4H-EC2AB Bemessung von Aussparungen n. EC2
Detailinformationen

Seite erweitert August 2024

- Kontakt
- Programmübersicht
- Bestelltext

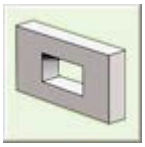
Handbuch

... als pdf

Infos auf dieser Seite

- Eingabeoberfläche .....
- Gewählte Bewehrung .....
- Norm / Material / Querschnitt
- Durchführung Bemessung .....
- Ausdrucksteuerung .....
- Bemessungsp./ Schnittgrößen
- Schnittgrößenimport .....
- Nationale Anhänge .....

Eingabeoberfläche



Das Programm *4H*-EC2AB, Bemessung von Aussparungen, bemisst einen gleichförmigen Träger mit einer großen Aussparung unter einachsiger Belastung nach Eurocode 2 (Stahlbeton).

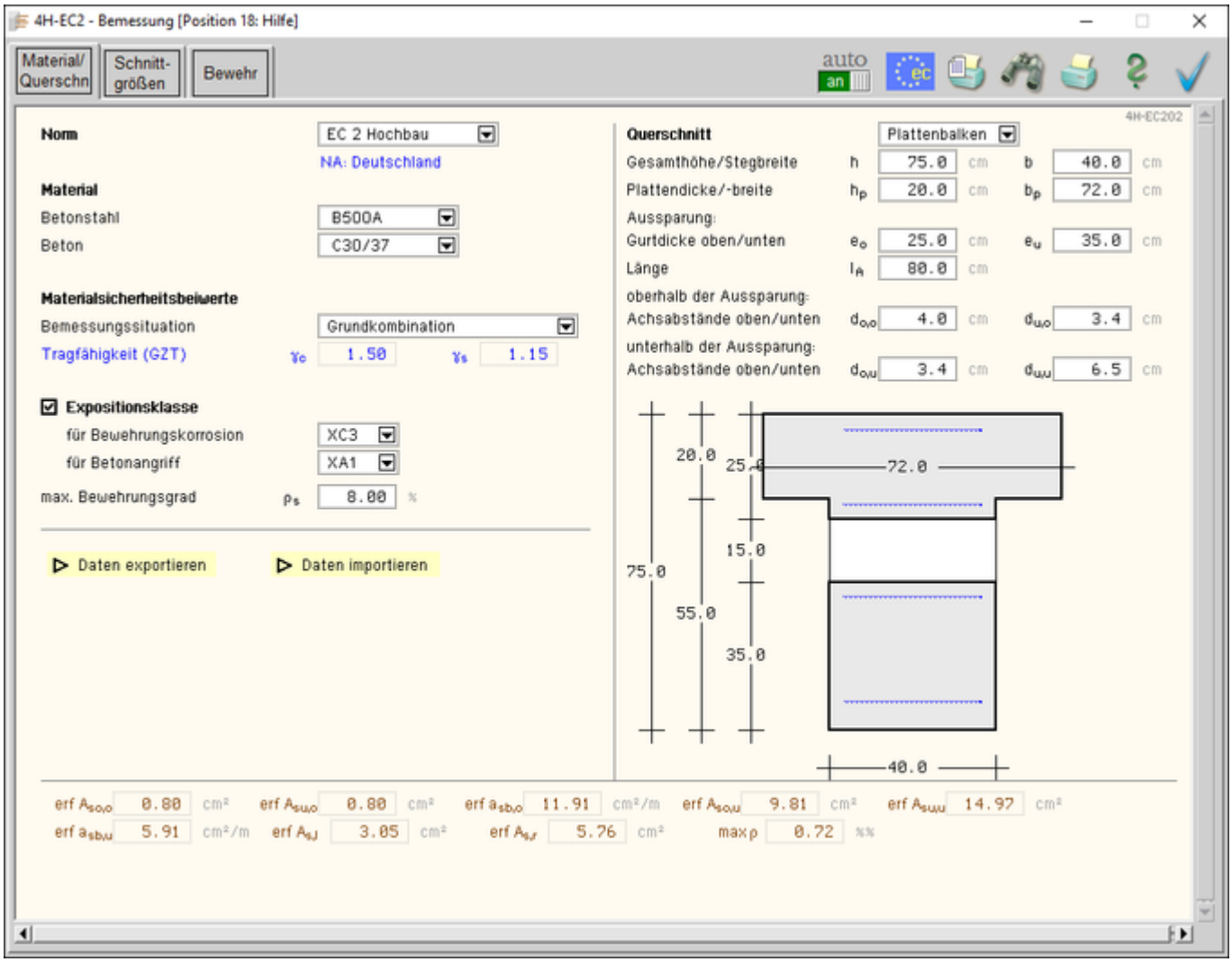
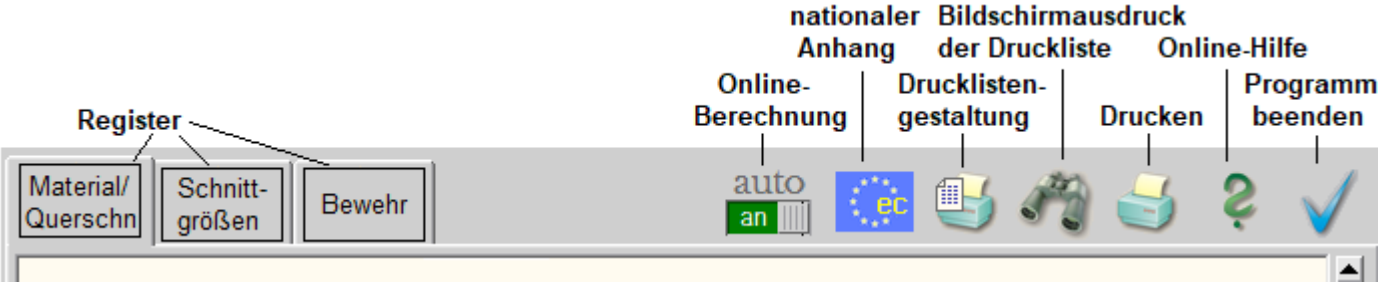
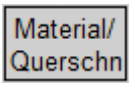


Bild vergrößern

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



Im oberen Teil der Oberfläche sind Knöpfe angeordnet, die den Programmablauf beeinflussen.

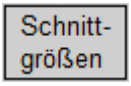


Norm / Material / Querschnitt

Im ersten Registerblatt werden die Bemessungsvorschrift, die Materialangaben, die Materialsicherheitsbeiwerte und die Querschnittsgeometrie festgelegt.

Der Querschnitt wird maßstäblich am Bildschirm dargestellt.

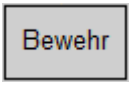
Ist die Online-Berechnung aktiviert, wird die maximal erforderliche Bewehrung am Bildschirm dargestellt.



Bemessungsparameter / Schnittgrößen

Im zweiten Registerblatt werden optionale Nachweisparameter sowie die Schnittgrößen, die in der Mitte der Aussparung wirken, verwaltet.

Ist die Online-Berechnung aktiviert, wird der erforderliche Bewehrungsgrad je Schnittgrößenkombination am Bildschirm angegeben.



Bewehrung wählen

Im dritten Registerblatt kann Bewehrung gewählt werden.

Ist die Online-Berechnung aktiviert, wird die gewählte der maximal erforderlichen Bewehrung am Bildschirm gegenübergestellt.

Online-Berechnung

Ist der ***auto***-Button ***an***, wird während der Dateneingabe die Bemessung online durchgeführt und die erforderliche maximale Bewehrung am Bildschirm protokolliert.

nationaler Anhang

Zur vollständigen Beschreibung der Berechnungsparameter ist der dem Eurocode zuzuordnende nationale Anhang zu wählen.

Über den ***NA-Button*** wird das entsprechende Eigenschaftsblatt aufgerufen.

Ausdrucksteuerung

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.

Norm, Material, Querschnitt

Material/ Querschn

Im ersten Register werden die nachweisunabhängigen Parameter festgelegt.

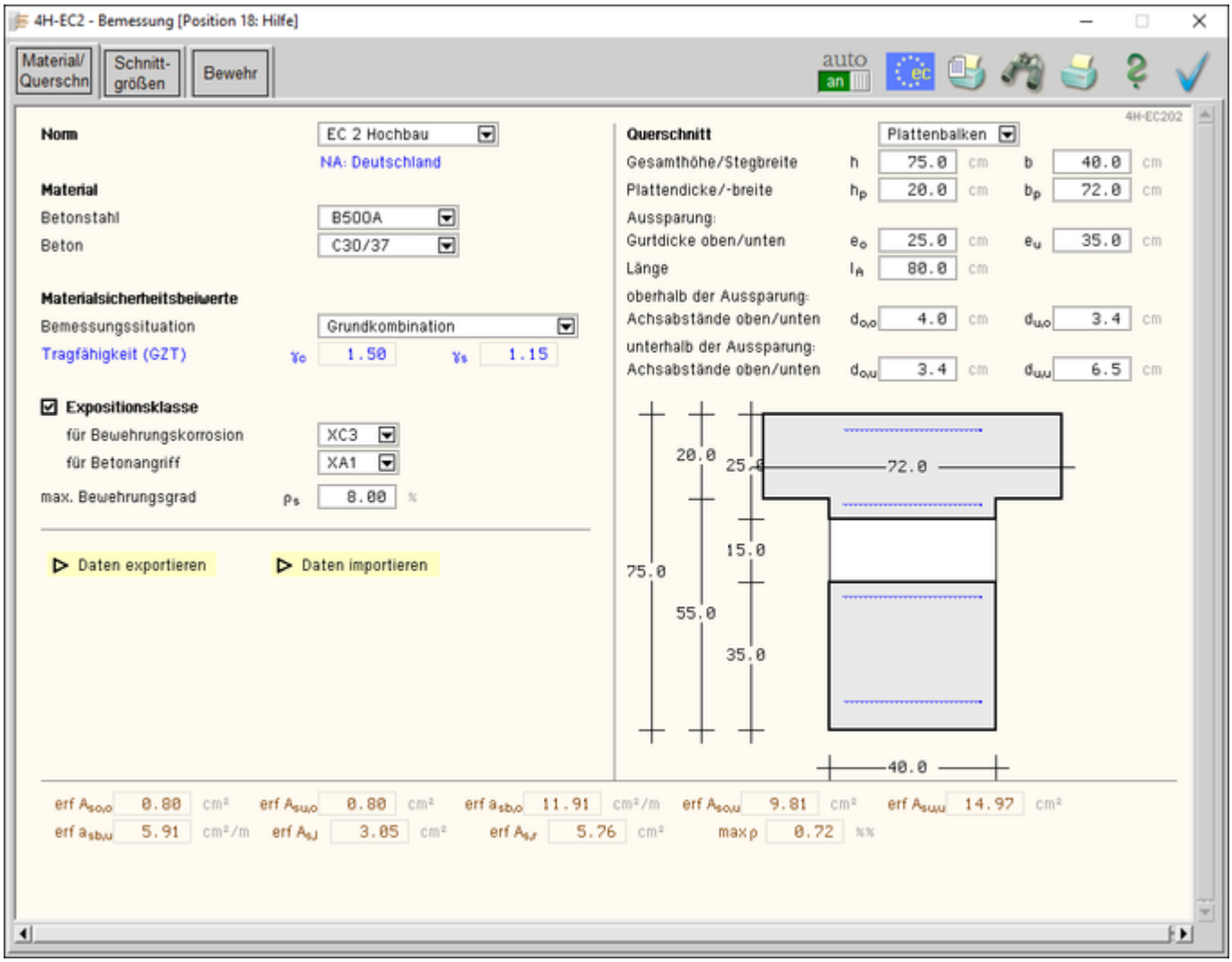
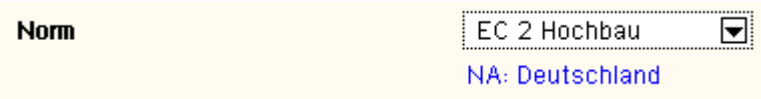


Bild vergrößern

Norm

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



Der aktuelle **nationale Anhang** (NA) wird eingeblendet.

Material

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

Die Namen (z.B. C30/37) 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.

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.

Material

Betonstahl		B500A	
Beton		C30/37	
alternativ:			
Beton (nicht zugfestes Material)		frei	
Trockenrohdichte	ρ_c	2200.0	kg/m³
charakteristische Druckfestigkeit	f_{ck}	30.0	N/mm²
Dehnung bei Erreichen der Festigkeit	ε_{c2}	-2.00	%
Bruchdehnung	ε_{cu2}	-3.50	%
Exponent der Parabel (EC 2, 3.1.7)	n_{c2}	2.00	N/mm²
Elastizitätsmodul	E_{cm}	32836.6	N/mm²

Eine Beschreibung der Baustoffe sowie der o.a. Funktionen befindet sich **hier**.

Materialsicherheitsbeiwerte

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

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

Materialsicherheitsbeiwerte

Bemessungssituation		Grundkombination		
Tragfähigkeit (GZT)	γ_c	1.50	γ_s	1.15
alternativ:				
Bemessungssituation		frei		
Tragfähigkeit (GZT)	γ_c	1.50	γ_s	1.15

Daher können die Materialsicherheitsbeiwerte für die ***Grundkombination***, ***Erdbeben-Kombination*** oder ***außergewöhnliche Kombination*** nach EC 0 vom Programm vorbelegt 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 **hier**.

Expositionsklasse

Optional kann die Expositionsklasse des Bauteils berücksichtigt werden.

Ist eine Beanspruchungsklasse nicht maßgebend, kann sie deaktiviert werden.

Anhand der Expositionsklasse werden die Betondeckung und die Mindestbetongüte überprüft.

☑ **Expositionsklasse**

für Bewehrungskorrosion		XC3	
für Betonangriff		XA1	
max. Bewehrungsgrad	ρ_s	8.00	%

Sind die Werte unterschritten, erfolgt eine Fehlermeldung.

Nähere Informationen zur Dauerhaftigkeit und Betondeckung finden Sie **hier**.

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

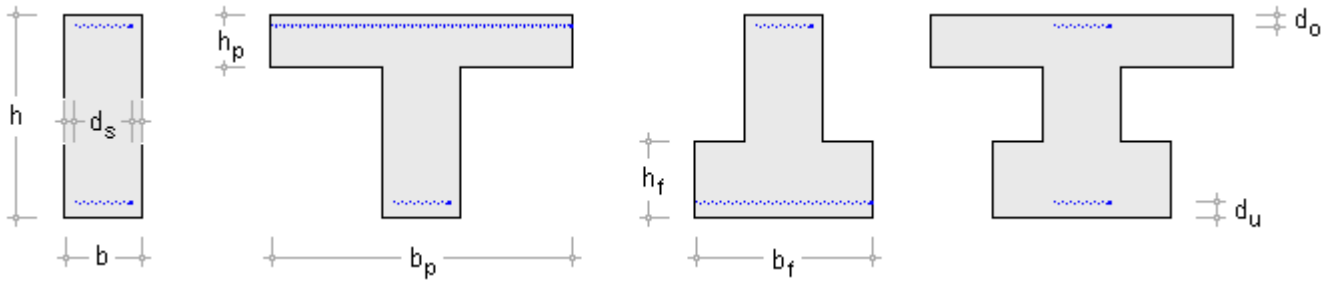
Der eingegebene Datenzustand kann exportiert (temporär gesichert) und in einem Bauteil derselben Klasse (hier: *4H*-EC2AB) wieder importiert werden.

▷ Daten exportieren ▷ Daten importieren

Querschnittsbeschreibung

Das Programm *4H*-EC2AB verwaltet die Querschnittstypen ***Rechteck, Plattenbalken***, ***Überzug***, ***Doppel-T***.

Querschnittstyp Plattenbalken



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

Für die typisierten Querschnitte können die geometrischen Parameter schnell und einfach eingegeben werden.

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

Die Aussparung wird über die Gurtdicken (Obergurt, Untergurt) sowie die Länge definiert.

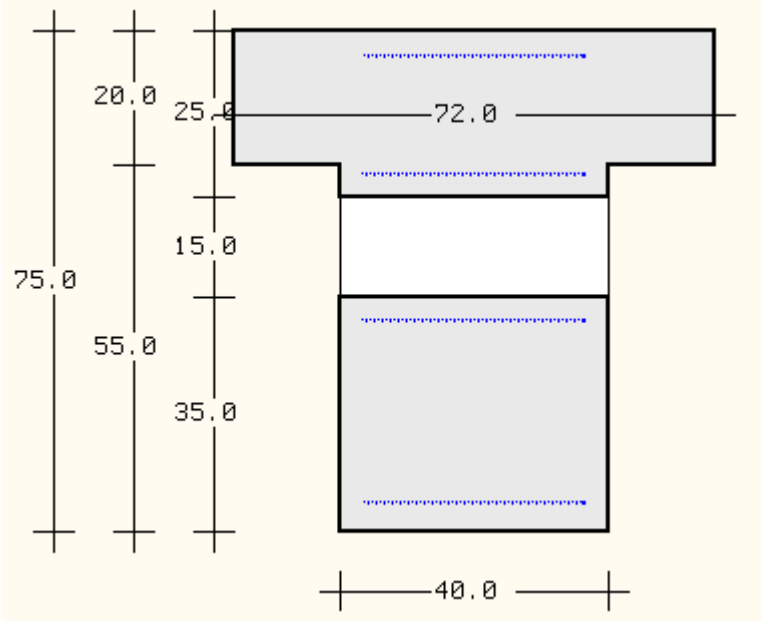
Aussparung:						
Gurtdicke oben/unten	e_o	25.0	cm	e_u	35.0	cm
Länge	l_A	80.0	cm			

Die Bemessung erfolgt einachsig, dementsprechend sind die Achsabstände der Bewehrung im Ober- und Untergurt festzulegen.

Sie bezeichnen den Abstand der Schwerachse der jeweiligen Bewehrung zum nächstgelegenen Betonrand.

oberhalb der Aussparung:						
Achsabstände oben/unten	$d_{o,o}$	4.0	cm	$d_{u,o}$	3.4	cm
unterhalb der Aussparung:						
Achsabstände oben/unten	$d_{o,u}$	3.4	cm	$d_{u,u}$	6.0	cm

Der Querschnitt wird maßstabsgetreu am Bildschirm dargestellt.



Bemessungsparameter und Schnittgrößen

Schnitt-größen

Im zweiten Register werden die Parameter und die Schnittgrößen für die Bemessung der Aussparung festgelegt.

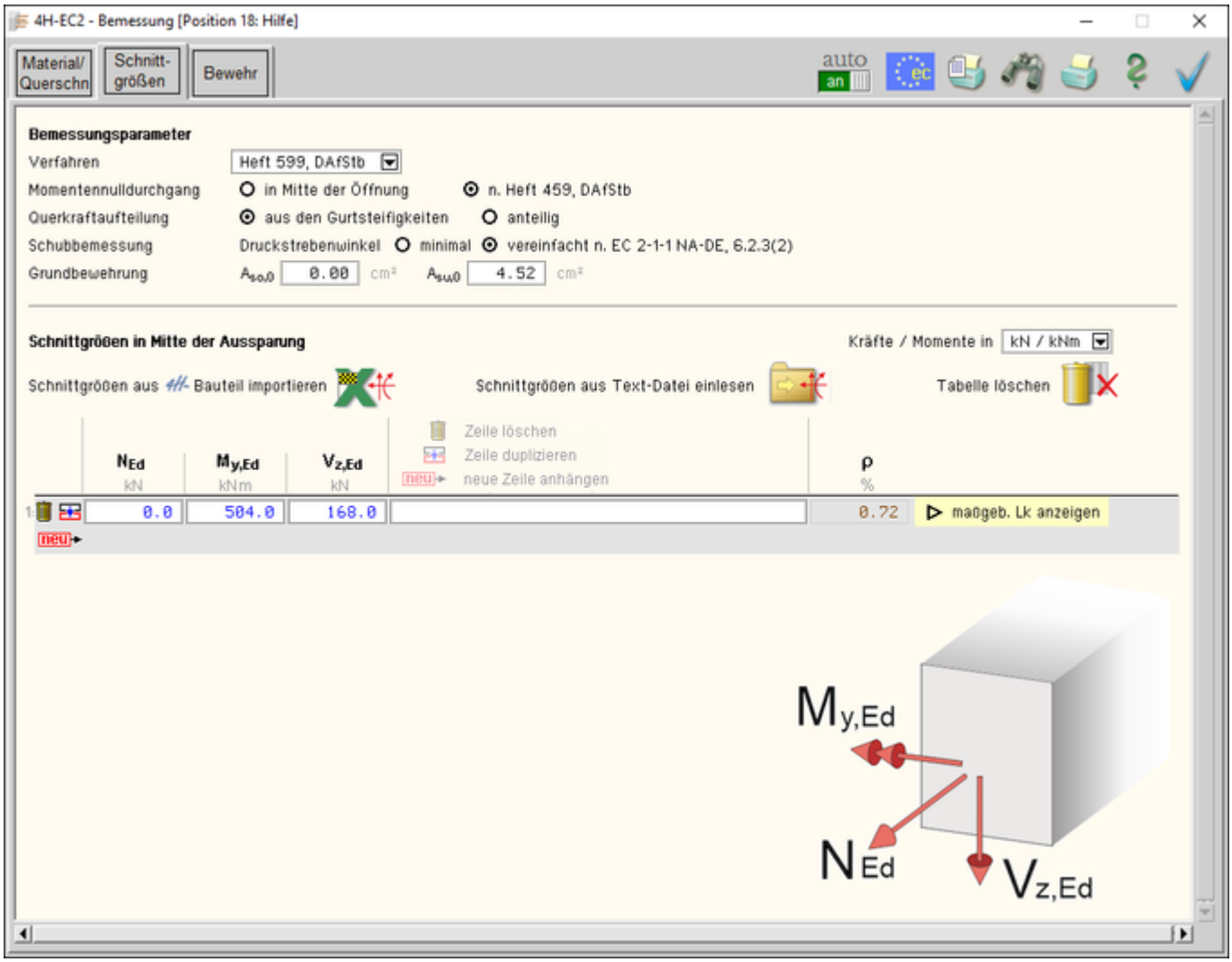


Bild vergrößern

Bemessungsparameter

Die Bemessung einer Aussparung kann nach vier Verfahren erfolgen. Es sind implementiert das Verfahren aus *Leonhardt, T.3*, sowie die Verfahren aus den *Heften 399, 459, 599*, des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton.

Verfahren Heft 599, DAfStb

Zusatzoptionen ermöglichen, aktuellere Veröffentlichungen in die Bemessung zu integrieren.

Für die Verfahren n. Heft 399 und 599 kann der Nulldurchgang der Gurtmomente entweder in Mitte der Öffnung angenommen oder n. Heft 459, DAfStb in Abhängigkeit der Biegelinie bestimmt werden.

Momentennulldurchgang
- ○ in Mitte der Öffnung
- ◉ n. Heft 459, DAfStb

Der sich im Druckgurt befindliche Querkraftanteil kann entweder in Abhängigkeit der Gurtsteifigkeiten oder manuell festgelegt werden.

Querkraftaufteilung
- ○ aus den Gurtsteifigkeiten
- ◉ anteilig 80.0 % der Querkraft befinden sich im Druckgurt

Für die Querkraftbemessung kann der Druckstrebenwinkel entweder minimal (cot θ = 3) oder realistischer (vereinfacht n. EC 2-1-1 NA-DE) angenommen werden.

Schubbemessung: Druckstrebenwinkel
- ◉ minimal
- ○ vereinfacht n. EC 2-1-1 NA-DE, 6.2.3(2)

Da der Träger i.A. aus einer Tragwerksbemessung bereits eine erforderliche Bewehrung erhält, kann diese als Grundbewehrung eingegeben werden.

Grundbewehrung
$A_{so,0}$ 0.00 cm²
$A_{su,0}$ 4.52 cm²

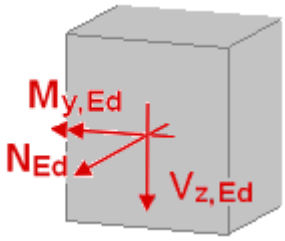
Sie wird bei der Querkraftaufteilung aus den Gurtsteifigkeiten sowie bei der Bewehrungswahl berücksichtigt.

Die Beschreibung des Rechenwegs befindet sich **hier**.

Schnittgrößen

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.



Ist die Online-Berechnung aktiviert, wird der erforderliche Längsbewehrungsgrad ρ je Schnittgrößenkombination am Bildschirm angegeben.

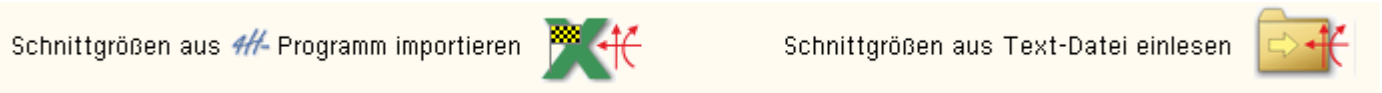
Der maximal erforderliche Längsbewehrungsgrad ist gekennzeichnet und bestimmt eine maßgebende Lastkombination, deren Berechnung über den Aktions-Knopf ▷ direkt am Bildschirm angezeigt werden kann.

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.



- **Import aus einem *4H*-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 **hier**.

- **Import aus einer Text-Datei**

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

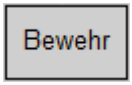
  Die Datensätze müssen in der Text-Datei in einer bestimmten Form vorliegen; der entsprechende Hinweis wird bei Betätigen des ***Einlese***-Buttons gegeben.

  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.

Gewählte Bewehrung



Im dritten Register kann eine Bewehrung gewählt werden.

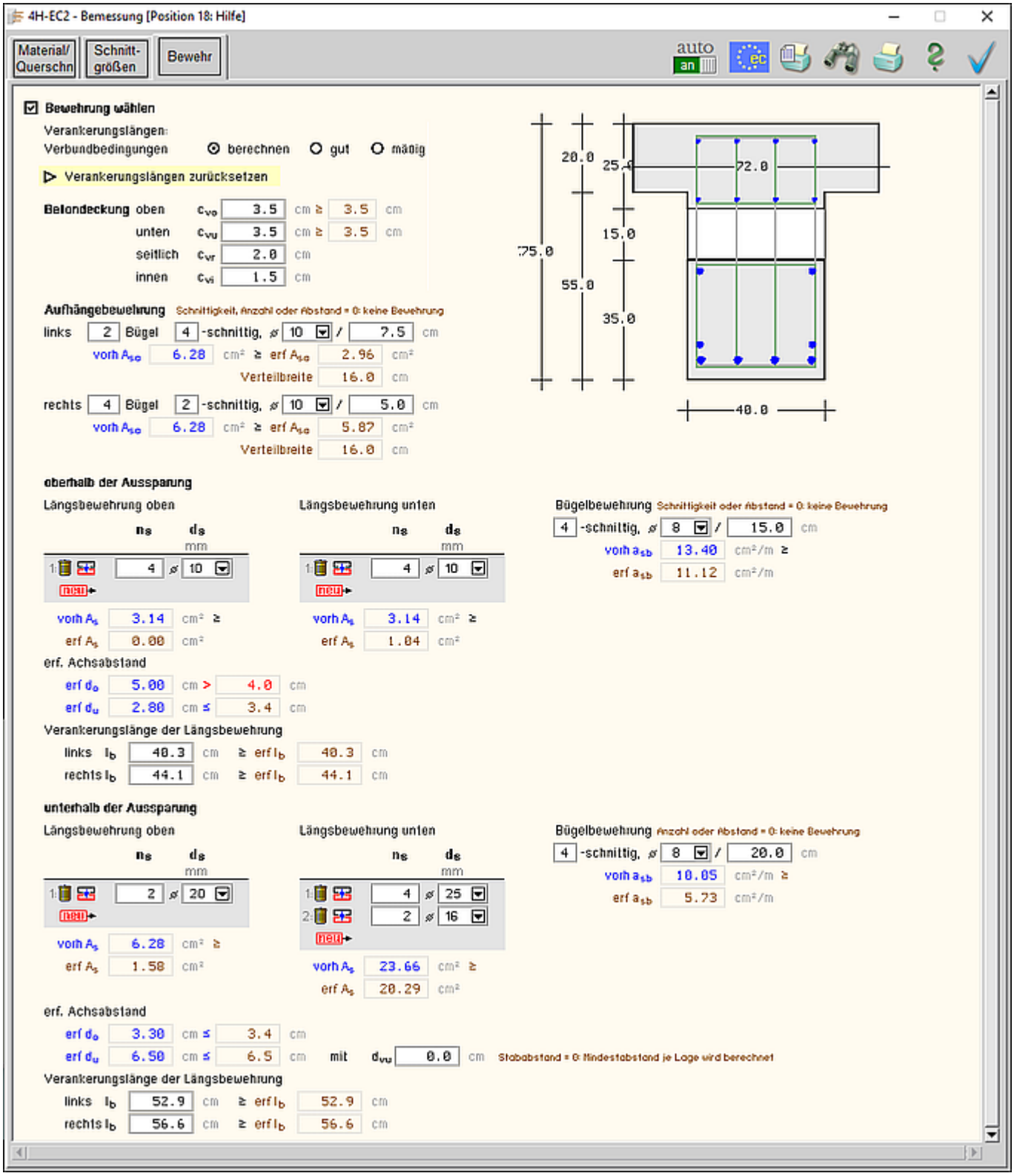
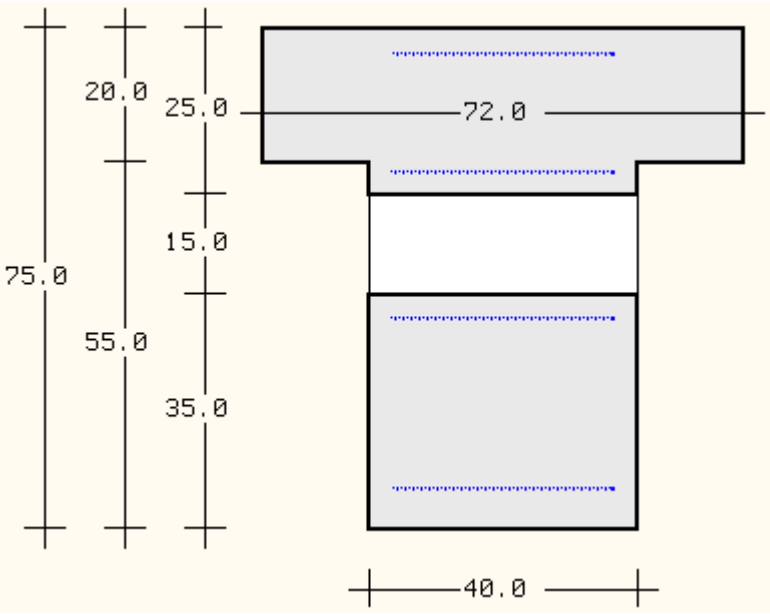


Bild vergrößern

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

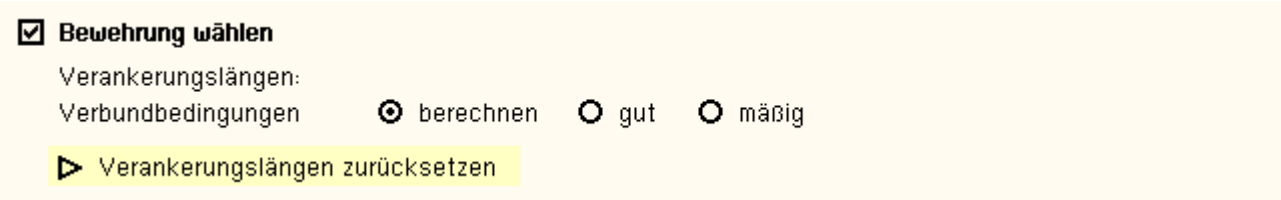


Die Bemessung der Aussparung liefert die max. erforderliche Bewehrung auf Grund der Trägeröffnung.

Die erforderliche Bewehrung aus einer Rahmenbemessung ist i.A. nicht eingeschlossen, kann aber für die Auswertung (s.u.) über die Grundbewehrung (s. **Reg. 2, Bemessungsparameter**) berücksichtigt werden.

Die gewählte Bewehrung wird auf den Steg begrenzt.

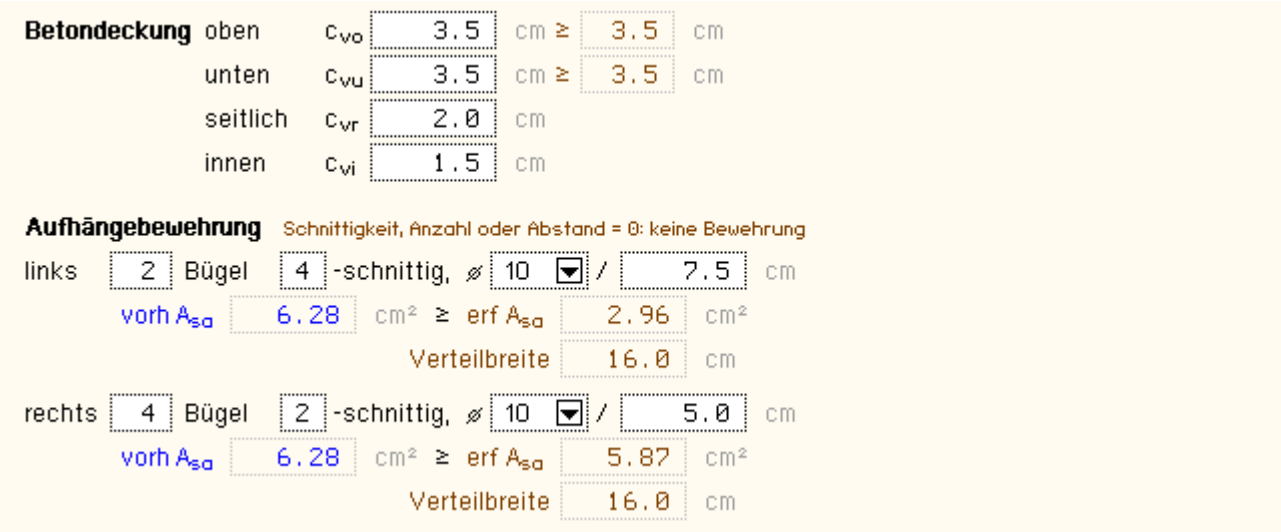
Auch wenn eine Bewehrung nicht erforderlich ist, kann konstruktiv eine Bewehrung vorgesehen werden.



Optional können die minimalen ***Verankerungslängen*** der Zugbewehrung berechnet (und grafisch) dargestellt werden.

Dazu ist festzulegen, ob die Verbundbedingungen entweder in Abhängigkeit des Abstands zum Betonierrand ***berechnet,*** stets als ***gut*** (z.B. bei liegender Fertigung) oder ***mäßig*** angenommen werden sollen.

Die Zahlenwerte können manuell verändert, jedoch über die Option ***zurücksetzen*** auf den Rechenwert gesetzt werden.



Zunächst ist die ***Betondeckung*** / das ***Verlegemaß*** zu wählen. Die ***seitliche Betondeckung*** bezieht sich nur auf den Steg, die ***Betondeckung innen*** gilt für den Abstand unten/oben zur Aussparung.

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

Die ***Aufhängebewehrung*** wird links und rechts der Aussparung in Form von Bügeln angeordnet.

Es ist zu beachten, dass die Aufhängebügel möglichst dicht am Aussparungsrand liegen, daher sollte ihr Abstand nicht zu groß gewählt werden!

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

Zur Info ist die minimale Verteilbreite angegeben.

oberhalb / unterhalb der Aussparung

Längsbewehrung oben				Längsbewehrung unten			
	n_s	d_s mm			n_s	d_s mm	
1:	4	⌀ 10		1:	4	⌀ 10	
neu				neu			
vorh A_s	3.14	cm²	≥	vorh A_s	3.14	cm²	≥
erf A_s	3.07	cm²		erf A_s	2.91	cm²	

Die ***Längsbewehrung*** oberhalb und unterhalb der Aussparung ist mit der Anzahl der Stäbe n_s und dem Durchmesser d_s einzugeben. Sie kann in bis zu 10 Lagen angeordnet werden.

Bei Platten ist die Bewehrung mit dem Durchmesser d_s pro Abstand s einzugeben.

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

Bügelbewehrung Schnittigkeit oder Abstand = 0: keine Bewehrung

4 -schnittig, ⌀ 8 / 15.0 cm

vorh a_{sb} 13.40 cm²/m ≥

erf a_{sb} 11.12 cm²/m

Die ***Querkraftbewehrung*** in den Gurten 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.
Ein Fehler wird gekennzeichnet.

erf. Achsabstand

erf d_o	5.00	cm >	4.0	cm
erf d_u	2.80	cm ≤	3.4	cm

Mit den eingegebenen Werten werden die erforderlichen (minimalen) ***Achsabstände*** berechnet. Der erforderliche Abstand wird mit dem Eingabewert (s. **Reg. 1, Achsabstände**) verglichen. Ein Fehler wird gekennzeichnet.

erf. Achsabstand

erf d_o	3.30	cm ≤	3.4	cm				
erf d_u	6.50	cm ≤	6.5	cm	mit	d_{vu}	0.0	cm

Stababstand = 0:
Mindestabstand je Lage wird berechnet

Sind mehr als eine Bewehrungslage angegeben (hier bei der unteren Längsbewehrung), werden die minimalen Stababstände (vertikal) ermittelt. Sie werden zur Info am Bildschirm angegeben.

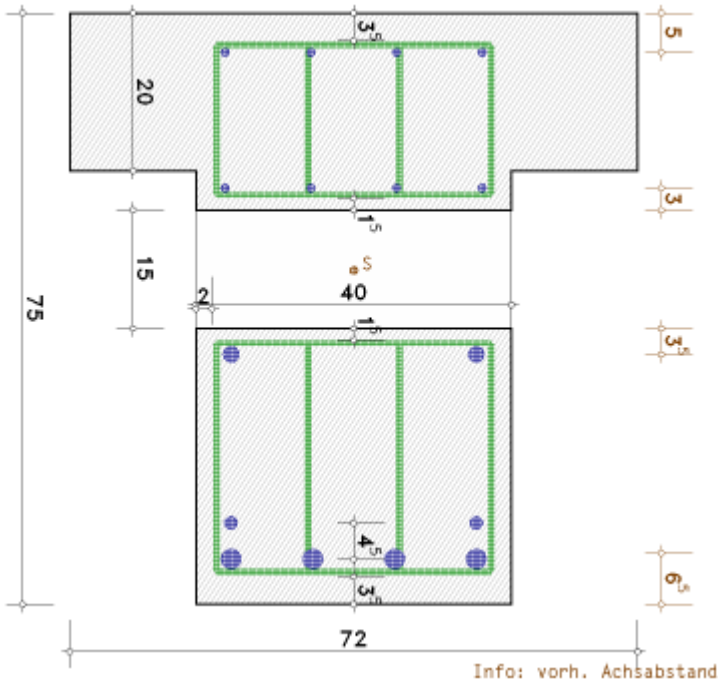
Es kann ein fixer Stababstand eingegeben werden, mit dem der Achsabstand berechnet wird. Ist der Eingabewert = 0, wird der Mindestabstand individuell für jede Bewehrungslage ermittelt.

Verankerungslänge der Längsbewehrung

links l_b	40.3	cm	≥ erf l_b	40.3	cm
rechts l_b	44.1	cm	≥ erf l_b	44.1	cm

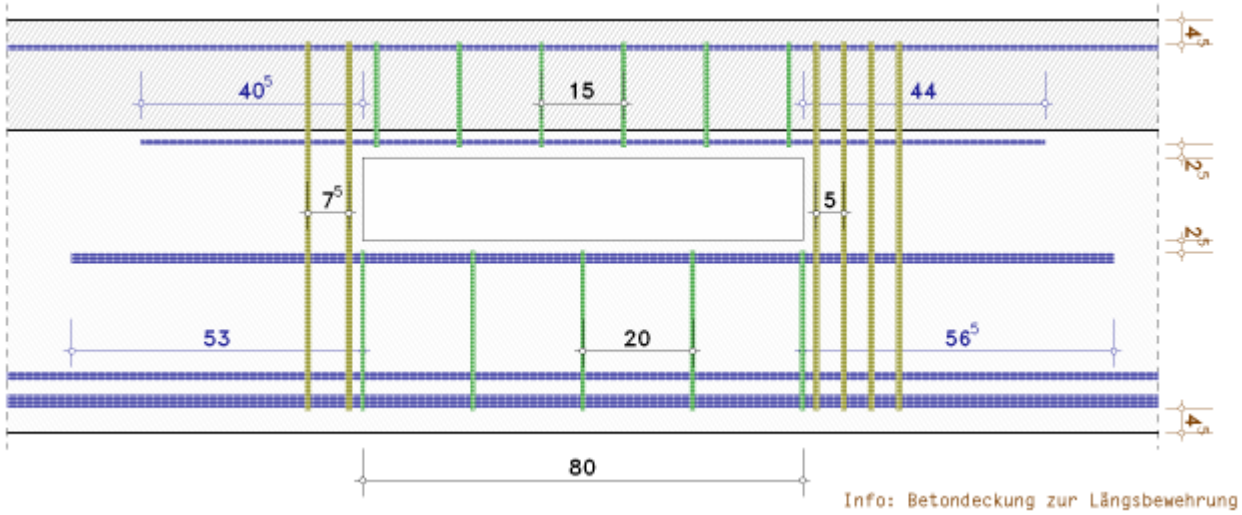
Es werden die erforderliche Verankerungslängen der Längsbewehrung oberhalb und unterhalb der Aussparung (wirksam ab Aussparungsrand) angegeben. Sie können manuell angepasst werden.

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



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

Die Querschnittsabmessungen sowie die wesentlichen Abstände der Bewehrung (c_V und dc_V) angegeben.
Zur Info sind die vorhandenen Achsabstände vermaßt.



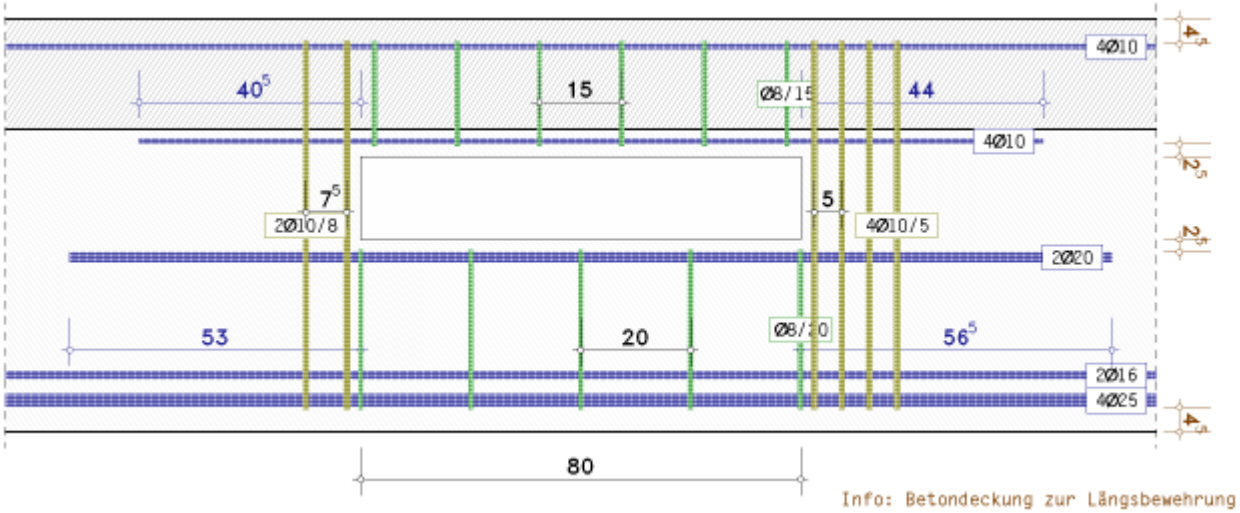
Außerdem wird der bewehrte Längsschnitt dargestellt. Die Aussparungslänge sowie die Bügelabstände und Verankerungslängen sind angegeben. Zur Info ist die Betondeckung zur Längsbewehrung vermaßt.

Berechnung der erforderlichen Verankerungslängen: Verbundbedingungen berechnen
Nachweis der Bewehrung
Oberhalb der Aussparung
Betondeckung (Verlegemaß) zur Bügelbewehrung:
oben c_{vo} = 3.5 cm > c_{nom} = 3.50 cm ok
unten (zur Aussparung) c_{vi} = 1.5 cm, seitlich c_{vr} = 2.0 cm
Längsbewehrung oben 4Ø10, vorh A_s = 3.14 cm²
vorh A_s = 3.14 cm² > erf A_s = 0.00 cm² ok
unten 4Ø10, vorh A_s = 3.14 cm²
vorh A_s = 3.14 cm² > erf A_s = 1.04 cm² ok
Verankerungslänge ab Aussparungsrand links 40.3 cm > 40.3 cm ok
rechts 44.1 cm > 44.1 cm ok
Bügelbewehrung Ø8/15.0 cm (4-schnittig), vorh a_{sb} = 13.40 cm²/m > erf a_{sb} = 11.12 cm²/m ok
Achsabstand oben vorh d_1 = 5.00 cm > clc d_1 = 4.0 cm nicht ok !!
unten vorh d_1 = 2.80 cm < clc d_1 = 3.4 cm ok
Unterhalb der Aussparung
Betondeckung (Verlegemaß) zur Bügelbewehrung:
oben (zur Aussparung) c_{vi} = 1.5 cm, seitlich c_{vr} = 2.0 cm
unten c_{vu} = 3.5 cm > c_{nom} = 3.50 cm ok
Längsbewehrung oben 2Ø20, vorh A_s = 6.28 cm²
vorh A_s = 6.28 cm² > erf A_s = 1.58 cm² ok
Verankerungslänge ab Aussparungsrand links 52.9 cm > 52.9 cm ok
rechts 56.6 cm > 56.6 cm ok
unten 4Ø25, vorh A_s = 23.66 cm²
2Ø16, vorh A_s = 23.66 cm²
vorh A_s = 23.66 cm² > erf A_s = 20.29 cm² ok
Bügelbewehrung Ø8/20.0 cm (4-schnittig), vorh a_{sb} = 10.05 cm²/m > erf a_{sb} = 5.73 cm²/m ok
Achsabstand oben d_v = 3.00 cm ⇒ vorh d_1 = 3.30 cm < clc d_1 = 3.4 cm ok
unten d_v = 0.00 cm ⇒ vorh d_1 = 6.50 cm = clc d_1 = 6.5 cm ok mit variablem Mindest-Stababstand
Aufhängebewehrung
Bügelbew. links 2 Ø10/7.5 cm (4-schnittig), vorh A_s = 6.28 cm² > erf A_s = 2.96 cm² ok
Bügelbew. rechts 4 Ø10/5.0 cm (2-schnittig), vorh A_s = 6.28 cm² > erf A_s = 5.87 cm² ok

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

Minimale Verankerungslängen
Annahme: Druckstrebenwinkel cot(Θ) = 1
Verankerungslänge der Gurtbewehrung oberhalb der Aussparung
Verbundbereich für h = 75.0 cm, h_z = 22.20 cm: mäßig
Bemesungswert der Verbundfestigkeit für f_{ck} = 30.0 N/mm², $Ø_s$ = 10.0 mm: f_{bd} = 2.13 N/mm²
Grundwert der Verankerungslänge für f_{yd} = 434.8 N/mm²: $l_{b,rqd} = 0.25 \cdot Ø_s \cdot f_{yd}/f_{bd}$ = 51.06 cm
Mindestverankerungslänge für α_i = 1.00: $l_{b,min} = \min(0.3 \cdot \alpha_i \cdot l_{b,rqd}, 10 \cdot Ø_s)$ = 15.32 cm
Bemessungswert der Verankerungslänge für α_i = 1.00, $A_{s,erf}$ = 1.04 cm², $A_{s,vorh}$ = 3.14 cm²:
$l_b = A_{s,erf}/A_{s,vorh} \cdot \alpha_i \cdot l_{b,rqd}$ = 16.85 cm
Verankerungslänge links der Aussparung: $l_{b,l} = l_b + \Delta d + d_{bl}$ = 40.3 cm, Δd = 17.2 cm, $d_{b,l}$ = 6.3 cm
Verankerungslänge rechts der Aussparung: $l_{b,r} = l_b + \Delta d + d_{b,r}$ = 44.1 cm, Δd = 17.2 cm, $d_{b,r}$ = 10.0 cm
Verankerungslänge der Gurtbewehrung unterhalb der Aussparung
Verbundbereich für h = 75.0 cm, h_z = 43.30 cm: gut
Bemesungswert der Verbundfestigkeit für f_{ck} = 30.0 N/mm², $Ø_s$ = 20.0 mm: f_{bd} = 3.04 N/mm²
Grundwert der Verankerungslänge für f_{yd} = 434.8 N/mm²: $l_{b,rqd} = 0.25 \cdot Ø_s \cdot f_{yd}/f_{bd}$ = 71.48 cm
Mindestverankerungslänge für α_i = 1.00: $l_{b,min} = \min(0.3 \cdot \alpha_i \cdot l_{b,rqd}, 10 \cdot Ø_s)$ = 21.44 cm
Bemessungswert der Verankerungslänge für α_i = 1.00, $A_{s,erf}$ = 1.58 cm², $A_{s,vorh}$ = 6.28 cm²:
$l_b = A_{s,erf}/A_{s,vorh} \cdot \alpha_i \cdot l_{b,rqd}$ = 17.95 cm
Verankerungslänge links der Aussparung: $l_{b,l} = l_b + \Delta d + d_{b,l}$ = 52.9 cm, Δd = 25.2 cm, $d_{b,l}$ = 6.3 cm
Verankerungslänge rechts der Aussparung: lvr = $l_b + \Delta d + d_{b,r}$ = 56.6 cm, Δd = 25.2 cm, $d_{b,r}$ = 10.0 cm

Bei Aktivierung der ***Zwischenergebnisse*** (s. **Ausdrucksteuerung**) werden die Rechenwege zur Berechnung der erforderlichen Verankerungslängen dargestellt.



Bei Aktivierung der ***zusätzlichen Informationen*** (s. **Ausdrucksteuerung**) werden die Stabdurchmesser in die Bewehrungszeichnung eingefügt.

Durchführung der Bemessung

Mit dem Programm *4H*-EC2AB, Bemessung von Aussparungen, können

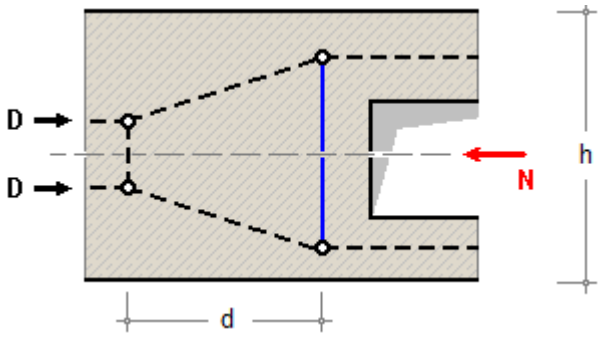
- Rechteck-, (Sonderfall Platte)
- Plattenbalken-,
- Überzug-,
- Doppel-T-Querschnitte

mit einer großen rechteckigen Öffnung mit aktuell vier Verfahren bemessen werden.

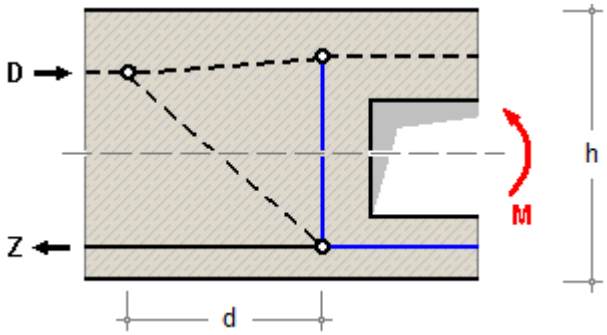
Die Bemessungsschnittgrößen N_m, M_m, V_m wirken in der Mitte der Aussparung.
Für auflagernahe Öffnungen (d.h. M_m / V_m < 1 m) sind die Verfahren nicht geeignet.

Es werden vereinfachte Stabwerksmodelle für die unterschiedlichen Beanspruchungen herangezogen

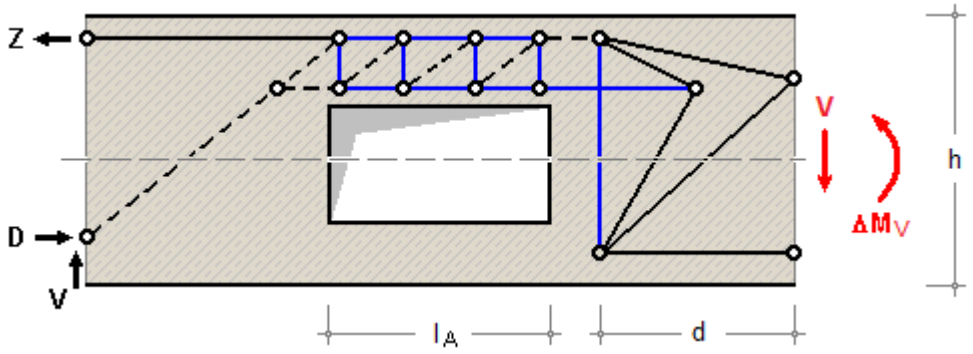
Normalkraft



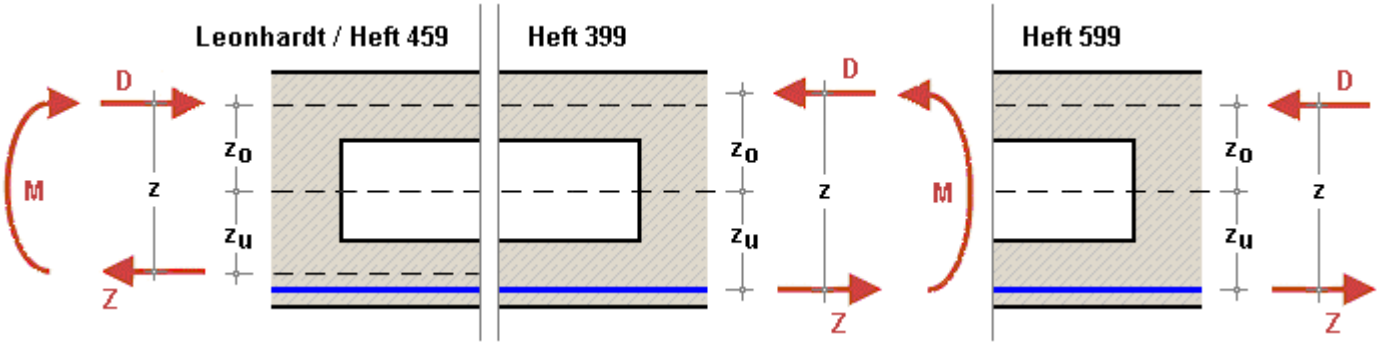
Biegemoment



Querkraft und querkraft-bedingter Momentenanteil



Je nach Bemessungsverfahren ergeben sich für den Nachweis unterschiedliche Querschnittsgrößen und Schnittkraftverteilungen.



Biegebemessung

Verfahren nach Leonhardt

Beim Verfahren nach Leonhardt ergeben sich durch die Aussparung ein oberer und unterer Querschnitt, deren Schwerachsabstände den Hebelarm z bilden.

Es wird angenommen, dass sich das Moment gleichmäßig auf die beiden Gurte in eine Zug- und Druckkraft aufteilt

$$(-)D = Z = M_m / z$$

Weiterhin wird angenommen, dass sich die Normalkraft N_m anteilig der Querschnitte aufteilt und in den jeweiligen Schwerpunkten der Gurte mit den Abständen z_o bzw. z_u angreift.

D und Z aus dem Biegemoment werden aufaddiert

$$N_o = N_m \cdot z_u / z + D \;\ldots\; \text{und} \;\ldots\; N_u = N_m \cdot z_o / z + Z$$

Entsprechend der Aufteilungszahl wird die Querkraft V_m auf den Druck- bzw. Zuggurt verteilt.

Nach Leonhardt übernimmt der Druckgurt ca. 80-90% der Querkraft und der Zuggurt im Zustand 2 etwa 10-20%.

$$V_o = 0.8 \cdot V_m \;\ldots\; \text{und} \;\ldots\; V_u = 0.2 \cdot V_m$$

Aus den anteiligen Querkräften ergibt sich am Anschnitt der Aussparung eine zusätzliche Momentenbeanspruchung, wobei der Momentennullpunkt im Punkt m (Mitte der Aussparung) angenommen wird

$$M_o = V_o \cdot x \;\ldots\; \text{mit} \;\ldots\; x = 0.5 \cdot l_A \;\ldots\; \text{und} \;\ldots\; M_u = V_u \cdot x$$

Damit ergeben sich gleiche Anschnittsmomente links und rechts der Aussparung

$$M_{ol} = M_{or} = M_o \;\ldots\; \text{bzw.} \;\ldots\; M_{ul} = M_{ur} = M_u$$

und eine anzuordnende Aufhängebewehrung $A_{s,l} = A_{s,r}$, die jeweils für $0.8 \cdot V_m$ bemessen wird. ·

Die Aufhängebewehrung ist möglichst dicht am Aussparungsrand innerhalb einer Breite von 0.3·h zu verteilen.

Verfahren nach Heft 399

Bei einer Bemessung nach Heft 399, DAfStb, wird angenommen, dass die anteilige Zugkraft aus dem Moment M_m ihren Angriffspunkt in der entsprechenden Stahllage hat. Der innere Hebelarm wird berechnet mit z = 0.85·d.

Die weitere Berechnung von N_o und N_u entspricht der Berechnung n. Leonhardt.

Für die Bemessung wird angenommen, dass die Normalkräfte in der Schwerachse der Gurte wirken.

Die Querkräfte V_o und V_u ergeben sich unter Berücksichtigung der Steifigkeiten des ungerissenen Ober- bzw.

Untergurts (näherungsweise nach Heft 240, DAfStb, Kap. 1.3.3)

$V_o = V_m \cdot K_{B,o} / (K_{B,o} + K_{B,u})$ ... und ... $V_u = V_m \cdot K_{B,u} / (K_{B,o} + K_{B,u})$ ... mit ...

$K_{B,o} = \kappa \cdot (E \cdot I_o)$ ... und ... $K_{B,u} = \kappa \cdot (E \cdot I_u)$

Der Beiwert κ kann vereinfachend nach Heft 240, DAfStb, Tab. 1.2 abgeschätzt werden.

Da er vom Bewehrungsgrad abhängt, ist die effektive Steifigkeit iterativ zu bestimmen.

Zur Berechnung der Gurtmomente wird der Momentennulldurchgang standardmäßig in Mitte der Aussparung angenommen.

Allerdings haben genauere Untersuchungen (Hottmann/Schäfer, Schellenbach-Held/Ehmann) ergeben, dass der Nulldurchgang x des Momentenverlaufs über die Aussparungslänge eher selten in der Mitte der Aussparung liegt.

Daher kann optional der Nulldurchgang berechnet werden mit

$x = M_m / V_m \cdot \alpha / (1 + \alpha)$ ... mit ...

$\alpha = (1/A_o + 1/A_u) \cdot (I_o + I_u) / z^2$

Außerdem tritt das maximale Moment nicht direkt am Anschnitt auf, sondern wird im Knoten des Stabwerks bei ca. $0.1 \cdot l_A$ angenommen, sodass sich die Aussparungslänge um $0.2 \cdot l_A$ verlängert.

Die an der rechten bzw. linken Seite insgesamt erforderliche Aufhängebewehrung A_{sl} bzw. A_{sr} berechnet sich aus der resultierenden Zugkraft infolge der Kraftumlenkung von N, V und M am rechten bzw. linken Rand der Aussparung

$Z_{v,r} = Z_N + Z_M + Z_{V \cdot \Delta M,r}$ ... und ... $Z_{v,l} = Z_N + Z_M + Z_{V \cdot \Delta M,l}$ ... mit ...

$Z_N = 0.25 \cdot N_m \cdot h_A / h$ unter Annahme eines Umlenkwinkels von $\Theta = 30^o$

$Z_M = 0.4 \cdot D \cdot (x_1 - e_o) / d$ ... mit ... x_1 = Höhe der Druckzone außerhalb der Aussparung

$Z_{V \cdot \Delta M,r} = V_o \cdot (1 + 0.1 \cdot l_A / d + 0.33 \cdot l_A / e_o)$

$Z_{V \cdot \Delta M,l} = V_u \cdot (1 + 0.1 \cdot l_A / d + 0.33 \cdot l_A / e_u)$

$A_{s,l} = Z_{v,l} / f_{y,Rd}$

$A_{s,r} = Z_{v,r} / f_{y,Rd}$

Die Aufhängebewehrung ist möglichst dicht am Aussparungsrand innerhalb einer Breite von 0.3 ·h zu verteilen.

Bei genauerer Berechnung des Momentennulldurchgangs sollte die Verteilbreite $0.2 \cdot l_A$ nicht überschreiten.

Verfahren nach Heft 599

Die Bemessung nach Heft 599, DAfStb, unterscheidet sich in nur wenigen Punkten von dem oben beschriebenen Verfahren nach Heft 399, DAfStb.

Der innere Hebelarm ergibt sich aus der Biegebemessung der Schnittgrößen N_m, M_m am Bruttoquerschnitt (ohne Aussparung).

Die Normalkraft im Zuggurt wirkt in der Stahllage, daher entsteht ein zusätzliches Moment infolge Ausmitte.

Verfahren nach Heft 459

Die Bemessung nach Heft 459, DAfStb, unterscheidet sich nur in wenigen Punkten von dem oben beschriebenen Verfahren nach Heft 399, DAfStb. Diese werden im Folgenden dargestellt.

Die Normalkräfte in Zug- und Druckgurt wirken in der Schwerachse der Gurte (innerer Hebelarm z analog Leonhardt).

Die Querkraftaufteilung kann optional aus den Gurtsteifigkeiten berechnet werden, wobei jedoch die Brutto-Steifigkeiten der Gurte verwendet werden.

Der Nulldurchgang des Momentenverlaufs wird berechnet, jedoch erfolgt keine Vergrößerung der Aussparungslänge.

Die Aufhängebewehrung wird in zwei Abschnitte aufgeteilt: Der erste Abschnitt direkt an den Aussparungsrändern links und rechts dient der Verankerung der Gurtlängsbewehrung, der zweite Abschnitt daran anschließend ermöglicht die Weiterleitung der Verankerungskräfte.

Verankerung der Gurtbewehrung: Die Bemessung erfolgt für eine Zugkraft, die der Querkraft des Druckgurts entspricht. Die Bewehrung wird auf einer Breite von $1.3 \cdot \min(e_o, e_u)$ möglichst dicht am Aussparungsrand verteilt.

Weiterleitung der Verankerungskräfte: Die Bemessung erfolgt für $1.3 \cdot V_m$, verteilt auf 0.9 · h.

Schubbemessung

Bewehrung

Aus der **Biegebemessung** erhält man die vier Bewehrungslagen $A_{so,o}$, $A_{su,o}$ (Obergurt) bzw. $A_{so,u}$, $A_{su,u}$ (Untergurt); aus der Schubbemessung die Bügelbewehrung $a_{sb,o}$ (Obergurt) und $a_{sb,u}$ (Untergurt).

Außerdem wird die Aufhängebewehrung $A_{s,l}$ und $A_{s,r}$ ermittelt.

Die Verankerungslängen der Zugbewehrung direkt an der Aussparung $A_{su,o}$ (Obergurt), $A_{so,u}$ (Untergurt) wird für eine Druckstrebenneigung von 45° berechnet. Bei einer geringeren Neigung erhöht sich die Verankerungslänge entsprechend.

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 zugehörenden 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 Schnittgrößen-übergabe 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 (*4H*-STUB, *4H*-FUND).
- zum anderen sind die *4H*-Programme in der Lage, über definierte Punkte miteinander zu kommunizieren.

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

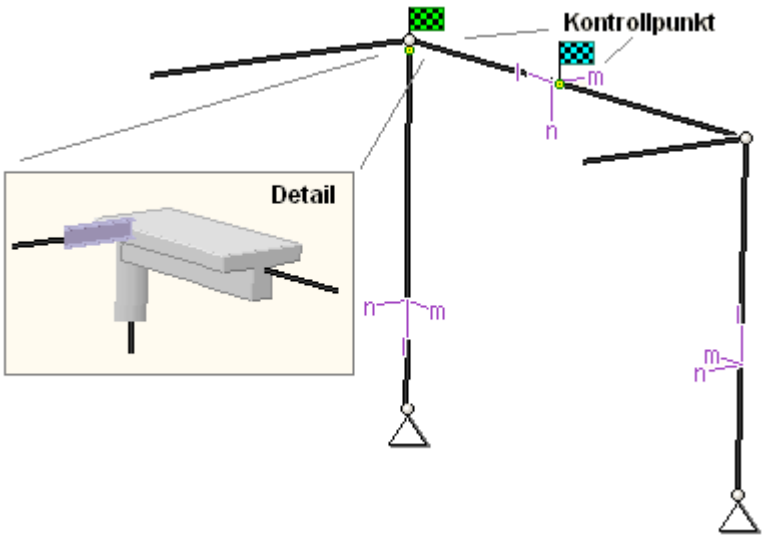
  Anhand eines einfachen Rahmens wird dieser Schnittgrößen-Export/Import zwischen *4H*-Programmen erläutert.

Schnittgrößenexport

Zunächst sind in dem exportierenden *4H*-Programm (z.B. *4H*-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 *4H*-Programm (z.B. *4H*-EC2QB, *4H*-EC3SA usw.) zum Import zur Verfügung.

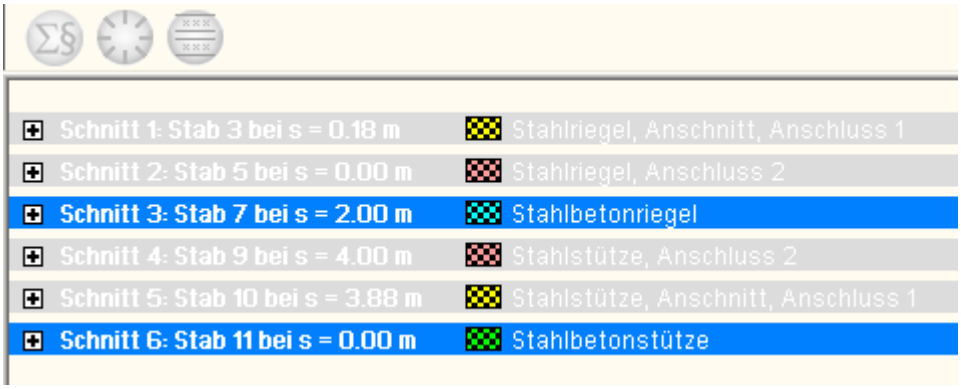


Ausführliche Informationen zum Export entnehmen Sie bitte dem DTE®-**Schnittgrößenexport**.

Schnittgrößenimport

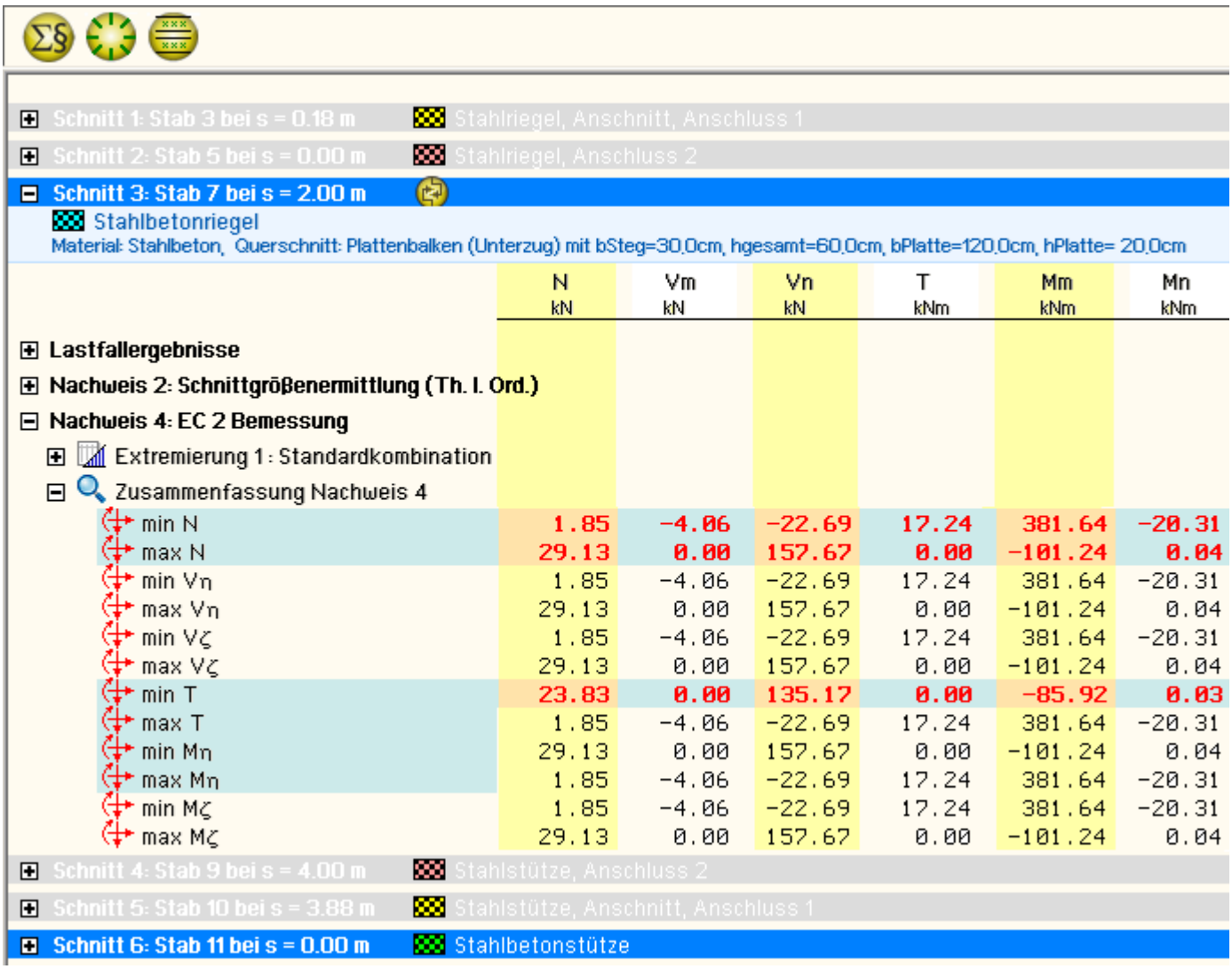
Aus dem aufnehmenden *4H*-Programm wird nun über den ***Import***-Button das Fenster zur DTE®-**Bauteilauswahl** aufgerufen. Hier werden alle berechneten Bauteile dargestellt, wobei diejenigen, die Schnittgrößen exportiert haben, dunkel gekennzeichnet sind.

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.



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.



	N kN	Vm kN	Vn kN	T kNm	Mm kNm	Mn kNm
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 Vη	1.85	-4.06	-22.69	17.24	381.64	-20.31
max Vη	29.13	0.00	157.67	0.00	-101.24	0.04
min Vζ	1.85	-4.06	-22.69	17.24	381.64	-20.31
max Vζ	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 Mη	29.13	0.00	157.67	0.00	-101.24	0.04
max Mη	1.85	-4.06	-22.69	17.24	381.64	-20.31
min Mζ	1.85	-4.06	-22.69	17.24	381.64	-20.31
max Mζ	29.13	0.00	157.67	0.00	-101.24	0.04

Die in das importierende Programm übertragbaren Schnittgrößenspalten sind gelb unterlegt.

Dies sind z.B. im Programm *4H*-EC3SA (Schweißnähte) sämtliche verfügbaren Schnittgrößentypen, im Programm *4H*-BETON (einachsige Bemessung) nur die Typen N, Vn, Mm 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} 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	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
neu							

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**!

Ausdrucksteuerung

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.

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

Eingabeprotokoll

- ▷ Vorbemerkungen (3 Zeilen)
- ☑ Grafik im Maßstab 1 : 5.0
- ☑ Eingabeparameter
- ☑ Materialsicherheitsbeiwerte
- ☐ zusätzliche Informationen
- ☐ Parameter des nationalen Anhangs
- ☑ Vorschriften

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.

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

Ergebnisse

- ○ ausführlich
- ◉ standard
- ○ minimal

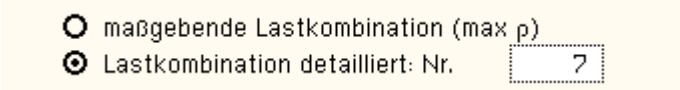
- eine ausführliche Ergebnisausgabe beinhaltet die Ausgabe sämtlicher verwendeter Formeln, um Schritt für Schritt den Lösungswert nachzuvollziehen
- ist dagegen die Ergebnisausgabe minimal, wird nur das Endergebnis ohne weiteren Kommentar ausgedruckt
- im Normalfall reicht die Standardausgabe, bei der 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. 7
  - ○ keine detaillierte Ausgabe

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

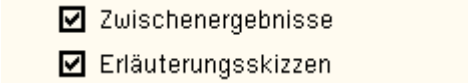
Alternativ kann es sinnvoll sein, den Berechnungsablauf einer frei wählbaren Lastkombination ausgeben zu lassen.



Es kann auch ***keine detaillierte Ausgabe*** erfolgen.

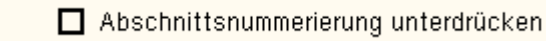
Neben der tabellarischen Ausgabe kann auch nur die ***maßgebende Lastkombination*** oder eine frei gewählte Lastkombination protokolliert werden.

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



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.



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.

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***.

---

zur Hauptseite ***4H*-EC2AB**, Bemessung von Aussparungen

© pcae GmbH Kopernikusstr. 4A 30167 Hannover Tel. 0511/70083-0 Fax 70083-99 Mail dte@pcae.de