

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



4H-EC2QB

Querschnittsbemessung

Oktober 2023

4H-EC2QB

Querschnittsbemessung

Copyright 2023

1. Auflage, Oktober 2023

pcae GmbH, Kopernikusstr. 4 A, 30167 Hannover

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**.

Von dort können zudem aktualisierte Programmversionen herunter geladen werden. S. hierzu auch *automatische Patch-Kontrolle* im DTE[®]-System.

Produktbeschreibung

Das Programm *##EC2QB*, Querschnittsbemessung, bemisst beliebige Querschnitte unter ein- oder zweiachsiger Belastung nach Eurocode 2 (Stahlbeton).

Leistungsmerkmale

- die Bemessung kann nach EC 2-1-1 für den allgemeinen Hochbau oder unter Beachtung des EC 2-2 für Betonbrücken geführt werden. Die Brandbemessung erfolgt nach EC 2-1-2.
- die Materialparameter können sowohl **pcae**-eigenen Tabellen entnommen als auch parametrisiert eingegeben werden
- die Materialsicherheit kann entweder normenkonform vorgelegt oder vom Anwender eingegeben werden
- Datensatz-Import- / -Exportfunktionen
- es werden folgende Querschnittsformen unterstützt: Rechteck, Platte, Plattenbalken, Überzug, Doppel-T, Vollkreis, Kreisring. Zudem kann ein polygonaler Querschnitt bemessen werden.
- die Querschnittsformen Rechteck, Plattenbalken, Überzug und Doppel-T können sowohl ein- als auch zweiachsig bemessen werden (der polygonale Q. generell zweiachsig)
- der polygonale Querschnitt wird tabellarisch am Bildschirm verarbeitet
- der polygonale Querschnitt kann über eine Text-Schnittstelle (ASCII-Format) importiert werden
- ist das **pcae**-Programm *##-QUER* vorhanden, kann der Querschnitt als beliebiger dickwandiger, d.h. polygonal umrandeter, Querschnitt einschl. seiner Stahleinlagen definiert werden
- unabhängig voneinander können die folgenden Nachweise geführt werden: Biege-/Schubbemessung, Riss-, Spannungs-, Ermüdungs-, Dichtigkeitsnachweis, Brandbemessung
- für die berechnete (maximal erforderliche) Bewehrung kann eine Bewehrung gewählt werden
- für die maximal erforderliche oder optional die gewählte Bewehrung können der Sicherheitsnachweis geführt und/oder der Dehnungszustand ermittelt werden
- optional wird die berechnete Bewehrung bzw. die minimale Traglast-Sicherheit online am Bildschirm dargestellt
- je Nachweis können beliebig viele Schnittgrößenkombinationen vorgegeben werden
- Schnittgrößenimport aus **pcae**-Stabwerksprogrammen und über Text-Importschnittstelle
- im Ausgabeprotokoll wird bei Bedarf der Rechenweg in ausführlicher Form dargestellt, so dass er nachvollzogen werden kann. Natürlich kann das Statikdokument auch wesentlich reduziert werden.
- Export der Querschnittszeichnung im DXF-Format zur Weiterbearbeitung in einem CAD-System
- englischsprachige Druckdokumentenausgabe

Die Programmentwicklung erfolgt nahezu ausschließlich durch Bauingenieure.

Die interaktiven Steuermechanismen des Programms sind aus anderen Windows- Anwendungen bekannt. Wir haben darüber hinaus versucht, weitestgehend in der Terminologie des Bauingenieurs zu bleiben und *##EC2QB* von detailliertem Computerwissen unabhängig zu halten.

Nach der Installationsanweisung wird eine Übersicht der Funktionalitäten der Steuerbuttons der Eingabeoberfläche gegeben.



Im Sinne eines Leitfadens gedacht, kann das Manual nicht alle Fragen beantworten. Im aktuellen Falle wird dann der Hilfebutton im jeweiligen Eigenschaftsblatt Antwort geben.

Zur *##EC2QB* -Dokumentation gehören neben diesem Handbuch die Manuals

DTE®-DeskTopEngineering und **pcae** - *Stahlbetontheorie*.

Wir wünschen Ihnen viel Erfolg mit *##EC2QB*.

Hannover, im Oktober 2023

Abkürzungen und Begriffe

Um die Texte zu straffen, werden folgende **Abkürzungen** benutzt

GZT - Grenzzustand der Tragfähigkeit

GZG - Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit



signalisiert Anmerkungen

Buttons



Das Betätigen von Buttons wird durch Setzen des Buttoninhalts in **blaue Farbe** symbolisiert.

Rot markierte Buttons bzw. Mauszeiger kennzeichnen erforderliche Eingaben bzw. anzuklickende Buttons.

Zur Definition der Begriffe *Lastbild*, *Lastfall*, *Einwirkung*, *Lastkollektiv* und *Extremalbildungsvorschrift* s. Handbuch *das pcae-Nachweiskonzept*, Theoretischer Teil (als pdf-Dokument auf unserer Website www.pcae.de).

Inhaltsverzeichnis

1	Programminstallation und DTE®-Schreibtisch einrichten	5
2	Ordner und Bauteil erzeugen	7
3	Eingabeoberfläche	9
3.1	Norm, Material, Querschnitt	11
3.1.1	Querschnittsbeschreibung	12
3.1.2	Querschnitte mit einachsiger Bemessung	13
3.1.3	Typisierte Querschnitte mit zweiachsiger Bemessung	13
3.1.4	Rechteckquerschnitt mit beliebigem Bewehrungsbild (zweiachsige Bemessung)	14
3.1.5	Polygonaler Querschnitt (zweiachsige Bemessung)	15
3.2	Biege- und Schubbemessung	18
3.2.1	Biegebemessung	18
3.2.2	Schubbemessung	19
3.2.3	Schubkraftübertragung in Fugen	20
3.2.4	Anschluss der Gurte an den Steg	20
3.2.5	Bemessungsgrößen	21
3.2.6	Biege-/Schubbemessung: Erforderliche Bewehrung	21
3.3	Rissnachweis	22
3.3.1	Zwangsschnittgröße für Bodenplatten oder Fundamente	23
3.3.2	Zwangsschnittgröße für Ortbetonwände auf fertig gestellten Bodenplatten oder Fundamenten	25
3.3.3	Begrenzung der Rissbreite (Last, Last und Zwang)	26
3.3.4	Bemessungsgrößen	26
3.3.5	Rissnachweis: Erforderliche Bewehrung	27
3.4	Spannungsnachweis	28
3.4.1	Bemessungsgrößen	28
3.4.2	Spannungsnachweis: Erforderliche Bewehrung	29
3.5	Ermüdungsnachweis	30
3.5.1	Bemessungsgrößen	31
3.5.2	Ermüdungsnachweis: Erforderliche Bewehrung	31
3.6	Dichtigkeitsnachweis	32
3.6.1	Wasserundurchlässige Bauteile	32
3.6.2	Umgang mit wassergefährdenden Stoffen	32
3.6.3	Nachweis der Mindestdruckzonenhöhe	33
3.6.4	Nachweis der maximalen Rissbreite	33
3.6.5	Nachweis der Mindestbewehrung	33
3.6.6	Bemessungsgrößen	34
3.6.7	Dichtigkeitsnachweis: Erforderliche Bewehrung	34
3.7	Brandbemessung	35
3.7.1	Heißbemessung n. EC 2-1-2, B.2	35
3.7.2	Heißbemessung durchführen	36
3.7.3	Brandbemessung mit Tabelle 5.2a (Methode A) oder Gleichung (5.7)	37
3.7.4	Bemessungsgrößen	37
3.7.5	Brandbemessung: Erforderliche Bewehrung	38
3.8	gewählte Bewehrung	39
3.9	Sicherheitsnachweis / Dehnungszustand	42
3.9.1	Sicherheitsnachweis	42
3.9.1.1	Schnittgrößen	42
3.9.2	Sicherheitsnachweis: Vorhandene Sicherheit	42
3.9.3	Dehnungszustand	43
3.9.3.1	Schnittgrößen	43
3.9.3.2	Dehnungszustand: Grafische Darstellung	43
3.10	Bemessungsschnittgrößen	44
3.10.1	Schnittgrößenimport	45
3.11	Ausdrucksteuerung	47
3.12	Nationale Anhänge zu den Eurocodes	48
4	Literaturverzeichnis	49

1 Programminstallation und DTE®-Schreibtisch einrichten

Die Installation des DTE®-Systems und das Überspielen des Programms #/EC2QB auf Ihren Computer erfolgt über einen selbsterläuternden Installationsdialog.

Sofern Sie bereits im Besitz anderer #/-Programme sind und diese auf Ihrem Rechner installiert sind, können Sie dieses Kapitel überspringen.

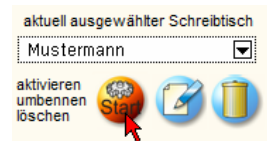


Nach erfolgreicher Installation befindet sich das DTE®-**Startsymbol** auf Ihrer Windowsoberfläche. Führen Sie bitte darauf den Doppelklick aus.

Daraufhin erscheint das Eigenschaftsblatt zur **Schreibtischauswahl**. Da noch kein Schreibtisch vorhanden ist, wollen wir einen neuen einrichten. Klicken Sie hierzu bitte auf den Button **neu**.



Schreibtischname Dem neuen Schreibtisch kann ein beliebiger Name zur Identifikation zugewiesen werden. Klicken Sie hierzu mit der LMT in das Eingabefeld. Hier ist *Mustermann* gewählt worden.

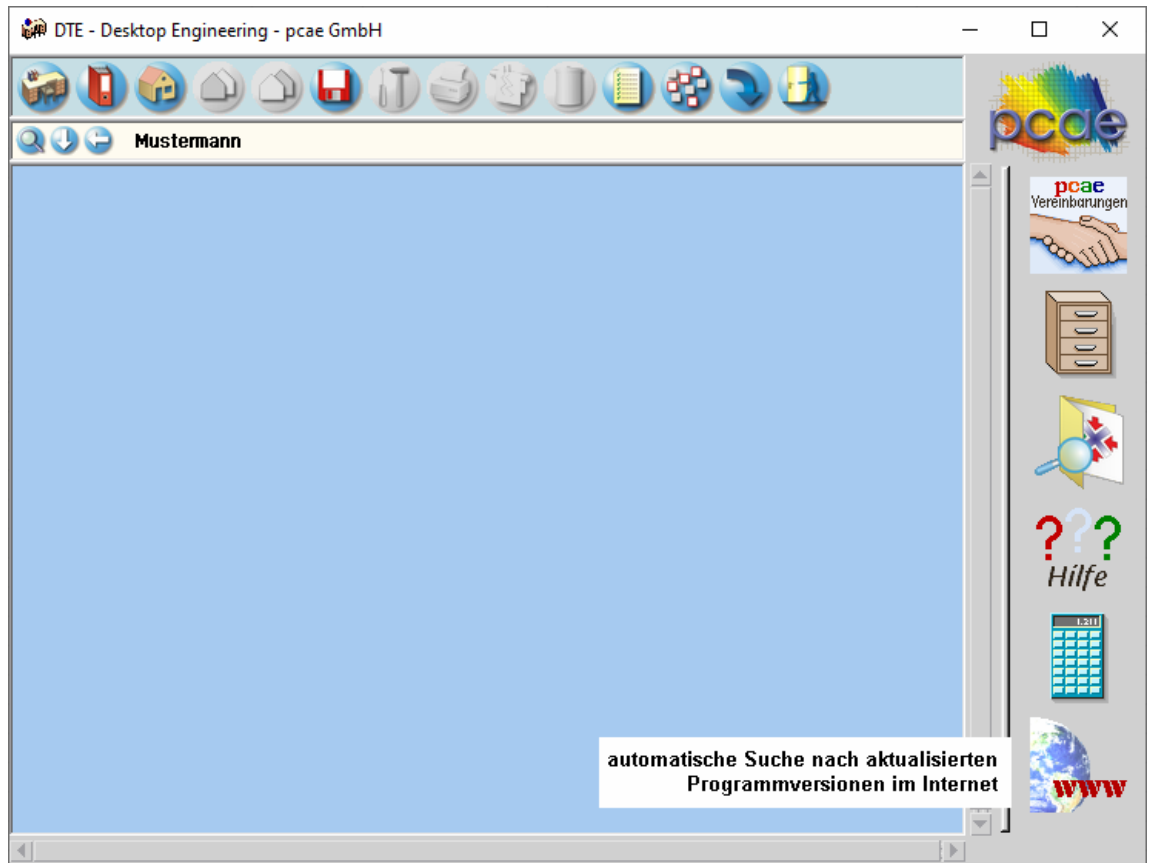


Nach Bestätigen über das **Hakensymbol** erscheint wieder die Schreibtischauswahl, in die der neue Name bereits eingetragen ist. Drücken Sie auf **Start** und die DTE®-Schreibtischoberfläche erscheint auf dem Bildschirm.

DTE® steht für *DeskTopEngineering* und stellt das "Betriebssystem" für **pcae**-Programme und die Verwaltungsoberfläche für die mit **pcae**-Programmen berechneten Bauteile dar.



Zur Beschreibung des DTE®-Systems und der zugehörigen Funktionen s. Handbuch *DTE®-DeskTopEngineering*.



Steuerbuttons

Im oberen Bereich des Schreibtisches sind Interaktionsbuttons lokalisiert.

Die Funktion eines Steuerbuttons ergibt sich aus dem Fähnchen, das sich öffnet, wenn sich der Mauscursor über dem Button befindet.

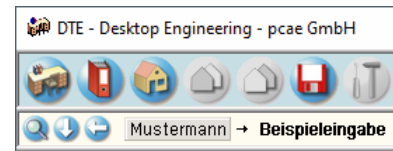
Auf Grund der **Kontextsensitivität** des DTE®-Systems sind manche Buttons solange abgedunkelt und nicht aktiv bis ein Bauteil aktiviert wird.

- | | |
|--|---------------------------------------------------------------------------|
| | Die Buttons bewirken im Einzelnen |
| | öffnet die Schreibtischauswahl |
| | legt einen neuen Projektordner an |
| | erzeugt ein neues Bauteil |
| | kopiert das aktivierte Bauteil |
| | fügt die Bauteilkopie ein |
| | lädt/sichert Bauteile. Hier befindet sich auch der e-Mail-Dienst . |
| | menügesteuerte Bearbeitung des aktivierten Bauteils |
| | druckt die Datenkategorien des aktivierten Bauteils |
| | ruft das Planerstellungsmodule des aktivierten Bauteils |
| | löscht das aktivierte Bauteil/Ordner |
| | öffnet die Bearbeitung der Auftragsliste |
| | öffnet die Mehrfachauswahl zur gleichzeitigen Bearbeitung von Bauteilen |
| | eröffnet Verwaltungsfunktionen |
| | schließt den geöffneten Ordner/beendet die DTE®-Sitzung |

Ordner und Bauteil erzeugen



Durch Erzeugung eines **Ordners** besteht die Möglichkeit, Bauteile einem bestimmten Projekt zuzuordnen. Ein Ordner wird durch Anklicken des nebenstehenden Symbols erzeugt. Der Ordner erscheint auf dem Desktop und kann, nachdem ihm eine Bezeichnung und eine Farbe zugeordnet wurden, per Doppelklick aktiviert (geöffnet) werden.



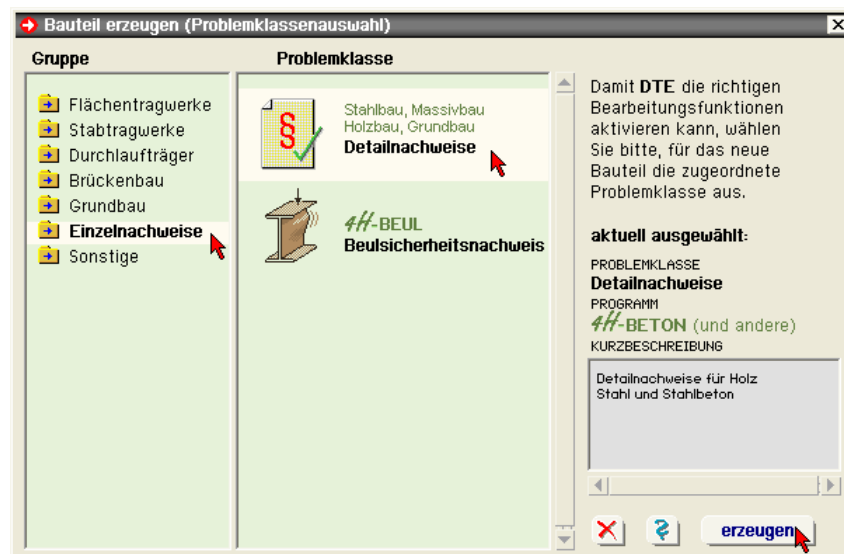
Aus dem Eintrag in der Schreibtischkopfzeile ist zu erkennen, in welchem Ordner sich die Aktion aktuell befindet.



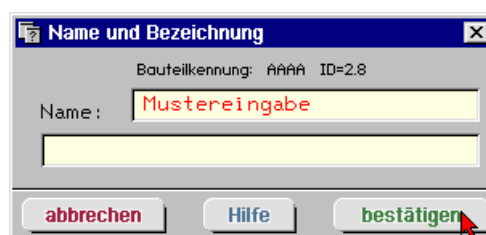
Der Ordner kann durch das **beenden**-Symbol wieder geschlossen werden.



Zur Erzeugung eines neuen Bauteils wird das Schnellstartsymbol in der Kopfleiste des DTE®-Schreibtisches angeklickt. Klicken Sie in dem folgenden Eigenschaftsblatt bitte mit der LMT auf die Gruppe **Einzelnachweise**, dann auf die Problemklasse **Detailnachweise** und abschließend auf den **erzeugen**-Button.

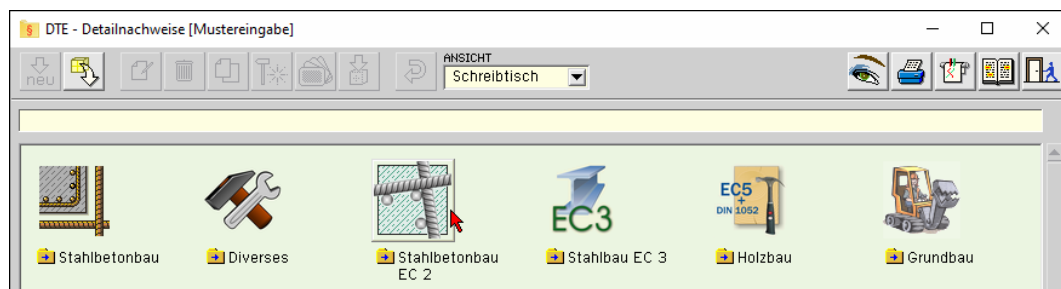


Der schwarze Rahmen der neuen Bauteilkone lässt sich mit der Maus über den Schreibtisch bewegen. Klicken Sie die LMT an der Stelle, an der das Bauteil auf dem Schreibtisch platziert werden soll. Das Eigenschaftsblatt *Name und Bezeichnung* erscheint.

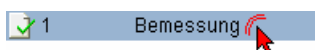
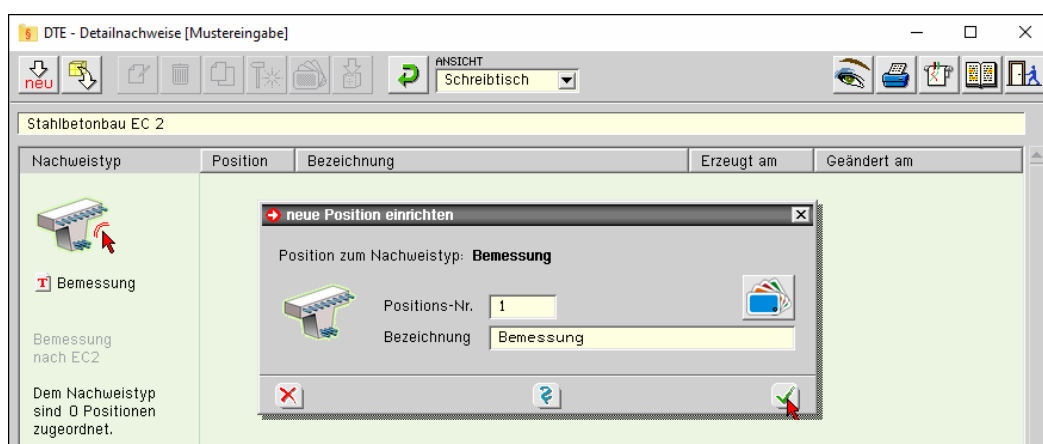
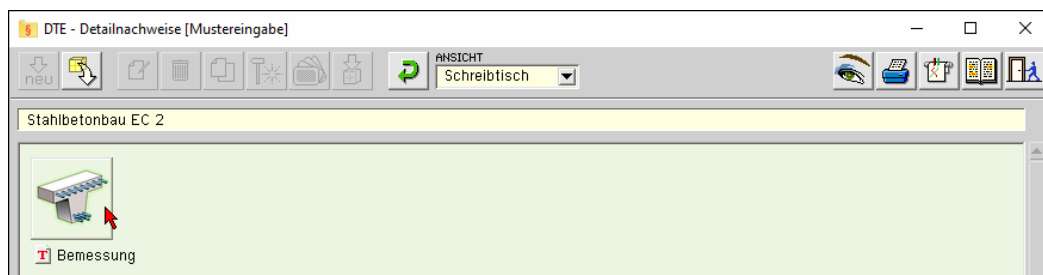


Nach Doppelklick auf dem neuen Bauteilicon, dem eine individuelle Bezeichnung gegeben werden kann, erscheinen die nachfolgend dargestellten Übersichten der Detailnachweise. Klicken Sie das jeweils gekennzeichnete Icon mit der LMT an.

Detailnachweise Stahlbetonbau EC 2



Bemessung



Im rechten Bereich des Eigenschaftsblatts erscheint die neue Position in einem Verzeichnis. Klicken Sie hier bitte doppelt auf den neuen Schriftzug. Daraufhin erscheint die Eingabeoberfläche des Nachweistyps.

Eingabeoberfläche

Die Programmoberfläche enthält eine Reihe von Registerblättern, die die Informationen zu den allgemeinen Parametern *Norm*, *Material*, *Querschnitt*, den *verschiedenen Nachweistypen* sowie der abschließenden *Bewehrungswahl* enthalten.

Im rechten oberen Teil der Oberfläche sind Knöpfe angeordnet, die den Programmablauf beeinflussen. Sind Registerfährnchen mit einem grünen Punkt markiert, ist der entsprechende Nachweis aktiviert.

Material/ Querschn

Norm / Material / Querschnitt, s. Abs. 3.1, S. 11

Im ersten Registerblatt werden die Bemessungsvorschrift, die Materialangaben, die Materialsicherheitsbeiwerte und die Querschnittsgeometrie festgelegt. Der Querschnitt wird maßstäblich am Bildschirm dargestellt. Ist die Online-Berechnung aktiviert, wird die maximal erforderliche Bewehrung am Bildschirm dargestellt.

Biege/ Schub

Biege- / Schubbemessung, s. Abs. 3.2, S. 18

Im zweiten Registerblatt werden Parameter und Schnittgrößen für die Biege- und Schubbemessung eingegeben. Ist die Online-Berechnung aktiviert, wird die erforderliche Bewehrung am Bildschirm dargestellt.

Riss

Rissnachweis, s. Abs. 3.3, S. 22

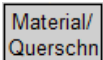
Im dritten Registerblatt werden Parameter und Schnittgrößen für den Rissnachweis eingegeben. Ist die Online-Berechnung aktiviert, wird die erforderliche Bewehrung am Bildschirm dargestellt.

Spann

Spannungsnachweis, s. Abs. 3.4, S. 28

Im vierten Registerblatt werden Parameter und Schnittgrößen für den Spannungsnachweis eingegeben. Ist die Online-Berechnung aktiviert, wird die erforderliche Bewehrung am Bildschirm dargestellt.

-  **Ermüd** Ermüdungsnachweis, s. Abs. 3.5, S. 30
Im fünften Registerblatt werden Parameter und Schnittgrößen für den Ermüdungsnachweis eingegeben. Ist die Online-Berechnung aktiviert, wird die erforderliche Bewehrung am Bildschirm dargestellt.
-  **Dicht** Dichtigkeitsnachweis, s. Abs. 3.6, S. 32
Im sechsten Registerblatt werden Parameter und Schnittgrößen für den Dichtigkeitsnachweis eingegeben. Ist die Online-Berechnung aktiviert, wird die erforderliche Bewehrung am Bildschirm dargestellt.
-  **Brand** Brandnachweis, s. Abs. 3.7, S. 35
Im siebten Registerblatt werden Parameter und Schnittgrößen für den Brandnachweis eingegeben. Ist die Online-Berechnung aktiviert, wird die erforderliche Bewehrung am Bildschirm dargestellt.
-  **Bewehr** Bewehrung wählen, s. Abs. 3.8, S. 39
Im achten Registerblatt kann Bewehrung gewählt werden. Ist die Online-Berechnung aktiviert, wird die gewählte der maximal erforderlichen Bewehrung am Bildschirm gegenüber gestellt.
-  **Spezial** Sicherheitsnachweis / Dehnungszustand, s. Abs. 3.9, S. 42
Im neunten Registerblatt werden Parameter und Schnittgrößen für den Sicherheitsnachweis und/oder den Dehnungszustand eingegeben.
-  **Online-Berechnung**
Ist der **auto**-Button **an**, wird während der Dateneingabe die Bemessung online durchgeführt und die jeweils erforderliche Bewehrung am Bildschirm protokolliert.
-  **nationaler Anhang**, s. Abs. 3.12, S. 48
Weiterhin ist zur vollständigen Beschreibung der Berechnungsparameter der dem Eurocode zuzuordnende nationale Anhang zu wählen. Über den **NA-Button** wird das entsprechende Eigenschaftsblatt aufgerufen.
-  **Ausdrucksteuerung**, s. Abs. 3.11, S. 47
Im Eigenschaftsblatt, das nach Betätigen des **Druckeinstellungs-Buttons** erscheint, wird der Ausgabeumfang der Druckliste festgelegt.
-  **Druckliste einsehen**
Das Statikdokument kann durch Betätigen des **Visualisierungs-Buttons** am Bildschirm eingesehen werden.
-  **Ausdruck**
Über den **Drucker-Button** wird in das Druckmenü gewechselt, um das Dokument auszudrucken. Hier werden auch die Einstellungen für die Visualisierung vorgenommen.
-  **Onlinehilfe**
Über den **Hilfe-Button** wird die kontextsensitive Hilfe zu den einzelnen Registerblättern aufgerufen.
-  **Eingabe beenden**
Das Programm kann mit oder ohne Datensicherung verlassen werden. Beim Speichern der Daten wird die Druckliste aktualisiert und in das globale Druckdokument eingefügt.



Im ersten Register werden die nachweisunabhängigen Parameter festgelegt.

In einer Liste werden die beiden zur Verfügung stehenden Bemessungsregeln (Normen) **EC 2 Hochbau** und **EC 2 Betonbrücken** (s. Literatur Abs. 4, S. 49) angeboten.

Der aktuelle nationale Anhang (NA) wird eingeblendet.

In einer Liste werden die zur Verfügung stehenden Betonstahl- und Betongüten angeboten.

Die Namen (z.B. B500A) stehen für eine Reihe von Parametern, die zur Berechnung verwendet werden.

Jeweils am Ende der Liste kann über den Eintrag **frei** auf diese Parameter direkt zugegriffen werden.

Bei einachsiger Bemessung wird für jede Lage (oben/unten bzw. außen/innen) eine eigene Stahlgüte erwartet.

Für den Beton stehen weitere Attribute zur Verfügung, die die Tragfähigkeit des Materials im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit (GZG) kennzeichnen.

Norm EC 2 Hochbau ☐
NA: Deutschland

Material

Betonstahl B500A ☐
Spannungsdehnungslinie der Bewehrung EC 2, 3.2.2 ☐ anzeigen
bilinear

Beton C30/37 ☐
☐ Betonzugspannungen berücksichtigen
nur bei Nachweisen im GZG
☐ Kriechen und Schwinden des Betons
nur bei Nachweisen im GZG

Spannungsdehnungslinie des Betons im GZT EC 2, 3.1.7 ☐ anzeigen
Parabel-Rechteck

Spannungsdehnungslinie des Betons im GZG EC 2, 3.1.5 ☐ anzeigen
wirklichkeitsnah

Es können Betonzugspannungen sowie Kriechen und Schwinden berücksichtigt werden.

Die Spannungsdehnungslinie des Betonstahls wird n. EC 2, 3.2.2, bilinear approximiert.

Die Spannungsdehnungslinie des Betons im Grenzzustand der Tragfähigkeit (GZT) entspricht n. EC 2, 3.1.7, einem Parabel-Rechteck-Diagramm.

Die Spannungsdehnungslinie des Betons im GZG kann aus einer Liste ausgewählt werden.

Standardmäßig wird die 'wirklichkeitsnahe' Linie für Verformungsberechnungen n. EC 2, 3.1.5, verwendet. Die Spannungsdehnungslinien können zum besseren Verständnis am Bildschirm angezeigt werden.

Eine Beschreibung der Baustoffe sowie der o.a. Funktionen finden Sie im Handbuch **pcae - Stahlbetontheorie** (als pdf-Dokument auf unserer Web-Site pcae.de).

Das Bemessungskonzept des Eurocode sieht vor, dass die Schnittgrößen (Lastseite) mit Teilsicherheitsbeiwerten und die Baustoffe (Materialseite) mit Material Sicherheitsbeiwerten gewichtet werden.

Material Sicherheitsbeiwerte

Bemessungssituation Grundkombination ☐

Tragfähigkeit (GZT)	γ_c	1.50	γ_s	1.15
Gebrauchstauglichkeit (GZG)	γ_c	1.00	γ_s	1.00
Ermüdung	$\gamma_{c,fat}$	1.50	$\gamma_{s,fat}$	1.15

Die Bemessung erfolgt für die gewichteten Schnittgrößen (Bemessungsgrößen), die in Abhängigkeit der Belastungsart (Kombination) festgelegt wurden.

Daher können die Material Sicherheitsbeiwerte für die **Grundkombination**, **Erdbeben-Kombination** oder **außergewöhnliche Kombination** nach EC 0 vom Programm vorgelegt werden (s. NA).

Analog zu den Beton- und Stahlgüten kann über den Eintrag **frei** am Ende der Liste auf die Beiwerte direkt zugegriffen werden.

Nähere Informationen zum Sicherheitskonzept finden Sie gleichfalls im Handbuch **pcae - Stahlbetontheorie** (als pdf-Dokument auf unserer Web-Site pcae.de).

Optional kann die Expositionsklasse des Bauteils berücksichtigt werden.

Bei einachsiger Bemessung (außer Kreisquerschnitten) kann sie für jede Bewehrungslage (oben/unten) eingegeben werden.

☒ **Expositionsklasse**

für Bewehrungskorrosion XC3 ☐
für Betonangriff XA1 ☐

max. Bewehrungsgrad ρ_s 8.00 %

☒ Anfangsbewehrung aus Biegebemessung übernehmen

Anhand der Expositionsklasse werden die Betondeckung und die Mindestbetongüte überprüft. Sind die Werte unterschritten, erfolgt eine Fehlermeldung.

Nähere Informationen zur Dauerhaftigkeit und Betondeckung finden Sie gleichfalls im Handbuch [pcae - Stahlbetontheorie](#) (als pdf-Dokument auf unserer Web-Site [pcae.de](#)).

Zur Interpretation des Endergebnisses ist die Eingabe des maximalen Bewehrungsgrads obligatorisch. Wird er überschritten, erfolgt eine Fehlermeldung.

Die Nachweise im GZG werden im Unterschied zur Bemessung im GZT iterativ geführt. Der Anfangszustand, d.h. die in die Nachweise eingehende Bewehrung, sollte für ein stabiles und wirtschaftliches Ergebnis möglichst sinnvoll gewählt sein. Es besteht die Möglichkeit, die aus der Biegebemessung resultierende Bewehrung als Anfangsbewehrung vorzusehen.

Der eingegebene Datenzustand kann exportiert (temporär gesichert) und in einem Bauteil derselben Klasse (hier: `##-EC2QB`) wieder importiert werden.

► Daten exportieren

► Daten importieren

Wenn Daten aus dem Programm `##-BETON` übernommen werden sollen, ist `##-BETON` mit dem betreffenden Datensatz zu öffnen und mit Speichern wieder zu verlassen.

► Daten aus `##-BETON` importieren

Dabei wird die Transferdatei geschrieben, die über den entsprechenden Button in das Programm `##-EC2QB` geladen werden kann.

3.1.1

Querschnittsbeschreibung

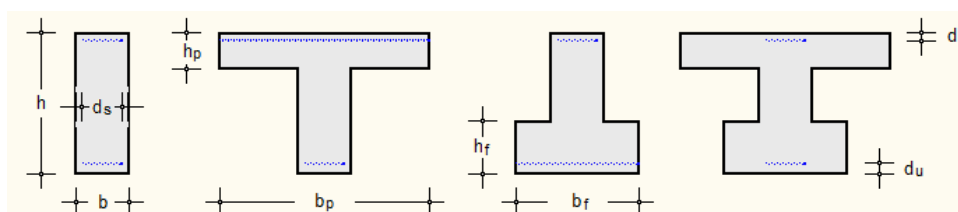
Das Programm `##-EC2QB` verwaltet die Querschnittstypen **Rechteck**, **Plattenbalken**, **Überzug**, **Doppel-T**, die sowohl einachsig als auch zweiachsig bemessen werden können.

Querschnittstyp

Rechteck

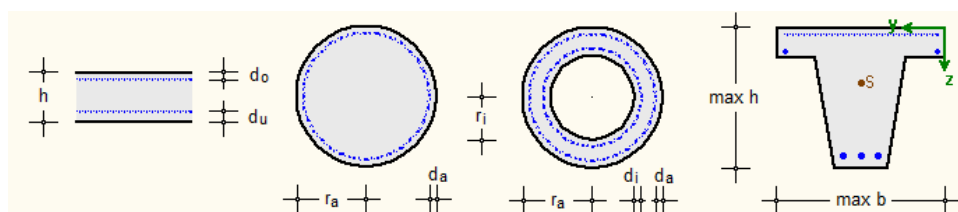
☒ einachsig Bemessung

☐ zweiachsig Bemessung



Die Querschnittstypen **Platte**, **Kreis** (Kreisrohr als Hohlprofil) sind einachsige Querschnitte, das **Polygon** ist ein zweiachsiger Querschnitt.

Der Querschnittstyp **Platte** bezeichnet eine einachsig gespannte Platte als Sonderfall des Rechteckquerschnitts mit einer festgelegten Breite von 1 m.



Für die typisierten Querschnitte (**Rechteck**, **Plattenbalken**, **Überzug**, **Doppel-T**, **Platte**, **Kreis**) können die geometrischen Parameter schnell und einfach eingegeben werden. Der **polygonale Querschnitt** ist über seine Querschnittskoordinaten zu definieren (Beschreibung s.u.).

Rechteck, Plattenbalken, Überzug, Doppel-T, Platte:

Gesamthöhe/Stegbreite	h	80.0	cm	b	30.0	cm
Plattendicke/-breite (oben)	h_o	20.0	cm	b_o	120.0	cm
Fußdicke/-breite (unten)	h_u	30.0	cm	b_u	60.0	cm
Kreis:						
Außen-/Innenradius	r_a	50.0	cm	r_i	30.0	cm

3.1.2

Querschnitte mit einachsiger Bemessung

Bei 'einachsigen' Querschnitten wird nur Normalkraft und Biegung um die y-Achse betrachtet, daher sind nur der obere und untere Querschnittsrand relevant; bei Kreisquerschnitten der äußere; bei Kreisrohren der äußere und innere Querschnittsrand.

Dementsprechend sind die Achsabstände der Bewehrung sowie die Grundlängsbewehrung, die sich unabhängig vom Bemessungsergebnis im Querschnitt befindet, festzulegen.

Rechteck, Plattenbalken, Überzug, Doppel-T, Platte:

Achsabstände oben/unten d_o cm d_u cm

Kreis:

Achsabstand außen/innen d_a cm d_i cm

nur Rechteck:

Achsabstand seitlich d_s cm nur Brandbemessung

Die Achsabstände bezeichnen den Abstand der Schwerachse der jeweiligen Bewehrung zum nächstgelegenen Betonrand.

Nur bei Rechteckquerschnitten besteht bei der Brandbemessung, s. Abs. 3.7, S. 35, die Möglichkeit, auch die Seitenwände zu betrachten. In dem Fall ist der seitliche Abstand des Schwerpunkts der äußeren Bewehrungsstäbe anzugeben.

☒ Grundbewehrung in mm

Längsbewehrung oben mm

Längsbewehrung unten mm

oben/unten A_{so} cm² A_{su} cm²

Querkraftbewehrung mm / cm -schnittig

a_{sb} cm²/m

Wie oben erwähnt sollte im Querschnitt stets eine sinnvolle Anfangsbewehrung vorgesehen werden. Dies kann auch eine konstruktive Bewehrung sein, die über die Grundbewehrung eingegeben werden kann. Die Grundbewehrung kann in cm² oder über Stabdurchmesser definiert werden.

Erfolgt die Eingabe über die Stabdurchmesser, wird die Grund-Längsbewehrung in cm² bzw. Grund-Querkraftbewehrung in cm²/m am Bildschirm protokolliert. Nur diese Werte gehen in die Berechnung ein.

3.1.3

Typisierte Querschnitte mit zweiachsiger Bemessung

Die zweiachsige Bemessung erfolgt durch Iteration des Sicherheitsnachweises. Dazu muss die Lage der Bewehrung bekannt sein.

Bewehrungsvariante Einzelbewehrung

Achsabstände oben/unten d_o cm d_u cm

Achsabstände links/rechts d_l cm d_r cm

Beim Rechteck-Querschnitt besteht die Möglichkeit, eine linienverteilte Bewehrung oder einzelne Bewehrungsstäbe (oder Stabbündel) anzugeben. Bei der linienverteilten Bewehrung werden die A_s -Werte [cm²] über die Linie (den Linienzug) verteilt, d.h. $a_{s, \text{Linie}} = A_s / L_{\text{Linie}}$ [cm²/m]. Die übrigen Querschnitte können nur eine Einzelbewehrung erhalten.

Bewehrungsanordnung
Rang 0: Bewehrung wird ignoriert (Bemessung).

Nr.	y cm	z cm	Grp	A_{s0} cm ²	A_{s1} cm ²	Rang	\emptyset_r mm	Θ_{sm}
1:	11.0	74.0	1	0.00	10.00	1	20	700.0
2:	-11.0	74.0	2	0.00	10.00	1	20	700.0
3:	-11.0	4.0	3	0.00	10.00	2	10	700.0
4:	11.0	4.0	4	0.00	10.00	2	10	700.0

Bezogen auf das angegebene Koordinatensystem (in der Mitte der Querschnittsoberkante) werden die Angaben der Achsabstände in Querschnittskoordinaten umgerechnet und in einer Tabelle aufgeführt.

Jeder Stab bzw. jede Linie erhält eine eigene Gruppe. Die Stab- bzw. Gruppennummern werden am Bildschirm angezeigt.

Einer Bewehrungsgruppe sind die Parameter

A_{s0} Grundbewehrung

A_{s1} max. Bewehrung dieser Gruppe

Rang Rangnummer in der Bewehrungsreihenfolge (s. Biegebemessung, Abs. 3.2.1, S. 18)

φ_r Stabdurchmesser der Rissbewehrung (s. Rissnachweis, Abs. 3.3, S. 22)

θ_{sm} mittlere Temperatur (s. Brandbemessung, Abs. 3.7, S. 35)

zugeordnet.

Die Grundbewehrung A_{s0} bezeichnet die (konstruktive) Bewehrung, die in dieser Gruppe mindestens vorhanden ist.

Unabhängig vom vorgeschriebenen maximalen Bewehrungsgrad gibt es eine geometrische Obergrenze der Bewehrungsmenge A_{s1} , die in dieser Gruppe nicht überschritten werden darf.

Die Biegebemessung erfolgt iterativ für einen gegebenen Bewehrungszustand. Beginnend mit A_{s0} und der aktiven Rangnummer 1 wird die Bewehrung derjenigen Gruppen mit der aktiven Rangnummer (= aktive Gruppe) so lange erhöht, bis ein zulässiger Gleichgewichtszustand oder A_{s1} erreicht ist. Die Bewehrungsmengen in den inaktiven Gruppen bleiben unverändert. Ist A_{s1} der aktiven Gruppen erreicht, werden die Gruppen mit der nächsthöheren Rangnummer aktiv.

Es stehen maximal vier Rangstufen zur Verfügung. Ist in allen Gruppen A_{s1} erreicht und wurde kein Gleichgewichtszustand gefunden, erfolgt eine Fehlermeldung.

Der Durchmesser der rissverteilenden Bewehrung kann für jede Gruppe variiert werden.

Wird für die Brandbemessung n. EC 2-1-2, B.2 (Zonenmethode), kein Temperaturprofil berechnet, sind an dieser Stelle die mittleren Stahltemperaturen θ_{sm} je Bewehrungsgruppe vorzugeben.

Analog zur Grund-Längsbewehrung A_{s0} kann eine Grund-Querkraftbewehrung a_{sbv0} in cm^2/m berücksichtigt werden.

Grund-Querkraftbewehrung a_{sbv0} 3.35 cm^2/m

3.1.4

Rechteckquerschnitt mit beliebigem Bewehrungsbild (zweiachsige Bemessung)

Bewehrungsvariante frei

Bewehrungsanordnung
Rang 0: Bewehrung wird ignoriert (Bewessung).

Zeile löschen
Zeile duplizieren
neue Zeile anhängen

Nr.	y cm	z cm	Grp	A_{s0} cm^2	A_{s1} cm^2	Rang	θ_{sm}
1:	11.0	74.0	1	0.00	10.00	1	700.0
2:	0.0	74.0	2	0.00	10.00	1	700.0
3:	-11.0	74.0	3	0.00	10.00	1	700.0
4:	-11.0	4.0	4	0.00	10.00	2	700.0
5:	0.0	4.0	5	0.00	10.00	2	700.0
6:	11.0	4.0	6	0.00	10.00	2	700.0

neu →

Für den Rechteck-Querschnitt gibt es die Möglichkeit, die Bewehrung beliebig vorzugeben (nur Einzelbewehrung). Dazu ist die Bewehrungsvariante **frei** zu wählen. Die Koordinateneingabe der Tabelle wird offen gelegt, so dass Bewehrungsstäbe eingegeben bzw. modifiziert werden können.

Die Stab- bzw. Gruppennummern werden am Bildschirm angezeigt.

Zur Beschreibung der weiteren Parameter s.o..

3.1.5

Polygonaler Querschnitt (zweiachsige Bemessung)

Querschnittskordinaten

▶ Einlesen aus Text-Datei
 ▶ Importieren von **HH-QUER**

Einzel- und Linienbewehrungen dürfen nicht der selben Bewehrungsgruppe Grp angehören. A_{s0} , A_{s1} , Rang gelten jeweils für die gesamte Gruppe.
 Gruppe 0, Rang 0 (Bemessung): Bewehrung wird ignoriert.

▶ Alle Koordinaten löschen
 ▶ Bewehrung löschen
 Zelle löschen
 Zelle duplizieren
 neue Zeile anhängen

Nr.	y cm	z cm	Typ	Grp / A_c -/cm ²	A_{s0} cm ²	A_{s1} cm ²	Rang
1:	96.0	0.0	B				
2:	0.0	0.0	B				
⋮	⋮	⋮	⋮				
19:	4.0	4.0	L	3			

neu →

Die Geometrie des polygonalen Querschnitts kann auf verschiedene Arten in das System eingegeben werden.

Maßgeblich sind die Parameter der am Bildschirm angezeigten Tabelle. Darin werden punktweise die Koordinaten, der Typ, ggf. die Gruppe oder Querschnittsfläche des Punkts sowie die Parameter A_{s0} , A_{s1} und Rang angegeben.

Zur Bedeutung der Parameter s.o..

Aus einer Liste ist der Typ des Punkts auszuwählen. Er kann sein

- B Berandung (Betonaußenrand)
- A polygonale Aussparung (Betoninnenrand)
- P punktförmige Aussparung (Hohlrohr)
- E Einzelbewehrung
- L linienförmige Bewehrung

Der Betonaußenrand wird durch ein geschlossenes Polygon beschrieben. Gehört ein Punkt zum Außenrand, ist keine weitere Eingabe von Parametern notwendig. Zur Beschreibung eines Polygons sind mindestens drei Punkte erforderlich.

Es können bis zu fünf polygonale Aussparungen als voneinander unabhängige geschlossene Polygone angegeben werden. Sie müssen sich innerhalb des Betonquerschnitts befinden, dürfen den Außenrand nicht berühren oder schneiden. Die Gruppennummer des Punkts bezeichnet die Zugehörigkeit zu der Aussparung Grp.

Eine punktförmige Aussparung (Hohlrohr) erhält eine kreisförmige Fehlfläche A_c (positiv eingeben). Sie muss sich innerhalb des Betonquerschnitts befinden und darf den Außenrand nicht berühren.

Ein einzelner Bewehrungsstab oder ein Stabbündel gehört einer Bewehrungsgruppe Grp an. Alle Einzelbewehrungen dieser Gruppe erhalten dieselben Parameter A_{s0} , A_{s1} und Rang.

Eine Linienbewehrung wird durch einen offenen Polygonzug beschrieben (mindestens zwei Punkte). Die Linien des Polygonzugs müssen sich innerhalb des Betonquerschnitts befinden, dürfen den Außenrand oder andere Linien nicht berühren oder schneiden. Jeder Punkt des Polygonzugs muss einer einheitlichen Bewehrungsgruppe Grp angehören. Die Parameter A_{s0} , A_{s1} und Rang beziehen sich auf den gesamten Polygonzug bzw. die gesamte Gruppe.

Alternativ kann ein polygonaler Querschnitt wirtschaftlich und effizient über eine steuerwortbezogene Text-Schnittstelle (ASCII-Code) eingelesen werden.

- ▶ Einlesen aus Text-Datei
 ▶ Importieren von **HH-QUER**

Nach Betätigen des gelb unterlegten Aktions-Buttons wird der entsprechende Dateiname (komplette Pfadangabe) abgefragt.

Die Steuerworte werden mit '#' eingeleitet und bezeichnen die u.a. Abschnitte.

Steuerworte #Berandung, #Aussparung,
#Einzelbewehrungsgruppe, #Linienbewehrungszug:
Es werden Wertepaare (y, z) eingelesen.
Steuerwort #Punktaussparungen:
Es werden Wertegruppen (y, z, A) eingelesen.

```
#Berandung
96.000000 0.000000
0.000000 0.000000
0.000000 17.000000
22.000000 17.000000
33.000000 80.000000
63.000000 80.000000
74.000000 17.000000
96.000000 17.000000
```

Anschließend werden zeilenweise Wertepaare eingelesen.

Die Berandung sollte nur einmal vorkommen.

Je Aussparung, Einzelbewehrungsgruppe und Linienbewehrungszug ist ein eigener Steuerblock zu definieren, der in der Reihenfolge des Vorkommens nummeriert wird.

Berandung und Aussparung müssen jeweils mindestens drei Koordinaten-Zeilen (Punkte), ein Linienbewehrungszug mindestens zwei Koordinaten-Zeilen enthalten.

```
#Aussparung
30.000000 17.000000
38.000000 64.000000
58.000000 64.000000
66.000000 17.000000
```

```
#Einzelbewehrungsgruppe
58.000000 73.000000
38.000000 73.000000
48.000000 73.000000
```

```
#Einzelbewehrungsgruppe
4.000000 14.000000
92.000000 14.000000
```

```
#Linienbewehrungszug
92.000000 4.000000
4.000000 4.000000
```

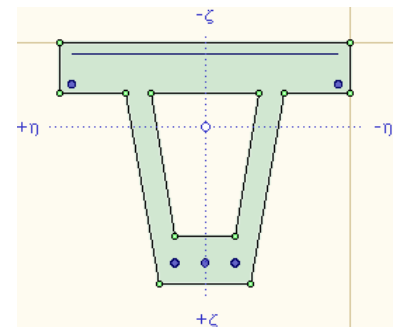
Beispiel zur Eingabe einer Text-Datei

Die Daten werden in die Tabelle *Querschnittskordinaten* übertragen, Bewehrungsangaben sind manuell nachzurüsten.

Eine weitere Möglichkeit der Eingabe eines polygonalen Querschnitts besteht in der Anwendung des externen **pcae**-Programms **##-QUER** (separat erhältlich), das über den gelb unterlegten **Aktions**-Button aufgerufen wird.

Hier kann der Querschnitt mittels eines CAD-Tools einschl. Bewehrung aufgebaut und an das Programm **##-EC2QB** übergeben werden. Weitere Informationen zur Anwendung von **##-QUER** finden Sie im zugehörigen Handbuch.

Beispiel zur Eingabe in **##-QUER**

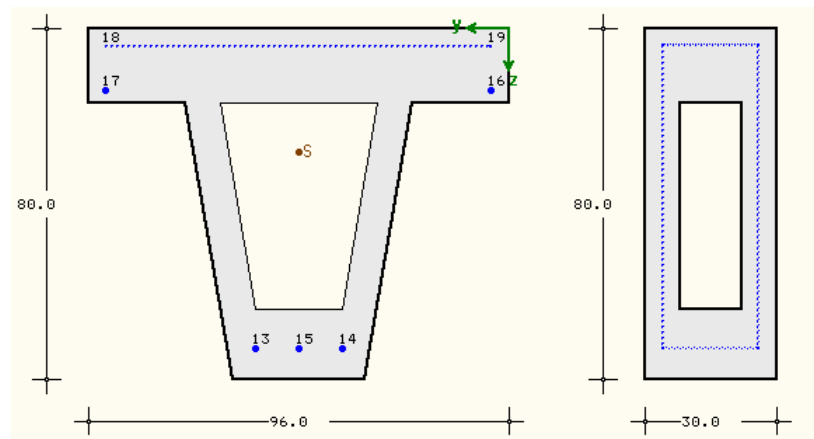


Die Schubbemessung kann für einen polygonalen Querschnitt nicht erfolgen. Daher ist ein Ersatzquerschnitt festzulegen, der optional als Hohlquerschnitt definiert werden kann.

Ersatzquerschnitt für die Schubbemessung

Höhe	h	<input type="text" value="80.0"/>	cm		
Breite	b	<input type="text" value="30.0"/>	cm		
<input checked="" type="checkbox"/> Hohlquerschnitt					
Gurte oben/unten	h _o	<input type="text" value="17.0"/>	cm	h _u	<input type="text" value="16.0"/>
Steg links/rechts	b _l	<input type="text" value="8.0"/>	cm	b _r	<input type="text" value="8.0"/>
Achsabstände oben/unten	d _o	<input type="text" value="4.0"/>	cm	d _u	<input type="text" value="7.0"/>
Achsabstände links/rechts	d _l	<input type="text" value="4.0"/>	cm	d _r	<input type="text" value="4.0"/>

Die Querschnitte werden maßstabsgetreu am Bildschirm dargestellt.



3.2

Biege- und Schubbemessung

Biege/
Schub

Im zweiten Register werden die Parameter und die Schnittgrößen für die Biege- und Schubmessung festgelegt.

3.2.1

Biegebemessung

<input checked="" type="checkbox"/> Biegebemessung		
<input checked="" type="checkbox"/> Mindestbewehrung	Träger	
Bewehrungsanordnung	Begrenzung d. Druckzone	nur einachsig
<input type="checkbox"/> Grenzwert vorgeben		
<input checked="" type="checkbox"/> Mindestausmitte n. EC 2, 6.1(4)		
<input checked="" type="checkbox"/> Rangfolge automatisch (lastfallweise variabel)		nur zweiachsig, nicht Polygon

- **Mindestbewehrung** - Die Mindestbewehrung kann wahlweise für Träger n. EC 2, 9.2.1.1(1) oder Stützen n. EC 2, 9.5.2(2) berücksichtigt werden.

Wird **Träger/Stütze** ausgewählt, ermittelt das Programm die Mindestbewehrung automatisch in Abhängigkeit von der Schnittgrößenkombination, ob ein Biege- oder Druckglied vorliegt.

- **Bewehrungsanordnung** - Bei einachsiger Bemessung kann die Bewehrungsanordnung gesteuert werden.

Die Option **nur Zugbewehrung** legt fest, dass keine Druckbewehrung vorhanden sein soll (i.A. bei Platten, da Druckbewehrung speziell umbügelt werden muss).

Wird eine **symmetrische Bewehrung** gewählt, liegt auf beiden Querschnittsseiten die gleiche Bewehrungsmenge (i.A. bei Stützen).

Die **Begrenzung der Druckzone** ermöglicht eine wirtschaftliche Bemessung in Abhängigkeit des Grenzwerts $\lim k_x$. Wird der Grenzwert nicht vorgegeben, erfolgt dessen Berechnung durch das Programm in Abhängigkeit der Beton- und Stahldehnungen mit $\lim k_x = \epsilon_{c2u} / (\epsilon_{c2u} - \epsilon_{s0}) \leq 1$ mit $\epsilon_{s0} = f_{yk} / E_s$.

Beim Querschnittstyp **Platte** muss n. EC 2, 5.6.3(2) gelten $\lim k_x \leq 0.45$ für Normalbeton bis einschl. C50/60, sonst $\lim k_x \leq 0.35$ (n. EC 2-2, 5.6.3(102): $\lim k_x \leq 0.30$ für Normalbeton bis einschl. C50/60, sonst $\lim k_x \leq 0.23$).

- **Mindestausmitte** - N. EC 2, 6.1(4) sollte für Querschnitte mit Drucknormalkräften eine Mindestausmitte eingehalten werden.
- **Rangfolge** - Bei zweiachsiger Bemessung erfolgt die Biegebemessung für eine festgelegte Rangfolge (s. Reg. 1 Abs. 3.1, S. 11).

Bei mehreren unterschiedlichen Lastfällen (z.B. wechselnden Momenten) kann es sinnvoll sein, die Rangfolge an die jeweilige Schnittgrößenkombination anzupassen.

Zu Grunde gelegt wird die Spannungsausnutzung der Bewehrungsgruppen (gilt nicht für Polygon oder Rechteck mit freiem Bewehrungsbild).

Wesentliche Hinweise zur Biegebemessung finden Sie im Handbuch **pcae - Stahlbetontheorie** (als pdf-Dokument auf unserer Web-Site pcae.de).

Sind **Zwischenergebnisse** aktiviert (s. Ausdrucksteuerung Abs. 3.11, S. 47), wird in der Druckliste zu jeder Lastkombination der Grenzdehnungszustand ausgegeben.

<input checked="" type="checkbox"/> Schubbemessung		
Materialgüte der Schubbewehrung		wie Biegebew. ▾
Neigungswinkel der Querkraftbewehrung	α	90 °
<input checked="" type="radio"/> Bemessung als Balken <input checked="" type="radio"/> mit Mindestbewehrung <input checked="" type="radio"/> z aus Biegebemessung	<input type="radio"/> ... als Platte <input type="radio"/> ohne Mindestbewehrung <input type="radio"/> Annahme: $z = 0,9 d$	einachsig, 'als Platte' nur Rechteck zweiachsig 'z aus Biegebemess.' nur einachsig
<input checked="" type="checkbox"/> Kontrolle: $z \leq d - c_{v,D} - \min(c_{v,D}, 3,0)$ mit $c_{v,D}$		3,0 cm
Druckstrebenwinkel		vereinfacht ▾
<input checked="" type="checkbox"/> Querkraftwiderstand $V_{Rd,c}$ begrenzen		
Wirksamkeitsfaktor	α_k	0,800
<input checked="" type="checkbox"/> Torsion: effektive Wanddicke (=0: nach Norm)		t_{eff} 0,0 cm
		nur Kreis

Bei Bedarf kann die zusätzlich die Bemessung für Querkraft und/oder Torsion erfolgen.

- **Materialgüte** - Es kann eine andere als bei der Biegebemessung festgelegte Stahlgüte für die Schubbewehrung festgelegt werden. Wird das Material **Gitterträger** ausgewählt, sollte auch die Biegebemessung mit Gitterträgern erfolgen.
- **Neigungswinkel** - Der Neigungswinkel der Querkraftbewehrung beträgt i.A. 90°. Wird das Material **Gitterträger** ausgewählt, sollte der Neigungswinkel dem des Gitterträgers entsprechen.
- **Mindestbewehrung** - Bei **Balken** ist stets eine Mindestquerkraftbewehrung vorzusehen, bei **Platten** nur, wenn Querkraftbewehrung statisch erforderlich ist. Liegt der Querschnittstyp **Rechteck** (einachsig) vor, kann zwischen den Optionen gewählt werden.
- **innerer Hebelarm z** - Bei einachsiger Bemessung kann der innere Hebelarm entweder aus der Biegebemessung übernommen oder vereinfachend mit $z = 0,9 d$ angenommen werden. Bei zweiachsiger Bemessung kann nur die Vereinfachung ausgewählt werden. Der innere Hebelarm darf jedoch den Maximalwert nicht überschreiten, der von der Betonüberdeckung zur Druckbewehrung (Verlegemaß) $c_{v,D}$ abhängt.
- **Druckstrebenwinkel** - Der Druckstrebenwinkel ist abzuschätzen, muss allerdings innerhalb von Grenzen liegen. Dabei gilt: Je geringer der Druckstrebenwinkel (minimal), desto weniger Querkraftbewehrung wird berechnet, jedoch um so größer ist die Verankerungslänge der Längsbewehrung.
Für einen sinnvollen Wert kann der Druckstrebenwinkel vereinfacht n. EC 2, NA-DE, NDP zu 6.2.3(2) gesetzt werden; er kann natürlich auch **frei** vorgegeben werden.
- **Querkraftwiderstand $V_{Rd,c}$** - N. EC 2, 6.2.2(1) darf eine Mindesttragfähigkeit des Querschnitts für Querkraft ohne Querkraftbewehrung angenommen werden.
- **Wirksamkeitsfaktor** - (nur Kreis): Da die Rundbügel bei Kreisquerschnitten eine geringere Wirksamkeit aufweisen als die Bügel in eckigen Querschnitten, kann ein Abminderungsfaktor vorgegeben werden.
- **Torsion** - Nur bei aktiviertem **Torsions**-Button erfolgt eine Torsionsbemessung. Die effektive Wanddicke kann nach Norm berechnet oder vom Anwender vorgegeben werden.

Wesentliche Hinweise zur Schubbemessung finden Sie im Handbuch **pcae - Stahlbetontheorie** (als pdf-Dokument auf unserer Web-Site pcae.de).

3.2.3

Schubkraftübertragung in Fugen

<input checked="" type="checkbox"/> Schubkraftübertragung in horizontalen Verbundfugen		nur einachsig, nicht Kreis	
in der Fuge wirkender Querkraftanteil	V_{Ed}	1.00	$\cdot V_{Ed}$
Normalkraft senkrecht zur Fuge (> 0: Zugfuge)	n_{Ed}	0.00	kN/m
Kontaktfläche	Stegbreite	30.0	cm
Oberflächenbeschaffenheit der Fuge		glatt	
<input type="checkbox"/> dynamische Beanspruchung der Fuge			

Einachsig beanspruchte Querschnitte (Rechteck, Platte, Plattenbalken, Überzug, nicht Kreis) können als Verbundbauteile (z.B. Elementdecken, Unter-, Überzüge) hergestellt werden. Da die Verbundbauteile zu unterschiedlichen Zeiten betoniert werden, ist die horizontale Verbundfuge zu bemessen.

- **Querkraftanteil** - Bei Teilfugen kann hier der Anteil der Querkraft festgelegt werden, der durch die Fuge übertragen werden muss.
- **Normalkraft** - Wenn die Normalkraft senkrecht zur Fuge (z.B. aus angehängten Lasten) größer als Null eingegeben wird, liegt eine Zugfuge vor. Hier kann kein Reibungsanteil zum Ansatz gebracht werden, weshalb eine Zugfuge für die Schubübertragung ungünstig viel Bewehrung erfordert.
- **Kontaktfläche** - Fugen können im Steg oder in der Gurtplatte (Plattenbalken, Überzug) angeordnet sein. Die Breite zur Übertragung der Schubkraft durch die Fuge ist festzulegen. Sie kann der Stegbreite oder der Plattenbreite entsprechen und kann auch frei festgelegt werden.
- **Oberflächenbeschaffenheit** - Die Oberflächenbeschaffenheit der Fuge kann **sehr glatt**, **glatt**, **rau**, **verzahnt** sein und beeinflusst den Reibungs- und Adhäsionsanteil. Es gilt: Je rauer die Oberfläche, desto besser der Verbund und weniger Verbundbewehrung.
- **dynamische Beanspruchung** - Durch eine dynamische Beanspruchung des Bauteils und damit auch der Fuge wird die Adhäsionsfähigkeit herabgesetzt.

Wesentliche Hinweise zur Verbundbemessung finden Sie im Handbuch **pcae** - *Stahlbetontheorie* (als pdf-Dokument auf unserer Web-Site pcae.de).

3.2.4

Anschluss der Gurte an den Steg

<input checked="" type="checkbox"/> Anschluss der Gurte an den Steg		nur einachsig für Plattenbalken, Überzug, Doppel-T ausgelagert	
maximales Differenzmoment	$ \Delta M_{Ed} $	200.000	kNm
zugehörige Eintragungslänge	a_v	100.0	cm
ausgelagerter Bewehrungsanteil im Gurt	Σ	60	%

Bei einachsig beanspruchten Querschnitten mit abstehenden Querschnittsteilen (die Gurte von Plattenbalken, Überzug, Doppel-T) kann der Anschluss der Gurte an den Steg nachgewiesen werden.

- **Differenzmoment** - Das Differenzmoment erzeugt über seine Eintragungslänge eine Längsschubspannung am Anschluss Gurt/Steg. Die Schubspannung ist über Druck- und Zugstreben nachzuweisen.
- **Eintragungslänge** - Als Eintragungslänge darf höchstens der halbe Abstand zwischen Momentennullpunkt und Momentenmaximum angenommen werden. Wirken Einzellasten darf der Abstand zwischen den Einzellasten nicht überschritten werden.
- **ausgelagerter Bewehrungsanteil** - Bei Zuggurten ist der insgesamt (also rechts und links) ausgelagerte Anteil [%] der Bewehrung anzugeben. Ist der Anteil Null, wird ein ausgelagerter Bewehrungsanteil von 60% angenommen.

Wesentliche Hinweise dazu finden Sie im Handbuch **pcae** - *Stahlbetontheorie* (als pdf-Dokument auf unserer Web-Site pcae.de).

3.2.5

Bemessungsgrößen

Schnittgrößen im Grenzzustand der Tragfähigkeit (i.A. ständige und veränderliche Bemessungssituation)

Schnittgrößen aus Bauteil importieren Schnittgrößen aus Text-Datei einlesen

	N_{Ed} kN	$M_{y,Ed}$ kNm	$V_{z,Ed}$ kN	$M_{z,Ed}$ kNm	$V_{y,Ed}$ kN	$T_{t,Ed}$ kNm
1:	0.0	100.0	200.0	0.0	0.0	30.0

Biege- und Schubbemessung werden im Grenzzustand der Tragfähigkeit geführt. Die Bemessungsgrößen können manuell eingegeben, aus einem **pcae**-Programm importiert oder aus einer Text-Datei eingelesen werden.

Der Übersichtlichkeit halber werden nur die Felder freigelegt, die für den vorgegebenen Querschnitt relevant sind.

Bei der Biege- und Schubbemessung werden Normalkraft, Biegemomente, Querkräfte und St. Venant'sche Torsion berücksichtigt.

Weitere Informationen zur Eingabe der Bemessungsgrößen finden Sie unter Abs. 3.10, S. 44.

3.2.6

Biege-/Schubbemessung: Erforderliche Bewehrung

erf A_{s0}	7.93	cm ²	erf A_{su}	4.09	cm ²	Längsbewehrung einachsig			
erf A_{s1}	3.03	cm ²	erf A_{s2}	0.00	cm ²	erf A_{s3}	0.00	cm ²	Längsbewehrung zweiachsig
erf a_{sbu}	5.83	cm ² /m	erf a_{sbT}	2.92	cm ² /m	erf A_{sT}	3.71	cm ²	Schubbewehrung
erf a_{sfo}	2.19	cm ² /m	erf a_{sbi}	9.72	cm ² /m	Anschluss-, Verbundbewehrung			

Ist die Online-Berechnung (**auto**-Button) aktiviert, wird die berechnete (erforderliche) Bewehrung am Bildschirm protokolliert.

Riss

Im dritten Register werden die Parameter und die Schnittgrößen für den Rissnachweis festgelegt. Der Rissnachweis für Polygone ist nicht implementiert.

Der Rissnachweis besteht aus zwei Teilnachweisen

- die Ermittlung der Mindestbewehrung zum Zeitpunkt der Erstrissbildung vor Lastaufbringung n. EC 2, 7.3.2 und
- die Berechnung der Bewehrung aus Lastbeanspruchung nach Beendigung der Rissbildung, für die im Eurocode zwei Verfahren angeboten werden

Beim Teilnachweis der Berechnung der Bewehrung aus Lastbeanspruchung wird eine vorhandene Bewehrungssituation nachgewiesen. Ist der Nachweis nicht eingehalten, wird die Bewehrungsmenge erhöht.

<input checked="" type="checkbox"/> Rissnachweis	<input type="checkbox"/> nur Check (keine Bewehrungserhöhung)		
Nachweisverfahren	EC 2, 7.3.2 + 7.3.4 Berechnung		
zul. Rissbreite oben/unten	w_{ko}	0.40 mm	w_{ku} 0.30 mm einachsig
Stabdurchmesser oben/unten	σ_{ro}	10	σ_{ru} 20
zul. Rissbreite	w_k	0.30 mm	zweiachsig
Stabdurchmesser σ_r s. Bewehrungsanordnung			

- **nur Check** - Es besteht die Möglichkeit, nur den vorgegebenen Bewehrungszustand (ohne Bewehrungserhöhung) nachzuweisen
- **Nachweisverfahren** - Mit EC 2, 7.3.2 + 7.3.3, wird die Mindestbewehrung berechnet und die Bewehrung aus Lastbeanspruchung n. EC 2, 7.3.3 (Begrenzung der Rissbreite ohne direkte Berechnung) ermittelt.

Mit EC 2, 7.3.2 + 7.3.4, wird die Mindestbewehrung berechnet und die Bewehrung aus Lastbeanspruchung n. EC 2, 7.3.4 (Berechnung der Rissbreite), ermittelt.

- **zul. Rissbreite** - Die zulässige Rissbreite ist anzugeben. Bei einachsiger Bemessung können unterschiedliche Rissbreiten für die betrachteten Ränder definiert werden.
- **Stabdurchmesser** - Je betrachteter Querschnittsrand bzw. je Bewehrungsgruppe ist der Stabdurchmesser für die rissverteilende Bewehrung anzugeben.

Ist eine Grundbewehrung mit Stabdurchmesser vorgesehen oder liegt eine zweiachsigte Bemessung vor (s. Register 1, Abs. 3.1, S. 11), wird dieser für den Rissnachweis verwendet.

<input checked="" type="checkbox"/> Mindestbewehrung (Zwang/Eigenspannungen)
<input checked="" type="checkbox"/> Abfluss der Hydratationswärme (vereinfacht)
Betonzugfestigkeit bei Erstrissbildung $f_{ct,eff} = 0.65 \cdot f_{ctm}$
Beiwert für nichtlineare Eigenspannungen selbst induziert
Beiwert für die Spannungsverteilung zentr. Zwang
<input type="checkbox"/> Zwangsschnittgröße vorgeben
<input type="checkbox"/> langsam erhärtender Beton

- **Mindestbewehrung** - Die Berechnung der Mindestbewehrung infolge Zwang / Eigenspannungen zum Zeitpunkt der Erstrissbildung kann an-/abgeschaltet werden.
- **Abfluss der Hydratationswärme** - Nach Norm werden einige Parameter zum Zeitpunkt des Abflusses der Hydratationswärme vom Programm gesetzt. Ist dieser Schalter nicht aktiviert, können diese Werte manuell geändert werden.
- **Die Betonzugfestigkeit bei Erstrissbildung $f_{ct,eff}$** - ist von der mittleren Zugfestigkeit f_{ctm} abhängig. Der Beiwert k_{ct} kann gesetzt oder vom Programm berechnet werden.

Zement	CEM	32.5 R	Klasse N (mittel)
Betonvorgang im		Frühjahr/Herbst	
Betonalter bei Erstrisbildung	t_{crit}	24	h
Betonzugfestigkeit bei Erstrisbildung	$f_{ct,eff} =$	0.50	$\cdot f_{ctm}$ <input checked="" type="checkbox"/> berechnen

Für die Berechnung von k_{ct} sind die Zementklasse, die Jahreszeit des Betonvorgangs und das Betonalter bei Erstrisbildung anzugeben (s. *Lohmeyer/Ebeling, Tafel 4.18*).

- **Beiwert für nichtlineare Eigenspannungen** - Der Beiwert k kann selbst oder außerhalb induziert oder frei (manuell) eingegeben werden.
- **Beiwert für die Spannungsverteilung** - Der Beiwert k_c kann aus Biegezwang oder zentrischem Zwang resultieren.
- **Zwangsschnittgröße** - Ist die Zwangsschnittgröße bekannt, kann sie an dieser Stelle sowohl für zentrischen Zwang (z.B. bei Betonieren auf einer Folie) als auch für Biegezwang (z.B. eine Vorspannkraft) angegeben werden.

Für die Querschnittstypen **Platte** oder **Rechteck einachsrig** können spezielle Zwangsschnittgrößen (nur für zentrischen Zwang) vom Programm berechnet werden.

- **langsam erhärtender Beton** - Bei langsam erhärtendem Beton (beachte Zementgüte) darf die Mindestbewehrung reduziert werden (gilt nicht für die Berechnung der Zwangsschnittgröße für Bodenplatten oder Ortbetonwände).

3.3.1

Zwangsschnittgröße für Bodenplatten oder Fundamente

Die Querschnittstypen **Platte** und **Rechteck einachsrig** können als Bodenplatte nachgewiesen werden, bei der die Zwangsschnittgröße n Lohmeyer/Ebeling berechnet wird.

Bezogen auf den Bruttoquerschnitt wird die berechnete Zwangsschnittgröße am Bildschirm protokolliert.

⊕ Zwangsschnittgröße für Bodenplatten berechnen			
Länge Platte	L_p	25.00	m
Breite Platte	B_p	18.00	m
Wichte Platte (Stahlbeton)	ρ_p	25.0	kN/m ³
ständige Auflast Platte	q_p	2.00	kN/m ²
Reibungsbeiwert Boden-Platte	μ_0	0.80	γ_R 1.25
<input checked="" type="checkbox"/> Unterbeton Dicke	t_u	5.0	cm
E-Modul	E_u	27000.0	N/mm ²
<input checked="" type="checkbox"/> Boden Steifemodul	E_e	8000.0	N/mm ²
Temperaturdifferenz	ΔT_{crit}	15.0	K <input checked="" type="checkbox"/> berechnen
Wärmedehnzahl des Frischbetons	α_T	12.7	$\cdot 10^{-6}$ 1/K <input checked="" type="checkbox"/> berechnen
E-Modul bei Erstrisbildung	$E_{c,eff} =$	0.83	$\cdot E_{cm}$ <input checked="" type="checkbox"/> berechnen
<input type="checkbox"/> Nachweis für späten Zwang			

- **Länge, Breite, Wichte, ständige Auflast der Platte** - Die Länge der Platte legt die Richtung fest, in der die Reibungskraft (Zwangsschnittgröße) wirkt.

Wichte und ständige Auflast sind Bemessungswerte. Die Dicke der Platte entspricht der Höhe bzw. Dicke des Querschnitts.

- **Reibungsbeiwert Boden-Platte** - Der Reibungsbeiwert μ_0 ist als charakteristische Größe mit dem Sicherheitsbeiwert γ_R für Reibung einzugeben.

⊕ der Trocknung ausgesetzt	U_c	100.0	cm Umfang
⊖ wirksame Querschnittsdicke	h_0	60.0	cm $= 2 \cdot A_c / U_c$

Die Berechnung erfolgt unter Berücksichtigung der wirksamen Querschnittsdicke, die sich aus dem der Trocknung ausgesetzten Umfang des Bauteils ergibt (bei Bodenplatten mit $U_c = 100$ cm ergibt sich $h_0 = 2 \cdot h$).

- **Unterbeton** - Bei Bedarf kann Unterbeton mit seiner Dicke t_u und dem E-Modul E_u berücksichtigt werden.
- **Boden** - Ebenso kann optional die Steifigkeit des Bodens (Steifemodul E_e) in die Berechnung einbezogen werden.

- **Temperaturdifferenz, Wärmedehnzahl, E-Modul** - Werden Unterbeton und/oder Boden berücksichtigt, sind die Temperaturdifferenz, Wärmedehnzahl des Frischbetons und der E-Modul bei Erstrissbildung anzugeben oder vom Programm zu berechnen.
- **Beiwert Gesteinskörnung** - Wird der E-Modul vom Programm berechnet, kann der Einfluss der Gesteinskörnung berücksichtigt werden. Es gilt n. Heft 425, DAfStb

$\alpha_{E,g} = 1.2$ für Basalt, dichter Kalkstein

$\alpha_{E,g} = 1.0$ für Quarz, Quarzite

$\alpha_{E,g} = 0.9$ für Kalkstein

$\alpha_{E,g} = 0.7$ für Sandstein

- **später Zwang** - Wird das Bauteil für späten Zwang nachgewiesen, wird programmintern das Betonalter bei Erstrissbildung auf $t_{crit} = 28 \text{ d} = 672 \text{ h}$ gesetzt.

Damit ergeben sich die Betonzugfestigkeit zu $f_{ct,eff} = f_{ctm}$, die Wärmedehnzahl des Betons zu $\alpha_T = 10^{-5} \text{ 1/K}$ und der E-Modul zu $E_{c,eff} = E_{cm}$.

Der Berechnungsablauf wird anhand eines Beispiels dargestellt.

Zeitpunkt der Rissentstehung $t_{crit} = 1.2 \cdot t_{max,T} + 20 = 56 \text{ h}$,
 $t_{max,T} = 30 \text{ h}$ für normal erhärtenden Beton (CEM 32.5 R) und $h_0 = 60.0 \text{ cm}$
 Betonzugfestigkeit bei Erstrissbildung $f_{ct,eff} = k_{ct} \cdot f_{ctm} = 1.98 \text{ N/mm}^2$,
 Beiwert $k_{ct} = k_j \cdot k_{ct}(t) = 0.68$ für normal erhärtenden Beton (CEM 32.5 R) und $t_{crit} = 56 \text{ h}$, $k_{ct}(t) = 0.68$,
 $k_j = 1.0$ (Frühjahr/Herbst)
Berechnung der Zwangsschnittgröße für Bodenplatten
 Abmessungen der Sohlplatte $L_p = 25.00 \text{ m}$, $B_p = 18.00 \text{ m}$, $t_p = 30.0 \text{ cm}$
 Trennrissbildung in Sohlplatten (Reibungsmodell)
 Zwangsschnittgröße $N_{ct,1} = \gamma_{ct} \cdot \mu_d \cdot \sigma_0 \cdot L_p / 2 = 118.75 \text{ kN/m}$, $\gamma_{ct} = 1.00$
 Bemessungswert der Reibung $\mu_d = \gamma_R \cdot \mu_0 = 1.000$, $\gamma_R = 1.25$, $\mu_0 = 0.80$
 Sohlpressung $\sigma_0 = t_p \cdot \rho_p + q_p = 9.50 \text{ kN/m}^2$, $\gamma_g = 1.00$, $\rho_p = 25.0 \text{ kN/m}^3$, $q_p = 2.00 \text{ kN/m}^2$
 Kopplung von Bodenplatte und Baugrund (FE-Modell)
 Zwangsschnittgröße $N_{ct,2} = -\gamma_{ct} \cdot (C_u \cdot B_p \cdot (\varepsilon_{b0} - \varepsilon_{u0}) + C_e \cdot \varepsilon_{b0}) / (1 + C_u / C_b + C_e / (C_b \cdot B_p)) / B_p = 1337.16 \text{ kN/m}$, $\gamma_{ct} = 1.00$
 Beiwert für den Beton $C_b = t_p \cdot E_{ct} = 8143468.87 \text{ kN/m}$
 E-Modul des jungen Betons $E_{ct} = k_{Et} \cdot E_{cm} = 27144.9 \text{ N/mm}^2$,
 $k_{Et} = \alpha_{E,g} \cdot 0.83 = 0.83$ für normal erhärtenden Beton (CEM 32.5 R) und $t_{crit} = 56 \text{ h}$, $\alpha_{E,g} = 1.0$
 Beiwert für den Unterbeton $C_u = t_u \cdot E_{ut} = 1350000.00 \text{ kN/m}$
 Beiwert für den Boden $C_e = (t_e \cdot B_p / 2 + t_e^2 \cdot \pi / 6) \cdot E_e = 890888208.67 \text{ kN}$, $t_e = L_p / 3 = 8.33 \text{ m}$, $E_e = 8000.0 \text{ N/mm}^2$
 Dehnung infolge Betontemperatur $\varepsilon_{b0} = -\Delta T_{crit} \cdot \alpha_t = -0.19\text{‰}$
 Temperaturdifferenz $\Delta T_{crit} = 15.0 \text{ K}$ für normal erhärtenden Beton (CEM 32.5 R) und $t_p = 30.0 \text{ cm}$
 Wärmedehnzahl des jungen Betons $\alpha_T(t) = 12.7 \cdot 10^{-6} \text{ 1/K}$ zum Zeitpunkt $t = 2.33 \text{ d}$ (56 h)
 Dehnung infolge Schwinden des Unterbetons $\varepsilon_{u0} = 0$
 Zwangsschnittgröße $N_{ct} = \min(N_{ct,1}, N_{ct,2}) = 118.75 \text{ kN/m}$

Werden Schwindeinflüsse berücksichtigt (Schalter **Kriechen+Schwinden** aktiviert, s. Register 1 Abs. 3.1, S. 11), vergrößert sich die Dehnung ε_{b0} und damit die Zwangsschnittgröße $N_{ct,2}$.

Zwangsschnittgröße $N_{ct,2} = -\gamma_{ct} \cdot (C_u \cdot B_p \cdot (\varepsilon_{b0} - \varepsilon_{u0}) + C_e \cdot \varepsilon_{b0}) / (1 + C_u / C_b + C_e / (C_b \cdot B_p)) / B_p = 1562.84 \text{ kN/m}$, $\gamma_{ct} = 1.00$
 Dehnung infolge Betontemperatur und Schwinden des jungen Betons $\varepsilon_{b0} = -\Delta T_{crit} \cdot \alpha_t + \varepsilon_{scat} = -0.21\text{‰}$
 Schwindmaß zum Zeitpunkt $t = 56 \text{ h}$: $\varepsilon_{scat} = -(\varepsilon_{cas} + \varepsilon_{cde}) = -0.015\text{‰}$ wobei
 autogenes Schwinden: $\varepsilon_{cas} = \varepsilon_{cas,0} \cdot \beta_{as} = 0.013\text{‰}$ mit $\varepsilon_{cas,0} = 2.5 \cdot (f_{ck} - 10) = 0.050\text{‰}$, $\beta_{as} = 1 - e^{-0.2 \cdot t / 2} = 0.263$
 Trocknungsschwinden: $\varepsilon_{cde} = \varepsilon_{cde,0} \cdot \beta_{ds} \cdot k_h = 0.002\text{‰}$ mit $\varepsilon_{cde,0} = 0.85 \cdot ((220 + 110 \cdot \alpha_{ds1}) \cdot e^{-\alpha_{ds2} \cdot f_{cm} / 10}) \cdot \beta_{RH} = 0.557\text{‰}$,
 $k_h = 0.70$ für $h_0 = 60.0 \text{ cm}$, $\alpha_{ds1} = 4.0$ und $\alpha_{ds2} = 0.12$ für Zementgruppe N,
 $\beta_{RH} = 1.55 \cdot (1 - (RH/100)^3) = 1.356$ für $RH = 50\%$, $\beta_{ds} = \Delta t / (\Delta t + 0.04 \cdot (h_0^3)^{1/2}) = 0.004$, $\Delta t = t - t_s = 2.33 \text{ d}$

Kriechen (Schalter **Kriechen+Schwinden** aktiviert, s. Register 1 Abs. 3.1, S. 11) hingegen reduziert die resultierende Zwangsschnittgröße N_{ct} und wird nur bei spätem Zwang berücksichtigt.

Kriechen und Relaxation $N_{ct,red} = k_{(\varphi+\psi)spät} \cdot N_{ct} = 95.00 \text{ kN}$, $k_{(\varphi+\psi)spät} = 0.80$

Ist die Zwangsschnittgröße kleiner oder gleich der Schnittgröße n. EC 2, ist die Rissicherheit gegeben. In dem Fall wird auf der sicheren Seite liegend mit dieser Schnittgröße eine Mindestbewehrung berechnet.

Ansonsten darf die Mindestbewehrung mit der Zwangsschnittgröße n. EC 2 berechnet werden.

Zwangsschnittgröße (EC 2): $N_{ct,EC2} = f_{ct,eff} \cdot A_{c,eff} = 514.61 \text{ kN/m}$, $f_{ct,eff} = 1.98 \text{ N/mm}^2$, $A_{c,eff} = 2600.0 \text{ cm}^2/\text{m}$
 Zwangsschnittgröße $N_{ct} \leq N_{ct,EC2} \Rightarrow$ Rissicherheit vorhanden ($N_{ct}/N_{ct,EC2} = 0.231 < 1$)
 Berechnung der Mindestbewehrung mit $N_{ct,clic} = N_{ct} \cdot A_c / A_{c,eff} = 137.02 \text{ kN/m}$, $A_c = 3000.0 \text{ cm}^2/\text{m}$, $A_{c,eff} = 2600.0 \text{ cm}^2/\text{m}$

3.3.2

Zwangsschnittgröße für Ortbetonwände auf fertig gestellten Bodenplatten oder Fundamenten

Die Querschnittstypen **Platte** oder **Rechteck einachsig** können als Ortbetonwand nachgewiesen werden, bei der die Zwangsschnittgröße n. *Lohmeyer/Ebeling* berechnet wird.

Die berechnete Zwangsschnittgröße wird bezogen auf den Bruttoquerschnitt am Bildschirm protokolliert.

⊙ Zwangsschnittgröße für Ortbetonwände berechnen

Höhe Wand	H_w	3.20	m	
Länge Wand	L_w	8.00	m	
E-Modul bei Erstrissbildung	$E_c =$	0.93	$\cdot E_{cm}$	<input checked="" type="checkbox"/> berechnen
Beiwert Gesteinskörnung	$\alpha_{E,g}$	1.0		
mittlere Betonabkühlung	$\Delta T_{c,B}$	23.0	K	<input checked="" type="checkbox"/> berechnen
Wärmedehnzahl des Frischbetons	α_T	12.3	$\cdot 10^{-6} \text{ 1/K}$	<input checked="" type="checkbox"/> berechnen
<input type="checkbox"/> Nachweis für späten Zwang				

- **Höhe, Länge der Wand** - Die Länge der Wand legt die Richtung fest, in der die Reibungskraft (Zwangsschnittgröße) wirkt. Die Dicke der Wand entspricht der Höhe bzw. Dicke des Querschnitts.
- **E-Modul** - Der E-Modul bei Erstrissbildung kann manuell eingegeben oder vom Programm berechnet werden.
- **Beiwert Gesteinskörnung** - Wird der E-Modul vom Programm berechnet, kann der Einfluss der Gesteinskörnung berücksichtigt werden. Es gilt n. Heft 425, DAfStb
 - $\alpha_{E,g} = 1.2$ für Basalt, dichter Kalkstein
 - $\alpha_{E,g} = 1.0$ für Quarz, Quarzite
 - $\alpha_{E,g} = 0.9$ für Kalkstein
 - $\alpha_{E,g} = 0.7$ für Sandstein
- **Betonabkühlung** - Die mittlere Betonabkühlung kann vom Programm berechnet oder manuell eingegeben werden.
- **Wärmedehnzahl** - Die Wärmedehnzahl des Frischbetons kann vom Programm berechnet oder manuell eingegeben werden.

⊙ der Trocknung ausgesetzt U_c 200.0 cm Umfang

○ wirksame Querschnittsdicke h_0 30.0 cm $= 2 \cdot A_c / U_c$

Die Berechnung erfolgt unter Berücksichtigung der wirksamen Querschnittsdicke, die sich aus dem der Trocknung ausgesetzten Umfang des Bauteils ergibt (bei Wänden mit $U_c = 2 \cdot 100 \text{ cm}$ ergibt sich $h_0 = h$).

- **später Zwang** - Wird das Bauteil für späten Zwang nachgewiesen, wird programmintern das Betonalter bei Erstrissbildung auf $t_{crit} = 28 \text{ d} = 672 \text{ h}$ gesetzt.

Damit ergeben sich die Betonzugfestigkeit zu $f_{ct,eff} = f_{ctm}$, die Wärmedehnzahl des Betons zu $\alpha_T = 10^{-5} \text{ 1/K}$ und der E-Modul zu $E_{c,eff} = \alpha_{E,g} \cdot E_{cm}$.

Der Berechnungsablauf wird anhand eines Beispiels dargestellt.

Zeitpunkt der Rissentstehung $t_{crit} = 1.3 \cdot t_{max,T} + 24 = 58 \text{ h}$,
 $t_{max,T} = 26 \text{ h}$ für normal erhärtenden Beton (CEM 32.5 R) und $h_0 = 30.0 \text{ cm}$
 Betonzugfestigkeit bei Erstrissbildung $f_{ct,eff} = k_{ct} \cdot f_{ctm} = 2.20 \text{ N/mm}^2$,
 Beiwert $k_{ct} = k_j \cdot k_{ct}(t) = 0.76$ für normal erhärtenden Beton (CEM 32.5 R) und $t_{crit} = 58 \text{ h}$, $k_{ct}(t) = 0.69$,
 $k_j = 1.1$ (Sommer)
Berechnung der Zwangsschnittgröße für Ortbetonwände
 Abmessungen der Wand $H_w = 3.20 \text{ m}$, $L_w = 8.00 \text{ m}$, $t_w = 30.0 \text{ cm}$
 Zwangsschnittgröße $N_{ct} = \sigma_{ct,d} \cdot A_{c,eff} = 877.44 \text{ kN/m}$, $A_{c,eff} = 2600.0 \text{ cm}^2/\text{m}$
 Bemessungswert der Zwangsspannung $\sigma_{ct,d} = k_{ct,d} \cdot \sigma_{ct}(t) = 3.37 \text{ N/mm}^2$, $k_{ct,d} = 0.55$ für $L_w/H_w = 2.50$
 Zwangsspannung $\sigma_{ct}(t) = \alpha_T(t) \cdot \Delta T_{c,B} \cdot E_c(t) = 6.14 \text{ N/mm}^2$
 Wärmedehnzahl des jungen Betons $\alpha_T(t) = 12.6 \cdot 10^{-6} \text{ 1/K}$ zum Zeitpunkt $t = 2.42 \text{ d}$ (58 h)
 mittlere Abkühlung des Betons $\Delta T_{c,B} = 17.0 \text{ K}$ für normal erhärt. Beton (CEM 32.5 R) und $h_0 = 30.0 \text{ cm}$ (Sommer)
 E-Modul des jungen Betons $E_c(t) = k_{Et} \cdot E_c = 28645.8 \text{ N/mm}^2$, Tangentenmodul $E_c = 1.05 \cdot E_{cm} = 34478.4 \text{ N/mm}^2$
 Beiwert $k_{Et} = \alpha_{E,g} \cdot 0.83 = 0.83$ für normal erhärtenden Beton (CEM 32.5 R) und $t_{crit} = 58 \text{ h}$, $\alpha_{E,g} = 1.0$
 Zwangsschnittgröße $N_{ct} = 877.44 \text{ kN/m}$

Werden Schwindeinflüsse berücksichtigt (Schalter **Kriechen+Schwinden** aktiviert, s. Reg. 1 Abs. 3.1, S. 11), vergrößert sich die Zwangsspannung $\sigma_{ct}(t)$ und damit die Zwangsschnittgröße N_{ct} .

Zwangsschnittgröße $N_{ct} = \sigma_{ct,d} \cdot A_{c,eff} = 951.16 \text{ kN/m}$, $A_{c,eff} = 2600.0 \text{ cm}^2/\text{m}$
 Zwangsspannung $\sigma_{ct}(t) = \alpha_T(t) \cdot \Delta T_{e,B} \cdot E_c(t) + \varepsilon_{cst} \cdot E_c(t) = 6.65 \text{ N/mm}^2$
 Schwindmaß zum Zeitpunkt $t = 58 \text{ h}$: $\varepsilon_{cst} = -(\varepsilon_{cas} + \varepsilon_{cda}) = -0.018\%$ wobei
 autogenes Schwinden: $\varepsilon_{cas} = \varepsilon_{cas,0} \cdot \beta_{as} = 0.013\%$ mit $\varepsilon_{cas,0} = 2.5 \cdot (f_{ck} - 10) = 0.050\%$, $\beta_{as} = 1 - e^{-0.2 \cdot t^{1/2}} = 0.267$
 Trocknungsschwinden: $\varepsilon_{cda} = \varepsilon_{cda,0} \cdot \beta_{ds} \cdot k_h = 0.005\%$ mit $\varepsilon_{cda,0} = 0.85 \cdot ((220 + 110 \cdot \alpha_{ds1}) \cdot e^{-\alpha_{ds2} \cdot f_{cm}/10}) \cdot \beta_{RH} = 0.538\%$,
 $k_h = 0.75$ für $h_0 = 30.0 \text{ cm}$, $\alpha_{ds1} = 4.0$ und $\alpha_{ds2} = 0.12$ für Zementgruppe N,
 $\beta_{RH} = 1.55 \cdot (1 - (RH/100)^3) = 1.356$ für $RH = 50\%$, $\beta_{ds} = \Delta t / (\Delta t + 0.04 \cdot (h_0^3)^{1/2}) = 0.011$, $\Delta t = t - t_a = 2.42 \text{ d}$

Kriechen (Schalter **Kriechen+Schwinden** aktiviert, s. Reg. 1 Abs. 3.1, S. 11) hingegen reduziert die resultierende Zwangsschnittgröße N_{ct} und wird nur bei spätem Zwang berücksichtigt.

Kriechen und Relaxation $N_{ct,red} = k_{(\varphi+\psi)spät} \cdot N_{ct} = 961.13 \text{ kN}$, $k_{(\varphi+\psi)spät} = 0.80$

Ist die Zwangsschnittgröße kleiner oder gleich der Schnittgröße n . EC 2, ist die Rissicherheit gegeben. In dem Fall wird auf der sicheren Seite liegend mit dieser Schnittgröße eine Mindestbewehrung berechnet.

Ansonsten darf die Mindestbewehrung mit der Zwangsschnittgröße n . EC 2 berechnet werden.

Zwangsschnittgröße (EC 2): $N_{ct,EC2} = f_{ct,eff} \cdot A_{c,eff} = 572.97 \text{ kN/m}$, $f_{ct,eff} = 2.20 \text{ N/mm}^2$, $A_{c,eff} = 2600.0 \text{ cm}^2/\text{m}$
 Zwangsschnittgröße $N_{ct} > N_{ct,EC2} \Rightarrow$ Rissicherheit nicht vorhanden ($N_{ct}/N_{ct,EC2} = 1.660 > 1$) $\Rightarrow N_{ct} = N_{ct,EC2}$
 Berechnung der Mindestbewehrung mit $N_{ct,cic} = N_{ct} \cdot A_c / A_{c,eff} = 661.12 \text{ kN/m}$, $A_c = 3000.0 \text{ cm}^2/\text{m}$, $A_{c,eff} = 2600.0 \text{ cm}^2/\text{m}$

3.3.3

Begrenzung der Rissbreite (Last, Last und Zwang)

☒ **Begrenzung der Rissbreite (Last, Last und Zwang)**

Betonzugfestigkeit bei abgeschlossenem Rissbild $f_{ct,eff} =$ $\cdot f_{ctm}$

Beiwert für den Dauerstandseffekt

- **Begrenzung der Rissbreite** - Die Begrenzung der Rissbreite infolge Last zum Zeitpunkt der Endrissbildung kann an-/abgeschaltet werden.
- **Betonzugfestigkeit** - Da der Abschluss der Rissbildung zu einem anderen Zeitpunkt als die Erstrissbildung erfolgt, liegt i.A. eine größere Betonzugfestigkeit vor. Über den Parameter $k_{ct,0} \geq k_{ct}$ kann die Betonzugfestigkeit festgelegt werden.
- **Dauerstandseffekt** - Die Dauer der Lasteinwirkung beeinflusst die Endrissbildung. Sie kann **langfristig** ($k_t = 0.4$) oder **kurzfristig** ($k_t = 0.6$) sein. Alternativ kann der Beiwert k_t **frei** (manuell) innerhalb der beiden Grenzen vorgegeben werden.

Wesentliche Hinweise zum Rissnachweis finden Sie im Handbuch **pcae - Stahlbetontheorie** (als pdf-Dokument auf unserer Web-Site pcae.de).

Sind **Zwischenergebnisse** aktiviert (s. Ausdrucksteuerung Abs. 3.11, S. 47), wird in der Druckliste zu jeder Lastkombination der zugehörige Dehnungszustand ausgegeben.

3.3.4

Bemessungsgrößen

Schnittgrößen im Grenzzustand der Gebrauchtauglichkeit (i.A. quasiständige Einwirkungskombination)

Schnittgrößen aus Bauteil importieren Schnittgrößen aus Text-Datei einlesen

	N_{Ed} kN	$M_{y,Ed}$ kNm	$V_{z,Ed}$ kN	$M_{z,Ed}$ kNm	$V_{y,Ed}$ kN	$T_{t,Ed}$ kNm
1.	0.0	80.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Der Rissnachweis wird im Grenzzustand der Gebrauchtauglichkeit geführt. Die Bemessungsgrößen können manuell eingegeben, aus einem **pcae**-Programm importiert oder aus einer Text-Datei eingelesen werden.

Der Übersichtlichkeit halber werden nur die Felder freigelegt, die für den vorgegebenen Quer-

schnitt relevant sind. Beim Rissnachweis werden Normalkraft und Biegemomente berücksichtigt.

Weitere Informationen zur Eingabe der Bemessungsgrößen finden Sie unter Abs. 3.10, S. 44.

3.3.5

Rissnachweis: Erforderliche Bewehrung

Ist die Online-Berechnung (**auto**-Button) aktiviert, wird die berechnete (erforderliche) Bewehrung am Bildschirm protokolliert.

erf A_{s0}	4.25	cm ²	erf A_{sU}	6.14	cm ²	Längsbewehrung einachsig
erf A_{s1}	4.50	cm ²	erf A_{s2}	4.50	cm ²	Längsbewehrung zweiachsig
					erf A_{s3}	3.18 cm ²
					erf A_{s4}	3.18 cm ²

3.4

Spannungsnachweis

Spann

Im vierten Register werden die Parameter und die Schnittgrößen für den Spannungsnachweis festgelegt.

Der Spannungsnachweis besteht aus zwei Teilnachweisen

- dem Nachweis für den Beton und
- dem Nachweis für die Bewehrung

Bei beiden Teilnachweisen wird eine vorhandene Bewehrungssituation nachgewiesen.

Ist der Nachweis nicht eingehalten, wird die Bewehrungsmenge erhöht.

☒ **Spannungsnachweis** ☐ nur Check (keine Bewehrungserhöhung)

- **nur Check** - Es besteht die Möglichkeit, nur den vorgegebenen Bewehrungszustand (ohne Bewehrungserhöhung) nachzuweisen.

☒ **Nachweis für den Beton**

Betondruckspannung zul $\sigma_c = 0.60 \cdot f_{ck} = 18.0 \text{ N/mm}^2$
☒ Faktor vorgeben ☐ Spannung vorgeben

- **Beton** - Der Nachweis für den Beton kann an-/abgeschaltet werden.
- **Betonspannung** - Der Grenzwert für die Betondruckspannung kann entweder als faktorierte charakteristische Betondruckfestigkeit f_{ck} oder als Zahlenwert vorgegeben werden.

☒ **Nachweis für die Bewehrung**

Stahlzugspannung zul $\sigma_s = 0.80 \cdot f_{yk} = 400.0 \text{ N/mm}^2$
☒ Faktor vorgeben ☐ Spannung vorgeben

- **Bewehrung** - Der Nachweis für die Bewehrung kann an-/abgeschaltet werden.
- **Stahlspannung** - Der Grenzwert für die Stahlzugspannung kann entweder als faktorierte charakteristische Streckgrenze f_{yk} oder als Zahlenwert vorgegeben werden.

Wesentliche Hinweise zum Spannungsnachweis finden Sie im Handbuch **pcae - Stahlbetontheorie** (als pdf-Dokument auf unserer Web-Site pcae.de).

Sind **Zwischenergebnisse** aktiviert (s. Ausdrucksteuerung Abs. 3.11, S. 47), wird in der Druckliste zu jeder Lastkombination der zugehörige Dehnungszustand ausgegeben.

3.4.1

Bemessungsgrößen

Schnittgrößen im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit (i.A. seltene Einwirkungskombination)

Schnittgrößen aus Bauteil importieren Schnittgrößen aus Text-Datei einlesen

	N_{Ed} kN	$M_{y,Ed}$ kNm	$V_{z,Ed}$ kN	$M_{z,Ed}$ kNm	$V_{y,Ed}$ kN	$T_{t,Ed}$ kNm
1.	0.0	80.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Der Spannungsnachweis wird im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit geführt. Die Bemessungsgrößen können manuell eingegeben, aus einem **pcae**-Programm importiert oder aus einer Text-Datei eingelesen werden.

Der Übersichtlichkeit halber werden nur die Felder freigelegt, die für den vorgegebenen Querschnitt relevant sind. Beim Spannungsnachweis werden Normalkraft und Biegemomente berücksichtigt.

Weitere Informationen zur Eingabe der Bemessungsgrößen finden Sie unter Abs. 3.10, S. 44.

3.4.2

Spannungsnachweis: Erforderliche Bewehrung

Ist die Online-Berechnung (**auto**-Button) aktiviert, wird die berechnete (erforderliche) Bewehrung am Bildschirm protokolliert.

erf A_{s0}	<input type="text" value="0.00"/>	cm ²	erf A_{sU}	<input type="text" value="2.77"/>	cm ²	Längsbewehrung einachsig	
erf A_{s1}	<input type="text" value="1.41"/>	cm ²	erf A_{s2}	<input type="text" value="1.41"/>	cm ²	Längsbewehrung zweiachsig	
					erf A_{s3}	<input type="text" value="1.10"/>	cm ²
					erf A_{s4}	<input type="text" value="1.10"/>	cm ²

Ermüd

Im fünften Register werden die Parameter und die Schnittgrößen für den Ermüdungsnachweis festgelegt.

Der Ermüdungsnachweis besteht aus zwei Teilnachweisen

- dem Nachweis für den Beton und
- dem Nachweis für die Bewehrung

Im Eurocode werden dazu zwei Verfahren angeboten

- der Stufe 2-Nachweis über schädigungsäquivalente Schwingbreiten n. EC 2, 6.8.5 + 6.8.7(1), der im Grenzzustand der Ermüdung geführt wird, und
- der vereinfachte Stufe 1-Nachweis n. EC 2, 6.8.6 + 6.8.7(2) im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit

Es wird eine vorhandene Bewehrungssituation nachgewiesen, wobei je nach Teilnachweis unterschiedlich vorgegangen wird. Zunächst wird der Nachweis für die Bewehrung geführt, ist er nicht eingehalten, wird die Bewehrungsmenge erhöht. Anschließend erfolgt der Nachweis für den Beton; ist er nicht eingehalten, wird mit einer Fehlermeldung abgebrochen, da eine Bewehrungserhöhung i.A. nicht wirkungsvoll ist.

Der Ermüdungsnachweis wird für Biegung mit/ohne Normalkraft und optional für die Querkraft geführt.

☒ **Ermüdungsnachweis** ☐ nur Check (keine Bewehrungserhöhung)

Nachweisverfahren ☒ Nachweis über schädigungsäquivalente Schwingbreiten

☒ einschl. Nachweis für die Querkraft ☐ Schubparameter übernehmen

Materialgüte der Schubbewehrung

Neigungswinkel der Querkraftbewehrung α °

☒ mit Mindestbewehrung ☐ ohne Mindestbewehrung

Annahme: $z = 0,9 d \leq d - c_{v,D} - \min(c_{v,D}, 3,0)$ mit $c_{v,D}$ cm

Druckstrebenwinkel ☒

- **nur Check** - Es besteht die Möglichkeit, nur den vorgegebenen Bewehrungszustand (ohne Bewehrungserhöhung) nachzuweisen.
- Nachweisverfahren - Mit **EC 2, 6.8.5 + 6.8.7(1)**, wird der Nachweis über schädigungsäquivalente Schwingbreiten, mit **EC 2, 6.8.6 + 6.8.7(2)** wird der vereinfachte Nachweis geführt.
- **Optional kann der Nachweis für die Querkraft** - (Bewehrung und Druckstrebe bzw. Beton ohne Bewehrung) gewählt werden. Ist die Schubbemessung aktiviert können die dazu benötigten Schubparameter übernommen werden. Die entsprechenden Eingabefenster sind dann deaktiviert.

Zur Beschreibung der Parameter s. Reg. 2, Schubbemessung Abs. 3.2.2, S. 19.

☒ **Nachweis für den Beton**

Beginn der zyklischen Belastung t_0 d

- **Belastungsbeginn** - Die Betonfestigkeit wird zu Beginn der zyklischen Belastung, d.h. zu Beginn der Belastung, die durch ihre Wiederholfrequenz zu Ermüdungsversagen führen kann, festgelegt.

<input checked="" type="checkbox"/> Nachweis für die Bewehrung	Stufe 2-Nachweis		Stufe 1-Nachweis	
Spannungsschwingbreite	$\Delta\sigma_{Rsk}$	<input type="text" value="175.0"/> N/mm ²	$\Delta\sigma_s$	<input type="text" value="70.0"/> N/mm ²
	$\Delta\sigma_{Rsk,v}$	<input type="text" value="80.0"/> N/mm ²	$\Delta\sigma_v$	<input type="text" value="70.0"/> N/mm ²
dynamischer Vergrößerungsfaktor	$\Delta\varphi_{fat}$	<input type="text" value="1.40"/>	$\Delta\varphi_{fat}$	<input type="text" value="1.40"/>

- **Spannungsschwingbreite** - Da die beiden Verfahren auf verschiedenen Grenzzuständen beruhen, ist auch die Größenordnung der zulässigen Spannungsschwingbreite unterschiedlich.
- **dynamischer Vergrößerungsfaktor** - Bei hochgradig dynamisch belasteten Bauwerken (z.B. Brücken, Kranbahnträger) sollten in den Einwirkungskombinationen dynamische Vergrößerungsfaktoren enthalten sein.

Ist das nicht der Fall, können sie über die Reduktion der zulässigen Spannungsschwingbreite mit $\text{zul } \Delta\sigma = \Delta\sigma / \Delta\phi_{\text{fat}}$ berücksichtigt werden.

Wesentliche Hinweise zum Ermüdungsnachweis finden Sie im Handbuch [pcae - Stahlbetontheorie](#) (als pdf-Dokument auf unserer Web-Site [pcae.de](#)).

3.5.1

Bemessungsgrößen

Schnittgrößen der Ermüdungs-Bemessungssituation (zyklische und nicht zyklische Einwirkungen)

Schnittgrößen aus Bauteil importieren Schnittgrößen aus Text-Datei einlesen

	N_{Ed} kN	$M_{y,Ed}$ kNm	$V_{z,Ed}$ kN	$M_{z,Ed}$ kNm	$V_{y,Ed}$ kN	$T_{t,Ed}$ kNm
1:	0.0	40.0	120.0	0.0	0.0	0.0
2:	0.0	120.0	200.0	0.0	0.0	0.0

neu →

Der Ermüdungsnachweis wird für den Stufe 1-Nachweis im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit (i.A. für die häufige Einwirkungskombination) und für den Stufe 2-Nachweis im Grenzzustand der Ermüdungstragfähigkeit geführt.

Die Bemessungsgrößen können manuell eingegeben, aus einem [pcae](#)-Programm importiert oder aus einer Text-Datei eingelesen werden.

Damit eine Spannungsdifferenz berechnet werden kann, müssen mindestens zwei verschiedene Lastkombinationen eingegeben werden.

Der Übersichtlichkeit halber werden nur die Felder freigelegt, die für den vorgegebenen Querschnitt relevant sind. Beim Ermüdungsnachweis werden Normalkraft, Biegemomente und Querkraften berücksichtigt.

Weitere Informationen zur Eingabe der Bemessungsgrößen finden Sie unter Abs. 3.10, S. 44.

3.5.2

Ermüdungsnachweis: Erforderliche Bewehrung

Ist die Online-Berechnung ([auto](#)-Button) aktiviert, werden die berechnete (erforderliche) Bewehrung und die Betonausnutzung am Bildschirm protokolliert.

erf A_{s0}	0.86	cm ²	erf A_{su}	7.33	cm ²		Längsbewehrung einachsig
erf A_{s1}	1.54	cm ²	erf A_{s2}	1.54	cm ²	erf A_{s3}	1.54 cm ² Längsbewehrung zweiachsig
						erf A_{s4}	1.54 cm ²
erf a_{sbU}	15.87	cm ² /m					Schubbewehrung
U_c	0.854						Betonausnutzung
U_{cv}	0.312						Schubausnutzung einachsig
U_{cvy}	0.394		U_{cvz}	0.486			zweiachsig

3.6

Dichtigkeitsnachweis

Dicht

Im sechsten Register werden die Parameter und die Schnittgrößen für den Dichtigkeitsnachweis festgelegt.

Die Dichtigkeit eines Bauwerks wird entweder nach

- der DAfStb-Richtlinie *Wasserundurchlässige Bauwerke aus Beton* für in Erdreich eingebettete Betonbauteile oder
- nach der DAfStb-Richtlinie *Betonbau beim Umgang mit wassergefährdenden Stoffen* für Betonbauten ohne Oberflächenabdichtung beim Umgang mit flüssigen wassergefährdenden Stoffen nachgewiesen

Es wird eine vorhandene Bewehrungssituation nachgewiesen. Ist der Nachweis nicht eingehalten, wird die Bewehrungsmenge erhöht.

3.6.1

Wasserundurchlässige Bauteile

Der Dichtigkeitsnachweis für wasserundurchlässige Bauteile kann entweder über den Nachweis der Mindestdruckzonenhöhe oder den Nachweis der maximalen Rissbreite geführt werden.

☒ **Dichtigkeitsnachweis für** wasserundurchlässige Bauwerke ☐ DAfStb-Richtlinie 2017
☐ nur Check (keine Bewehrungserhöhung)

- **nur Check** - Es besteht die Möglichkeit, nur den vorgegebenen Bewehrungszustand (ohne Bewehrungserhöhung) nachzuweisen.

Nachweis der Mindestdruckzonenhöhe ☐
 zulässige Druckzonenhöhe x_D 30.00 mm

- **zulässige Druckzonenhöhe** - Der maximal zulässige Grenzwert für die Höhe der Druckzone ist festzulegen.

Nachweis der maximalen Rissbreite ☐ ☐ Rissparameter übernehmen
 Betonzugfestigkeit zum Betrachtungszeitpunkt $f_{ct,eff} = 1.00 \cdot f_{ctm}$
 zul. Rissbreite oben/unten w_{ko} 0.30 mm w_{ku} 0.20 mm
 Stabdurchmesser oben/unten \varnothing_{ro} 10 \varnothing_{ru} 10

Der Dichtigkeitsnachweis mittels Rissnachweis erfolgt über den Teilnachweis der Begrenzung der Rissbreite (Last).

Ist der Rissnachweis aktiviert, können die dazu benötigten **Rissparameter übernommen** werden. Die entsprechenden Eingabefenster sind dann deaktiviert. Zur Beschreibung der Parameter s. Reg. 3, Rissnachweis Abs. 3.3, S. 22.

- **Betonzugfestigkeit** - Die Betonzugfestigkeit zum Betrachtungszeitpunkt ist unabhängig vom Rissnachweis festzulegen.

Der Rissnachweis wird n. EC 2, 7.3.3, für eine langfristige Lasteinwirkungsdauer geführt (s. Rissnachweis im Handbuch **pcae** - *Stahlbetontheorie* (als pdf-Dokument auf unserer Web-Site **pcae.de**)).

3.6.2

Umgang mit wassergefährdenden Stoffen

Der Dichtigkeitsnachweis für den Umgang mit wassergefährdenden Stoffen kann entweder über

- den Nachweis der Mindestdruckzonenhöhe oder
- den Nachweis der maximalen Rissbreite geführt werden.

☒ **Dichtigkeitsnachweis für** Umgang mit wassergefährdenden Stoffen ☐ DAfStb-Richtlinie 2011
☐ nur Check (keine Bewehrungserhöhung)

- **nur Check** - Es besteht die Möglichkeit, nur den vorgegebenen Bewehrungszustand (ohne Bewehrungserhöhung) nachzuweisen.

3.6.3

Nachweis der Mindestdruckzonenhöhe

Nachweis der Mindestdruckzonenhöhe

☐ Berechnung der Mindestbewehrung

Sicherheitsbeiwerte γ_e 1.50 γ_c 1.25

zulässige Eindringtiefe e_{tk} 30.00 mm

- **Sicherheitsbeiwerte** - Die Materialsicherheitsbeiwerte für die Eindringtiefe und den Beton sind festzulegen.
- **Eindringtiefe** - Der charakteristische Wert der zulässigen Eindringtiefe ist anzugeben.

3.6.4

Nachweis der maximalen Rissbreite

Nachweis der maximalen Rissbreite ☐ Rissparameter übernehmen

☐ Berechnung der Mindestbewehrung

Betonzugfestigkeit zum Betrachtungszeitpunkt $f_{ct,eff} =$ 1.00 $\cdot f_{ctm}$

Sicherheitsbeiwert γ_r 2.00

zul. Rissbreite oben/unten w_{ko} 0.30 mm w_{ku} 0.20 mm

Stabdurchmesser oben/unten ϕ_{ro} 10 ϕ_{ru} 10

Der Dichtigkeitsnachweis mittels Rissnachweis erfolgt über den Teilnachweis der Begrenzung der Rissbreite (Last).

Ist der Rissnachweis aktiviert, können die dazu benötigten **Rissparameter übernommen** werden. Die entsprechenden Eingabefenster sind dann deaktiviert. Zur Beschreibung der Parameter s. Reg. 3, Rissnachweis Abs. 3.3, S. 22.

- **Betonzugfestigkeit** - Die Betonzugfestigkeit zum Betrachtungszeitpunkt ist unabhängig vom Rissnachweis festzulegen.
- **Sicherheitsbeiwert** - Der Materialsicherheitsbeiwert für den Rissnachweis ist festzulegen.

Der Rissnachweis wird n. EC 2, 7.3.3, für eine langfristige Lasteinwirkungsdauer unter Beachtung des Sicherheitsbeiwerts geführt, s. Rissnachweis im Handbuch **pcae - Stahlbetontheorie** (als pdf-Dokument auf unserer Web-Site pcae.de).

3.6.5

Nachweis der Mindestbewehrung

☒ Nachweis der Mindestbewehrung ☐ Rissparameter übernehmen

Betonzugfestigkeit zum Betrachtungszeitpunkt $f_{ct,eff} =$ 1.00 $\cdot f_{ctm}$

Stabdurchmesser oben/unten ϕ_{ro} 10 ϕ_{ru} 10

Optional kann zusätzlich die erforderliche Mindestbewehrung (Rissnachweis infolge Zwang) ermittelt werden.

- **Betonzugfestigkeit** - Dazu ist die Betonzugfestigkeit zum betrachteten Zeitpunkt (kann unabhängig vom Rissnachweis sein) anzugeben.
- **Stabdurchmesser** - Die Stabdurchmesser können bei Bedarf aus dem Rissnachweis übernommen werden.

Ist der Button **Rissparameter übernehmen** aktiviert, sind die entsprechenden Eingabefenster inaktiv. Zur Beschreibung der Parameter s. Reg. 3, Rissnachweis Abs. 3.3, S. 22.

Die Mindestbewehrung wird n. EC 2, 7.3.2, für eine Rissbreite von $w_k = 0.2$ mm und selbst induzierten Biegezwang berechnet, s. Rissnachweis im Handbuch **pcae - Stahlbetontheorie** (als pdf-Dokument auf unserer Web-Site pcae.de).




Wesentliche Hinweise zum Dichtigkeitsnachweis finden Sie auf der Seite Druckzonendicke / Nachweis der Dichtigkeit im Handbuch **pcae - Stahlbetontheorie** (als pdf-Dokument auf unserer Web-Site pcae.de).


Sind **Zwischenergebnisse** aktiviert (s. Ausdrucksteuerung Abs. 3.11, S. 47), wird in der Druckliste zu jeder Lastkombination der zugehörige Dehnungszustand ausgegeben.


3.6.6

Bemessungsgrößen

Schnittgrößen der Dichtigkeits-Bemessungssituation (i.A. ständige und veränderliche Einwirkungen)

Schnittgrößen aus  Bauteil importieren  Schnittgrößen aus Text-Datei einlesen 

	N_{Ed} kN	M_{y,Ed} kNm	V_{z,Ed} kN	M_{z,Ed} kNm	V_{y,Ed} kN	T_{t,Ed} kNm
1: 	0.0	150.0	0.0	0.0	0.0	0.0

 **neu** →

Der Dichtigkeitsnachweis n. der WU-Richtlinie wird im Grenzzustand der Gebrauchtauglichkeit geführt; der Dichtigkeitsnachweis zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen im Grenzzustand der Dichtigkeitstragfähigkeit.

Die Bemessungsgrößen können manuell eingegeben, aus einem **pcae**-Programm importiert oder aus einer Text-Datei eingelesen werden.

Der Übersichtlichkeit halber werden nur die Felder freigelegt, die für den vorgegebenen Querschnitt relevant sind. Beim Dichtigkeitsnachweis werden Normalkraft und Biegemoment berücksichtigt.

Weitere Informationen zur Eingabe der Bemessungsgrößen finden Sie unter Abs. 3.10, S. 44.

3.6.7

Dichtigkeitsnachweis: Erforderliche Bewehrung

Ist die Online-Berechnung (**auto**-Button) aktiviert, wird die berechnete (erforderliche) Bewehrung am Bildschirm protokolliert.

erf A_{so} cm²/m erf A_{su} cm²/m **Längsbewehrung**

3.7

Brandbemessung

Brand

Im siebten Register werden die Parameter und die Schnittgrößen für die Brandbemessung festgelegt.

Die Brandbemessung ermöglicht die Bemessung von Querschnitten unter Hochtemperaturbeanspruchung. Dazu kann ein Temperaturprofil des Betonquerschnitts ermittelt werden, um die Kennwerte (Steifigkeiten) des brandbelasteten Querschnitts zu erhalten (Heißbemessung).

Für einige Querschnittstypen liegen Messdaten vor, die die Anwendung einer Tabelle und Gleichung ermöglicht.

☒ **Brandbemessung** ☒ **Heißbemessung n. EC 2-1-2, B.2** ☐ Tabelle 5.2a (Methode A), EC 2-1-2
Rechteck-/Kreis-Stützen aus Normalbeton

☐ Gleichung (5.7), EC 2-1-2
Rechteck-/Kreis-Stützen aus Normalbeton

3.7.1

Heißbemessung n. EC 2-1-2, B.2

Die Heißbemessung kann für einen Rechteckquerschnitt (ein- und zweiachsig belastet) sowie für einen Kreis, Plattenbalken, Überzug, Doppel-T oder eine Platte (einachsig belastet) erfolgen.

Wesentlich ist die möglichst realitätsnahe Ermittlung der Temperaturen für den Beton und den Betonstahl sowie die Berechnung des statisch verfügbaren reduzierten Querschnitts.

instationärer Wärmetransport ☒ Profil ermitteln

Brandseiten ☒ oben ☒ oben
☒ unten ☒ unten
☒ links/rechts bzw. ☒ links
☒ rechts

Beflammungsdauer t_{max} 90 min

Anfangsfeuchte (Beton) 1.5 %

therm. Leitfähigkeit (Beton) ☒ obere Grenze ☐ untere Grenze
EC 2-1-2 / NA-DE: obere Grenze

Zuschlagstoff (Beton) ☒ Quarz ☐ Kalkstein

Rohdichte (Stahlbeton) ρ_c 2300 kg/m³

konvekt. Wärmeübergang α 25.0 W/m²K

Emissionswert ϵ 0.70

Rechengenauigkeit ☐ gering
beeinflusst die Größe der Kontrollvolumina und damit auch die Rechenzeit ☒ mittel
☐ hoch

Zur Ermittlung des Temperaturprofils sind folgende Parameter vorzugeben

- **Brandseiten** - Die beflamten Seiten des Querschnitts sind zu kennzeichnen. Eine unsymmetrische Beflammung bewirkt neben der thermisch bedingten Verlängerung eine Verkrümmung des Querschnitts
- **Beflammungsdauer** - Je nach Bedeutung des Bauwerks ist die Zeitspanne anzugeben, in der das Bauteil standhalten soll.
- **Anfangsfeuchte** - Eine hohe Anfangsfeuchte (z.B. durch ein gut belüftetes oder außen liegendes Bauteil) bewirkt eine Verzögerung der Temperaturzunahme im Innern des Querschnitts.
- **therm. Leitfähigkeit** - Die thermische Leitfähigkeit des Betons ist n. EC 2-1-2 durch zwei Kurven gekennzeichnet. Der nationale Anhang für Deutschland legt fest, dass die obere Grenze verwendet werden soll. Hier kann diese Einstellung übersteuert werden.
- **Zuschlagstoff** - Der Zuschlagstoff des Betons beeinflusst die Temperatursausbreitung im Querschnitt.
- **Rohdichte** - Es ist die Rohdichte des Stahlbetons anzugeben. Bei gering bewehrten Trägern liegt der Wert eher bei 2.300 kg/m³, bei hoch bewehrten Stützen eher bei 2.400 kg/m³.
- **konvekt. Wärmeübergang, Emissionswert** - Der konvektive Wärmeübergang und der Emissionswert werden bestimmt durch die Oberflächenstruktur des Betons. Sie betragen n. Norm die o.a. Werte.
- **Rechengenauigkeit** - Das instationäre Transportmodell basiert auf einer Finite-Differenzen-Methode, dessen Zeitschritte u.A. an die Elementgröße gekoppelt sind. Je feiner der Querschnitt diskretisiert ist, desto besser ist das Ergebnis, doch um so länger dauert die Berechnung.

Aus dem Temperaturprofil werden die materialspezifischen Parameter berechnet. Dazu stehen zwei Verfahren zur Verfügung

- das **Zonenverfahren** und die
- Isothermenmethode**

☒ **Zonenverfahren** Anzahl Zonen

Tragverhalten ☒ Balken/Platte ☐ Stütze/Wand

Verfahren nach ☒ pcae (eigene Einstellungen)

☐ Cyllok/Achenbach

☐ Zilch/Müller/Reitmayer

- Anzahl Zonen** - Der Querschnitt wird in eine Anzahl Zonen eingeteilt, in denen eine nahezu gleichmäßige Betontemperatur vorliegt. Je größer diese Anzahl ist, desto genauer ist das Ergebnis, aber auch um so länger ist die Rechenzeit.
- Tragverhalten** - Die gemittelten Temperaturen werden nach Vorgaben des EC 2-1-2 für Biegeglieder (Balken/Platte) und Druckglieder (Stütze/Wand) unterschiedlich zu einer mittleren Betontemperatur zusammengefasst.
- Verfahren** - Cyllok/Achenbach und Zilch/Müller/Reitmayer haben die Vorgaben des EC 2 interpretiert und Vorschläge für die Wahl der Parameter gemacht.

Wird **pcae** (eigene Einstellungen) gewählt, können diese Parameter selbst bestimmt werden.

☒ **Isothermenmethode** krit. Temperatur θ_{crit} °C

- krit. Temperatur** - Die Isothermenmethode geht davon aus, dass die Querschnittsbereiche, deren Temperatur die kritische Temperatur übersteigt, statisch nicht wirksam sind. Der Rest des Querschnitts trägt allerdings wie bei der Kaltbemessung.

Dieses Verfahren ist in Deutschland nicht erlaubt.

3.7.2

Heißbemessung durchführen

Heißbemessung ☒ durchführen

☒ statisch unwirksame Betonrandzone a_z cm

Form der Spannungsdehnungslinien

☐ vereinfacht (EC 2-1-2, Kap. 4.2.4)

☒ genau (EC 2-1-2, Kap. 3.2.2)

☐ innere Spannungen NICHT berücksichtigen

☒ Betontemperatur des kältesten Punkts

Herstellart (Betonstahl) ☒ warmgewalzt ☐ kaltverformt

Optional kann die Heißbemessung durchgeführt werden.

- statisch unwirksame Betonrandzone** - Der Wert wird von den o.a. Verfahren berechnet, kann an dieser Stelle übersteuert werden.
- Form der Spannungsdehnungslinien** - Die Materialparameter für hochtemperaturbelasteten Beton oder Stahl können vereinfacht oder genau berechnet werden.
- innere Spannungen NICHT berücksichtigen** - Gehen die thermisch bedingten Spannungen zwischen Beton und Betonstahl bereits durch das verwendete Verfahren (z.B. Cyllok/Achenbach) in die Bemessung ein, kann ihre Berücksichtigung an dieser Stelle abgeschaltet werden.
- Betontemperatur des kältesten Punkts** - Der Betonquerschnitt erfährt durch die Hochtemperaturbelastung seines Rands eine ungleichmäßige Temperaturverteilung (s. Temperaturprofil).

Die Bemessungsmethoden können allerdings nur eine einheitliche Steifigkeit verarbeiten. Daher wird die Temperatur des kältesten Punkts als Referenztemperatur angenommen. Ist der Button ausgeschaltet, wird eine über den Querschnitt gemittelte Temperatur verwendet.

Herstellart (Betonstahl) - Nur für die Bemessung ist die Herstellart des Betonstahls von Bedeutung.

Wird das Temperaturprofil nicht ermittelt, sind die benötigten Werte direkt in das Programm einzugeben.

instationärer Wärmetransport		<input type="checkbox"/> Profil ermitteln
Betontemperatur	Θ_{cm}	300 °C
Stahltemperaturen	Θ_{smo}	700 °C
	Θ_{smu}	700 °C
		stat. unwirks. Randzone
	a_{zo}	3.00 cm
	a_{zu}	3.00 cm
	a_{zs}	3.00 cm

- mittlere Betontemperatur Θ_{cm}
- (mittlere) Stahltemperaturen Θ_{sm}
- statisch unwirksame Betonrandzone a_z

Wesentliche Hinweise zur Brandbemessung finden Sie im Handbuch [pcae - Stahlbetontheorie](#) (als pdf-Dokument auf unserer Web-Site [pcae.de](#)).

Sind **Zwischenergebnisse** aktiviert (s. Ausdrucksteuerung Abs. 3.11, S. 47), wird in der Druckliste zu jeder Lastkombination der Grenzdehnungszustand ausgegeben.

3.7.3

Brandbemessung mit Tabelle 5.2a (Methode A) oder Gleichung (5.7)

Für einen kompakten Rechteck- oder Kreisquerschnitt (ein- oder zweiachsig belastet) aus Normalbeton kann Tabelle 5.2a oder Gleichung (5.7) angewandt werden, wenn die Bauteile den entsprechenden Anforderungen genügen.

Vorab wird eine Biegebemessung mit den Brandschnittgrößen durchgeführt, um einen sinnvollen Anfangszustand für die Bewehrungsiteration vorzugeben.

Feuerwiderstandsklasse		R 90	
Ersatzlänge der Stütze im Brandfall	$l_{0,fi}$	3.0 m	≤ 3 m
Umrechnungsfaktor Th.I.O.-Th.II.O.	f^{I-II}	0.70	=1.0: Schnittgrößen sind n. Th.II.O. berechnet

- **Feuerwiderstandsklasse** - In einer Liste werden die möglichen Feuerwiderstandsklassen (= Beflammungsdauer) angeboten.
- **Ersatzlänge** - Die Ersatzlänge entspricht näherungsweise der Knicklänge der Stütze.
Bei Anwendung der Tabelle gilt: Da nur Versuche an 3 m langen Pendelstützen durchgeführt wurden, darf die Ersatzlänge diesen Wert nicht übersteigen.
Die Anwendung von Gl. (5.7) ist zugelassen für eine Ersatzlänge von 6 m.
- **Umrechnungsfaktor** - Die Bemessungsgrößen müssen n. Th. II. O. berechnet sein. Ist das nicht der Fall, kann mit diesem Faktor näherungsweise eine pauschale Umrechnung der Ausnutzung erfolgen $\mu_{fi}^{II} = \mu_{fi}^I / f^{I-II}$.

Wesentliche Hinweise zur Brandbemessung finden Sie auf der Seite *vereinfachter Brandschutznachweis für Druckglieder* im Handbuch [pcae - Stahlbetontheorie](#) (als pdf-Dokument auf unserer Web-Site [pcae.de](#)).

3.7.4

Bemessungsgrößen

Schnittgrößen im Grenzzustand der Tragfähigkeit (außergewöhnliche Bemessungssituation für den Brandfall)

Schnittgrößen aus Bauteil importieren Schnittgrößen aus Text-Datei einlesen

	N_{Ed} kN	$M_{y,Ed}$ kNm	$V_{z,Ed}$ kN	$M_{z,Ed}$ kNm	$V_{y,Ed}$ kN	$T_{t,Ed}$ kNm
1:	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0

neu

Die Brandbemessung wird im Grenzzustand der Tragfähigkeit für die außergewöhnliche Bemessungssituation geführt.

Die Bemessungsgrößen können manuell eingegeben, aus einem **pcae**-Programm importiert oder aus einer Text-Datei eingelesen werden.

Der Übersichtlichkeit halber werden nur die Felder freigelegt, die für den vorgegebenen Querschnitt relevant sind. Bei der Brandbemessung werden Normalkraft und Biegemomente berücksichtigt.

Weitere Informationen zur Eingabe der Bemessungsgrößen finden Sie unter Abs. 3.10, S. 44.

3.7.5

Brandbemessung: Erforderliche Bewehrung

Ist die Online-Berechnung (**auto**-Button) aktiviert, wird die berechnete (erforderliche) Bewehrung am Bildschirm protokolliert.

erf A_{s0}	0.00	cm ²	erf A_{sU}	2.77	cm ²	Längsbewehrung einachsig
erf A_{s1}	1.41	cm ²	erf A_{s2}	1.41	cm ²	Längsbewehrung zweiachsig
					erf A_{s3}	1.10 cm ²
					erf A_{s4}	1.10 cm ²

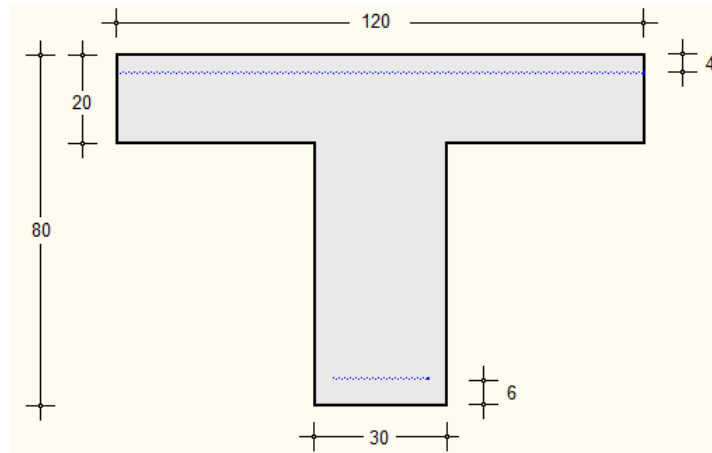
3.8

gewählte Bewehrung

Bewehr

Im achten Register kann eine Bewehrung gewählt werden.

Anhand eines Plattenbalken-Querschnitts werden die Möglichkeiten der Bewehrungswahl erläutert.



Ein Plattenbalken wird i.A. als Unterzug eingesetzt, d.h. die Breite des Obergurts entspricht einer mitwirkenden Breite.

Während im Steg eine seitliche Begrenzung gegeben ist, bei der die Betondeckung zu beachten ist, wird dies in der Gurtplatte nicht berücksichtigt. Die Gurtplatte wird also als 'Platte' bewehrt, wohingegen der Steg als 'Träger' wirkt.

Besonderheit bei Plattenbalken/Überzug: In der Gurtplatte liegt die statisch erforderliche Bewehrung am äußeren Rand (beim Plattenbalken 'oben', beim Überzug 'unten').

Da jedoch i.A. in einer Platte auch auf der anderen Seite eine Bewehrung angeordnet wird, kann diese ebenfalls eingegeben und bei der grafischen Darstellung berücksichtigt werden.

☒ **Bewehrung wählen**

Gurtplatte oben

Betondeckung / Verlegemaß c_{vo} 3.0 cm \geq 2.6 cm

seitliche Betondeckung

Lagermatte ☒ R188

Zulagebewehrung / Längsbewehrung Biegung+Normalkraft

	ns	ds	mm
1.	2	16	
neu			

vorh. Bewehrung $vorh A_{so}$ 6.28 cm²

erf. Bewehrung $\geq erf A_{so}$ 0.00 cm²

unten

c_{vu} 3.5 cm \geq 3.5 cm

c_{vr} 2.0 cm

	ns	ds	mm
1.	3	20	
2.	2	16	
neu			

vorh. A_{su} 13.45 cm²

$\geq erf A_{su}$ 3.39 cm²

Gurtplatte unten

c_{vp} 2.0 cm

☐ Q335

	ds	s	mm	cm
1.	10	20.0		
neu				

vorh. A_{sp} 3.14 cm²

Zunächst ist die **Betondeckung** / das **Verlegemaß** zu wählen. Die seitliche Betondeckung bezieht sich nur auf den Steg (unten).

Werden die Expositionsklassen des Bauteils berücksichtigt (s. Reg. 1, Expositionsklasse Abs. 3.1, S. 11), wird die gewählte mit der erforderlichen Betondeckung verglichen. Ein Fehler wird gekennzeichnet.

Anschließend wird die Längsbewehrung gewählt. Dazu kann für Platten (Querschnittstyp Platte,

Gurtplatte des Plattenbalkens und Überzugs) optional eine Lagermatte gewählt werden.

Es stehen die Mattentypen Q188, Q257, Q335, Q424, Q524, Q636, R188, R257, R335, R424, R524 zur Verfügung.

Die Längsbewehrung wird bei Plattenbalken und Überzügen als Zulagebewehrung nur im Steg verlegt. Die Bewehrung in Anzahl Stäbe n_s mit dem Durchmesser d_s kann in bis zu 10 Lagen angeordnet werden.

Wird bei Platten keine Lagermatte gewählt, ist die Bewehrung mit dem Durchmesser d_s pro Abstand s einzugeben.

Ist die Online-Bemessung aktiviert und sind Nachweise durchgeführt worden (s. Reg. Biege-/Schubbemessung (Abs. 3.2, S. 18), Rissnachweis (Abs. 3.3, S. 22), Spannungsnachweis (Abs. 3.4, S. 28), Ermüdungsnachweis (Abs. 3.5, S. 30), Dichtigkeitsnachweis (Abs. 3.6, S. 32), Brandbemessung (Abs. 3.7, S. 35), wird die gewählte mit der erforderlichen Längsbewehrung verglichen. Ein Fehler wird gekennzeichnet.

Querbewehrung im Gurt	\emptyset 10	/	20.0	cm/m
vorh. Bewehrung	vorh a_{sfd}	3.93	cm ² /m	
erf. Bewehrung	\geq erf a_{sfd}	2.91	cm ² /m	

Bei Plattenbalken und Überzügen ist der Anschluss der abstehenden Gurtteile an den Steg nachzuweisen. Die Querbewehrung wird als Stabstahl quer zur Tragrichtung im Bereich a_v gleichmäßig verteilt.

Sie wird nur angeboten, wenn eine Anschlussberechnung durchgeführt wurde (s. Reg. 2, Schubbemessung - Anschluss der Gurte an den Steg Abs. 3.2.4, S. 20). Die Bewehrung mit dem Durchmesser d_s pro Abstand s einzugeben.

Ist die Online-Bemessung aktiviert, wird die gewählte mit der erforderlichen Querbewehrung verglichen. Ein Fehler wird gekennzeichnet.

Bügelbewehrung Querkraft einschl. Verbund				
	4	-schnittig, \emptyset 8	/	20.0 cm
vorh. Bewehrung	vorh a_{sbv}	10.05	cm ² /m	
erf. Bewehrung	\geq erf a_{sbv}	8.22	cm ² /m	

Die sich bei der Querkraftbemessung ergebende erforderliche Bewehrung (s. Reg. 2, Schubbemessung Abs. 3.2.2, S. 19) wird durch Bügel abgedeckt, die mit dem Durchmesser d_s pro Abstand s einzugeben sind. Es können mehrschnittige Bügel gewählt werden.

Ist die Online-Bemessung aktiviert, wird die gewählte mit der erforderlichen Bügelbewehrung verglichen.

Liegt eine Verbundfuge vor (s. Reg. 2, Schubbemessung - Schubkraftübertragung in horizontalen Verbundfugen Abs. 3.2.3, S. 20), ist die erforderliche Verbundbewehrung in erf a_{sbv} enthalten. Ein Fehler wird gekennzeichnet.

Bügelbewehrung Torsion (2-schnittig)			Längsbewehrung Torsion (umlaufend)		
	\emptyset 8	/	30.0	cm	
vorh. Bewehrung	vorh a_{sbT}	3.35	cm ² /m	vorh A_{sT}	4.02
erf. Bewehrung	\geq erf a_{sbT}	2.74	cm ² /m	\geq erf A_{sT}	3.55

Die erforderliche Torsionsbewehrung (s. Reg. 2, Schubbemessung Abs. 3.2.2, S. 19) wird durch ein Gitter von Bügel- und Längsbewehrung abgedeckt.

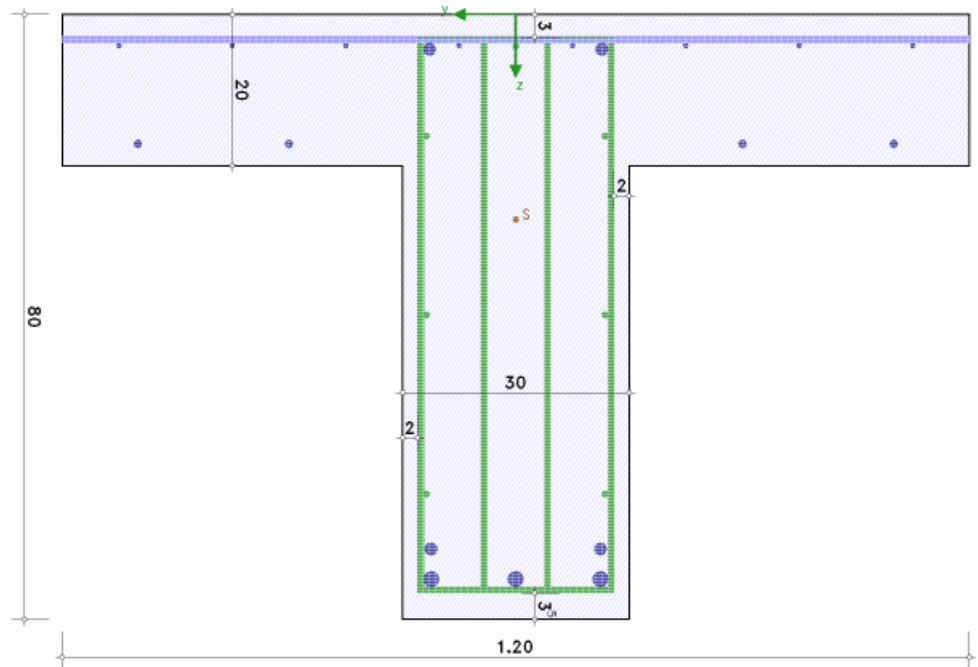
Die stets 2-schnittigen Bügel sind mit dem Durchmesser d_s pro Abstand s einzugeben, die Längsbewehrung mit Anzahl Stäbe n_s vom Durchmesser d_s ist umlaufend anzuordnen.

Ist die Online-Bemessung aktiviert, wird die gewählte mit der erforderlichen Torsionsbewehrung verglichen. Ein Fehler wird gekennzeichnet.

min. Stababstand	min d _{vo}	3.60	cm	min d _{vu}	4.00	cm				
erf. Achsabstand	erf d _o	4.60	cm >	4.0	cm	erf d _u	6.50	cm >	6.0	cm

Mit den eingegebenen Werten können die minimalen Stababstände ermittelt werden. Sie werden zur Info am Bildschirm dargestellt.

Ebenso werden die erforderlichen minimalen Achsabstände berechnet. Der erforderliche A. wird mit dem Eingabewert (s. Reg. 1 Abs. 3.1, S. 11) verglichen. Ein Fehler wird gekennzeichnet.



In der Druckliste werden die gewählten Werte dokumentiert und mit den Berechnungswerten verglichen. Fehler werden gekennzeichnet.

Abschließend erfolgt eine maßstäbliche Darstellung des bewehrten Querschnitts (**Maßstab** der Grafik, s. Ausdrucksteuerung Abs. 3.11, S. 47) sowohl in der Druckliste als auch als Bewehrungsplan.

Hinweis zweiachsige Bemessung: Bewehrungsbündel werden mit ihrem flächengleichen Stabdurchmesser dargestellt.

3.9

Sicherheitsnachweis / Dehnungszustand

Spezial

Im neunten Register werden die Parameter und die Schnittgrößen für die Sondernachweise, Sicherheitsnachweis und Dehnungszustand, festgelegt.

3.9.1

Sicherheitsnachweis

Der Sicherheitsnachweis berechnet für einen gegebenen Bewehrungszustand (z.B. die gewählte Bewehrung, s. Reg. 8 Abs. 3.8, S. 39) die Sicherheit gegen Querschnittsversagen t .

Die Ausnutzung des Querschnitts entspricht dem Kehrwert der Sicherheit $U = 1 / t$.

- ☒ Sicherheitsnachweis (GZT)
- ☐ Berechnung des Nettoquerschnitts
- ☐ Querschnittsfestigkeit aus der Brandbemessung
- ☒ Schnittgrößen übernehmen aus Biegebemessung

- **Nettoquerschnitt** - Optional kann der Nettoquerschnitt für die Berechnung der Sicherheit verwendet werden, d.h. der von der Bewehrung verdrängte Beton wird nicht berücksichtigt.
Hinweis: Bei der Biegebemessung wird die Tragfähigkeit des gesamten Querschnitts (Bruttoquerschnitt) verwendet, die Gesamttragfähigkeit wird also (i.A. leicht) überschätzt.
- **Festigkeit aus der Brandbemessung** - Wird während des Rechenlaufs eine Brandbemessung durchgeführt, kann die Sicherheit für die Brand-Festigkeit ermittelt werden.
- **Schnittgrößenübernahme** - Optional besteht die Möglichkeit, die Schnittgrößen aus dem Register der Biegebemessung (Reg. 2 Abs. 3.2., S. 18) zu verwenden. Ggf. vorhandene Schnittgrößen werden überschrieben.

Bei aktiviertem Knopf können keine weiteren Schnittgrößen eingegeben werden.

Ist die Biegebemessung nicht aktiviert, wird eine Fehlermeldung ausgegeben.

3.9.1.1

Schnittgrößen

Schnittgrößen für den Sicherheitsnachweis

Schnittgrößen aus Bauteil importieren Schnittgrößen aus Text-Datei einlesen

	N_{Ed} kN	$M_{y,Ed}$ kNm	$V_{z,Ed}$ kN	$M_{z,Ed}$ kNm	$V_{y,Ed}$ kN	$T_{t,Ed}$ kNm
1:	0.0	250.0	0.0	0.0	0.0	0.0

neu →

Der Sicherheitsnachweis wird i.A. im Grenzzustand der Tragfähigkeit geführt, d.h. die Schnittgrößen sind mit den entsprechenden Sicherheitsbeiwerten zu beaufschlagen.

Die Bemessungsgrößen können manuell eingegeben, aus einem **pcae**-Programm importiert oder aus einer Text-Datei eingelesen werden.

Der Übersichtlichkeit halber werden nur die Felder freigelegt, die für den vorgegebenen Querschnitt relevant sind. Beim Sicherheitsnachweis werden Normalkraft und Biegemomente berücksichtigt.

Weitere Informationen zur Eingabe der Bemessungsgrößen finden Sie unter Abs. 3.10, S. 44.

3.9.2

Sicherheitsnachweis: Vorhandene Sicherheit

Ist die Online-Berechnung (**auto**-Button) aktiviert, wird die berechnete (vorhandene) minimale Querschnittssicherheit am Bildschirm protokolliert.

min t 1.77

3.9.3

Dehnungszustand

Der Dehnungszustand wird für einen gegebenen Bewehrungszustand (z.B. die gewählte Bewehrung, s. Reg. 8 Abs. 3.8, S. 39) berechnet.

☒ **Dehnungszustand (GZG)**
☐ Berechnung des Nettoquerschnitts
☐ Querschnittsfestigkeit aus der Brandbemessung
☒ Schnittgrößen übernehmen aus Rissnachweis

- **Nettoquerschnitt** - Optional kann der Nettoquerschnitt für die Berechnung des Dehnungszustands verwendet werden, d.h. der von der Bewehrung verdrängte Beton wird nicht berücksichtigt.

Hinweis: Bei den Nachweisen im GZG wird die Tragfähigkeit des gesamten Querschnitts (Bruttoquerschnitt) verwendet, die Gesamttragfähigkeit wird also (i.A. leicht) überschätzt.

- **Festigkeit aus der Brandbemessung** - Wird während des Rechenlaufs eine Brandbemessung durchgeführt, kann der Dehnungszustand für die Brand-Festigkeit ermittelt werden.
- **Schnittgrößenübernahme** - Optional besteht die Möglichkeit, die Schnittgrößen aus einem Register der Nachweise im GZG zu übernehmen. Dazu ist der entsprechende Nachweis aus einer Liste auszuwählen. Ggf. vorhandene Schnittgrößen werden überschrieben.

Ist der gewählte Nachweis nicht aktiviert, wird eine Fehlermeldung ausgegeben.

3.9.3.1

Schnittgrößen

Schnittgrößen für den Dehnungszustand

Schnittgrößen aus Bauteil importieren Schnittgrößen aus Text-Datei einlesen

	N_{Ed} kN	$M_{y,Ed}$ kNm	$V_{z,Ed}$ kN	$M_{z,Ed}$ kNm	$V_{y,Ed}$ kN	$T_{t,Ed}$ kNm
1:	0.0	180.0	0.0	0.0	0.0	0.0

neu

Der Dehnungszustand wird i.A. mit den Schnittgrößen im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit berechnet.

Die Bemessungsgrößen können manuell eingegeben, aus einem **pcae**-Programm importiert oder aus einer Text-Datei eingelesen werden.

Der Übersichtlichkeit halber werden nur die Felder freigelegt, die für den vorgegebenen Querschnitt relevant sind. Für die Ermittlung des Dehnungszustands werden Normalkraft und Biegemomente berücksichtigt.

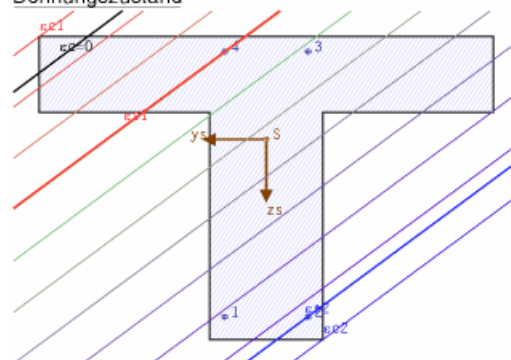
Weitere Informationen zur Eingabe der Bemessungsgrößen finden Sie unter Abs. 3.10, S. 44.

3.9.3.2

Dehnungszustand: Grafische Darstellung

Für jede Lastkombination wird der Dehnungszustand in der Druckliste maßstäblich dargestellt (bei ausführlicher Ergebnisdarstellung großformatig, s. Ausdrucksteuerung Abs. 3.11, S. 47).

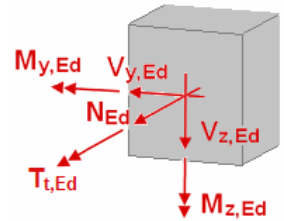
Bemessungsgrößen: $N_{Ed} = 0.00$ kN, $M_{y,Ed} = 180.00$ kNm, $M_{z,Ed} = 120.00$ kNm
 Bewehrung: $A_{s1} = 9.42$ cm², $A_{s2} = 4.02$ cm², $A_{s3} = 3.14$ cm², $A_{s4} = 0.00$ cm²
 Dehnungszustand: $\varepsilon_{c1} = -0.092\text{‰}$, $\varepsilon_{s1} = 0.298\text{‰}$, $\varepsilon_{s2} = 1.137\text{‰}$, $\varepsilon_{c2} = 1.224\text{‰}$, $\alpha_k = 126.45^\circ$
 Dehnungszustand



Bemessungsschnittgrößen

Die Schnittgrößen werden als Bemessungsgrößen mit der Vorzeichendefinition der Statik eingegeben, wobei das x,y,z-Koordinatensystem dem l,m,n-System der **pcae**-Tragwerksprogramme entspricht.

Es können bis zu 10.000 Schnittgrößenkombinationen eingegeben werden.



Bei Übernahme der Schnittgrößen aus einem Tragwerksprogramm ist zu beachten, dass sie sich auch bei unsymmetrischen Querschnittsprofilen (z.B. Polygon) auf das Stab-Koordinatensystem und **nicht** auf das Hauptachsensystem (**pcae**-Bezeichnung: ξ, η, ζ) beziehen!

	N_{Ed} kN	$M_{y,Ed}$ kNm	$V_{z,Ed}$ kN	$M_{z,Ed}$ kNm	$V_{y,Ed}$ kN	$T_{t,Ed}$ kNm
1	1.8	381.6	-22.7	-20.3	-4.1	17.2

Schnittgrößen importieren

Detailnachweisprogramme zur Querschnittsbemessung benötigen Schnittgrößenkombinationen, die häufig von einem Tragwerksprogramm zur Verfügung gestellt werden.

Dabei handelt es sich i.d.R. um eine Vielzahl von Kombinationen, die im betrachteten Bemessungsschnitt des übergeordneten Tragwerkprogramms vorliegen und in das Anschlussprogramm übernommen werden sollen.

pcae stellt neben der 'per Hand'-Eingabe zwei verschiedene Mechanismen zur Verfügung, um Schnittgrößen in das vorliegende Programm zu integrieren.

Schnittgrößen aus **##**-Programm importieren



Schnittgrößen aus Text-Datei einlesen



Import aus einem ##-Programm

Voraussetzung zur Anwendung des DTE®-Import-Werkzeugs ist, dass sich ein **pcae**-Programm auf dem Rechner befindet, das Ergebnisdaten exportieren kann.

Eine ausführliche Beschreibung zum Schnittgrößenimport aus einem **pcae**-Programm befindet sich unter Abs. 3.10.1, S. 45.

Import aus einer Text-Datei

Die Schnittgrößenkombinationen können aus einer Text-Datei im ASCII-Format eingelesen werden.

Die Datensätze müssen in der Text-Datei in einer bestimmten Form vorliegen; der entsprechende Hinweis wird bei Betätigen des **Einlese**-Buttons gegeben.

Anschließend wird der Dateiname einschl. Pfad der entsprechenden Datei abgefragt.

Es werden sämtliche vorhandenen Datensätze eingelesen und in die Tabelle übernommen. Bereits bestehende Tabellenzeilen bleiben erhalten.

Wenn keine Daten gelesen werden können, erfolgt eine entsprechende Meldung am Bildschirm.

Schnittgrößenimport

Die statische Berechnung eines Bauteils beinhaltet i.A. die Modellbildung mit anschließender Berechnung des Tragsystems sowie nachfolgender Einzelnachweise von Detailpunkten.

Bei der Beschreibung eines Details sind die zugehörigen Schnittgrößen aus den Berechnungsergebnissen des Tragsystems zu extrahieren und dem Detailnachweis zuzuführen.

In der Programmorganisation gibt es hierzu verschiedene Vorgehensweisen

- zum einen können Tragwerks- und Detailprogramm fest miteinander verbunden sein, d.h. die Schnittgrößenübergabe erfolgt intern. Es sind i.A. keine weiteren Eingaben (z.B. Geometrie) notwendig, jedoch möglich (z.B. weitere Belastungen). Die Programme bilden eine Einheit.

Dies ist z.B. bei der Programmkombination Stütze mit Fundament der Fall, da beide Programme auch einzeln bedient werden können (##-STUB, ##-FUND).

- zum anderen sind die ##-Programme in der Lage, über definierte Punkte miteinander zu kommunizieren.

Die Detailprogramme können sich die Schnittgrößen von den Tragwerksprogrammen über ein zwischengeschaltetes Export/Import-Tool abholen.

Anhand eines einfachen Rahmens wird dieser Schnittgrößen-Export/Import zwischen ##-Programmen erläutert.

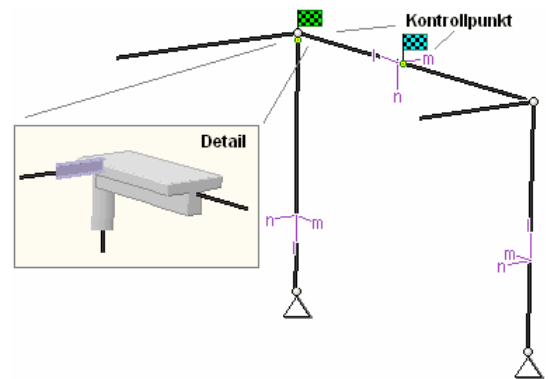
Schnittgrößenexport

Zunächst sind in dem exportierenden ##-Programm (z.B. ##-FRAP, Räumliche Stabtragwerke) die Orte zu kennzeichnen, deren Schnittgrößen beim nächsten Rechenlauf exportiert, d.h. für den Import in ein Detailnachweisprogramm bereitgestellt werden sollen.

In diesem Beispiel sollen die Schnittgrößen für eine Querschnittsbemessung übergeben werden. Dazu ist an der entsprechenden Stelle ein Kontrollpunkt zu setzen.

Nach einer Neuberechnung des Rahmens stehen die Exportschnittgrößen dem aufnehmenden ##-Programm (z.B. ##-EC2QB, ##-EC3SA usw.) zum Import zur Verfügung.

Ausführliche Informationen zum Export und allen weiteren Hinweisen weiter unten entnehmen Sie bitte dem DTE®-Schnittgrößenexport im DTE®-Handbuch (als pdf-Dokument auf unserer Web-Site pcae.de).



Schnittgrößenimport

Aus dem aufnehmenden ##-Programm wird nun über den **Import**-Button das Fenster zur DTE®-Bauteilauswahl aufgerufen. Hier werden alle berechneten Bauteile dargestellt, wobei diejenigen, die Schnittgrößen exportiert haben, dunkel gekennzeichnet sind.

Das gewünschte Bauteil kann nun markiert und über den **bestätigen**-Button ausgewählt werden. Alternativ kann durch Doppelklicken des Bauteils direkt in die DTE®-Schnittgrößenauswahl verzweigt werden.

☑	Schnitt 1: Stab 3 bei s = 0.18 m	☐	Stahlriegel, Anschl. 1
☑	Schnitt 2: Stab 5 bei s = 0.00 m	☐	Stahlriegel, Anschl. 2
☑	Schnitt 3: Stab 7 bei s = 2.00 m	☑	Stahlbetonriegel
☑	Schnitt 4: Stab 9 bei s = 4.00 m	☐	Stahlstütze, Anschl. 2
☑	Schnitt 5: Stab 10 bei s = 3.88 m	☐	Stahlstütze, Anschl. 1
☑	Schnitt 6: Stab 11 bei s = 0.00 m	☑	Stahlbetonstütze

In der Schnittgrößenauswahl werden die verfügbaren Schnittgrößenkombinationen aller im übergebenden Programm gekennzeichneten Schnitte angeboten. Dabei sind diejenigen Schnitte deaktiviert, deren Material mit dem Detailprogramm nicht kompatibel ist.

Es wird nun der Schnitt geöffnet, dessen Schnittgrößen eingelesen werden sollen.

<div> </div>						
<div> <div>Schnitt 1: Stab 3 bei s = 0.18 m</div> <div> Stahlriegel, Anschl. 1</div> </div>						
<div> <div>Schnitt 2: Stab 5 bei s = 0.00 m</div> <div> Stahlriegel, Anschl. 2</div> </div>						
<div> <div>Schnitt 3: Stab 7 bei s = 2.00 m</div> <div> Stahlbetonriegel</div> <div>Material: Stahlbeton, Querschnitt: Plattenbalken (Unterzug) mit bSteg=30.0cm, hgesamt=60.0cm, bPlatte=120.0cm, hPlatte= 20.0cm</div> </div>						
	N	V _m	V _n	T	M _m	M _n
	kN	kN	kN	kNm	kNm	kNm
<div> <div>Lastfallergebnisse</div> <div>Nachweis 2: Schnittgrößenermittlung (Th. I. Ord.)</div> <div>Nachweis 4: EC 2 Bemessung</div> <div> <div>Extremierung 1: Standardkombination</div> <div>Zusammenfassung Nachweis 4</div> </div> </div>						
min N	1.85	-4.06	-22.69	17.24	381.64	-20.31
max N	29.13	0.00	157.67	0.00	-101.24	0.04
min V _n	1.85	-4.06	-22.69	17.24	381.64	-20.31
max V _n	29.13	0.00	157.67	0.00	-101.24	0.04
min V _z	1.85	-4.06	-22.69	17.24	381.64	-20.31
max V _z	29.13	0.00	157.67	0.00	-101.24	0.04
min T	23.83	0.00	135.17	0.00	-85.92	0.03
max T	1.85	-4.06	-22.69	17.24	381.64	-20.31
min M _n	29.13	0.00	157.67	0.00	-101.24	0.04
max M _n	1.85	-4.06	-22.69	17.24	381.64	-20.31
min M _z	1.85	-4.06	-22.69	17.24	381.64	-20.31
max M _z	29.13	0.00	157.67	0.00	-101.24	0.04
<div> <div>Schnitt 4: Stab 9 bei s = 4.00 m</div> <div> Stahlstütze, Anschl. 2</div> </div>						
<div> <div>Schnitt 5: Stab 10 bei s = 3.88 m</div> <div> Stahlstütze, Anschl. 1</div> </div>						
<div> <div>Schnitt 6: Stab 11 bei s = 0.00 m</div> <div> Stahlbetonstütze</div> </div>						

Die in das importierende Programm übertragbaren Schnittgrößenspalten sind gelb unterlegt.

Dies sind z.B. im Programm *##-EC3SA* (Schweißnähte) sämtliche verfügbaren Schnittgrößentypen, im Programm *##-EC2QB* (einachsige Bemessung) nur die Typen N, V_n, M_m und T.

Die Kombinationen können beliebig zusammengestellt werden, *pcae* empfiehlt jedoch, nur diejenigen K. auszuwählen, die als Bemessungsgrößen für den zu führenden Detailnachweis relevant sind.



Über den nebenstehend dargestellten Button können doppelte Zeilen eliminiert werden, um die Anzahl der zu übertragenden Lastkombinationen zu reduzieren.

Nach Bestätigen der DTE®-Schnittgrößenauswahl bestückt das importierende Programm die Schnittgrößentabelle, wobei ggf. vorhandene Kombinationen erhalten bleiben.


	N _{Ed}	M _{y,Ed}	V _{z,Ed}	M _{z,Ed}	V _{y,Ed}	T _{t,Ed}	
	kN	kNm	kN	kNm	kN	kNm	
1.	1.8	381.6	-22.7	-20.3	-4.1	17.2	Import Lk 1
2.	29.1	-101.2	157.7	0.0	0.0	0.0	Import Lk 2
3.	23.8	-85.9	135.2	0.0	0.0	0.0	Import Lk 3



Die Kompatibilität der Querschnitts- und Nachweisparameter zwischen exportierendem und importierendem Programm ist zu gewährleisten.


Eine Aktualisierung der importierten Schnittgrößenkombinationen, z.B. aufgrund einer Neuberechnung des exportierenden Tragwerks, erfolgt **nicht!**

Eingabeparameter und Ergebnisse werden in einer Druckliste ausgegeben, deren Umfang über die folgenden Optionen beeinflusst werden kann

Für die Detail-Position können **Vorbemerkungen** in das Druckdokument eingefügt werden. Der Text kann in den dafür vorgesehenen Text-Editor (erreichbar über ) eingegeben werden. Die benötigte Zeilenanzahl wird angegeben.

Es kann eine maßstäbliche **grafische Darstellung** des Querschnitts in die Liste eingefügt werden.

Eingabeprotokoll

-  Vorbemerkungen (3 Zeilen)
- ☒ Grafik im Maßstab 1:
- ☒ Eingabeparameter
- ☒ Materialsicherheitsbeiwerte
- ☐ zusätzliche Informationen
- ☐ Parameter des nationalen Anhangs
- ☒ Vorschriften

Der **Maßstab** kann entweder vorgegeben werden, oder die Zeichnung wird im Falle einer Eingabe von 0 größtmöglich in den dafür vorgesehenen Platz gesetzt.

Anschließend werden die **Eingabeparameter** und die **Materialsicherheitsbeiwerte** bzw. **Bemessungsgrößen** ausgedruckt.

I.A. reicht die Ausgabe der Beton- und Betonstahlsorte aus; bei Aktivierung der **zusätzlichen Informationen** werden zudem die Rechenparameter ausgegeben.

Im Anschluss an die Ergebnisse sind die zur Bemessung des Querschnitts maßgebenden **Parameter des nationalen Anhangs** angeordnet.

Zum Schluss kann eine Liste der verwendeten **Vorschriften** (Normen) abgedruckt werden.

Ergebnisse

- ☐ ausführlich
- ☒ standard
- ☐ minimal

Der Umfang der Ergebnisdarstellung kann **ausführlich**, **standard** oder **minimal** sein.

- eine ausführliche Ergebnisausgabe beinhaltet die Ausgabe sämtlicher verwendeter Formeln, um Schritt für Schritt den Lösungswert nachzuvollziehen
- ist dagegen die Ergebnisausgabe minimal, wird nur das Endergebnis ohne weiteren Kommentar ausgedruckt
- im Normalfall reicht die Standardausgabe, bei der nur die wichtigsten Zwischenwerte zusätzlich zum Endergebnis ausgegeben werden

Bei einer großen Anzahl an Lastkombinationen ist es sinnvoll, die Ergebnisse in sehr kompakter Form **tabellarisch** auszugeben.

- ☒ tabellarisch
- ☐ maßgebende Lastkombination (max ρ) detailliert
- ☒ Lastkombination detailliert: Nr.
- ☐ keine detaillierte Ausgabe

Optional kann die **maßgebende Lastkombination**, die zur maximalen Bewehrung (max ρ) geführt hat, in der Standard-Form angefügt werden.

Alternativ kann es sinnvoll sein, den Berechnungsablauf einer frei wählbaren Lastkombination ausgeben zu lassen. Es kann auch keine **detaillierte Ausgabe** erfolgen.

Neben der tabellarischen Ausgabe kann auch nur die **maßgebende Lastkombination** oder eine frei gewählte Lastkombination protokolliert werden.

- ☐ maßgebende Lastkombination (max ρ)
- ☒ Lastkombination detailliert: Nr.

Um den Umfang des Berechnungsprotokolls zu reduzieren, kann die Ausgabe von **Zwischenergebnissen** und/oder **Erläuterungsskizzen** unterdrückt werden.

- ☒ Zwischenergebnisse
- ☒ Erläuterungsskizzen

Das Abschalten der Erläuterungsskizzen betrifft nicht die Ausgabe der Übersichtsgrafik (s.o.).

Das Statikdokument wird in strukturierter Form durchnummeriert, die auch mit dem **pcae**-eigenen Verwaltungsprogramm PROLOG korrespondiert.

Optional kann die **Abschnittsnummerierung unterdrückt** werden.

- ☐ Abschnittsnummerierung unterdrücken

Nationale Anhänge zu den Eurocodes

Die Eurocode-Normen gelten nur in Verbindung mit ihren nationalen Anhängen in dem jeweiligen Land, in dem das Bauwerk erstellt werden soll.

Für ausgewählte Parameter können abweichend von den Eurocode-Empfehlungen (im Eurocode-Dokument mit 'ANMERKUNG' gekennzeichnet) landeseigene Werte bzw. Vorgehensweisen angegeben werden.

In **pcae**-Programmen können die veränderbaren Parameter in einem separaten Eigenschaftsblatt eingesehen und ggf. modifiziert werden.

Dieses Eigenschaftsblatt dient dazu, dem nach Eurocode zu bemessenden Bauteil ein nationales Anwendungsdokument (NA) zuzuordnen.



NAe enthalten die Parameter der nationalen Anhänge der verschiedenen Eurocodes (EC 0, EC 1, EC 2 ...) und ermöglichen den **pcae**-Programmen das Führen normengerechter Nachweise, obwohl sie von Land zu Land unterschiedlich gehandhabt werden.

Die EC-Standardparameter (Empfehlungen ohne nationalen Bezug) wie auch die Parameter des deutschen nationalen Anhangs (NA-DE) sind grundsätzlich Teil der **pcae**-Software.

Darüber hinaus stellt **pcae** ein Werkzeug zur Verfügung, mit dem weitere NAe aus Kopien der bestehenden NAe erstellt werden können. Dieses Werkzeug, das über ein eigenes Hilfedokument verfügt, wird normalerweise aus der Schublade des DTE®-Schreibtisches heraus aufgerufen. Einen direkten Zugang zu diesem Werkzeug liefert die kleine Schaltfläche hinter dem **Schraubenziehersymbol**.

Normen

- DIN 1055-100 Einwirkungen auf Tragwerke - Teil 100: Grundlagen der Tragwerksplanung, Sicherheitskonzept und Bemessungsregeln, Deutsches Institut für Normung e.V., Ausgabe März 2001
- DIN 1045 Beton und Stahlbeton: Bemessung und Ausführung, Deutsches Institut für Normung e.V., Ausg. Juli 1988
- DIN 1045-1 Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton, Teil 1: Bemessung und Konstruktion, Deutsches Institut für Normung e.V., Ausgaben Juli 2001 und August 2008
- DIN-Fachbericht 102: Betonbrücken, Deutsches Institut für Normung e.V., Ausgabe März 2009
- ÖNORM B 4700 Stahlbetontragwerke: EUROCODE-nahe Berechnung, Bemessung und konstruktive Durchbildung. Österreichisches Normungsinstitut, Ausgabe: 2001-06-01
- DIN 4102-4: Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen - Teil 4: Zusammenstellung und Anwendung klassifizierter Baustoffe, Bauteile und Sonderbauteile, Ausg. März 1994
- DIN 4102-4/A1: Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen - Teil 4: Zusammenstellung und Anwendung klassifizierter Baustoffe, Bauteile und Sonderbauteile, Änderung A1, Ausgabe November 2004
- DIN 4102-22: Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen - Teil 22: Anwendungsnorm zu 4102-4 auf der Bemessungsbasis von Teilsicherheitsbeiwerten, Ausgabe Nov. 2004
- DIN EN 1990, Eurocode: Grundlagen der Tragwerksplanung; Deutsche Fassung EN 1990:2002 + A1:2005 + A1:2005/AC:2010, Deutsches Institut für Normung e.V., Ausgabe Dezember 2010
- DIN EN 1990/NA, Nationaler Anhang - National festgelegte Parameter - Eurocode: Grundlagen der Tragwerksplanung; Deutsches Institut für Normung e.V., Ausgabe Dezember 2010
- DIN EN 1991-1-1, Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke - Teil 1-1: Allgemeine Einwirkungen auf Tragwerke - Wichten, Eigengewicht und Nutzlasten im Hochbau; Deutsche Fassung EN 1991-1-1:2002 + AC:2009, Deutsches Institut für Normung e.V., Ausgabe Dezember 2010
- DIN EN 1991-1-1/NA, Nationaler Anhang - National festgelegte Parameter - Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke - Teil 1-1: Allgemeine Einwirkungen auf Tragwerke - Wichten, Eigengewicht und Nutzlasten im Hochbau; Deutsches Institut für Normung e.V., Ausgabe Dezember 2010
- DIN EN 1991-1-2, Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke - Teil 1-2: Brandeinwirkungen auf Tragwerke; Deutsche Fassung EN 1991-1-2:2002 + AC:2009, Deutsches Institut für Normung e.V., Ausgabe Dezember 2010
- DIN EN 1991-1-2/NA, Nationaler Anhang - National festgelegte Parameter - Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke - Teil 1-2: Brandeinwirkungen auf Tragwerke; Deutsches Institut für Normung e.V., Ausgabe Dezember 2010
- DIN EN 1991-1-3, Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke - Teil 1-3: Allgemeine Einwirkungen - Schneelasten; Deutsche Fassung EN 1991-1-3:2003 + AC:2009, Deutsches Institut für Normung e.V., Ausgabe Dezember 2010
- DIN EN 1991-1-3/NA, Nationaler Anhang - National festgelegte Parameter - Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke - Teil 1-3: Allgemeine Einwirkungen - Schneelasten; Deutsches Institut für Normung e.V., Ausgabe Dezember 2010
- DIN EN 1991-1-4, Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke - Teil 1-4: Allgemeine Einwirkungen - Windlasten; Deutsche Fassung EN 1991-1-4:2005 + A1:2010 + AC:2010, Deutsches Institut für Normung e.V., Ausgabe Dezember 2010
- DIN EN 1991-1-4/NA, Nationaler Anhang - National festgelegte Parameter - Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke - Teil 1-4: Allgemeine Einwirkungen - Windlasten; Deutsches Institut für Normung e.V., Ausgabe Dezember 2010
- DIN EN 1991-1-5, Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke - Teil 1-5: Allgemeine Einwirkungen - Temperatureinwirkungen; Deutsche Fassung EN 1991-1-5:2003 + AC:2009, Deutsches Institut für Normung e.V., Ausgabe Dezember 2010
- DIN EN 1991-1-5/NA, Nationaler Anhang - National festgelegte Parameter - Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke - Teil 1-5: Allgemeine Einwirkungen - Temperatureinwirkungen; Deutsches Institut für Normung e.V., Ausgabe Dezember 2010
- DIN EN 1992-1-1, Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetonbauteilen - Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau; Deut-

sche Fassung EN 1992-1-1:2004 + AC:2010,
Deutsches Institut für Normung e.V., Ausgabe Januar 2011

- DIN EN 1992-1-1/NA, Nationaler Anhang - National festgelegte Parameter - Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken - Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau; Deutsches Institut für Normung e.V., Ausgabe Dezember 2010
- DIN EN 1992-1-2, Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken - Teil 1-2: Allgemeine Regeln - Tragwerksbemessung für den Brandfall; Deutsche Fassung EN 1992-1-2:2004 + AC:2008, Deutsches Institut für Normung e.V., Ausgabe Dezember 2010
- DIN EN 1992-1-2/NA, Nationaler Anhang - National festgelegte Parameter - Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken - Teil 1-2: Allgemeine Regeln - Tragwerksbemessung für den Brandfall; Deutsches Institut für Normung e.V., Ausgabe Dezember 2010
- DIN V ENV 1992-1-2, Eurocode 2 (Vornorm): Planung von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken - Teil 1-2: Allgemeine Regeln - Tragwerksbemessung für den Brandfall; Deutsche Fassung ENV 1992-1-2:1995, Ausgabe Mai 1997
- Nationales Anwendungsdokument (NAD) Richtlinie zur Anwendung von DIN V ENV 1992-1-2: 1997-05 Eurocode 2: Planung von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken - Teil 1-2: Allgemeine Regeln - Tragwerksbemessung für den Brandfall. DIN-Fachbericht 92, 2000
- Normenausschuss Bauwesen (NABau) -> Stand der Auslegungen, Deutsches Institut für Normung e.V., www.nabau.din.de

Schnittgrößentransformation bei Flächenträgern

- T. Baumann: Zur Frage der Netzbewehrung von Flächenträgern. Der Bauingenieur 47 (1972), Heft 10, Springer Verlag, 1972
- DIN V ENV 1992-1-1, Eurocode 2 (Vornorm): Planung von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken – Teil 1-1: Grundlagen und Anwendungsregeln für den Hochbau, Deutsches Institut für Normung e.V., Ausgabe Juni 1992
- B. Thürlimann: Anwendungen der Plastizitätstheorie auf Stahlbeton. Vorlesung zum Fortbildungskurs für Bauingenieure von 13.-15. April 1983. Institut für Baustatik und Konstruktion, Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
- K. Holschemacher: Stahlbetonplatten – Neue Aspekte zur Bemessung, Konstruktion und Bauausführung, Bauwerk-Verlag GmbH, 2005

Biegebemessung

- Erläuterungen zu DIN 1045 Beton und Stahlbeton, Ausgabe 07.88, Heft 400, Deutscher Ausschuss für Stahlbeton, Beuth Verlag GmbH, 1989
- Erläuterungen zu DIN 1045-1, Heft 525, Deutscher Ausschuss für Stahlbeton, Beuth Verlag GmbH, 2003
- Berichtigung 1 zum DAfStb-Heft 525, Mai 2005
- Erläuterungen zu DIN 1045-1, Heft 525, Deutscher Ausschuss für Stahlbeton, 2. überarbeitete Auflage, Mai 2010
- F. Fingerloos: DIN 1045 Ausgabe 2008 Tragwerke aus Beton und Stahlbeton, Teil 1: Bemessung und Konstruktion, Kommentierte Kurzfassung, 3. Auflage, Fraunhofer IRB und Beuth Verlag, 2008
- Erläuterungen zu DIN EN 1992-1-1 und DIN EN 1992-1-1/NA (Eurocode 2), Heft 600, Deutscher Ausschuss für Stahlbeton, 1. Auflage, 2012
- F. Fingerloos, J. Hegger, K. Zilch: Eurocode 2 für Deutschland, Kommentierte Fassung, Beuth Verlag und Verlag Wilhelm Ernst & Sohn, 2012
- O. Wommelsdorff: Stahlbetonbau – Bemessung und Konstruktion, Teil 1, 10. Auflage, Werner Verlag, 2011
- O. Wommelsdorff: Stahlbetonbau – Bemessung und Konstruktion, Teil 2, 9. Auflage, Werner Verlag, 2012

Schubbemessung

- E. Grasser: Bemessung für Biegung mit Längskraft, Schub und Torsion, Betonkalender Teil I, Verlag Ernst und Sohn, 1985
- Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein e.V.: Beispiele zur Bemessung nach DIN 1045-1, Band 1: Hochbau, 2. Auflage, Ernst und Sohn Verlag, 2005
- D. Bertram: Erläuterungen zu DIN 4227 Spannbeton (Teil I, Abschnitt 12), Heft 320, Deut-

scher Ausschuss für Stahlbeton, Beuth Verlag GmbH, 1989

- H. Friemann: Schub und Torsion in geraden Stäben, Werner-Verlag GmbH, Düsseldorf, 1983
- K. Zilch und A. Rogge: Bemessung von Stahlbeton- und Spannbetonbauteilen im Brücken- und Hochbau, Betonkalender 2004
- T. Ruge in: K.-W. Bieger: Stahlbeton- und Spannbetontragwerke nach Eurocode 2, Springer-Verlag, 1993
- G. Valentin und G. Kidery: Stahlbetonbau, Manz Verlag Schulbuch, Wien 2001
- P. Mark: Ein Bemessungsansatz für zweiachsig durch Querkkräfte beanspruchte Stahlbetonbalken mit Rechteckquerschnitt, Heft 5, Beton- und Stahlbetonbau 100 (2005)

Mitwirkende Plattenbreite

- E. Grasser, G. Thielen: Hilfsmittel zur Berechnung der Schnittgrößen und Formänderungen von Stahlbetontragwerken. Heft 240, DAfStb, Beuth Verlag, Berlin, 1991

Rissnachweis

Verfahren nach Norm

- G. König & N. Viet Tue: Grundlagen und Bemessungshilfen für die Rissbreitenbeschränkung im Stahlbeton und Spannbeton, Heft 466, Deutscher Ausschuss für Stahlbeton, Beuth Verlag GmbH, 1996
- G. Lohmeyer, K. Ebeling: Weiße Wannen einfach und sicher, Verlag Bau+Technik, 11. Auflage, 2018
- H. K. Hilsdorf: Zeitabhängige Betonverformungen (EC 2 - Abschnitte 2.5.5, 3.1.2.5 und Anhang 1), Heft 425, Deutscher Ausschuss für Stahlbeton, 1992

Verfahren nach Schießl

- P. Schießl: Grundlagen der Neuregelung zur Beschränkung der Rissbreite, Heft 400, Deutscher Ausschuss für Stahlbeton, Beuth Verlag GmbH, 1989
- J. Bergfelder, J. Dittfach: Beschränkung der Rissbreite bei Ortbetonpfählen, Beton- und Stahlbetonbau 87, 1992

Verfahren nach Noakowski

- P. Noakowski: Verbundorientierte, kontinuierliche Theorie zur Ermittlung der Rissbreite, Beton- und Stahlbetonbau 80, 1985
- K. Frank, M. Litzemberger, G. Peters: Rissnachweis nach Noakowski, aufbereitet für den Taschenrechner, Heft 5, Bautechnik 65, 1988

Schwingbreiten-/Ermüdungsnachweis

- K. Zilch und A. Rogge: Bemessung von Stahlbeton und Spannbetonbauteilen im Brücken- und Hochbau, Betonkalender 2004, Verlag Ernst & Sohn, 2004
- K. Zilch, G. Zehetmaier und C. Gläser: Ermüdungsnachweis bei Massivbrücken, Betonkalender 2004, Verlag Ernst & Sohn, 2004
- J. Hegger, W. Roeser, R. Beutel, N. Kerkeni: Konstruktion und Bemessung von Industrie- und Gewerbebauten nach DIN 1045-1, Betonkalender 2006, Verlag Ernst & Sohn, 2006
- M. Heunisch, C.-A. Graubner, C. Hock: Berechnung und Bemessung von Kranbahnen, Betonkalender 2006, Verlag Ernst & Sohn, 2006

Vereinfachter Brandschutznachweis für Druckglieder

- H.M. Bock, E. Klement: Brandschutz-Praxis für Architekten und Ingenieure, 2. Auflage, Bauwerk-Verlag GmbH, 2006
- N.A. Fouad, A. Schwedler: Brandschutz-Bemessung auf einen Blick nach DIN 4102, Bauwerk-Verlag GmbH, 2006
- Musterliste der Technischen Baubestimmungen, Kap.3 Techn. Regeln zum Brandschutz, Betonkalender 2007, Teil 2
- F. Fingerloos, E. Richter: Zur Heißbemessung von Stahlbetonstützen, Der Prüferingenieur, April 2007

Brandbemessung nach DIN EN 1992-1-2 (EC 2 für Brandbeanspruchung)

- Normenhandbuch Eurocodes – Spezialband Tragwerksbemessung für den Brandfall. Vom DIN konsolidierte Fassung, Beuth Verlag, 2012

- Cylllok, Michael & Achenbach, Marcus: Anwendung der Zonenmethode für brandbeanspruchte Stahlbetonstützen, Beton- und Stahlbetonbau 104, 2009
- M. Cylllok & M. Achenbach: Bemessung von Stahlbetonstützen im Brandfall: Absicherung der nicht-linearen Zonenmethode durch Laborversuche, Beton- und Stahlbetonbau 106, Heft 1, 2011
- K. Zilch, A. Müller, C. Reitmayer: Erweiterte Zonenmethode zur brandschutztechnischen Bemessung von Stahlbetonstützen, Bauingenieur Band 85, 2010
- Hinkelmann, Reinhard: Efficient Numerical Methods and Information-Processing Techniques for Modelling Hydro- and Environmental Systems. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2005
- Hildebrand, Joachim: Berechnung nichtlinearer Diffusionsvorgänge in Strukturen mit der Randelementmethode. VDI Verlag GmbH Düsseldorf, 1998
- Köhne, Heinrich: Digitale und analoge Lösungsmethoden der Wärmeleitungsgleichung. Westdeutscher Verlag Köln und Opladen, 1970
- Pennekamp, Harald: Ein analytisches Näherungsverfahren zur Berechnung mehrdimensionaler, instationärer Temperaturfelder in geometrisch einfachen Strukturen. Dissertation, Fakultät für Bergbau und Hüttenwesen der TU Aachen, 1973

Druckzonendicke / Nachweis der Dichtigkeit

- DAfStb-Richtlinie: Wasserundurchlässige Bauwerke, Deutscher Ausschuss für Stahlbeton, Ausg. Dezember 2017
- DAfStb-Richtlinie: Betonbau beim Umgang mit wassergefährdenden Stoffen, Deutscher Ausschuss für Stahlbeton, Ausgabe März 2011
- Erläuterungen zur DAfStb-Richtlinie wasserundurchlässige Bauwerke, Heft 555, Deutscher Ausschuss für Stahlbeton, 2006

Verschiedenes

- Merkblätter des Deutschen Beton- und Bautechnik-Vereins e.V.: Beton und Betonstahl, Fassung Januar 2008
- U. Quast: Nichtlineare Statik im Stahlbetonbau. Bauwerk Verlag, 2007
- G. Allgöwer: Bemessung von Stahlbetondruckgliedern unter zweiachsiger Biegung mit Interaktionsdiagrammen nach Theorie II Ordnung. Dissertation, Fakultät für Bauingenieurwesen, Architektur und Stadtplanung der TU Cottbus, 2001
- S. Köseoglu: Treppen. Betonkalender Teil II, Verlag Ernst und Sohn, 1980