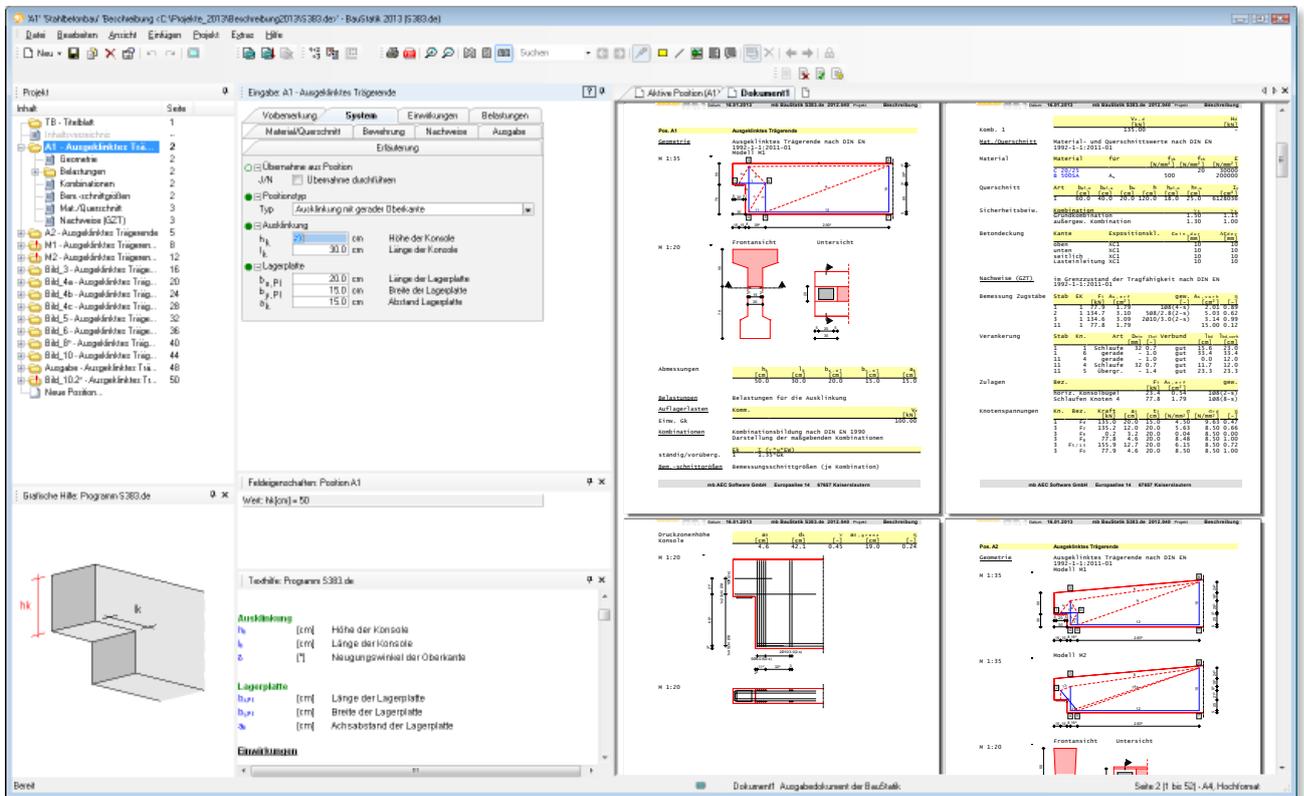


Dipl.-Ing. Sascha Heuß

# Ausgeklinktes Trägerende nach EC 2

## Leistungsbeschreibung des BauStatik-Moduls S383.de Stahlbeton-Trägerausklinkung, DIN EN 1992-1-1

Das Modul S383.de Stahlbeton-Trägerausklinkung nach EC 2 [1] hat gegenüber dem Vorgängermodul S473 nach DIN 1045-1 wesentliche Leistungserweiterungen erhalten. U.a. wurde der Iterationsprozess für die Fachwerke optimiert, die Auswahl der Trägerquerschnitte erweitert, eine abgeschrägte Trägeroberkante ermöglicht und die Bewehrungswahl wesentlich flexibler gestaltet.



## Ausgeklinktes Trägerende

### Fachwerktheorie

Entscheidenden Einfluss auf die Qualität der Bemessung hat die Wahl der Fachwerke. Die Vorgaben hierzu in Eurocode 2 [1] und Heft 600 [4] sind sehr allgemein gehalten und lassen damit unterschiedlichste Lösungsansätze zu. Fingerloos vergleicht in [5], 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 Fachwerks 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. In Modul S383.de 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 des EC 2 [1] bzw. des Heftes 600 [4] zur Bildung von Fachwerken beeinflusst. Die Stäbe werden stets in der Schwerelinie 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.

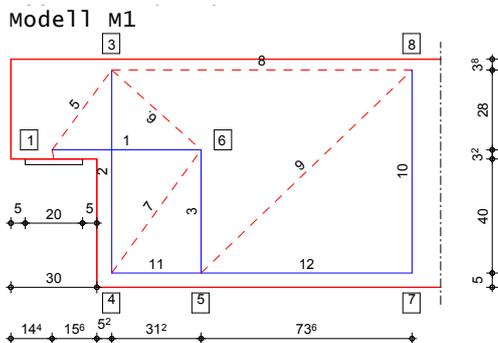


Bild 1. Fachwerkmodell M1

**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 frei gewählt werden oder 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 (Knoten 5). So kann durch manuelle Vorgabe des Neigungswinkels die Lage der sekundären Aufhängebewehrung indirekt beeinflusst werden.

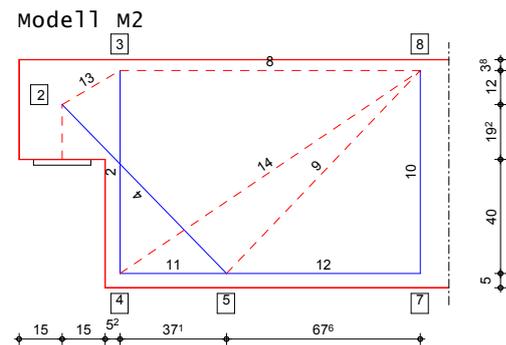


Bild 2. Fachwerkmodell M2

**Lastaufteilung**

Die Lastanteile können sowohl automatisch als auch manuell festgelegt werden. Die automatische Lastaufteilung erfolgt nach [5], Bild 13 abhängig von der Geometrie der Konsole, wobei Modell M1 mindestens 30% der Gesamtlast erhält.

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

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

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 ( $n_l$ ), 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 Schnittigkeit der Aufhängebewehrung und der Schrägbewehrung kann frei gewählt werden.

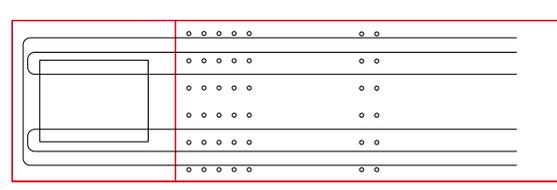


Bild 3. Mehrschnittige Aufhängebewehrung

Die Stababstände können innerhalb der von EC 2 festgelegten Grenzen frei gewählt werden. Bei automatischer Wahl der Abstände werden die Stäbe im kleinstmöglichen Abstand angeordnet. Darüber hinaus sind für das Zugband noch Anordnungsmuster vorzugeben. Abhängig von der Verankerungsart wird programmseitig die maximale Stabanzahl je Lage ermittelt.

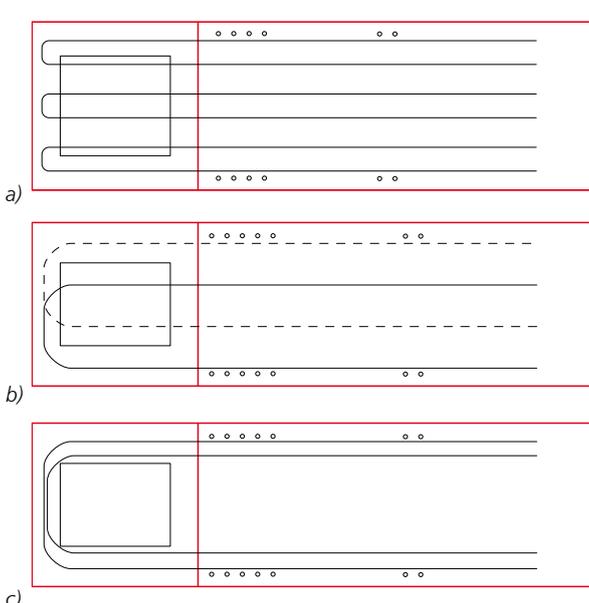


Bild 4. Zugbandanordnungen  
a) nebeneinander, b) überlappend, c) ineinander

**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 <sup>2</sup> ]	gew. As_vorh [-]	$\eta$ [-]
	1	1	239.0	5.50	208/2.8(6-s)	6.03 0.91
	2	1	348.9	8.02	6010/3.0(2-s)	9.42 0.85
	3	1	270.0	6.21	3012/3.2(2-s)	6.79 0.92
	4	1	294.5	6.77	3012/3.2(2-s)	6.79 1.00
	11	1	279.7	6.43		15.00 0.43

Bild 5. Bemessung der Zugstäbe

**Verankerungs- und Übergreifungslängen**

Einen großen Einfluss auf die Detaillierung der Auflagerkonsole haben die Verankerungslängen, da es oft erforderlich wird, aufgrund der knappen Abmessungsverhältnisse, die vorhandene Bewehrungsmenge zu erhöhen, um mit der zur Verfügung stehenden Verankerungslänge auszukommen. Daher wurden 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, unter der Annahme, dass das Bauteil stehend hergestellt wird. Alle erforderlichen Informationen werden in der Ausgabe übersichtlich und nachvollziehbar dargestellt.

Verankerung	Stab	Kn.	Art	Desin [mm]	Itesi [-]	Verbund	l <sub>bd</sub> [cm]	l <sub>bd,vorh</sub> [cm]
	1	1	Schlaufe	32	0.7	gut	10.0	23.0
	1	6	gerade	-	1.0	gut	21.5	21.5
	4	2	Schlaufe	48	0.7	gut	16.5	28.3
	4	5	übergr.	-	1.4	gut	49.5	49.5
	11	4	gerade	-	1.0	gut	16.0	16.0
	11	4	Schlaufe	48	0.7	gut	14.8	16.0
	11	5	übergr.	-	1.4	gut	29.6	29.6

Bild 6. Nachweis der Verankerungen und Übergreifungen

Als Verankerungslänge für die Feldbewehrung (Stab 11) steht die Verlegebreite der primären 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 werden 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:

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

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

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

$$\frac{a_k}{h_k} > 1,5 \quad \text{Bemessung als Kragarm}$$

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

$$f_{cd} \quad \text{Bemessungswert der Betondruckfestigkeit}$$

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 [9] so bemessen, dass die Knotenhöhe minimal wird und die Lastenleitungsbreite 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:

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

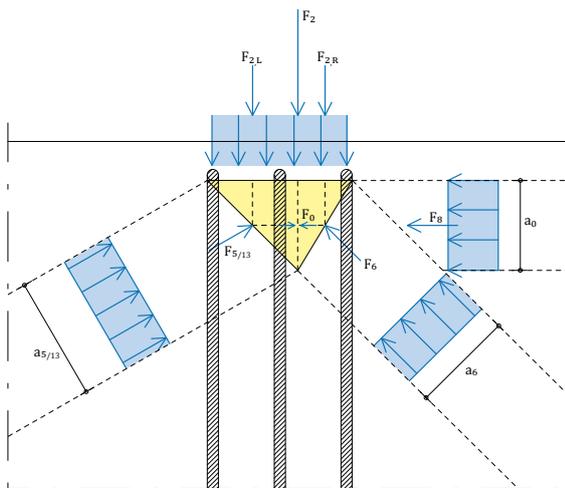


Bild 7. Konstruktion des Knotens 3

**Begrenzung der Druckzonenhöhe**

Die für den Knotennachweis erforderliche Druckzonenhöhe  $a_0$  wird noch entsprechend EC 2 [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 Biegerollendurchmesser werden berücksichtigt.

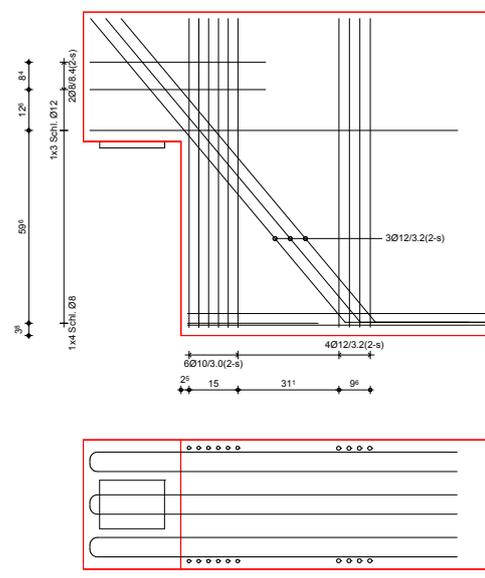


Bild 8. Bewehrungsgrafik

**Trägerquerschnitte**

Mit dem Modul S383.de ist die Dimensionierung von Ausklinkungen an Trägern mit den gebräuchlichsten Querschnittsformen möglich. Folgende Querschnitte werden unterstützt:

- Rechteck
- Plattenbalken
- Trapezquerschnitt
- T-Querschnitt
- I-Querschnitt (symmetrisch und unsymmetrisch)

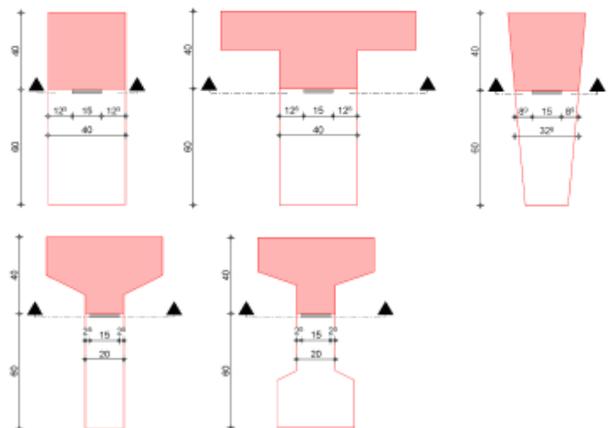


Bild 9. Mögliche Trägerquerschnitte

**Geneigte Trägeroberkante**

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.

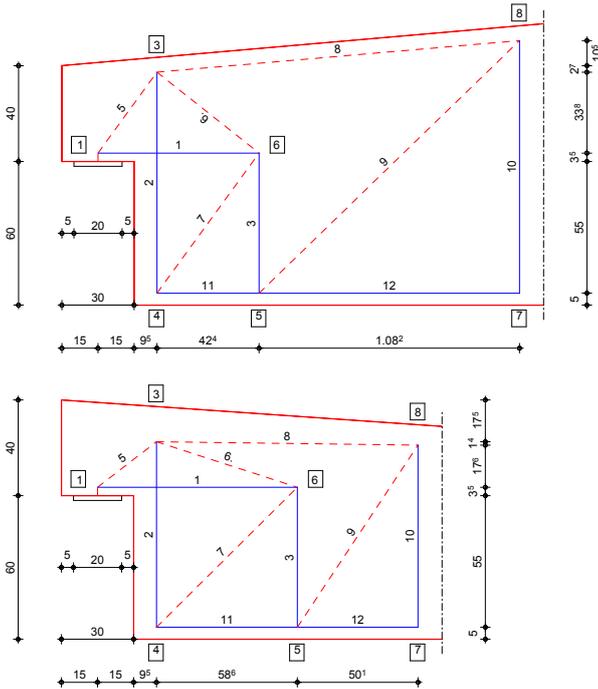


Bild 10. Fachwerk bei ansteigender und fallender Trägeroberkante

### 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.

Bild 11. Beispielausgabe

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

### Literatur

- [1] DIN EN 1992-1-1:2011-01, Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken – Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau.
- [2] DIN EN 1992-1-1/NA:2011-01, Eurocode 2: Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter - Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken – Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau.
- [3] Fingerloos, F.; Hegger, J.; Zilch, K.: Eurocode 2 für Deutschland – DIN EN 1992-1-1 Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetonbauwerken, Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau mit Nationalem Anhang, Kommentierte Fassung. Berlin: Ernst & Sohn; Beuth, 2012.
- [4] DAfStb-Heft 600 - Erläuterungen zu DIN EN 1992-1-1 und DIN EN 1992-1-1/NA (Eurocode 2). 1. Auflage, Ausgabe 2012.
- [5] Fingerloos, F., Stenzel, G.: Konstruktion und Bemessung von Details nach DIN 1045, Betonkalender 2007, Verlag Ernst & Sohn, Berlin
- [6] Reineck, K.H.: Modellierung der D-Bereiche von Fertigteilen, Betonkalender 2005, Verlag Ernst & Sohn, Berlin
- [7] Bachmann, H., Steinle, A., Hahn, V.: Bauen mit Betonfertigteilen im Hochbau, Betonkalender 2009, Verlag Ernst & Sohn, Berlin
- [8] DAfStb. Heft 430, Standardisierte Nachweise von häufigen D-Bereichen, Ausgabe 1992
- [9] Schlaich, J., Schäfer, K.: Konstruieren im Stahlbeton. Betonkalender 2001, Verlag Ernst & Sohn, Berlin
- [10] Minnert, J., Blatt, M.: Konstruktion – Hochbau aus Stahlbetonfertigteilen, Stahlbetonbau aktuell – Praxishandbuch 2009, Bauwerk Verlag GmbH, Berlin

## ! Aktuelle Angebote

**S383.de Stahlbeton-Trägerausklinkung – EC 2, DIN EN 1992-1-1:2011-01** **299,- EUR**

Leistungsbeschreibung siehe nebenstehenden Fachartikel

Es gelten unsere Allgemeinen Geschäftsbedingungen. Änderungen und Irrtümer vorbehalten. Alle Preise zzgl. Versandkosten und MwSt. – Hardlock für Einzelplatzlizenzen je Arbeitsplatz erforderlich (95,- EUR). Folgekosten/Netzwerkbedingungen auf Anfrage. – Stand: Januar 2013  
Unterstütztes Betriebssystem: Windows 10 (64)

Preisliste siehe [www.mbaec.de](http://www.mbaec.de)