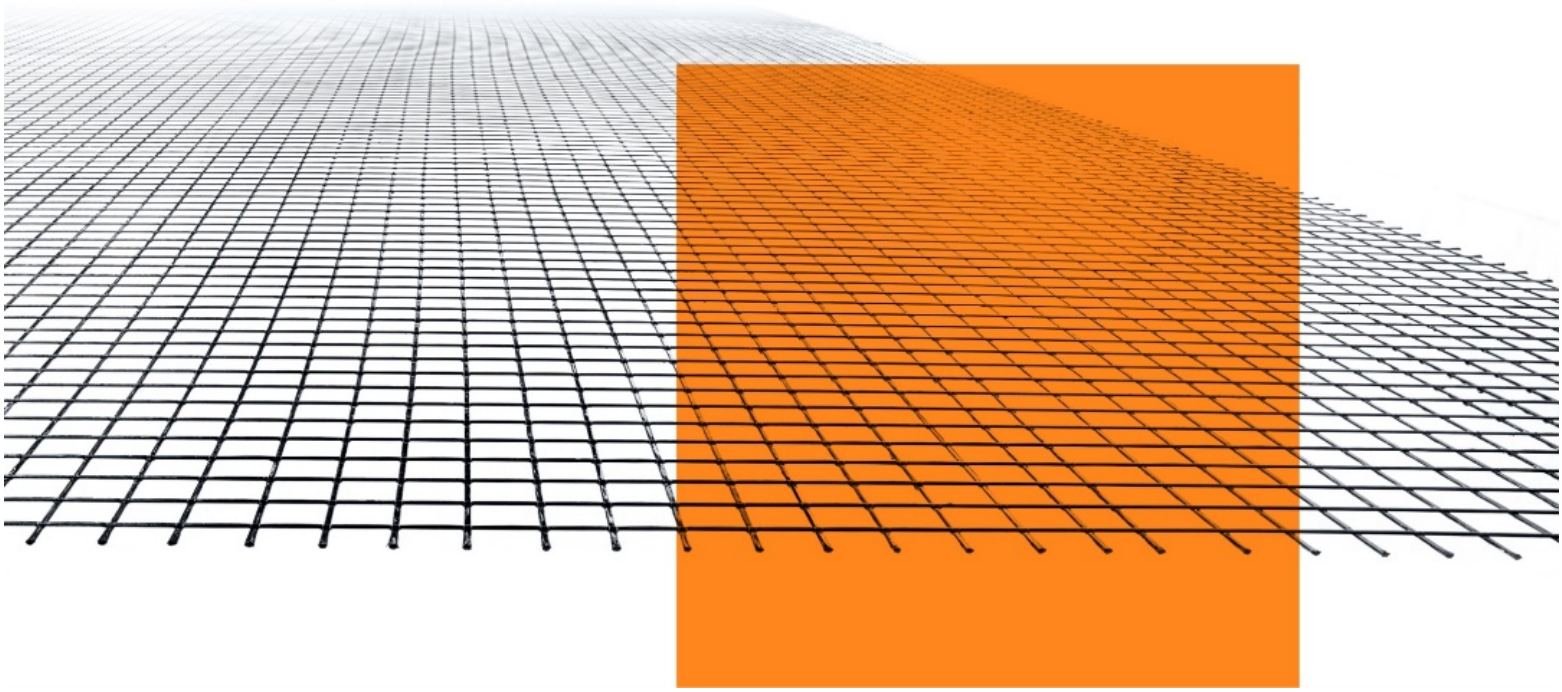
BEMESSUNGSBEISPIEL

als generelle Empfehlung für die Bemessung ebener Bauteile aus Carbonbeton mit solidian GRID

v1.4 | 10.2021



build solid.

Inhalt

1 Einleitung 3
1.1 Haftungsausschluss 3
1.2 Allgemeine Informationen 3
2 Material 3
2.1 Beton 3
2.2 Bewehrung 4
3 Lastannahmen 4
4 Bemessung 4
4.1 Statisches System 4
4.1.1 Allgemeine Informationen, Geometrie 4
4.1.2 Lastanordnung 4
4.2 Schnittgrößenermittlung 5
4.3 Nachweise 5
4.3.1 Biegetragfähigkeit 5
4.3.2 Querkrafttragfähigkeit 7
4.3.3 Rissefreiheit 8
4.3.4 Verformungsgrenzen 8
5 Bewehrungsskizze und Stückliste 9

Änderungsliste

Version	Datum	Kommentar
1.0	26.01.2021	Erste Veröffentlichung
1.1	16.03.2021	Korrektur im Kapitel 4.3.2 Querkrafttragfähigkeit
1.2	26.05.2021	Hinweis im Kapitel 4.3.2 Querkrafttragfähigkeit
1.3	21.07.2021	Änderung der Bewehrung im Kapitel 2.2 und folgende
1.4	07.10.2021	Korrektur im Kapitel 3 und 4.1.2: Einwirkungsfläche für Q_k auf 50 x 50 **mm**

1 Einleitung

Das Bauen mit nicht-metallischen Bewehrungen ist nicht ganz neu: über zwanzig Jahre Grundlagenforschung zum Textil- bzw. Carbonbeton (zum Beispiel: www.bauen-neu-denken.de) und Pilotprojekte (www.solidian.com) zeigen das enorme Potential der innovativen und nachhaltigen Bauweise. In der alltäglichen Planungspraxis, bspw. in Ingenieurbüros, ist der zukunftsträchtige Baustoff allerdings noch nicht großflächig angekommen. Um die Hürden bei der Bemessung und Dimensionierung herabzusetzen, soll dieses Bemessungsbeispiel helfen.

1.1 Haftungsausschluss

Carbonbeton- und Textilbetonbauteile unterliegen derzeit keinen Normen oder Richtlinien. Dieses Bemessungsbeispiel ist daher als Vorbemessung zu betrachten. Sie dient zur Orientierung und als Grundlage für die finale statische Ausführungsplanung durch einen qualifizierten Tragwerksplaner.

Bei tragenden Bauteilen, insbesondere bei Bauteilen die durch ihre Tragfunktion eine Gefahr für Leib und Leben darstellen, sind ggf. Baubehörden, Prüfstatiker, Gutachter, usw. hinzuzuziehen, um die Tragfähigkeit zu beurteilen.

Dieses Bemessungsbeispiel und ggf. darauf aufbauende statische Berechnungen sind nur in Verbindung mit den hier aufgeführten Materialien gültig. Dies gilt insbesondere für die Bewehrungen der solidian GmbH. Geometrische und mechanische Kennwerte können unserer Homepage www.solidian.com entnommen werden.

1.2 Allgemeine Informationen

Die in diesem Bemessungsbeispiel beurteilten Betonplatten dienen im Nutzungszustand als Balkon- oder Laubengangplatten, welche auf Stahlkonstruktionen (Linienlager) aufgelagert werden. Als statisches System wird ein gelenkig gelagerter Einfeldträger verwendet. Es wird von einer Nutzung ohne Aufbau ausgegangen.

Somit wird als Eigenlast lediglich das Eigengewicht der Betonplatte angesetzt. Nutzlasten werden nach DIN EN 1991-1-1/NA:2010-12 angenommen.

Die maximale (rechnerische) Spannweite der Platten beträgt 2,25 m.

2 Material

2.1 Beton

Bemessungsgrundlage:

- Normalbeton nach DIN EN 206-1
- Betongüte C50/60, d_g = 8 mm
- Betonzugfestigkeit $f_{ctm,fl}$ = 8,5 N/mm² (dieser Wert wurde Auftraggeber für die von ihm eingesetzte Betonrezeptur nach DIN EN 12390-5 ermittelt/geprüft)

2.2 Bewehrung

Gewählte Bewehrung:

- solidian GRID Q95-CCE-38-E5
- Vorausgesetzte Lagegenauigkeit / Einbautoleranz = ± 3 mm

3 Lastannahmen

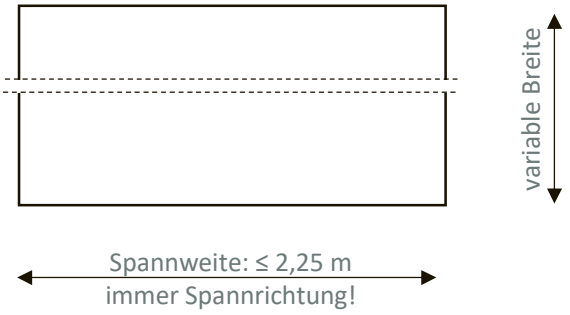
Eigenlasten Balkonplatte: g_k = 24,0 kN/m³
Nutzlasten: q_k = 4,0 kN/m² und Q_k = 2,0 kN (Einzellast auf einer Fläche von 50 x 50 mm)

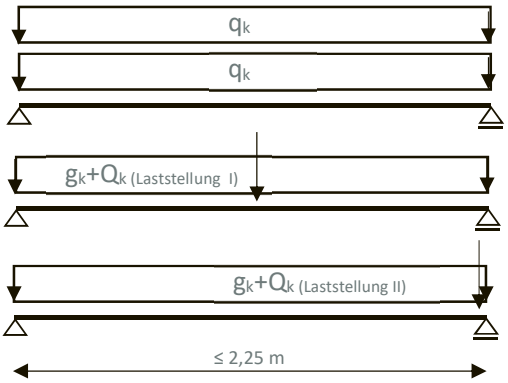
Transport- und Montagezustände, Aussteifung, ergänzende Nutzlasten (z. B. Wind, Temperatur), sowie außergewöhnliche Einwirkungen wie z. B. Erdbeben sind nicht Gegenstand dieses Bemessungsbeispiels.

4 Bemessung

4.1 Statisches System

4.1.1 Allgemeine Informationen, Geometrie





4.1.2 Lastanordnung

Lastfall: Eigengewicht

Balkonplatte: g_k = 0,06 x 24,0 = 1,44 kN/m²

Lastfall: Nutzlast

Flächenverkehrslast: q_k = 4,0 kN/m²
Einzellast (alternativ zu q_k): Q_k = 2,0 kN (Einzellast auf einer Fläche von 50 x 50 mm)

4.2 Schnittgrößenermittlung

Ermittlung und Darstellung der Schnittgrößen - kurze Erläuterung:

- Biegemoment m_x (für Beurteilung des Grenzzustandes der Tragfähigkeit erforderlich)
- Querkraft q_y (für Beurteilung des Grenzzustandes der Tragfähigkeit erforderlich)

Anschließend werden die maßgebenden Bemessungsschnittgrößen wie folgt angegeben:

Grenzzustand der Tragfähigkeit (Grundkombination):

$$E_d = E\left[\sum_{j\geq 1} \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} \oplus \gamma_P \cdot P_k \oplus \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} \oplus \sum_{i>1} \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}\right]$$

4.3 Nachweise

Es werden folgende Nachweise zur Sicherstellung der Tragfähigkeit im Grenzzustand der Tragfähigkeit (GZT) geführt:

- Nachweis der Biegetragfähigkeit (GZT)
- Nachweis der Querkrafttragfähigkeit (GZT)

4.3.1 Biegetragfähigkeit

Maßgebende Bemessungsschnittgrößen:

Feldmomente für Lastfall $g_d + q_d$

max $m_{E,d}$ = (1,35 x 1,44 + 1,50 x 4,0) x 2,25²/8 = 5,02 kNm/m

Nachweis Feldmomente:

$$\frac{M_d}{M_{Rd}} = \frac{5{,}02}{6{,}15} = 0{,}82 \quad < \quad 1{,}0 \quad \checkmark$$

Hinweis:

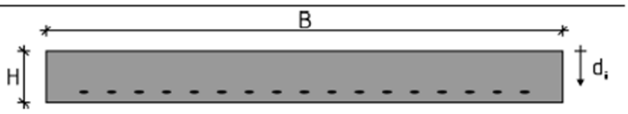
Die Ermittlung des aufnehmbaren Biegemoments erfolgt analog zum Stahlbeton durch eine iterative Variation der Dehnungsebene. Der Unterschied besteht lediglich darin, dass die Bemessungsfestigkeiten an die leistungsfähigeren Carbonbewehrungen angepasst werden. Um den Berechnungsaufwand zu minimieren wird die iterative Berechnung mit Hilfe eines Excel-Tools durchgeführt (siehe nächste Seite).

Um Ingenieurbüros bei der Bemessung mit solidian GRID zu unterstützen, stellen wir dieses Excel-Tool gerne kostenlos zur Verfügung. Bitte sprechen Sie uns an, um die neueste Version zu erhalten.

Dimensionierung Bewehrung Feldmomente

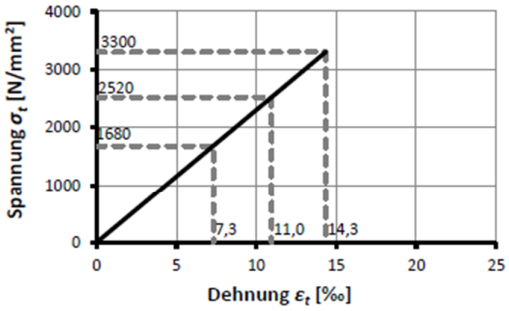
Querschnitt

Breite	B =	1000	[mm]
Dicke	H =	60	[mm]
statische Nutzhöhe	d =	42	[mm]
Bewehrungslagen	i =	1,0	



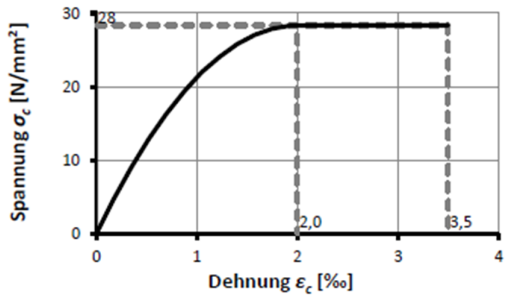
Bewehrung

solidian GRID	Q95-CCE-38-E5			(Entwicklungsprodukt)
Richtung	Längsrichtung			
Stabquerschnitt	A_r =	3,62	[mm²]	
Bewehrungsquerschnitt	a_t =	95	[mm²/m]	
Festigkeitsverluste	$\Delta_{f,t}$ =	0,10	[-]	
Bruchspannung	$f_{t,m}$ =	3.300	[N/mm²]	
	$f_{t,k}$ =	2.800	[N/mm²]	
	$f_{t,k,\Delta}$ =	2.520	[N/mm²]	
	$f_{t,d}$ =	1.680	[N/mm²]	
Elastizitätsmodul	$E_{t,m}$ =	230.000	[N/mm²]	
Bruchdehnung	$\varepsilon_{t,m}$ =	14,3	[‰]	
	$\varepsilon_{t,k}$ =	11,0	[‰]	
	$\varepsilon_{t,d}$ =	7,3	[‰]	



Beton (nach DIN EN 1992-1-1:2011-01)

Bezeichnung	C50/60			
Druckfestigkeit	$f_{c,m}$ =	58	[N/mm²]	
	$f_{c,k}$ =	50	[N/mm²]	
	$f_{c,d}$ =	28	[N/mm²]	
Zugfestigkeit	f_{ctm} =	4,1	[N/mm²]	
Bruchdehnung	ε_{c2} =	2,0	[‰]	
	ε_{cu2} =	3,5	[‰]	
Exponent	n =	2,00	[-]	



Aufnehmbares Biegemoment

Betonstauchung	$\varepsilon_{c,d}$ =	1,9	[‰]	
max. Bewehrungsdehnung	$\varepsilon_{t,d}$ =	7,3	[‰]	
Druckzonenhöhe	x =	8,7	[mm]	
Betondruckkraft	$F_{c,d}$ =	159,6	[kN]	
Bewehrungszugkraft	$F_{t,d}$ =	159,6	[kN]	
Betonstauchung	$\varepsilon_{c,SP}$ =	1,19	[‰]	
Lage Betondruckkraft	a =	3,5	[mm]	
Summe Horizontalkräfte	ΣH =	0	[kN]	
Teilsicherheitsbeiwert	γ =	1,50	[-]	
Biegemoment	$M_{R,d}$ =	6,15	[kNm]	= 6,15 [kNm/m]

4.3.2 Querkrafttragfähigkeit

Maßgebende Bemessungsschnittgrößen:

Querkräfte für Lastfall $g_d + q_d$

max $q_{y,d}$ = 7,94 kN/m

Querkräfte für Lastfall $g_d + Q_d$ (Laststellung II)

max $q_{y,d}$ = 1,35 x 1,44 x 2,25/2 + 1,50 x 2,0 x 1/(0,05 + 2 x 0,03) = 29,46 kN/m

Gemäß DIN EN 1992-1-1 (6.2.2), bzw. DIN EN 1992-1-1/NA (6.2.2(1)) beträgt die Querkrafttragfähigkeit $V_{Rd,c}$ ohne Querkraftbewehrung:

Beton:	f_{ck} = 50,0 N/mm²
	f_{cd} = 28,3 N/mm²
Plattendicke:	h = 60 mm
Statische Nutzhöhe:	d = 42 mm

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{42}} = 3{,}18 \leq 2{,}0 \qquad \text{k = 2,0 [-]}$$

$$v_{min} = \frac{0{,}0525}{1{,}5} \cdot \sqrt{k^3 \cdot f_{ck}} = \frac{0{,}0525}{1{,}5} \cdot \sqrt{2^3 \cdot 50} = 0{,}70$$

$$V_{Rd,c} = 0{,}70 \cdot \frac{1.000 \cdot 42}{1.000} = 29{,}40\ kN/m$$

$$\frac{V_d}{V_{Rd,c}} = \frac{29{,}46}{29{,}40} = 1{,}00 \leq 1$$ ✓

Hinweis:

Bisherige Forschungsergebnisse zur Querkrafttragfähigkeit mit Carbonbewehrungen sind nicht vollständig vergleichbar mit einer Bewertung nach DIN EN 1992-1-1 für stahlbewehrte Elemente.

Um sicherzustellen, dass die obige Bewertung korrekt ist, empfehlen wir Versuche mit dem vorgesehenen Beton und dem zugehörigen statischen System durchzuführen.

4.3.3 Rissefreiheit

Maßgebende Lastkombination GZG:

Eigenlast + Flächennutzlast ($g_k + q_k$)

Maßgebende Schnittgrößen (Feldmomente):

$m_{1,k} = (1{,}0 \times 1{,}44 + 1{,}0 \times 4{,}0) \times 2{,}25^2/8 = 3{,}44$ kNm/m

Nach DIN EN 1992-1-1:2011-01, Abschn. 3.1.8 kann die Biegezugfestigkeit wie folgt ermittelt werden:

$f_{ctm,fl} = (1{,}6 - h/1.000) \times f_{ctm} \geq f_{ctm}$

$f_{ctm,fl} = (1{,}6 - 60/1.000) \times 8{,}5 = 13{,}09$ N/mm² > 8,5 N/mm²

f_{ctm} wurde vom Auftraggeber für die von ihm eingesetzte Betonrezeptur nach DIN EN 12390-5 ermittelt (geprüft) und liegt deutlich über dem Normwert von 4,1 N/mm² nach DIN EN 1992-1-1.

Auf der sicheren Seite wird die nachstehende Bewertung und Nachweisführung mit dem charakteristischen 5%-Quantilwert (30% Abminderung) vorgenommen. Basis für diese Abminderung sind vorhandene Versuchsergebnisse aus vergleichbaren Anwendungen.

$$m_{Rk,Riss} = \frac{13{,}09 \cdot 0{,}70 \cdot \frac{60^2}{6}}{1000} = 5{,}50\ kNm/m$$ für t = 60 mm

$$\frac{m_{1,k}}{m_{Rk,Riss}} = \frac{3{,}44}{5{,}50} = 0{,}63 < 1$$ ✓

Die Platten sind im Gebrauchszustand rechnerisch ungerissen.

4.3.4 Verformungsgrenzen

Maßgebende Lastkombination GZG:

Eigenlast + Flächennutzlast ($g_k + q_k$)

Die maximale Feldlänge beträgt 2.250 mm.

Im nachstehenden Nachweis wird vorausgesetzt, dass die Plattenquerschnitte im GZG ungerissen sind. Somit können für die Verformung die vollen Querschnittswerte angesetzt werden.

$$w_{max} = \frac{5 \cdot q l^4}{384 \cdot EI} = \frac{5 \cdot 5{,}44 \cdot 2{,}25^4}{384 \cdot 37.000.000 \cdot \frac{1 \cdot 0{,}06^3}{12}} = 0{,}00273 \text{ m} = 2{,}73 \text{ mm}$$

Bei vorausgesetzten Grenzwerten von L/300 im Feld ergeben sich folgende Grenzen und Ausnutzungen:

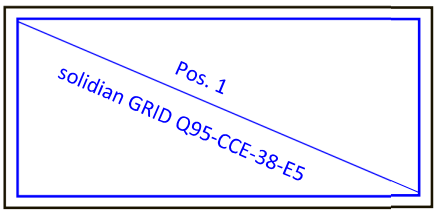
$$\text{Grenzwert}_{Feld}\ \frac{2.250}{300} = 7{,}50\ mm$$

$$\eta_{Feld} = \frac{2{,}73}{7{,}50} = 0{,}36 < 1$$ ✓

5 Bewehrungsskizze und Stückliste

Untere Lage

Stützweite der Platte in Spannrichtung: ≤ 2,25 m



Pos.	Stck.	Bewehrungstyp	Länge (mm)	Breite (mm)
1	12	solidian GRID Q95-CCE-38-E5	6.000	2.210

Bewehrungstyp: solidian GRID Q95-CCE-38-E5 - 6,0 x 2,21 m
Betondeckung unten: 15 mm, max. Lagetoleranz: ± 3 mm