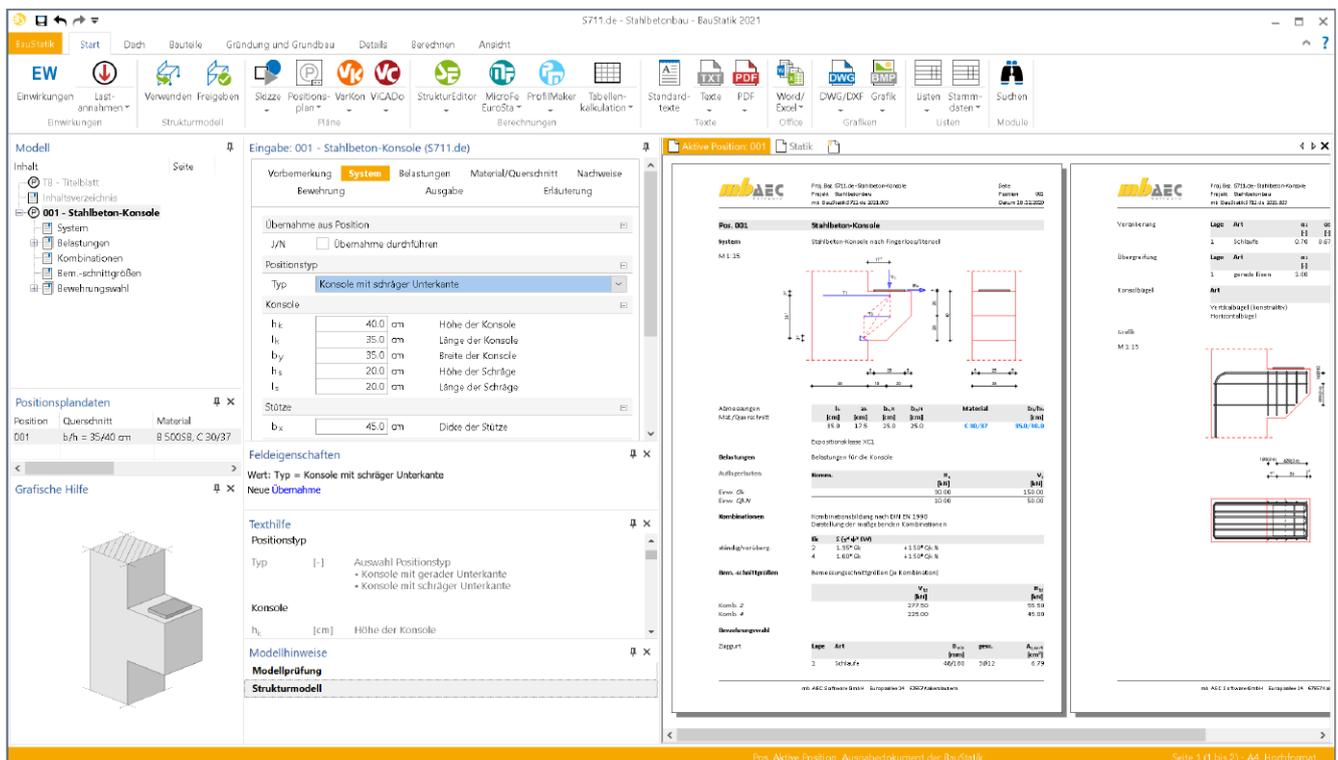


Dipl.-Ing. Sascha Heuß

Bemessung und Konstruktion von Stahlbetonkonsolen

Leistungsbeschreibung des BauStatik-Moduls S711.de Stahlbeton-Konsole – EC 2, DIN EN 1992-1-1

Bei Stahlbetonkonsolen handelt es sich um hochbelastete Anschlussdetails, deren Funktion und Dauerhaftigkeit im Wesentlichen von deren konstruktiver Durchbildung abhängen. Mit dem Modul S711.de wird neben den Nachweisen der Druck- und Zugstreben eine Bewehrungswahl durchgeführt, die alle derzeit gültigen normativen Anforderungen erfüllt.



Allgemeines

Berechnungsansätze

Für die Bemessung von Stahlbetonkonsolen liegen unterschiedliche Bemessungsansätze vor, die sich im Nachweis der Druckspannungen unterscheiden. Während im DAfStb-Heft 600 [5] ein Querkraftnachweis geführt wird, werden beim Nachweis nach [4] diskrete Stabwerkmodelle konstruiert, deren Druckstreben und Druckknoten nach den Regeln des Eurocode 2 [1] nachgewiesen werden. Beide Modelle liefern in sich schlüssige Ergebnisse, wobei der Ansatz nach [4] auch

den Nachweis von sehr schlanken Konsolen ($a_c/h_c > 1$) zulässt. In Bezug auf die erforderliche Zuggurtbewehrung lässt sich feststellen, dass in den meisten Fällen die Berechnung nach [4] geringfügig wirtschaftlichere Ergebnisse liefert. Im Modul S711.de sind beide Berechnungsansätze integriert. Das erlaubt die einfache Auswahl des für das konkrete Problem geeigneteren Verfahrens. Die Ergebnisse aus beiden Bemessungsansätzen können durch Umschalten der Berechnungsgrundlage auf einfache Art und Weise verglichen werden.

System

Es können sowohl Konsolen mit gerader als auch mit geneigter Unterkante nachgewiesen werden, wobei für die Bemessung einer Konsole mit geneigter Unterkante nur das Verfahren nach [4] zur Verfügung steht.

Im Kapitel „System“ werden die äußeren Abmessungen der Konsole und die Abmessungen und Lage der Lagerplatte festgelegt. Es gilt die Konvention, dass die Last immer im Mittelpunkt der Lagerplatte angreift.

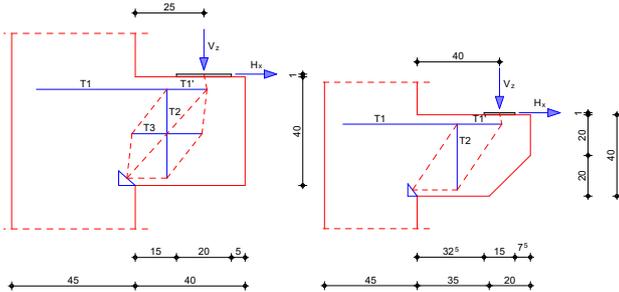


Bild 1. Konsole mit gerader und geneigter Unterkante

Die maximale Abmessung der Abschrägung ergibt sich aus den Abmessungen der schrägen Druckstrebe, die so gewählt wird, dass der Bemessungswert der Betondruckspannungen nicht überschritten wird. Zusätzlich wird der Platzbedarf für die vertikale Bügelbewehrung berücksichtigt.

Das bedeutet in der praktischen Anwendung, dass das Modul S711.de abhängig von den sonstigen Randbedingungen wie beispielsweise Anordnung der Lagerplatte, Lastgröße, Betondruckfestigkeit, etc. ein Fachwerkmodell konstruiert und im Anschluss überprüft, ob sich die Druckstrebe im Bereich der Abschrägung noch vollständig ausbilden kann. Sollte dies nicht der Fall sein, erfolgt die Ausgabe einer entsprechenden Fehlermeldung.

Durch Änderung der das Fachwerkmodell beeinflussenden Parameter, kann somit auch Einfluss auf die zulässige Größe der Abschrägung genommen werden. Als weitere konstruktive Forderung muss gemäß [3] in einem vertikalen Schnitt durch den Punkt K1 mindestens die halbe Konsolehöhe zur Verfügung stehen.

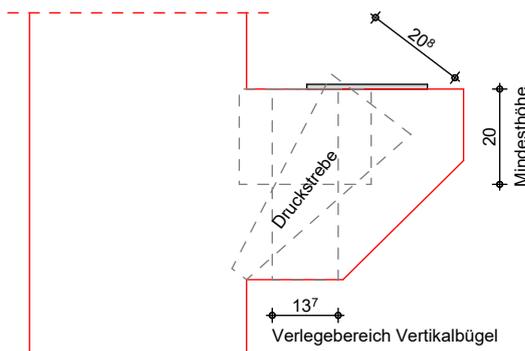


Bild 2. Mindestabmessungen der Konsole mit schräger Unterkante

Vorbemerkung	System	Belastungen	Material/Querschnitt	Nachweise
Bewehrung	Ausgabe			Erläuterung
Übernahme aus Position				
J/N	<input type="checkbox"/>	Übernahme durchführen		
Positionstyp				
Typ	Konsole mit schräger Unterkante			
Konsole				
h _k	40.0	cm	Höhe der Konsole	
l _k	35.0	cm	Länge der Konsole	
b _y	35.0	cm	Breite der Konsole	
h _s	20.0	cm	Höhe der Schräge	
l _s	20.0	cm	Länge der Schräge	
Stütze				
b _x	45.0	cm	Dicke der Stütze	
Lagerplatte				
b _{x,Pl}	25.0	cm	Länge der Lagerplatte	
b _{y,Pl}	25.0	cm	Breite der Lagerplatte	
d _{pl}	10	mm	Dicke der Lagerplatte	
a _k	17.5	cm	Abstand Lagerplatte	

Bild 3. Eingabe der Konsolabmessungen

Belastungen

Konsolen dienen in erster Linie der Einleitung von vertikalen Lasten aus Unterzügen in Stützen. Um ungewollte Zwangsbeanspruchungen zu berücksichtigen, sollten Konsolen stets auch für die daraus resultierenden Horizontallasten bemessen werden. Sofern keine genaueren Nachweise vorliegen, können die Horizontallasten zu 20% der Vertikallasten abgeschätzt werden.

Es stehen daher zwei Lasttypen zur Eingabe zur Verfügung:

- Auflagerkraft mit autom. H-Last
- Auflagerkraft mit vorgegebener H-Last

Bei automatischer Horizontallast wird diese zu 20% der Vertikallast angenommen. Weiterhin ist der vertikale Lastangriffspunkt der Horizontallast festzulegen, der sowohl die zur Verfügung stehende Verankerungslänge als auch die Größe der Zuggurtkraft beeinflusst.

Vorbemerkung	System	Belastungen	Material/Querschnitt	Nachweise
Bewehrung	Ausgabe			Erläuterung
Bemessungsschnittgrößen				
J/N	<input type="checkbox"/>	vorgeben		
Lastabtrag aus vorhandenen Positionen 01				
Art				
Lasteingabe 01				
Art	Auflagerlast mit automatischer H-Last			
Auflagerlast	<input checked="" type="checkbox"/>	Auflagerlast mit automatischer H-Last		
Kom	<input type="checkbox"/>	Auflagerlast mit vorgegebener H-Last		
Lastangriff				
Art	<input checked="" type="radio"/> Oberkante Lagerplatte <input type="radio"/> Unterkante Lagerplatte <input type="radio"/> manuell			
	EW	V _z [kN]		
1	Gk - Eigenla:	150.000		
2	Qk - Nutzl:	50.000		
Lasteingabe 02				
Art				

Bild 4. Eingabe der Belastungen

Material/Querschnitt

Hier erfolgt die Festlegung der Materialien und Expositions-klassen.

Standardmäßig stehen die Normal- und Leichtbetonsorten des Eurocodes 2 [1] zur Verfügung. Wird von der Option „Ausführung als Betonfertigteil“ Gebrauch gemacht, erfolgt die Berechnung mit dem reduzierten Teilsicherheitsbeiwert für Stahlbeton nach [2], NDP zu A.2.3(1). Hiernach ist sicherzustellen, dass an jedem Fertigteile die Festigkeitsklasse zu überprüfen ist und Bauteile mit zu geringer Festigkeit ausgesondert werden.

Die Expositions-klassen können getrennt für jede Seite der Konsole festgelegt werden. Die Option „umlaufend“ ermöglicht die Vorgabe aller Seiten in einer Eingabezeile.

Seiten	Kl.	$c_{min,dur}$ [mm]	Δc_{dev} [mm]
1 umlaufend	XC1		

Bild 5. Eingabe Material/Querschnitt

Bewehrung

Hauptzugbewehrung

Die für die Konsole wichtigste Bewehrung ist die Hauptzugbewehrung an der Oberseite der Konsole. Das Zugband ist unter der Lagerplatte und auf der der Konsole gegenüberliegenden Seite der Stütze zu verankern. Aufgrund der meist knappen Abmessungsverhältnisse kommt einer möglichst wirtschaftlichen Konstruktion eine große Bedeutung zu.

Grundsätzlich sollte die Hauptzugbewehrung unter Beachtung aller Anforderungen an Bewehrungsabstände und Betondeckungen möglichst hoch in der Konsole angeordnet werden. Dadurch ergibt sich ein großer innerer Hebelarm, der wiederum eine kleine Zugkraft zur Folge hat. D.h. in der Praxis wird man versuchen, die Bewehrung mit so wenig wie möglich Lagen auszuführen bzw. je Lage die maximal mögliche Stabanzahl einzulegen.

Im Modul S711.de werden drei Bewehrungsanordnungen unterstützt, die je nach geometrischen Verhältnissen die optimale Ausnutzung des zur Verfügung stehenden Platzes gewährleisten (Bild 6).

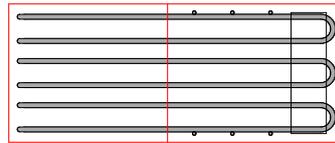
a) nebeneinander

Die Hauptzugbewehrung wird schlaufenförmig ausgebildet. Alle Schlaufen werden nebeneinander angeordnet. Es wird der für den Stabdurchmesser minimale Schlaufendurchmesser angenommen. Die Schlaufen liegen mit Mindestabstand nebeneinander.



b) ineinander

Es wird eine die gesamte Lage umfassende Schlaufe angeordnet. Alle weiteren Schlaufen werden innerhalb der umfassenden Schlaufen nach den gleichen Grundsätzen wie nebeneinander liegende Schlaufen angeordnet.



c) überlappend

Die Schlaufen werden in zwei sich berührenden Lagen versetzt eingebaut.



Bild 6. Bewehrungsanordnungen „nebeneinander“, „ineinander“ und „überlappend“

Horizontal- und Vertikalbügel

Abhängig von der Schlankheit der Konsole sind Horizontal- und Vertikalbügel anzuordnen. Insbesondere bei dem Nachweis nach [4] ist auf eine sorgfältige Verbügelung zu achten, da sonst die vorausgesetzte Druckstreben-tragfähigkeit nicht erreicht wird.

Die Anordnung erfolgt nach [4], Bild 3. Demnach wird folgende Bügelanordnung empfohlen:

gedrungene Konsolen ($a_c/h_c \leq 0,5$)

- nach Fingerloos/Stenzel [4]:
Horizontalbügel mit $A_{sw,3} = 0,3 \cdot A_{s,1}$
mit
Querschnitt der Hauptzugbewehrung $A_{s,1}$
- nach Heft 600 [5]:
wenn $V_{Ed} > 0,3 \cdot V_{Rd,max}$:
 $A_{sw,3} = 0,5 \cdot A_{s,1}$

schlanke Konsolen ($0,5 < a_c/h_c \leq 1,0$)

- nach Fingerloos/Stenzel [4]:
Horizontalbügel mit $A_{sw,3} = (1 - \beta) \cdot 0,3 \cdot A_{s,1}$
Vertikalbügel mit $A_{sw,2} = \beta \cdot F_{Ed}/f_{yd}$
mit
 $\beta = 2 \cdot a_c/h_c - 1$
 F_{Ed} Bemessungswert der vertikalen Konsolbelastung
- nach Heft 600 [5]:
wenn $V_{Ed} > V_{Rd,ct}$:
Vertikalbügel mit $A_{sw,2} = 0,7 \cdot F_{Ed}/f_{yd}$

sehr schlanke Konsolen

(Bemessung nur nach Fingerloos/Stenzel [4] möglich)
Vertikalbügel mit $A_{sw,2} = F_{Ed}/f_{yd}$

Die Vertikalbügel werden im Abstand von $0,25 \cdot a$ bis $0,75 \cdot a$ gemessen ab dem Konsolanschnitt gleichmäßig verteilt. Dabei ist a der Abstand der Vertikallast zum Schwerpunkt des Druckknotens.

Die Horizontalbügel werden im Bereich von $0,25 \cdot z_c$ bis $0,75 \cdot z_c$ gemessen ab dem Schwerpunkt der Hauptzugbewehrung gleichmäßig verteilt. Dabei ist z_c der innere Hebelarm der Konsole.

Konstruktive Verbügelung

Nach [4] ist im oberen und unteren Viertel des inneren Hebelarmes z_c sowie innerhalb der verbliebenen nicht bewehrten Viertel des Lastabstandes die Anordnung einer konstruktiven horizontalen bzw. lotrechten Bügelbewehrung empfohlen. Um zu einem vollständigen Bewehrungsbild zu gelangen, kann diese Bewehrung durch Vorgabe von Durchmesser, Schnittigkeit und Anzahl festgelegt werden.

Übergabe an ViCADO

Das Modul stellt die Ergebnisse der Bewehrungswahl zur Übergabe an ViCADO bereit. Durch Übernahme der Bewehrung in ViCADO stehen sofort alle beschriebenen Bewehrungselemente zur Verfügung.

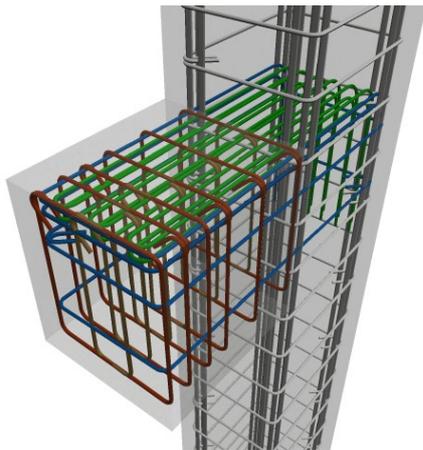


Bild 7. Bewehrung aus S711.de in ViCADO

Nachweise

Nach Heft 600[5]

Nachweis der Querkraft

$$V_{Ed} = F_{Ed} \leq V_{Rd,max} = 0,5 \cdot v \cdot b \cdot z \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c}$$

mit

$$v = 0,7 - \frac{f_{ck}}{200} \geq 0,5$$

$$z = 0,9 \cdot d$$

Lage der Druckstrebe

$$z_0 = d \cdot \left(1 - 0,4 \cdot \frac{V_{Ed}}{V_{Rd,max}} \right)$$

Ermittlung der Zuggurtkraft

$$Z_{Ed} = F_{Ed} \cdot \frac{a_c}{z_0} + H_{Ed} \cdot \frac{a_H + z_0}{z_0}$$

Nachweise (GZT)		Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit nach DIN EN 1992-1-1					
- Berechnung nach DAfStb-Heft 600							
Zugstäbe	Stab	Ek	Fi	As,erf	As,vorh	η	
		[kN]	[kN]	[cm ²]	[cm ²]		
	Zuggurt	1	181.05	4.16	6.16	0.68	
	horizontale Bügel	1	-	2.08	3.14	0.66	
Betondruckspannungen	Ort	Fi	ai	ti	σ	σ _{rd}	η
		[kN]	[cm]	[cm]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[-]
	Lagerplatte	181.05	20.0	6.2	4.29	16.86	0.25
Querkraft	Ek	V _{Ed}	v	z	V _{Rd,max}	η	
		[kN]	[-]	[cm]	[kN]	[-]	
	1	202.50	0.53	31.3	671.42	0.30	
Es werden keine Bügel benötigt.							
Bewehrungswahl							
Zuggurt	Lage	Art	D _{min}	gew.	A _{s,vorh}		
			[mm]		[cm ²]		
	1-2	Schlaufen	266	1Ø14	3.08		
Verankerung	Lage	Art	α ₁	α _s	η	Verbund	l _{bd} l _{ov,wh}
			[-]	[-]	[-]		[cm] [cm]
	1-2	Schlaufen	0.70	0.67	0.68	mäßig	20.8 28.0
Übergreifung	Lage	Art	α ₁	η	Verbund	l _o	l _{ov,wh}
			[-]	[-]		[cm]	[cm]
	1-2	gerade Eisen	1.00	0.68	gut	43.7	43.7
Konsolbügel	Art			gew.	A _{s,vorh}		
					[cm ²]		
	Vertikalbügel			1Ø8(4-s)	2.01		
	Horizontalbügel			1Ø10(4-s)	3.14		

Bild 8. Beispielausgabe der Nachweise nach Heft 600

Nach Fingerloos/Stenzel [4]

Bei diesem Nachweisformat wird ein Fachwerkmodell ermittelt, dass in seinen Abmessungen und Abständen stets mit der Bewehrungswahl abgeglichen wird. D.h. für die Lage der Hauptzugbewehrung, dass diese iterativ bestimmt wird, solange bis die Annahme für die Lage mit der tatsächlichen Bewehrungswahl übereinstimmt.

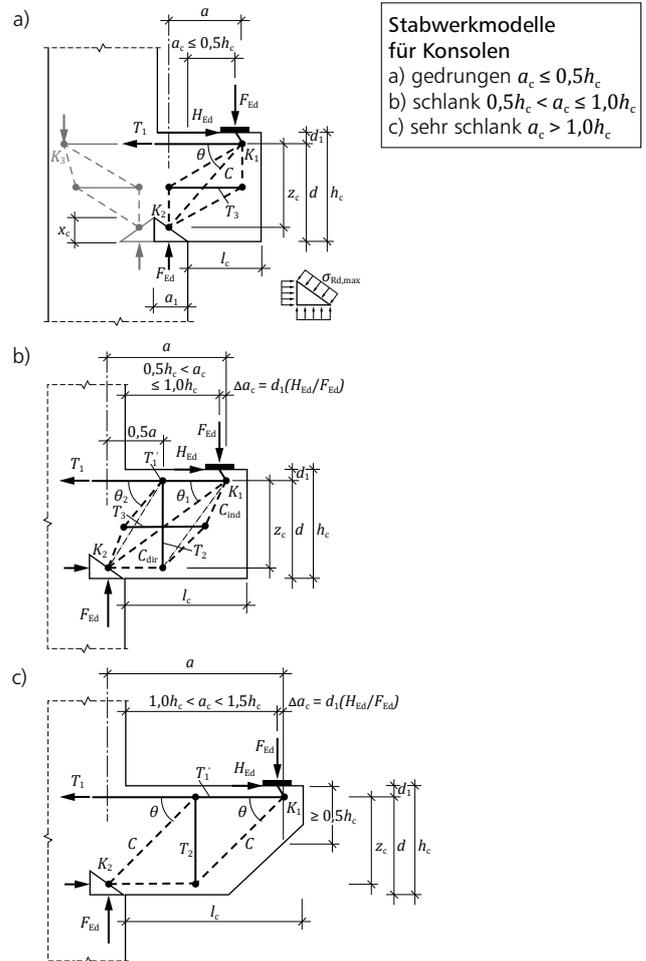


Bild 9. Maße und Bezeichnungen nach [4]

Bestimmung der Abmessungen des Druckknotens
 Hiermit ist indirekt der Nachweis der Betondruckspannung erbracht.

- Breite des Druckknotens

$$a_1 = \begin{cases} \frac{F_{Ed}}{b_c \cdot 0,75 \cdot v' \cdot f_{cd}} & \text{für } a_c \leq 1,0 \cdot h_c \\ \frac{F_{Ed}}{b_c \cdot \eta \cdot f_{cd}} & \text{für } a_c > 1,0 \cdot h_c \end{cases}$$

mit

$$v' = 1,0 \quad \text{für } f_{ck} \leq 50 \text{ N/mm}^2$$

$$v' = 1,1 - \frac{f_{ck}}{500} \quad \text{für } 50 < f_{ck} \leq 100 \text{ N/mm}^2$$

und

$$\eta = 1,0 \quad \text{für } f_{ck} \leq 50 \text{ N/mm}^2$$

$$\eta = 1,0 - \frac{f_{ck} - 50}{200} \quad \text{für } 50 < f_{ck} \leq 100 \text{ N/mm}^2$$

- Höhe des Druckknotens

$$a = 0,5 \cdot a_1 + a_c + d_1 \cdot \frac{H_{Ed}}{F_{Ed}}$$

$$x_c = d - \sqrt{d^2 - 2 \cdot a_1 \cdot a}$$

Berechnung des inneren Hebelarmes

$$z_c = d - 0,5 \cdot x_c$$

Ermittlung der Zuggurtkraft

$$T_1 = F_{Ed} \cdot \frac{a}{z_c} + H_{Ed}$$

Begrenzung der Druckzonenhöhe

$$\frac{x_c}{d} \leq 0,45 \quad \text{für } f_{ck} \leq 50 \text{ N/mm}^2$$

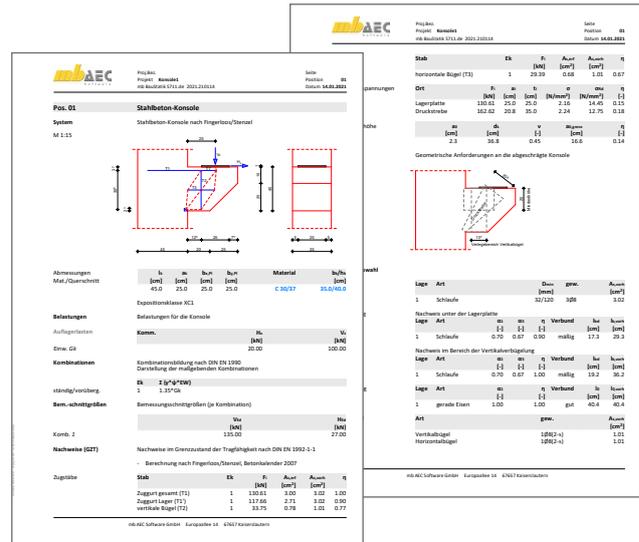
$$\frac{x_c}{d} \leq 0,35 \quad \text{für } 50 < f_{ck} \leq 100 \text{ N/mm}^2$$

Ausgabe

Es wird eine vollständige, übersichtliche und prüffähige Ausgabe zur Verfügung gestellt. Der Ausgabeumfang kann dabei in gewohnter Weise gesteuert werden.

Neben maßstabstreuen Detailskizzen werden die Schnittgrößen, Kombinationen und Nachweise unter Angabe der Berechnungsgrundlage und unter Berücksichtigung der Einstellungen des Anwenders in übersichtlicher tabellarischer Form ausgegeben.

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] Fingerloos, F., Stenzel, G.: Konstruktion und Bemessung von Details nach DIN 1045. Betonkalender 2007/2, Berlin: Ernst & Sohn.
- [5] DafStb-Heft 600: Erläuterungen zu DIN EN 1992-1-1 und DIN EN 1992-1-1/NA (Eurocode 2). Berlin: Beuth-Verlag 2012.

Preise und Angebote

S711.de Stahlbeton-Konsole - EC 2, DIN EN 1992-1-1
 Weitere Informationen unter <https://www.mbaec.de/modul/S711.de>

Volumenpakete

5er/10er-Pakete zum Auffüllen bereits vorhandener BauStatik-Module

BauStatik 5er-Paket

bestehend aus 5 BauStatik-Modulen deutscher Norm nach Wahl*

BauStatik 10er-Paket

bestehend aus 10 BauStatik-Modulen deutscher Norm nach Wahl*

* ausgenommen: S012, S018, S030, S141.de, S261.de, S410.de, S411.de, S414.de, S630.de, S811.de, S853.de

Weitere Informationen unter <https://www.mbaec.de/produkte/baustatik/pakete/>

Es gelten unsere Allgemeinen Geschäftsbedingungen. Änderungen und Irrtümer vorbehalten. Alle Preise zzgl. Versandkosten und MwSt. – Hardlock für Einzelplatzlizenz je Arbeitsplatz erforderlich (95,- EUR). Folgelizenz-/Netzwerkbedingungen auf Anfrage. – Stand: Februar 2021

Unterstütztes Betriebssystem: Windows 10 (64)

Preisliste siehe www.mbaec.de