



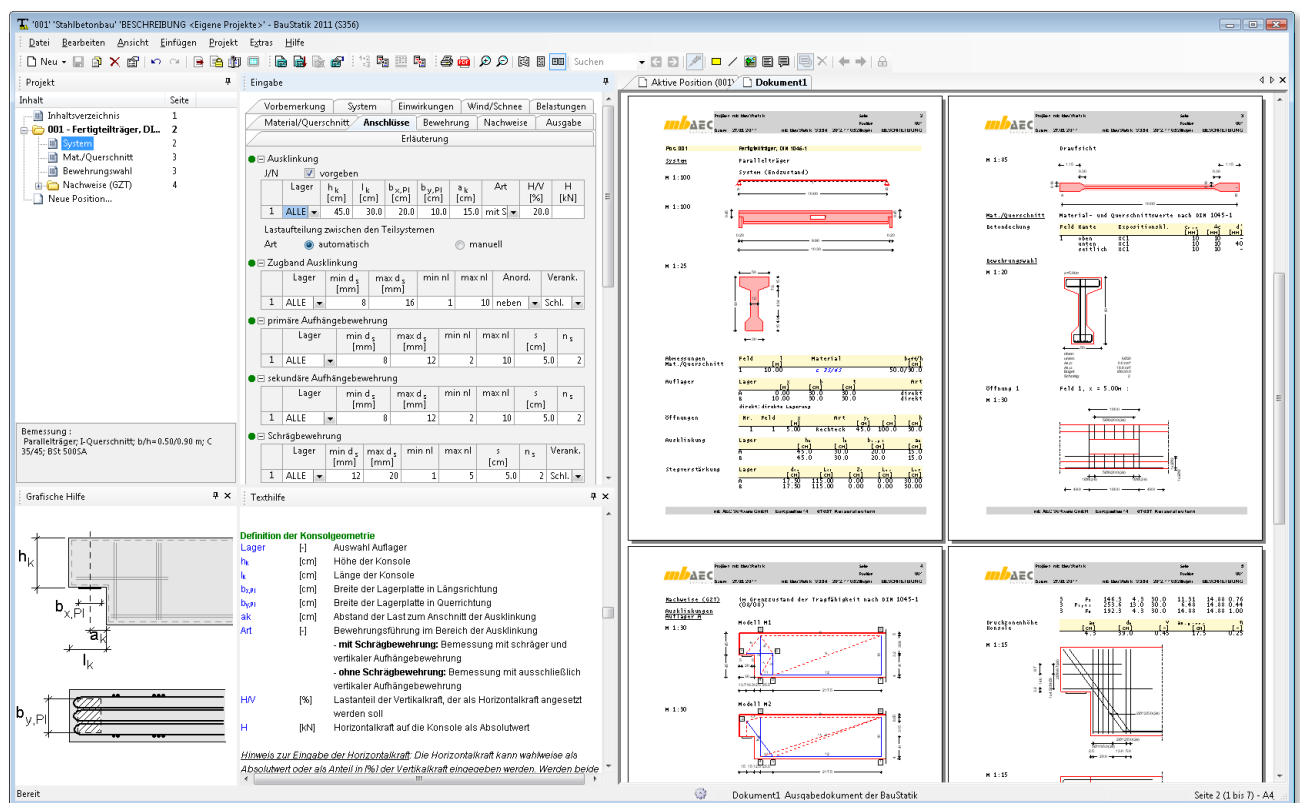
Dipl.-Ing. Sascha Heuß

Ausgeklinktes Trägerende und Öffnungen

Leistungserweiterung des BauStatik-Moduls

S356 Stahlbeton-Fertigteilträger, DIN 1045-1 (08/08)

Das Programm S356 berechnet Stahlbeton-Fertigteilträger auf Grundlage der DIN 1045-1. Neben den üblichen Nachweisen auf Biegung, Querkraft und Verformungen im Zustand II, bietet das Modul weitere fertigteilspezifische Nachweise wie Kippsicherheitsnachweis, Nachweis von Transportzuständen (siehe auch [9]), die Bemessung des ausgeklinkten Trägerendes und der Öffnungen. Hierbei handelt es sich um Detailnachweise im Diskontinuitätsbereich, die nach der Fachwerktheorie geführt werden.



Ausgeklinktes Trägerende

Fachwerktheorie

Entscheidenden Einfluss auf die Qualität der Bemessung hat die Wahl der Fachwerke. Die Vorgaben in DIN 1045-1 [1] und Heft 525 [2] sind hierzu sehr allgemein gehalten und lassen damit unterschiedlichste Lösungsansätze zu. Fingerloos vergleicht in [3], Tabelle 5 Konsolen und zeigt, dass in der Praxis bewährte Berechnungsansätze zu unterschiedlichen Ergebnissen in der erforderlichen Bewehrung kommen. Die Abweichungen betragen bei den ausgewählten Beispielen bis zu 17% in der Bewehrung für das Zugband.

Bei Ausgeklinkten Trägerenden ist wegen der komplexeren Fachwerkmodelle und der damit einhergehenden größeren Zahl an Freiheitsgraden mit noch gravierenderen Abweichungen zu rechnen. Diese Erkenntnis stellt aber nicht die Richtigkeit der Fachwerktheorie in Frage, sondern ist als Bestätigung derselben zu verstehen. Grundgedanke ist nicht, „das richtige Modell“, sondern „ein mögliches Modell“ zu finden. Dies ist nur in einem iterativen Bemessungsprozess möglich, da von den Ergebnissen der Bemessung (erf. Bewehrung, Lage der Bewehrung, Druckzonenhöhe etc.) die Geometrie des Fachwerkes abhängt. Erst wenn ein Fachwerk gefunden ist, bei dem alle Nachweise erfüllt sind, kann dieses als ein „mögliches Modell“ bezeichnet werden.

Berücksichtigung der Schrägbewehrung

Die erste grundsätzliche Entscheidung betrifft die Konstruktion mit oder ohne Schrägbewehrung. Während Konstruktionen ohne Schrägbewehrung wegen der einfacheren Ausführung der Bewehrungsverlegung bevorzugt werden, haben Konstruktionen mit Schrägbewehrung den Vorteil, dass sie mehr Last aufnehmen können und der Bildung von Rissen (ausgehend vom Anschnitt der Konsole) entgegen wirken. Im Modul S356 wird die Berechnung von Ausklinkungen sowohl mit als auch ohne Schrägbewehrung unterstützt.

Modellierung

Die Geometrie beider Modelle ist so abgestimmt, dass Knoten und Stäbe, die in den Systemskizzen dieselbe Bezeichnung haben, geometrisch an derselben Stelle liegen. Beide Modelle werden mit ihren vorher festgelegten Lastanteilen unabhängig voneinander berechnet. Die Stabkräfte von Stäben, die in beiden Modellen vorkommen, werden danach addiert.

Modell M1

Dieses Modell dient der Aufnahme von Vertikal- und Horizontalkräften. Die geometrische Lage der Stäbe wird durch die Vorgaben zur Bewehrungswahl und die allgemeinen Regeln der DIN 1045-1 [1] bzw. des Heftes 525 [2] zur Bildung von Fachwerken beeinflusst. Die Stäbe werden stets in der Schwerlinie der entsprechenden Bewehrung angeordnet. Die Lage des Knotens 3 bestimmt sich aus der Höhe des dort befindlichen Druckknotens. Das Fachwerk wird iterativ an die Bewehrungswahl angepasst.

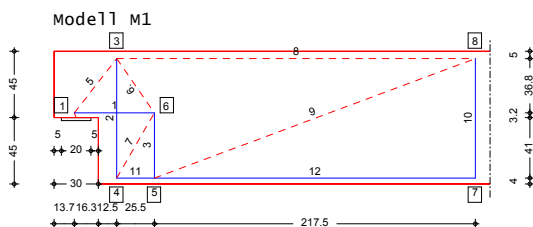


Bild 1. Fachwerkmodell M1

Modell M2

Dieses Modell dient ausschließlich der Aufnahme eines vertikalen Lastanteils und kommt zum Einsatz, wenn zusätzlich Schrägbewehrung eingebaut werden soll. Die Neigung des Schrägeisens kann entweder frei gewählt werden oder sie wird vom Programm so gewählt, dass die Verankerungslänge im Knoten 2 maximal wird. Beide Modelle werden so aufeinander abgestimmt, dass der Knickpunkt der Schrägbewehrung mit der Achse der sekundären Aufhängebewehrung zusammenfällt. Somit kann durch manuelle Vorgabe des Neigungswinkels die Lage der sekundären Aufhängebewehrung indirekt beeinflusst werden.

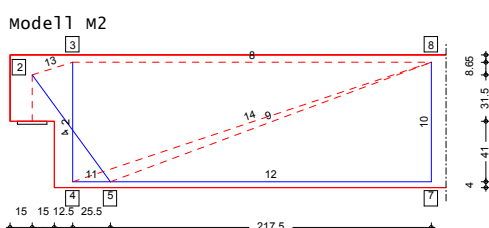


Bild 2. Fachwerkmodell M2

Vorbemerkung	System	Einwirkungen	Wind/Schnee	Belastungen					
Material/Querschnitt	Anschlüsse	Bewehrung	Nachweise	Ausgabe					
Erläuterung									
☒ Ausklinkung J/N ☒ vorgeben									
	Lager	h_k [cm]	l_k [cm]	$b_{x,pl}$ [cm]	$b_{y,pl}$ [cm]	a_k [cm]	Art	H/V [%]	H [kN]
1	Lager	40,0	40,0	20,0	10,0	20,0	ohne	20	
☒ Zugband Ausklinkung									
	Lager	min d_s [mm]	max d_s [mm]	min nl	max nl	Anord.	Verank.		
1	ALLE	8	16	1	10	neben	Schl.		
☒ primäre Aufhängebewehrung									
	Lager	min d_s [mm]	max d_s [mm]	min nl	max nl	s [cm]	n_s		
1	ALLE	8	12	2	10	5,0	2		
☒ sekundäre Aufhängebewehrung									
	Lager	min d_s [mm]	max d_s [mm]	min nl	max nl	s [cm]	n_s		
1	ALLE	8	12	2	10	5,0	2		
☒ vertikale Konsolbügel									
	Lager	min d_s [mm]	max d_s [mm]	n_s					
1	ALLE	8	12	2					
☒ horizontale Konsolbügel									
	Lager	min d_s [mm]	max d_s [mm]	n_s					
1	ALLE	8	12	2					
☒ Verankerung der Feldbewehrung									
	Lager	Verankerung							
1	ALLE	gerade							
☒ zusätzliche Maßnahmen zur Erzielung der Verankerung									
Art: ☐ keine ☐ Aufhängebewehrung verbreitern ☐ Schlaufenzulagen ☒ Schlaufenzulagen + verbreitern									
☒ Schlaufen zur Verankerung der unteren Feldbewehrung									
	Lager	min d_s [mm]	max d_s [mm]						
1	ALLE	8	14						

Bild 3. Eingabekapitel „Anschlüsse“

Lastaufteilung

Die Lastanteile können sowohl automatisch als auch manuell festgelegt werden. Die automatische Lastaufteilung erfolgt nach [3], Bild 13 abhängig von der Geometrie der Konsole, wobei Modell M1 mindestens 30% der Gesamtlast erhält.

$$F_{Ed,M1} = (1 - h_k/h) \cdot F_{Ed} \geq 0,3 \cdot F_{Ed}$$

$$F_{Ed,M2} = h_k/h \cdot F_{Ed} \leq 0,7 \cdot F_{Ed}$$

mit

$F_{Ed,M1}$	Lastanteil auf Modell M1
$F_{Ed,M2}$	Lastanteil auf Modell M2
F_{Ed}	Auflagerkraft
h_k	Konsolhöhe
h	Trägerhöhe

Bewehrungswahl

Zu allen statisch erforderlichen Bewehrungskomponenten im Bereich der Ausklinkung werden Vorgaben zu Stabdurchmessern (d_s), Lagenzahl (n_s), Schnittigkeit (n_s) und Stababständen (s) abgefragt. Unter Lagenzahl wird in diesem Zusammenhang die Anzahl der Stäbe in der Ansicht verstanden, unter Schnittigkeit die Anzahl der Stäbe im Querschnitt.

Die Stababstände können innerhalb der von DIN 1045-1 festgelegten Grenzen frei gewählt werden. Wird keine Eingabe vorgenommen, werden die Mindestabstände gemäß DIN 1045-1 gewählt. Darüber hinaus sind für das Zugband noch Anordnungsmuster vorzugeben. Abhängig von der Verankerungsart wird programmseitig die maximale Stabanzahl je Lage ermittelt.

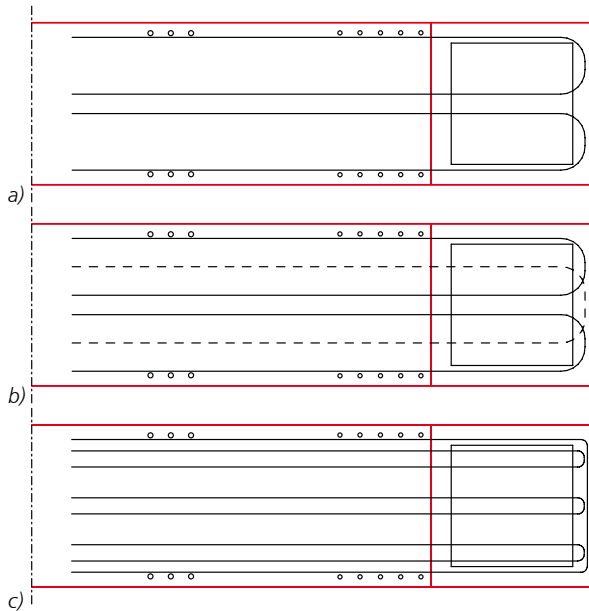


Bild 4. Zugbandanordnungen
a) nebeneinander, b) überlappend, c) ineinander

Bemessung der Zugstäbe

Für alle Zugstäbe wird die erforderliche Bewehrung wie folgt ermittelt:

$$A_{s,erf.} = \frac{F_{i,d}}{f_{y,d}}$$

mit

$F_{i,d}$ Stabkraft (Summe aus Modell M1 und Modell M2)
 $f_{y,d}$ Bemessungswert der Stahlfestigkeit

Bemessung Zugstäbe	Stab	EK	F_i [kN]	$A_{s,erf.}$ [cm ²]	gew.	$A_{s,vorh.}$ [cm ²]	η
	1	1	186.7	4.30	1012 (4-s)	4.52	0.95
	2	1	197.4	4.54	508/5.0 (2-s)	5.03	0.90
	3	1	127.7	2.94	2010/5.0 (2-s)	3.14	0.94
	4	1	141.0	3.24	2012/5.0 (2-s)	4.52	0.72
	11	1	204.4	4.70		21.99	0.21

Bild 5. Bemessung der Zugstäbe

Verankerungs- und Übergreifungslängen

Einen großen Einfluss auf die Detaillierung der Auflagerkonsole haben die Verankerungslängen. Es wird aufgrund der knappen Abmessungsverhältnisse oft erforderlich die vorhandene Bewehrungsmenge zu erhöhen, um mit der zur Verfügung stehenden Verankerungslänge auszukommen. Daher werden die Nachweise der Verankerungslängen in den Iterationsprozess integriert, um eine Nachbearbeitung der Ergebnisse zu vermeiden. Der Nachweis der Verankerungslänge erfolgt vollkommen automatisch. Lediglich die Verankerungsarten des Zugbandes, des Schrägstabes und der Feldbewehrung sind vom Anwender vorzugeben.

Folgende Verankerungsarten stehen zur Verfügung:

Verankerungsart	Zugband	Schrägstab	Feldbewehrung
gerade	X	X	X
Haken			X
Schlaufe	X	X	
große Schlaufe	X	X	
Ankerkörper	X	X	X
Schlaufenzulage			X

Tabelle 1. Verankerungen der Zugstäbe

Die Verbundbedingungen werden automatisch ermittelt, und zwar unter der Annahme, dass das Bauteil stehend hergestellt wird. Alle erforderlichen Informationen werden in der Ausgabe übersichtlich und nachvollziehbar dargestellt.

Verankerung	Stab	Kn.	Art	d_{br} [mm]	α [-]	Verbund	$l_{b,erf.}$ [cm]	$l_{b,vorh.}$ [cm]
1	1	1	Schlaufe	48	0.7	gut	17.1	31.6
1	6		gerade	-	1.0	gut	36.7	36.7
4	2	2	Schlaufe	48	0.7	mäßig	18.5	38.2
4	5		Übergr.	-	1.4	gut	38.8	38.8
11	4		gerade	-	1.0	gut	20.0	20.8

Bild 6. Nachweis der Verankerungen und Übergreifungen

Als Verankerungslänge für die Feldbewehrung (Stab 11) steht die Verlegebreite der Aufhängebewehrung zur Verfügung. Kann die Feldbewehrung nicht innerhalb dieser Breite verankert werden, ist optional die Anordnung von Schlaufenzulagen möglich. Die Schlaufenzulagen werden so gewählt, dass die Differenzkraft, die nicht verankert werden kann, durch die Schlaufen aufzunehmen ist. Für diese Kraft wird die Verankerungslänge innerhalb der Aufhängebewehrung und die Übergreifungslänge mit der Feldbewehrung nachgewiesen.

Zulagen

Bewehrungsarten, die sich nicht direkt aus den Kräften der Fachwerkstäbe ableiten lassen, werden im Kapitel Zulagen behandelt. Dabei handelt es sich um vertikale und horizontale Konsolbügel und um die Schlaufenzulagen zur Verankerung der Feldbewehrung. Die Konsolbügel werden abhängig von der Konsolgeometrie festgelegt.

Die Kräfte in den Konsolbügeln ergeben sich zu:

$$a_k/h_k \leq 0,5: \begin{cases} F_{Hor} = 0,3 \cdot F_1 \\ F_{Vert} = 0 \end{cases}$$

$$0,5 < a_k/h_k \leq 1,0: \begin{cases} F_{Hor} = \left[0,3 + \frac{0,3}{0,5} \left(0,5 - \frac{a_k}{h_k} \right) \right] \cdot F_1 \\ F_{Vert} = 2 \cdot \left(\frac{a_k}{h_k} - 0,5 \right) \cdot F_{Ed} \end{cases}$$

$$1,0 < a_k/h_k \leq 1,5: \begin{cases} F_{Hor} = 0 \\ F_{Vert} = 1,0 \cdot F_{Ed} \end{cases}$$

$$a_k/h_k > 1,5: \text{ Bemessung als Kragarm}$$

mit

a_k Abstand Last – Konsolenanschnitt
 h_k Konsolenhöhe
 F_1 Kraft im Zugband der Konsole
 F_{Ed} Gesamtkraft auf die Konsole

Knotennachweise

Druckspannungsnachweise werden in den Knoten 1 und 3 geführt. In Knoten 1 wird die Pressung unter der Auflagerplatte nachgewiesen. Der Bemessungswert der Betondruckspannungen errechnet sich zu:

$$\sigma_{R,d} = 0,85 \cdot f_{cd}$$

mit

f_{cd} Bemessungswert der Betondruckfestigkeit

Im Knoten 3 werden die Modelle M1 und M2 zusammengeführt. Dazu wird zunächst eine resultierende Druckstrebenkraft aus den Stäben 5 und 13 gebildet und ein Knoten vom Typ K4 gemäß Schlaich/Schäfer [7] so bemessen, dass die Knotenhöhe minimal wird und die Lasteinleitungsbreite der Verlegebreite der Aufhängebewehrung entspricht. Die Kraft einer horizontalen Druckstrebe (die es hier nicht gibt) wird formal zu Null gesetzt. Für alle im Knoten angreifenden Kraftkomponenten wird ein Druckspannungsnachweis geführt, wobei gilt:

$$\sigma_{R,d} = 0,75 \cdot f_{cd}$$

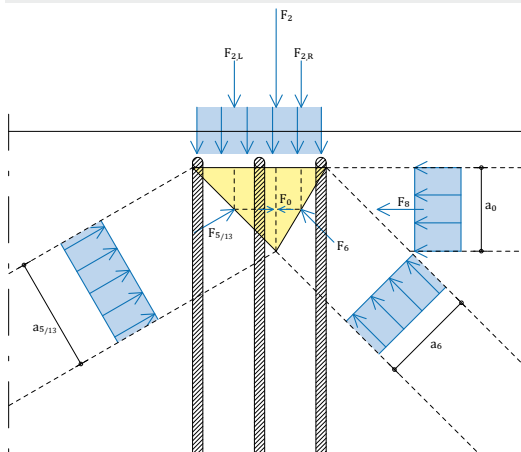


Bild 7. Konstruktion des Knotens 3

Begrenzung der Druckzonenhöhe

Die für den Knotennachweis erforderliche Druckzonenhöhe a_0 wird entsprechend DIN 1045-1 beschränkt auf:

$$a_0 \leq \begin{cases} 0,45 \cdot d_k & \leq C50/60 \\ 0,35 \cdot d_k & > C50/60 \text{ und Leichtbeton} \end{cases}$$

mit

d_k statische Höhe der Konsole (Abstand Schwerachse Zugband bis Unterkante der Aufhängebewehrung)

Die Knotentiefe wird abhängig von der Querschnittsgeometrie gewählt. Bei Rechteckquerschnitten wird die volle Querschnittsbreite, bei I- oder T-Trägern die Stegbreite und bei Trapezquerschnitten die mittlere Konsolbreite angesetzt.

Bewehrungsgrafik

Das Ergebnis der Bemessung wird in einer maßstäblichen Bewehrungsskizze übersichtlich in Ansicht und Schnitt dargestellt. Alle Verankerungs- und Übergreifungslängen sowie Stababstände und Biegerolldurchmesser werden berücksichtigt.

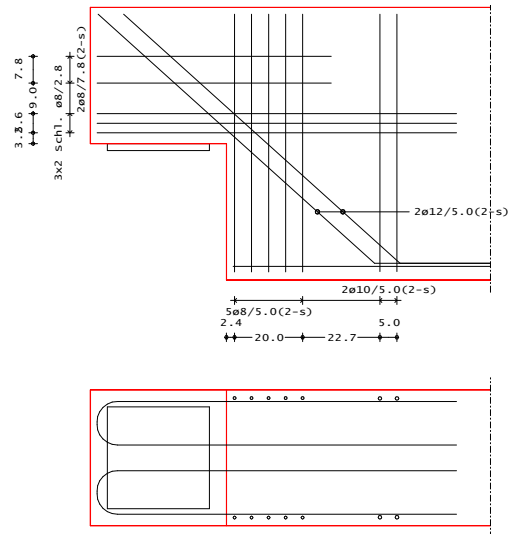


Bild 8. Bewehrungsgrafik

Trägerform

Pult- oder Satteldachträger sind durch geneigte Trägeroberkanten gekennzeichnet. Alle o.g. Nachweise können auch für derartige Systeme geführt werden. Dafür passt das Programm das Fachwerkmodell an die jeweilige Trägergeometrie an. Für die Bemessung wird als Konsolhöhe die Höhe am Anschnitt angenommen.

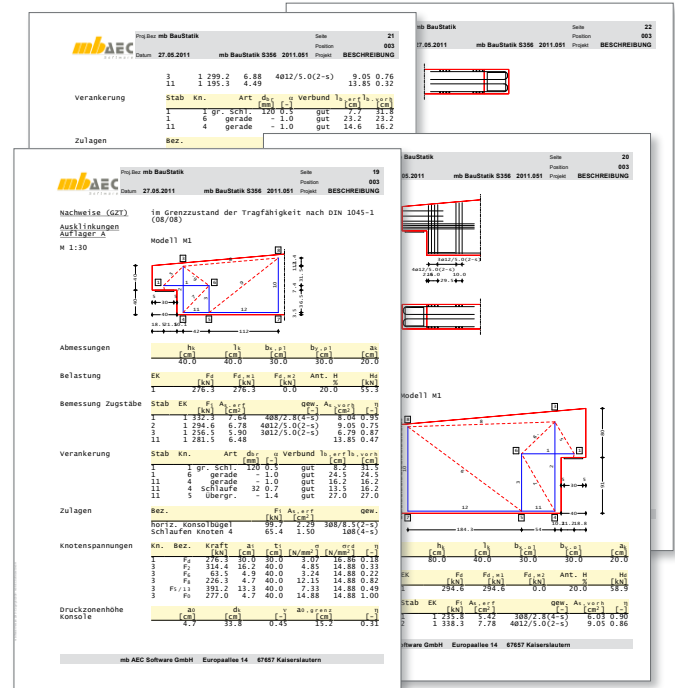


Bild 9. Beispielausgabe Pultdachträger

Öffnungen

System

Innerhalb aller Träger- und Querschnittsformen können Öffnungen nachgewiesen werden. Zur Auswahl stehen rechteckige und kreisförmige Öffnungen in beliebiger Anzahl. Der Abstand der Öffnungen untereinander muss so groß sein, dass sich eine Druckstrebe zwischen den Öffnungen ausbilden kann.

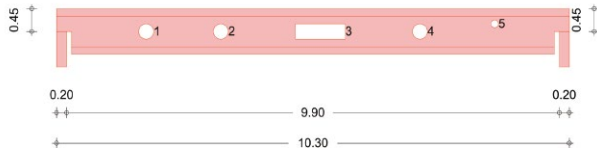


Bild 10. Trägeransicht mit Öffnungen

Berechnungsgrundlagen

Die Berechnungsgrundlagen beruhen im Wesentlichen auf den Fachwerkmodellen, die in Heft 399 [10] beschrieben sind. Näheres hierzu siehe Leistungsbeschreibung zu Modul S057 in der mb-news 04-2011 auf Seite 34.

Transportzustände

Die Öffnungen werden sowohl im End- als auch im Transportzustand nachgewiesen. Die Bewehrungswahl erfolgt jeweils für das Maximum aus beiden Zuständen.

Verformungsnachweise

Durch die Anordnung von Öffnungen wird die Steifigkeit des Trägers herabgesetzt, wodurch sich eine Vergrößerung der Verformungen gegenüber dem ungeschwächten Träger einstellt. In Heft 566 [11] wird ein Näherungsverfahren beschrieben, mit dem die Vergrößerung der Verformungen abgeschätzt werden kann. Verallgemeinert auf mehrere Öffnungen mit unterschiedlichen Abmessungen kann das Verhältnis der Durchbiegungen des geschwächten Querschnitts zu den Durchbiegungen des Vollquerschnitts angegeben werden zu:

$$\frac{w_{\text{Öffnung}}}{w_{\text{Massiv}}} = 1 + \sum (4,47 \cdot 10^{-4} \cdot e^{\delta} + 0,5125 \frac{l_0}{l})$$

mit

δ Beiwert

$$\delta = 15 \cdot \frac{l_0}{l} + 8,2 \cdot \frac{h_0}{h}$$

l_0 Länge der Öffnung

l Feldlänge

h_0 Öffnungshöhe

h Trägerhöhe in Öffnungsmitte

Der Ansatz des Vergrößerungsfaktors ist optional und wird im Kapitel „Nachweise“ nach Bedarf zu- oder abgeschaltet.

Bewehrungsskizze

Neben der tabellarischen Ausgabe aller relevanter Schnittgrößen und Bemessungsergebnisse wird für jede Öffnung eine vermasste Bewehrungsskizze zur Veranschaulichung der Berechnungsergebnisse ausgegeben.

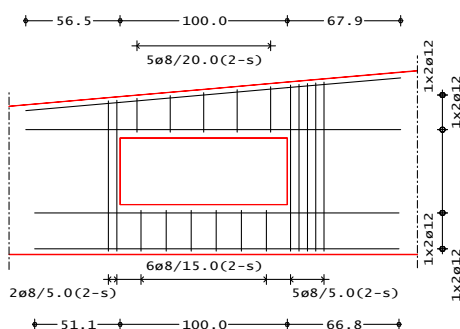


Bild 11. Bewehrungsskizze Öffnung

Ausgabe

Es wird eine vollständige, übersichtliche und prüffähige Ausgabe der Nachweise zur Verfügung gestellt. Der Anwender kann den Ausgabeumfang in der gewohnten Weise steuern.

Neben maßstabsgetreuen Skizzen werden die Schnittkräfte, Spannungen und Nachweise unter Angabe der Berechnungsgrundlage und Einstellungen des Anwenders tabellarisch ausgegeben.

Dipl.-Ing. Sascha Heuß
mb AEC Software GmbH
mb-news@mbaec.de

Literatur

- [1] DIN 1045-1: Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton – Teil 1: Bemessung und Konstruktion. Ausgabe August 2008.
- [2] DAfStb: Heft 525, Erläuterungen zur DIN 1045-1. 2. überarbeitete Auflage, Ausgabe 2010.
- [3] Fingerloos, F., Stenzel, G.: Konstruktion und Bemessung von Details nach DIN 1045. Betonkalender 2007, Verlag Ernst & Sohn, Berlin
- [4] Reineck, K.H.: Modellierung der D-Bereiche von Fertigteilen, Betonkalender 2005, Verlag Ernst & Sohn, Berlin
- [5] Bachmann, H., Steinle, A., Hahn, V.: Bauen mit Betonfertigteilen im Hochbau. Betonkalender 2009, Verlag Ernst & Sohn, Berlin
- [6] DAfStb. Heft 430, Standardisierte Nachweise von häufigen D-Bereichen, Ausgabe 1992
- [7] Schlaich, J., Schäfer, K.: Konstruieren im Stahlbeton. Beton-Kalender 2001, Verlag Ernst & Sohn, Berlin
- [8] Minnert, J., Blatt, M.: Konstruktion – Hochbau aus Stahlbetonfertigteilen, Stahlbetonbau aktuell – Praxishandbuch 2009, Bauwerk Verlag GmbH, Berlin
- [9] Gökalp, Y.: Fertigteilträger, mb-news 4/2010, mb AEC Software GmbH
- [10] DAfStb. Heft 399, Das Bewehren von Stahlbetonbauteilen. Kapitel 6 Balken mit Öffnungen, Ausgabe 1993
- [11] DAfStb. Heft 566, Untersuchungen des Trag- und Verformungsverhaltens von Stahlbetonbalken mit großen Öffnungen, Ausgabe 2007

mbAEC Aktuelle Angebote

S356 Stahlbeton-Fertigteilträger, DIN 1045-1 (08/08)

Leistungsbeschreibung siehe nebenstehenden Fachartikel

BauStatik 5er I
bestehend aus:

5 BauStatik-Module nach freier Wahl
(ausgenommen: S018, S407)

Leistungsbeschreibung
des Vorgänger-Moduls
JETZT: S350.de Stahlbeton-Fertigteilträger – EC 2

Es gelten unsere Allg. Geschäftsbedingungen. Änderungen und Irrtümer vorbehalten.
Alle Preise zzgl. Versandkosten (7,50 EUR) und ges. MwSt. Hardlock für Einzelplatzlizenz, je Arbeitsplatz erforderlich (95,- EUR). Handbücher auf DVD. Betriebssystem Windows XP (32) / Windows Vista (32/64) / Windows 7 (32/64) – Stand: April 2022

Preisliste siehe www.mbaec.de