

Grosse Bauprojekte stehen auf alphabeton-Stützen

The Mall of Switzerland, Ebikon, Käufer: Hälter AG Zürich, Architekt: Burckhardt + Partner AG Zürich,
TGS Architekten AG Luzern, Bauingenieur: suisseplan Ingenieure AG Aarau

alphabeton 

**Technische Informationen über die
geforderte Betonüberdeckung bei
Stahlbetonstützen**

Betonüberdeckung bei Stahlbetonstützen

Aktueller Markteinblick

Oft sind wir am Markt mit Offerten konfrontiert, die bis zu 30 % günstiger sein sollen als die der alphabeton AG. Wir alle wissen, dass vor allem in der Baubranche vieles möglich ist. Schlussendlich muss aber jedes Unternehmen, welches an die Zukunft glaubt, in der Gegenwart Geld verdienen. Die alphabeton AG hat in die Zukunft investiert und eröffnete 2012 ein neues Produktionswerk in Büron mit einem Bauvolumen von über 20 Mio. CHF. Neuste Technologien (Betonproduktion, Schalungstechnik, Schweissverfahren), Konzentration auf wenige Produkte (Stützen und Pfähle), nachhaltige Produktion (eigene Solaranlage mit einer Fläche von ca. 4'000 m² und einer Leistung von 500'000 kWh/Jahr) und äusserst optimierte Abläufe machen alphabeton AG zu einem der modernsten und wirtschaftlichsten Produzenten von Stützen in Europa. Woher kommen nun aber trotz dieser eindeutigen Wettbewerbsvorteile solche Differenzen?

alphabeton AG respektive der Stützenmarkt wurde in der kürzeren Vergangenheit immer wieder mit solchen Tiefpreisanbietern konfrontiert. Zuerst warb ein einzelner Mitbewerber mit falschen Brandschutzzertifikaten, bis diese im August 2014 durch die Vereinigung der Kantonalen Feuerversicherungen (VKF) verboten wurden. Anschliessend stellten wir fest, dass derselbe Mitbewerber fahrlässig und ohne technischen Hintergrund die Teilsicherheitsbeiwerte der SIA-Normen reduzierte und sich so einen wirtschaftlichen Vorteil verschaffte. Der Sicherheitsaspekt wurde ausgeblendet. Trotz klarer Kommunikation durch die zuständige SIA Normkommission wurden weiterhin tausende von Stützen und Pfählen verkauft, die weder den gültigen SIA-Normen noch dem Bauproduktengesetz entsprachen. Dies zeigt leider, dass ausschliesslich wirtschaftliche Aspekte betrachtet werden. Die wichtigeren Argumente wie Sicherheit, Langlebigkeit, Robustheit, resp. Einhalten von Normvorgaben werden ausgeblendet.

Auch heute müssen wir leider feststellen, dass dieser Anbieter seine Strategie nicht geändert hat. Zur preislichen Optimierung wird seit längerem die normierte Betonüberdeckung reduziert, und zwar aufgrund fehlerhafter Interpretation verschiedener Normen und dem Heranziehen von informativen (nicht normierten) Anhängen.

Was sagen die Normen?

Grundsätzlich gilt: Normen dürfen nicht vermischt werden. Wird eine Stütze zum Beispiel nach SIA 262:2013 [1] bemessen, so sind Materialkennwerte, Exzentrizität infolge Imperfektionen, konstruktive Ausbildungen, Bewehrungsüberdeckung, etc. auch gemäss dieser Norm zu bestimmen.

Die Bewehrungsüberdeckung spielt bei der Bemessung von Stahlbetonstützen eine wichtige Rolle. Dabei übernimmt sie folgende Funktionen:

- Verbundkräfte sicher übertragen
- Eingelegter Stahl vor Korrosion schützen
- Angemessene Feuerwiderstandsfähigkeit gewährleisten

Für die Ermittlung der Bewehrungsüberdeckung geben **die SIA-Normen und der Eurocode** unterschiedliche Verfahren vor.

SIA 262:2013 [1]

Verbundkräfte:

Die Ziffer 5.2.2.2 der SIA 262:2013 [1] regelt die Bewehrungsüberdeckung, um die Übertragung der Verbundkräfte zwischen dem Beton und der Bewehrung sowie ein einwandfreies Einbringen des Betons zu gewährleisten. Dabei gilt nach [1]:

- $c_{nom} > \text{Grösstkorn der Gesteinskörnung, bzw.}$

- c_{nom} > Durchmesser Längstab

Bei Verwendung von grossen Bewehrungsstabdurchmessern z.B. \varnothing 34 mm ist eine Bewehrungsüberdeckung auf die Längsbewehrung von min. 35 mm erforderlich. Wird die Bewehrungsüberdeckung nicht eingehalten, kommt es zum Abplatzen des Überdeckungsbetons vor Erreichen der maximalen Verbundspannungen [5].

Expositionsklassen:

Ein weiteres Kriterium für die Festlegung der Bewehrungsüberdeckung gibt die gewählte Expositionsklasse für die Stütze vor (Tabelle 18 SIA 262:2013 [1]).

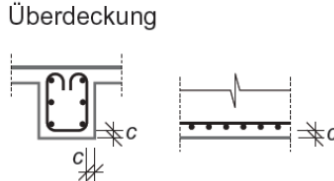
Bewehrungsüberdeckung c_{nom} [mm] ¹⁾	Expositionsklasse gemäss Tabelle 1							
	2) Bewehrungskorrosion in karbonatisiertem Beton				3) Bewehrungskorrosion induziert durch Chloride			
	XC1	XC2	XC3	XC4	XD1	XD2a	XD2b	XD3
Betonstahl	20	35	40	40	40	55		
Spannstahl bzw. Spannglied	30	45	50	50	50	65		

¹⁾ Die tabellierten Werte der Bewehrungsüberdeckung dürfen bei der Ausführung maximal um die Abweichungen gemäss Ziffer A.3.5 unter- oder überschritten werden.

Abbildung 1 Tabelle 18: Planmässige Bewehrungsüberdeckung (SIA 262:2013) [1]

Wichtig dabei ist die Einhaltung der Toleranzen nach Ziffer A.3.5 (Anhang A (normativ) der SIA 262:2013 [1]). Darin wird deutlich, dass bei einer Bewehrungsüberdeckung von 20 mm keine Toleranz im Minusbereich zugelassen ist. Dies ist selbst unter idealen Randbedingungen nicht einzuhalten [4]. Demzufolge muss der Wert noch um ein Vorhaltemass vergrössert werden. Empfehlungen dazu sind zum Beispiel in [2] und [4] enthalten.

Überdeckung



Soll-Grösse c_{nom} [mm]		20	>20 bis < 30	≥ 30
Zulässige Abweichung [mm]	geschalte und abtalschierte/ abgeglättete Oberflächen	+ 10 0	+ 10 - 5	+ 10 - 10
	nicht geschalt, vorbereiteter Untergrund oder Negativbeton			+ 20 - 20
	nicht geschalt, gegen Erdreich			+ 30 - 30

Abbildung 2 Tabelle 16 nach Ziffer A.3.5 (SIA 262:2013) [1]

Feuerwiderstand:

Die Tabelle 16 regelt den Feuerwiderstand über die minimale Bewehrungsüberdeckung und die minimale Bauteilabmessung. Die zusätzlichen Anforderungen - speziell für Stützen in Korrigenda C1 zur Norm SIA 262:2013 [1] - sind unbedingt zu berücksichtigen. Die alphabeton AG bestimmt für jede Stütze rechnerisch den Brandwiderstand gemäss VKF Brandschutzanwendung 25469 und garantiert diesen.

Eurocode 2, EN 1992-1-1:2004 [2] unter Berücksichtigung der EN 1992-1-1/NA:2014 [3]

Der Eurocode 2 [2] gibt ein wesentlich umfangreicheres Nachweisverfahren bezüglich Bewehrungsüberdeckung (im Eurocode wird der Begriff Betondeckung verwendet) wieder. Dabei wird das Nennmass c_{nom} wie folgt definiert:

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev}$$

$$\text{mit } c_{min} = \max\{c_{min,b}; c_{min,dur} + \Delta c_{dur,\gamma} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur,add}; 10 \text{ mm}\}$$

Definitionen:

- c_{nom} Nennmass der Betondeckung
- c_{min} Mindestmass der Betondeckung
- $c_{min,b}$ Mindestbetondeckung Verbund
- $c_{min,dur}$ Mindestbetondeckung Dauerhaftigkeit
- $\Delta c_{dur,\gamma}$ Additives Sicherheitselement (= 0 nach EN 1992-1-1/NA:2014 [3])
- $\Delta c_{dur,st}$ Verringerung bei Verwendung rostfreien Stahls
- $\Delta c_{dur,add}$ Verringerung auf Grund zusätzlicher Massnahmen
- Δc_{dev} Vorhaltemass der Betondeckung

Verbundkräfte:

Zur Sicherstellung des Verbundes und um eine ausreichende Verdichtung zu ermöglichen verweist Ziffer 4.4.1.2 [3] auf Tabelle 4.2 der EN 1992-1-1:2004 [2]:

Verbundbedingung	
Art der Bewehrung	Mindestbetondeckung $c_{min,b}^a$
Betonstabstahl	Stabdurchmesser
Stabbündel	Vergleichsdurchmesser (ϕ_r) (siehe 8.9.1)
^a Ist der Nenndurchmesser des Größtkorns der Gesteinskörnung größer als 32 mm, ist in der Regel $c_{min,b}$ um 5 mm zu erhöhen.	

Abbildung 3 Tabelle 4.2 (EN 1992-1-1:2004) [2]

Auch hier wird analog zur SIA 262:2013 [1] der Stabdurchmesser und das Grösstkorn zur Bestimmung der minimalen Betondeckung herangezogen.

Expositionsklassen:

Die minimale Betondeckung in Abhängigkeit der Expositionsklasse wird in den Tabellen 4.3N und 4.4N der EN 1992-1-1:2004 [2] geregelt. Dabei muss sowohl der Anhang E der EN 1992-1-1:2004 [2] als auch der Nationale Anhang [3] berücksichtigt werden. Zusammenfassend ergeben sich die in Abbildung 4 dargestellten minimalen Bewehrungsüberdeckungen (c_{min}) in Abhängigkeit von der gewählten Expositionsklasse. Dabei stuft der nationale Anhang zur EN 1992-1-1:2004 [3] die Werte der SIA 262:2013 [1] in die Anforderungsklasse S4 ein und definiert die Werte $c_{min,dur}$ als die Werte der Tabelle 18 der SIA 262:2013 [1] abzüglich der Toleranzen des Anhangs A.3.5 der SIA 262:2013 [1].

Betonstahl	Expositionsklasse gemäss Tabelle 4.1 EN 1992-1-1:2004 [2]						
	$c_{min,dur}$ [mm]	XC1	XC2/XC3	XC4	XD1/XS1	XD2/XS2	XD3/XS3
EC 2 Teil 1-1 Tab. 4.4N (S4)		15	25	30	35	40	45
EC 2 Teil 1-1 Tab. 4.4N (S3)*		10	20	25	30	35	40
Empfohlenes Vorhaltemass nach Ziffer 4.4.1.3 (1)		10					

*Modifikation der Anforderungsklasse nach Tabelle 4.3N für höhere Druckfestigkeitsklassen $\geq C45/55$

Abbildung 4 Zusammenstellung der Mindestbetondeckung $c_{min,dur}$, vgl. Tabelle 4.4N [2]

Vorhaltemass:

Zur Berücksichtigung von unplanmässigen Abweichungen muss die minimale Betondeckung nach Ziffer 4.4.1.3 der EN 1992-1-1:2004 [2] erhöht werden. Dabei wird ein Vorhaltemass von 10 mm empfohlen. Der nationale Anhang [3] verweist wiederum auf den Anhang A.3.5 der SIA 262:2013 [1].

Nach der EN 1992-1-1:2004 [2] wäre demnach für die Expositionsklasse XC1 für hochfesten Beton eine Betondeckung von 20 mm zulässig, jedoch müsste dafür die Bemessung der Stütze ebenfalls nach EN 1992-1-1:2004 [2] mit den Werten des nationalen Anhangs [3] erfolgen.

Des Weiteren wäre dies nur zulässig bis zu einem Längsstabdurchmesser von 20 mm, da sonst die Verbundbedingung nach Tabelle 4.2 der EN 1992-1-1:2004 [2] (Abbildung 3) nicht mehr eingehalten ist.

Ein konkretes Beispiel

Als Beispiel wählen wir eine Stütze, die repräsentativ betreffend Geometrie/Volumen und Bewehrungsstahlgehalt ist (Markterfahrung der alphabeton AG):

- Quadratstütze 250x250 mm,
- Länge $l = s_k = 4'000$ mm,
- $N_d = 2'300$ kN, exzentrische Lasteinleitung am Kopf $e = 50$ mm,
- Feuerwiderstand R60.

Mit der korrekt gewählten Überdeckung von $c_{nom} = 30$ mm ergibt sich eine Längsbewehrung von 8 $\varnothing 34$ und der berechnete Feuerwiderstand ist grösser R90.

Wird diese Stütze nun mit der reduzierten, falschen Betonüberdeckung von $c_{nom} = 20$ mm bemessen, ergibt sich als Längsbewehrung 4 $\varnothing 40$ und der berechnete Feuerwiderstand beträgt R60.

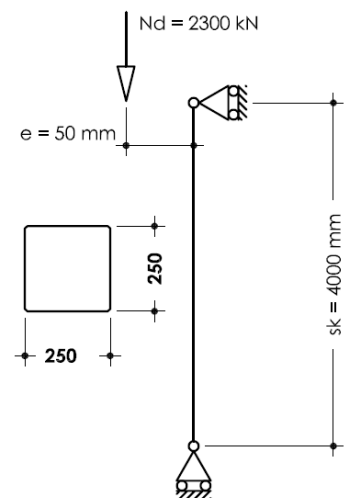


Abbildung 5 Beispiel

Liegt nun der Bewehrungskorb leicht verschoben in der Stütze (vgl. Abbildung 6), kann die Traglast nicht mehr übertragen werden. Der Überdeckungsbeton platzt vor dem Erreichen der maximalen Verbundspannung ab. Und der Feuerwiderstand reduziert sich massiv. Eine Reduktion der Überdeckung von 5 mm ergibt eine Reduktion des Feuerwiderstandes um ca. 15 Minuten [6]. Bei einer einseitigen Toleranz von 5 mm liegt der Feuerwiderstand bereits unter R50, bei einer Toleranz von 10 mm sogar unter R40. Auch die nach SIA 262:2013 [1] vorgegebene Bewehrungsüberdeckung für die Übertragung der Verbundkräfte wird bei weitem unterschritten.

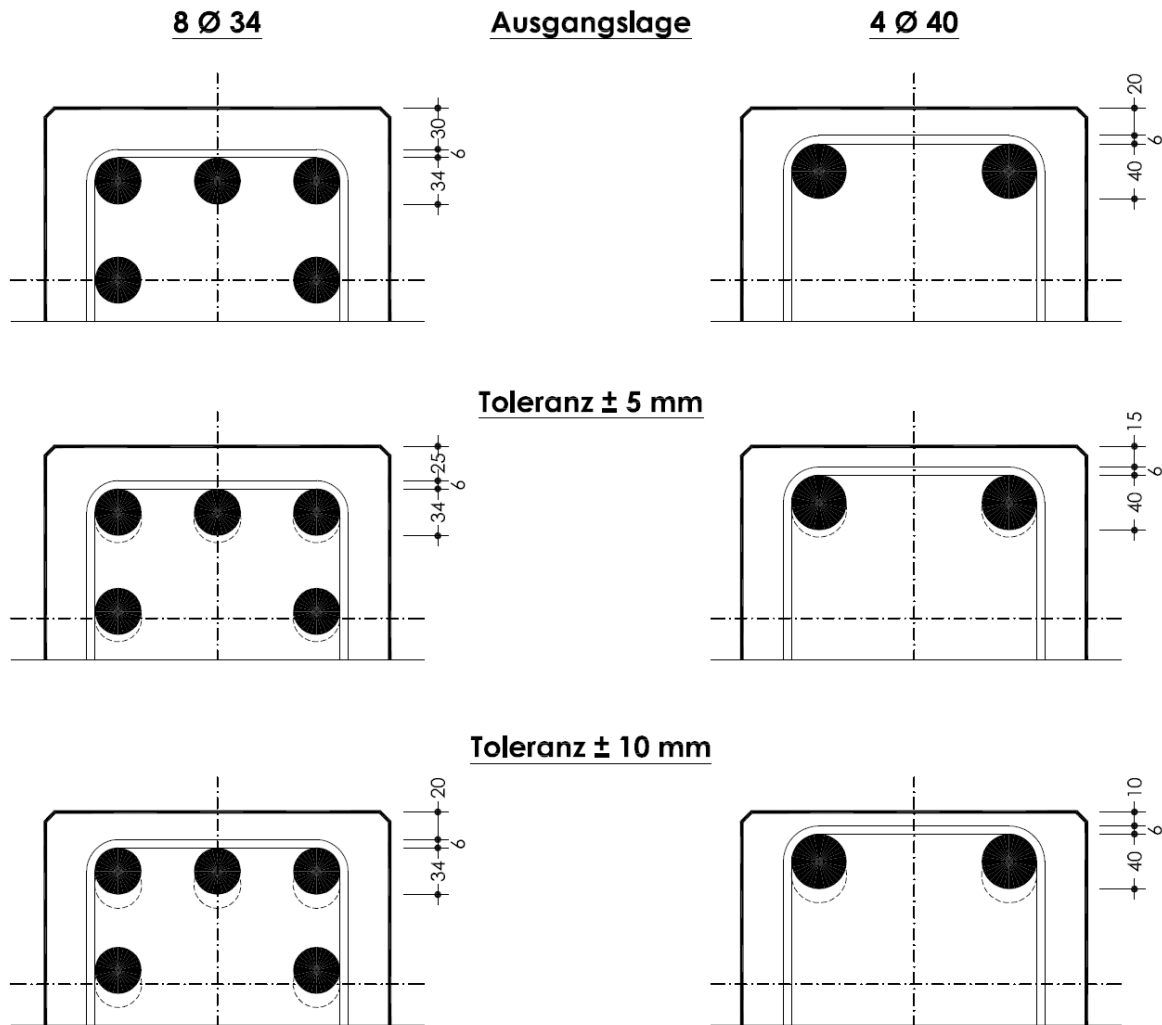


Abbildung 6 Anordnung der Längsbewehrung und mögliche Toleranzen

	alphabeton AG	Mitbewerber
c_{nom}	30 mm	20 mm
Längsbewehrung	8 Ø 34	4 Ø 40
Verbundbedingung: $c_{nom} > \varnothing$ Längsstab	$c_{nom} = 36 \text{ mm} > 34 \text{ mm}$	$c_{nom} = 26 \text{ mm} < 40 \text{ mm}$
Feuerwiderstand	R92	R61
Unterschreitung Vorhaltemass um 5 mm (Toleranz)	R80	R48
Unterschreitung Vorhaltemass um 10 mm (Toleranz)	R68	R39
Preisauswirkung	100 %	75 %

Abbildung 7 Vergleich der Auswirkungen bei geringerer Bewehrungsüberdeckung

Fazit

Abweichungen zwischen Planung und Bauausführung können im Baualltag nicht ausgeschlossen werden. Damit die Standsicherheit als auch die Gebrauchstauglichkeit des Gebäudes resp. des einzelnen Bauteils dennoch sichergestellt ist, werden in den Planungs- und Ausführungsnormen Grenzwerte für Abweichungen definiert. Bei Stützen wirken sich Abweichungen meist problematisch auf die Tragsicherheit aus [8]. Gewählte planmässige Betondeckungen c_{nom} von nur 20 mm entsprechen oftmals nicht der Norm. Sowohl das sichere Übertragen der Verbundkräfte als auch der Schutz der eingelegten Bewehrung vor Korrosion ist vielfach nicht gewährleistet. Vorhandene Toleranzen führen in vielen Fällen zu einer bedeutenden Reduktion des geforderten Feuerwiderstandes [7]. Zudem kann das geforderte Sicherheitsniveau nicht erbracht werden. Hersteller von vorfabrizierten Betonstützen sind seit 2015 an das gültige Bauproduktengesetz gebunden, und demzufolge auch verpflichtet, die relevanten Normen bezüglich der notwendigen Zertifizierung einzuhalten. Das Inverkehrbringen von unsicheren Bauprodukten ist einzig der besseren Wirtschaftlichkeit geschuldet [9].

Als seriöse und langfristig ausgerichtete Unternehmung stellt alphabeton AG robuste Stützen her. Dazu gehören unter anderem:

- Ausreichende Betondeckung nach Norm
- Kriechzahl $\varphi \geq 1.0$
- Normkonforme Bemessung, d.h. $\gamma_c = 1.50$, $\gamma_s = 1.15$
- Zertifizierte Produkte nach Bauproduktengesetz (Leistungserklärung)

Nur so kann die Sicherheit und die hohe Qualität langfristig gewährleistet werden.

Literaturverzeichnis:

[1] SIA 263:2013 – Betonbau, 2013 inkl. Korrigenda C1 zur Norm SIA 262:2013

[2] SN EN 1992-1-1:2004; Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken - Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau; 2005

[3] EN 1992-1-1/NA:2014; Eurocode 2: Design of concrete structures – Part 1-1: General rules and rules for buildings – National annex NA to SN EN 1992-1-1:2004; 2014

[4] Kenel, A.; Jacobs, F.; Messung und Auswertung der Bewehrungsüberdeckung; Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK; Bundesamt für Strassen; 2018

[5] Schenkel, M.; Zum Verbundverhalten von Bewehrung bei kleiner Betondeckung; Promotionsarbeit ETHZ, IBK, Prof. Thomas Vogel; 1998

[6] Ruch Ch., Felder H.P.: Nachweis des Feuerwiderstandes von Stahlbetonstützen; alphabeton AG; 2014

[7] C. Unterbuchberger, A. Müller; Toleranzen und Vorhaltemass der Betondeckung beim Nachweis der Feuerwiderstandsdauer im Massivbau; Beton- und Stahlbetonbau 110 (2015), Heft 10

[8] Institut für Stahlbetonbewehrung e.V., ISB Mitteilungen Februar 2016, Toleranzen im Stahlbetonbau

[9] Kenel A. Prof. Dr., Kaltbemessung von Stahlbetonstützen, Fachveranstaltung 184291 vom 06. Juni 2018, Ingenieurbau-Betonbautag 2018 in Horw



alphabeton AG
Murmattenstrasse 6
CH-6233 Büron

info@alphabeton.ch
alphabeton.ch
Fon 041 496 02 00