC 2 (6.8)
Programmbezug:	##-NISI, ##-FRAP, ##-ALFA
Nachweisobjekte:	Stab- und Flächenträger aus Stahlbeton
Kombinationsregel:	Tragfähigkeitsnachweis n. EC 2 (Ermüdungsnachweis spezial)
Überlagerungsvorschrift:	Extremalbildungsvorschriften und Lastkollektive
Interne Nummer:	43

N. EC 2, 6.8.3 wird der Ermüdungsnachweis geführt für zwei Einwirkungskombinationen, von denen

- die Grundkombination nicht-zyklische Einwirkungen (ständige und nicht-zyklische, nicht-ständige Einwirkungen) enthält und
- die andere Kombination aus den Einwirkungen der ungünstigsten Grundkombination zusätzlich der maßgebenden Ermüdungsbelastung (zyklische Einwirkung) besteht.

1.1.3.3.1

optionale Einstellungen

Der Nachweis wird getrennt für Betonstahl und Beton geführt. An dieser Stelle kann der Teilnachweis global an- oder abgeschaltet werden.

Die für diesen Nachweis relevante Spannungsdehnungslinie für Beton wird ebenfalls hier gewählt.

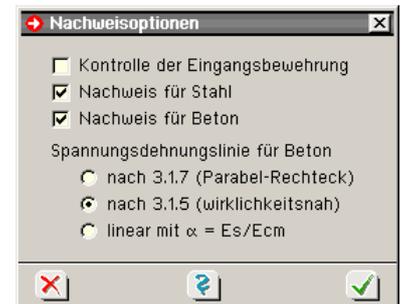


Abb. 11: Nachweisoptionen Ermüdungsnachweis n. EC 2

Zum einwandfreien Ablauf des Ermüdungsnachweises ist es unbedingt notwendig, dass die Nachweisschnittgrößen vom Querschnitt aufgenommen werden können. D.h. die in den Nachweis eingehende Bewehrung (Startvektor) muss einer Biegebemessung standhalten. Zur Absicherung, ob die vorhandene Bewehrung ausreicht, kann vom Benutzer eingestellt werden, dass vorab eine Biegebemessung durchgeführt wird (Kontrolle der Eingangsbewehrung).

1.1.3.3.2

objektbezogene Bemessungsangaben



Abb. 12: objektbezogene Bemessungsangaben Ermüdungsnachweis n. EC 2

Hier wird die zulässige Spannungsschwingbreite für die Bewehrung bei N^* Lastzyklen aus den entsprechenden Ermüdungsfestigkeitskurven sowie der Zeitpunkt der Erstbelastung des Betons eingegeben. Ein Nachweis ist nur für Tragwerke und tragende Bauteile erforderlich, die regelmäßigen Lastwechseln unterworfen sind (z. B. Maschinenfundamente, Gabelstaplerverkehr auf Decken, Kranbahnträger).

1.1.3.3.3

Verfahren

Es stehen verschiedene Verfahren zum Nachweis der Ermüdung zur Verfügung. Versagt ein vereinfachter Nachweis n. 6.8.6, kann - anstelle eines expliziten Betriebsfestigkeitsnachweises - der Nachweis über schädigungsäquivalente Spannungen n. 6.8.5 geführt werden. Die Nachweise gelten ausschließlich für Bauteile aus Normalbeton. Er ist für Beton und Stahl getrennt zu führen.



Zz. ist nur der Nachweis n. 6.8.5 bzw. 6.8.7 (1) umgesetzt. Er wird zz. nicht für eine Querkraftbeanspruchung geführt.

Die Spannungen werden mit den gewählten Spannungsdehnungslinien (s. Abs. 1.1.3.1.2.1, S. 15) ermittelt.

Zunächst erfolgt der Nachweis für den Betonstahl. Der Längsbewehrungsgrad wird so lange iterativ erhöht, bis der vorgegebene Grenzwert eingehalten ist. Anschließend wird überprüft, ob der Beton trägt. Falls nicht, hat der Nachweis versagt. Es erfolgt keine weitere Bewehrungserhöhung.

1.1.3.3.3.1 Vereinfachte Nachweise (6.8.6, 6.8.7 (2))

Für nicht geschweißte Bewehrungsstäbe unter Zugbeanspruchung darf ein ausreichender Widerstand gegen Ermüdung angenommen werden, wenn die Schwingbreite unter der Grundkombination zuzüglich der häufigen zyklischen Einwirkung

Stahl $\Delta\sigma_s \leq \text{zul } \Delta\sigma_s$ mit $\text{zul } \Delta\sigma_s = k_1$ (k_1 s. nationaler Anhang, empfohlen $k_1 = 70 \text{ N/mm}^2$) ist.

Für geschweißte Bewehrungsstäbe unter Zugbeanspruchung darf ein ausreichender Widerstand gegen Ermüdung angenommen werden, wenn die Schwingbreite unter der häufigen Einwirkung kombiniert mit der Grundkombination

$\Delta\sigma_s \leq \text{zul } \Delta\sigma_s$ mit $\text{zul } \Delta\sigma_s = k_2$ (k_2 s. nationaler Anhang, empfohlen $k_2 = 35 \text{ N/mm}^2$) ist.

Vereinfacht darf der Nachweis auch unter der häufigen Einwirkungskombination im GZG geführt werden.

Beton
$$\frac{|\sigma_{cd,max}|}{f_{cd,fat}} \leq 0.5 + 0.45 \cdot \frac{|\sigma_{cd,min}|}{f_{cd,fat}} \quad \begin{cases} \leq 0.9 & \text{für } f_{ck} \leq 50 \text{ N/mm}^2 \\ \leq 0.8 & \text{für } f_{ck} > 50 \text{ N/mm}^2 \end{cases}$$

$$f_{cd,fat} = \beta_{cc}(t_0) \cdot f_{cd} \cdot \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) \text{ mit } f_{ck} \text{ in N/mm}^2$$

$\sigma_{cd,max}$ Bemessungswert der maximalen Druckspannung

$\sigma_{cd,min} \leq 0$ Bemessungswert der min. Druckspannung am Ort von $\sigma_{cd,max}$

$\beta_{cc}(t_0) = e^{s(1-\sqrt{28/t_0})}$ Beiwert für die Nacherhärtung

s vom Zementtyp abhängiger Beiwert, hier $s = 0.20$ (Zement der Klasse R)

t_0 Zeitpunkt der Erstbelastung des Betons in Tagen

Gilt auch für die Druckstreben von querkraftbeanspruchten Bauteilen mit Querkraftbewehrung, wobei

$$f_{cd,fat,V} = v \cdot f_{cd,fat}, \quad (v \text{ s. Querkraftbemessung}),$$

$$\tan\theta_{fat} = \sqrt{\tan\theta} \leq 1.0.$$

Bauteile ohne Querkraftbewehrung:

$$\text{für } \frac{V_{Ed,min}}{V_{Ed,max}} \geq 0.0: \quad \frac{|V_{Ed,max}|}{|V_{Rd,ct}|} \leq 0.5 + 0.45 \cdot \frac{|V_{Ed,min}|}{|V_{Rd,ct}|} \quad \begin{cases} \leq 0.9 & \text{für } f_{ck} \leq 50 \text{ N/mm}^2 \\ \leq 0.8 & \text{für } f_{ck} > 50 \text{ N/mm}^2 \end{cases}$$

$$\text{für } \frac{V_{Ed,min}}{V_{Ed,max}} < 0.0: \quad \frac{|V_{Ed,max}|}{|V_{Rd,ct}|} \leq 0.5 - \frac{|V_{Ed,min}|}{|V_{Rd,ct}|}$$

$V_{Ed,max}$ Bemessungswert der maximalen Querkraft

$V_{Ed,min}$ Bemessungswert der minimalen Querkraft am Ort von $V_{Ed,max}$

$V_{Rd,ct}$ Bemessungswert der aufnehmbaren Querkraft (s. Querkraftbemessung)

1.1.3.3.3.2 Nachweis über schädigungsäquivalente Spannungsschwingbreiten (6.8.5, 6.8.7 (1))

Anstelle eines expliziten Betriebsfestigkeitsnachweises kann der Nachweis n. 6.8.5 im GZT gegen Ermüdung über schädigungsäquivalente Spannungsschwingbreiten für die Bewehrung und über schädigungsäquivalente Druckspannungen für den Beton geführt werden.

Stahl

$$\gamma_{F,fat} \cdot \Delta\sigma_{s,equ}(N^*) \leq \frac{\Delta\sigma_{Rsk}(N^*)}{\gamma_{s,fat}}$$

$\gamma_{F,fat}$ s. NDP, Vorgabe: $\gamma_{F,fat} = 1.0$, $\gamma_{s,fat} = \gamma_s$ (ständige und veränderliche Bemessungssit.)

$\Delta\sigma_{Rsk}(N^*)$: Spannungsschwingbreite bei N^* Lastzyklen

gerade und gebogene Stäbe: $N^* = 10^6$ $\Delta\sigma_{Rsk} = \xi \cdot 162.5 \text{ N/mm}^2$

mit $\xi = 0,35 + 0,026 d_{br}/d_s \leq 1.0$

d_{br} Biegerollendurchmesser

d_s Stabdurchmesser

geschweißte Stäbe und Stahlmatten: $N^* = 10^7$ $\Delta\sigma_{Rsk} = 58.5 \text{ N/mm}^2$

$\Delta\sigma_{s,equ}(N^*)$: schädigungsäquivalente Spannungsschwingbreite unter Berücksichtigung der Anzahl Lastwechsel, für den Hochbau: $\Delta\sigma_{s,equ}(N^*) = \max \Delta\sigma_s$

$\max \Delta\sigma_s$ maximale Spannungsamplitude

Beton

$$E_{cd,max,equ} + 0.43 \cdot \sqrt{1 - R_{equ}} \leq 1,0$$

$$R_{equ} = \frac{E_{cd,min,equ}}{E_{cd,max,equ}} \text{ mit } E_{cd,min,equ} = \frac{|\sigma_{cd,min,equ}|}{f_{cd,fat}}$$

$$E_{cd,max,equ} = \frac{|\sigma_{cd,max,equ}|}{f_{cd,fat}}$$

$\sigma_{cd,max,equ}$, $\sigma_{cd,min,equ}$: Ober- bzw. Unterspannung der Dauerschwingfestigkeit mit einer Anzahl von N Lastzyklen.

1.1.3.4

Spannungsnachweis n. Eurocode 2

Kurzbezeichnung:	EC 2 Spannungsnachweis
Zusatzbezeichnung:	Gebrauchstauglichkeit n. EC 2 (7.2)
Programmbezug:	##-NISI, ##-FRAP, ##-ALFA
Nachweisobjekte:	Stab- und Flächenträger aus Stahlbeton
Kombinationsregel:	Gebrauchstauglichkeitsnachweis n. Eurocode für seltene Komb.
Überlagerungsvorschrift:	Extremalbildungsvorschriften und Lastkollektive
Interne Nummer:	44

Für das nutzungsgerechte und dauerhafte Verhalten eines Bauwerks sind die übermäßige Schädigung des Betongefüges sowie nichtelastische Verformungen des Betonstahls durch Einhaltung von Spannungsgrenzen n. 7.2 zu vermeiden.

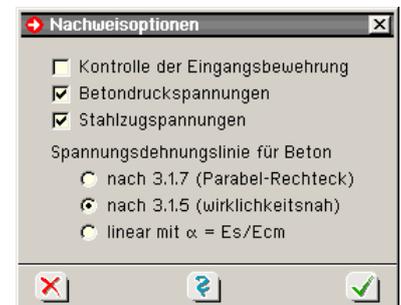
1.1.3.4.1

optionale Einstellungen

Der Nachweis kann optional für die Betondruckspannungen und/oder Stahlzugspannungen geführt werden.

Die für diesen Nachweis relevante Spannungsdehnungslinie für Beton wird ebenfalls hier gewählt (s. Abs. 1.1.3.1.2.1, S. 15).

Abb. 13: Nachweisoptionen Spannungsnachweis n. EC 2



Zum einwandfreien Ablauf des Spannungsnachweises ist es unbedingt notwendig, dass die Nachweisschnittgrößen vom Querschnitt aufgenommen werden können. D.h. die in den Nachweis eingehende Bewehrung (Startvektor) muss einer Biegebemessung standhalten. Zur Absicherung, ob die vorhandene Bewehrung ausreicht, kann vom Benutzer eingestellt werden, dass vorab eine Biegebemessung durchgeführt wird (Kontrolle der Eingangsbewehrung).

1.1.3.4.2

objektbezogene Bemessungsangaben

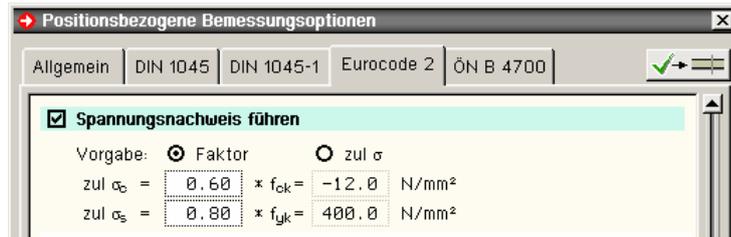


Abb. 14: Positionsbezogene Bemessungsoptionen Spannungsnachweis n. EC 2

Um Längsrisse, Mikrorisse oder starkes Kriechen zu vermeiden, müssen die Druckspannungen im Beton begrenzt werden. Ebenfalls müssen zur Vermeidung von nicht elastischen Dehnungen, nicht akzeptabler Rissbildung oder Verformungen die Zugspannungen in der Bewehrung begrenzt werden. Dazu können an dieser Stelle die zulässigen Betonstahl- und Betonspannungen modifiziert werden. Zur vereinfachten Eingabe kann entweder der Abminderungsfaktor der gewählten Materialgüte zur Ermittlung der zulässigen Spannung vorgegeben werden oder unabhängig davon direkt die zulässige Spannung.

Die Spannungen werden mit den gewählten Spannungsdehnungslinien (s. Abs. 1.1.3.1.2.1, S. 15) ermittelt.

1.1.3.4.3

Verfahren

1.1.3.4.3.1

Betondruckspannungen

N. 7.2 (2) sollen die Betondruckspannungen zur Vermeidung von Längsrissen unter der charakteristischen (seltenen) Einwirkungskombination den Wert

$$\text{zul } \sigma_c = k_1 \cdot f_{ck} \text{ mit } k_1 \text{ s. nationaler Anhang, empfohlen } k_1 = 0.6$$

nicht überschreiten. Falls die Gebrauchstauglichkeit, Tragfähigkeit oder Dauerhaftigkeit des Bauwerks durch das Kriechen wesentlich beeinflusst werden, sind sie n. 7.2 (3) unter der quasi-ständigen Einwirkungskombination auf

$$\text{zul } \sigma_c = k_2 \cdot f_{ck} \text{ mit } k_2 \text{ s. nationaler Anhang, empfohlen } k_2 = 0.45 \text{ zu begrenzen.}$$

1.1.3.4.3.2

Stahlzugspannungen

Die Zugspannungen in der Betonstahlbewehrung sind n. 7.2 (5) bei direkten Einwirkungen (Lastbeanspruchung) unter der charakteristischen (seltenen) Einwirkungskombination auf den Wert

$$\text{zul } \sigma_s = k_3 \cdot f_{yk} \text{ mit } k_3 \text{ s. nationaler Anhang, empfohlen } k_3 = 0.8$$

zu begrenzen. Wird die Spannung durch eine indirekte Einwirkung bedingt, darf gelten

$$\text{zul } \sigma_s = k_5 \cdot f_{yk} \text{ mit } k_5 \text{ s. nationaler Anhang, empfohlen } k_5 = 1.0 .$$

1.1.4

Nachweise n. DIN 1045-1

1.1.4.1

Stahlbetonbemessung n. DIN 1045-1

Kurzbezeichnung:	DIN 1045-1 Bemessung
Zusatzbezeichnung:	Tragfähigkeit n. DIN 1045-1 (10.2, 10.3, 10.4)
Programmbezug:	##-NISI, ##-FRAP, ##-ALFA (##-DULAB)
Nachweisobjekte:	Stab- und Flächenträger aus Stahlbeton
Kombinationsregel:	Tragfähigkeitsnachweis n. DIN 1055-100
Überlagerungsvorschrift:	Extremalbildungsvorschriften und Lastkollektive
Interne Nummer:	31

1.1.4.1.1

optionale Einstellungen

Die Querschnitte der definierten Betonstäbe werden n. DIN 1045-1, 10.2 auf Biegung, 10.3 auf Querkraft und 10.4 auf Torsion sowie Querkraft und Torsion bemessen /18/.

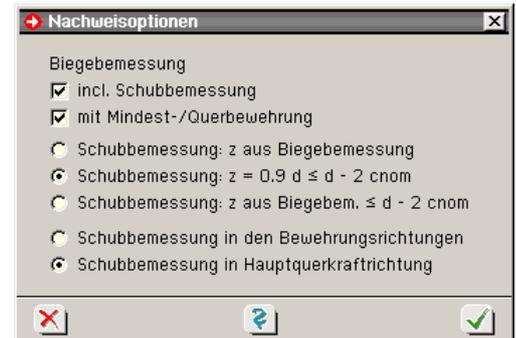


Abb. 15: Nachweisoptionen DIN 1045-1 - Stahlbetonbemessung

Die Durchführung der Schubbemessung kann an dieser Stelle nachweisglobal an- oder abgewählt werden.

Ebenso kann hier mit der nicht statisch erforderlichen Bewehrung (Mindestbewehrung für Biegung und Schub zur Sicherstellung eines duktilen Bauteilverhaltens, Querbewehrung bei Flächenträgern) verfahren werden.

Der innere Hebelarm wird für diesen Nachweis entsprechend der gewählten Einstellung entweder aus der Biegebemessung übernommen oder n. 10.3.4(2) zu $z = 0.9 \cdot d$ angenommen, wobei einschränkend z nicht größer angesetzt werden darf als $z \leq d - 2 \cdot c_{\text{nom},l}$ (mit $c_{\text{nom},l}$ der Längsbewehrung in der Betondruckzone). Empfohlen wird, den inneren Hebelarm aus der Biegebemessung zu übernehmen und mit $z \leq d - 2 \cdot c_{\text{nom},l}$ abzugleichen.

1.1.4.1.2

Besonderheiten bei der Querkraftbemessung von Flächentragwerken

Die Bewehrungsrichtungen -1- (α_1) und -2- (α_2) stimmen i.A. nicht mit der Richtung der Hauptschnittgrößen n_1, n_2 (α_n), m_1, m_2 (α_m) und q_1 (α_q) überein. Das einachsige Tragverhalten ist aber Voraussetzung zur Anwendung der Bemessungsverfahren nach den z.z. gültigen Normen. Um Flächenträger normenkonform bemessen zu können, sind deshalb Transformationen in ein Balkenproblem notwendig.



Abb. 16: Nachweisoptionen DIN 1045-1 – Querkraftbemessung von Flächentragwerken

Die Querkraftbemessung erfolgt auf Basis von Schubkräften, die stark richtungsabhängig sind. Da außerdem der Längsbewehrungsgehalt in der Zugzone des Querschnitts eine große Rolle bei der Entscheidung spielt, ob (oder ob keine) Querkraftbewehrung anzuordnen ist, liegt es auf der Hand, die Schubbemessung in den Bewehrungsrichtungen durchzuführen. Bei dieser Bemessungsvariante ergeben sich die Anteile a_{sq1} (in Bewehrungsrichtung -1-) und a_{sq2} (in Bewehrungsrichtung -2-), welche anschließend zur Gesamtquerkraftbewehrung a_{sq} addiert werden ($a_{sq} = a_{sq1} + a_{sq2}$).

Der wesentliche Vorteil des Verfahrens liegt darin, dass die Anteile in den Bewehrungsrichtungen bekannt sind und in Druckliste und Plan ausgegeben werden können. Dadurch ist es z.B. leicht möglich, Aufbiegungen der Längsbewehrungen als mögliche Querkraftbewehrung vorzusehen.

Nachteilig ist, dass das Bemessungsverfahren wesentliche Größen – wie z.B. zur Bestimmung von Längs- und Querabständen der Querkraftzulagen (V_{Ed} , $V_{Rd,max}$) – auch (nur) richtungsbezogen liefert, sodass für a_{sq} diese Werte nicht vorliegen. Daher wurde eine zweite Bemessungsvariante implementiert. Sie lehnt sich an die bekannte Bemessung nach der alten DIN 1045 an und ermittelt die Schubbewehrung a_{sq} in Hauptquerkrafttrichtung α_q . Dazu werden sämtliche benötigten Größen in diese Richtung transformiert.

Vorteilhaft ist, dass die zugehörigen Größen (V_{Ed} , $V_{Rd,max}$) für weitere Anwendungen bekannt sind und analog der Stab-Schubbemessung behandelt werden können.

1.1.4.1.3 objektbezogene Bemessungsangaben

Abb. 17: objektbezogene Bemessungsangaben DIN 1045-1 - Stahlbetonbemessung

Im Registerblatt *DIN 1045-1* der positions- bzw. stabbezogenen Bemessungsangaben können u.A. die Parameter zur Biege- und Schubbemessung n. DIN 1045-1 (7.01) verändert werden. Zunächst und an erster Stelle wird das Material für alle Nachweise dieser Norm festgelegt. Anschließend werden die Parameter nach Nachweisen geordnet dargestellt.

1.1.4.1.3.1 Material

In Auswahlboxen werden die möglichen Beton- und Betonstahlsorten (Stabstahl für Biegebemessung und Nachweise, Bügel für Schubbemessung) angeboten. Diese gelten für sämtliche Nachweise, die nach dieser Norm geführt werden. Die Betongüte kann entweder aus dem Material-Eigenschaftsblatt für die Berechnung der Schnittgrößen übernommen (empfehlenswert) oder frei gewählt werden.

Es handelt sich um Betone der **Festigkeitsklassen** (Tab. 9, /18/)

C12/15, C16/20, C20/25, C25/30, C30/37, C35/45, C40/50, C50/60, C55/67, C60/75, C70/85, C80/95, C90/105, C100/115

bzw. die zugehörigen Leichtbetone (Tab. 10, /18/)

LC12/13, LC16/18, LC20/22, LC25/28, LC30/33, LC35/38, LC40/44, LC50/55, LC55/60, LC60/66

sowie die Betonstahlsorte (Tab. 11, /18/) BSt 500 S(B) oder M(B).

Die Dichte des Leichtbetons ist bei Bedarf mit $2000 \text{ kg/m}^3 > \rho > 800 \text{ kg/m}^3$ anzugeben.

Außerdem werden die in der ÖNORM B 4700 /23/ geregelten Beton- und Betonstahlsorten unterstützt:

Ö-B 15, Ö-B 20, Ö-B 25, Ö-B 30, Ö-C 30/37, Ö-B 40, Ö-C 35-45, Ö-B 50, Ö-C 45/55, Ö-B 60

sowie Ö-BSt 550, Ö-BSt 600.

Um eine Verwechslung mit Betonsorten gleichen Namens aber anderer Materialparameter, welche in den deutschen Normen vorkommen, zu vermeiden, werden die Betone der österreichischen Norm mit einem vorangestellten Ö gekennzeichnet.

Natürlich ist die Bemessung mit Beton- und Betonstahlsorten n. DIN 1045 (7.88) /17/ möglich. Beim Beton wird dazu die Würfeldruckfestigkeit β_{WN} n. T. Ruge (in /11/) umgerechnet in die Zylinderdruckfestigkeit $f_{ck} = \beta_{WN}/1.28$. Beim Betonstahl ist keine Umrechnung notwendig. Alle weiteren Parameter sowie sämtliche Grenzdehnungen zur Beschreibung der Spannungsdehnungslinien fließen in die Bemessung n. DIN 1045-1 ein.

Außerdem kann eine Bemessung n. DIN 1045-1 für benutzerdefinierte (*freie*) Materialien erfolgen. Dazu sind die benötigten Grenzwerte zur Beschreibung der Spannungsdehnungslinien anzugeben.

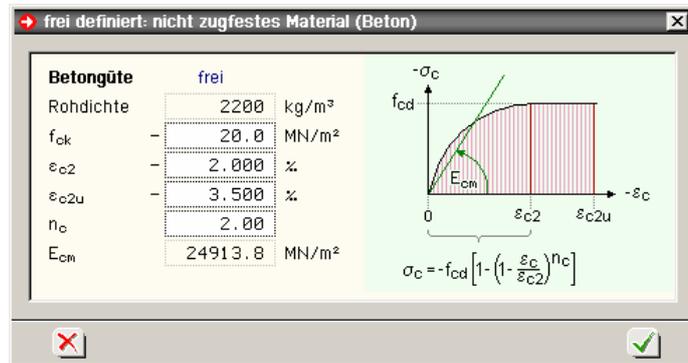


Abb. 18: Freie Materialangaben Beton

Für den Beton:

- f_{ck} charakteristische Zylinderdruckfestigkeit nach 28 Tagen in N/mm²
- α Abminderungsbeiwert, $f_{cd} = \alpha \cdot f_{ck} / \gamma_c$
- ϵ_{c2} Dehnung beim Erreichen der Festigkeitsgrenze in ‰
- ϵ_{c2u} Bruchdehnung in ‰
- n_c Exponent der Parabel $\sigma_c = -f_{cd} \cdot \left[1 - \left(1 - \frac{\epsilon_c}{\epsilon_{c2}} \right)^{n_c} \right]$
- E_{cm} Elastizitätsmodul in N/mm² (Sekantenmodul, s. Berichtigungen zur DIN 1045-1 /18/ und Heft 525, DAfStb, S.57 /20/.) Für den Betonstahl:
- f_{yk} Streckgrenze, $f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s$ in N/mm²
- f_{tk} Dehngrenze, $f_{td} = f_{tk} / \gamma_s$ in N/mm²
- ϵ_{su} Bruchdehnung in ‰
- E_s Elastizitätsmodul in N/mm²

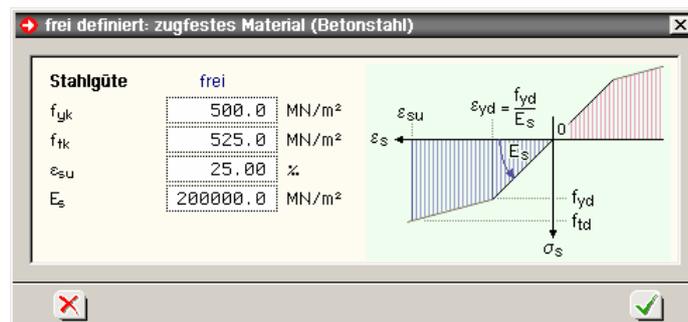


Abb. 19: Freie Materialangaben Betonstahl

Für den Betonstahl:

- f_{yk} Streckgrenze, $f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s$ in N/mm²
- f_{tk} Dehngrenze, $f_{td} = f_{tk} / \gamma_s$ in N/mm²
- ϵ_{su} Bruchdehnung in ‰
- E_s Elastizitätsmodul in N/mm²



Es ist darauf zu achten, dass die Materialangaben für Berechnung und Bemessung übereinstimmen!

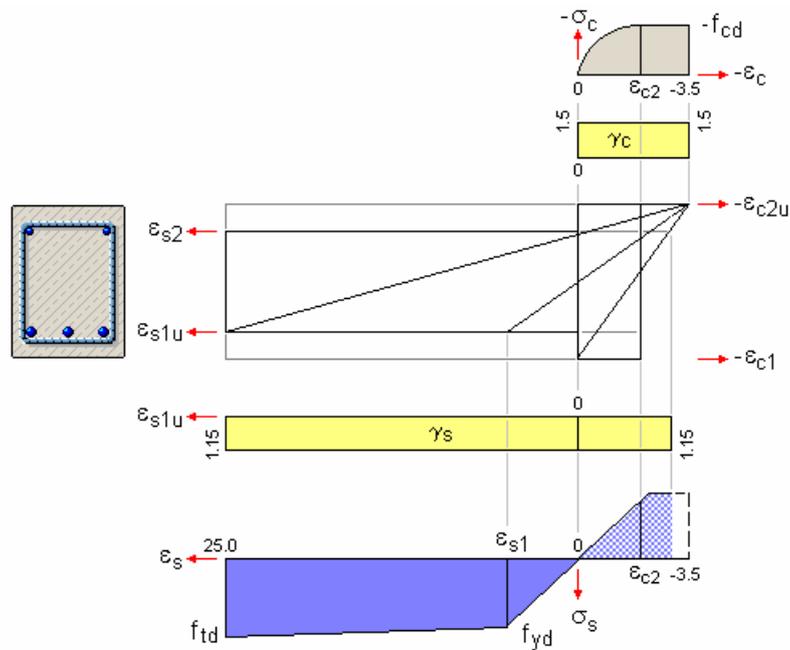


Abb. 20: Spannungsdehnungsbeziehungen im Zustand der Tragfähigkeit n. DIN 1045-1

Die **Spannungsdehnungsbeziehung** für Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit wird für den Beton (grau unterlegt) n. 9.1.6 als Parabel-Rechteck idealisiert, für den Betonstahl (blau) wird n. 9.2.4 eine bilineare Spannungsdehnungsbeziehung angenommen, deren Verlauf nach Erreichen der Streckgrenze linear veränderlich bis zur Bruchdehnung ist. Die Sicherheitsbeiwerte für Beton γ_c und Stahl γ_s (gelb) sind – in Abhängigkeit von der Bemessungssituation – konstant.

Beton

$$\sigma_c = -f_{cd} \cdot \left[1 - \left(1 - \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{c2}} \right)^n \right] \quad \text{für } 0 \geq \varepsilon_c \geq \varepsilon_{c2}$$

$$\sigma_c = -f_{cd} \quad \text{für } \varepsilon_{c2} \geq \varepsilon_c \geq \varepsilon_{c2u}$$

$$f_{cd} = \alpha_c \cdot f_{ck} / \gamma_c$$

α_c Abminderungsbeiwert zur Berücksichtigung von Langzeitauswirkungen auf die Druckfestigkeit sowie zur Umrechnung zwischen Zylinderdruckfestigkeit und einaxialer Druckfestigkeit des Betons

$f_{ck}, \varepsilon_{c2}, \varepsilon_{c2u}, E_{cm}$ n. Tab. 9 oder 10, s. Berichtigungen zu /18/

Stahl

$$\sigma_s = \varepsilon_s \cdot f_{yd} \quad \text{für } 0 \leq \varepsilon_s \leq \varepsilon_{s1} \text{ mit } \varepsilon_{s1} = f_{yd} / E_s$$

$$\sigma_s = f_{yd} + (f_{td} - f_{yd}) \cdot \frac{\varepsilon_s - \varepsilon_{s1}}{\varepsilon_{s1u} - \varepsilon_{s1}} \quad \text{für } \varepsilon_{s1} \leq \varepsilon_s \leq \varepsilon_{s1u}$$

$$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s, \quad f_{td} = f_{tk} / \gamma_s$$

$$\varepsilon_{s1u} = 25\text{‰}, \quad f_{yk} = 500 \text{ N/mm}^2, \quad E_s = 200000 \text{ N/mm}^2$$

N. 8.2(3) wird programmintern berücksichtigt

für Flächentragwerke:

$$k_x = x/d \leq 0.45 \quad \text{für Beton bis zur Festigkeitsklasse C50/60}$$

$$k_x = x/d \leq 0.35 \quad \text{für Beton ab der Festigkeitsklasse C55/67 und Leichtbeton}$$

für Stäbe (wirtschaftlich):

$$k_x = x/d \leq \frac{\varepsilon_{c2u}}{\varepsilon_{c2u} - \varepsilon_{yd}} \quad \text{mit } \varepsilon_{yd} = \varepsilon_{s1} \text{ (s.o.)}$$

Für Nachweise im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit kann das Materialverhalten des Betons wahlweise über das Parabel-Rechteck-Diagramm n. 9.1.6, über die wirklichkeitsnähere Spannungsdehnungsbeziehung nach 9.1.5 (empfehlenswert) oder linear mit $\alpha_c = E_s/E_{cm}$ angenommen werden (s. optionale Einstellungen des entsprechenden Nachweises). Unterschiede zeigen sich insbesondere bei den Betondruckspannungen, wohingegen die Stahlzugspannungen nur wenig auf eine Veränderung des Materialverhaltens reagieren.

Hinweis: bei hoher Belastung ($\sigma_c > 0.4 f_{cm}$) erweist sich das Parabel-Rechteck-Diagramm n. 9.1.6 als zu "weich", während der lineare Ansatz zu hohe Werte liefert. Die realitätsnahe Abbildung der Spannungsdehnungsbeziehung des Betons n. 9.1.5 berücksichtigt in den geringen Dehnungsbereichen das lineare Materialverhalten und bei hoher Belastung den sanften Übergang zur Bruchspannung.

1.1.4.1.4

Biegebemessung

Die Biegebemessung führt eine Bemessung der Längsbewehrung des gewählten Querschnitts für ein- oder zweiachsige Biegung mit oder ohne Längskraft und Längskraft allein n. 10.2 durch.

Zur Berücksichtigung der **Mindestbewehrung** wird

- für biegebeanspruchte Bauteile n. 13.1.1 (1) im biegebeanspruchten Bereich ein zusätzlicher Lastfall für das Rissmoment $M_{cr} = f_{ctm} \cdot W_c$ (Robustheitsbewehrung)
- für Wände n. 13.7.1 (3) für die lotrechte Bewehrung (die "lotrechte" Bewehrungsrichtung ist im Eigenschaftsblatt festzulegen)

$$\min A_s = 0.0015 \cdot A_c \quad \text{für } |N_{Ed}| < 0.3 \cdot f_{cd} \cdot A_c$$

$$\min A_s = 0.0030 \cdot A_c \quad \text{für } |N_{Ed}| \geq 0.3 \cdot f_{cd} \cdot A_c$$

- für Stützen n. 13.5.2 (1)

$$\min A_s = 0.15 \cdot |N_{Ed}| / f_{yd}$$

angesetzt.

Wände und Stützen sind Druckglieder mit einer bezogenen Lastausmitte von $\frac{e_d}{h} \leq 3.5$. Im Eigenschaftsblatt kann vorgegeben werden, ob die Mindestbewehrung

- vom Programm automatisch für Biege- oder Druckglied,
- nur für Biegeglieder oder
- nur für Druckglieder

ermittelt werden soll.

Der maximale Bewehrungsgehalt wird im Registerblatt *Allgemein* (s. Abb. 3, S. 11) definiert.

Des Weiteren kann für Flächenpositionen der Mindestbewehrungsgehalt der **Querbewehrung** in Abhängigkeit der Hauptbewehrung (13.3.2) vorgegeben werden.



Soll neben der Mindestbewehrung auch die Querbewehrung ermittelt werden, wird bei Flächenpositionen die Mindestbewehrung für biegebeanspruchte Bauteile (z. B. Platten) nur in Haupttragrichtung angesetzt.

Für jeden Lastfall (es handelt sich um die bereits mit den erforderlichen Sicherheitsbeiwerten γ_F beaufschlagten Traglasten /21/) werden je nach Festlegung der Bewehrungsanordnung (s.o.) und der Materialsicherheiten γ_c und γ_s n. Tab.2 die erforderlichen Bewehrungsquerschnitte für

- einachsige Balken A_{s0} , A_{su} in cm^2
- zweiachsige Balken A_{s1} , A_{s2} , A_{s3} , A_{s4} in cm^2
- Scheiben, Platten, Faltwerke a_{sB10} , a_{sB1u} , a_{sB20} , a_{sB2u} in cm^2/m berechnet.

1.1.4.1.5

Schubbemessung

Für hauptsächlich über Biegung und/oder Zug abtragende Bauteile ist eine Schubbemessung der Zug- und Druckstreben (Fachwerkmodell) durchzuführen. Bei druckbelasteten Querschnitten sind die Hauptdruckspannungen nachzuweisen (s.u.).

Die Schubbemessung gliedert sich in die Bemessung für Querkraft, Torsion sowie Querkraft

und Torsion. Es wird separat für jede Schnittgröße die erforderliche Bügel- (Querkraft $a_{s,büQ}$) bzw. Bügel- und Längsbewehrung (Torsion $a_{s,büT}$ und $A_{s,T}$) ermittelt. Die Bügelbewehrung steht senkrecht auf der Längsbewehrung.

1.1.4.1.5.1 Schubbemessung von Flächenpositionen

Die Schubbemessung erfolgt für eine in Richtung der Längsbewehrung transformierte Querkraft (s. 0, S. 26) unter Annahme eines minimalen inneren Hebelarms und des zugehörigen Dehnungszustands des Querschnitts aus der Biegebemessung.

1.1.4.1.5.2 Schubbemessung von Balken

Falls eine zweiachsige Bemessung notwendig ist, erfolgt die Schubbemessung für einen Rechteckquerschnitt (Plattenbalken, Doppel-T: nur Steg). Die Bemessung kann auf zwei Arten erfolgen:

- Standardmäßig werden die einzelnen Querkraftkomponenten Q_{η} und Q_{ζ} einzeln bemessen; die resultierende Querkraftbewehrung ergibt sich aus der Extremierung der beiden Komponenten.
- Andererseits kann die Querkraftbemessung in Abhängigkeit der Schnittgrößen über einen Ansatz von P. Mark /22/ direkt für die geneigte Querkraft V_{Ed} durchgeführt werden.

Einachsig zu bemessende Rechteck-Querschnitte können optional wie **Platten, Stützen** behandelt werden, welche bei $V_{Ed} \leq V_{Rd,ct}$ keine Mindestschubbewehrung nachweisen müssen.

1.1.4.1.5.3 Schubbemessung für Querkraft

Gegenüber den n. DIN 1045 zu führenden Schubspannungsnachweisen sind die Bemessungsmodelle n. DIN 1045-1 für Bauteile mit und ohne rechnerisch erforderliche Querkraftbewehrung mechanisch besser nachvollziehbar und damit verständlicher. Die Bemessung gliedert sich in drei Schritte.

Zunächst wird der Bemessungswert der Querkrafttragfähigkeit

$$V_{Rd,ct} = \left[0,10 \kappa \cdot \eta_1 \cdot (100 \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} - 0,12 \sigma_{cd} \right] \cdot b_w \cdot d \text{ mit}$$

$$\kappa = 1 + \sqrt{200/d} \leq 2,0$$

$$\eta_1 = 0,40 + 0,60 \rho / 2200 \text{ mit } \rho \text{ in kg/m}^3 \text{ (Normalbeton } \eta_1 = 1,0)$$

$$\rho_l = A_{sl} / (b_w \cdot d) \leq 0,02 \quad \text{Längsbewehrungsgrad innerhalb der Querschnittszugzone}$$

b_w wirksame Querschnittsbreite in mm

d statische Nutzhöhe der Biegebewehrung im betrachteten Querschnitt in mm

$$\sigma_{cd} = N_{Ed} / A_c \quad \text{Bemessungswert der Betonlängsspannung im Schwerpunkt in N/mm}^2$$

N_{Ed} Bemessungswert der Längskraft ($N_{Ed} < 0$ als Längsdruckkraft)

berechnet.

Als wirksame Breite b_w wird die minimale Querschnittsbreite in Höhe der resultierenden inneren Schnittgrößen (entweder res. Betondruckkraft oder res. Stahlzugkraft) betrachtet.

In Analogie zum DIN-Fachbericht 102 /16/ gilt die o.a. Formel für ständige/veränderliche Bemessungssituationen und wird nach Gl. (4.118b) begrenzt auf

$$V_{Rd,ct} \geq \min V_{Rd,ct} = \left[v_{\min} - 0,12 \cdot \sigma_{cd} \right] \cdot b_w \cdot d \quad \text{mit} \quad v_{\min} = 0,035 \cdot \kappa^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2}.$$

Für außergewöhnliche Bemessungssituationen gelten Gl. (4.118c+d):

$$V_{Rd,ct} = \left[0,115 \cdot \kappa \cdot \eta_1 \cdot (100 \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} - 0,12 \cdot \sigma_{cd} \right] \cdot b_w \cdot d \geq \min V_{Rd,ct} \text{ mit}$$

$$\min V_{Rd,ct} = \left[v_{\min} - 0,12 \cdot \sigma_{cd} \right] \cdot b_w \cdot d$$

$$v_{\min} = 0,040 \cdot \kappa^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2}.$$

Wenn der Bemessungswert der Querkraft $V_{Ed} \leq V_{Rd,ct}$, ist n. 13.3.3 (2) rechnerisch keine Querkraftbewehrung erforderlich.

Wenn dagegen gilt $V_{Ed} > V_{Rd,ct}$, ist eine Querkraftbewehrung derart vorzusehen, dass $V_{Ed} \leq V_{Rd,sy}$. Der Bemessungswert der aufnehmbaren Querkraft

$$V_{Rd,sy} = a_{s,bü} \cdot f_{yd} \cdot z \cdot \cot \theta / \alpha_k \text{ mit}$$

z innerer Hebelarm im betrachteten Bauteilabschnitt

$0.5 \leq \alpha_k \leq 1.0$ Wirksamkeitsfaktor der Rundbügel (Eingabewert nur bei Kreisquerschnitten)

ist dabei abhängig von der Neigung der Druckstreben $\cot \theta$. θ kann im Eigenschaftsblatt vorgegeben werden, wird aber programmintern auf seine Grenzwerte hin überprüft

$$\cot 60^\circ \leq \cot \theta \leq \begin{cases} \leq 3.0 & \text{für Normalbeton} \\ \leq 2.0 & \text{für Leichtbeton} \end{cases} \text{ mit}$$

$$V_{Rd,c} = \beta_{ct} \cdot 0.10 \eta_1 \cdot f_{ck}^{1/3} (1 + 1.2 \sigma_{cd} / f_{cd}) \cdot b_w \cdot z, \beta_{ct} = 2.4$$

und bei Bedarf angepasst. Vereinfachend darf für

- reine Biegung oder Biegung und Längsdruckkraft $\theta = 40^\circ$
- Biegung und Längszugkraft $\theta = 45^\circ$ angenommen werden.



Je kleiner der Druckstrebenwinkel ist, desto weniger Querkraftbewehrung wird ermittelt, aber um so größer werden die Verankerungslängen der Längsbewehrung.

Der innere Hebelarm wird entweder

- aus der Biegebemessung des zugehörigen N,M-Lastfalls übernommen,
- n. 10.3.4(2) zu $z = 0.9 \cdot d$ mit $z \leq d - 2 \cdot c_{nom,l}$ gesetzt oder
- aus der Biegebemessung übernommen und mit $z \leq d - 2 \cdot c_{nom,l}$ überprüft. ($c_{nom,l}$ der Längsbewehrung in der Betondruckzone).

Besonderheiten:

- ist der zugehörige N,M-Lastfall Null, wird $z = 0.9 \cdot d$ mit $d = h - \max(h_{so}, h_{su})$ angenommen
- ist der Querschnitt überdrückt, wird der innere Hebelarm berechnet zu $z = I/S$ (I Trägheitsmoment, S statisches Moment um die Schwerachse).
- ist der Querschnitt überzogen, ergibt sich z zum Abstand der Bewehrungslagen.
- ist $c_{nom,l} = 0$, wird $c_{nom,l} = h_s - 0.5 \text{ cm} \leq 3 \text{ cm}$ berechnet.
- ist $c_{nom,l} > 3 \text{ cm}$, wird die Einschränkung begrenzt auf $z \leq d - c_{nom,l} - 3 \text{ cm}$.
- bei Kreisquerschnitten ist bei überzogenem Querschnitt $z = \frac{4}{\pi} \cdot (r_a - h_{sa})$.
- bei Kreisquerschnitten wird die wirksame Querschnittsbreite b_w begrenzt auf die Breite in Höhe der äußersten Bewehrungslage.

Allerdings darf der Bemessungswert der einwirkenden Querkraft in keinem Querschnitt des Bauteils den Wert

$$V_{Rd,max} = \frac{b_w \cdot z \cdot \alpha_c \cdot f_{cd}}{\cot \theta + \tan \theta} \text{ mit } \alpha_c = 0.75 \cdot \eta_1 \text{ überschreiten.}$$

Die Querkraftausnutzung wird n. Tab. 31 wie folgt ermittelt:

Bereich	Querkraftausnutzung*	Festigkeitsklasse des Betons			
		$\leq C50/60$ $\leq LC50/55$	$> C50/60$ $> LC50/55$	$\leq C50/60$ $\leq LC50/55$	$> C50/60$ $> LC50/55$
		Längsabstand		Querabstand	
1	$V_{Ed} \leq 0.30 V_{Rd,max}$	0.7 h bzw. 300 mm	0.7 h bzw. 200 mm	h bzw. 800 mm	h bzw. 600 mm
2	$0.30 V_{Rd,max} < V_{Ed} \leq 0.60 V_{Rd,max}$	0.5 h bzw. 300 mm	0.5 h bzw. 200 mm	h bzw. 600 mm	h bzw. 400 mm
3	$V_{Ed} > 0.60 V_{Rd,max}$	0.25 h bzw. 200 mm		h bzw. 600 mm	h bzw. 400 mm

* V_{Ed} und $V_{Rd,max}$ nach 10.3.2 und 10.3.4

Tab. 1: Querkraftausnutzung (DIN 1045-1, Tab. 31)



In Platten im Ausnutzungsbereich 1 ($V_{Ed} \leq 0.30 \cdot V_{Rd,max}$) darf die Querkraftbewehrung vollständig aus Schrägstäben oder Querkraftzulagen bestehen (13.3.3).

Soll die Querkraftbewehrung mit "Gitterträgern" ausgeführt werden, wird programmintern eine Zugfestigkeit der Bewehrung von $f_{yk} = 420 \text{ N/mm}^2$ (glatte Gitterträgerdiagonalen werden bemessen wie eine aufgebogene Längsbewehrung) angesetzt.

Die zulässige Größe des Druckstrebenwinkels ist in der jeweiligen Zulassung geregelt; daher wird bei Gitterträgern $\max \cot \theta_{j,zul}$ nicht überprüft:

$$1.0 \leq \cot \theta_{j,\text{Gitterträger}} \begin{cases} \leq 3.0 & \text{für Normalbeton} \\ \leq 2.0 & \text{für Leichtbeton} \end{cases}$$

Dazu ergibt sich die Grenze des Ausnutzungsbereichs 1 in Tab. 31 (d.h. bis zu welcher Belastung die Querkraftbewehrung als reine Gitterträgerkonstruktion ohne Bügel ausgeführt werden darf) zu

$$V_{Ed} \leq \begin{cases} 0.25 & \text{für } \alpha < 55^\circ \\ 0.30 \cdot (1 + \sin(55^\circ - \alpha)) & \text{für } \alpha \geq 55^\circ \end{cases} \cdot V_{Rd,max}$$

Bei überwiegend auf Biegung beanspruchten Bauteilen wie z. B. Balken (im Gegensatz zu Wänden oder Stützen) ist grundsätzlich eine Mindestbügelbewehrung für Querkraft n. 13.2.3 (5) mit

$$\min \rho_w = \rho = 0.16 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \geq \rho_w = \frac{a_{sbü}}{b_w \cdot \sin \alpha}$$

anzuordnen.

1.1.4.1.5.4

Besonderheiten bei zweiachsiger Querkraftbeanspruchung (geneigter Querkraft)

Der Bemessungsansatz von Peter Mark /22/ basiert auf einem „Fachwerkmodell mit Rissreibung“ und ergänzt zur Berücksichtigung einer Querkraftneigung die Gleichungen der Querkraftwiderstände durch einfache Faktoren.

Voraussetzungen:

- Rechteckquerschnitt
- keine Normalkraft
- Nulllinie senkrecht zur resultierenden Querkraftrichtung
- innerer Hebelarm aus Biegebemessung

Faktoren:

$$\text{- Vergrößerung der Bügelkräfte um } 1 \leq 1 + \left(\frac{2}{\sqrt{(b/h)^2 + 1}} - 1 \right) \cdot \alpha_v^k < 2$$

$$\text{- Verringerung der maximalen Druckstreben tragfähigkeit um } 1 \leq 1 + \left(\frac{b}{b_{eff}} - 1 \right) \cdot \alpha_v^k < \frac{b}{b_{eff}}$$

$$\text{mit der dimensionslosen Querkraftneigung } \alpha_v = \frac{|V_{Edy}|}{|V_{Edz}|} \cdot \frac{h}{b} \leq 1 \text{ sowie } k = 1/2, b_{eff} = 0.6 \cdot b.$$

Aus Kompatibilitätsgründen zur einachsigen Querkraftbemessung ergibt sich die wirksame Querschnittsbreite zu $b_w = b \cdot \left(1 + (\min(1, h/b) - 1) \cdot \alpha_v^k \right) \leq b$.

1.1.4.1.5.5

Schubbemessung für Torsion

Bei der Bemessung für Torsion ist bei Vollquerschnitten in der Regel nur die St. Venant'sche Torsion zu betrachten. Die Torsionstragfähigkeit kann unter Annahme eines dünnwandigen, geschlossenen Querschnitts mit der Ersatzwanddicke $t_{\text{eff}} = 2 \cdot d_1$ nachgewiesen werden. Die Bemessung erfordert ebenfalls drei Schritte.

Zunächst ist zu überprüfen, ob Torsionsbewehrung erforderlich ist. Dies geschieht für einen näherungsweise rechteckigen Vollquerschnitt mit

$$T_{\text{Ed}} \leq (V_{\text{Ed}} \cdot b_w) / 4.5 \text{ und } V_{\text{Ed}} \cdot (1 + (4.5 \cdot T_{\text{Ed}}) / (V_{\text{Ed}} \cdot b_w)) \leq V_{\text{Rd,ct}}$$

Kann der Nachweis nicht erbracht werden, ist die Bewehrung derart zu ermitteln, dass $T_{\text{Ed}} \leq T_{\text{Rd,sy}}$ gilt. Der Bemessungswert des aufnehmbaren Torsionsmoments

$$T_{\text{Rd,sy}} = a_{\text{s,büT}} \cdot f_{\text{yd}} \cdot 2 \cdot A_k \cdot \cot \theta \text{ bzw. } T_{\text{Rd,sy}} = A_{\text{s,T}} / u_k \cdot f_{\text{yd}} \cdot 2 \cdot A_k \cdot \tan \theta \text{ mit}$$

A_k Kernquerschnitt, durch die Mittellinien der Querschnittswände eingeschlossene Fläche

u_k Umfang der Fläche A_k

ist dabei abhängig von der Neigung der Druckstreben $\cot \theta$, die für die Schubkraft in der Wand infolge Querkraft und Torsion

$$V_{\text{Ed,T+V}} = V_{\text{Ed,T}} + (V_{\text{Ed}} \cdot t_{\text{eff}}) / b_w$$

zu ermitteln ist (s. Querkraftbemessung). Mit dem gewählten Winkel ist der Nachweis sowohl für Querkraft als auch für Torsion zu führen.

Allerdings darf der Bemessungswert des einwirkenden Torsionsmoments in keinem Querschnitt des Bauteils den Wert

$$T_{\text{Rd,max}} = \frac{\alpha_{\text{c,red}} \cdot f_{\text{cd}} \cdot 2 \cdot A_k \cdot t_{\text{eff}}}{\cot \theta + \tan \theta} \quad \text{mit} \quad \alpha_{\text{c,red}} = 0.7 \cdot \alpha_{\text{c}}$$

überschreiten.

1.1.4.1.5.6

Schubbemessung für Querkraft und Torsion

Die maximale Tragfähigkeit bei kombinierter Beanspruchung aus Querkraft und Torsion wird durch die Druckstrebenragfähigkeit begrenzt mit

$$\left[\frac{T_{\text{Ed}}}{T_{\text{Rd,max}}} \right]^2 + \left[\frac{V_{\text{Ed}}}{V_{\text{Rd,max}}} \right]^2 \leq 1.$$

1.1.4.1.5.7

Nachweis der Hauptdruckspannungen im Beton

Wände oder ähnliche hauptsächlich über Normalkraft abtragende Bauteile sind bezüglich ihrer Hauptdruckspannung zu überprüfen. N. 10.6.2(2) ist der Bemessungswert der Druckstrebenfestigkeit begrenzt mit

$$\sigma_2 \leq \eta_1 \cdot f_{\text{cd}} \quad \text{mit} \quad \sigma_2 \quad \text{maximale Hauptdruckspannung}$$

Literatur: /11/

1.1.4.2

Rissnachweis n. DIN 1045-1

Kurzbezeichnung:	DIN 1045-1 Rissnachweis
Zusatzbezeichnung:	Gebrauchstauglichkeit n. DIN 1045-1 (11.2)
Programmbezug:	##-NISI, ##-FRAP, ##-ALFA (##-DULAB)
Nachweisobjekte:	Stab- und Flächenträger aus Stahlbeton
Kombinationsregel:	Gebrauchstauglichkeitsn. n. DIN 1055-100 für quasiständige Komb.
Überlagerungsvorschrift:	Extremalbildungsvorschriften und Lastkollektive
Interne Nummer:	32

1.1.4.2.1

optionale Einstellungen

s. Abs. 1.1.6.2.1, S. 56.

Die folgenden Nachweisverfahren sind implementiert (Erläuterung s. unten):

Zum einwandfreien Ablauf des Rissnachweises ist es unbedingt notwendig, dass die Nachweis-schnittgrößen vom Querschnitt aufgenommen werden können. D.h. die in den Nachweis eingehende Bewehrung (Startvektor) muss einer Biegebemessung standhalten.

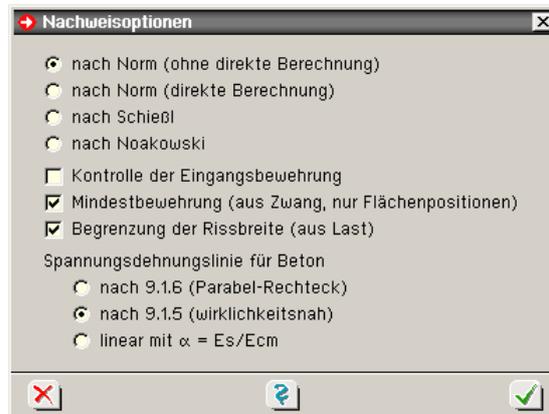


Abb. 21: Nachweisoptionen Rissnachweis n. DIN 1045-1

Zur Absicherung, ob die vorhandene Bewehrung ausreicht, kann vom Benutzer eingestellt werden, dass vorab eine Biegebemessung durchgeführt wird.

Nachweisglobal können die beiden Teilnachweise (entweder die Ermittlung der Mindestbewehrung zum Zeitpunkt der Erstrissbildung und/oder die Begrenzung der Rissbreite nach Abschluss der Rissbildung) an- oder abgeschaltet werden.

Die für diesen Nachweis relevante Spannungsdehnungslinie für Beton (s. Materialangaben) wird ebenfalls hier gewählt.

1.1.4.2.2

objektbezogene Bemessungsangaben

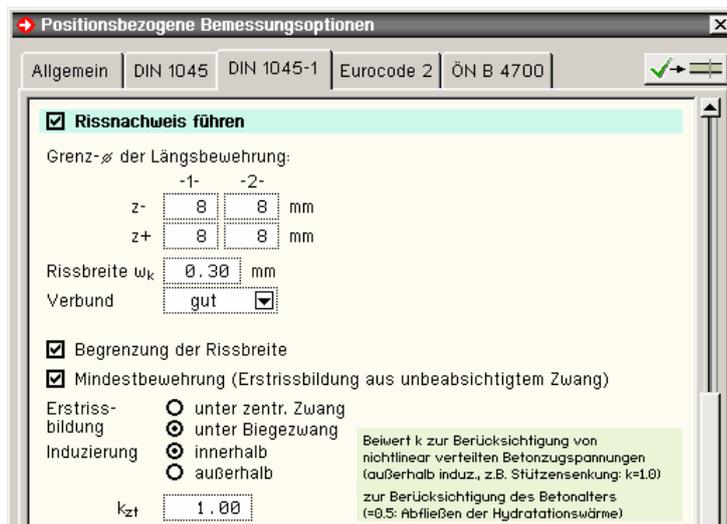


Abb. 22: objektbezogene Bemessungsangaben DIN 1045-1 - Nachweise

1.1.4.2.2

Begrenzung der Rissbreite ohne direkte Berechnung (11.2.3)

$$d_{s,gr} \leq \lim d_s(\sigma_s, d_s^*)$$

$d_{s,gr}$ Grenzdurchmesser der Bewehrung

$$\lim d_s = d_s^* \cdot \frac{\sigma_s \cdot A_s}{4 \cdot (h - d) \cdot b \cdot f_{ct,0}} \geq d_s^* \cdot \frac{f_{ct,eff}}{f_{ct,0}} \quad \text{zulässiger Bewehrungsdurchmesser}$$

d_s^* Grenzdurchmesser n. Tab. 20 in /18/ oder /19/

σ_s Betonstahlspannung im Zustand 2

A_s Einflussbereich der Betonstahlbewehrung

Die Spannungen werden mit den gewählten Spannungsdehnungslinien (s. Materialangaben) ermittelt.

Zeile	Spalte	1	2	3	4	5
	Stahlspannung σ_s N/mm ²	Grenzdurchmesser der Stäbe in mm in Abhängigkeit vom Rechenwert der Rissbreite w_k				
		$w_k = 0,4$ mm	$w_k = 0,3$ mm	$w_k = 0,2$ mm	$w_k = 0,15$ mm	$w_k = 0,10$ mm
1	160	56	42	28	21	14
2	200	36	27	18	14	9
3	240	25	19	13	9	6
4	280	18	14	9	7	5
5	320	14	11	7	5	4
6	360	11	8	6	4	-
7	400	9	7	5	-	-
8	450	7	5	4	-	-

Tab. 2: Grenzdurchmesser d_s^* bei Betonstählen (Tab. 20 in /19/)

Die mindestens einzuhaltende Rissbreite w_k ist abhängig von der Expositionsklasse, in der sich das Bauteil befindet. Für Stahlbetonbauteile des allgemeinen Hochbaus gilt:

Zeile	Spalte	...	4
	Expositionsklasse	Mindestanforderungsklasse	
		...	Stahlbetonbauteile
1	XC1		F
2	XC2, XC3, XC4		E
3	XD1, XD2, XD3 ^b , XS1, XS2, XS3		E

b Im Einzelfall können zusätzlich besondere Maßnahmen für den Korrosionsschutz notwendig sein.

Tab. 3: Mindestanforderungsklassen in Abh. von der Expositions-kl. (DIN 1045-1, Tab. 19, Auszug)

Zeile	Spalte
	Anforderungs-klasse	Einwirkungskombination für den Nachweis der Rissbreitenbegrenzung	
		...	Rissbreitenbegrenzung
1	A		-
2	B		selten
3	C		häufig
4	D		häufig
5	E		quasi-ständig
6	F		quasi-ständig

Tab. 4: Anforderungen an die Begrenzung der Rissbreite (DIN 1045-1, Tab. 18, Auszug)

1.1.4.2.3

Berechnung der Rissbreite (11.2.4)

$$w_k = s_{r,max} \cdot (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) \quad \text{mit}$$

$$s_{r,max} = \frac{d_s}{3.6 \cdot \text{eff } \rho} \leq \frac{\sigma_s \cdot d_s}{3.6 \cdot f_{ct,eff}}$$

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = \frac{\sigma_s - 0.4 \cdot \frac{f_{ct,eff}}{eff \rho} \cdot (1 + \alpha_e \cdot eff \rho)}{E_s} \geq 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s}$$

$\alpha_e = E_s / E_{cm}$, beachte die gewählte Spannungsdehnungslinie (s. Materialangaben)!

$eff \rho = A_s / A_{c,eff}$ effektiver Bewehrungsgrad

$A_{c,eff} = h_{c,ef} \cdot b$ Wirkungsbereich der Bewehrung

$h_{c,ef}$ Höhe des Wirkungsbereichs der Bewehrung

Biegung: $h_{c,ef} = 2.5 \cdot (h - d) \leq (h - x) / 3$

Zug: $h_{c,ef} = 2.5 \cdot (h - d) \leq h / 2$

σ_s Spannung der Bewehrung im Zustand 2

$f_{ct,eff} = f_{ctm}$ wirksame Zugfestigkeit des Betons

Die Spannungen werden mit den gewählten Spannungsdehnungslinien (s. Materialangaben) ermittelt.

1.1.4.2.4 Rissnachweis n. Schießl bzw. Noakowski

s. Abs. 1.1.6.2.1, S. 56.

Die Spannungen werden mit den gewählten Spannungsdehnungslinien (s. Materialangaben) ermittelt.

1.1.4.3 Ermüdungsnachweis n. DIN 1045-1

Kurzbezeichnung:	DIN 1045-1 Ermüdungsnachweis
Zusatzbezeichnung:	Tragfähigkeit n. DIN 1045-1 (10.8)
Programmbezug:	##-NISI, ##-FRAP, ##-ALFA (##-DULAB)
Nachweisobjekte:	Stab- und Flächenträger aus Stahlbeton
Kombinationsregel:	Tragfähigkeitsnachweis n. DIN 1045-1 (Ermüdungsnachweis spezial)
Überlagerungsvorschrift:	Extremalbildungsvorschriften und Lastkollektive
Interne Nummer:	33

Hinweise zur Bildung der Extremierungsvorschriften

N. DIN 1045-1, 10.8.3(3), sind i.A. folgende Einwirkungskombinationen zu berücksichtigen:

- ständige Einwirkungen
- Setzungen, Temperatureinwirkungen (i.A. quasi-ständig, dienen zur Erhöhung des Spannungsniveaus)
- Einwirkungen aus Nutzlasten (i.A. veränderlich, tragen zur Bildung der Spannungsdifferenz bei)
- Ergänzend hierzu werden Einwirkungen aus Fahrzeuglasten (veränderlich) als ermüdungsrelevant eingestuft (s. Handbuch *pcae-Nachweiskonzept 2009, Theorie und programmtechnische Umsetzung*).

Hierbei muss unterschieden werden, ob eine Einwirkung ständig bzw. quasi-ständig wirkt und somit nur das mittlere Spannungsniveau festlegt oder ob die Einwirkung ermüdungsrelevant ist, also einen Beitrag zur Unter-/Oberspannung liefert. Da die Unterscheidung zwischen ständigen bzw. quasi-ständigen und ermüdungsrelevanten Einwirkungen problemabhängig ist, sollte die Definition dieser Größen und ihre Auswirkung auf die Extremierungsvorschriften vom Anwender sorgfältig geprüft werden. Hierzu werden einige Hilfestellungen gegeben:

Einwirkungen, die quasi-ständig wirken, sollten als Zwangslasten deklariert werden.

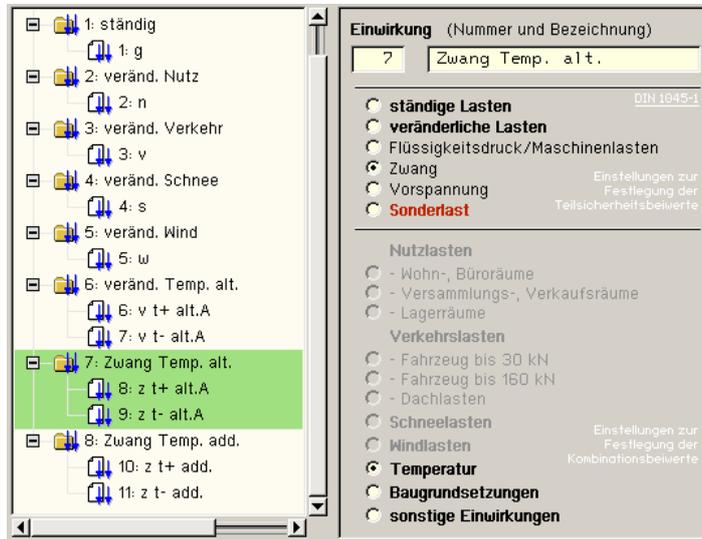


Abb. 23: Verwaltung der Einwirkungen

In diesem Fall werden automatisch die Lastbeiwerte $\gamma_{Fsup} = \gamma_{Finf} = 1$ gesetzt. Der gleiche Effekt kann erzielt werden, indem die Tabelle zur Steuerung der Extremierungsvorschrift benutzerdefiniert bearbeitet wird.

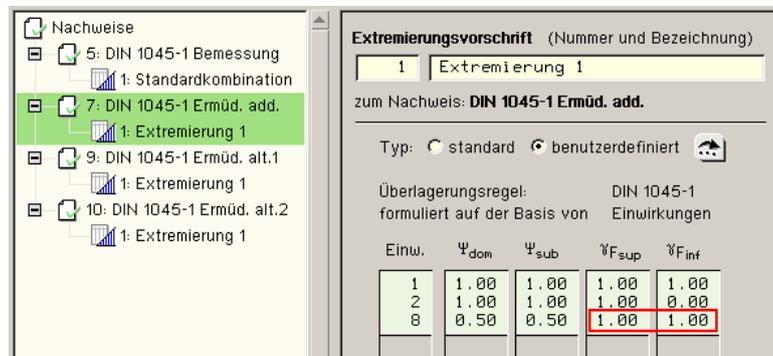


Abb. 24: Verwaltung der Nachweise

Werden Setzungen, Temperatureinwirkungen einer veränderlichen Einwirkung zugeordnet, sind die Lastbeiwerte mit $\gamma_{Fsup} = 1$ und $\gamma_{Finf} = 0$ derart voreingestellt, dass sie zur Spannungsdifferenz beitragen. Das kommt im allgemeinen Hochbau normalerweise nicht vor.

Sind einer quasi-ständigen Einwirkung alternative Lasten zugeordnet (z. B. verschiedene Temperaturbeanspruchungen eines Bauteils), muss je alternativer Last ein eigener Nachweis mit einer Extremierungsvorschrift generiert werden. Die Tabelle zur Steuerung der Extremierungsvorschrift ist benutzerdefiniert zu bearbeiten:

- Umstellen der Formulierung auf Basis von Lastfällen
- Abklicken der nicht betrachteten alternativen Lasten
- ggf. Lastbeiwerte der alternativen Last zu $\gamma_{Fsup} = \gamma_{Finf} = 1$ setzen.

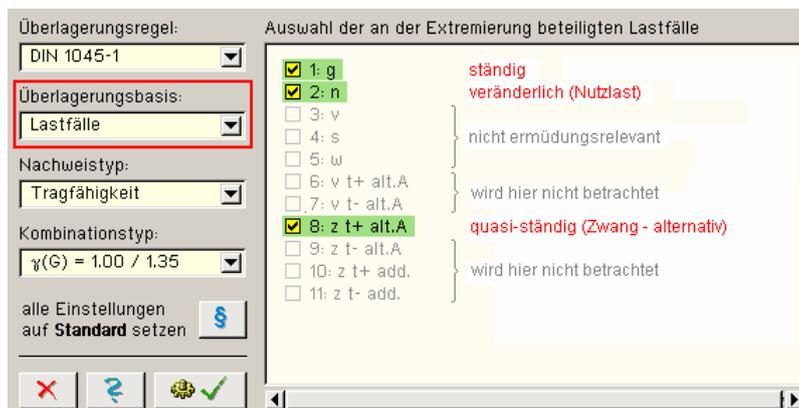


Abb. 25: Generierung benutzerdefinierter Extremierungsvorschriften

1.1.4.3.1

optionale Einstellungen

Der Nachweis wird getrennt für Betonstahl und Beton geführt. An dieser Stelle kann der Teilnachweis global an- oder abgeschaltet werden.

Die für diesen Nachweis relevante Spannungsdehnungslinie für Beton wird ebenfalls hier gewählt.

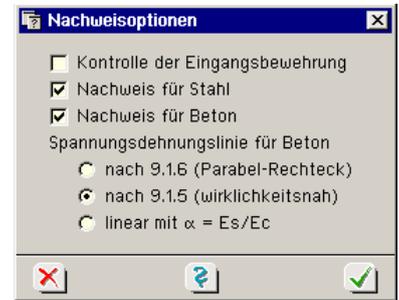


Abb. 26: Optionen Ermüdungsnachweis n. DIN 1045-1

Zum einwandfreien Ablauf des Ermüdungsnachweises ist es unbedingt notwendig, dass die Nachweisschnittgrößen vom Querschnitt aufgenommen werden können. D.h. die in den Nachweis eingehende Bewehrung (Startvektor) muss einer Biegebemessung standhalten. Zur Absicherung, ob die vorhandene Bewehrung ausreicht, kann vom Benutzer eingestellt werden, dass vorab eine Biegebemessung durchgeführt wird (Kontrolle der Eingangsbewehrung).

1.1.4.3.2

objektbezogene Bemessungsangaben



Abb. 27: objektbezogene Bemessungsangaben DIN 1045-1 - Ermüdungsnachweis

Hier werden die zulässige Spannungsschwingbreite für die Bewehrung sowie der Zeitpunkt der Erstbelastung des Betons eingegeben. Ein Nachweis ist nur erforderlich, wenn die Lasten innerhalb eines kurzen Zeitraums stark schwanken (z. B. bei Maschinenfundamenten, Gabelstaplerverkehr, Kranbahnen). Im allgemeinen Hochbau kann der Nachweis normalerweise vernachlässigt werden.

1.1.4.3.3

Verfahren

Tragende Bauteile, die einer hohen Anzahl von Lastwechseln unterworfen sind, können infolge Ermüdung versagen, auch wenn die Beanspruchung die für die statischen Nachweise maßgebenden Materialfestigkeiten nicht erreicht. Für Tragwerke des üblichen Hochbaus braucht i.A. kein Nachweis gegen Ermüdung geführt zu werden.

Laut Norm stehen verschiedene Verfahren zum Nachweis der Ermüdung zur Verfügung. Versagt ein vereinfachter Nachweis n. 10.8.4, kann – anstelle eines expliziten Betriebsfestigkeitsnachweises – der Nachweis über schädigungsäquivalente Spannungen n. 10.8.3 geführt werden. Die Nachweise gelten ausschließlich für Bauteile aus Normalbeton. Zz. ist nur der Nachweis n. 10.8.3 umgesetzt. Er ist für Beton und Stahl getrennt zu führen.

Die Spannungen werden mit den gewählten Spannungsdehnungslinien (s. Materialangaben) ermittelt.

Zunächst erfolgt der Nachweis für den Betonstahl. Der Längsbewehrungsgrad wird so lange iterativ erhöht, bis der vorgegebene Grenzwert eingehalten ist. Anschließend wird überprüft, ob der Beton trägt. Falls nicht, hat der Nachweis versagt. Es erfolgt keine weitere Bewehrungserhöhung.

1.1.4.3.3.1

Vereinfachte Nachweise (10.8.4)

Der vereinfachte Nachweis n. 10.8.4 ist mit der häufigen Einwirkungskombination im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit (GZG) zu führen.

Stahl

$$\Delta\sigma_s \leq \text{zul } \Delta\sigma_s \text{ mit } \text{zul } \Delta\sigma_s = 70 \text{ N/mm}^2$$

Gilt auch für Querkraftbewehrung mit $\tan\theta_{\text{fat}} = \sqrt{\tan\theta}$ (s. Querkraftbemessung).

Beton

$$\frac{|\sigma_{\text{cd,max}}|}{f_{\text{cd,fat}}} \leq 0.5 + 0.45 \cdot \frac{|\sigma_{\text{cd,min}}|}{f_{\text{cd,fat}}} \begin{cases} \leq 0.9 & \text{bis C50/60 oder LC50/55} \\ \leq 0.8 & \text{ab C55/67 oder LC55/60} \end{cases}$$

$$f_{cd,fat} = \beta_{cc}(t_0) \cdot f_{cd} \cdot \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) \text{ mit } f_{ck} \text{ in N/mm}^2$$

$\sigma_{cd,max}$ Bemessungswert der maximalen Druckspannung

$\sigma_{cd,min} \leq 0$ Bemessungswert der min. Druckspannung am Ort von $\sigma_{cd,max}$

$\beta_{cc}(t_0) = e^{0.2 \cdot (1 - \sqrt{28/t_0})}$ Beiwert für die Nacherhärtung

t_0 Zeitpunkt der Erstbelastung des Betons in Tagen

Gilt auch für die Druckstreben von querkraftbeanspruchten Bauteilen mit Querkraftbewehrung, wobei

$f_{cd,fat,V} = \alpha_c \cdot f_{cd,fat}$, $\alpha_c = 0.75\eta_1$ (s. Querkraftbemessung)

Bauteile ohne Querkraftbewehrung:

$$\text{für } \frac{V_{Ed,min}}{V_{Ed,max}} \geq 0.0 : \quad \frac{|V_{Ed,max}|}{|V_{Rd,ct}|} \leq 0.5 + 0.45 \cdot \frac{|V_{Ed,min}|}{|V_{Rd,ct}|} \quad \left\{ \begin{array}{l} \leq 0.9 \text{ bis C50/60 oder LC50/55} \\ \leq 0.8 \text{ ab C55/67 oder LC55/60} \end{array} \right.$$

$$\text{für } \frac{V_{Ed,min}}{V_{Ed,max}} < 0.0 : \quad \frac{|V_{Ed,max}|}{|V_{Rd,ct}|} \leq 0.5 - \frac{|V_{Ed,min}|}{|V_{Rd,ct}|}$$

$V_{Ed,max}$ Bemessungswert der maximalen Querkraft

$V_{Ed,min}$ Bemessungswert der minimalen Querkraft am Ort von $V_{Ed,max}$

$V_{Rd,ct}$ Bemessungswert der aufnehmbaren Querkraft (s. Querkraftbemessung)

1.1.4.3.3.2 Nachweis über schädigungsäquivalente Spannungsschwingbreiten (10.8.3)

Anstelle eines expliziten Betriebsfestigkeitsnachweises kann der Nachweis n. 10.8.3 im GZT gegen Ermüdung über schädigungsäquivalente Spannungsschwingbreiten für die Bewehrung und über schädigungsäquivalente Druckspannungen für den Beton geführt werden. Es sind die folgenden Einwirkungskombinationen zu berücksichtigen:

- ständige Einwirkungen
- wahrscheinlicher Wert der Setzungen, sofern ungünstig wirkend
- häufiger Wert der Temperatureinwirkung, sofern ungünstig wirkend
- Einwirkungen aus Nutzlasten
- Einwirkungen aus Fahrzeuglasten (s.o.)



Achtung: Ständige Lasten, Setzungen und Temperatureinwirkungen erzeugen i.A. keine Spannungsschwingbreiten, sondern beeinflussen lediglich das Nachweinsniveau.

Stahl

$$\gamma_{F,fat} \cdot \gamma_{Ed,fat} \cdot \Delta\sigma_{s,equ} \leq \Delta\sigma_{Rsk}(N^*) / \gamma_{s,fat}$$

$$\gamma_{F,fat} = \gamma_{Ed,fat} = 1.0, \quad \gamma_{s,fat} = \gamma_s$$

$\Delta\sigma_{Rsk}(N^*)$: Spannungsschwingbreite für N^* Lastzyklen

$$\text{für } N^* = 10^6 : \quad \Delta\sigma_{Rsk} = \xi \cdot 195 \text{ N/mm}^2 \text{ mit } \xi = 0,35 + 0,026 d_{br}/d_s \leq 1,0$$

d_{br} Biegerollendurchmesser

d_s Stabdurchmesser

$\Delta\sigma_{s,equ}$ schädigungsäquivalente Spannungsschwingbreite

(i.A. $\Delta\sigma_{s,equ} = \max \Delta\sigma_s$)

$\max \Delta\sigma_s$ maximale Spannungsamplitude

Beton

$$E_{cd,max,equ} + 0.43 \sqrt{1 - R_{equ}} \leq 1,0$$

$$R_{equ} = \frac{\sigma_{cd,min,equ}}{\sigma_{cd,max,equ}}$$

$$E_{cd,max, equ} = \frac{|\sigma_{cd,max, equ}|}{f_{cd, fat}}$$

$\sigma_{cd,max, equ}$, $\sigma_{cd,min, equ}$: obere bzw. untere Spannung der schädigungsäquivalenten Spannungsschwingbreite mit einer Anzahl von $N = 10^6$ Zyklen.



Dieser Nachweis wird zz. nicht für eine Querkraftbeanspruchung geführt.

1.1.4.4

Spannungsnachweis n. DIN 1045-1

Kurzbezeichnung:	DIN 1045-1 Spannungsnachweis
Zusatzbezeichnung:	Gebrauchstauglichkeit n. DIN 1045-1 (11.1)
Programmbezug:	##-NISI, ##-FRAP, ##-ALFA (##-DULAB)
Nachweisobjekte:	Stab- und Flächenträger aus Stahlbeton
Kombinationsregel:	Gebrauchstauglichkeitsnachweis n. DIN 1055-100 für seltene Komb.
Überlagerungsvorschrift:	Extremalbildungsvorschriften und Lastkollektive
Interne Nummer:	34

1.1.4.4.1

optionale Einstellungen

Der Nachweis kann optional für die Betondruckspannungen und/oder Stahlzugspannungen geführt werden.

Die für diesen Nachweis relevante Spannungsdehnungslinie für Beton wird ebenfalls hier gewählt (s. Materialdaten).

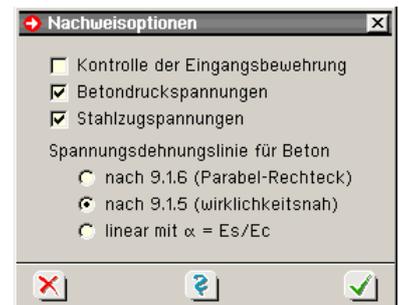


Abb. 28: Optionen Spannungsnachweis n. DIN 1045-1

Zum einwandfreien Ablauf des Spannungsnachweises ist es unbedingt notwendig, dass die Nachweisschnittgrößen vom Querschnitt aufgenommen werden können. D.h. die in den Nachweis eingehende Bewehrung (Startvektor) muss einer Biegebemessung standhalten. Zur Absicherung, ob die vorhandene Bewehrung ausreicht, kann vom Benutzer eingestellt werden, dass vorab eine Biegebemessung durchgeführt wird (Kontrolle der Eingangsbewehrung).

1.1.4.4.2

objektbezogene Bemessungsangaben

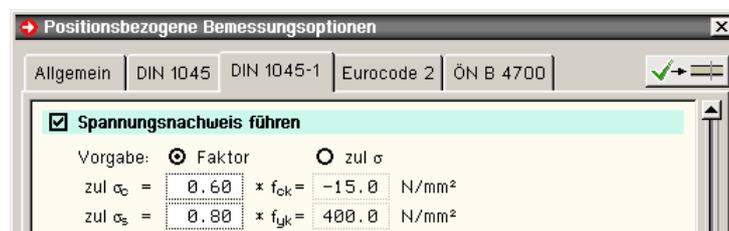


Abb. 29: Positionsbezogene Bemessungsoptionen Spannungsnachweis n. DIN 1045-1

Aufgrund der hohen Stahlgrenzdehnung ist es erforderlich, die vorhandenen Stahlzug- und Betondruckspannungen zu überprüfen. Dazu können an dieser Stelle die zulässigen Betonstahl- und Betonspannungen modifiziert werden. Zur vereinfachten Eingabe kann entweder der Abminderungsfaktor der gewählten Materialgüte zur Ermittlung der zulässigen Spannung vorgegeben werden oder unabhängig davon direkt die zulässige Spannung.

Die Spannungen werden mit den gewählten Spannungsdehnungslinien (s. Materialangaben) ermittelt.

1.1.4.4.3 Verfahren

1.1.4.4.3.1 Betondruckspannungen

N. 11.1.2 sollen die Betondruckspannungen zur Vermeidung von Längsrissen unter der seltenen Einwirkungskombination auf den Wert zul $\sigma_c = 0.6 \cdot f_{ck}$ nicht überschreiten. Falls die Gebrauchstauglichkeit, Tragfähigkeit oder Dauerhaftigkeit des Bauwerks durch das Kriechen wesentlich beeinflusst werden, sind sie unter der quasi-ständigen Einwirkungskombination auf zul $\sigma_c = 0.45 \cdot f_{ck}$ zu begrenzen.

1.1.4.4.3.2 Stahlzugspannungen

Die Zugspannungen in der Betonstahlbewehrung sind n. 11.1.3 bei direkten Einwirkungen (Lastbeanspruchung) unter der seltenen Einwirkungskombination auf den Wert zul $\sigma_s = 0.8 \cdot f_{yk}$ zu begrenzen. Bei reiner Zwangsbeanspruchung darf gelten zul $\sigma_s = f_{yk}$.

1.1.4.5 Bemessung n. DIN 1045-1 (Theorie II. Ord.)

Kurzbezeichnung:	DIN 1045-1 Bemessung (Th. II. Ord.)
Zusatzbezeichnung:	Tragfähigkeit n. DIN 1045-1 (10.2, 10.3, 10.4)
Programmbezug:	##-NISI, ##-FRAP
Nachweisobjekte:	Stabträger aus Stahlbeton
Kombinationsregel:	Tragfähigkeitsnachweis n. DIN 1055-100
Überlagerungsvorschrift:	nur Lastkollektive
Interne Nummer:	39

Beschreibung s. 1.1.4.1 Stahlbetonbemessung n. DIN 1045-1 (S. 26 ff.)



Achtung: Der Nachweis n. Theorie II. Ord. wird nicht im Zustand 2 geführt, d. h. Querschnittschwächungen aufgrund gerissener Zugzonen werden nicht berücksichtigt.

1.1.4.6 Knicksicherheit n. DIN 1045-1 (Zustand 2)

Kurzbezeichnung:	DIN 1045-1 Knicksicherheit
Zusatzbezeichnung:	Tragfähigkeit n. DIN 1045-1
Programmbezug:	##-NISI
Nachweisobjekte:	Stabträger aus Stahlbeton
Kombinationsregel:	Tragfähigkeitsnachweis n. DIN 1055-100
Überlagerungsvorschrift:	nur Lastkollektive
Interne Nummer:	37

Die Berechnung der Schnittgrößen erfolgt wie unter 1.1.6.5, Knicksicherheit n. DIN 1045 (Zustand 2), beschrieben. Der Nachweis der Knicksicherheit wird mit Schnittgrößenkombinationen aus Traglasten gebildet, d.h. die Lastkollektive sind mit einem Lastsicherheitsbeiwert n. DIN 1055-100 /21/ zu beaufschlagen. Die Material sicherheiten werden dem Eigenschaftsblatt der *Allgemeinen Nachweiseigenschaften* (s. Handbuch *pcae-Nachweiskonzept 2009, Theorie und programmtechnische Umsetzung*) entnommen. Die Materialangaben für die Stahlbetonbemessung (Registerblatt 1 und 4; s. Abb. 2 und Abb. 17) gelten auch hier.

1.1.4.7 Durchbiegung im Zustand 2 n. DIN 1045-1

Kurzbezeichnung:	DIN 1045-1 Durchbiegung ZII
Zusatzbezeichnung:	Gebrauchstauglichkeit n. DIN 1045-1 (11.3)
Programmbezug:	##-NISI
Nachweisobjekte:	Stabträger aus Stahlbeton
Kombinationsregel:	Gebrauchstauglichkeitsn. n. DIN 1055-100 für quasiständige Komb.
Überlagerungsvorschrift:	nur Lastkollektive
Interne Nummer:	38

Die Berechnung der Schnittgrößen erfolgt wie unter in Kapitel 1.1.4.6, Knicksicherheit n. DIN 1045-1 (Zustand 2), beschrieben. Die Durchbiegungen im Zustand 2 werden mit Schnittgrößenkombinationen aus quasi- ständigen Einwirkungskombinationen gebildet. Die Material sicherheit beträgt $\gamma_c = \gamma_s = 1.0$.

1.1.5 Nachweise n. ÖNORM B 4700

1.1.5.1 Stahlbetonbemessung n. ÖNORM B 4700

Kurzbezeichnung:	ÖN B 4700 Bemessung
Zusatzbezeichnung:	Tragfähigkeit n. ÖNORM B 4700 (3.4.2, 3.4.4, 3.4.6, 3.4.7)
Programmbezug:	##-NISI, ##-FRAP, ##-ALFA
Nachweisobjekte:	Stab- und Flächenträger aus Stahlbeton
Kombinationsregel:	Tragfähigkeitsnachweis n. ÖN B 4700
Überlagerungsvorschrift:	Extremalbildungsvorschriften und Lastkollektive
Interne Nummer:	51

1.1.5.1.1 optionale Einstellungen

Die Querschnitte der definierten Betonstäbe werden n. ÖNORM B 4700, 3.4.2 auf Biegung, 3.4.4 auf Querkraft und 3.4.6 auf Torsion sowie 3.4.7 auf Querkraft und Torsion bemessen /23/.

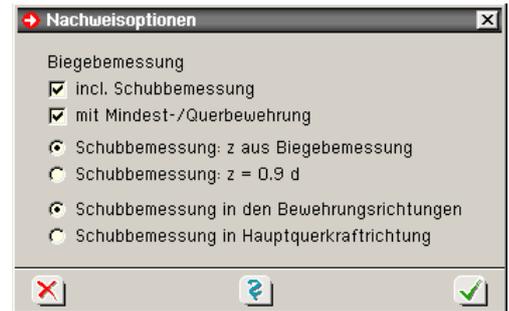


Abb. 30: Nachweisoptionen Stahlbetonbemessung n. ÖN B 4700

Die Durchführung der Schubbemessung kann an dieser Stelle nachweisglobal an- oder abgewählt werden.

Ebenso kann hier mit der nicht statisch erforderlichen Bewehrung (Mindestbewehrung für Biegung und Schub zur Vermeidung von Sprödrüchen, Querbewehrung bei Flächenträgern) verfahren werden.

Der innere Hebelarm wird für diesen Nachweis entsprechend der gewählten Einstellung entweder aus der Biegebemessung übernommen oder n. 3.4.4.2 (3) zu $z = 0.9 \cdot d$ angenommen.

Bei Flächenpositionen kann die Querkraftbemessung in den Bewehrungsrichtungen mit anschließender Addition der Einzelbewehrungsgrade oder in Hauptquerkrafttrichtung erfolgen (s. DIN 1045-1, Besonderheiten bei der Querkraftbemessung von Flächenträgern).

1.1.5.1.2 objektbezogene Bemessungsangaben

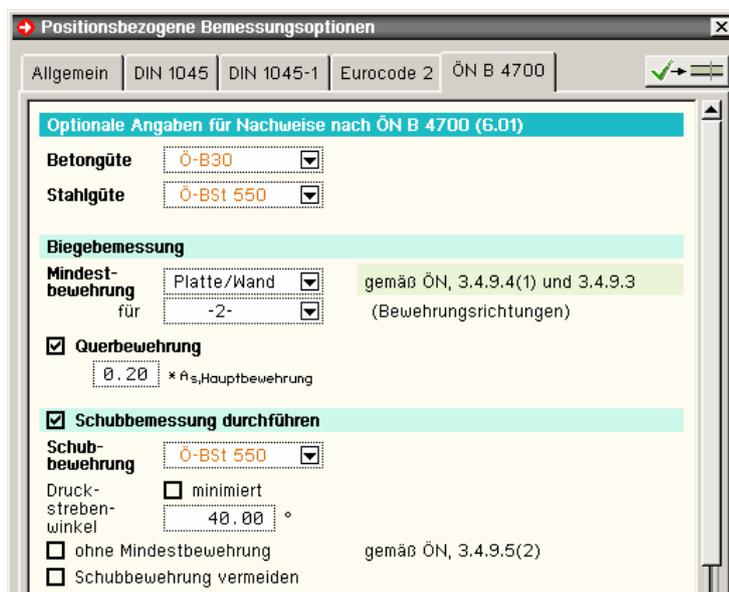


Abb. 31: objektbezogene Bemessungsangaben Stahlbetonbemessung n. ÖN B 4700

Im Registerblatt *ÖN B 4700* der positions- bzw. stabbezogenen Bemessungsangaben können u.A. die Parameter zur Biege- und Schubbemessung n. *ÖN B 4700* verändert werden. Zunächst und an erster Stelle wird das Material für alle Nachweise dieser Norm festgelegt. Anschließend werden die Parameter nach Nachweisen geordnet dargestellt.

1.1.5.1.2.1

Material

In Auswahlboxen werden die möglichen Beton- und Betonstahlsorten (Stabstahl für Biegebemessung und Nachweise, Bügel für Schubbemessung) angeboten. Diese gelten für sämtliche Nachweise, die nach dieser Norm geführt werden.

Es handelt sich um Betone der **Festigkeitsklassen** (Tab. 4, /23/)

Ö-B 15, Ö-B 20, Ö-B 25, Ö-B 30, Ö-C 30/37, Ö-B 40, Ö-C 35-45, Ö-B 50, Ö-C 45/55, Ö-B 60

sowie die Betonstahlsorte (Tab. 5, /23/)

Ö-BSt 550, Ö-BSt 600.

Um eine Verwechslung mit Betonsorten gleichen Namens aber anderer Materialparameter, welche in den deutschen Normen vorkommen, zu vermeiden, werden die Betone der österreichischen Norm mit einem vorangestellten **Ö** gekennzeichnet.

In 3.4.1.1(3) sind die in dieser Norm geregelten Betonfestigkeitsklassen aufgelistet. Es sind nur Betone bis zu einer Würfeldruckfestigkeit von 60 N/mm^2 (Normalbeton) zugelassen. Leichtbeton ist in dieser Norm nicht geregelt.

Aber natürlich ist die Bemessung mit Beton- und Betonstahlsorten sowohl n. DIN 1045 (7.88) als auch DIN 1045-1 (7.01) möglich.



Es ist darauf zu achten, dass die Materialangaben für Berechnung und Bemessung übereinstimmen!

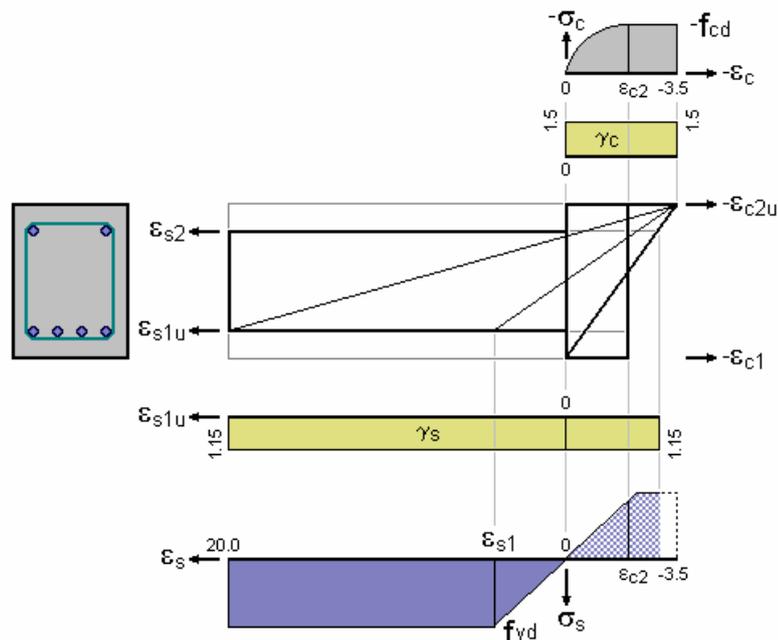


Abb. 32: Spannungsdehnungsbeziehungen im Zustand der Tragfähigkeit n. *ÖN B 4700*

Die **Spannungsdehnungsbeziehung** für Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit wird für den Beton (grau unterlegt) n. 3.4.1.1(4) als Parabel-Rechteck idealisiert, für den Betonstahl (blau) wird n. 3.4.1.2 eine bilineare Spannungsdehnungsbeziehung angenommen, deren Verlauf nach Erreichen der Streckgrenze konstant bis zur Bruchdehnung ist. Die Sicherheitsbeiwerte für Beton γ_c und Stahl γ_s (gelb) sind - in Abhängigkeit von der Bemessungssituation - konstant.

Beton

$$\sigma_c = -f_{cd} \cdot \left[1 - \left(1 - \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{c2}} \right)^n \right] \quad \text{für } 0 \geq \varepsilon_c \geq \varepsilon_{c2}$$

$$\sigma_c = -f_{cd} \quad \text{für } \varepsilon_{c2} \geq \varepsilon_c \geq \varepsilon_{c2u}$$

$$f_{cd} = f_{ck} / \gamma_c$$

$$f_{ck}, \varepsilon_{c2}, \varepsilon_{c2u}, E_{cm} \text{ n. Tab. 4}$$

Stahl

$$\sigma_s = \varepsilon_s \cdot f_{yd} \quad \text{für } 0 \leq \varepsilon_s \leq \varepsilon_{s1} \text{ mit } \varepsilon_{s1} = \varepsilon_{yd} = f_{yd} / E_s$$

$$\sigma_s = f_{yd} \quad \text{für } \varepsilon_{s1} \leq \varepsilon_s \leq \varepsilon_{s1u}$$

$$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s$$

$$\varepsilon_{s1u} = 20\%_{oo}, E_s = 200000 \text{ N/mm}^2, f_{yk} \text{ n. Tab. 5}$$

N. 3.3.2.1(2) wird programmintern berücksichtigt

für Flächentragwerke:

$$k_x = x/d \leq 0.45 \quad \text{für Beton bis zur Festigkeitsklasse Ö-B 40 (} f_{ck,cube} \leq 40 \text{ N/mm}^2 \text{)}$$

$$k_x = x/d \leq 0.35 \quad \text{für Beton ab der Festigkeitsklasse Ö-B 40 (} f_{ck,cube} > 40 \text{ N/mm}^2 \text{)}$$

für Stäbe (wirtschaftlich):

$$k_x = x/d \leq \frac{\varepsilon_{c2u}}{\varepsilon_{c2u} - \varepsilon_{yd}} \quad \text{mit } \varepsilon_{yd} = \varepsilon_{s1} \text{ (s.o.)}$$

Für Nachweise im GZG kann das Materialverhalten des Betons wahlweise über das Parabel-Rechteck-Diagramm n. 3.4.1.1(4) oder linear mit $\alpha_c = E_s / E_{cm}$ angenommen werden (s. optionale Einstellungen des entsprechenden Nachweises). Unterschiede zeigen sich insbesondere bei den Betondruckspannungen, wohingegen die Stahlzugspannungen nur wenig auf eine Veränderung des Materialverhaltens reagieren.

1.1.5.1.3

Biegebemessung

Die Biegebemessung führt eine Bemessung der Längsbewehrung des gewählten Querschnitts für ein- oder zweiachsige Biegung mit oder ohne Längskraft und Längskraft allein n. 3.4.2 durch.

Zur Berücksichtigung der **Mindestbewehrung** ist

- bei überwiegend biegebeanspruchten Bauteilen n. 3.4.9.4 (1) zur Vermeidung von Sprödbrüchen

$$A_{s,min,40} \geq 1.22 \cdot (b_t \cdot h_t) / f_{yd} \geq 0.0028 \cdot b_t \cdot h_t \quad \text{bis Ö-B 40 (} f_{ck,cube} \leq 40 \text{ N/mm}^2 \text{)}$$

$$A_{s,min} = 1.15 \cdot A_{s,min,40} \quad \text{für Ö-B 50 (} f_{ck,cube} = 50 \text{ N/mm}^2 \text{)}$$

$$A_{s,min} = 1.30 \cdot A_{s,min,40} \quad \text{für Ö-B 60 (} f_{ck,cube} = 60 \text{ N/mm}^2 \text{)}$$

Zwischenwerte sind zu interpolieren.

- bei Wänden n. 3.4.9.3 für die Bewehrung in Druckrichtung (diese Bewehrungsrichtung ist im Eigenschaftsblatt festzulegen)

$$A_{s,min} = 0.0028 \cdot A_c$$

- bei Stützen n. 3.4.9.2

$$A_{s,min} = 0.15 \cdot |N_{Ed}| / f_{yd} \geq 0.0028 \cdot A_c \quad \text{vorzusehen.}$$

Wände und Stützen sind Druckglieder mit einer bezogenen Lastausmitte von $\frac{e_d}{h} \leq 3.5$. Im Eigenschaftsblatt kann vorgegeben werden, ob die Mindestbewehrung

- vom Programm automatisch für Biege- oder Druckglied,
- nur für Biegeglieder oder
- nur für Druckglieder

ermittelt werden soll.

Der maximale Bewehrungsgehalt wird im Registerblatt *Allgemein* (s. Abs. 1.1.2.1 bis 1.1.2.3, S. 7ff.) definiert.

Des Weiteren kann für Flächenpositionen der Mindestbewehrungsgehalt der **Querbewehrung** in Abhängigkeit der Hauptbewehrung (3.4.9.5 (1)) vorgegeben werden.



Soll bei Flächenpositionen neben der Mindestbewehrung auch die Querbewehrung ermittelt werden, wird die Mindestbewehrung für biegebeanspruchte Bauteile (Platten, Faltwerke) nur in Haupttragrichtung angesetzt.

Für jeden Lastfall (es handelt sich um die bereits mit den erforderlichen Sicherheitsbeiwerten γ_F beaufschlagten Traglasten, 3.2.2) werden je nach Festlegung der Bewehrungsanordnung (s.o.) und der Materialsicherheiten γ_c und γ_s n. Tab.2 die erforderlichen Bewehrungsquerschnitte für

- einachsige Balken A_{s0}, A_{su} in cm^2
- zweiachsige Balken $A_{s1}, A_{s2}, A_{s3}, A_{s4}$ in cm^2
- Scheiben, Platten, Faltwerke $a_{sB10}, a_{sB1u}, a_{sB20}, a_{sB2u}$ in cm^2/m berechnet.

1.1.5.1.4 Schubbemessung

Für hauptsächlich über Biegung und/oder Zug abtragende Bauteile ist eine Schubbemessung der Zug- und Druckstreben (Fachwerkmodell) durchzuführen. Bei druckbelasteten Querschnitten sind die Hauptdruckspannungen nachzuweisen (s.u.).

Die Schubbemessung gliedert sich in die Bemessung für Querkraft, Torsion sowie Querkraft und Torsion. Es wird separat für jede Schnittgröße die erforderliche Bügel- (Querkraft $a_{s,büQ}$) bzw. Bügel- und Längsbewehrung (Torsion $a_{s,büT}$ und $A_{s,T}$) ermittelt. Die Bügelbewehrung steht senkrecht auf der Längsbewehrung.

Für Besonderheiten bei Flächenpositionen s. Abs. 1.1.4.1.5.1, S. 31, und Balken s. Abs. 1.1.4.1.5.2, S. 31. Bei geneigter Querkraft (zweiachsigem Schub) wird dem Ansatz von P. Mark (s. Abs. 1.1.4.1.5.3, S. 31) gefolgt.

1.1.5.1.4.1 Schubbemessung für Querkraft

Der Bemessungswert der Querkrafttragfähigkeit ergibt sich zu

$$V_{Rd,ct} = [\tau_d \cdot \kappa_c \cdot (1.2 + 40 \cdot \rho) + 0.15 \cdot \sigma_{cd}] \cdot b_w \cdot d \text{ mit}$$

τ_d Rechenwert der Schubspannung n. Tab. 4, /23/. Wenn τ_d nicht bekannt ist, wird angenommen: $\tau_d = 0.09 \cdot f_{ck}^{1/3}$

$\kappa_c = 1.6 - d \geq 1.0$ (d in m), wenn mehr als 50% der größten Feldbewehrung zum Auflager durchgezogen wird

$\kappa_c = 1.0$ sonst, wird hier vereinfachend und auf der sicheren Seite liegend angesetzt

$\rho = A_s / (b_w \cdot d) \leq 0.02$ Biegezugbewehrungsgrad

b_w wirksame Querschnittsbreite

d statische Nutzhöhe

$\sigma_{cd} = N_{Ed} / A_c$ Bemessungswert der Betonlängsspannung im Schwerpunkt

N_{Ed} Bemessungswert der Längskraft ($N_{Ed} < 0$ als Längsdruckkraft)

Als wirksame Breite b_w wird analog DIN 1045-1 die minimale Querschnittsbreite in Höhe der resultierenden inneren Schnittgrößen (entweder res. Betondruckkraft oder res. Stahlzugkraft) betrachtet.

Wenn der Bemessungswert der Querkraft $V_{Ed} \leq V_{Rd,ct}$, ist n. 3.4.4.4 (1) rechnerisch keine Querkraftbewehrung erforderlich.

Wenn dagegen gilt $V_{Ed} > V_{Rd,ct}$, ist eine Querkraftbewehrung derart vorzusehen, dass $V_{Ed} \leq V_{Rd,sy}$. Der Bemessungswert der aufnehmbaren Querkraft

$$V_{Rd,sy} = a_{s,bü} \cdot f_{yd} \cdot z \cdot \cot \theta / \alpha_k \text{ mit}$$

z innerer Hebelarm im betrachteten Bauteilabschnitt

$0.5 \leq \alpha_k \leq 1.0$ Wirksamkeitsfaktor der Rundbügel (Eingabewert nur bei Kreisquerschnitten)

ist dabei abhängig von der Neigung der Druckstreben $\cot \theta$. θ kann im Eigenschaftsblatt vor-

gegeben werden, wird aber programmintern auf seine Grenzwerte hin überprüft

- $0.4 \leq \tan \theta \leq 2.5$ wenn $\max \sigma_{sd} \leq 0.0$ und $T_{Ed} = 0.0$
- $0.6 \leq \tan \theta \leq 2.5$ wenn $\max \sigma_{sd} = f_{yd}$

Zwischenwerte dürfen interpoliert werden.



Je kleiner der Druckstrebenwinkel ist, desto weniger Querkraftbewehrung wird ermittelt, aber um so größer werden die Verankerungslängen der Längsbewehrung.

Der innere Hebelarm kann entweder

- aus der Biegebemessung des zugehörigen N,M-Lastfalls übernommen oder
- n. 3.4.4.2 (3) zu $z = 0.9 \cdot d$ (wenn keine nennenswerte Normalkraft wirkt)

gesetzt werden.

Besonderheiten:

- Ist der zugehörige N,M-Lastfall Null, wird $z = 0.9 \cdot d$ mit $d = h - \max(h_{so}, h_{su})$ angenommen.
- Ist der Querschnitt überdrückt, wird der innere Hebelarm berechnet zu $z = I/S$ (I Trägheitsmoment, S statisches Moment um die Schwerachse).
- Ist der Querschnitt überzogen, ergibt sich z zum Abstand der Bewehrungslagen.
- Bei Kreisquerschnitten ist bei überzogenem Querschnitt $z = \frac{4}{\pi} \cdot (r_a - h_{sa})$.
- Bei Kreisquerschnitten wird die wirksame Querschnittsbreite b_w begrenzt auf die Breite in Höhe der äußersten Bewehrungslage.

Allerdings darf der Bemessungswert der einwirkenden Querkraft in keinem Querschnitt des Bauteils den Wert

$$V_{Rd,max} = b_w \cdot z \cdot v \cdot f_{cd} \cdot (\cot \theta + \cot \alpha) \cdot \sin^2 \theta \leq 0.7 \cdot b_w \cdot z \cdot v \cdot f_{cd} \text{ mit } v = 0.7 - \frac{1.5 \cdot f_{cd}}{200} \geq 0.5$$

überschreiten. Wenn ein Bauteil unter Längsdruck steht, muss $V_{Rd,max}$ abgemindert werden auf

$$\text{red } V_{Rd,max} = 1.67 \cdot V_{Rd,max} \cdot \left(\frac{1 - \sigma_{cd,eff}}{f_{cd}} \right) \leq V_{Rd,max} \text{ mit } \sigma_{cd,eff} = \frac{N_{Ed} - f_{yd} \cdot A_{s2}}{A_c}$$

A_{s2} Querschnittsfläche der Bewehrung im Biegedruckgurt (Druckbewehrung)

Die Querkraftausnutzung wird n. 3.4.4.2 (11) wie folgt ermittelt:

- AB 1: $V_{Ed} \leq 1/5 V_{Rd,max}$
- AB 2: $V_{Ed} \leq 2/3 V_{Rd,max}$
- AB 3: $V_{Ed} > 2/3 V_{Rd,max}$

Bei überwiegend auf Biegung beanspruchten Bauteilen wie z. B. Balken (im Gegensatz zu Wänden oder Stützen) ist grundsätzlich eine Mindestbügelbewehrung für Querkraft n. 3.4.9.4 (2) mit

$$\min a_{sbü} = \frac{15 \cdot f_{ctm}}{f_{yd}} \cdot b_w \cdot \sin \alpha \text{ mit } \alpha \approx 90^\circ \text{ anzuordnen.}$$

Besonderheiten bei zweiachsiger Querkraftbeanspruchung (geneigte Querkraft) s. DIN 1045-1.

1.1.5.1.4.2

Schubbemessung für Torsion

Bei der Bemessung für Torsion ist bei Vollquerschnitten in der Regel nur die St. Venant'sche Torsion zu betrachten. Die Torsionstragfähigkeit kann unter Annahme eines dünnwandigen, geschlossenen Querschnitts mit der Ersatzwanddicke $t_{eff} = d_0/6 \leq 0.25 \cdot b_w$ (d_0 Durchmesser des größten, dem tatsächlichen Querschnitt einzuschreibenden Kreises) nachgewiesen werden.

Die Seitenflächen des Ersatzhohlquerschnitts werden durch die Schubkraft

$$t_{Ed} = \frac{T_{Ed}}{2 \cdot A_k}$$

beansprucht. Die Bewehrung ist derart zu ermitteln, dass $t_{Ed} \leq t_{Rd,sy}$ gilt:

$$t_{Rd,sy} = a_{s,büT} \cdot f_{yd} \cdot \cot \theta \text{ bzw. } t_{Rd,sy} = A_{s,T} / u_k \cdot f_{yd} \cdot \tan \theta \text{ mit}$$

A_k Kernquerschnitt, durch die Mittellinien der Querschnittswände eingeschlossene Fläche

u_k Umfang der Fläche A_k

Mit dem gewählten Winkel θ ist bei kombinierter Beanspruchung aus Querkraft und Torsion der Nachweis sowohl für Querkraft als auch für Torsion zu führen.

Allerdings darf der Bemessungswert der einwirkenden Schubkraft in keinem Querschnitt des Bauteils den Wert

$$t_{Rd,max} = \frac{v \cdot f_{cd} \cdot t_{eff}}{\cot \theta + \tan \theta} \text{ überschreiten.}$$

1.1.5.1.4.3 Schubbemessung für Querkraft und Torsion

Die maximale Tragfähigkeit bei kombinierter Beanspruchung aus Querkraft und Torsion wird durch die Druckstrebentragfähigkeit begrenzt mit

$$\left[\frac{T_{Ed}}{T_{Rd,max}} \right] + \left[\frac{V_{Ed}}{V_{Rd,max}} \right] \leq 1.$$

1.1.5.1.4.4 Nachweis der Hauptdruckspannungen im Beton

Wände oder ähnliche hauptsächlich über Normalkraft abtragende Bauteile sind bezüglich ihrer Hauptdruckspannung zu überprüfen. N. 11.2 (3) a) ist für ungerissene Betondruckzonen der Bemessungswert der Druckstrebenfestigkeit begrenzt mit

$$\sigma_2^I \leq 1.1 \cdot f_{cd} \text{ mit } \sigma_2^I \text{ maximale Hauptdruckspannung}$$

1.1.5.2 Rissnachweis n. ÖNORM B 4700

Kurzbezeichnung:	ÖN B 4700 Rissnachweis
Zusatzbezeichnung:	Gebrauchstauglichkeit n. ÖN B 4700 (4.2)
Programmbezug:	##-NISI, ##-FRAP, ##-ALFA
Nachweisobjekte:	Stab- und Flächenträger aus Stahlbeton
Kombinationsregel:	Gebrauchstauglichkeitsn. n. ÖN B 4700 für quasiständige Komb.
Überlagerungsvorschrift:	Extremalbildungsvorschriften und Lastkollektive
Interne Nummer:	52

1.1.5.2.1 optionale Einstellungen

s. Abs. 1.1.6.2.1, S. 56.

Die folgenden Nachweisverfahren sind implementiert (Erläuterung s. unten):

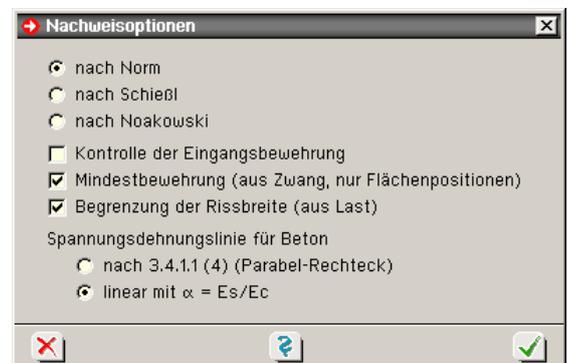


Abb. 33: Nachweisoptionen Rissnachweis n. ÖN B 4700

Zum einwandfreien Ablauf des Rissnachweises ist es unbedingt notwendig, dass die Nachweischnittgrößen vom Querschnitt aufgenommen werden können. D.h. die in den Nachweis eingehende Bewehrung (Startvektor) muss einer Biegebemessung standhalten. Zur Absicherung, ob die vorhandene Bewehrung ausreicht, kann vom Benutzer eingestellt werden, dass vorab eine Biegebemessung durchgeführt wird (Kontrolle der Eingangsbewehrung).

Nachweisglobal können die beiden Teilnachweise (entweder die Ermittlung der Mindestbewehrung bei überwiegender Zwangsbeanspruchung und/oder die Begrenzung der Rissbreite bei überwiegender Lastbeanspruchung) an- oder abgeschaltet werden.

Die für diesen Nachweis relevante Spannungsdehnungslinie für den Beton (s. Materialangaben Abs. 1.1.5.1.2.1, S. 45) wird ebenfalls hier gewählt.

1.1.5.2.2 objektbezogene Bemessungsangaben

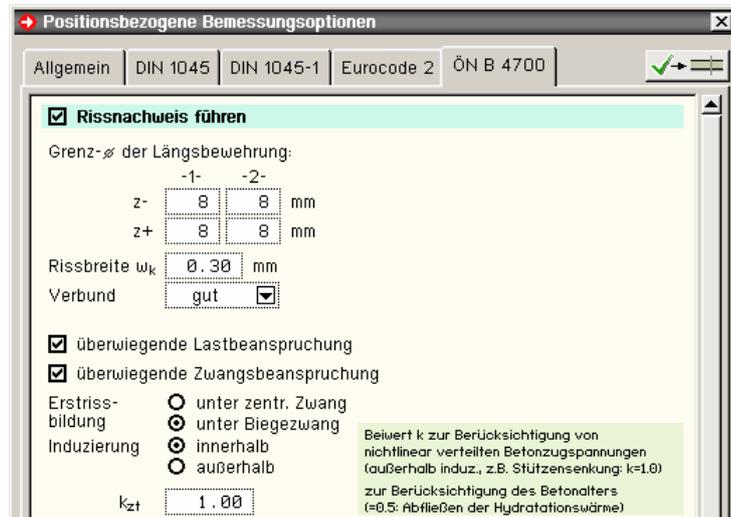


Abb. 34: objektbezogene Bemessungsangaben Rissnachweis n. ÖN B 4700

Im Folgenden werden die verwendeten Rissformeln und die Bedeutung der Eingabeparameter erläutert.

1.1.5.2.2.1 Risseverteilende Bewehrung bei überwiegender Zwangsbeanspruchung (4.2.2)

Die an einem Zugrand einzulegende Bewehrung berechnet sich mit

$$A_s = \frac{\rho_t}{100} \cdot b_t \cdot h_t \text{ mit}$$

$\rho_t = \rho_{tr}(d_{sr}, w_k)$ auf die Zugzone $b_t \cdot h_t$ bezogener Bewehrungsgehalt, Tab. 8a,b

$d_{s,gr} = d_{sr} \cdot k \cdot k_1 \cdot k_2$ Grenzdurchmesser der Bewehrung

$$k = \frac{h_t}{5 \cdot h_1} \geq 1 \quad \text{bei Biegerissen (Biegezwang, } h_t < h)$$

$$k = \frac{h_t}{10 \cdot h_1} \geq 0.5 \quad \text{bei Trennrissen (zentr. Zwang, } h_t = h)$$

$h_t = \frac{h - x_s}{1 - N / (A_c \cdot f_{ct,eff})} \leq h$ Höhe der Zugzone im Zustand 1 bei Erreichen der Betonzugfestigkeit. Bei überwiegendem Druck ($h_t \leq h_1$) ist keine Beschränkung des Stabdurchmessers erforderlich.

$$k_1 = 30 / f_{ck} \leq 1.0$$

k_2 Beiwert zur Berücksichtigung nichtlinear verteilter Betonzugspannungen inf.

selbst hervorgerufenem Zwang (Hydratationswärme) $k_2 = 0.8$ für $h \leq 300$ mm
 $k_2 = 0.6$ für $h \geq 800$ mm

außerhalb des Querschnitts hervorgerufenem Zwang $k_2 = 1.0$

$f_{ct,eff} = k_{z,t} \cdot f_{ctm}$ wirksame Zugfestigkeit des Betons

$k_{z,t}$ aus /9/, s. Rissnachweis n. Schießl

wenn $k_{z,t} > 1.0$: $f_{ct,eff} = f_{ctm}$ aus Tab. 4



Zur Ermittlung der Mindestbewehrung zur Abdeckung von Zwangsbeanspruchungen aus Abfließen der Hydratationswärme sollte $k_{z,t} \approx 0.5$ und **Zugzwang** gesetzt sein.

1.1.5.2.2 Bewehrungsregeln für Bauteile unter überwiegender Lastbeanspruchung (4.2.3)

$$d_{s,gr} \leq \lim d_s(\sigma_{sD}, \rho_t, w_k)$$

$d_{s,gr}$ Grenzdurchmesser der Bewehrung

$\lim d_s = d_{sr} \cdot k$, k s.o. zulässiger Bewehrungsdurchmesser (Tab. 9,10)

σ_{sD} Spannung in der Bewehrung im Zustand 2

ρ_t vorhandener Bewehrungsgrad bei überwiegender Lastbeanspruchung

Die Spannungen werden mit den gewählten Spannungsdehnungslinien (s. Materialangaben Abs. 1.1.5.1.2.1, S. 45) ermittelt.

1.1.5.2.3 Rissnachweis n. Schießl bzw. Noakowski

s. Abs. 1.1.6.2.1, S. 56.

Die Spannungen werden mit den gewählten Spannungsdehnungslinien (s. Materialangaben Abs. 1.1.5.1.2.1, S. 45) ermittelt.

1.1.6

Nachweise n. DIN 1045

1.1.6.1

Stahlbetonbemessung n. DIN 1045 (Theorie I. Ord.)

Kurzbezeichnung:	DIN 1045 Bemessung
Zusatzbezeichnung:	Tragfähigkeit n. DIN 1045 7.88, 17.2/17.5
Programmbezug:	##-NISI, ##-FRAP, ##-ALFA (##-DULAB)
Nachweisobjekte:	Stab- und Flächenträger aus Stahlbeton
Kombinationsregel:	alte Norm, linear
Überlagerungsvorschrift:	Extremalbildungsvorschriften und Lastkollektive
Interne Nummer:	1

1.1.6.1.1

optionale Einstellungen

Im Laufe der Zeit haben sich Lösungsansätze ergeben, die zum Teil von der Norm abweichen aber nichtsdestotrotz als anerkannte Regeln gelten. Einige besonders häufig auftauchende Fragestellungen wurden in das Programm eingearbeitet und sind optional verfügbar. Die Nachweisooptionen legen für den gesamten Nachweis die Richtlinien fest.

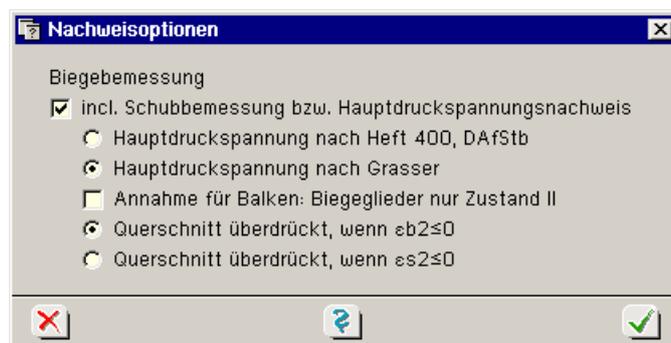


Abb. 35: Nachweisooptionen DIN 1045 - Stahlbetonbemessung

Die Querschnitte der definierten Betonstäbe werden n. DIN 1045, 17.2 auf Biegung und 17.5 auf Querkraft, Torsion sowie Querkraft und Torsion bemessen /17/.

Wird bei Balken, Platten und Faltenwerken eine **Schubbemessung** durchgeführt, ist n. 17.5.3(3) bei überdrückten Querschnitten zusätzlich ein **Hauptdruckspannungsnachweis** zu führen.

Zunächst stellt sich die Frage, wann ein Querschnitt überdrückt ist. Der Anwender kann selbst entscheiden, ob die äußerste Betonfaser $\epsilon_{b2} \leq 0$ oder Stahlfaser $\epsilon_{s2} \leq 0$ gedrückt sein muss. Dann kann zwischen zwei unterschiedlichen Verfahren (ausführlichere Beschreibung s.u.) gewählt werden. **Heft 400**, DAfStb, geht in den Erläuterungen zur DIN 1045 von der Annahme aus, dass der Druckstrebenwinkel grundsätzlich mit $\theta = 45^\circ$ anzunehmen ist. **Grasser** berücksichtigt dagegen den variierenden Druckstrebenwinkel, was i.A. zu strengeren Auflagen führt.

Für überdrückte Scheiben (Wände, wandartige Träger) ist der Hauptdruckspannungsnachweis n. 23.2(1) zu führen.

Ein anderes Problem tritt bei der Schubbemessung von Balken auf, wenn Stabpunkte bemessen werden, an denen sich bei einer geringen Drucknormalkraft der **Momentennulldurchgang** befindet. Dort ist der Querschnitt grundsätzlich überdrückt; das Bemessungsverfahren springt hier vom Biegezugglied (Zustand 2 – Verfahren von Mörsch) zum Druckglied (Zustand 1 – Verfahren von Mohr). Um diese physikalisch unsinnigen Bewehrungssprünge zu unterdrücken, kann bestimmt werden, dass sich **Biegeglieder** stets im gerissenen Zustand 2 befinden und dementsprechend zu bemessen sind.

1.1.6.1.2

Besonderheiten bei der Querkraftbemessung von Flächentragwerken

Die Bewehrungsrichtungen B1 (α_{B1}) und B2 (α_{B2}) stimmen i.A. nicht mit der Richtung der Hauptschnittgrößen n_1, n_2 (α_n), m_1, m_2 (α_m) und q_1 (α_q) überein. Das einachsige Tragverhalten ist aber Voraussetzung zur Anwendung der Bemessungsverfahren nach den zz. gültigen Normen. Um Flächenträger normenkonform bemessen zu können, sind deshalb Transformationen in ein Balkenproblem notwendig.

Die Querkraftbemessung n. DIN 1045 erfolgt nahezu unabhängig von der Biegebemessung auf

Basis von Schubspannungen. Als Bemessungsgröße wird die Hauptquerkraft q_1 (Tragwirkung in Richtung α_q) gewählt. Schwierigkeiten ergeben sich bei der Ermittlung des inneren Hebelarms, der Stahlrandabstände, des Querschnittszustands (überdrückt, überzogen). Der Einfachheit halber wird die Hauptquerkraft in jeder Bewehrungsrichtung/-lage angesetzt. Die Einzelergebnisse werden anschließend extremiert. So ist sichergestellt, dass der ungünstigste Wert für $a_{s,büQ}$ gefunden wird.

1.1.6.1.3 objektbezogene Bemessungsangaben

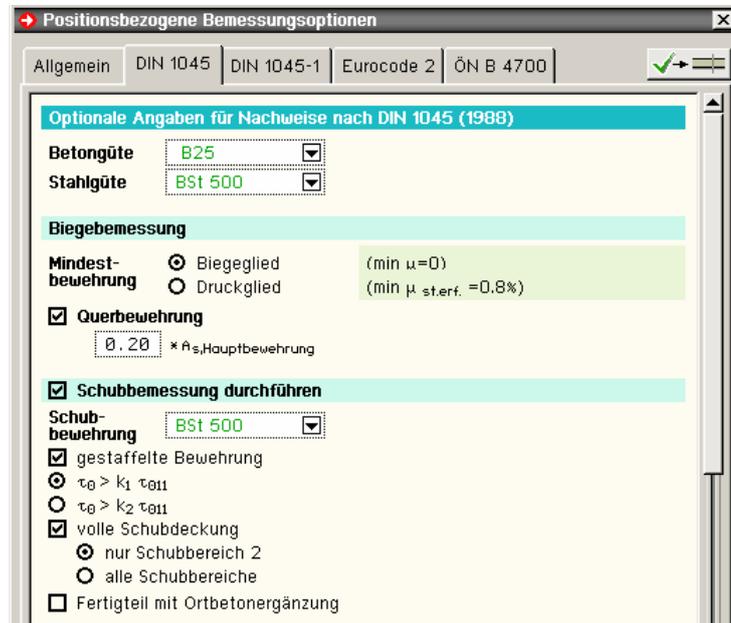


Abb. 36: objektbezogene Bemessungsoptionen DIN 1045 – Biege- und Schubbemessung

Im Registerblatt *DIN 1045* der positions- bzw. stabbezogenen Bemessungsoptionen können die Parameter zur Biege- und Schubbemessung n. DIN 1045 (7.88) verändert werden. Zunächst und an erster Stelle wird das Material für alle Nachweise dieser Norm festgelegt. Anschließend werden die Parameter nach Nachweisen geordnet dargestellt.

1.1.6.1.4 Material

In Auswahlboxen werden die möglichen Beton- und Betonstahlsorten (Stabstahl für Biegebemessung und Nachweise, Bügel für Schubbemessung) angeboten. Diese gelten für sämtliche Nachweise, die nach dieser Norm geführt werden.

Es handelt sich um Betone der **Festigkeitsklassen** B15, B25, B35, B45, B55 sowie um die Betonstahlsorten BSt 220/340 (nicht mehr genormt), BSt 420, BSt 500.

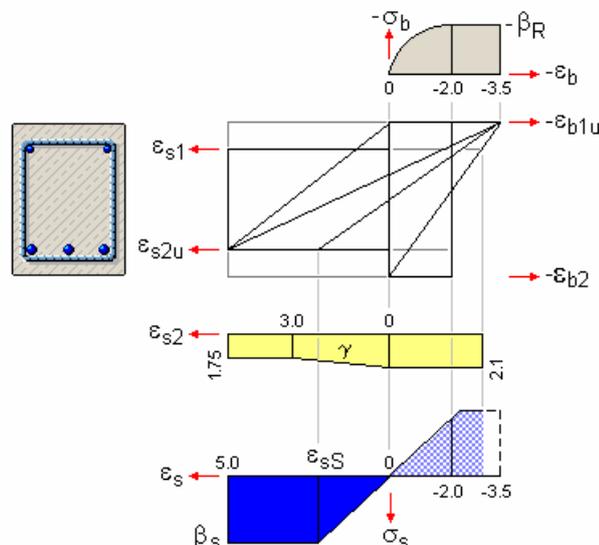


Abb. 37: Spannungsdehnungsbeziehungen DIN 1045

Die **Spannungsdehnungsbeziehung** für den Beton (grau unterlegt) wird als Parabel-Rechteck idealisiert, für den Betonstahl (blau) wird eine bilineare Spannungsdehnungsbeziehung angenommen, deren Verlauf nach Erreichen der Streckgrenze konstant bis zur Bruchdehnung ist. Der Sicherheitsbeiwert (gelb) variiert in Abhängigkeit der Stahldehnung zwischen 1.75 und 2.1.

Die Stahlbruchdehnung wird mit $\varepsilon_{s2u} = 5 \text{ ‰}$ und die Betonbruchdehnung mit $\varepsilon_{b1u} = -3,5 \text{ ‰}$ (voll überdrückt $\varepsilon_{b1} = -2 \text{ ‰}$) angenommen. Aus Gründen der Wirtschaftlichkeit (variabler Sicherheitsbeiwert) sollte bei höherer Belastung die Stahlbruchdehnung nur zu $\varepsilon_{s2} = 3 \text{ ‰}$ ausgenutzt werden. Bei Bedarf wird programmintern umgeschaltet.



Es ist darauf zu achten, dass die Materialangaben für Berechnung und Bemessung übereinstimmen!

1.1.6.1.5

Biegebemessung

Die Biegebemessung führt eine Bemessung der Längsbewehrung des gewählten Querschnitts für ein- oder zweiachsige Biegung mit oder ohne Längskraft und Längskraft allein n. 17.2 durch.

Unter Berücksichtigung einer minimalen ($\min A_s = 0.8\% \cdot A_{b,stat.erf}$ n. 25.2.2.1 für **Druckglieder**, $\min A_s = 0.0$ für **Biegeglieder**) und maximalen ($\max \mu$ vorzugeben im Registerblatt 1) Bewehrung werden für jeden Lastfall je nach Festlegung der Bewehrungsanordnung (s.o.) die erforderlichen Bewehrungsquerschnitte für

- einachsige Balken A_{s0} , A_{su} in cm^2
- zweiachsige Balken A_{s1} , A_{s2} , A_{s3} , A_{s4} in cm^2
- Scheiben, Platten, Faltwerke a_{sB1o} , a_{sB1u} , a_{sB2o} , a_{sB2u} in cm^2/m

berechnet.

N. 20.1.6.3 ist bei einachsig gespannten Platten eine Querbewehrung von mindestens 20% der Hauptbewehrung vorzusehen. Im Eigenschaftsblatt kann dieser Anteil frei gewählt werden.

1.1.6.1.6

Schubbemessung

Für hauptsächlich über Biegung und/oder Zug abtragende Bauteile ist eine Schubbemessung der Zug- und Druckstreben (Fachwerkmodell) durchzuführen. Bei druckbelasteten Querschnitten sind die Hauptdruckspannungen nachzuweisen (s.u.).

Die Schubbemessung gliedert sich in die Bemessung für Querkraft, Torsion sowie Querkraft und Torsion. Der Sicherheitsbeiwert beträgt $\gamma_{Schub} = 1.75$. Es wird separat für jede Schnittgröße die erforderliche Bügel- (Querkraft $a_{s,büQ}$) bzw. Bügel- und Längsbewehrung (Torsion $a_{s,büT}$ und $A_{s,T}$) ermittelt. Die Bügelbewehrung steht senkrecht auf der Längsbewehrung.

1.1.6.1.6.1

Schubbemessung von Flächenpositionen

Die Schubbemessung erfolgt für die Hauptquerkraft unter Annahme eines minimalen inneren Hebelarms und des Querschnittsdehnungszustandes aus der Biegebemessung.

1.1.6.1.6.2

Schubbemessung von Balken

Falls eine zweiachsige Bemessung notwendig ist, erfolgt die Schubbemessung für einen Rechteckquerschnitt (Plattenbalken, Doppel-T: nur Steg). Sie wird nach den Koordinatenrichtungen getrennt für Q_{η} und Q_{ζ} durchgeführt. Für beide Kombinationen wird eine einachsige Schubbemessung durchgeführt, deren Bewehrung anschließend extremiert wird. Die Bemessung eines Kreis(ring)-Querschnitts erfolgt für das flächengleiche Quadrat.

1.1.6.1.6.3

Bemessung für Querkraft

Die Querkraftbemessung hängt entscheidend vom Querschnittszustand (Zustand 1 – ungerissen, voll überdrückt oder Zustand 2 – gerissen) ab.

Beim gerissenen Querschnitt wird n. Mörsch zunächst der Grundwert der Schubspannung $\tau_0 = Q/(b_0 \cdot z)$ ermittelt, der von der Lage der Dehnungsnulllinie (k_x und k_z entweder ermittelt aus der Biegebemessung oder unter Annahme eines reinen Biegezustands) abhängig ist. Die

einzuhaltenen Grenzen der Grundwerte der Schubspannung (DIN 1045, Tab. 13) richten sich danach, ob das Bauteil als **Platte** (ohne rechnerisch erforderlicher Querkraftbewehrung) oder als **Balken** (mit rechnerisch erforderlicher Querkraftbewehrung) betrachtet wird. Bei Platten geht zusätzlich ein, ob die Feldbewehrung **gestaffelt** eingelegt wird und ob $\max|Q|$ und $\max|M|$ an der gleichen Stelle auftreten (Faktor k_i). Reduzierte Grenzs Schubspannungen ergeben sich bei einer Ergänzung von **Fertigteilen mit Ortbeton**.

Die Größe von τ_0 ist ausschlaggebend für den Schubbereich und damit den Bemessungswert τ , für den die Bügelbewehrung $a_{s,bü}$ bestimmt wird. Für spezielle Anwendungen kann die Schubspannung auch **voll abgedeckt** werden. Unabhängig von den Schubbereichen wird bei Platten und Balken ohne Abminderung bemessen. Es besteht die Möglichkeit, entweder nur den Schubbereich 2 (3 sowieso) oder alle Schubbereiche voll abzudecken.

Bei Flächentragwerken (Platte oder Faltwerk) sollte möglichst auf eine Schubbewehrung verzichtet werden. Da die Querkraftverteilung i.A. nicht mit der Bewehrungsanordnung übereinstimmt, wird die Hauptquerkraft nachgewiesen und nach Bedarf bemessen. Dazu werden die benötigten Parameter näherungsweise entweder als Minimalwerte sämtlicher zu einem Lastfall gehörenden Transformationskombinationen (Standardfall) oder unter Annahme eines reinen Biegezustands (s.o.) ermittelt.

Ist der Querschnitt überdrückt (s.o.), wird für die schiefe Hauptzugspannung n. Mohr $\tau = \sigma_1^I$ bemessen. Diese ergibt sich für baupraktische Zwecke ausreichend genau zu

$$\sigma_1^I = 0,5 \cdot \left(\sigma_x + \sqrt{\sigma_x^2 + 4\tau^2} \right) \text{ mit } \sigma_x = N/A + (M \cdot z)/I \text{ und } \tau = (Q \cdot S)/(I \cdot b)$$

(s. a. /8/). Außerdem ist bei erfolgreicher Querkraftbemessung der Nachweis der schiefen Hauptdruckspannung zu führen. Wahlweise erfolgt der Nachweis nach

Heft 400, DAfStb:

$$\sigma_2^{II} = \left| \sigma_2^I \right| + \left| \sigma_1^I \right| \leq 2,9 \tau_0 \quad \text{bzw.} \quad \sigma_2^{II} \leq 2 \tau_{03}$$

oder n. **Grasser** (unter Berücksichtigung des Heftes 320, DAfStb):

$$\tan \theta = \tan \theta_1 \cdot \left(1 - \frac{\Delta\tau}{\tau} \right) \geq \min(0,4, \tan \theta_1)$$

$$\tan \theta_1 = \sigma_1^I / \tau \quad \text{Neigung der Hauptdruckspannungen}$$

$$\Delta\tau = 0,6 \tau_{02}$$

$$\sigma_2^{II} = \frac{\tau_0}{\sin \theta \cdot \cos \theta} \leq 0,25 \beta_{WN}$$

1.1.6.1.6.4

Bemessung für Torsion

Die Torsionsbemessung ist nur dann durchzuführen, wenn der Grundwert τ_T die Werte $0,25 \tau_{02}$ (DIN 1045, Tab. 13) überschreitet. Der Grundwert ist mit den Querschnittswerten nach Zustand 1 zu ermitteln und darf die Werte τ_{02} nicht überschreiten. Aufgrund des gedachten räumlichen Fachwerks mit unter $\theta = 45^\circ$ geneigten Druckstreben ergibt sich eine Bügelbewehrung je Schenkel zu $a_{s,büT}$. Die Längsbewehrung $A_{s,T}$ ist gleichmäßig über den Umfang zu verteilen.

1.1.6.1.6.5

Bemessung für Querkraft und Torsion

Der Nachweis von Querkraft und Torsion ist erfüllt, wenn

$$\tau_0 / \tau_{03} + \tau_T / \tau_{03} \leq 1,3 \quad \text{für Bauteildicken } \geq 30 \text{ cm bzw.}$$

$$(\tau_0 + \tau_T) / \tau_{02} \leq 1,3 \quad \text{für Bauteildicken } < 30 \text{ cm .}$$

1	2	3	4					8	9	
			Grenzen der Grundwerte der Schubspannung τ_0 in N/mm^2 für Betonfestigkeitsklasse							
Bauteil	Schubbereich	τ_0	B15	B25	B35	B45	B55	Schubdeckung		
1a 1b	Platten	1*	τ_{011}	0.25 0.35	0.35 0.50	0.40 0.60	0.50 0.70	0.55 0.80	$\leq 17.5.5$	
2			2	τ_{02}	1.20	1.80	2.40	2.70	3.00	verm. Schubd. Gl. 17 zul.
3	Balken	1	τ_{012}	0.50	0.75	1.00	1.10	1.25	$\leq 17.5.5$	
4			2	τ_{02}	1.20	1.80	2.40	2.70	3.00	verm. Schubd. Gl. 17 zul.
5			3	τ_{03}	2.00	3.00	4.00	4.50	5.00	volle Schubd. nur bei d bzw. dg ≥ 30 cm

*Die Werte der Zeile 1a gelten bei gestaffelter, d.h. teilweise im Zugbereich verankerter Feldbewehrung

Tab. 5: Grundwerte der Schubspannung τ_0 in N/mm^2 unter Gebrauchslast (DIN 1045, Tab. 13)

1.1.6.1.6.6 Nachweis der Hauptdruckspannungen im Beton

N. 23.2 ist der Sicherheitsabstand zwischen Gebrauchslast und Bruchlast ausreichend, wenn gilt:

$$\sigma_2^l \leq \beta_R / 2.1$$

Literatur /4/ bis /8/

1.1.6.2 Rissnachweis n. DIN 1045

Kurzbezeichnung:	DIN 1045 Rissnachweis
Zusatzbezeichnung:	Gebrauchsfähigkeit n. DIN 1045 7.88, 17.6
Programmbezug:	##-NISI, ##-FRAP, ##-ALFA (##-DULAB)
Nachweisobjekte:	Stab- und Flächenträger aus Stahlbeton
Kombinationsregel:	alte Norm, linear
Überlagerungsvorschrift:	Extremalbildungsvorschriften und Lastkollektive
Interne Nummer:	2

1.1.6.2.1 optionale Einstellungen

Das Ziel beim Entwurf von Stahlbetonbauteilen ist die Begrenzung der entstehenden Rissbreiten auf ein Maß, das die ordnungsgemäße Funktion und Dauerhaftigkeit eines Bauwerks gewährleistet.

Wird ein Stahlbetonstab einer Zugbelastung ausgesetzt, so ergibt sich (idealisiert) das nebenstehende Last-Verformungs-Diagramm.

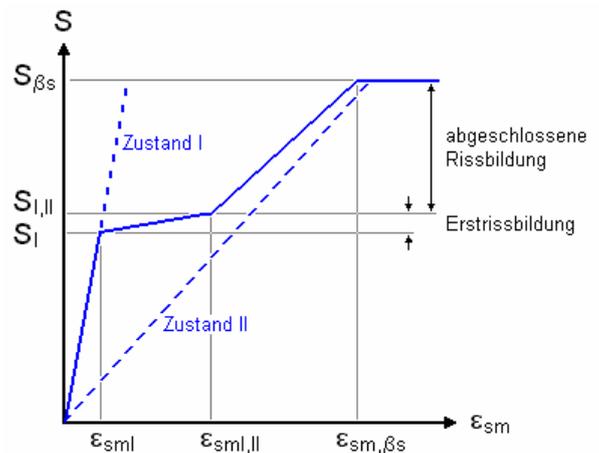


Abb. 38: Last-Verformungs-Diagramm

Zunächst ist der Querschnitt ungerissen (Zustand 1) bis es bei ϵ_{smI} unter S_I zum ersten Riss kommt. In der Regel hat der Bewehrungsgrad hier keinen nennenswerten Einfluss auf die Steifigkeit des Trägers. Danach nimmt die Rissanzahl bei weiterer Lastzunahme stark zu, bis bei $\epsilon_{smI,II}$ unter $S_{I,II}$ die Erstrissbildung abgeschlossen ist. Die Bauteilsteifigkeit nimmt mit zunehmender Belastung ständig ab und nähert sich der Steifigkeit des reinen Zustandes 2 an. Ab jetzt ändert sich die Rissanzahl wenig bis bei $\epsilon_{sm,\beta s}$ und $S_{\beta s}$ entweder die Rissbildung abgeschlossen ist oder der Träger versagt. Die Abnahme der Steifigkeit resultiert vor allem aus der lokalen Schädigung des Verbundes.

Beim Nachweis der Begrenzung der Rissbreite ist zwischen dem Zustand der Bildung von Einzelrissen und dem Zustand mit abgeschlossenem Rissbild zu unterscheiden. Daher gliedert sich der Nachweis in zwei Teile:

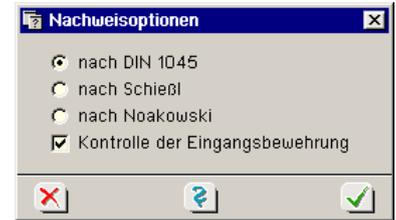
Mindestbewehrung In oberflächennahen Bereichen von Stahlbetonbauteilen, in denen Betonzugspannungen aus unbeabsichtigtem Zwang (Erstrissbildung) entstehen können, ist i.A. eine Mindestbewehrung einzulegen.

Regeln für die statisch erforderliche Bewehrung Die Rissbreiten infolge vorwiegender Lastbeanspruchung (Endrissbildung) sind vor allem von der vorhandenen Stahlspannung und von der Anordnung der Bewehrung abhängig. Deshalb sind die Stababstände oder die Stabdurchmesser der gewählten Bewehrung in Abhängigkeit der Stahlspannung zu begrenzen. Da der Nachweis zur Begrenzung der Stababstände auf der unsicheren Seite liegen kann, erfolgt er in den **pcae**-Programmen zur Einhaltung der Stabdurchmesser.

Der Rissnachweis kann nach folgenden Verfahren geführt werden (Erläuterung s. weiter unten):

Abb. 39: Nachweisoptionen Rissnachweis

Zunächst wird Mindestbewehrung bestimmt. Anschließend wird überprüft, ob die erforderlichen Grenzdurchmesser oben und unten für die maßgebende Risslast eingehalten werden. Ist der Nachweis nicht erfüllt, werden die Bewehrungsquerschnitte entsprechend erhöht.



Zum einwandfreien Ablauf des Rissnachweises ist es unbedingt notwendig, dass die Riss-Schnittgrößen vom Querschnitt aufgenommen werden können. D.h., die in den Nachweis eingehende Bewehrung (Startvektor) muss einer Biegebemessung standhalten. Zur Sicherheit, dass die in den Nachweis eingehende Bewehrung ausreicht, kann vom Benutzer eingestellt werden, dass vorab eine Biegebemessung durchgeführt wird (Kontrolle der Eingangsbewehrung).

1.1.6.2.2 objektbezogene Bemessungsangaben

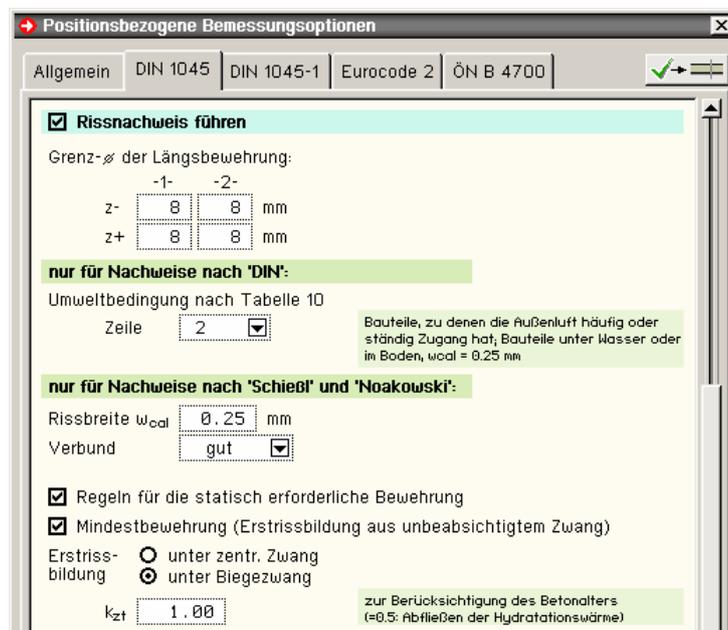


Abb. 40: objektbezogene Bemessungsoptionen DIN 1045 - Rissnachweis

An dieser Stelle können die Parameter zur stab- bzw. positionsbezogenen Steuerung des Rissnachweises modifiziert werden.

1.1.6.2.3 Rissnachweis n. DIN 1045

1.1.6.2.3.1 Mindestbewehrung (17.6.2)

$$\mu_z = k_0 \beta_{bZ} / \sigma_s$$

- μ_z auf die Zugzone n. Zustand 1 bezogener Bewehrungsgehalt
- k_0 Zwangbeiwert (Biegezwang 0.4, Zugzwang 1.0)
- β_{bZ} wirksame Betonzugfestigkeit ($\beta_{bZ} = 0.25 \beta_{WN}^{2/3}$)
- β_{WN} Nennfestigkeit des Betons ($\beta_{WN} \geq 35 \text{ N/mm}^2$)
- σ_s Betonstahlspannung n. Tab. 14 ($\sigma_s \leq 0.8 \beta_s$)

1.1.6.2.3.2

Regeln für die statisch erforderliche Bewehrung (17.6.3)

$$d_{s,gr} \leq \lim d_s(\sigma_s)$$

- $d_{s,gr}$ Grenzdurchmesser der Bewehrung
- σ_s Betonstahlspannung aus häufigen Lasten
- $\lim d_s$ zulässiger Bewehrungsdurchmesser n. Tab. 14

	1	2	3	4	5	6	7
1	Betonstahlspannung σ_s in N/mm ²	160	200	240	280	350	400
2	Grenzdurchmesser in mm bei Umweltbedingungen nach Tabelle 10	Zeile 1 36	36	28	25	16	10
3		Zeilen 2-4 28	20	16	12	8	5

Die Grenzdurchmesser dürfen im Verhältnis $\frac{d}{10(d-h)} \geq 1$ vergrößert werden.

d Bauteildicke
 h statische Nutzhöhe } jeweils rechtwinklig zur betrachteten Bewehrung

Bei Verwendung von Stabbündeln mit $d_{sV} > 36$ mm ist immer eine Hauptbewehrung n. 18.11.3 erforderlich.
Zwischenwerte dürfen linear interpoliert werden.

Tab. 6: Grenzdurchmesser $d_{s,gr}$ in mm (DIN 1045, Tab. 14)

Bei Zwang im frühen Betonalter ($k_{z,t} \approx 0.5$) darf mit der dann vorhandenen geringeren wirksamen Betonzugfestigkeit gerechnet werden ($\beta_{bZw} = k_{z,t} \cdot \beta_{bZ}$ mit $k_{z,t}$ aus Tab. 4 in /9/). Es ist jedoch der Grenzdurchmesser (s. o.) im Verhältnis $\beta_{bZw}/2.1$ zu verringern.

Zeile	Umweltbedingung	Stahl \varnothing d_s mm
1	Bauteile in geschlossenen Räumen, z. B. Wohnungen (einschließlich Küche und Bad), Büroräume, Krankenhäuser, Verkaufsstätten; ständig trockene Bauteile	≤ 12 14,16 20 25 28
2	Bauteile, zu denen die Außenluft häufig oder ständig Zugang hat; Bauteile unter Wasser o. im Boden	≤ 20 25 28
3	Bauteile im Freien; Bauteile mit wechselnder Durchfeuchtung	≤ 25 28
4	Bauteile in besonders korrosionsfördernder Umgebung	≤ 28

Tab. 7: Auszug DIN 1045, Tab. 10

Alter des Betons in Tagen				
	3	7	28	> 90
$k_{z,t}$	(0.4)	(0.6)		(1.2)
	0.5	0.75	1.0	1.1
	(0.7)	(0.9)		(1.05)

Tab. 8: Faktor zur Berücksichtigung des Betonalters aus /9/, Tab. 4

Um auch so genannte "wasserundurchlässige" Bauteile mit dem Verfahren n. DIN nachweisen zu können, wurde die Erweiterung der Tab. 9 aus /4/ implementiert. Mit Hilfe von Tab. 17.6-1 können auch geringere Rissbreiten überprüft werden.

Literatur /17/.

1.1.6.2.4

Rissnachweis n. Schießl

$$w_{k,cal} = k_4 \cdot \left(50 + 0.25 \cdot k_2 \cdot k_3 \frac{d_s}{\mu_{zw}} \right) \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} \cdot \left(1 - \beta_1 \cdot \beta_2 \cdot \left[\frac{\sigma_{sr}}{\sigma_s} \right]^2 \right) \text{ mit}$$

$$\beta_1 \cdot \beta_2 \cdot \left[\frac{\sigma_{sr}}{\sigma_s} \right]^2 \leq 0.6$$

$$\mu_{zw} = \frac{A_s}{b \cdot h_w} \text{ mit } h_w = k_5(d-h) \leq (d-x)/3 \text{ (Biegung)}$$

$$\leq d/2 \quad \text{(Zug)}$$

$$\sigma_{sr} = 0.2 \frac{\beta_{bz}}{\mu} \text{ (Biegung)}$$

$$\sigma_{sr} = \frac{\beta_{bz}}{\mu} \text{ (Zug)}$$

$$\beta_{bz} = k_{z,t} \cdot k_E \cdot 0.3 \beta_{WN}^{2/3} \text{ mit } k_E = 0.8 \text{ für } d \leq 30 \text{ cm}$$

$$k_E = 0.6 \text{ für } d \geq 80 \text{ cm}$$

$$\text{und } \beta_{WN} \geq 35 \text{ N/mm}^2$$

Literatur /9/.

1.1.6.2.5

Rissnachweis n. Noakowski

$$w_k = \gamma_w \cdot C_E \cdot 3.1 \cdot \left(\frac{\sigma_{s1}^{0.88}}{\beta_w^{0.66}} \cdot d_s \right)^{0.89} \cdot \frac{\sigma_s - C_E \cdot 0.56 \cdot \sigma_{s1}}{E_s} \text{ mit}$$

$$C_E = 1.0, \text{ wenn } \sigma_s = \sigma_{s1} \text{ (Erstrisszustand)}$$

$$C_E = 0.75, \text{ wenn } \sigma_s > \sigma_{s1} \text{ (Endrisszustand)}$$

$$\beta_w = \beta_{WN} + 5 \text{ MN/m}^2 \text{ und } \beta_{WN} \geq 35 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{s1} = 0.22 \cdot \frac{\beta_z}{\mu} \text{ (Biegung)}$$

$$\sigma_{s1} = 0.50 \cdot \frac{\beta_z}{\mu} \text{ (Zug)}$$

$$\beta_z = k_{z,t} \cdot C_\beta \cdot \beta_w^{0.66} \cdot (0.85 - 0.2d) \cdot \frac{0.6+6 \cdot C_d \cdot \eta}{1.0+6 \cdot \eta}$$

$$\text{mit } C_\beta = 0.46, C_d = \frac{2.6+24d}{1.0+40d}, \eta = \frac{M}{N \cdot d}$$

Literatur /10/

1.1.6.3

Schwingbreitennachweis n. DIN 1045

Kurzbezeichnung:	DIN 1045 Schwingbreitennachweis
Zusatzbezeichnung:	Gebrauchsfähigkeit n. DIN 1045 7.88, 17.8
Programmbezug:	##-NISI, ##-FRAP, ##-ALFA (##-DULAB)
Nachweisobjekte:	Stab- und Flächenträger aus Stahlbeton
Kombinationsregel:	alte Norm, linear
Überlagerungsvorschrift:	Extremalbildungsvorschriften und Lastkollektive
Interne Nummer:	3

1.1.6.3.1

optionale Einstellungen

N. 17.8 ist der Nachweis zur Beschränkung der Stahlspannungen unter Gebrauchslast bei nicht vorwiegend ruhender Belastung zu führen. Der Nachweis wird für die Längsbewehrung geführt.

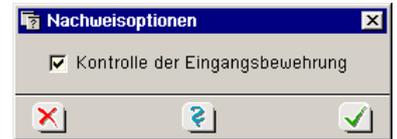


Abb. 41: Nachweisoptionen Schwingbreitennachweis DIN 1045

Zum einwandfreien Ablauf des Schwingbreitennachweises ist es unbedingt notwendig, dass die Schwing-Schnittgrößen vom Querschnitt aufgenommen werden können. D.h. die in den Nachweis eingehende Bewehrung (Startvektor) muss einer Biegebemessung standhalten. Zur Absicherung, ob die vorhandene Bewehrung ausreicht, kann vom Benutzer eingestellt werden, dass vorab eine Biegebemessung durchgeführt wird (Kontrolle der Eingangsbewehrung).

1.1.6.3.2 objektbezogene Bemessungsangaben



Abb. 42: objektbezogene Bemessungsangaben DIN 1045 - Schwingbreitennachweis

Hier wird die zulässige **Stahlspannungsdifferenz** eingegeben. Ein Nachweis ist nur erforderlich, wenn die Lasten innerhalb eines kurzen Zeitraums stark schwanken (z. B. bei Maschinenfundamenten). Im allgemeinen Hochbau kann der Nachweis vernachlässigt werden.

1.1.6.3.3 Verfahren

Tragende Bauteile, die einer hohen Anzahl von Lastwechseln unterworfen sind (nicht ruhende Belastung), können infolge **Materialermüdung** versagen, auch wenn die Beanspruchung die für die statischen Nachweise (ruhende Belastung) maßgebenden Materialfestigkeiten nicht erreicht.

N. 17.8 ist der Nachweis zur Beschränkung der Stahlspannungen unter Gebrauchslast bei nicht vorwiegend ruhender Belastung zu führen. Die Spannungsdifferenz aus Ober- und Unterlast $\Delta\sigma_s = \sigma_{s,Obersp.} - \sigma_{s,Untersp.}$ darf die eingegebene Schwingbreite zul $\Delta\sigma_s$ nicht überschreiten.

Der Längsbewehrungsgrad wird so lange iterativ erhöht, bis der vorgegebene Grenzwert eingehalten ist.

Ein Nachweis der Querkraftbewehrung wird zz. nicht geführt.

1.1.6.4 Stahlbetonbemessung n. DIN 1045 (Theorie II. Ord.)

Kurzbezeichnung:	DIN 1045 Bemessung (Th. II. Ord.)
Zusatzbezeichnung:	Tragfähigkeit n. DIN 1045 7.88, 17.2/17.5
Programmbezug:	##-NISI, ##-FRAP
Nachweisobjekte:	Stabträger aus Stahlbeton
Kombinationsregel:	alte Norm, nichtlinear
Überlagerungsvorschrift:	nur Lastkollektive
Interne Nummer:	9

Die Stahlbetonbemessung n. Theorie II. Ord. unterscheidet sich im Wesentlichen dadurch von der Bemessung n. Theorie I. Ord., dass die Schnittgrößenkombinationen nicht aus Gebrauchslasten (Extremierungen oder Lastkollektive mit dem Faktor 1.0) sondern aus Traglasten (Lastkollektive mit erhöhtem Beiwert i.A. 1.75) gebildet werden. Dementsprechend wird die Bemessung nur mit 1.0-facher Sicherheit durchgeführt.

Beschreibung s. 1.1.6.1 Stahlbetonbemessung n. DIN 1045 (Theorie I. Ord.) (S. 52)



Achtung: Der Nachweis n. Theorie II. Ord. wird nicht im Zustand 2 geführt, d. h. Querschnittschwächungen aufgrund gerissener Zugzonen werden nicht berücksichtigt.

1.1.6.5

Knicksicherheit n. DIN 1045 (Zustand 2)

Kurzbezeichnung:	DIN 1045 Knicksicherheit
Zusatzbezeichnung:	Tragfähigkeit n. DIN 1045 7.88, 17.4
Programmbezug:	##-NISI
Nachweisobjekte:	Stabträger aus Stahlbeton
Kombinationsregel:	alte Norm, nichtlinear
Überlagerungsvorschrift:	nur Lastkollektive
Interne Nummer:	7

Der Knicksicherheitsnachweis ermittelt die Tragfähigkeit n. Theorie II. Ord. unter Berücksichtigung der gerissenen Zugzone (Zustand 2). Als Grundbewehrung der nichtlinearen Schnittgrößenermittlung werden die eingegebene Grundbewehrung und die erforderliche Bewehrung aus den vorgeschalteten Tragfähigkeitsnachweisen nach Theorie I. Ord. zugrunde gelegt. Durch Berücksichtigung der jeweils gültigen M-κ-Beziehung wird für jeden Stab eine wirksame Biegesteifigkeit I_{eff} für die weitere Berechnung ermittelt:

$$I_{\text{eff}} = \frac{\int_0^l M \cdot \kappa \, dl}{E_b \int_0^l \kappa \cdot \kappa \, dl}$$

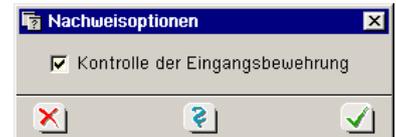


Abb. 43: Nachweisoptionen Knicksicherheit n. DIN 1045 (Zustand 2)

E_b ist dabei der E-Modul des Betons für die Berechnung n. Zustand 1. Die Berechnung wird beendet, falls die Änderung von I_{eff} unter eine vorgebbare Grenze fällt.

Für den Nachweis kann optional eingestellt werden, dass die Schnittgrößen daraufhin überprüft werden, ob sie vom Querschnitt mit der vorhandenen Bewehrung aufgenommen werden können. Ist dies nicht der Fall, wird die Bewehrung erhöht und in den folgenden Berechnungsschritten zugrunde gelegt (Kontrolle der Eingangsbewehrung).



Die **Kontrolle der Eingangsbewehrung** verlängert die Rechenzeit, da in jedem Iterationsschritt mit den hierin ermittelten Schnittgrößen eine Stahlbetonbemessung durchgeführt wird.

Der Nachweis der Knicksicherheit wird mit Schnittgrößenkombinationen aus Traglasten gebildet, d.h. die Lastkollektive sind mit einem Lastsicherheitsbeiwert (i.A. $\gamma_F = 1.75$) zu beaufschlagen. Die Material sicherheit beträgt $\gamma_M = 1.0$. Materialangaben werden dem Eigenschaftsblatt für die Stahlbetonbemessung (Registerblatt 1 und 2; s. Abb. 2 (S. 10), Abb. 3 (S. 11) und Abb. 36 (S. 53)) entnommen.

1.1.6.6

Durchbiegung im Zustand 2 n. DIN 1045

Kurzbezeichnung:	DIN 1045 Durchbiegung ZII
Zusatzbezeichnung:	Gebrauchsfähigkeit n. DIN 1045 7.88, 17.7
Programmbezug:	##-NISI
Nachweisobjekte:	Stabträger aus Stahlbeton
Kombinationsregel:	alte Norm, nichtlinear
Überlagerungsvorschrift:	nur Lastkollektive
Interne Nummer:	8

Die Berechnung der Schnittgrößen erfolgt wie unter 1.1.6.5, Knicksicherheit n. DIN 1045 (Zustand 2), beschrieben.

Die Durchbiegungen im Zustand 2 werden mit Schnittgrößenkombinationen aus charakteristischen Lasten ($\gamma_F = 1.0$) gebildet. Die Material sicherheit beträgt ebenfalls $\gamma_M = 1.0$. Materialangaben werden dem Eigenschaftsblatt für die Stahlbetonbemessung (Registerblatt 1 und 2; s. Abb. 2 (S. 10), Abb. 3 (S. 11) und Abb. 36 (S. 53)) entnommen.

1.2 Stahl

1.2.1 Nachweise n. DIN 18800 (Theorie I. Ord.)

Kurzbezeichnung:	DIN 18800 Tragfähigkeit (Th. I. Ord.)
Zusatzbezeichnung:	Tragfähigkeit n. DIN 18800 11.90
Programmbezug:	##-FRAP, ##-NISI
Nachweisobjekte:	Stabträger aus Stahl
Kombinationsregel:	Haupt- und Nebenkombinationen n. DIN 18800
Überlagerungsvorschrift:	Extremalbildungsvorschriften und Lastkollektive
Interne Nummer:	11
optionale Einstellungen	keine

1.2.2 Nachweise n. DIN 18800 (Theorie II. Ord.)

Kurzbezeichnung:	DIN 18800 Tragfähigkeit (Th. II. Ord.)
Zusatzbezeichnung:	Tragfähigkeit n. DIN 18800 11.90
Programmbezug:	##-FRAP, ##-NISI
Nachweisobjekte:	Stabträger aus Stahl
Kombinationsregel:	Haupt- und Nebenkombinationen n. DIN 18800
Überlagerungsvorschrift:	nur Lastkollektive
Interne Nummer:	12
optionale Einstellungen	keine

1.2.3 Nachweise n. DIN 18800 (Fließgelenke, Theorie II. Ord.)

Kurzbezeichnung:	DIN 18800 Traglast (Fließgelenke, Th. II. Ord.)
Zusatzbezeichnung:	Traglast n. DIN 18800 11.90
Programmbezug:	##-NISI
Nachweisobjekte:	Stabträger aus Stahl
Kombinationsregel:	Haupt- und Nebenkombinationen n. DIN 18800
Überlagerungsvorschrift:	nur Lastkollektive
Interne Nummer:	13
optionale Einstellungen	keine

1.2.4 Allgemeines

Wegen des (modernerem) Sicherheitskonzeptes der DIN 18800 in der Fassung vom Nov. 1990 gibt es in den **pcae**-Programmen (##-FRAP, ##-NISI) nur drei Nachweistypen, die die Nachweise der definierten Stahlglieder betreffen. Diese drei Nachweise unterscheiden sich im Wesentlichen durch die Ermittlung der Nachweisschnittgrößen (Berechnung n. Theorie I. bzw. II. Ord. oder Fließgelenktheorie).

Beim Stahlbaunachweis werden die vorhandenen Spannungen bzw. Schnittgrößen den zulässigen bzw. aufnehmbaren Größen gegenübergestellt. Als maßgebliches Nachweisergebnis wird der Ausnutzungsgrad U des Querschnitts berechnet. Ein Ausnutzungsgrad > 1 zeigt an, dass die zulässigen Spannungen oder aufnehmbaren Schnittgrößen im betrachteten Punkt überschritten werden und der Nachweis somit nicht erbracht werden kann.

Bei der Berechnung n. Theorie I. Ord. werden die Lastfälle linear berechnet. Die nachzuweisenden Lastkombinationen werden aus den Lastfallergebnissen entsprechend der dem Nachweis zugeordneten Vorschriften zusammengesetzt. Die einzelnen Lastkombinationen werden gemäß den stabbezogenen Nachweisparametern nachgewiesen.

Bei der Berechnung n. Theorie II. Ord. werden die Schnittgrößen der dem Nachweis zugeordneten Lastkollektive geometrisch nichtlinear berechnet. Im 2D-Stabwerksprogramm ##-NISI kann das System zusätzlich nach der **Fließgelenktheorie** physikalisch nichtlinear berechnet werden. Wegen der Komplexität des dreidimensionalen Spannungszustandes bleiben plastische Untersuchungen im 3D-Stabwerksprogramm ##-FRAP unberücksichtigt. Entsprechend der stabbezogenen Nachweisparameter werden die Lastkollektive nachgewiesen.

Anhand des Eigenschaftsblatts für die stabbezogenen Nachweisparameter sollen die implementierten Nachweise erläutert werden.

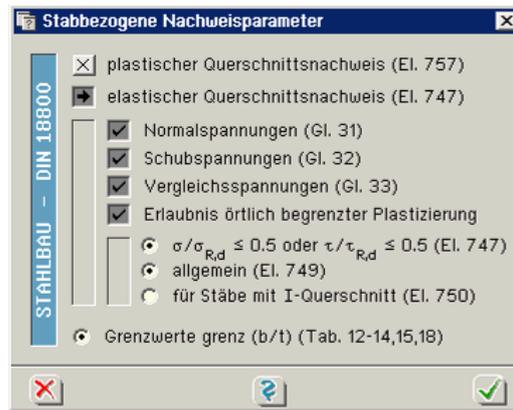


Abb. 44: Stabbezogene Nachweisparameter DIN 18800

1.2.5 elastischer Nachweis - Spannungsberechnung

Im Fall des elastischen Querschnittsnachweises (Nachweis nach dem Verfahren Elastisch-Elastisch) kann festgelegt werden, ob die Normalspannungen n. Gl. 31, die Schubspannungen n. Gl. 32 und/oder die Vergleichsspannungen n. Gl. 33 gemäß DIN 18800 in den Nachweis einfließen sollen.

Sind alle drei der hier besprochenen Spannungsarten ausgewählt, können Festlegungen über die Erlaubnis örtlich begrenzter **Plastizierung** entsprechend El. 747, 749 bzw. 750 angegeben werden.

Der **Vergleichsspannungsnachweis** braucht n. El. 747 nicht geführt zu werden, wenn die Ausnutzung aus den Normalspannungen oder aus den Schubspannungen ≤ 0.5 ist.

N. El. 749 darf die zulässige Spannung für den Vergleichsspannungsnachweis um 10 % erhöht werden, wenn die Ausnutzung aus den Normalspannungen ≤ 0.8 ist.

El. 750 ist nur für doppelsymmetrische I-Querschnitte anwendbar und erlaubt die Berechnung der Normalspannungen mit den plastischen Widerstandsmomenten. Diese Regel kommt nur zur Anwendung, wenn andernfalls die Grenzspannungen überschritten sind, da sonst der Nachweis der Grenzwerte $g_{renz}(b/t)$ n. Tab. 15 geführt werden müsste.

Unabhängig von den stabbezogenen Nachweisparametern werden die extremalen elastischen Normalspannungen und die maximale Schub- und Vergleichsspannung des Querschnitts ermittelt. Dazu wird der dünnwandige Querschnitt in Linienelemente aufgelöst.

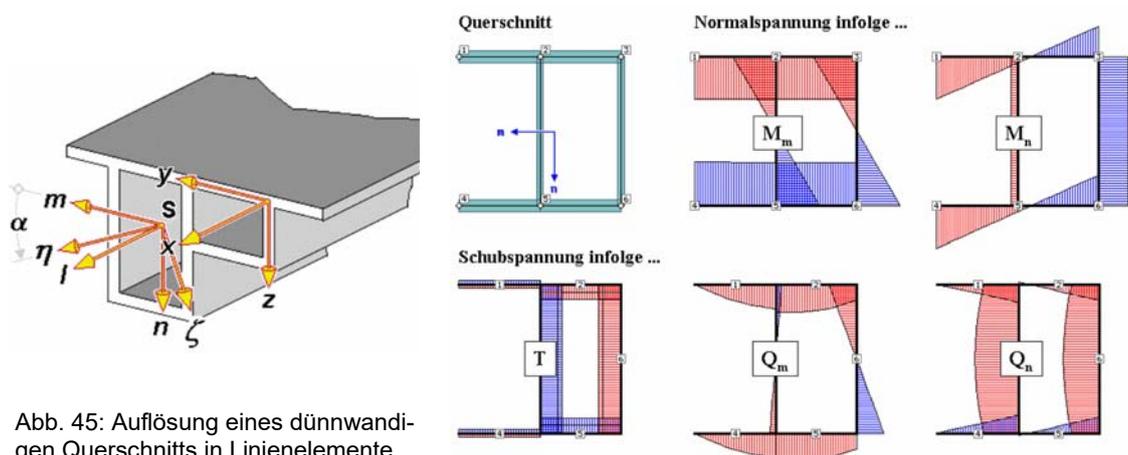


Abb. 45: Auflösung eines dünnwandigen Querschnitts in Linienelemente

Zur Ermittlung der maximalen elastischen Spannungen werden für jede Linie des dünnwandigen Querschnitts und für jeden untersuchten Schnitt quer zu der Linie für die Endpunkte und den Mittelpunkt des Schnitts die Normal-, Schub und Vergleichsspannungen durch Addition der Einzelanteile aus den Schnittgrößen berechnet.

$$\sigma = \frac{N}{A} + \frac{M_\eta \cdot \zeta}{I_\eta} - \frac{M_\zeta \cdot \eta}{I_\zeta}$$

$$\tau = -Q_{\eta} \cdot \frac{\int_0^s \eta t \cdot ds}{I_{\zeta} \cdot t} - Q_{\zeta} \cdot \frac{\int_0^s \zeta t \cdot ds}{I_{\eta} \cdot t} + \tau_0 \cdot \frac{t_0}{t} \pm T \cdot \frac{t}{I_T}$$

$$\sigma_V = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2}$$

Die Ausnutzungen berechnen sich beim elastischen Nachweis als Verhältnis der vorhandenen Spannung zur zulässigen Spannung. Die **Spannungsausnutzung** U_{σ} ist das Maximum aus den Ausnutzungen des Normal-, Schub- und Vergleichsspannungsnachweises.

$$U_{\sigma} = \max \left(\frac{\sigma}{\sigma_{R,d}}, \frac{\tau}{\tau_{R,d}}, \frac{\sigma_V}{\sigma_{V,R,d}} \right)$$

1.2.6 plastischer Nachweis

Der plastische Nachweis (Nachweis nach dem Verfahren Elastisch-Plastisch oder Plastisch-Plastisch) kann nur im 2D-Stabwerksprogramm #NISI aktiviert werden. Beim plastischen Nachweis wird unter Verwendung der zum Querschnitt zugehörigen **Interaktionsbeziehung** das maximal aufnehmbare Moment $M_{pl,Q,N,d}$ ermittelt. Die Ausnutzung ergibt sich aus dem Verhältnis der vorhandenen Schnittgrößen zu den Grenzschnittgrößen.

$$U_{\sigma} = \max \left(\frac{N}{N_{pl,d}}, \frac{Q}{Q_{pl,d}}, \frac{M}{M_{pl,Q,N,d}} \right)$$

Die Berechnung des aufnehmbaren Moments $M_{pl,Q,N,d}$ erfolgt aus Interaktionsbeziehungen für spezielle Querschnittstypen (s. /14/):

- Typ 1: doppelsymmetrische I-Profile
- Typ 2: Biegung um y-Achse, einfachsymmetrisch
- Typ 3: Biegung um y-Achse, doppelsymmetrisch
- Typ 4: Biegung um z-Achse, doppelsymmetrisch
- Typ 5: Kreisring, Biegung um y- und z-Achse

Interaktionsbeziehungen sind nur in einem vorgegebenen Schnittgrößenbereich gültig.

Für #QUER Querschnitte, L-, C-, Z-Profile, Flacheisen und Rundstähle können keine Grenzschnittgrößen berechnet werden. In diesen Fällen und falls $M_{pl,Q,N,d}$ nicht berechnet werden kann (z. B. $V > V_{pl}$ oder $N > N_{pl}$) wird der elastische Nachweis geführt.

1.2.7 grenz (b/t) - Beulnachweis der Querschnittsteile

Zur Ermittlung der Ausnutzungen $\text{vorh}(b/t)/\text{grenz}(b/t)$ wird für jede Linie des dünnwandigen Querschnitts der Wert $\text{grenz}(b/t)$ aus den vorhandenen Druckspannungen n. DIN 18800-1 berechnet (Verfahren E-E: Tab. 13, 14, Verfahren E-P: Tab. 15, Verfahren P-P: Tab. 18). Die Ausnutzung $\text{vorh}(b/t)/\text{grenz}(b/t)$ wird für alle Linien maximiert, wobei unterschiedliche Werte für beidseitig $(b/t)_{0-0}$, Steg) und einseitig gelagerte $(b/t)_{0-\dots}$, Gurt) Plattenstreifen ausgewiesen werden. Die Ausnutzungen für die Lagerungsarten beidseitig und einseitig gelenkig gelagerter Plattenstreifen ergeben zusammen mit der Ausnutzung aus Spannungen bzw. aufnehmbaren Schnittgrößen die maximale Querschnittsausnutzung.

$$U = \max (U_{\sigma}, (b/t)_{0-0}, (b/t)_{0-\dots})$$

1.3

Holz

1.3.1

Nachweise n. Eurocode 5

Die Holzbaunachweise n. Eurocode 5 entsprechen denen der DIN 1052:2008-12 in hohem Maße. Aus diesem Grunde werden hier nur die Unterschiede beschrieben.

1.3.1.1

Tragfähigkeitsnachweis (Theorie I. Ord.)

Kurzbezeichnung:	EC 5 Tragfähigkeit (Th. I. Ord.)
Zusatzbezeichnung:	Tragfähigkeit n. DIN EN 1995
Nachweisobjekte:	Stabträger aus Holz
Kombinationsregel:	Eurocode
Überlagerungsvorschrift:	Extremalbildungsvorschriften und Lastkollektive
Interne Nummer:	221
optionale Einstellungen	keine

Der Nachweis entspricht bis auf die folgenden Anmerkungen dem Tragfähigkeitsnachweis n. DIN 1052:2008-12 (s. Abs. 1.3.2.2, S. 70).

- Umbenennungen: k_{red} (DIN 1052) heißt im EC 5 k_m ; k_m (DIN 1052) heißt im EC 5 k_{crit}
- der Bemessungswert der Schubfestigkeit darf beim Nachweis der Torsionsspannungen u.U. um den Faktor k_{shape} erhöht werden
 - für Rundstäbe ist $k_{shape} = 1.2$
 - bei rechteckigen Querschnitten ist $k_{shape} = 1 + 0.15 h/b$, jedoch nicht größer als 2.0
h und b sind die Querschnittsabmessungen mit $h \geq b$

vgl. EN 1995-1-1, (6.14) und (6.15)

- die charakteristischen Festigkeitswerte für Biegung und Zug dürfen u.U. mit dem Faktor k_h erhöht werden
 - für Rechteckquerschnitte aus Vollholz ist $k_h = (150/h)^{0.2}$, jedoch nicht größer als 1.3
 - für Rechteckquerschnitte aus Brettschichtholz ist $k_h = (600/h)^{0.1}$, jedoch nicht größer als 1.1

vgl. EN 1995-1-1, (3.1) und (3.2)

- es gelten die in EC 5 angegebenen k_{mod} -Werte, die mit denen der DIN 1052 zunächst identisch sind
Das deutsche Anwendungsdokument legt zusätzlich fest, dass der k_{mod} -Wert bei Einwirkungen vom Typ *Wind* aus dem Mittelwert der Lasteinwirkungsdauern *kurz* und *sehr kurz* berechnet werden darf. Dies macht faktisch (programmintern) die Einrichtung einer neuen Klasse der Lasteinwirkungsdauer erforderlich.

vgl. EN 1995-1-1, Tab. 3.1, sowie DIN EN 1995-1-1/NA, Tab. NA.1, Fußnote b

- es gelten die in EC 5 angegebenen Festigkeitswerte, die mit den Festigkeitswerten von DIN 1052 im Großen und Ganzen übereinstimmen. Augenfällig ist jedoch eine durchgängig höhere Schubfestigkeit

Dafür wird in EC 5 der Rissfaktor k_{cr} für die Beanspruchbarkeit auf Schub eingeführt.

Für Voll- und Brettschichtholz ist $k_{cr} = 0.67$.

k_{cr} dient der Festlegung der effektiven (wirksamen) Breite bei der Berechnung der Schubspannungen nach der Formel $b_{ef} = k_{cr} \cdot b$ mit $b =$ tatsächliche Breite.

Da bei der Ermittlung der Spannungen b linear eingeht (Dübelformel), entspricht dies einer künstlichen Erhöhung der gegebenen Bemessungswerte, die dann den erhöhten Schubfestigkeitswerten gegenübergestellt werden.

vgl. EN 1995-1-1, (6.13a)

Das deutsche nationale Anwendungsdokument widerspricht dieser Vorgehensweise für Nadel- und Brettschichtholz. Hierin wird der Parameter k_{cr} so festgelegt, dass die Festigkeitswerte für Nadel- und Brettschichtholz durch k_{cr} geteilt gerade die Festigkeitswerte der DIN 1052:2008-12 widerspiegeln.

- der im EC 5 empfohlene Materialsicherheitsbeiwert für Vollholz beträgt 1.3 - der für Brettschichtholz 1.25

vgl. EN 1995-1-1, Tab. 2.3

Das deutsche nationale Anwendungsdokument legt den Material sicherheitsbeiwert für Vollholz wie auch für Brettschichtholz mit 1.3 fest.

vgl. DIN EN 1995-1-1/NA, Tab. Na. 2

Im Eigenschaftsblatt *Ausgewählte Parameter der nationalen Anwendungsdokumente (Eurocode)* sind für benutzerdefinierte NADs hinsichtlich des hier besprochenen Nachweises folgende Einstellmöglichkeiten gegeben.

Material sicherheitsbeiwerte

die hier dargestellten Werte entsprechen den Werten des deutschen Anwendungsdokuments

Tabelle der Modifikationsbeiwerte

in Abhängigkeit von der Klasse der Last einwirkungsdauer und der Nutzungsklasse

Zusätzlich kann festgelegt werden, ob der k_{mod} -Wert einer Windeinwirkung dem arithmetischen Mittel zwischen den k_{mod} -Werten der Klassen *kurz* und *sehr kurz* entsprechen soll.

Rissfaktor k_{cr}

Hier kann zwischen den Empfehlungen der EN 1995-1-1 (Eurocode 5) und der Festlegung in DIN EN 1995-1-1/NA (deutsches Anwendungsdokument) gewählt werden.

Letzteres ist in Deutschland verbindliche Vorschrift.

Material sicherheitsbeiwerte

In der ständigen und vorübergehenden Bemessungssituation:

für Vollholz $\gamma_M = 1.30$

für Brettschichtholz $\gamma_M = 1.30$

In der außergewöhnlichen Bemessungssituation

für alle Hölzer $\gamma_M = 1.00$

Modifikationsbeiwerte

nach DIN EN 1995-1-1 Abschnitt 3.1.3 Tab. 3.1 (Ausschnitt):

KLED	Nutzungsklasse			
	1	2	3	
ständig	0.60	0.60	0.50	k_{mod} -Werte für Voll- und Brettschichtholz in Abhängigkeit der Nutzungsklasse sowie der Klasse der Last einwirkungsdauer (KLED)
lange	0.70	0.70	0.55	
mittel	0.80	0.80	0.65	
kurz	0.90	0.90	0.70	
sehr kurz	1.10	1.10	0.90	

nach DIN EN 1995-1-1-NA (Deutschland) Tab. NA.1 Index (b):

k_{mod} einer Windeinwirkung = arithmetisches Mittel aus "kurz" und "sehr kurz"

Wird von 4H-NISI und 4H-FRAP nur dann realisiert, wenn im Eigenschaftsblatt zur Verwaltung der Einwirkungen die Festlegung zur Klasse der Last einwirkungsdauer einer Windeinwirkung auf "automatisch" geschaltet wird.

Tragfähigkeit: Rissfaktor

EC 5 (6.13a)	$b_{ef} = k_{cr} b$	effektive Querschnittsbreite bei der Ermittlung der Schubspannung aus Querkraft
	<input type="radio"/> mit $k_{cr} = 0.67$ $k_{cr} = 1.00$	für Voll- und Brettschicht sonst
NAD Deutschland	<input checked="" type="radio"/> mit $k_{cr} = 2.0 / f_{v,k}$ $k_{cr} = 0.67$ $k_{cr} = 2.5 / f_{v,k}$ $k_{cr} = 1.0$	für Nadelholz für Laubholz für Brettschichtholz sonst

Abb. 46: Einstellungen NAD

1.3.1.2

Gebrauchstauglichkeitsnachweis

Kurzbezeichnung:	EC 5 Verformungen
Zusatzbezeichnung:	Gebrauchstauglichkeit n. DIN EN 1995
Nachweisobjekte:	Stabträger aus Holz
Kombinationsregel:	Eurocode / EC 5-Spezial
Überlagerungsvorschrift:	Extremalbildungsvorschriften
Interne Nummer:	222
optionale Einstellungen	Auswahl Unternachweise

Der Nachweis besteht aus drei Einzelnachweisen, die jeder für sich optional (de)aktiviert werden können.

Allen gemeinsam ist, dass nachgewiesen werden muss, dass die unter bestimmten Lastkombinationen berechneten Verformungen bestimmte Grenzwerte nicht überschreiten.

- 1. Nachweis: w_{inst}
 w_{inst} ist die Verformung in der charakteristischen (in DIN 1055 *selten* genannten) Kombination ohne Kriecheinfluss
- 2. Nachweis: $w_{fin} = w_{inst} + w_{creep}$
mit w_{inst} s.o.
 w_{creep} ist die Kriechverformung, die sich zusätzlich zur elastischen Anfangsverformung im Laufe der Zeit einstellt.

Die Kriechverformung ist die mit k_{def} multiplizierte, in der quasiständigen Kombination ermittelte Verformung.

Die Werte erhält man in der FRAP-Berechnung, indem man $\psi_{dom} = 1 + \psi_2 \cdot k_{def}$ und $\psi_{sub} = \psi_0 + \psi_2 \cdot k_{def}$ setzt.

- 3. Nachweis: $w_{net,fin}$
Laut EN 1995-1-1 ist hier die im 2. Nachweis ermittelte Verformung w_{fin} unter Berücksichtigung einer evtl. vorgegebenen Vorverformung nachzuweisen.
Das deutsche NAD widerspricht dem in der 1. Änderung DIN EN 1995-1-1/NA/A1 (vom Febr. 2012). Demnach gilt: $w_{net,fin}$ ist die Endverformung in der quasiständigen Kombination abzgl. einer evtl. vorgegebenen Vorverformung.
Die Endverformung ermittelt sich aus der Anfangsverformung durch Multiplikation mit dem Faktor $(1 + k_{def})$.

Die den einzelnen Nachweisen zugeordneten Grenzwerte sind in EN 1995-1-1 als Empfehlungen angegeben und vom NAD Deutschland als Empfehlung bestätigt. Sie können vom Benutzer jedoch (ggf. nach Absprache mit dem Bauherrn) geändert werden.

Im Eigenschaftsblatt *Ausgewählte Parameter der nationalen Anwendungsdokumente (Eurocode)* sind für benutzerdefinierte NADs hinsichtlich des hier besprochenen Nachweises folgende Einstellmöglichkeiten gegeben.

Verformungsbeiwerte

in Abhängigkeit von der Nutzungsklasse

☑ Verformungsbeiwerte				
nach DIN EN 1995-1-1 Abschnitt 3.1.3 Tab. 3.2 (Ausschnitt):				
	Nutzungsklasse			k_{def} -Werte für Voll- und Brettschichtholz in Abhängigkeit der Nutzungsklasse
	1	2	3	
$k_{def} =$	0,60	0,80	2,00	

Verformungsgrenzwerte

für die drei Teilnachweise als Empfehlung

☑ Verformungsgrenzwerte			
gemäß DIN EN 1995-1-1 Abschnitt 7.2 Tab. 7.2:			
	Grenzwerte		
Nachweis	normal	Kragarm	
w_{inst}	300	150	
w_{fin}	200	100	
$w_{net,fin}$	300	150	

dritter Teilnachweis

Methode zur Ermittlung der Verformungen im dritten Teilnachweis

Hier wird zwischen den Festlegungen von EN 1995-1-1 und denen des deutschen nationalen Anhangs (hier: erste Änderung) unterschieden.

☑ Gebrauchstauglichkeit: 3. Teilnachweis	
Ermittlung der Netto-Enddurchbiegung:	
EC5 (7.2)	$w_{net,fin} = w_{inst} + w_{creep} - w_c$ mit w_{inst} aus
EC5 (7.2) mit (2.2) ... (2.5)	<input type="radio"/> charakteristische Kombination
NAD Deutschland Änderung A1 (NA.A1)	<input checked="" type="radio"/> quasiständige Kombination

Abb. 47: Einstellungen NAD

1.3.1.3

Brandschutznachweis

Kurzbezeichnung:	EC 5 Brandschutz
Zusatzbezeichnung:	Brandschutznachweis n. DIN EN 1995
Nachweisobjekte:	Stabträger aus Holz
Kombinationsregel:	Eurocode
Überlagerungsvorschrift:	Extremalbildungsvorschriften und Lastkollektive
Interne Nummer:	222
optionale Einstellungen	Auswahl der Methode

Es werden an dieser Stelle nur die minimalen Unterschiede zum Nachweis n. DIN 4102-22:2004-11 (s. Abs. 1.3.2.5, S. 78) herausgestellt.

- die Nachweismethode *mit reduziertem Querschnitt* entspricht im Wesentlichen dem vereinfachten Nachweis n. DIN 4102-22, Abs.5.5.2 a)
Die Nachweismethode *mit reduzierten Eigenschaften* entspricht im Wesentlichen dem genaueren Nachweis n. DIN 4102-22, Abs.5.5.2 b).

- bei der Nachweismethode *mit reduziertem Querschnitt* darf die Querschnittsreduzierung (bei DIN 4102-22: $d_0 = 7 \text{ mm} = \text{const.}$) bei kurzer Branddauer ($< 20 \text{ min}$) zwischen 0 und 7 mm interpoliert werden.

vgl. EN 1995-1-2, Abs. 4.2.2, Tab. 4.1

- bei der Methode *mit reduzierten Eigenschaften* sind die Formeln zur Ermittlung der Modifikationsbeiwerte im Brandfall geringfügig geändert worden. Für die

$$\begin{aligned} \text{Biegesteifigkeit} & \dots\dots\dots k_{\text{mod,fi}} = 1 - \frac{1}{200} \cdot \frac{\rho}{A_r} \\ \text{Druckfestigkeit} & \dots\dots\dots k_{\text{mod,fi}} = 1 - \frac{1}{125} \cdot \frac{\rho}{A_r} \\ \text{Zugfestigkeit und E-Modul} & \dots\dots\dots k_{\text{mod,fi}} = 1 - \frac{1}{330} \cdot \frac{\rho}{A_r} \end{aligned}$$

ρ Umfang des dem Feuer ausgesetzten Restquerschnitts
 A_r Fläche des Restquerschnitts

vgl. EN 1995-1-2, Abs. 4.2.3, (4.2) - (4.4)

- die o. a. $k_{\text{mod,fi}}$ -Werte gelten für eine Branddauer $t \geq 20 \text{ min}$
Für $t = 0$ gilt: $k_{\text{mod,fi}} = 1.0$. Für $0 \leq t \leq 20 \text{ min}$ darf linear interpoliert werden.

vgl. EN 1995-1-2, Abs. 4.2.3, Anwendungsregel (4)

- bei der Bestimmung des Bemessungswertes für den Schubmodul im Brandfall $G_{d,fi}$ für Vollholz entfällt der Faktor $2/3$

Im Eigenschaftsblatt *Ausgewählte Parameter der nationalen Anwendungsdokumente (Eurocode)* sind für benutzerdefinierte NADs hinsichtlich des hier besprochenen Nachweises folgende Einstellmöglichkeiten gegeben.

Materialsicherheitsbeiwert

Voreinstellung: 1.0

Extremalbildungsvorschrift

Festlegung, ob die führende Verkehrslasteinwirkung mit dem Kombinationsbeiwert ψ_1 (wie außergewöhnliche Kombinationen) oder mit ψ_2 (wie Erdbebensituation) faktorisiert werden soll. Letzteres ist voreingestellt.

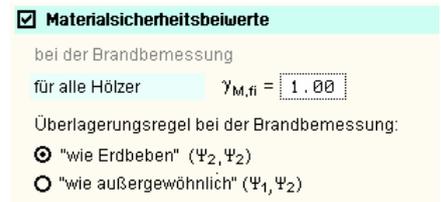


Abb. 48: Einstellungen NAD

1.3.1.4

Tragfähigkeitsnachweis n. Th. II. Ord.

Kurzbezeichnung:	EC 5 Tragfähigkeit (Th. II. Ord.)
Zusatzbezeichnung:	Tragfähigkeit n. DIN EN 1995
Nachweisobjekte:	Stabträger aus Holz
Kombinationsregel:	Eurocode
Überlagerungsvorschrift:	Lastkollektive
Interne Nummer:	225
optionale Einstellungen	keine

Der Nachweis entspricht mit zwei Ausnahmen exakt dem Tragfähigkeitsnachweis n. Th. I. Ord. (s. Abs. 1.3.1.1, S. 65).

Ausnahme 1 wegen der Nichtlinearität bei der Schnittgrößenermittlung (Th. II. Ord.) können die zu untersuchenden Kombinationen nur über Lastkollektive und nicht mehr über Extremalbildungsvorschriften beschrieben werden

Ausnahme 2 das Ersatzstabverfahren für die Knicksicherheit wird nicht angewendet, da die Sicherheit gegen Ausknicken bereits durch das gewählte Verfahren gewährleistet ist. Es wird programmintern $k_{c,y} = k_{c,z} = 1.0$ gesetzt.

1.3.2

Nachweise n. DIN 1052:2008-12

1.3.2.1

Allgemeines

Im Folgenden werden die Tragfähigkeits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise für Holztragwerke n. DIN 1052:2008-12 sowie der Brandschutznachweis für Holzbauten n. DIN 4102-22:2004 und ihre Implementierung in die **pcae**-Programme beschrieben.

Mit der neuen Norm wurden auch neue Materialbezeichnungen eingeführt. In **pcae**-Programmen wird unterschieden zwischen

Nadelholz (conifer wood) C14, C16 (S7), C18, C20, C22, C24 (S10), C27, C30 (S13), C35, C40, C45, C50

Laubholz (deciduous wood) D30, D35, D40, D50, D60, D70

Brettschichtholz (homogen) GL24h (BS11), GL28h (BS14), GL32h (BS16), GL36h (BS18)
(glue laminated timber)
(kombiniert) GL24c (BS11), GL28c (BS14), GL32c (BS16), GL36c (BS18)

Um mit einem Stab einen der nachfolgend beschriebenen Nachweise zu führen, sollte ihm im Materialeigenschaftsblatt eines der o. a. Materialien zugeordnet werden.

DIN 1052:2008-12 setzt grundsätzlich eine Schnittgrößenermittlung n. DIN 1055-100 voraus. Beim Tragfähigkeitsnachweis in der ständigen und vorübergehenden Bemessungssituation sowie bei den Gebrauchstauglichkeitsnachweisen ergeben sich zusätzliche zu berücksichtigende Eigenarten. Hierauf wird bei der Beschreibung der einzelnen Nachweise eingegangen.

Nutzungsklassen Bauwerke müssen einer Nutzungsklasse zugeordnet werden:

Nutzungsklasse 1 ist gekennzeichnet durch eine Holzfeuchte, die einer Temperatur von 20 °C und einer relativen Luftfeuchte der umgebenden Luft entspricht, die nur für einige Wochen pro Jahr einen Wert von 65 % übersteigt, z. B. in allseitig geschlossenen und beheizten Bauwerken.

Nutzungsklasse 2 ist gekennzeichnet durch eine Holzfeuchte, die einer Temperatur von 20 °C und einer relativen Luftfeuchte der umgebenden Luft entspricht, die nur für einige Wochen pro Jahr einen Wert von 85 % übersteigt, z. B. bei überdachten offenen Bauwerken.

Nutzungsklasse 3 erfasst Klimabedingungen, die zu höheren Holzfeuchten führen als in Nutzungsklasse 2 angegeben, z. B. für Konstruktionen, die der Witterung ausgesetzt sind.

Die Nutzungsklasse des Bauwerks kann im Eigenschaftsblatt *Allgemeine Nachweiseinstellungen*, das im Eigenschaftsblatt *Verwaltung der Nachweise* angeboten wird, festgelegt werden (s. Abb. 49). Dieselben Werte werden auch im stabbezogenen Eigenschaftsblatt für Holzbaunachweise unter der Überschrift *globale Einstellungen* zur Bearbeitung angeboten.

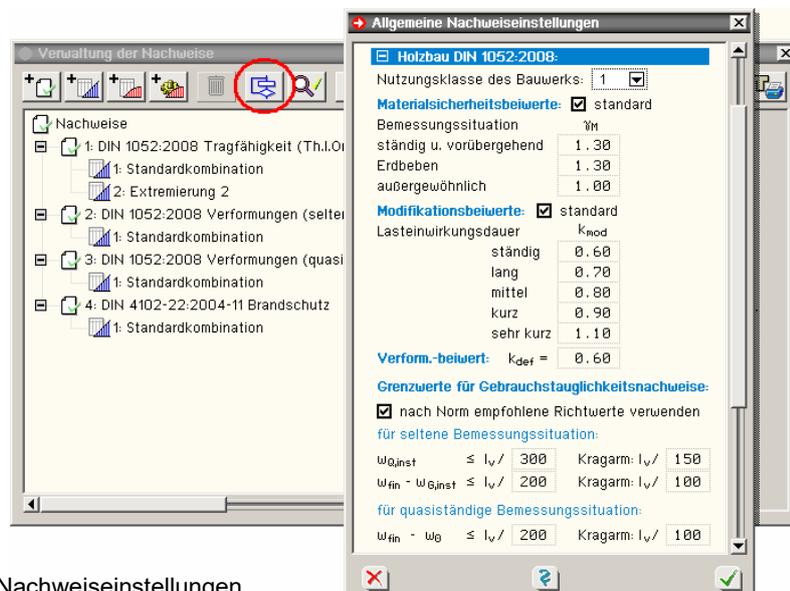


Abb. 49: Allgemeine Nachweiseinstellungen

1.3.2.2

Tragfähigkeitsnachweis

Kurzbezeichnung:	DIN 1052:2008 Tragfähigkeit (Th. I. Ord.)
Zusatzbezeichnung:	Tragfähigkeit n. DIN 1052:2008 10.2.11 und 10.3
Programmbezug:	##-FRAP, ##-NISI
Nachweisobjekte:	Stabträger aus Holz
Kombinationsregel:	DIN 1055-100
Überlagerungsvorschrift:	Extremalbildungsvorschriften und Lastkollektive
Interne Nummer:	121
optionale Einstellungen	keine

1.3.2.2.1

Verfahren

Bei diesem Nachweis werden die vorhandenen Spannungen den zulässigen Größen gegenübergestellt. Für den Nachweis mit Biegung und Druck/Zug ergibt sich direkt der Ausnutzungsgrad, der überall ≤ 1.0 sein muss, um den Nachweis als erbracht anzusehen.

Den Ausnutzungsgrad für den Nachweis mit Querkraft und Torsion erhält man als Kehrwert des maximal zulässigen Laststeigerungsfaktors.

Nachweis für Stäbe mit Biegung und Druck n. DIN 1052:2008-12, Abs. 10.3.3:

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_m \cdot f_{m,y,d}} + k_{red} \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad \text{und} \quad \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}} + k_{red} \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_m \cdot f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

Nachweis für Stäbe mit Biegung und Zug n. DIN 1052:2008-12, Abs. 10.3.4:

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_m \cdot f_{m,y,d}} + k_{red} \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad \text{und} \quad \frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + k_{red} \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_m \cdot f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

Der Einfluss des Kippens in den Beziehungen resultiert aus dem Moment um die m-Achse. Ist die n-Achse die stärkere Achse, werden entsprechend abgeänderte Beziehungen verwandt.

Nachweis für Stäbe mit Querkraft und Torsion n. DIN 1052:2008-12, Abs. 10.2.11:

$$\frac{\tau_{tor,d}}{f_{v,d}} + \left[\frac{\tau_{y,d}}{f_{v,d}} \right]^2 + \left[\frac{\tau_{z,d}}{f_{v,d}} \right]^2 \leq 1$$

$\sigma_{c,0,d}$ Druckspannung

$\sigma_{t,0,d}$ Zugspannung

$\sigma_{m,y,d}$ Normalspannung aus Moment um y-Achse

$\sigma_{m,z,d}$ Normalspannung aus Moment um z-Achse

$\tau_{y,d}$ Schubspannung aus Querkraft in y-Richtung

$\tau_{z,d}$ Schubspannung aus Querkraft in z-Richtung

$\tau_{tor,d}$ Schubspannung aus Torsion

berechnet aus den n. DIN 1055-100 faktorisierten Schnittgrößen.

$$f_{m,d} = \frac{k_{mod}}{\gamma_M} \cdot f_{m,k} \quad \text{Festigkeitskennwert für Biegebeanspruchung (Bemessungswert)}$$

$$f_{c,0,d} = \frac{k_{mod}}{\gamma_M} \cdot f_{c,0,k} \quad \text{Festigkeitskennwert für Druck parallel zur Faser (Bemessungswert)}$$

$$f_{t,0,d} = \frac{k_{mod}}{\gamma_M} \cdot f_{t,0,k} \quad \text{Festigkeitskennwert für Zug parallel zur Faser (Bemessungswert)}$$

$$f_{v,d} = \frac{k_{mod}}{\gamma_M} \cdot f_{v,k} \quad \text{Festigkeitskennwert für Schubbeanspruchung (Bemessungswert)}$$

k_{mod} Modifikationsbeiwert

γ_M Material Sicherheitsbeiwert

= 1.0 für außergewöhnliche Bemessungssituationen

= 1.3 sonst

$f_{m,k}$, $f_{c,0,k}$, $f_{t,0,k}$, $f_{v,k}$	Festigkeitskennwerte auf charakteristischem Niveau gemäß Tab. DIN 1052:2008-12 F.5, F.7, F.9
$k_{c,y}$	Knickbeiwert für Knicken um die y-Achse (Ersatzstabverfahren)
$k_{c,z}$	Knickbeiwert für Knicken um die z-Achse (Ersatzstabverfahren)
k_m	Kippbeiwert (Ersatzstabverfahren)
k_{red}	Reduktionsfaktor

1.3.2.2.2

Besonderheiten bei der Lastfallüberlagerung

Der Modifikationsbeiwert k_{mod} ist abhängig von der Nutzungsklasse des Bauwerks und der Art der beteiligten Einwirkungen, die zu den extremalen Schnittgrößen führen. Hierbei ist die Zuordnung der Einwirkung zur Klasse der Lasteinwirkungsdauer maßgebend.

Modifikationsbeiwerte in Abhängigkeit der Klassen der Lasteinwirkungsdauer (KLED):

Klasse der Lasteinwirkungsdauer		Nutzungsklasse		
		1	2	3
ständig	länger als 10 Jahre	0.60	0.60	0.50
lang	6 Monate bis 10 Jahre	0.70	0.70	0.55
mittel	1 Woche bis 6 Monate	0.80	0.80	0.65
kurz	kürzer als eine Woche	0.90	0.90	0.70
sehr kurz	kürzer als 1 Minute	1.10	1.10	0.90

Die hier angegebenen Werte gelten für die in **pcae**-Programmen vorhandenen Vollholz- und Brettschichtholzgütern.

DIN 1055:2008-12: "Der Einfluss der Nutzungsklasse und der Klasse der Lasteinwirkungsdauer auf die Festigkeitseigenschaften werden" ... "durch den Modifikationsbeiwert k_{mod} berücksichtigt. Bei Lastkombinationen aus Einwirkungen, die zu verschiedenen Klassen der Lasteinwirkungsdauer gehören, gilt die Einwirkung mit der kürzesten Dauer als maßgebend." ... "dabei sind sämtliche Lastfallkombinationen zu überprüfen" ... "Der Einfluss des Modifikationsbeiwertes k_{mod} auf den Bemessungswert der Festigkeitseigenschaft kann bewirken, dass eine Einwirkungskombination maßgebend ist, die nicht den maximalen Bemessungswert der zugehörigen Beanspruchung liefert."

Es kann (und wird) folglich durchaus passieren, dass allein das Eigengewicht (ständige Lasten) den maßgeblichen Bemessungsfall darstellt, da diesem der kleinste k_{mod} -Wert zugeordnet ist. Die Vorgehensweise in **pcae**-Programmen kann am besten an einem Beispiel erläutert werden:

Gegeben sei ein Bauwerk der Nutzungsklasse 1 mit den Einwirkungen

1: Eigengewicht	Typ = ständige Lasten	KLED = ständig	$k_{mod} = 0.60$
2: Verkehr	Typ = veränderliche Lasten	KLED = mittel	$k_{mod} = 0.80$
3: Wind	Typ = veränderliche Lasten	KLED = kurz	$k_{mod} = 0.90$
4: Schnee	Typ = veränderliche Lasten	KLED = kurz	$k_{mod} = 0.90$
5: Anpralllasten	Typ = Sonderlast	KLED = sehr kurz	$k_{mod} = 1.10$

Bei Einrichtung des hier zu beschreibenden Tragfähigkeitsnachweises wird automatisch eine Extremalbildungsvorschrift vom Typ „standard“ erzeugt, die den Normalfall der ständigen und vorübergehenden Bemessungssituation berücksichtigt. Der Systemdruckliste kann sodann entnommen werden:

Nachweis 1: DIN 1052:2008 Tragfähigkeit (Th.I.Ord.)

DIN 1052:2008 Tragfähigkeit (Th.I.Ord.): Tragfähigkeit nach DIN 1052:2008-12 10.2.11 und 10.3

1: Standardkombination

Extremalbildungsvorschrift zum Nachweis 1, Typ: standard, Überlagerungsregel: DIN1055-100

Materialsicherheitsbeiwert: $\gamma_M = 1.30$ - Die aufgeführten Gruppen werden einzeln extremiert und mit dem zugeordneten k_{mod} -Wert nachgewiesen.

Einw.	Ψ_{dom}	Ψ_{sub}	γ_{sup}	γ_{inf}	Einw.	Ψ_{dom}	Ψ_{sub}	γ_{sup}	γ_{inf}	Einw.	Ψ_{dom}	Ψ_{sub}	γ_{sup}	γ_{inf}	
Gruppe 1: $k_{mod} = 0.60$					2	1.00	1.00	1.50	0.00	3	1.00	0.60	1.50	0.00	
1	1.00	1.00	1.35	1.00	Gruppe 3: $k_{mod} = 0.90$					4	1.00	0.50	1.50	0.00	
Gruppe 2: $k_{mod} = 0.80$					1	1.00	1.00	1.35	1.00						
1	1.00	1.00	1.35	1.00	2	1.00	1.00	1.50	0.00						

Die Extremalbildungsvorschrift sortiert zunächst die ihr zugeordneten Einwirkungen in Abhängigkeit der Größenordnung ihrer k_{mod} -Werte. Nun werden Gruppen gebildet: Die erste Gruppe besteht allein aus der Einwirkung Eigengewicht, da dieser Einwirkung der kleinste k_{mod} -Wert (0.60) zugeordnet ist. Die zweite Gruppe wird von den Einwirkungen Eigengewicht und Verkehr gebildet. Die Extremalen dieser beiden Einwirkungen sind mit $k_{mod} = 0.80$ nachzuweisen. In der dritten Gruppe gesellen sich die Einwirkungen Wind und Schnee hinzu. Dieser Gruppe ist der k_{mod} -Wert 0.90 zugeordnet.



In der ständigen und vorübergehenden Bemessungssituation wird jede Gruppe für sich extremiert und mit dem ihr zugeordneten k_{mod} -Wert nachgewiesen.

Wird nun noch eine Extremalbildungsvorschrift (vom Typ benutzerdefiniert) eingerichtet, die die Einwirkung der Anpralllasten enthält, so erscheint in der Systemdruckliste

2: Extremierung 2

Extremalbildungsvorschrift zum Nachweis 1, Typ: benutzerdefiniert, Überlagerungsregel: DIN1055-100

Materialsicherheitsbeiwert: $\gamma_M = 1.00$, $k_{mod} = 1.10$ (außergewöhnliche Bemessungssituation)

Einw.	Ψ_{dom}	Ψ_{sub}	γ_{sup}	γ_{inf}	Einw.	Ψ_{dom}	Ψ_{sub}	γ_{sup}	γ_{inf}
1	1.00	1.00	1.00	1.00	4	0.20	0.00	1.00	0.00
2	0.90	0.80	1.00	0.00	5	1.00	1.00	1.00	1.00
3	0.50	0.00	1.00	0.00					

Die Einwirkung Anpralllasten ist vom Typ Sonderlast und bewirkt somit automatisch eine außergewöhnliche Bemessungssituation. Da die Sonderlast in der Extremalbildung stets hinzu kombiniert wird und ihr k_{mod} -Wert wegen der sehr kurzen Einwirkungsdauer am größten ist, kann auf eine Gruppenbildung verzichtet werden.



In der außergewöhnlichen Bemessungssituation wird eine Extremierung mit dem k_{mod} -Wert der Sonderlast durchgeführt und nachgewiesen.

Die Festlegung, welche Klasse der Lasteinwirkungsdauer einer Einwirkung zuzuordnen ist, legt der Benutzer im Eigenschaftsblatt zur *Verwaltung der Einwirkungen* fest (s. Abb. 50). Entscheidungshilfen bietet die Norm in DIN 1052:2008-12, Tab. 4, an.

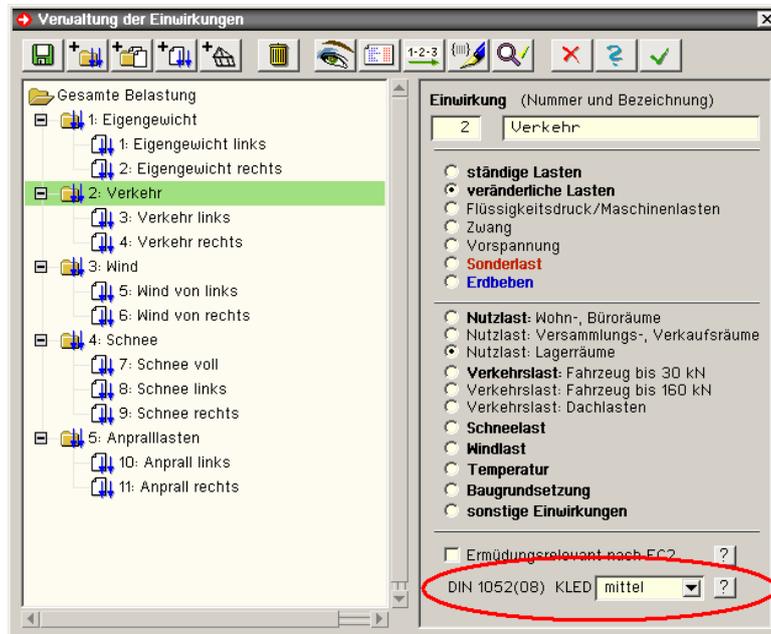


Abb. 50: Zuordnung der Klasse der Lasteinwirkungsdauer zu einer Einwirkung

1.3.2.2.3 stabbezogene Nachweisoptionen

Jedem Stab, dessen Tragfähigkeit n. DIN 1052:2008-12 nachgewiesen werden soll, können individuell stabbezogene Nachweisparameter zugeordnet werden. Hierzu wird das nachfolgend dargestellte Eigenschaftsblatt für Holzstäbe angeboten:



Abb. 51: Stabbezogene Nachweisparameter: Materialkennwerte

Unter der Überschrift *Materialkennwerte* im zweiten Register des Eigenschaftsblattes können die Materialeigenschaften für den durchzuführenden Nachweis sowie die Festigkeitskennwerte (auf charakteristischem Niveau) festgelegt werden. Da i.d.R. Holzart und Holzgüte bereits im Eigenschaftsblatt zur Festlegung von Material- und Querschnitt angegeben wurden, können diese dort getroffenen Festlegungen hier übernommen werden (Holzgüte entspr. Materialdaten). I.d.R. werden die Materialkennwerte in Abhängigkeit von Holzart und -güte automatisch vom Programm festgelegt. Sollte in seltenen, begründeten Fällen davon abgewichen werden, muss die Schaltfläche **Kennwerte automatisch ermitteln** deaktiviert werden. Die Zahlenwerte können sodann bearbeitet (geändert) werden.

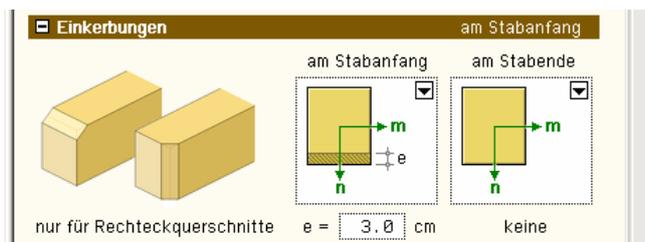


Abb. 52: Stabbezogene Nachweisparameter: Einkerbungen

Bei Rechteckquerschnitten können am Stabanfang und Stabende Einkerbungen vorgesehen werden, die beim Nachweis zur Ermittlung des Nettoquerschnitts und zur Korrektur des Momentes durch das Versatzmoment herangezogen werden.

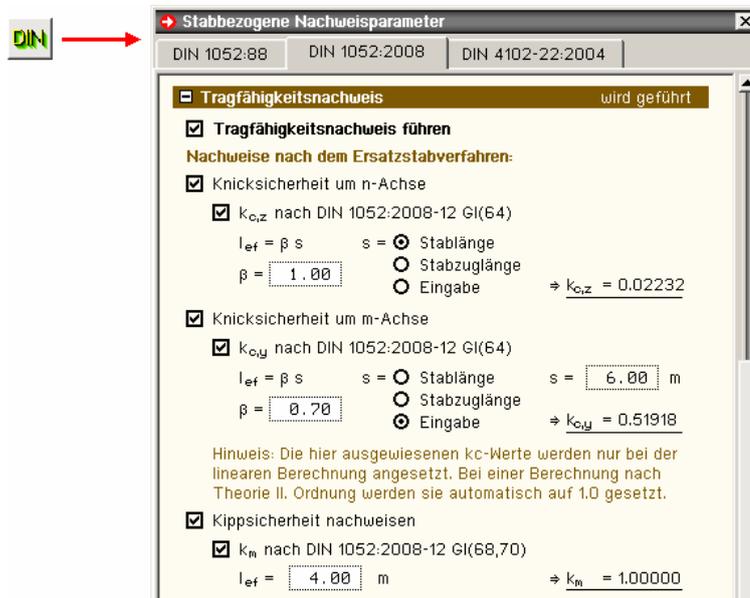


Abb. 53: Stabbezogene Nachweisparameter: Tragfähigkeitsnachweis

Unter der Überschrift *Tragfähigkeitsnachweis* kann zunächst entschieden werden, ob die Tragfähigkeit des ausgewählten Stabes (bzw. der ausgewählten Stäbe) n. DIN 1052:2008-12 nachgewiesen werden soll(en). Wird dies mit ja beantwortet, so kann festgelegt werden, ob zur Sicherheit gegen Knicken und Kippen das Ersatzstabverfahren angewendet werden soll. In diesen Fällen müssen die Knick- und Kippbeiwerte festgelegt werden. Dies geschieht entweder bequem durch Vorgabe der Ersatzstablänge ($l_{ef} = \beta \cdot s$) oder durch direkte Eingabe.

Bei Vorgabe der Ersatzstablänge erfolgt die Berechnung der Knickbeiwerte programmintern n. DIN 1052:2008-12, Abs. 10.3.1 Gl. (63)...(66). Die Ermittlung des Kippbeiwertes erfolgt n. DIN 1052:2008-12, Abs. 10.3.2 Gl. (68) und (70).



Es ist zu beachten, dass die automatische Berechnung des Kippbeiwertes nur für Rechteckquerschnitte angeboten wird! Die vorgegebenen Knickbeiwerte werden bei Berechnungen nach Th. II. Ord. programmintern durch den Wert 1.0 überschrieben, da die Sicherheit gegen Knicken bereits durch das nichtlineare Rechenverfahren nachgewiesen wird.

1.3.2.3

Gebrauchstauglichkeitsnachweis in der seltenen Bemessungssituation

Kurzbezeichnung:	DIN 1052:2008 Verformungen (selten)
Zusatzbezeichnung:	Gebrauchstauglichkeit n. DIN 1052:2008 9 (seltene BS)
Programmbezug:	##-FRAP, ##-NISI
Nachweisobjekte:	Stabträger aus Holz
Kombinationsregel:	DIN 1055-100 (seltene Kombination)
Überlagerungsvorschrift:	Extremalbildungsvorschriften
Interne Nummer:	122
optionale Einstellungen	keine

1.3.2.3.1

Verfahren

Der Nachweis beschränkt sich auf die Eingrenzung der Verformungen im Vergleich zu den empfohlenen Grenzwerten. Mit diesem Nachweis sollen Schäden an Trennwänden, Installationen, Verkleidungen oder dergleichen vermieden werden. Aus diesem Grunde spielen die Verformungen aus veränderlichen Lasten eine übergeordnete Rolle.

Die beiden nachfolgend dargestellten Teilnachweise sind zu erbringen:

$$\text{Teilnachweis A: } w_{Q,inst} \leq \frac{l_v}{300} \quad (\text{Kragträger } \frac{l_v}{150})$$

$$\text{Teilnachweis B: } w_{fin} - w_{G,inst} \leq \frac{l_v}{200} \quad (\text{Kragträger } \frac{l_v}{100})$$

Hierin bedeuten:

- $w_{G,inst}$ maximale Durchbiegung der ständigen Lasten ohne Kriecheinfluss
- $w_{Q,inst}$ maximale Durchbiegung der veränderlichen Einwirkungen ohne Kriecheinfluss
- $w_{G,fin}$ maximale Durchbiegung der ständigen Lasten mit Kriecheinfluss
- $w_{Q,fin}$ maximale Durchbiegung der veränderlichen Einwirkungen mit Kriecheinfluss
- $w_{fin} = w_{G,fin} + w_{Q,fin}$ maximale Durchbiegung aller Einwirkungen mit Kriecheinfluss
- l_V Vergleichslänge: Länge zwischen zwei Lagerpunkten bzw. Kragarmlänge

Der Kriecheinfluss ist n. DIN 1052:2008-12, Abs. 8.3 (zeitabhängige Verformungen), wie folgt zu berücksichtigen:

- Ständige Einwirkungen: $w_{G,fin} = w_{G,inst} \cdot (1 + k_{def})$
- Führende veränderliche Einwirkung: $w_{Q,1,fin} = w_{Q,1,inst} \cdot (1 + \psi_{2,1} \cdot k_{def})$
- Nicht führende veränderliche Einwirkung: $w_{Q,i,fin} = w_{Q,i,inst} \cdot (\psi_{0,i} + \psi_{2,i} \cdot k_{def})$

Hierin bedeuten:

- k_{def} Verformungsbeiwert entsprechend DIN 1052:2008-12
Tab. F.2 in Abhängigkeit der Nutzungsklasse

Nutzungsklasse		
1	2	3
0.60	0.80	2.00

- ψ_0, ψ_2 Kombinationsbeiwerte gemäß DIN 1055-100

Der Nachweis wird für die m- und n-Richtungen geführt. Die Vergleichslänge in diesen Richtungen kann unterschiedlich sein, da sie z.B. von der Lagerung abhängt.

1.3.2.3.2 Besonderheiten bei der Lastfallüberlagerung

Der Wert für $w_{Q,inst}$ (Teilnachweis A) kann direkt mit der Extremalbildungsvorschrift für Gebrauchstauglichkeitsnachweise in der seltenen Kombination gewonnen werden, wenn die Faktoren der ständigen Einwirkungen zu 0 gesetzt werden. Es gilt:

	ψ_{dom}	ψ_{sub}	γ_{sup}	γ_{inf}
Ständige Lasten	0	0	0	0
Veränderliche Lasten	1	ψ_0	1	0

Für Teilnachweis B erfolgt zunächst eine Umformung:

$$\begin{aligned}
 w_{fin} - w_{G,inst} &= w_{G,fin} + w_{Q,fin} - w_{G,inst} \\
 &= (1 + k_{def}) \cdot w_{G,inst} + w_{Q,fin} - w_{G,inst} \\
 &= k_{def} \cdot w_{G,inst} + w_{Q,fin}
 \end{aligned}$$

Die ständigen Lasten können folglich direkt mit k_{def} multipliziert werden. Bei den veränderlichen Lasten wird wie oben beschrieben zwischen führenden und nicht führenden Einwirkungen unterschieden. Es ergibt sich:

	ψ_{dom}	ψ_{sub}	γ_{sup}	γ_{inf}
Ständige Lasten	k_{def}	k_{def}	1	1
Veränderliche Lasten	$(1 + \psi_2 \cdot k_{def})$	$(\psi_0 + \psi_2 \cdot k_{def})$	1	0

Bei Einrichtung des hier zu beschreibenden Gebrauchstauglichkeitsnachweises wird automatisch eine Extremalbildungsvorschrift vom Typ *standard* erzeugt, die diesen Normalfall berücksichtigt. Der Systemdruckliste kann beispielhaft entnommen werden:

Nachweis 2: DIN 1052:2008 Verformungen (selten)

DIN 1052:2008 Verformungen (selten): Gebrauchstauglichkeit nach DIN 1052:2008-12 9 (seltene BS)

1: Standardkombination

A: Extremalbildungsvorschrift zum Nachweis 2, **Teilnachweis A:** $w_{Q,inst} \leq w_{A,zul}$
mit $w_{Q,inst}$ = Durchbiegungen aus veränderlichen Einwirkungen ohne Kriecheinfluss

Einw.	Ψ_{dom}	Ψ_{sub}	γ_{sup}	γ_{inf}
1	0.00	0.00	0.00	0.00
2	1.00	1.00	1.00	0.00
3	1.00	0.60	1.00	0.00
4	1.00	0.50	1.00	0.00

B: Extremalbildungsvorschrift zum Nachweis 2, **Teilnachweis B:** $w_{fin} - w_{G,inst} \leq w_{B,zul}$
Erläuterung: Die zeitabhängigen Verformungen (Kriecheinfluss) in w_{fin} werden mit dem Verformungsbeiwert $k_{def} = 0.60$ berücksichtigt.
Unter Anwendung der DIN 1052:2004-08 Abs. 8.3 Gleichungen (6), (7) und (8) ergeben sich hierdurch modifizierte Kombinationsbeiwerte:
für ständige Einwirkungen: $\Psi_{dom} = \Psi_{sub} = k_{def}$; für veränderlich Einwirkungen: $\Psi_{dom} = 1 + \Psi_2 \cdot k_{def}$ und $\Psi_{sub} = \Psi_0 + \Psi_2 \cdot k_{def}$

Einw.	Ψ_{dom}	Ψ_{sub}	γ_{sup}	γ_{inf}	Ψ_2
1	0.60	0.60	1.00	1.00	-
2	1.48	1.48	1.00	0.00	0.80
3	1.00	0.60	1.00	0.00	0.00
4	1.00	0.50	1.00	0.00	0.00

1.3.2.3.3

stabbezogene Nachweisoptionen

Jedem Stab, dessen Gebrauchstauglichkeit in der seltenen Bemessungssituation n. DIN 1052:2008-12 nachgewiesen werden soll, können individuell stabbezogene Nachweisparameter zugeordnet werden. Hierzu wird das nachfolgend dargestellte Eigenschaftsblatt für Holzstäbe angeboten:



Abb. 54: Stabbezogene Nachweisparameter: Gebrauchstauglichkeitsnachweis (seltene BS)

Unter der Überschrift *Gebrauchstauglichkeitsnachweise* kann zunächst entschieden werden, ob die Gebrauchstauglichkeit des ausgewählten Stabes (bzw. der ausgewählten Stäbe) in der seltenen Bemessungssituation n. DIN 1052:2008-12 nachgewiesen werden soll(en). Wird dies bejaht, kann die Vergleichslänge l_v eingegeben und die Frage, ob es sich bei dem Stab um einen Kragarm handelt, beantwortet werden.

Im Normalfall werden die empfohlenen Grenzwerte aus diesen Informationen vom Programm automatisch nach Norm festgelegt. Sollen andere Grenzwerte verwendet werden, so muss die logische Schalttafel *Grenzwerte für Verformungen nach Norm* unter der Überschrift *globale Einstellungen* deaktiviert werden.

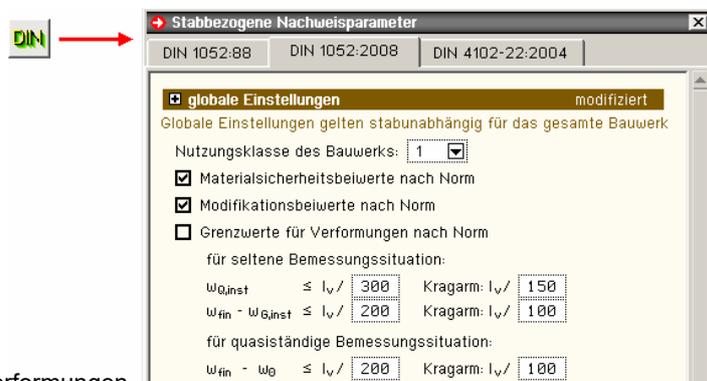


Abb. 55: Grenzwerte für Verformungen

1.3.2.4

Gebrauchstauglichkeitsnachweis in der quasiständigen Bemessungssituation

Kurzbezeichnung:	DIN 1052:2008 Verformungen (quasiständig)
Zusatzbezeichnung:	Gebrauchstauglichkeit n. DIN 1052:2008 9 (quasiständige BS)
Programmbezug:	##-FRAP, ##-NISI
Nachweisobjekte:	Stabträger aus Holz
Kombinationsregel:	DIN 1055-100 (quasiständige Kombination)
Überlagerungsvorschrift:	Extremalbildungsvorschriften
Interne Nummer:	123
optionale Einstellungen	keine

1.3.2.4.1

Verfahren

Der Nachweis beschränkt sich auf Eingrenzung der Verformungen im Vergleich zu den empfohlenen Grenzwerten. Mit diesem Nachweis sollen die allgemeine Benutzbarkeit und das Erscheinungsbild gewährleistet werden.

$$\text{Nachweis: } w_{\text{fin}} - w_0 \leq \frac{l_v}{200} \quad (\text{Kragträger } \frac{l_v}{100})$$

Hierin bedeuten:

w_{fin} maximale Durchbiegung aller Einwirkungen mit Kriecheinfluss

w_0 Überhöhung im lastfreien Zustand (falls vorhanden)

l_v Vergleichslänge: Länge zwischen zwei Lagerpunkten bzw. Kragarmlänge

In der quasiständigen Bemessungssituation gilt:

$$w_{\text{fin}} = w_{G,\text{fin}} + w_{Q,\text{fin}} \quad \text{mit}$$

$$w_{G,\text{fin}} = w_{\text{inst}} \cdot (1 + k_{\text{def}}) \quad \text{max. Durchbiegung aus ständigen Lasten mit Kriecheinfluss}$$

$$w_{Q,i,\text{fin}} = \psi_{2,i} \cdot w_{Q,i,\text{inst}} \cdot (1 + k_{\text{def}}) \quad \text{max. Durchbiegung aus veränd. Lasten mit Kriecheinfluss}$$

Hierin bedeuten:

k_{def} Verformungsbeiwert entsprechend DIN 1052:2008-12 Tab. F.2 in Abhängigkeit der Nutzungsklasse

ψ_2 Kombinationsbeiwert gemäß DIN 1055-100

Nutzungsklasse		
1	2	3
0.60	0.80	2.00

Der Nachweis wird für die m- und n-Richtungen geführt. Die Vergleichslänge in diesen Richtungen kann unterschiedlich sein, da sie z.B. von der Lagerung abhängt.

1.3.2.4.2

Besonderheiten bei der Lastfallüberlagerung

Um den Kriecheinfluss bei der quasiständigen Bemessungssituation zu berücksichtigen, müssen die Teilsicherheitsbeiwerte nur mit dem Wert $(1 + k_{\text{def}})$ multipliziert werden.

	ψ_{dom}	ψ_{sub}	γ_{sup}	γ_{inf}
Ständige Lasten	1	1	$(1 + k_{\text{def}})$	$(1 + k_{\text{def}})$
Veränderliche Lasten	ψ_2	ψ_2	$(1 + k_{\text{def}})$	0

In der Systemdruckliste erscheint ein entsprechendes Protokoll.

1.3.2.4.3

stabbezogene Nachweisoptionen

Jedem Stab, dessen Gebrauchstauglichkeit in der quasiständigen Bemessungssituation n. DIN 1052:2008-12 nachgewiesen werden soll, können individuell stabbezogene Nachweisparameter zugeordnet werden. Hierzu wird das nachfolgend dargestellte Eigenschaftsblatt für Holzstäbe

angeboten:



Abb. 56: Stabbezogene Nachweisparameter: Gebrauchstauglichkeitsnachweis (quasiständig)

Unter der Überschrift *Gebrauchstauglichkeitsnachweise* kann zunächst entschieden werden, ob die Gebrauchstauglichkeit des ausgewählten Stabes (bzw. der ausgewählten Stäbe) in der quasiständigen Bemessungssituation n. DIN 1052:2008-12 nachgewiesen werden soll(en). Wird dies bejaht, kann die Vergleichslänge l_v eingegeben und die Frage, ob es sich bei dem Stab um einen Kragarm handelt, beantwortet werden. Weiterhin kann eine Überhöhung im lastfreien Zustand vorgegeben werden.

Im Normalfall werden die empfohlenen Grenzwerte aus diesen Informationen vom Programm automatisch nach Norm festgelegt. Sollen andere Grenzwerte verwendet werden, so muss die logische Schalttafel **Grenzwerte für Verformungen nach Norm** unter der Überschrift *globale Einstellungen* deaktiviert werden (s. Abb. 55).

1.3.2.5

Brandschutznachweis für Holzbauten

Kurzbezeichnung:	DIN 4102-22:2004-11 Brandschutz
Zusatzbezeichnung:	Brandschutznachweis n. DIN 4102-22:2004-11 5.5.2.1.a oder b
Programmbezug:	##-FRAP, ##-NISI
Nachweisobjekte:	Stabträger aus Holz
Kombinationsregel:	DIN 1055-100 (außergewöhnliche Bemessungssituation)
Überlagerungsvorschrift:	Extremalbildungsvorschriften und Lastkollektive
Interne Nummer:	124

1.3.2.5.1

optionale Einstellungen



Abb. 57: Nachweisoptionen: Brandschutzverfahren

Mit dem Brandschutznachweis soll sichergestellt werden, dass das Tragwerk auch im Brandfall eine gewisse vorgebbare Zeit tragfähig bleibt, um Personen im Gebäude eine geregelte Räumung zu ermöglichen.

DIN 4102-22:2004-11 stellt zwei unterschiedliche Verfahren vor.

Genaueres Verfahren n. DIN 4102-22:2004-11 5.5.2.1b:

Nachgewiesen wird hierbei der (nach Abbrand) verbleibende Restquerschnitt mit reduzierten Festigkeitswerten auf Grund der erhöhten Temperatureinwirkung.

Vereinfachtes Verfahren n. DIN 4102-22:2004-11 5.5.2.1a:

Auf die Reduzierung der Festigkeitswerte wird verzichtet. Dafür wird der ideale Restquerschnitt nachgewiesen, der an den beflaminten Seiten um 7 mm kleiner ist als der verbleibende Restquerschnitt.

Beide Verfahren können in den **pcae**-Programmen alternativ ausgewählt werden.

1.3.2.5.2

Verfahren

Beim Brandschutznachweis wird zwischen 3- und 4-seitiger Brandbeanspruchung unterschieden. Es wird davon ausgegangen, dass nach einer gewissen Branddauer ein tragfähiger Restquerschnitt verbleibt, der im Rahmen einer außergewöhnlichen Bemessungssituation nachgewiesen werden kann. Die Reduzierung des Ausgangsquerschnitts berechnet sich zu

$$d(t_f) = \beta_n \cdot t_f \quad \text{mit der Abbrandrate } \beta_n \text{ in mm/min n. DIN 4102-22:2004-11, Tab.74,} \\ \text{und der geforderten Feuerwiderstandsdauer } t_f \text{ in min}$$

Nach dieser Reduzierung ergibt sich der verbleibende Restquerschnitt wie in Abb. 58 am Beispiel eines dreiseitig brandbeanspruchten Rechteckquerschnitts dargestellt.

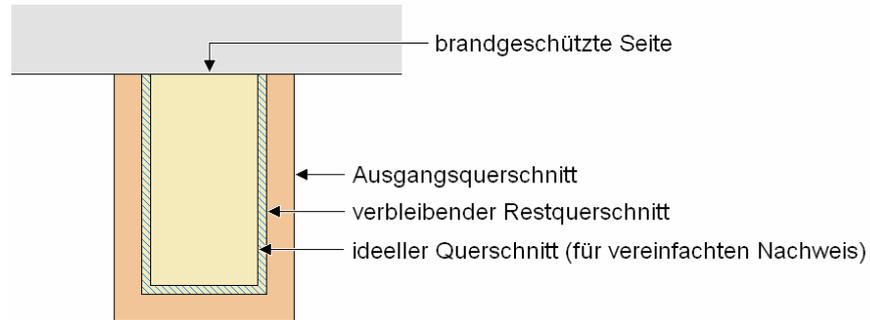


Abb. 58: Brandbeanspruchung und Restquerschnitt

Während beim genaueren Verfahren der verbleibende Restquerschnitt nachgewiesen wird, ist beim vereinfachten Verfahren der ideale Querschnitt, der sich durch eine weitere Reduzierung um 7 mm ergibt, zu Grunde zu legen.

Die für den Normalspannungsnachweis benötigten Festigkeitskennwerte auf Designebene (Bemessungswerte) ergeben sich beim Brandschutznachweis zu

$$f_{d,fi} = k_{mod,fi} \cdot k_{fi} \cdot \frac{f_k}{\gamma_{M,fi}} \quad \text{mit}$$

f_k Festigkeitskennwerte auf charakteristischem Niveau gemäß Tab. DIN 1052:2008-12 F.5, F.7, F.9

k_{fi} Faktor zur Ermittlung des 20%-Fraktilwertes der Festigkeit (DIN 4102-22 – Tab. 75)

$\gamma_{M,fi}$ Materialsicherheitsbeiwert (=1.0)

Beim vereinfachten Verfahren wird mit dem Modifikationsbeiwert $k_{mod,fi} = 1.0$ gerechnet.

Beim genaueren Verfahren gilt für die:

Biegesteifigkeit $k_{mod,fi} = 1 - \frac{1}{225} \cdot \frac{u_r}{A_r} \rightarrow f_{m,d,fi}$

Druckfestigkeit parallel zur Faser $k_{mod,fi} = 1 - \frac{1}{125} \cdot \frac{u_r}{A_r} \rightarrow f_{c,0,d,fi}$

Zugfestigkeit $k_{mod,fi} = 1 - \frac{1}{333} \cdot \frac{u_r}{A_r} \rightarrow f_{t,0,d,fi}$

Hierin ist u_r der Restquerschnittsumfang der beflamten Seiten in m und A_r die Fläche des verbleibenden Restquerschnitts in m^2 .

Der formale Nachweis entspricht unter Anwendung dieser Eingangswerte dem allgemeinen Tragfähigkeitsnachweis für Normalspannungen wie unter Absatz 1.3.2.2 beschrieben:

Nachweis für Stäbe mit Biegung und Druck n. DIN 1052:2008-12, Abs. 10.3.3:

$$\frac{\sigma_{c,0,d,fi}}{k_{c,y,fi} \cdot f_{c,0,d,fi}} + \frac{\sigma_{m,y,d,fi}}{k_{m,fi} \cdot f_{m,d,fi}} + k_{red} \cdot \frac{\sigma_{m,z,d,fi}}{f_{m,d,fi}} \leq 1 \quad \text{und}$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d,fi}}{k_{c,z,fi} \cdot f_{c,0,d,fi}} + k_{red} \cdot \frac{\sigma_{m,y,d,fi}}{k_{m,fi} \cdot f_{m,d,fi}} + \frac{\sigma_{m,z,d,fi}}{f_{m,d,fi}} \leq 1$$

Nachweis für Stäbe mit Biegung und Zug n. DIN 1052:2008-12, Abs. 10.3.4:

$$\frac{\sigma_{t,0,d,fi}}{f_{t,0,d,fi}} + \frac{\sigma_{m,y,d,fi}}{k_{m,fi} \cdot f_{m,d,fi}} + k_{red} \cdot \frac{\sigma_{m,z,d,fi}}{f_{m,d,fi}} \leq 1 \quad \text{und} \quad \frac{\sigma_{t,0,d,fi}}{f_{t,0,d,fi}} + k_{red} \cdot \frac{\sigma_{m,y,d,fi}}{k_{m,fi} \cdot f_{m,d,fi}} + \frac{\sigma_{m,z,d,fi}}{f_{m,d,fi}} \leq 1$$

Die Normalspannungen $\sigma_{c,0,d,fi}$, $\sigma_{t,0,d,fi}$, $\sigma_{m,y,d,fi}$ und $\sigma_{m,z,d,fi}$ sind hierbei beim genaueren Verfahren am verbleibenden Restquerschnitt und beim vereinfachten Verfahren am ideellen Querschnitt zu ermitteln.

Beim Stabilitätsnachweis mit Hilfe des Ersatzstabverfahrens sind die Knickbeiwerte $k_{c,y,fi}$ und $k_{c,z,fi}$ sowie der Kippbeiwert $k_{m,fi}$ grundsätzlich unter Verwendung des verbleibenden Restquerschnitts und einer Reduzierung der Festigkeits- und Steifigkeitsparameter zu ermitteln.

Der Einfluss des Kippens in den Beziehungen resultiert aus dem Moment um die m-Achse. Ist die n-Achse die stärkere Achse, werden entsprechend abgeänderte Beziehungen verwandt.

Die Steifigkeitsparameter sind hierbei wie folgt zu reduzieren:

$$E_{d,fi} = k_{mod,fi} \cdot k_{fi} \cdot \frac{E_{0,05}}{Y_{M,fi}}$$

$$G_{d,fi} = k_{mod,fi} \cdot k_{fi} \cdot \frac{2/3 \cdot G_{05}}{Y_{M,fi}} \quad \text{für Vollholz}$$

$$G_{d,fi} = k_{mod,fi} \cdot k_{fi} \cdot \frac{G_{05}}{Y_{M,fi}} \quad \text{für Brettschichtholz}$$

Der Modifikationsbeiwert ist hierin mit $k_{mod,fi} = 1 - \frac{1}{333} \cdot \frac{u_r}{A_r}$ anzunehmen.

Der Brandschutznachweis arbeitet nach dem hier beschriebenen Verfahren mit den „kalt“ berechneten Schnittgrößen. Umlagerungseffekte wegen unterschiedlicher Abbrandraten können hierdurch nicht berücksichtigt werden.

1.3.2.5.3

stabbezogene Nachweisoptionen

Jedem Stab, dessen Tragfähigkeit im Brandfalle nachgewiesen werden soll, können individuell stabbezogene Nachweisparameter zugeordnet werden. Hierzu wird das nachfolgend dargestellte Eigenschaftsblatt für Holzstäbe angeboten:

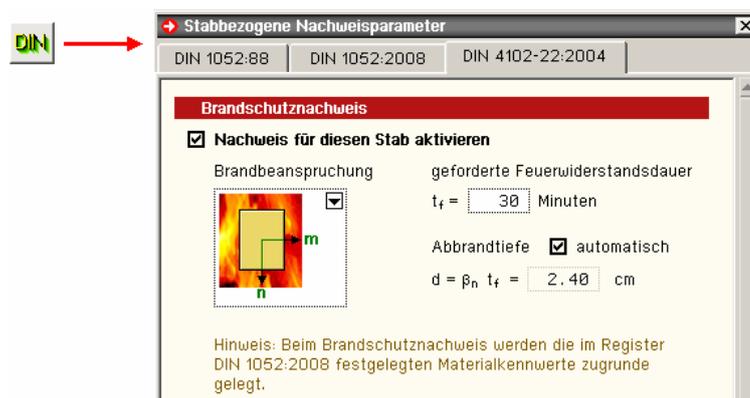


Abb. 59: stabbezogene Brandschutzoptionen

Zunächst ist festzulegen, ob der Stab n. DIN 4102-22:2004-11 nachgewiesen werden soll. Wird dies bejaht, müssen die Brandbeanspruchung (vierseitig oder dreiseitig) und die Abbrandtiefe festgelegt werden. Letztere kann frei vorgegeben oder aus der Feuerwiderstandsdauer n. DIN 4102-22:2004-11 (9.1) automatisch ermittelt werden.

1.3.2.6

Tragfähigkeitsnachweis n. Theorie II. Ord.

Kurzbezeichnung:	DIN 1052:2008 Tragfähigkeit (Th. II. Ord.)
Zusatzbezeichnung:	Tragfähigkeit n. DIN 1052:2008 10.2.11 und 10.3
Programmbezug:	##-FRAP, ##-NISI
Nachweisobjekte:	Stabträger aus Holz
Kombinationsregel:	DIN 1055-100
Überlagerungsvorschrift:	Lastkollektive
Interne Nummer:	125
optionale Einstellungen	keine

1.3.2.6.1

Verfahren

Der Nachweis entspricht mit zwei Ausnahmen exakt dem Tragfähigkeitsnachweis wie unter Absatz 1.3.2.2 beschrieben.

Ausnahme 1: Wegen der Nichtlinearität bei der Schnittgrößenermittlung (Th. II. Ord.) können die zu untersuchenden Kombinationen nur noch über Lastkollektive und nicht mehr über Extremalbildungsvorschriften beschrieben werden.

Ausnahme 2: Das Ersatzstabverfahren für die Knicksicherheit wird nicht angewendet, da die Sicherheit gegen Ausknicken bereits durch das gewählte Verfahren gewährleistet ist. Es wird programmintern $k_{c,y} = k_{c,z} = 1.0$ gesetzt.

1.3.3 Nachweise n. DIN 1052, April 1988

1.3.3.1 Allgemeines

Die maßgebende Norm für die Holzbaunachweise ist **DIN 1052** (April 1988) mit den Änderungen A1, Ausgabe Okt. 1996.

Beim Holzbaunachweis werden die vorhandenen Spannungen den zulässigen Größen gegenübergestellt. Neben den Rand- und Nachweisspannungen wird als wesentliche Größe der **Ausnutzungsgrad** ausgegeben. Ein Ausnutzungsgrad zwischen 0 und 1 weist darauf hin, dass sich die Spannungen im zulässigen Bereich befinden. Ein Ausnutzungsgrad > 1 zeigt an, dass die zulässigen Spannungen im betrachteten Stababschnitt überschritten werden und der Nachweis somit nicht erbracht werden kann.

Der Ausnutzungsgrad entspricht dem maximalen Wert der angewandten Bemessungsregel für Zug und Biegung, Druck und Biegung bzw. Querkraft und Torsion. Als *Stabbezogene Nachweisparameter* können die Bemessung für Zug/Druck und Biegung sowie die Bemessung für Querkraft und Torsion aktiviert oder deaktiviert werden.

Ist der Nachweis für die Normalspannungen aktiviert, so kann das ω -Verfahren eingeschaltet werden. Hierbei wird der vom Benutzer vorgegebene ω -Wert bei vorhandener Druckspannung als Vergrößerungsfaktor der Drucknormalkraft verwendet.

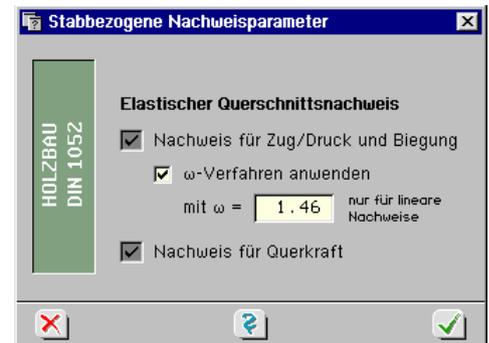


Abb. 60: Stabbezogene Nachweisparameter DIN 1052

1.3.3.1.1 Lastfallarten

DIN 1052 unterscheidet zwischen den Lastfällen H (Hauptlasten), HZ (Haupt- und Zusatzlasten) und HZS (Haupt-, Zusatz- und Sonderlasten). Während bei den **Hauptlasten** die Werte der Tab. 5 als zulässige Grenzspannungen zu betrachten sind, werden die Werte für den Lastfall HZ um den Faktor $\gamma_M = 1.25$ und für den Lastfall HZS um den Faktor $\gamma_M = 2.0$ erhöht werden.

1.3.3.1.2 Spannungen

Aus den berechneten Schnittgrößen werden die extremalen **Normalspannungen** (in den Eckpunkten des umgebenden Rechtecks des Querschnitts) und die maximalen Schubspannungen ermittelt.

Die maximale Schubspannung aus Querkraft ergibt sich für das 2D-Stabwerksprogramm #/NISI aus der Dübelformel. Dabei wird vorausgesetzt, dass der Maximalwert im Steg des Querschnitts auftritt. Der Maximalwert ergibt sich dann zu

$$\max \tau_Q = \frac{Q \cdot \max S_y}{I_y \cdot s} = \frac{Q}{A_Q}$$

mit der Stegdicke s , dem statischen Moment S_y und dem Trägheitsmoment I_y . Für das 3D-Stabwerksprogramm #/FRAP wird vereinfacht nachstehende Formel verwendet:

$$\max \tau_Q = \frac{Q}{A_Q} = 1.5 \cdot \frac{Q}{A} \quad \text{mit} \quad Q = \sqrt{Q_{\eta}^2 + Q_{\zeta}^2}$$

Die Schubspannung aus **Torsion** berechnet sich zu $\max \tau_T = \frac{T}{W_T}$

1.3.3.1.3 Spannungsnachweis

Beim Spannungsnachweis n. DIN 1052 kommen für die Fälle *Zug mit Biegung* und *Druck mit Biegung* unterschiedliche Bemessungsregeln zur Anwendung, da die zulässigen Spannungen

n. Tab. 5 DIN 1052 für Druck und Zug nicht gleich sind. Diese Regeln lassen sich mit den Nachweisspannungen

$$\sigma_D = -\min\left(\omega \cdot \frac{N}{A} + \left(\frac{M_\eta \cdot \zeta}{I_\eta} - \frac{M_\zeta \cdot \eta}{I_\zeta}\right) \cdot \frac{\text{zul}\sigma_{D||}}{\text{zul}\sigma_B}, 0\right) \quad \text{für } N \leq 0$$

$$\sigma_Z = \max\left(\frac{N}{A} + \left(\frac{M_\eta \cdot \zeta}{I_\eta} - \frac{M_\zeta \cdot \eta}{I_\zeta}\right) \cdot \frac{\text{zul}\sigma_{Z||}}{\text{zul}\sigma_B}, 0\right) \quad \text{für } N \geq 0$$

und den zulässigen Spannungen $\text{zul}\sigma_{D||}$ und $\text{zul}\sigma_{Z||}$ als Spannungsnachweise formulieren. Die Ausnutzung aus Querkraft und Torsion wird durch Auswertung der **Interaktionsbeziehung**

$$U_\tau = \frac{\tau_T}{\text{zul}\tau_T} + \left(\frac{\tau_Q}{\text{zul}\tau_Q}\right)^m \quad \text{mit } m = 2 \text{ für NH, } m = 1 \text{ für LH ermittelt.}$$

Die maximale **Ausnutzung** ergibt sich dann aus $U = \max\left(\frac{\sigma_D}{\text{zul}\sigma_{D||}}, \frac{\sigma_Z}{\text{zul}\sigma_{Z||}}, U_\tau\right)$.

1.3.3.1.4 Knicksicherheit

Der Knicksicherheitsnachweis nach dem ω -Verfahren wird nicht geführt. Anstelle dieses Nachweises wird die Tragsicherheit des Systems gemäß DIN 1052-1, 9.6, mit den Schnittgrößen aus γ_1 -fachen Lasten nach der Spannungstheorie II. Ord. überprüft.

1.3.3.2 Holznachweise n. Theorie I. Ord.

Die nachfolgend beschriebenen Nachweistypen für Holzglieder erbringen den Tragfähigkeitsnachweis durch Berechnung n. Theorie I. Ord. Die Nachweise entsprechen den in der DIN 1052 vorhandenen Lastfallarten.

1.3.3.2.1 Nachweise im Lastfall H (Theorie I. Ord.)

Kurzbezeichnung:	DIN 1052 Lastfall H (Th. I. Ord.)
Zusatzbezeichnung:	Tragfähigkeit Lastfall H n. DIN 1052 4.88, 6.x
Programmbezug:	##-FRAP, ##-NISI
Nachweisobjekte:	Stabträger aus Holz
Kombinationsregel:	alte Norm
Überlagerungsvorschrift:	Extremalbildungsvorschriften und Lastkollektive
Interne Nummer:	21
optionale Einstellungen	keine

1.3.3.2.1.1 Verfahren

Bei der Festlegung der Extremierungsvorschriften und Lastkollektive ist darauf zu achten, dass nur Einwirkungen aufgeführt werden, die zum Lastfall H gehören.

1.3.3.2.2 Nachweise im Lastfall HZ (Theorie I. Ord.)

Kurzbezeichnung:	DIN 1052 Lastfall HZ (Th. I. Ord.)
Zusatzbezeichnung:	Tragfähigkeit Lastfall HZ n. DIN 1052 4.88, 6.x
Programmbezug:	##-FRAP, ##-NISI
Nachweisobjekte:	Stabträger aus Holz
Kombinationsregel:	alte Norm
Überlagerungsvorschrift:	Extremalbildungsvorschriften und Lastkollektive
Interne Nummer:	22
optionale Einstellungen	keine

1.3.3.2.2.1 Verfahren

Bei der Festlegung der Extremierungsvorschriften und Lastkollektive ist darauf zu achten, dass hier Einwirkungen aufgeführt werden, die charakteristisch als H- und Z-Lasten einzustufen sind.

1.3.3.2.3

Nachweise im Lastfall HZ (Theorie I. Ord.)

Kurzbezeichnung:	DIN 1052 Lastfall HZ (Th. I. Ord.)
Zusatzbezeichnung:	Tragfähigkeit Lastfall HZ n. DIN 1052 4.88, 6.x
Programmbezug:	##-FRAP, ##-NISI
Nachweisobjekte:	Stabträger aus Holz
Kombinationsregel:	alte Norm
Überlagerungsvorschrift:	Extremalbildungsvorschriften und Lastkollektive
Interne Nummer:	23
optionale Einstellungen	keine

1.3.3.2.3.1

Verfahren

Dieser Nachweistyp ist der Untersuchung extrem seltener Sonderlasten vorbehalten. Bei der Festlegung der Extremierungsvorschriften und Lastkollektive ist darauf zu achten, dass hier Einwirkungen aufgeführt werden, die charakteristisch als H-, Z- und S-Lasten einzustufen sind.

1.3.3.3

Holznachweise n. Theorie II. Ord.

Die nachfolgend beschriebenen Nachweistypen für Holzglieder erbringen den Tragsicherheitsnachweis durch Berechnung der **Lastkollektive** n. Theorie II. Ord. Wegen der unterschiedlichen Last- und Sicherheitsfaktoren teilen sie sich in zwei Nachweistypen auf.

Der Nachweis wird erbracht, indem das System (geometrisch) nichtlinear unter Berücksichtigung des Lastfaktors $\gamma_1 = 2.0$ berechnet wird. Die Spannungen aus den Schnittgrößen n. Theorie II. Ord. werden mit den γ_1 -fachen zulässigen Spannungen des Lastfalls H oder HZ nachgewiesen.

1.3.3.3.1

Nachweise im Lastfall H (Theorie II. Ord.)

Kurzbezeichnung:	DIN 1052 Lastfall H (Th. II. Ord.)
Zusatzbezeichnung:	Tragsicherheit Lastfall H n. DIN 1052 4.88, 9.6
Programmbezug:	##-FRAP, ##-NISI
Nachweisobjekte:	Stabträger aus Holz
Kombinationsregel:	alte Norm
Überlagerungsvorschrift:	nur Lastkollektive
Interne Nummer:	24
optionale Einstellungen	keine

1.3.3.3.1.1

Verfahren

Bei der Festlegung der Lastkollektive ist darauf zu achten, dass nur Lastfälle aufgeführt werden, die zum Lastfall H gehören.

1.3.3.3.2

Nachweise im Lastfall HZ (Theorie II. Ord.)

Kurzbezeichnung:	DIN 1052 Lastfall HZ (Th. II. Ord.)
Zusatzbezeichnung:	Tragsicherheit Lastfall HZ n. DIN 1052 4.88, 9.6
Programmbezug:	##-FRAP, ##-NISI
Nachweisobjekte:	Stabträger aus Holz
Kombinationsregel:	alte Norm
Überlagerungsvorschrift:	nur Lastkollektive
Interne Nummer:	25
optionale Einstellungen	keine

1.3.3.3.2.1

Verfahren

Bei der Festlegung der Lastkollektive ist darauf zu achten, dass hier Lastfälle aufgeführt werden, die charakteristisch als H- und Z-Lasten einzustufen sind.

1.4 allgemeine Materialien ohne Normenbezug

1.4.1 Allgemeines

Das 3D-Strukturprogramm #FRAP bietet Spannungsnachweise für dünn- und dickwandige Tragglieder ohne Normenbezug. Die zulässigen Spannungen können als stabbezogene Nachweisparameter angegeben werden. Der Nachweis der Normalspannungen, der Schubspannungen und der Vergleichsspannungen kann unabhängig voneinander an- bzw. abgewählt werden.

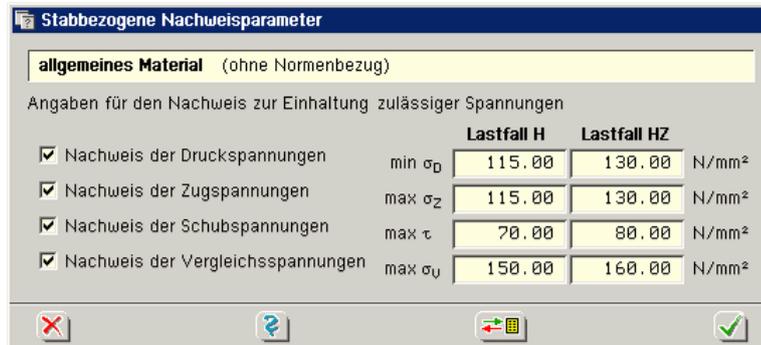


Abb. 61: Stabbezogene Nachweisparameter allgemeines Material

Neben den Nachweisspannungen wird bei den allgemeinen Spannungsnachweisen als wesentliche Größe der **Ausnutzungsgrad** U ausgegeben. Ein Ausnutzungsgrad $0 \leq U \leq 1$ weist darauf hin, dass sich die Spannungen im zulässigen Bereich befinden. Ein Ausnutzungsgrad $U > 1$ zeigt an, dass die zulässigen Spannungen im betrachteten Stababschnitt überschritten werden und der Nachweis nicht erbracht werden kann. Der Ausnutzungsgrad entspricht dem maximalen Wert der angewandten Bemessungsregel für Zug-, Druck- sowie Schub- und Vergleichsspannungen.

1.4.1.1 Lastfallarten

Es wird zwischen den Lastfällen H (Hauptlasten) und HZ (Haupt- und Zusatzlasten) unterschieden. Für die Lastfälle H und HZ können unterschiedliche zulässige Spannungen vom Benutzer vorgegeben werden.

1.4.1.2 Spannungen

Für dickwandige Querschnitte werden die extremalen Normalspannungen (in den Eckpunkten des umgebenden Rechtecks des Querschnitts) und die maximalen Schubspannungen aus den berechneten Schnittgrößen ermittelt. Die maximale Schubspannung aus Querkraft ergibt sich vereinfacht zu

$$\max \tau_Q = \frac{Q}{A_Q} = 1.5 \cdot \frac{Q}{A} \quad \text{mit} \quad Q = \sqrt{Q_{\eta}^2 + Q_s^2}$$

Die Schubspannung aus Torsion und die maximale Schubspannung berechnen sich zu

$$\max \tau_T = \frac{T}{W_T} \quad \max \tau = \max \tau_Q + \max \tau_T$$

Die **Spannungsberechnung** dünnwandiger Querschnitte erfolgt wie beim Nachweis von Stahlquerschnitten. Dazu wird der dünnwandige Querschnitt in Linienelemente aufgelöst. Zur Ermittlung der maximalen elastischen Spannungen werden für jede Linie des dünnwandigen Querschnitts und für jeden untersuchten Schnitt quer zu der Linie für die Endpunkte und den Mittelpunkt des Schnitts die Normal-, Schub- und Vergleichsspannungen durch Addition der Einzelanteile aus den Schnittgrößen berechnet.

1.4.1.3 Spannungsnachweis

Beim allg. Spannungsnachweis kommen für die Fälle *Zug* und *Druck* unterschiedliche Bemessungsregeln zur Anwendung, da die zulässigen Spannungen nicht gleich sein müssen.

$$\sigma_D = -\min\left(\frac{N}{A} + \frac{M_\eta \cdot \zeta}{I_\eta} - \frac{M_\zeta \cdot \eta}{I_\zeta}, 0\right) \quad \text{für } N \leq 0$$

$$\sigma_Z = \max\left(\frac{N}{A} + \frac{M_\eta \cdot \zeta}{I_\eta} - \frac{M_\zeta \cdot \eta}{I_\zeta}, 0\right) \quad \text{für } N \geq 0$$

Die maximale Ausnutzung ergibt sich dann zu

$$U = \max\left(\frac{\sigma_D}{\text{zul}\sigma_D}, \frac{\sigma_Z}{\text{zul}\sigma_Z}, \frac{\tau}{\text{zul}\tau}, \frac{\sigma_V}{\text{zul}\sigma_V}\right).$$

1.4.2 Allgemeine Spannungsnachweise n. Theorie I. Ord.

1.4.2.1 Nachweis der Spannungen im Lastfall H (Theorie I. Ord.)

Kurzbezeichnung:	Spannungsnachweis LF H (Th. I. Ord.)
Zusatzbezeichnung:	Nachweis der extr. Spannungen ohne Normenbezug
Programmbezug:	##-FRAP
Nachweisobjekte:	Stabträger aus unbekanntem Material
Kombinationsregel:	alte Norm
Überlagerungsvorschrift:	Extremalbildungsvorschriften und Lastkollektive
Interne Nummer:	901
optionale Einstellungen	keine

1.4.2.1.1 Verfahren

Bei der Festlegung der Extremierungsvorschriften und **Lastkollektive** ist darauf zu achten, dass nur Einwirkungen aufgeführt werden, die zum Lastfall H gehören.

1.4.2.2 Nachweis der Spannungen im Lastfall HZ (Theorie I. Ord.)

Kurzbezeichnung:	Spannungsnachweis LF HZ (Th. I. Ord.)
Zusatzbezeichnung:	Nachweis der extr. Spannungen ohne Normenbezug
Programmbezug:	##-FRAP
Nachweisobjekte:	Stabträger aus unbekanntem Material
Kombinationsregel:	alte Norm
Überlagerungsvorschrift:	Extremalbildungsvorschriften und Lastkollektive
Interne Nummer:	902
optionale Einstellungen	keine

1.4.2.2.1 Verfahren

Bei der Festlegung der Extremierungsvorschriften und Lastkollektive ist darauf zu achten, dass hier Einwirkungen aufgeführt werden, die charakteristisch als H- und Z-Lasten einzustufen sind.

1.4.3 allgemeine Spannungsnachweise n. Theorie II. Ord.

Bei den nachfolgend beschriebenen Nachweistypen werden die dem Nachweis zugeordneten Lastkollektive n. Theorie II. Ord. berechnet. Wegen der unterschiedlichen zulässigen Spannungen teilen sie sich in zwei Nachweistypen auf. Der Nachweis wird erbracht, indem das System (geometrisch) nichtlinear unter Berücksichtigung vorzugegebender Lastfaktoren γ_F berechnet wird. Die Spannungen aus den Schnittgrößen n. Theorie II. Ord. werden nachgewiesen.

1.4.3.1

Nachweis der Spannungen im Lastfall H (Theorie II. Ord.)

Kurzbezeichnung:	Spannungsnachweis LF H (Th. II. Ord.)
Zusatzbezeichnung:	Nachweis der extr. Spannungen ohne Normenbezug
Programmbezug:	##-FRAP
Nachweisobjekte:	Stabträger aus unbekanntem Material
Kombinationsregel:	alte Norm
Überlagerungsvorschrift:	nur Lastkollektive
Interne Nummer:	903
optionale Einstellungen	keine

1.4.3.1.1

Verfahren

Bei der Festlegung der Lastkollektive ist darauf zu achten, dass nur Lastfälle aufgeführt werden, die zum Lastfall H gehören.

1.4.3.2

Nachweis der Spannungen im Lastfall HZ (Theorie II. Ord.)

Kurzbezeichnung:	Spannungsnachweis LF HZ (Th. II. Ord.)
Zusatzbezeichnung:	Nachweis der extr. Spannungen ohne Normenbezug
Programmbezug:	##-FRAP
Nachweisobjekte:	Stabträger aus unbekanntem Material
Kombinationsregel:	alte Norm
Überlagerungsvorschrift:	nur Lastkollektive
Interne Nummer:	904
optionale Einstellungen	keine

1.4.3.2.1

Verfahren

Bei der Festlegung der Lastkollektive ist darauf zu achten, dass hier Lastfälle aufgeführt werden, die charakteristisch als H- und Z-Lasten einzustufen sind.

1.5 vom Material unabhängige Nachweise

Die unter dem Namen **Schnittgrößenermittlung** integrierten Nachweistypen führen keinen materialspezifischen Nachweis. Als Ergebnisse der Nachweise werden Schnittgrößen und Lagerreaktionen ausgewiesen. Sie können z. B. dazu benutzt werden, **Auflagergrößen** zur **Lastweiterleitung** auf andere zu berechnende Systeme zu ermitteln. Die vom Material unabhängigen Nachweistypen unterscheiden sich im Wesentlichen durch die Art der Schnittgrößenermittlung (Berechnung n. Theorie I. bzw. II. Ord.). Bei der Berechnung n. Theorie I. Ord. werden die Lastfälle linear berechnet. Die Ergebnisse der Lastkombinationen werden aus den Lastfallergebnissen entsprechend der dem Nachweis zugeordneten Vorschriften zusammengesetzt. Bei der Berechnung n. Theorie II. Ord. werden die Schnittgrößen der dem Nachweis zugeordneten Lastkollektive (geometrisch) nichtlinear berechnet.

1.5.1 Schnittgrößenermittlung (Theorie I. Ord.)

Kurzbezeichnung:	Schnittgrößenermittlung (Th. I. Ord.)
Zusatzbezeichnung:	Schnittgrößenermittlung ohne Nachweise
Programmbezug:	##-FRAP, ##-NISI, ##-ALFA
Nachweisobjekte:	alle Stab-, Flächenträger
Kombinationsregel:	alte Norm
Überlagerungsvorschrift:	Extremalbildungsvorschriften und Lastkollektive
Interne Nummer:	999
optionale Einstellungen	keine

1.5.2 Schnittgrößenermittlung (Theorie II. Ord.)

Kurzbezeichnung:	Schnittgrößenermittlung (Th. II. Ord.)
Zusatzbezeichnung:	Schnittgrößenermittlung ohne Nachweise
Programmbezug:	##-FRAP, ##-NISI
Nachweisobjekte:	alle Stabträger
Kombinationsregel:	alte Norm
Überlagerungsvorschrift:	nur Lastkollektive
Interne Nummer:	998
optionale Einstellungen	keine

Da das statisch bestimmte Moment aus Vorspannung über die Vordehnung erfasst wird, geht in die Schnittgrößenkombination lediglich noch der statisch unbestimmte Anteil ein.

1.6.1.2 Nachweis der Tragfähigkeit für Biegung A

Kurzbezeichnung:	FB 102 Tragfähigkeit Biegung A
Zusatzbezeichnung:	außergewöhnliche Situation n. FB 102 4.3.1
Programmbezug:	##-SPBR1
Nachweisobjekte:	Massivbrückenstäbe
Kombinationsregel:	FB101, intern
Überlagerungsvorschrift:	Extremalbildungsvorschriften und Lastkollektive
Interne Nummer:	332
optionale Einstellungen	keine
objektbez. Bemessungsangaben	keine

1.6.1.2.1 **Verfahren** wie 1.6.1.1.3 Tragfähigkeit für Biegung S/V (S. 89)

1.6.1.3 Nachweis der Tragfähigkeit für Biegung E

Kurzbezeichnung:	FB 102 Tragfähigkeit Biegung E
Zusatzbezeichnung:	Erdbeben Situation n. FB 102 4.3.1
Programmbezug:	##-SPBR1
Nachweisobjekte:	Massivbrückenstäbe
Kombinationsregel:	FB101, intern
Überlagerungsvorschrift:	Extremalbildungsvorschriften und Lastkollektive
Interne Nummer:	333
optionale Einstellungen	keine
objektbez. Bemessungsangaben	keine

1.6.1.3.1 **Verfahren** wie 1.6.1.1.3 Tragfähigkeit für Biegung S/V (S. 89)

1.6.1.4 Nachweis der Tragfähigkeit für Schub S/V

Kurzbezeichnung:	FB 102 Tragfähigkeit Schub S/V
Zusatzbezeichnung:	ständige/vorübergehende Situation n. FB 102 4.3.2
Programmbezug:	##-SPBR1
Nachweisobjekte:	Massivbrückenstäbe
Kombinationsregel:	FB101, intern
Überlagerungsvorschrift:	Extremalbildungsvorschriften und Lastkollektive
Interne Nummer:	336
optionale Einstellungen	keine

1.6.1.4.1 objektbezogene Bemessungsangaben

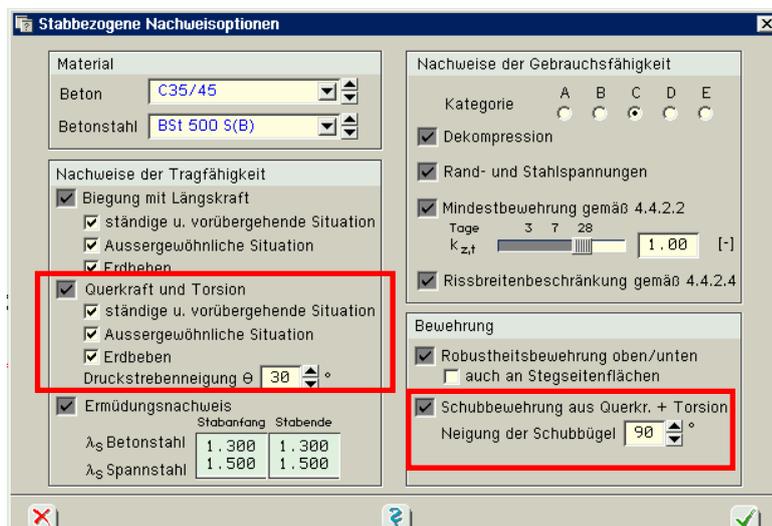


Abb. 63: Stabbezogene Nachweisoptionen Tragfähigkeit Schub S/V

1.6.1.4.2

Verfahren

Gemäß DIN Fachbericht 102, 4.3.2 und 4.3.3 ist der Nachweis für Querkraft mit und ohne **Torsion** im Grenzzustand der Tragfähigkeit (Bruchzustand) gefordert. Im Nachweis werden als Standard die möglichen **Stützensenkungen** berücksichtigt. Sind keine Lastfälle von diesem Typ vorhanden, werden automatisch die wahrscheinlichen Stützensenkungen eingesetzt.

Wie beim Tragfähigkeitsnachweis für Biegung werden die **Zwangsschnittgrößen** für Temperatur und Setzung per Voreinstellung mit den Faktoren 0.4 und 0.6 abgemindert.

Der **Druckstrebenwinkel** θ kann in gewissen Grenzen frei gewählt werden. Daher ist in den objektbezogenen Angaben neben der Neigung der Bügel, die Wahl des Druckstrebenwinkels möglich. Ein kleinerer Druckstrebenwinkel bewirkt eine geringere Querkraftbewehrung und eine höhere Druckstrebenkraft.

1.6.1.4.2.1

Bemessung für Querkräfte

Der Nachweis der Tragfähigkeit für Querkraft beruht auf einem **Fachwerkmodell**.

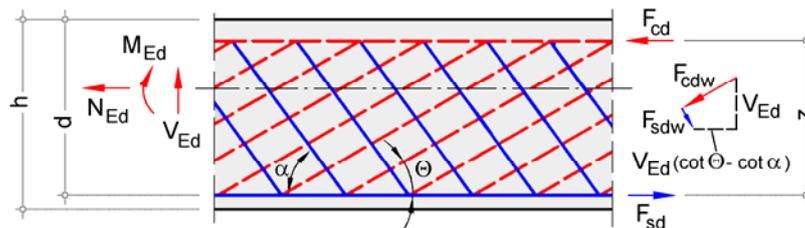


Abb. 64: DIN FB 102, 4.3.2.4.2, Abb. 4.13: Fachwerkmodell für querkraftbewehrte Bauteile

Die Formeln des DIN Fachberichtes gehen dabei von einem rechteckigen Querschnitt unter einachsiger Belastung aus (Querkraftkomponente $V_y = 0$). Programmintern wird bei gegliederten Querschnitten zur Abtragung der Querkräfte ausschließlich der Steg berücksichtigt. Tritt neben der Querkraft V_z eine Querkraftkomponente V_y auf, so erfolgt die Bemessung für die resultierende Querkraft. Diese Vorgehensweise sollte bei geringen Querkraftanteilen in y-Richtung ausreichend genau sein.

Treten jedoch größere Querkräfte in y-Richtung auf, so ist eine Bemessung mit dem hier implementierten Verfahren nicht mehr möglich. Das gleiche gilt für Stegquerschnitte, die zu stark von der Rechteckform abweichen. Im Zweifelsfall sind die Bemessungsergebnisse durch eine genauere Betrachtung zu überprüfen.

Vouten werden über folgende Beziehung berücksichtigt:

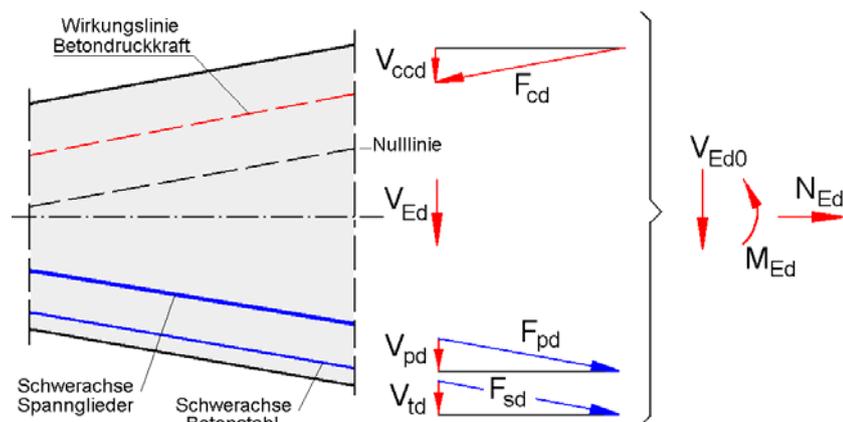


Abb. 65: DIN FB 102, 4.3.2.4.5, Abb. 4.14: Querkraftanteil bei veränderlicher Querschnittshöhe

$$V_{Ed} = V - \frac{M_{Ed}}{z \cdot (\tan \psi_o + \tan \psi_u)} - N_{Ed} \cdot \tan \psi_u - \sum P_{mt} \cdot \sin \psi_P$$

Im Programm werden folgende Bemessungsgrößen ermittelt:

$V_{Rd,ct}$ Bemessungswert der aufnehmbaren Querkraft ohne Querkraftbewehrung (bei Balken Mindestquerkraftbewehrung)

$$V_{Rd,ct} = \left[0.1 \cdot \eta_1 \cdot \kappa \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} - 0.12 \cdot \sigma_{cd} \right] \cdot b_w \cdot d$$

$$\min V_{Rd,ct} = (v_{\min} - 0.12 \cdot \sigma_{cd}) \cdot b_w \cdot d$$

mit

$$\rho_l = \frac{A_{sl}}{b_w \cdot d} \leq 0.02$$

$$\sigma_{cd} = \frac{N_{Ed}}{A_c}$$

$$\kappa = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} \leq 2.0$$

b_w kleinste Stegbreite innerhalb der Zugzone

$V_{Rd,sy}$ Bemessungswert der durch die Tragfähigkeit der Querkraftbewehrung begrenzten aufnehmbaren Querkraft. Aus dieser Größe wird die erforderliche **Querkraftbewehrung** ermittelt.

$$a_{sBQ} = \frac{V_{Ed}}{0.9 \cdot d \cdot f_{ywd} \cdot \cot \Theta}$$

$V_{Rd,max}$ Bemessungswert der durch die Druckstrebenfestigkeit begrenzten maximal aufnehmbaren Querkraft

$$V_{Rd,max} = \frac{b_{w,nom} \cdot z \cdot \alpha_c \cdot f_{cd}}{\cot \Theta + \tan \Theta}$$

$b_{w,nom}$ kleinste Stegbreite mit Hüllrohrabzug

$z = 0.9 \cdot d$ statische Höhe der Betonstahlbewehrung

Für den Druckstrebenwinkel θ gilt $0.58 \leq \cot \Theta \leq \frac{1.2 - 1.4 \cdot \sigma_{cd} / f_{cd}}{1 - V_{Rd,c} / V_{Ed,T+V}} \leq \frac{7}{4}$

mit

$$V_{Rd,c} = \beta_{ct} \cdot 0.10 \cdot \eta_1 \cdot f_{ck}^{1/3} \cdot (1 + 1.2 \cdot \sigma_{cd} / f_{cd}) \cdot b_w \cdot z$$

$$V_{Ed,T+V} = V_{Ed,T} + \frac{V_{Ed} \cdot t_{eff}}{b_w}, \quad V_{Ed,T} = \frac{T_{Ed} \cdot z}{2 \cdot A_k}$$

1.6.1.4.2.2

Bemessung für Torsion

Die Tragfähigkeit für Torsion wird entsprechend DIN Fachbericht 102, 4.3.3.1 (3), für einen dünnwandigen, geschlossenen Querschnitt nachgewiesen. Wie bei der Querkraftbemessung wird hier ausschließlich der Stegquerschnitt zum Lastabtrag herangezogen. Bei Vollquerschnitten wird die Ersatzwand des gedachten Hohlquerschnitts entsprechend DIN Fachbericht 102, 4.3.3.1 (6)*P, Abb. 4.15, selbstständig vom Programm ermittelt. Die Wanddicken werden aus den Betonstahlrandabständen generiert, die vom Benutzer in der Querschnittseingabe definiert wurden.

Im Programm werden folgende Bemessungsgrößen ermittelt:

$T_{Rd,sy}$ Bemessungswert des aufnehmbaren Torsionsmoments. Aus dieser Größe wird die erforderliche **Torsionsbewehrung** ermittelt

$$T_{Rd,sy} = \frac{A_{sw}}{s_w} \cdot f_{yd} \cdot 2 \cdot A_k \cdot \cot \Theta \quad \text{bzw.} \quad T_{Rd,sy} = \frac{A_{sl}}{u_k} \cdot f_{yd} \cdot 2 \cdot A_k \cdot \tan \Theta$$

$T_{Rd,max}$ Bemessungswert des maximal aufnehmbaren Torsionsmoments

$$T_{Rd,max} = \frac{\alpha_{c,red} \cdot f_{cd} \cdot 2 \cdot A_k \cdot t_{eff}}{\cot \Theta + \tan \Theta} \quad \text{mit} \quad \alpha_{c,red} = 0.7 \cdot \alpha_c$$

1.6.1.4.2.3 kombinierte Beanspruchung aus Querkraft und Torsion

Bei kombinierter Beanspruchung wird der Nachweis entsprechend DIN Fachbericht 102, 4.3.3.2.2, (3)*P, geführt.

$$\left(\frac{T_{ED}}{T_{Rd,max}} \right)^2 + \left(\frac{V_{ED}}{V_{Rd,max}} \right)^2 \leq 1$$

Keine Querkraft- und Torsionsbewehrung außer der Mindestbewehrung ist erforderlich, wenn

$$T_{Ed} \leq \frac{V_{Ed} \cdot b_w}{4.5} \quad \text{und} \quad V_{Ed} \cdot \left(1 + \frac{4.5 \cdot T_{Ed}}{V_{Ed} \cdot b_w} \right) \leq V_{Rd,ct}$$

erfüllt ist.

1.6.1.5 Nachweis der Tragfähigkeit für Schub A

Kurzbezeichnung:	FB 102 Tragfähigkeit Schub A
Zusatzbezeichnung:	außergewöhnliche Situation n. FB 102 4.3.2
Programmbezug:	##-SPBR1
Nachweisobjekte:	Massivbrückenstäbe
Kombinationsregel:	FB101, intern
Überlagerungsvorschrift:	Extremalbildungsvorschriften und Lastkollektive
Interne Nummer:	337
optionale Einstellungen	keine

1.6.1.5.1 objektbezogene Bemessungsangaben

Wie 1.6.1.4.1 Tragfähigkeit für Schub S/V (S. 90)

1.6.1.5.2 Verfahren

Wie 1.6.1.4.2 Tragfähigkeit für Schub S/V (S. 91)

1.6.1.6 Nachweis der Tragfähigkeit für Schub E

Kurzbezeichnung:	FB 102 Tragfähigkeit Schub E
Zusatzbezeichnung:	Erdbeben Situation n. FB 102 4.3.2
Programmbezug:	##-SPBR1
Nachweisobjekte:	Massivbrückenstäbe
Kombinationsregel:	FB101, intern
Überlagerungsvorschrift:	Extremalbildungsvorschriften und Lastkollektive
Interne Nummer:	338
optionale Einstellungen	keine

1.6.1.6.1 objektbezogene Bemessungsangaben

Wie 1.6.1.4.1 Tragfähigkeit für Schub S/V (S. 90)

1.6.1.6.2 Verfahren

Wie 1.6.1.4.2 Tragfähigkeit für Schub S/V (S. 91)

1.6.1.7 Nachweis der Robustheitsbewehrung

Kurzbezeichnung:	FB 102 Robustheitsbewehrung
Zusatzbezeichnung:	Robustheitsbewehrung n. FB 102 Gl. 4.184
Programmbezug:	##-SPBR1
Nachweisobjekte:	Massivbrückenstäbe
Kombinationsregel:	FB101, intern
Überlagerungsvorschrift:	Extremalbildungsvorschriften und Lastkollektive
Interne Nummer:	341
optionale Einstellungen	keine

1.6.1.7.1 objektbezogene Bemessungsangaben

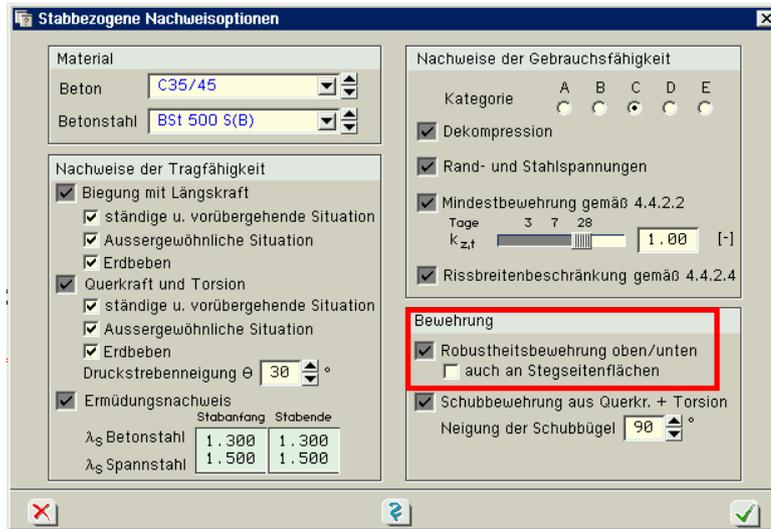


Abb. 66: Stabbezogene Nachweisoptionen Robustheitsbewehrung

Üblicherweise werden Brücken hauptsächlich in vertikaler Richtung belastet. Daher wird eine Robustheitsbewehrung vom Programm für die obere und untere Stegseite ermittelt. Optional kann jedoch eine Robustheitsbewehrung für die Stegseitenflächen ermittelt werden.

1.6.1.7.2 Verfahren

N. DIN Fachbericht 102, 4.3.1.3, muss bei vorgespannten Bauwerken ein Versagen ohne Vorkündigung und scheinbare Überfestigkeiten bei Erstrissbildung vermieden werden. Diese Bedingung wird durch Einlegen einer Robustheitsbewehrung erfüllt.

$$A_s = \frac{M_{r,ep}}{f_{yk} \cdot 0.9 \cdot d} \quad \text{mit} \quad M_{r,ep} = f_{ctk;0.005} \cdot \frac{I_y}{z_k}$$

1.6.1.8 Allgemeines zu Ermüdungsnachweisen

N. DIN Fachbericht 102, 4.3.7, muss bei Bauwerken, die beträchtlichen Spannungsschwankungen unterworfen sind, ein Nachweis gegen Ermüdung von Beton und Stahl im Grenzzustand der Tragfähigkeit geführt werden. Im Einzelnen sind folgende Nachweise gefordert:

- Beton unter Druckbeanspruchung
- Beton unter Querkraftbeanspruchung
- Betonstahl
- Spannstahl (sofern vorhanden)

Bei **Straßenbrücken** kann in der Regel gemäß BK 2004, Teil 1, 7.5.1, der Nachweis des druckbeanspruchten Betons entfallen, sofern der Nachweis der Betondruckspannung entsprechend Fachbericht 102, II-4.4.1.2 (103) P, erfüllt ist. Die Spannungen müssen n. 4.3.7.3 (1)*P, bei im Querschnitt vorhandenem Zug, im gerissenen Zustand ermittelt werden. Das Programm berechnet daher entsprechend diesem Kriterium, die Spannungen n. Zustand 1 oder 2.

Gemäß 4.3.7.3 (3)*P muss bei vorgespannten Bauteilen die Erhöhung der Betonstahlspannung, resultierend aus dem unterschiedlichen Verbundverhalten zwischen Beton- und Spannstahl n.

Gl. (4.193) berücksichtigt werden. Dabei soll zusätzlich die unterschiedliche Höhenlage (Abstand von der Dehnungsnulllinie) der Beton- und Spannstahlpositionen angemessen berücksichtigt werden. Die Gl (4.193) wurde daher wie folgt erweitert:

$$\eta = \frac{\sum_{i=1}^{ns} \varepsilon_{si} \cdot A_{si} + \sum_{i=1}^{np} \varepsilon_{pi} \cdot A_{pi}}{\sum_{i=1}^{ns} \varepsilon_{si} \cdot A_{si} + \sum_{i=1}^{np} \varepsilon_{pi} \cdot A_{pi} \cdot \sqrt{\xi \cdot \frac{d_s}{d_p}}}$$

mit

- ε_{pi} Dehnung Spannstahl
- ε_{ps} Dehnung Spannstahlschwerpunkt
- ε_{si} Dehnung Betonstahl
- alle übrigen Bezeichnungen wie in Gl. (4.193)

Im Programm wird für A_p nur der Spannstahlquerschnitt berücksichtigt, der sich in der Zugzone befindet. Liegen mehrere Spannglieder in der Zugzone, so wird ε im Schwerpunkt des Spannstahls berechnet.

Für den Nachweis der ermüdungsrelevanten Bauteile schlägt der Fachbericht 103 Nachweisarten mit unterschiedlicher Genauigkeit vor:

- vereinfachter Ermüdungsnachweis für Beton, Betonstahl und Spannstahl (Stufe 1)
- vereinfachter Ermüdungsnachweis für Betonstahl und Spannstahl mit schädigungsäquivalenten Schwingbreiten (Stufe 2)
- Expliziter Betriebsfestigkeitsnachweis (Stufe 3). Dieser Nachweis ist zz. nicht in den **pcae**-Programmen implementiert.

1.6.1.8.1

Ermüdungsnachweis Stufe 1

Kurzbezeichnung:	FB 102 Ermüdungsnachweis Stufe 1
Zusatzbezeichnung:	Ermüdungsnachweis n. FB 102 4.3.7
Programmbezug:	##-SPBR1
Nachweisobjekte:	Massivbrückenstäbe
Kombinationsregel:	FB101, intern
Überlagerungsvorschrift:	Extremalbildungsvorschriften und Lastkollektive
Interne Nummer:	342
optionale Einstellungen	keine
objektbez. Bemessungsangaben	- keine

1.6.1.8.1.1

Verfahren

Dieser Nachweis entspricht dem vereinfachten Nachweis der Ermüdung für Beton, Betonstahl und Spannstahl gemäß Fachbericht 102, II-4.3.7.4 (101)P, (102)P, und 4.3.7.5 (101). Die Betonstahlspannung σ_s wird gemäß 4.3.7.5 (101) auf 70 N/mm^2 begrenzt. Über die zulässigen Spannungen des Spannstahls macht die Norm keine Angaben. Daher wird im Programm entsprechend BK 2004, Teil 1, 8.2.3, aus den Wöhlerlinien für Spannstahl für eine Lastspielzahl $N = 10^8$ unter Berücksichtigung eines Sicherheitsbeiwert $\gamma_{s,fat} = 1.15$ ein Grenzwert $\sigma_p = 62 \text{ N/mm}^2$ abgeleitet. Der Nachweis ist in der häufigen Einwirkungskombination, d.h. bei Straßenbrücken mit dem Lastmodell 1 zu führen, wobei die Beanspruchungen infolge **Temperatur** und **Stützensenkung** lediglich in das Grundmoment einfließen und dem zufolge auch keine ermüdungswirksame Schwingung erzeugen.

1.6.1.8.2

Ermüdungsnachweis Stufe 2

Kurzbezeichnung:	FB 102 Ermüdungsnachweis Stufe 2
Zusatzbezeichnung:	n. FB 102 4.3.7 mit schadensäquivalenter Schwingbreite
Programmbezug:	##-SPBR1
Nachweisobjekte:	Massivbrückenstäbe
Kombinationsregel:	FB101, intern
Überlagerungsvorschrift:	Extremalbildungsvorschriften und Lastkollektive
Interne Nummer:	343

1.6.1.8.2.1

optionale Einstellungen



Abb. 67: Nachweisoptionen Ermüdungsnachweis Stufe 2

Das maßgebende Lastmodell ist entsprechend DIN Fachbericht 101, 4.6.1, das **Lastmodell 3**. Jedoch sind gemäß Fachbericht 102, II-A.106.2 (101)P, die Achslasten im Feldbereich mit 1.40 und im Stützbereich mit 1.75 zu multiplizieren. Um den Eingabeaufwand so gering wie möglich zu halten, werden vom Programm drei Optionen zur Berücksichtigung dieses Achslastfaktors vorgeschlagen:

- alle Achslasten mit 1.40 multiplizieren: Diese Option sollte nur bei Einfeldsystemen gewählt werden, da hier alle Achslasten mit dem gleichen Erhöhungsfaktor zu multiplizieren sind.
- alle Achslasten mit 1.75 multiplizieren: Diese Option ist sinnvoll bei Mehrfeldsystemen. Da alle Achsen (auch die im Feldbereich) mit dem gleichen, ungünstigen Stützbereichsfaktor multipliziert werden, liegen die Ergebnisse i.A. auf der sicheren Seite.
- alle Achslasten mit 1.00 multiplizieren und manuell anpassen: Diese Option stellt den größten Eingabeaufwand dar, da hier manuell vom Anwender alle Achslasten entsprechend der Vorgabe des Fachberichtes zu modifizieren sind. Dafür ist dieses auch die genaueste Methode.

1.6.1.8.2.2

objektbezogene Bemessungsangaben

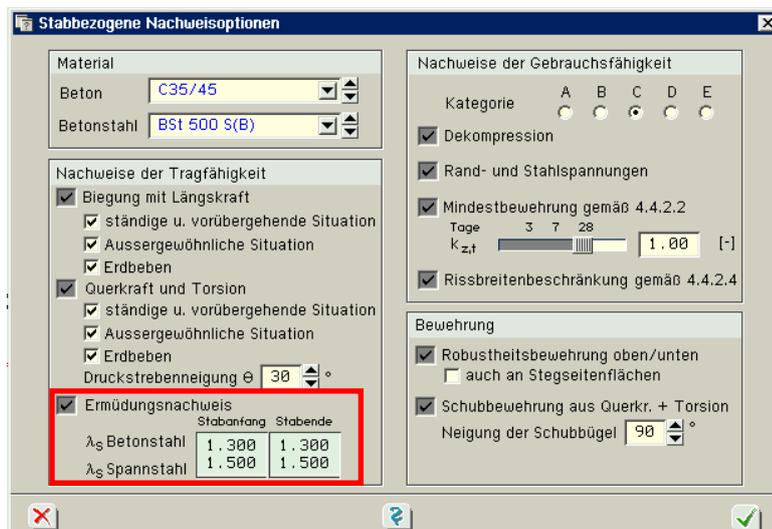


Abb. 68: Stabbezogene Nachweisoptionen Ermüdungsnachweis

Der Faktor λ_s muss vom Anwender entsprechend Fb 102, II-A.106.2, ermittelt werden. Der Wert von λ_s ist stützenweitenabhängig und ist getrennt für Beton- und Spannstahl zu ermitteln.

1.6.1.8.2.3

Verfahren

Dieser Nachweis entspricht dem vereinfachten Ermüdungsnachweis für Betonstahl und Spannstahl mit schädigungsäquivalenten Schwingbreiten. Formal wird der Nachweis wie im Sinne des vereinfachten Nachweises (Stufe 1) geführt. D. h. es werden die schädigungsäquivalenten Spannungen $\Delta\sigma_{s, \text{equ}}$ auf $\Delta\sigma_{s, \text{Rsk}(N^*)}$ begrenzt. Der Nachweis gilt als erfüllt, wenn die Bedingung n. Fachbericht 102, II-4.3.7.5 (102), (Gl 4.191), eingehalten ist:

$$\lambda_{F, \text{fat}} \cdot \lambda_{Ed, \text{fat}} \cdot \Delta\sigma_{s, \text{equ}} \leq \frac{\Delta\sigma_{\text{Rsk}(N^*)}}{\lambda_{s, \text{fat}}}$$

Die schädigungsäquivalente Schwingbreite wird n. Fachbericht 102, II-A.106.2 (103)P, (Gl. A.106.1) und (Gl. A.106.2) berechnet:

$$\Delta\sigma_{s, \text{equ}} = \Delta\sigma_s \cdot \lambda_s$$

$$\text{mit } \lambda_s = \varphi_{\text{fat}} \cdot \lambda_{s,1} \cdot \lambda_{s,2} \cdot \lambda_{s,3} \cdot \lambda_{s,4}$$

1.6.1.9

Nachweis der Betonrandspannungen

Kurzbezeichnung:	FB 102 Betonrandspg. seltene EK
Zusatzbezeichnung:	Bedingung f. Zustand 2 n. FB 102 4.4.1.1 (5)
Programmbezug:	##-SPBR1
Nachweisobjekte:	Massivbrückenstäbe
Kombinationsregel:	FB101, intern
Überlagerungsvorschrift:	Extremalbildungsvorschriften und Lastkollektive
Interne Nummer:	350
optionale Einstellungen	keine
objektbez. Bemessungsangaben	- keine

1.6.1.9.1

Verfahren

N. DIN Fachbericht 102, II-4.4.1, sind die Spannungen für Beton, Betonstahl und Spannstahl zu begrenzen. N. 4.4.1.1 (5) sollte dabei der ungerissene Zustand 1 angenommen werden. Geht der Querschnitt jedoch in den gerissenen Zustand 2 über, muss auch die Berechnung der Spannungen im Zustand 2 erfolgen. N. 4.4.1.1 (5) kann der gerissene Zustand angenommen werden, wenn unter der seltenen Einwirkungskombination die Betonzugfestigkeit f_{ctm} nicht überschritten wird. Die Berechnung der Spannungen erfolgt im Zustand 1. Dieser Nachweis ist daher streng genommen kein Nachweis, sondern ein Indikator, ob die Materialspannungen der eigentlichen Spannungsnachweise im Zustand 1 oder 2 berechnet werden.



Dieser Nachweis muss daher immer aktiviert werden, wenn Spannungsnachweise geführt werden sollen.

1.6.1.10

Nachweis der Rissbreite Klasse A

Kurzbezeichnung:	FB 102 Rissbreite Klasse A
Zusatzbezeichnung:	Mindestbewehrung und Rissbreite FB 102 4.4.2.2/4
Programmbezug:	##-SPBR1
Nachweisobjekte:	Massivbrückenstäbe
Kombinationsregel:	FB101, intern
Überlagerungsvorschrift:	Extremalbildungsvorschriften und Lastkollektive
Interne Nummer:	351

1.6.1.10.1

optionale Einstellungen

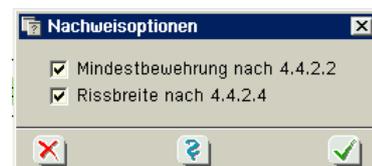


Abb. 69: Nachweisoptionen Rissbreite Klasse A

Optional können die beiden Einzelnachweise (Mindestbewehrung zur Begrenzung der Rissbreite und Berechnung der Rissbreite) deaktiviert werden.

1.6.1.10.2

objektbezogene Bemessungsangaben

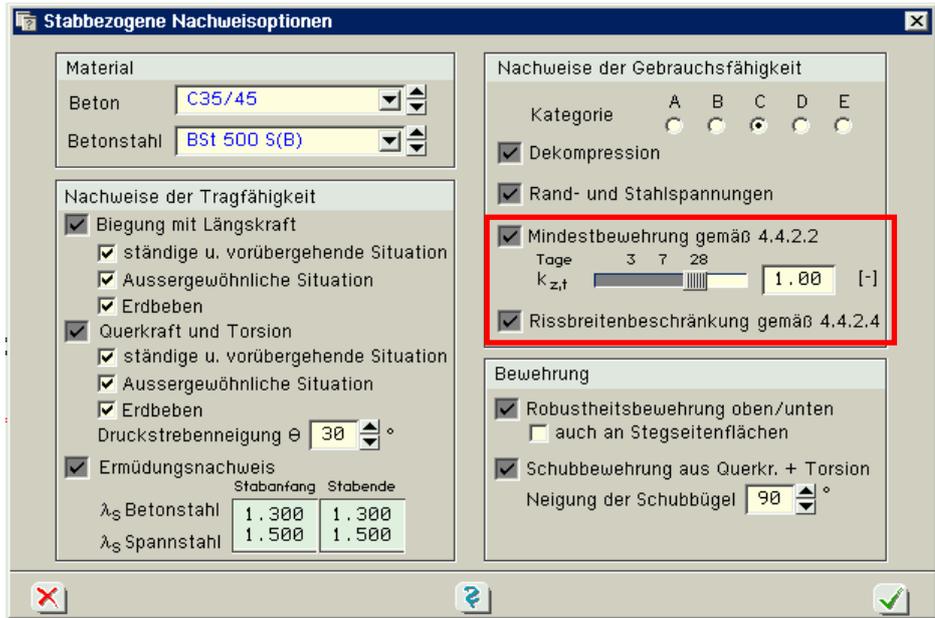


Abb. 70: Stabbezogene Nachweisoptionen Rissbreite Klasse A

Der $k_{z,t}$ - Wert des Zements zur Berechnung der zeitabhängigen Betonzugfestigkeit kann vorgegeben werden.

1.6.1.10.3

Verfahren

Vom Programm werden die Nachweise der Mindestbewehrung zur Begrenzung der Rissbreite n. 4.4.2.2 und die Berechnung der Rissbreite n. 4.4.2.4 geführt. Die Berechnungen erfolgen für die maßgebende Einwirkungskombination n. Tab. 4.118. Um die Nachweise durchführen zu können, muss der Nachweis **Betonrandspannungen unter seltener Einwirkungskombination** (S. 97) eingerichtet werden, da dieser Nachweis notwendig ist um festzustellen, ob sich der Querschnitt im Zustand 1 oder 2 befindet.

1.6.1.11

Nachweis Mindestbewehrung zur Begrenzung der Rissbreite

N. DIN Fachbericht 102, II-4.4.2.2, ist eine Mindestbewehrung zur Begrenzung der Rissbreite gefordert. Das Programm überprüft, ob die vorhandene Grundbewehrung ausreichend ist und berechnet ggf. die erforderliche Zulagebewehrung. Die Mindestbewehrung wird für die Steg ober- und -unterseite berechnet. Bei gegliederten Querschnitten werden zusätzlich die Gurte bemessen, dabei wird die Bewehrung von Gurtober- und -unterseite jeweils zusammengefasst.

1.6.1.12

Nachweis Berechnung der Rissbreite

N. DIN Fachbericht 102, 4.4.2.4, ist eine Begrenzung der Rissbreite gefordert. Die zulässige Rissbreite ist entsprechend der Anforderungsklasse Tab. 4.118 festgelegt. Im Programm erfolgt der Nachweis durch eine direkte Berechnung n. 4.4.2.4, Gl. (4.201).

1.6.1.13

Nachweis der Rissbreite Klasse B

Kurzbezeichnung:	FB 102 Rissbreite Klasse B
Zusatzbezeichnung:	Mindestbewehrung und Rissbreite FB 102 4.4.2.2/4
Programmbezug:	##-SPBR1
Nachweisobjekte:	Massivbrückenstäbe
Kombinationsregel:	FB101, intern
Überlagerungsvorschrift:	Extremalbildungsvorschriften und Lastkollektive
Interne Nummer:	352

1.6.1.13.1 optionale Einstellungen

Wie 1.6.1.10.1 Nachweis der Rissbreite Klasse A (S. 97)

1.6.1.13.2 objektbezogene Bemessungsangaben

Wie 1.6.1.10.2 Nachweis der Rissbreite Klasse A (S. 98)

1.6.1.13.3 Verfahren

Wie 1.6.1.10.3 Nachweis der Rissbreite Klasse A (S. 98)

1.6.1.14 Nachweis der Rissbreite Klasse C/D

Kurzbezeichnung:	FB 102 Rissbreite Klasse C/D
Zusatzbezeichnung:	Mindestbewehrung und Rissbreite FB 102 4.4.2.2/4
Programmbezug:	##-SPBR1
Nachweisobjekte:	Massivbrückenstäbe
Kombinationsregel:	FB101, intern
Überlagerungsvorschrift:	Extremalbildungsvorschriften und Lastkollektive
Interne Nummer:	353

1.6.1.14.1 optionale Einstellungen

Wie 1.6.1.10.1 Nachweis der Rissbreite Klasse A (S. 97)

1.6.1.14.2 objektbezogene Bemessungsangaben

Wie 1.6.1.10.2 Nachweis der Rissbreite Klasse A (S. 98)

1.6.1.14.3 Verfahren

Wie 1.6.1.10.3 Nachweis der Rissbreite Klasse A (S. 98)

1.6.1.15 Nachweis der Rissbreite Klasse E

Kurzbezeichnung:	FB 102 Rissbreite Klasse E
Zusatzbezeichnung:	Mindestbewehrung und Rissbreite FB 102 4.4.2.2/4
Programmbezug:	##-SPBR1
Nachweisobjekte:	Massivbrückenstäbe
Kombinationsregel:	FB101, intern
Überlagerungsvorschrift:	Extremalbildungsvorschriften und Lastkollektive
Interne Nummer:	355

1.6.1.15.1 optionale Einstellungen

Wie 1.6.1.10.1 Nachweis der Rissbreite Klasse A (S. 97)

1.6.1.15.2 objektbezogene Bemessungsangaben

Wie 1.6.1.10.2 Nachweis der Rissbreite Klasse A (S. 98)

1.6.1.15.3 Verfahren

Wie 1.6.1.10.3 Nachweis der Rissbreite Klasse A (S. 98)

1.6.1.16

Nachweis der Betondruckspannungen im Bauzustand

Kurzbezeichnung:	FB 102 Betondruckspg. im BZ
Zusatzbezeichnung:	n. FB 102 4.4.1.2 (102)P
Programmbezug:	##-SPBR1
Nachweisobjekte:	Massivbrückenstäbe
Kombinationsregel:	FB101, intern
Überlagerungsvorschrift:	Extremalbildungsvorschriften und Lastkollektive
Interne Nummer:	360
optionale Einstellungen	keine
objektbez. Bemessungsangaben	- keine

1.6.1.16.1

Verfahren

N. DIN Fachbericht 102, 4.4.1.2 (102)P, sind die maximalen Betondruckspannungen beim Eintrag der Vorspannkkräfte auf $0.6 \cdot f_c(t)$ zu begrenzen. Der Zeitpunkt t zur Berechnung der Betondruckfestigkeit beim Aufbringen der Belastung wird bei den querschnittsabhängigen Kriechparametern eingegeben. Als Lasten werden neben den Vorspannkkräften ausschließlich die Lastfälle des Typs G_1 berücksichtigt. Sind andere Lastfallkombinationen maßgebend, so ist die Extremierungsvorschrift bei der Nachweiseingabe entsprechend zu korrigieren. Um festzustellen, ob sich der Querschnitt im gerissenen Zustand befindet, werden die Spannungen zunächst im Zustand 1 berechnet. Bei Überschreiten der Betonzugfestigkeit erfolgt automatisch eine weitere Berechnung im Zustand 2.

1.6.1.17

Nachweis der Betondruck- und Betonstahlspannungen

Kurzbezeichnung:	FB 102 Betondruck- u. Betonstahlspannungen
Zusatzbezeichnung:	n. FB 102 4.4.1.2 (103)P u. 4.4.1.3 (105)
Programmbezug:	##-SPBR1
Nachweisobjekte:	Massivbrückenstäbe
Kombinationsregel:	FB101, intern
Überlagerungsvorschrift:	Extremalbildungsvorschriften und Lastkollektive
Interne Nummer:	361
optionale Einstellungen	keine
objektbez. Bemessungsangaben	- keine

1.6.1.17.1

Verfahren

N. DIN Fachbericht 102 sind die Spannungen für Beton und Betonstahl im Gebrauchszustand zu begrenzen. Um den Nachweis durchführen zu können, muss der Nachweis **Betonrandspannungen unter seltener Einwirkungskombination** (S. 97) eingerichtet werden, da dieser Nachweis notwendig ist um festzustellen, ob sich der Querschnitt im Zustand 1 oder 2 befindet. Im Einzelnen werden folgende Teilnachweise vom Programm geführt:

1.6.1.17.2

Nachweis der Betondruckspannungen

N. DIN Fb 4.4.1.2 (103)P sind die maximalen **Betondruckspannungen** unter der nicht-häufigen Einwirkungskombination und dem Mittelwert der Vorspannung auf $0.6 \cdot f_{ck}$ zu begrenzen.

1.6.1.17.3

Nachweis der Betonstahlspannungen

N. DIN Fb 4.4.1.2 (105) sind die maximalen Betonstahlzugspannungen unter der nicht-häufigen Einwirkungskombination auf $0.8 \cdot f_{yk}$ zu begrenzen.

1.6.1.18 Nachweis der Betondruckspannungen (K+S wesentlich)

Kurzbezeichnung:	FB 102 Betondruckspg. (K+S wesentl.)
Zusatzbezeichnung:	n. FB 102 4.4.1.2 (104)*P (Kriechen wesentlich)
Programmbezug:	##-SPBR1
Nachweisobjekte:	Massivbrückenstäbe
Kombinationsregel:	FB101, intern
Überlagerungsvorschrift:	Extremalbildungsvorschriften und Lastkollektive
Interne Nummer:	362
optionale Einstellungen	keine
objektbez. Bemessungsangaben	- keine

1.6.1.18.1 Verfahren

N. DIN Fachbericht 102, II-4.4.1.2 (104)*P, sind die maximalen Betondruckspannungen unter der quasi-ständigen Einwirkungskombination auf $0.45 \cdot f_{ck}$ zu begrenzen, wenn die Gebrauchstauglichkeit, Tragfähigkeit oder Dauerhaftigkeit durch das Kriechen wesentlich beeinflusst wird. Um den Nachweis durchführen zu können, muss der Nachweis **Betonrandspannungen unter seltener Einwirkungskombination** (S. 97) eingerichtet werden, da dieser Nachweis notwendig ist um festzustellen, ob sich der Querschnitt im Zustand 1 oder 2 befindet.

1.6.1.19 Nachweis der Spannstahlspannungen

Kurzbezeichnung:	FB 102 Spannstahlspannungen
Zusatzbezeichnung:	Nachweis n. FB 102 4.4.1.4 (1)*P
Programmbezug:	##-SPBR1
Nachweisobjekte:	Massivbrückenstäbe
Kombinationsregel:	FB101, intern
Überlagerungsvorschrift:	Extremalbildungsvorschriften und Lastkollektive
Interne Nummer:	364
optionale Einstellungen	keine
objektbez. Bemessungsangaben	- keine

1.6.1.19.1 Verfahren

N. DIN Fachbericht 102, II-4.4.1.4 (1)*P, sind die maximalen Spannstahlspannungen im Gebrauchszustand auf $0.65 \cdot f_{pk}$ zu begrenzen. Um den Nachweis durchführen zu können, muss der Nachweis **Betonrandspannungen unter seltener Einwirkungskombination** (S. 97) eingerichtet werden, da dieser Nachweis notwendig ist um festzustellen, ob sich der Querschnitt im Zustand 1 oder 2 befindet.

1.6.1.20 Nachweis der Dekompression Klasse A

Kurzbezeichnung:	FB 102 Dekompression Klasse A
Zusatzbezeichnung:	Dekompression n. FB 102 4.4.2 Klasse A
Programmbezug:	##-SPBR1
Nachweisobjekte:	Massivbrückenstäbe
Kombinationsregel:	FB101, intern
Überlagerungsvorschrift:	Extremalbildungsvorschriften und Lastkollektive
Interne Nummer:	371
optionale Einstellungen	keine
objektbez. Bemessungsangaben	- keine

1.6.1.20.1 Verfahren

Gemäß DIN Fachbericht 102, II-4.4.2, ist bei vorgespannten Brücken der Nachweis der Dekompression zu führen. Der Nachweis wird grundsätzlich im Zustand 1 geführt. N. 4.4.2.1 (107)P darf im Grenzzustand der Dekompression entsprechend der gewählten Anforderungsklasse n. Tab. 4.118 unter der maßgebenden Einwirkungskombination keine Zugspannung an dem Rand auftreten, der dem Spannstahl am nächsten liegt.

1.6.1.21 Nachweis der Dekompression Klasse B

Kurzbezeichnung:	FB 102 Dekompression Klasse B
Zusatzbezeichnung:	Dekompression n. FB 102 4.4.2 Klasse B
Programmbezug:	##-SPBR1
Nachweisobjekte:	Massivbrückenstäbe
Kombinationsregel:	FB101, intern
Überlagerungsvorschrift:	Extremalbildungsvorschriften und Lastkollektive
Interne Nummer:	372
optionale Einstellungen	keine
objektbez. Bemessungsangaben	- keine

1.6.1.21.1 Verfahren

Wie 1.6.1.20.1 Nachweis der Dekompression Klasse A (S. 101)

1.6.1.22 Nachweis der Dekompression Klasse C

Kurzbezeichnung:	FB 102 Dekompression Klasse C
Zusatzbezeichnung:	Dekompression n. FB 102 4.4.2 Klasse C
Programmbezug:	##-SPBR1
Nachweisobjekte:	Massivbrückenstäbe
Kombinationsregel:	FB101, intern
Überlagerungsvorschrift:	Extremalbildungsvorschriften und Lastkollektive
Interne Nummer:	373
optionale Einstellungen	keine
objektbez. Bemessungsangaben	- keine

1.6.1.22.1 Verfahren

Wie 1.6.1.20.1 Nachweis der Dekompression Klasse A (S. 101)

1.6.1.23 Nachweis der Hauptzugspannungen

Kurzbezeichnung:	ARS 11/2003, Abs. (16) Hauptzugspannungen
Zusatzbezeichnung:	Schiefe Hauptzugspannungen in Zustand 1
Programmbezug:	##-SPBR1
Nachweisobjekte:	Massivbrückenstäbe
Kombinationsregel:	FB101, intern
Überlagerungsvorschrift:	Extremalbildungsvorschriften und Lastkollektive
Interne Nummer:	373
optionale Einstellungen	keine
objektbez. Bemessungsangaben	- keine

1.6.1.23.1 Verfahren

N. dem Allgemeinen Rundschreiben Straßenbau Nr. 11/2003 vom 7. März 2003 sind die schiefen Hauptzugspannungen im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit unter Wirkung von Querkraft und Torsion auf die Betonzugfestigkeit $f_{ctk;0,05}$ zu begrenzen. Maßgebend ist die häufige Einwirkungskombination. Das Programm ermittelt das Maximum der Hauptzugkraft in der senkrechten Querschnittsmittellinie. Der Verlauf kann bei Bedarf geplottet werden.

2

Verzeichnisse

2.1

Literaturverzeichnis

- /1/ T. Baumann.: Zur Frage der Netzbewehrung von Flächentragwerken. Der Bauingenieur 47 (1972), Heft 10, Springer-Verlag 1972
- /2/ DIN V 18932 Teil 1 „Eurocode 2; Planung von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken. Teil1: Grundlagen und Anwendungsregeln für den Hochbau“. Oktober 1991. Normenausschuss Bauwesen (NABau) im DIN Deutsches Institut für Normung e.V., Beuth Verlag, Berlin.
- /3/ B. Thürlimann: Anwendung der Plastizitätstheorie auf Stahlbeton. Vorlesung zum Fortbildungskurs für Bauingenieure vom 13.-15. April 1983. Institut für Baustatik und Konstruktion, Eidgenössische Technische Hochschule Zürich.
- /4/ D. Bertram & N. Bunke: Erläuterungen zu DIN 1045 Beton und Stahlbeton, Ausgabe 07.88, Heft 400, Deutscher Ausschuss für Stahlbeton, Beuth Verlag GmbH, 1989
- /5/ W. Lippoth & K. Rahlwes: Erläuterungen zu DIN 4227 Teil 1, Abschnitt 12, Heft 320, Deutscher Ausschuss für Stahlbeton, Beuth Verlag GmbH, 1989
- /6/ E. Grasser: Bemessung für Biegung mit Längskraft, Schub und Torsion, Betonkalender Teil I, Verlag Ernst und Sohn, 1985
- /7/ D. Bertram: Erläuterungen zu DIN 4227 Spannbeton (Teil I, Abschnitt 12), Heft 320, Deutscher Ausschuss für Stahlbeton, Beuth Verlag GmbH, 1989
- /8/ H. Friemann: Schub und Torsion in geraden Stäben, Werner-Verlag GmbH, Düsseldorf, 1983
- /9/ P. Schießl: Grundlagen der Neuregelung zur Beschränkung der Rissbreite, Heft 400, Deutscher Ausschuss für Stahlbeton, Beuth Verlag GmbH, 1989
- /10/ P. Noakowski: Verbundorientierte, kontinuierliche Theorie zur Ermittlung der Rissbreite, Beton- und Stahlbetonbau 80 (1985), Nr.7+8
- /11/ K.-W. Bieger: Stahlbeton- und Spannbetontragwerke n. Eurocode 2, Springer-Verlag, 1993
- /12/ K. Zilch & A. Rogge: Bemessung von Stahlbeton und Spannbetonbauteilen im Brücken- und Hochbau, Betonkalender 2004, Verlag Ernst & Sohn, Berlin, 2004
- /13/ K. Zilch, G. Zehetmaier, C. Gläser: Ermüdungsnachweis bei Massivbrücken, Betonkalender 2004, Verlag Ernst & Sohn, Berlin, 2004
- /14/ Rubin, H.: Beispiele für die Berechnung biegesteifer Stabwerke nach der Fließgelenktheorie II. Ordnung auf der Grundlage des Drehwinkelverfahrens. Bauingenieur 55 (1980), S. 147-155.
- /15/ DIN-Fachbericht 101, Einwirkungen auf Brücken, Deutsches Institut für Normung e.V., 2. Auflage März 2003
- /16/ DIN-Fachbericht 102 Betonbrücken, Deutsches Institut für Normung e.V., 2. Auflage März 2003
- /17/ DIN 1045 Beton und Stahlbeton: Bemessung und Ausführung, Deutsches Institut für Normung e.V., Ausgabe Juli 1988.
- /18/ DIN 1045-1 Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton – Teil 1: Bemessung und Konstruktion, Deutsches Institut für Normung e.V., Ausgabe Juli 2001.
- /19/ DIN 1045-1 Tragwerke aus Beton und Stahlbeton, Teil 1: Bemessung und Konstruktion, Kommentierte Kurzfassung, Beuth Verlag GmbH und Fraunhofer IRB Verlag, 2. überarbeitete Auflage 2005
- /20/ Erläuterungen zu DIN 1045-1, Heft 525, Deutscher Ausschuss für Stahlbeton, Beuth Verlag GmbH, 2003.
- /21/ DIN 1055-100 Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 100: Grundlagen der Tragwerksplanung, Sicherheitskonzept und Bemessungsregeln, Deutsches Institut für Normung e.V., Ausgabe März 2001.
- /22/ Mark, P.: Ein Bemessungsansatz für zweiachsig durch Querkräfte beanspruchte Stahlbetonbalken mit Rechteckquerschnitt, Beton- und Stahlbetonbau 100 (2005), Heft 5.

- /23/ ÖNORM B 4700 Stahlbetontragwerke: EUROCODE-nahe Berechnung, Bemessung und konstruktive Durchbildung. Österreichisches Normungsinstitut, Ausgabe: 2001-06-01.
- /24/ DIN EN 1992-1-1, Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetonbauteilen – Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau; Deutsche Fassung EN 1992-1-1:2005, Deutsches Institut für Normung e.V., Ausgabe Oktober 2005.
- /25/ DIN EN 1990, Eurocode: Grundlagen der Tragwerksplanung; Deutsche Fassung EN 1990:2002, Deutsches Institut für Normung e.V., Ausgabe Oktober 2002.
- /26/ DIN EN 1990/A1, Eurocode: Grundlagen der Tragwerksplanung, Anhang A2; Deutsche Fassung EN 1990:2002/A1:2005, Deutsches Institut für Normung e.V., Ausgabe Oktober April 2006.
- /27/ DIN EN 1995-1-1:2010-12, Bemessung und Konstruktion von Holzbauten, Teil 1-1: Allgemeines
- /28/ DIN EN 1995-1-1/NA:2010-12, Nationaler Anhang

2.2 Verzeichnis der Abbildungen

Abb. 1: Positionsbezogene Bemessungsoptionen	7
Abb. 2: Stabbezogene Bemessungsoptionen - einachsig	10
Abb. 3: Stabbezogene Bemessungsoptionen - zweiachsig	11
Abb. 4: Geometrieigenschaften eines Stabes im Faltwerk	12
Abb. 5: Extrapolation des Dehnungszustandes	12
Abb. 6: Ausgewählte Parameter NDP des nationalen Anhangs zum Eurocode 2	14
Abb. 7: Nachweisooptionen Stahlbetonbemessung n. EC 2	14
Abb. 8: objektbezogene Bemessungsangaben Stahlbetonbemessung n. EC 2	15
Abb. 9: Nachweisooptionen Rissnachweis n. EC 2	19
Abb. 10: objektbezogene Bemessungsangaben Rissnachweis n. EC 2	19
Abb. 11: Nachweisooptionen Ermüdungsnachweis n. EC 2	22
Abb. 12: objektbezogene Bemessungsangaben Ermüdungsnachweis n. EC 2	22
Abb. 13: Nachweisooptionen Spannungsnachweis n. EC 2	24
Abb. 14: Positionsbezogene Bemessungsoptionen Spannungsnachweis n. EC 2	25
Abb. 15: Nachweisooptionen DIN 1045-1 - Stahlbetonbemessung	26
Abb. 16: Nachweisooptionen DIN 1045-1 – Querkraftbemessung von Flächentragwerken	26
Abb. 17: objektbezogene Bemessungsangaben DIN 1045-1 - Stahlbetonbemessung	27
Abb. 18: Freie Materialangaben Beton	28
Abb. 19: Freie Materialangaben Betonstahl	28
Abb. 20: Spannungsdehnungsbeziehungen im Zustand der Tragfähigkeit n. DIN 1045-1	29
Abb. 21: Nachweisooptionen Rissnachweis n. DIN 1045-1	35
Abb. 22: objektbezogene Bemessungsangaben DIN 1045-1 - Nachweise	35
Abb. 23: Verwaltung der Einwirkungen	39
Abb. 24: Verwaltung der Nachweise	39
Abb. 25: Generierung benutzerdefinierter Extremierungsvorschriften	39
Abb. 26: Optionen Ermüdungsnachweis n. DIN 1045-1	40
Abb. 27: objektbezogene Bemessungsangaben DIN 1045-1 - Ermüdungsnachweis	40
Abb. 28: Optionen Spannungsnachweis n. DIN 1045-1	42
Abb. 29: Positionsbezogene Bemessungsoptionen Spannungsnachweis n. DIN 1045-1	42
Abb. 30: Nachweisooptionen Stahlbetonbemessung n. ÖN B 4700	44
Abb. 31: objektbezogene Bemessungsangaben Stahlbetonbemessung n. ÖN B 4700	44
Abb. 32: Spannungsdehnungsbeziehungen im Zustand der Tragfähigkeit n. ÖN B 4700	45
Abb. 33: Nachweisooptionen Rissnachweis n. ÖN B 4700	49
Abb. 34: objektbezogene Bemessungsangaben Rissnachweis n. ÖN B 4700	50
Abb. 35: Nachweisooptionen DIN 1045 - Stahlbetonbemessung	52
Abb. 36: objektbezogene Bemessungsoptionen DIN 1045 – Biege- und Schubbemessung	53
Abb. 37: Spannungsdehnungsbeziehungen DIN 1045	53
Abb. 38: Last-Verformungs-Diagramm	56
Abb. 39: Nachweisooptionen Rissnachweis	57
Abb. 40: objektbezogene Bemessungsoptionen DIN 1045 - Rissnachweis	57
Abb. 41: Nachweisooptionen Schwingbreitennachweis DIN 1045	60
Abb. 42: objektbezogene Bemessungsangaben DIN 1045 - Schwingbreitennachweis	60

Abb. 43: Nachweisoptionen Knicksicherheit n. DIN 1045 (Zustand 2).....	61
Abb. 44: Stabbezogene Nachweisparameter DIN 18800.....	63
Abb. 45: Auflösung eines dünnwandigen Querschnitts in Linienelemente	63
Abb. 46: Einstellungen NAD	66
Abb. 47: Einstellungen NAD	67
Abb. 48: Einstellungen NAD	68
Abb. 49: Allgemeine Nachweiseinstellungen.....	69
Abb. 50: Zuordnung der Klasse der Lasteinwirkungsdauer zu einer Einwirkung.....	73
Abb. 51: Stabbezogene Nachweisparameter: Materialkennwerte	73
Abb. 52: Stabbezogene Nachweisparameter: Einkerbungen.....	73
Abb. 53: Stabbezogene Nachweisparameter: Tragfähigkeitsnachweis	74
Abb. 54: Stabbezogene Nachweisparameter: Gebrauchstauglichkeitsnachweis (seltene BS)	76
Abb. 55: Grenzwerte für Verformungen.....	76
Abb. 56: Stabbezogene Nachweisparameter: Gebrauchstauglichkeitsnachweis (quasiständig)	78
Abb. 57: Nachweisoptionen: Brandschutzverfahren.....	78
Abb. 58: Brandbeanspruchung und Restquerschnitt.....	79
Abb. 59: stabbezogene Brandschutzoptionen.....	80
Abb. 60: Stabbezogene Nachweisparameter DIN 1052.....	82
Abb. 61: Stabbezogene Nachweisparameter allgemeines Material.....	85
Abb. 62: Spannungsdehnungsbeziehungen DIN Fachbericht 102	89
Abb. 63: Stabbezogene Nachweisoptionen Tragfähigkeit Schub S/V.....	90
Abb. 64: DIN FB 102, 4.3.2.4.2, Abb. 4.13: Fachwerkmodell für querkraftbewehrte Bauteile	91
Abb. 65: DIN FB 102, 4.3.2.4.5, Abb. 4.14: Querkraftanteil bei veränderlicher Querschnittshöhe	91
Abb. 66: Stabbezogene Nachweisoptionen Robustheitsbewehrung.....	94
Abb. 67: Nachweisoptionen Ermüdungsnachweis Stufe 2.....	96
Abb. 68: Stabbezogene Nachweisoptionen Ermüdungsnachweis	96
Abb. 69: Nachweisoptionen Rissbreite Klasse A.....	97
Abb. 70: Stabbezogene Nachweisoptionen Rissbreite Klasse A	98

2.3 Verzeichnis der Tabellen

Tab. 1: Querkraftausnutzung (DIN 1045-1, Tab. 31).....	32
Tab. 2: Grenzdurchmesser d_s^* bei Betonstählen (Tab. 20 in /19/).....	37
Tab. 3: Mindestanforderungsklassen in Abh. von der Expositions-kl. (DIN 1045-1, Tab. 19, Auszug).....	37
Tab. 4: Anforderungen an die Begrenzung der Rissbreite (DIN 1045-1, Tab. 18, Auszug).....	37
Tab. 5: Grundwerte der Schubspannung τ_0 in N/mm ² unter Gebrauchslast (DIN 1045, Tab. 13)	56
Tab. 6: Grenzdurchmesser $d_{s,gr}$ in mm (DIN 1045, Tab. 14)	58
Tab. 7: Auszug DIN 1045, Tab. 10	58
Tab. 8: Faktor zur Berücksichtigung des Betonalters aus /9/, Tab. 4.....	58

2.4 Index

Auflagergrößen	88	DIN 1045	6, 52
Ausnutzung	64, 82, 83, 85	DIN 1045-1	6, 26
Baumann	7	DIN 1052	82, 83
Bemessungsoptionen	6	DIN 1052:2008	69
Betondruck- u. Betonstahlspannungen	100	DIN 18800	62
Betondruckspannungen	25, 43, 100	DIN 4102-22:2004	69
Betondruckspg. (K+S wesentl.)	101	DIN Fachberichte	89
Betondruckspg. im BZ	100	DIN-Fb 102	6
Betonrandspg. seltene EK	97	Druckstrebenwinkel	91
Betonstahlsorte	27, 45	Durchbiegung Z2	43, 61
Beulnachweis	64	EC 14	
Bewehrungsgitter	7	EC 2	6, 8, 14
Bruchsicherheit	89	EC 5	65, 66, 67, 68
Charakteristische Werte	88	Ermüdung	94
Dekompression Klasse A	101	Ermüdungsnachweis	22, 38
Dekompression Klasse B	102	Ermüdungsnachweis Stufe 1	95
Dekompression Klasse C	102	Ermüdungsnachweis Stufe 2	96

Eurocode 14
 Fachwerkmodell 91
 FB 102 89
 Festigkeitsklasse 27, 45
 Festigkeitsklassen 53
 Fließgelenktheorie 62
 Grasser 52, 55
 Hauptdruckspannung 56
 Hauptdruckspannungen 16, 18, 30, 34, 47, 49
 Hauptdruckspannungsnachweis 52
 Hauptlasten 82
 Hauptmomente 7
 Hauptzugspannungen 102
 Heft 400 52, 55
 Holzbau 82
 Interaktionsbeziehung 64, 83
 Knicksicherheit 43, 61
 Knicksicherheitsnachweis 83
 Lagergrößen 88
 Lastkollektiv 84, 86
 Lastmodell 3 96
 Lastweiterleitung 88
 Leichtbetone 27
 Material, allgemeines 85
 Materialermüdung 60
 Mindestbewehrung 56
 Momentennulldurchgang 52
 Nachweisooptionen 6
 NAD 14
 Noakowski 59
 Normalspannungen 82
 Nutzungsklasse 69
 ÖN B 4700 6, 44
 plastischer Nachweis 64
 Plastischer Nachweis 64
 Plastizierung 63
 Querkraftbemessung 26
 Querkraftbewehrung 92
 Rissbreite Klasse A 97
 Rissbreite Klasse B 98
 Rissbreite Klasse C/D 99
 Rissbreite Klasse E 99
 Rissnachweis 19, 35, 49, 56
 Robustheitsbewehrung 94
 Schießl 59
 Schnittgrößenermittlung 88
 Schubbemessung 16, 30, 47, 52, 54
 Schwingbreitennachweis 59
 Setzungen 89
 Spannstahlspannungen 101
 Spannungsausnutzung 64
 Spannungsberechnung 63, 85
 Spannungsdehnungsbeziehung 29, 45, 54, 89
 Spannungsnachweis 24, 42, 82
 Staffelung 11
 Stahlspannungsdifferenz 60
 Stahlzugspannungen 25, 43
 Straßenbrücken 94
 Stützensenkung 89, 91, 95
 Temperatur 89, 95
 Theorie II. Ord. 43, 60, 83, 86
 Thürlimann 9
 Torsion 18, 34, 48, 82, 91, 92
 Torsionsbewehrung 92
 Tragfähigkeit Biegung A 90
 Tragfähigkeit Biegung E 90
 Tragfähigkeit Schub A 93
 Tragfähigkeit Schub E 93
 Tragfähigkeit Schub S/V 90
 Überzug 12
 Unterzug 12
 Vergleichsspannungsnachweis 63
 Vouten 91
 Zwangsschnittgrößen 91