

Querkraft-/Verbundbemessung nach DIN 1045-1:2008-08 mit Gitterträgern

Technisches Handbuch Plattendecke Kapitel 3.2.2

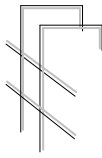
(4. Auflage, Stand April 2010)

3.2.2 Bemessung für Querkraft

Unter der Bedingung, dass die Schubkraft in der Verbundfuge Fertigplatte/Ortbeton aufgenommen werden kann, gelten bei der Querkraftbemessung grundsätzlich die gleichen Regeln für Ortbetonplatten und für Kaiser-Omnia-Plattendecken. Dabei sind die spezifischen Bestimmungen für die Gitterträger, die in den allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen [1] bis [5] aufgeführt sind, zu berücksichtigen.

3.2.2.1 Anmerkungen zur Verbund- / Querkraftbewehrung

Im Normalfall (reine Biegung, keine Drucknormalspannungen rechtwinklig zur Fuge) ist bei Kaiser-Omnia-Plattendecken der Nachweis der Schubkraftaufnahme in der Verbundfuge maßgebend für die Größe der Verbund- / Querkraftbewehrung, wenn bei erforderlicher Querkraftbewehrung die Abstandsregeln für die Gitterträger beachtet werden (siehe Abschnitt 4.2.3.1). Es muss also hauptsächlich die Frage beantwortet werden, **ob** Querkraftbewehrung notwendig ist, um die Größe des inneren Hebelarmes z festzulegen und um weitergehende Bewehrungsregelungen einzuhalten.



Die ohne Querkraftbewehrung aufnehmbare Querkraft $v_{Rd,ct}$ beträgt für Normalbeton und bei reiner Biegung

$$\text{aufn } v_{Ed} = v_{Rd,ct} = 0,10 \cdot \kappa \cdot \sqrt[3]{\rho_l [\%]} \cdot f_{ck} \cdot b \cdot d \quad (\text{Gl. 70, DIN 1045-1})$$

Dabei sind

$$\kappa = 1 + \sqrt{\frac{20}{d}} \leq 2,0 \quad \text{mit } d \text{ in [cm]}$$

ρ_l der Längsbewehrungsgrad in [%] mit

$$\rho_l [\%] = \frac{a_{sl} [\text{cm}^2 / \text{m}]}{d [\text{cm}]} \leq 2,0 \%$$

a_{sl} = die Fläche der Zugbewehrung, die mindestens um das Maß d über den betrachteten Querschnitt hinaus geführt und dort wirksam verankert wird (bei Nachweisen an Zwischenauflagern ist a_{sl} die Stützbewehrung).

Die oben angegebene Gl. 70, DIN 1045-1 ist für verschiedene Parameter in Tabelle 3.1 zahlenmäßig ausgewertet.

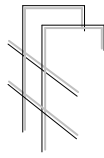
Beton- festig- keits- klasse C	$\rho_l = [\%]$																			
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0
20/25	252	317	363	400	431	458	482	504	524	543	560	577	592	607	621	635	648	660	672	684
25/30	271	342	391	431	464	493	519	543	565	585	604	621	638	654	669	684	698	711	724	737
30/37	288	363	416	458	493	524	552	577	600	621	642	660	678	695	711	727	742	756	770	783
35/45	304	383	438	482	519	552	581	607	632	654	675	695	714	732	749	765	781	796	810	824
40/50	317	400	458	504	453	577	607	635	660	684	706	727	747	765	783	800	816	832	847	862

Tabelle 3.1: $v_{Rd,ct}$ [kN/m] = aufnehmbare Querkraft ohne Querkraftbewehrung bei Platten mit $d \leq 20 \text{ cm}^{(*)} = \text{Tabellenwert} \cdot d [\text{m}]$

Die Zahlenwerte können geradlinig interpoliert werden.

(*) Wenn die statische Höhe $d > 20 \text{ cm}$ ist, müssen die Tabellenwerte mit dem nachstehenden Faktor η abgemindert werden:

$$\eta = \frac{1 + \sqrt{\frac{20}{d [\text{cm}]}}}{2,0}$$



3.2.2.2 Verbundbewehrung, Querkraftbewehrung und innerer Hebelarm z

Verbund- und Querkraftbewehrung können wie folgt definiert werden:

- Verbundbewehrung = Verbindungsbewehrung zwischen der Fertigplatte und dem Ortbeton für die Aufnahme der Schubkraft in der Fuge. Sie wird gebildet von den Gitterträger-Diagonalen. Von „reiner“ Verbundbewehrung spricht man, solange noch keine Querkraftbewehrung erforderlich ist.
- Querkraftbewehrung ist erforderlich, wenn die einwirkende Querkraft v_{Ed} nicht mehr allein vom Beton ($v_{Rd,ct}$) aufgenommen werden kann.
- Kaiser-Omnia-Plattendecken ohne Verbundbewehrung:
Grundsätzlich ist nach DIN 1045-1 auch die Möglichkeit gegeben, bei sehr geringer Querkraftbeanspruchung auf Verbundbewehrung verzichten zu können. In diesem Fall muss aber bei Endauflagen ohne Wandlast eine Verbundsicherungsbewehrung angeordnet werden (DIN 1045-1, Abschn. 13.4.3 (5)). Die Ausführung ohne Verbundbewehrung ist jedoch nur theoretischer Art, weil allein aus Montagegründen Gitterträger erforderlich sind.

Die Beantwortung der Frage, ob noch Verbundbewehrung ausreicht oder schon Querkraftbewehrung erforderlich ist, hat Einfluss auf die folgenden Punkte:

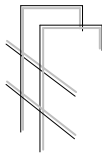
- Größe des inneren Hebelarmes z
- Gitterträger – Höhen
- Gitterträger – Abstände
- Zulässiger Neigungswinkel α der Diagonalen

Größe des inneren Hebelarmes z :

- Wenn nur Verbundbewehrung erforderlich ist ($v_{Ed} \leq v_{Rd,ct}$), dann ist $z = 0,9 \cdot d$ ([2], Abschn. (4.1)).
- Wenn Querkraftbewehrung erforderlich werden sollte ($v_{Ed} > v_{Rd,ct}$), dann gelten

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

und $z = d - c_{v,l} - c_{v,l}^*$ mit $c_{v,l}^* = c_{v,l} \leq 3,0 \text{ cm}$



Der kleinere von beiden Werten ist maßgebend. Dabei ist $c_{v,l}$ das Verlegemaß der Längsbewehrung in der Biegedruckzone (DIN 1045-1, Abschn. 10.3.4).

3.2.2.3 Schubkraftübertragung in der Fuge Fertigplatte/Ortbeton

Ausgangsgröße für den Nachweis in der Fuge ist die einwirkende Platten-Querkraft v_{Ed} [kN/m] aus der Schnittgrößenermittlung. Daraus wird die einwirkende aufzunehmende Schubkraft in der Fuge

$v_{Ed,Fuge}$ [$\frac{\text{kN/m}}{\text{m}}$] berechnet.

In der Verbundfuge muss nach DIN 1045-1, Abschn. 10.3.6 (2) eine Schubkraft übertragen werden von

$$v_{Ed,Fuge} = \frac{F_{cdj}}{F_{cd}} \cdot \frac{v_{Ed}}{z} \quad (\text{Gl. 83, DIN 1045-1})$$

Dabei sind:

v_{Ed} = aufzunehmende Platten-Querkraft, Bemessungsquerkraft

z = Hebelarm der inneren Kräfte

= $0,9 \cdot d$, wenn nur Verbundbewehrung erforderlich ist

und

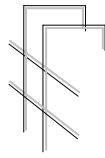
= $z = d - c_{v,l} - c_{v,l}^*$ mit $c_{v,l}^* = c_{v,l} \leq 3,0 \text{ cm}$,
wenn Querkraftbewehrung angeordnet werden muss

(siehe Abschnitt 3.2.2.2)

F_{cd} = Biegedruckkraft im Querschnitt infolge m_{Ed}

F_{cdj} = Anteil der Biegedruckkraft F_{cd} im Fertigteilquerschnitt (falls Fertigteilquerschnitt überhaupt in der Biegedruckzone liegt)

Wenn die Biegezugbewehrung in der Fertigplatte liegt, ist das Verhältnis F_{cdj}/F_{cd} immer = 1, und auch wenn sich die Biegedruckzone im Bereich der Fertigplatte befindet, sollte vereinfachend und auf der sicheren Seite liegend das Verhältnis = 1 gesetzt werden. Eine Abminderung ist nur in besonderen Fällen angebracht.



Der Bemessungswert der aufnehmbaren Schubkraft in der Fuge setzt sich nach DIN 1045-1, Gl. (84) aus folgenden Traganteilen zusammen:

- Traganteil aus Haftverbund und aus ggf. wirkender Reibung in der Fuge ($= v_{Rd,ct,Fuge}$)
- Traganteil der Fugenbewehrung ($v_{Rd,sy,Fuge}$)

Darüber hinaus darf die aufnehmbare Schubkraft in der Fuge einen Höchstwert nicht überschreiten: $v_{Ed,Fuge} \leq v_{Rd,max,Fuge}$ (siehe Abschnitt 3.2.2.6).

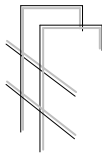
3.2.2.4 Unbewehrte Fugen

Auch wenn unbewehrte Fugen allein schon wegen der immer notwendigen Gitterträger für den Montagezustand nicht in Betracht kommen, wird der Traganteil des Haftverbundes in der Fuge für die Gesamt-Schubtragfähigkeit genutzt. Der Reibungsteil nach DIN 1045-1, Gl. (84) wird dagegen nicht angesetzt, weil eine wirksame Reibungskraft i. A. nicht vorhanden ist. Die aufnehmbare Schubkraft in der Fuge ohne Verbundbewehrung ergibt sich damit für Normalbeton nach DIN 1045-1, Gl. (84) zu

$$v_{Rd,ct,Fuge} = c_j \cdot f_{ctd} \cdot b$$

Dabei sind:

- c_j = der Rauigkeitsbeiwert nach Tabelle 13, und Absatz (4) DIN 1045-1
- f_{ctd} = der Bemessungswert der Betonzugfestigkeit des Ortbetons
oder des Fertigteils (der kleinere Wert ist maßgebend) in MN/m²:
 $f_{ctd} = f_{ctk;0,05} : \gamma_c$ mit $\gamma_c = 1,8$
- b = die Breite der Kontaktfläche, bei Kaiser-Omnia-Plattendecken
 $b = 1,00$ m



Zeile	Spalte	1	2
	Oberflächenbeschaffenheit nach DIN 1045-1, Abschn. 10.3.6 (1)	c_j	μ
1	verzahnt	0,50	0,9
2	rau	0,40 ^a	0,7
3	glatt	0,20 ^a	0,6
4	sehr glatt	0	0,5

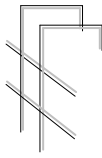
^a In den Fällen, in denen die Fuge infolge Einwirkungen rechtwinklig zur Fuge unter Zug steht, ist bei glatten oder rauhen Fugen $c_j = 0$ zu setzen.

Tabelle 3.2: Beiwerte c_j und μ nach DIN 1045-1, Tabelle 13

Oberflächenbeschaffenheit der Fuge (DIN 1045-1, Abschn. 10.3.6 (1)):

- sehr glatt: die Oberfläche wurde gegen Stahl oder glatte Holzschalung betoniert; Fuge ebenfalls „sehr glatt“, wenn Fertigplatten mit selbstverdichtendem Beton hergestellt wurden (DAfStb-Ri, November 2003)
- glatt: die Oberfläche wurde abgezogen oder im Gleit- bzw. Extruderverfahren hergestellt oder sie blieb nach dem Verrichten ohne weitere Behandlung
- rau: eine Oberfläche mit mindestens 3 mm durch Rechen erzeugte Rauigkeit mit ungefähr 40 mm Abstand, oder erzeugt durch entsprechendes Freilegen der Gesteinskörnungen oder durch andere Methoden, die ein äquivalentes Tragverhalten herbeiführen; alternativ darf die Oberfläche eine definierte Rauigkeit aufweisen (nach [18] mit $R_p \geq 1,1$ mm nach DIN 1045-1, Fußnote 10).

Von den in [18] aufgeführten Möglichkeiten zur Bestimmung einer rauhen Fuge kommt für die Praxis wohl nur die Messung der Profilkuppenhöhen in Betracht (siehe dort).



Danach kann eine Fuge als „rau“ eingestuft werden, wenn $R_p \geq 1,1$ mm ist nach DIN 1045-1, Fußnote 10). Anderenfalls ist mit einer glatten Fuge zu rechnen. Mit der Annahme einer glatten Fuge liegt man beim Nachweis zwar auf der sicheren Seite, günstige Einflüsse hinsichtlich Beanspruchbarkeit, Wirtschaftlichkeit und Betondeckung bleiben aber ungenutzt. Darüber hinaus sollte in Durchstanzbereichen immer eine raue Oberfläche der Fertigplatten vorhanden sein. Um Sicherheit in der Frage einer rauhen Fuge zu erhalten, sollten Referenzkörper hergestellt und z.B. vom Güteschutz Beton geprüft werden.

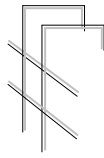
Die oben angegebene Gleichung für $v_{Rd,ct,Fuge}$ ist in der folgenden Tabelle 3.3 für glatte und raue Fugen zahlenmäßig ausgewertet. Für „sehr glatte“ Fugen werden keine (weiteren) Berechnungen durchgeführt, weil sie ohne Aktivierung des Reibungsanteils (Normalfall) nach DIN 1045-1, Abschn. 10.3.6 (4) nicht ausführbar sind ($v_{Rd,max,Fuge} = 0$).

Oberflächenbeschaffenheit	Betonfestigkeitsklasse C				
	20/25	25/30	30/37	35/45	40/50
glatte Fuge	166	200	222	244	248
raue Fuge	332	400	444	488	556

Tabelle 3.3: $v_{Rd,ct,Fuge} \left[\frac{\text{kN/m}}{\text{m}} \right]$ = aufnehmbare Schubkraft in der Fuge (aufn $v_{Ed,Fuge}$)

ohne Verbundbewehrung

Bei dynamisch wirkender Belastung darf $v_{Rd,ct,Fuge}$ nicht angerechnet werden (DIN 1045-1, Abschn. 10.3.6 (9)).



3.2.2.5 Bewehrte Fugen

Wenn die einwirkende Schubkraft größer ist als die ohne Bewehrung aufnehmbare Schubkraft ($V_{Ed,Fuge} > V_{Rd,ct,Fuge}$), ist eine Verbund-/Querkraftbewehrung erforderlich. Die von der Bewehrung aufnehmbare Schubkraft beträgt:

$$V_{Rd,sy,Fuge} = a_{s,Fuge} \cdot f_{yd} \cdot (1,2 \cdot \mu \cdot \sin \alpha + \cos \alpha) \quad (\text{Gl. 85, DIN 1045-1})$$

Dabei sind

$$a_{s,Fuge} = \frac{A_{sD}}{s_T} \left[\frac{\text{cm}^2 / \text{m}}{\text{m}} \right] = \text{Verbund- / Querkraftbewehrung}$$

$$A_{sD} = \left[\frac{\text{cm}^2}{\text{m}} \right] = \text{Querschnitt der zum Auflager hin steigenden Diagonalen}$$

(ggfs. auch Vertikalen) eines Gitterträgers pro lfm. Länge

s_T [m] = Abstand der Gitterträger

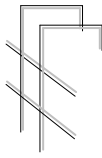
f_{yd} = Bemessungswert der Stahlspannung der Diagonalen / Vertikalen
= 36,5 kN/cm² (für KT 800, KT 100, KTS)
= 43,5 kN/cm² (für KTP)

α = Neigung der Gitterträger-Diagonalen /-Vertikalen

μ = der Reibungsbeiwert nach Tabelle 13, DIN 1045-1

Verbundbewehrung und ggf. erforderliche Querkraftbewehrung brauchen nicht addiert zu werden; der größere Wert aus dem Verbundnachweis ist maßgebend.

Gl. 85, DIN 1045-1 ist für die verschiedenen Parameter in Tabelle 3.4 (KT 800), in Tabelle 3.5 (KT 100), in Tabelle 3.6 (KTS) und in Tabelle 3.7 (KTP) zahlenmäßig ausgewertet.

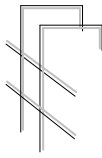


Trägertyp		Ø Dia [mm]	Fugenbeschaffenheit	
			glatt	rau
$(\alpha < 45^\circ)$	KT 807 und KT 808	6	127	134
		7	173	183
$(\alpha = 45^\circ - 54^\circ)$	KT 809 bis KT 812	6	121	131
		7	164	178
$(\alpha = 56^\circ - 67^\circ)$	KT 813 bis KT 819	6	108	120
		7	148	163
$(\alpha = 68^\circ - 76^\circ)$	KT 820 bis KT 830	6	97	108
		7	132	148
		8	172	193

Tabelle 3.4: $v_{Rd,sy,Fuge}$ [kN/m] = aufnehmbare Schubkraft pro lfm. Gitterträger KT 800 in Trägerrichtung

Mit Berücksichtigung der $v_{Rd,ct,Fuge}$ -Werte nach Tabelle 3.3 beträgt damit der erforderliche Gitterträgerabstand:

$$erf s_T [m] \leq \frac{\text{Tabellenwert [kN/m]}}{(v_{Ed,Fuge} - v_{Rd,ct,Fuge}) \left[\frac{\text{kN/m}}{m} \right]}$$



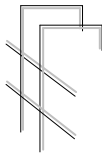
Trägertyp	Ø Dia [mm]	Fugenbeschaffenheit	
		glatt	rau
$(\alpha = 40,8 - 45,0)$ KT 110 und KT 111	7	171	183
$(\alpha = 47,9 - 53,6)$ KT 112 bis KT 114	7	164	177
$(\alpha = 56 - 58,2)$ KT 115 und KT 116	8	209	228
$(\alpha = 60,1 - 61,9)$ KT 117 und KT 118	8	202	222

Tabelle 3.5: $v_{Rd,sy,Fuge}$ [kN/m] = aufnehmbare Schubkraft pro lfm. Gitterträger KT 100
in Trägerrichtung

Mit Berücksichtigung der $v_{Rd,ct,Fuge}$ -Werte nach Tabelle 3.3 beträgt damit der erforderliche Gitterträgerabstand:

$$erf s_T [m] \leq \frac{\text{Tabellenwert [kN/m]}}{(v_{Ed,Fuge} - v_{Rd,ct,Fuge}^*) \left[\frac{\text{kN/m}}{m} \right]}$$

* Bei dynamisch wirkender Belastung ist $v_{Rd,ct,Fuge} = 0$ zu setzen.

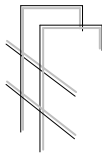


Trägertyp		Ø Dia [mm]	Fugenbeschaffenheit	
			glatt	rau
$(\alpha = 45^\circ - 45,8^\circ)$	KTS 8 bis KTS 16	7	272	301
$(\alpha = 49,5^\circ - 52,8^\circ)$	KTS 18 und KTS 20	7	266	296
$(\alpha = 55,6^\circ - 59,3^\circ)$	KTS 22 und KTS 25	7	260	291
$(\alpha = 64^\circ)$	KTS 30	7	254	286

Tabelle 3.6: $v_{Rd,sy,Fuge}$ [kN/m] = aufnehmbare Schubkraft pro lfm. Gitterträger KTS in Trägerrichtung

Da die KTS-Gitterträger nur als Zulage-Gitterträger angeordnet werden, wird bei der Berechnung des Abstandes s_T der $v_{Rd,ct,Fuge}$ -Anteil nicht angesetzt, weil dieser bereits bei den KT 800- bzw. KT 100-Gitterträgern berücksichtigt wurde.

$$\text{erf } s_T \text{ [m]} \leq \frac{\text{Tabellenwert [kN/m]}}{v_{Ed,Fuge} \left[\frac{\text{kN/m}}{\text{m}} \right]}$$

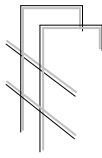


Trägertyp	Ø Dia [mm]	Fugenbeschaffenheit	
		glatt	rau
($\alpha = 45^\circ - 58,2^\circ$) KTP 10 bis KTP 16	8	404	453
($\alpha = 59,9^\circ - 64,1^\circ$) KTP 17 bis KTP 20	8	392	442
($\alpha = 65,2^\circ - 69,0^\circ$) KTP 21 bis KTP 25	8	381	431
($\alpha = 69,8^\circ - 72,5^\circ$) KTP 26 bis KTP 30	8	371	422

Tabelle 3.7: $v_{Rd,sy,Fuge}$ [kN/m] = aufnehmbare Schubkraft pro lfm. Gitterträger KTP in Trägerrichtung

Da die KTP-Gitterträger nur als Zulage-Gitterträger angeordnet werden, wird bei der Berechnung des Abstandes s_T der $v_{Rd,ct,Fuge}$ –Anteil nicht angesetzt, weil dieser bereits bei den KT 800- bzw. KT 100-Gitterträgern berücksichtigt wurde.

$$\text{erf } s_T \text{ [m]} \leq \frac{\text{Tabellenwert [kN/m]}}{v_{Ed,Fuge} \left[\frac{\text{kN/m}}{\text{m}} \right]}$$



3.2.2.6 Nachweis der maximal aufnehmbaren Schubkraft $v_{Rd,max,Fuge}$

Der Höchstwert der aufnehmbaren Schubkraft in der Fuge beträgt nach DIN 1045-1, Gl. (86):

$$v_{Rd,max,Fuge} = 0,5 \cdot v \cdot f_{cd} \cdot b$$

mit

$$v = 0,2$$

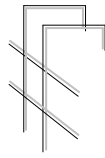
$$f_{cd} = 0,85 \cdot f_{ck} : \gamma_c \quad \text{mit } \gamma_c = 1,5$$

Für raue Fugen gelten die allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen [1] bis [5].

Die Formulierung für $v_{Rd,max,Fuge}$ ist in der nachstehenden Tabelle 3.8 ausgewertet.

Oberflächen- beschaffen- heit	Betonfestigkeitsklasse C				
	20/25	25/30	30/37	35/45	40/50
glatte Fuge	1133	1416	1700	1983	2266
raue Fuge	2400	2800	3300	3600	≥ 3600

Tabelle 3.8: $v_{Rd,max,Fuge} \left[\frac{\text{kN/m}}{\text{m}} \right]$ = maximal aufnehmbare Schubkraft in der Fuge



3.2.2.7 Nachweis der maximal aufnehmbaren Querkraft $v_{Rd,max}$

Nach den Zulassungen für Gitterträger (z.B. [4], Anlage 3, Abschn. 2.2) darf die Querkraft- / Verbundbewehrung nur dann allein aus Gitterträger-Diagonalen bestehen, wenn die einwirkende Querkraft bei Normalbeton beschränkt wird auf:

$$v_{Ed} \leq v_{Rd,max} = 0,25 \cdot b \cdot z \cdot 0,75 \cdot f_{cd} \cdot \frac{\cot \vartheta + \cot \alpha}{1 + \cot^2 \vartheta} \quad \text{für } \alpha < 55^\circ$$

und

$$v_{Ed} \leq v_{Rd,max} = 0,30 \cdot b \cdot z \cdot 0,75 \cdot f_{cd} \cdot \frac{\cot \vartheta + \cot \alpha}{1 + \cot^2 \vartheta} \cdot (1 + \sin(\alpha - 55^\circ)) \quad \text{für } \alpha \geq 55^\circ$$

Beim Nachweis für $v_{Rd,max}$ ist der $\cot \vartheta$ -Wert wie für reinen Ortbeton anzusetzen ([4], Anlage 3, Abschn. 2.2.):

$$1,0 \leq \cot \vartheta \leq \frac{1,2}{1 - v_{Rd,c} / v_{Ed}} \leq 3,0$$

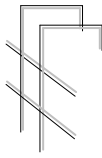
mit

$$v_{Rd,c} = 0,24 \cdot b \cdot z \cdot \sqrt[3]{f_{ck}}$$

Bei unterschiedlichen Neigungswinkeln α der Gitterträgerstäbe in Gitterträgerrichtung (z.B. Vertikalen und Diagonalen) ist bei Ansatz eines einheitlichen Druckstrebenwinkels ϑ der Nachweis für $v_{Rd,max}$ mit gewichteten Anteilen der Winkel α_i wie folgt zu führen:

$$\sum \frac{v_{Rd,sy,\alpha_i}}{v_{Rd,max,\alpha_i}} \leq 1,0$$

Vereinfacht ist der Nachweis auch dann erbracht, wenn die Gesamtquerkraft $v_{Ed} \leq \min v_{Rd,max,\alpha_i}$ ist.



Darüber hinaus reicht es in den meisten Fällen sogar aus, den Nachweis unabhängig von den tatsächlichen (bis zu drei unterschiedlichen) Neigungswinkel α_i mit dem rechnerisch ungünstigsten Winkel $\alpha = 54,9^\circ$ zu führen. Für diesen Winkel werden in der folgenden Tabelle 3.9 die $v_{Rd,max}$ -Werte nach der oben aufgeführten Formulierung für $\alpha < 55^\circ$ angegeben. Kleinere $v_{Rd,max}$ -Werte gibt es nicht. Falls der Nachweis mit diesen Werten nicht gelingen sollte, ist eine genauere Berechnung mit den tatsächlich vorhandenen Winkeln durchzuführen.

Beton- festigkeits- klasse C	cot ϑ										
	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4	2,6	2,8	3,0
20/25	1806	1655	1508	1373	1253	1148	1055	974	904	841	786
25/30	2258	2068	1885	1716	1566	1435	1319	1218	1130	1051	983
30/37	2709	2483	2262	2060	1880	1722	1583	1461	1356	1262	1179
35/45	3161	2896	2639	2403	2193	2009	1846	1705	1582	1472	1376
40/50	3612	3310	3016	2746	2506	2296	2110	1948	1808	1682	1572

Zwischenwerte können geradlinig interpoliert werden.

Tabelle 3.9: $v_{Rd,max}$ [kN/m] = maximal aufnehmbare Querkraft bei $\alpha = 54,9^\circ$

$$= \text{Tabellenwert} \cdot z \text{ [m]}$$

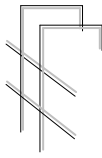
Die Tabellenwerte können auch für $\alpha \neq 54,9^\circ$ benutzt werden,

da die tatsächlichen $v_{Rd,max}$ -Werte für $\alpha \neq 54,9^\circ$ stets größer sind.

Anmerkung zur Größe von cot ϑ :

Wenn bei Platten Querkraftbewehrung erforderlich sein sollte, errechnet sich der cot ϑ -Wert meistens zu 3,0. In Ausnahmefällen könnte damit der Nachweis $v_{Rd,max} \geq v_{Ed}$ nicht erbracht werden. Es ist aber erlaubt, einen kleineren Wert als cot $\vartheta = 3,0$ zu wählen und damit sowohl die Querkraftbewehrung als auch $v_{Rd,max}$ zu ermitteln. In diesem Fall des reduzierten cot ϑ -Wertes muss außer der Verbundbewehrung auch die Querkraftbewehrung berechnet werden. Die Querkraftbewehrung kann dann größer als die Verbundbewehrung sein. Nach DIN 1045-1, Gl. (77) wird die Querkraftbewehrung wie folgt ermittelt:

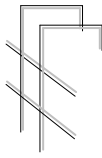
$$\text{erf } a_{s,w} \left[\frac{\text{cm}^2}{\text{m}^2} \right] = \frac{v_{Ed} \text{ [kN/m]}}{f_{yd} \left[\frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \right] \cdot z \text{ [m]} \cdot (\cot \vartheta + \cot \alpha) \cdot \sin \alpha}$$



3.2.2.8 Bemessung der Verbund- und Querkraftbewehrung in Querrichtung der Gitterträger

Dieser Fall tritt unter anderem bei zweiachsig gespannten Kaiser-Omnia-Plattendecken auf, wenn es um die Lastabtragung in y-Richtung geht, d.h. quer zur Gitterträgereichtung. Die Vorgehensweise bei der Bemessung ist die gleiche wie in Gitterträgereichtung. Dabei kann vorausgesetzt werden, dass in den Bereichen, für die der Schubnachweis in y-Richtung zu führen ist, die Beanspruchung in x-Richtung vernachlässigbar ist. Dann können die Diagonalen der Gitterträger allein für die Querkraftabtragung in y-Richtung bemessen werden. Hierzu werden alle Diagonalen herangezogen, wobei die Neigung α in Richtung der Gitterträgerachse selbstverständlich zu berücksichtigen ist. Die Diagonalen wirken dann wie senkrechte Bügel, wenn man nur die vertikale Kraftkomponente $Z_{\text{Diag}} \cdot \sin \alpha$ in Rechnung stellt. Die geringfügige Neigung der beiden Diagonalebenen rechtwinklig zur Gitterträgerachse kann vernachlässigt werden.

Die von der Bewehrung (Gitterträger) aufnehmbare Schubkraft in der Fuge wird wiederum nach Gl. 85, DIN 1045-1 berechnet (siehe Abschnitt 3.2.2.5 dieses Handbuchs). Für querverlaufende Gitterträger KT 800 ist die zahlenmäßige Auswertung in Tabelle 3.10, für querverlaufende Gitterträger KTS in Tabelle 3.11 und für querverlaufende Gitterträger KTP in Tabelle 3.12 erfolgt.

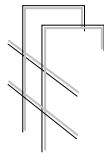


Trägertyp		Ø Dia [mm]	Fugenbeschaffenheit	
			glatt	rau
(α < 45°)	KT 807 und KT 808	6	89	104
		7	121	141
(α = 45 - 54°)	KT 809 bis KT 812	6	105	122
		7	143	167
(α = 56 - 67°)	KT 813 bis KT 819	6	123	144
		7	168	196
(α = 68 - 76°)	KT 820 bis KT 830	6	138	161
		7	188	219
		8	244	285

Tabelle 3.10: $v_{Rd,sy,Fuge}$ [kN/m] = aufnehmbare Schubkraft pro lfm. Gitterträgern KT 800, die rechtwinklig zur Querkraftrichtung verlaufen

Mit Berücksichtigung der $v_{Rd,ct,Fuge}$ -Werte nach Tabelle 3.3 beträgt damit der erforderliche Gitterträgerabstand

$$s_T [m] \leq \frac{\text{Tabellenwert [kN/m]}}{(v_{Ed,Fuge} - v_{Rd,ct,Fuge}) \left[\frac{\text{kN/m}}{m} \right]}$$

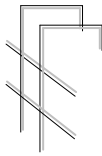


Trägertyp	Ø Dia [mm]	Fugenbeschaffenheit	
		glatt	rau
(α = 45 – 45,8°) KTS 8 bis KTS 16	7	173	201
	8	226	263
(α = 49,5 – 52,8°) KTS 18 und KTS 20	7	178	208
	8	233	271
(α = 55,6 – 59,3°) KTS 22 und KTS 25	7	185	215
	8	241	281
(α = 64°) KTS 30	7	192	224
	8	251	293

Tabelle 3.11: $v_{Rd,sy,Fuge}$ [kN/m] = aufnehmbare Schubkraft pro lfm. Gitterträger KTS,
die rechtwinklig zur Querkraftrichtung verlaufen

Da die KTS-Gitterträger nur als Zulage-Gitterträger angeordnet werden, wird bei der Berechnung des Abstandes s_T der $v_{Rd,ct,Fuge}$ -Anteil nicht angesetzt, weil dieser bereits bei den KT 800- bzw. KT 100-Gitterträgern berücksichtigt wurde.

$$\text{erf } s_T \text{ [m]} \leq \frac{\text{Tabellenwert [kN/m]}}{v_{Ed,Fuge} \left[\frac{\text{kN/m}}{\text{m}} \right]}$$

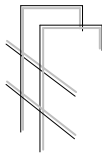


Trägertyp		Ø Dia [mm]	Fugenbeschaffenheit	
			glatt	rau
(α = 45° - 58,2°)	KTP 10 bis KTP 16	8	267	312
	KTP 17 bis KTP 20		294	343
(α = 59,9° - 64,1°)	KTP 21 bis KTP 25	8	300	350
	KTP 26 bis KTP 30		306	357

Tabelle 3.12: $v_{Rd,sy,Fuge}$ [kN/m] = aufnehmbare Schubkraft pro lfm. Gitterträger KTP, die rechtwinklig zur Querkraftrichtung verlaufen

Da die KTP-Gitterträger nur als Zulage-Gitterträger angeordnet werden, wird bei der Berechnung des Abstandes s_T der $v_{Rd,ct,Fuge}$ -Anteil nicht angesetzt, weil dieser bereits bei den KT 800- bzw. KT 100-Gitterträgern berücksichtigt wurde.

$$erf s_T [m] \leq \frac{\text{Tabellenwert [kN/m]}}{v_{Ed,Fuge} \left[\frac{\text{kN/m}}{m} \right]}$$



3.2.2.9 Beispiele

Beispiel 1:

Gegeben: Kaiser-Omnia-Plattendecke mit	$h = 18 \text{ cm}$
Statische Höhe	$d = 15 \text{ cm}$
Verlegemaß	$c_{v,l} = 2,0 \text{ cm}$
Bemessungsquerkraft	$v_{Ed} = 40,5 \text{ kN/m}$
Biegezugbewehrung R 513	
Beton C 20/25	

Gesucht: Nachweis der Verbundfuge Fertigplatte/Ortbeton

- Ist Querkraftbewehrung erforderlich?

Aufnehmbare Querkraft $v_{Rd,ct}$ ohne Querkraftbewehrung nach Tabelle 3.1:

$$\text{Mit } \rho_1 = \frac{a_{sl}}{d} = \frac{5,24 \text{ cm}^2/\text{m}}{15 \text{ cm}} = 0,35 \% \text{ ist}$$

$$v_{Rd,ct} = 381 \cdot d [\text{m}] = 381 \cdot 0,15 \text{ m} = 57,2 \text{ kN/m} > 40,5 \text{ kN/m} = v_{Ed}$$

→ Es ist **keine Querkraftbewehrung** erforderlich.

→ Innerer Hebelarm $z = 0,9 \cdot d = 0,9 \cdot 15 \text{ cm} = 13,5 \text{ cm}$

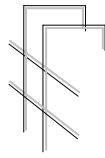
- Aufzunehmende Schubkraft in der Fuge:

$$v_{Ed,Fuge} = \frac{F_{cdj}}{F_{cd}} \cdot \frac{v_{Ed}}{z} = 1,0 \cdot \frac{40,5 \text{ kN/m}}{0,135 \text{ m}} = 300 \frac{\text{kN}}{\text{m}}/\text{m} \quad (\text{pro m Spannrichtung und pro m Plattenbreite})$$

- Aufnehmbare Schubkraft in der Fuge ohne Verbundbewehrung nach Tabelle 3.3 (Annahme: glatte Fuge):

$$v_{Rd,ct,Fuge} = 166 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}} / \text{m} < 300 \frac{\text{kN}}{\text{m}} / \text{m} = v_{Ed,Fuge}$$

→ Ohne Verbundbewehrung ist die einwirkende Schubkraft nicht aufnehmbar.



- Ermittlung der Verbundbewehrung nach Tabelle 3.4:

gewählt: Gitterträger KT 812 mit Diagonalen Ø 6 mm

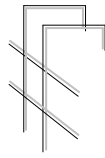
$$\text{erf } s_T = \frac{121}{300-166} = 0,90 \text{ m} ; \text{ gew.: } s_T = 62,5 \text{ cm}$$

- Nachweis der maximal aufnehmbaren Schubkraft (Tabelle 3.8):

$$v_{Rd,max,Fuge} = 1133 \cdot \frac{\text{kN/m}}{\text{m}} > 300 \frac{\text{kN/m}}{\text{m}} = v_{Ed,Fuge}$$

- Nachweis der maximal aufnehmbaren Querkraft $v_{Rd,max}$:

Wenn – wie im vorliegenden Beispiel – keine Querkraftbewehrung erforderlich ist, ist der Nachweis $v_{Rd,max} \geq v_{Ed}$ immer erfüllt.



Beispiel 2:

Gegeben: Kaiser-Omnia-Plattendecke mit $h = 18 \text{ cm}$
Statische Höhe $d = 15 \text{ cm}$
Verlegemaß $c_{v,l} = 2,0 \text{ cm}$
Bemessungsquerkraft $v_{Ed} = 99,5 \text{ kN/m}$
Biegezugbewehrung $\emptyset 12/15 \text{ cm}$ ($7,5 \text{ cm}^2/\text{m}$)
Beton C 25/30

Gesucht: Nachweis der Verbundfuge Fertigplatte/Ortbeton

- Ist Querkraftbewehrung erforderlich?

Aufnehmbare Querkraft $v_{Rd,ct}$ ohne Querkraftbewehrung nach Tabelle 3.1:

$$\text{Mit } \rho_1 = \frac{a_{sl}}{d} = \frac{7,5 \text{ cm}^2/\text{m}}{15 \text{ cm}} = 0,5 \% \text{ ist}$$

$$v_{Rd,ct} = 464 \cdot d [\text{m}] = 464 \cdot 0,15 \text{ m} = 69,6 \text{ kN/m} < 99,5 \text{ kN/m} = v_{Ed}$$

→ Es ist **Querkraftbewehrung** erforderlich.

→ Innerer Hebelarm $z = 0,9 \cdot d = 0,9 \cdot 15 \text{ cm} = 13,5 \text{ cm}$

und $z = d - c_{v,l} - c_{v,l}^* = 15 - 2,0 - 2,0 = 11 \text{ cm}$ (maßgebend)

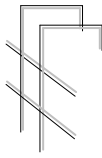
- Aufzunehmende Schubkraft in der Fuge:

$$v_{Ed,Fuge} = \frac{F_{cdj}}{F_{cd}} \cdot \frac{v_{Ed}}{z} = 1,0 \cdot \frac{99,5 \text{ kN/m}}{0,11 \text{ m}} = 905 \frac{\text{kN}}{\text{m}} / \text{m} \quad (\text{pro m Spannrichtung und pro m Plattenbreite})$$

- Aufnehmbare Schubkraft in der Fuge ohne Verbundbewehrung nach Tabelle 3.3 (Annahme: raue Fuge):

$$v_{Rd,ct,Fuge} = 400 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}} / \text{m} < 905 \frac{\text{kN}}{\text{m}} / \text{m} = v_{Ed,Fuge}$$

→ Ohne Verbundbewehrung/Querkraftbewehrung ist die einwirkende Schubkraft nicht aufnehmbar.



- Ermittlung der Verbund-/Querkraftbewehrung:

Da Querkraftbewehrung erforderlich ist, dürfen die Gitterträger keinen größeren Abstand als $s_T = 40 \text{ cm}$ haben (siehe Abschnitt 4.2.3.1).

- 1.) Zunächst wird der Standard-Gitterträger KT 812, Diagonale $\varnothing 6 \text{ mm}$ mit $s_T = 40 \text{ cm}$ gewählt. Nach Tabelle 3.4 beträgt die von dieser Gitterträgeranordnung aufnehmbare Schubkraft in der Fuge

$$\text{aufn } v_{\text{Ed,Fuge, KT 812}} = \frac{\text{Tabellenwert}}{s_T [\text{m}]} + v_{\text{Rd,ct,Fuge}} = \frac{131}{0,40\text{m}} + 400 = 727 \frac{\text{kN}}{\text{m}}.$$

- Daraus ergibt sich eine Schubkraftdifferenz von

$$\Delta v_{\text{Ed,Fuge, KTS}} = 905 - 727 = 178 \frac{\text{kN}}{\text{m}},$$

die von zusätzlich anzuordnenden KT S-Gitterträgern aufgenommen werden muss.

- 2.) Zusätzliche Schub-Gitterträger KT S 12, Diag./Vert. $\varnothing 7 \text{ mm}$ nach Tabelle 3.6:

$$\text{erf } s_T [\text{m}] = \frac{\text{Tabellenwert}}{\Delta v_{\text{Ed,Fuge,KTS}}} = \frac{301}{178} = 1,69 \text{ m}$$

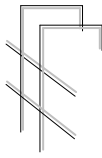
gew.: $s_T = 0,80 \text{ m}$

- Anmerkung zur Verteilung/Anordnung von unterschiedlichen Gitterträgern:

Grundsätzlich ist eine etwa gleichmäßige Verteilung der Verbund-/Querkraftbewehrung vorzunehmen. In Anlehnung an die Auslegung zur gleichmäßigen Verteilung der Biegezugbewehrung nach DIN 1045, Ausgabe 1988 kann aber folgende Empfehlung gegeben werden:

Eine gleichmäßige Verteilung von Verbund-/Querkraftbewehrung liegt dann vor, wenn mindestens die Hälfte der erforderlichen Bewehrung mit dem zulässigen Höchstabstand und die restliche Bewehrung mit dem zweifachen zulässigen Höchstabstand angeordnet werden.

Beim zuvor berechneten Beispiel sind diese Bedingungen erfüllt.



- Nachweis der maximal aufnehmbaren Schubkraft (Tabelle 3.8):

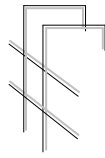
$$V_{Rd,max,Fuge} = 2800 \cdot \frac{\text{kN/m}}{\text{m}} > 905 \frac{\text{kN/m}}{\text{m}} = v_{Ed,Fuge}$$

- Nachweis der maximal aufnehmbaren Querkraft $v_{Rd,max}$:

Um möglichst schnell den Nachweis zu führen, wird ungünstigerweise der größtmögliche $\cot \vartheta$ -Wert = 3,0 angenommen und mit Hilfe der Tabelle 3.8 $v_{Rd,max}$ berechnet:

$$\begin{aligned} v_{Rd,max} &= 983 \cdot 0,11 \text{ m} \\ &= 108,1 \text{ kN/m} > 99,5 \text{ kN/m} = v_{Ed} \end{aligned}$$

Damit ist der Nachweis erbracht.



Beispiel 3:

Gegeben: Kaiser-Omnia-Plattendecke als Balkonplatte, wobei die Gitterträger rechtwinklig zur Spannrichtung (Kragrichtung) angeordnet werden

Deckendicke	$h = 20 \text{ cm}$
Verlegemaß	$c_{v,l} = 3,5 \text{ cm}$
statische Höhe	$d = 16 \text{ cm}$
Bemessungsquerkraft	$v_{Ed} = 38,2 \text{ kN/m}$
Biegezugbewehrung	$\text{Ø } 10/12,5 \text{ cm } (6,3 \text{ cm}^2/\text{m})$
Beton C 20/25	

Gesucht: Nachweis der Verbundfuge Fertigplatte/Ortbeton

- Ist Querkraftbewehrung erforderlich?

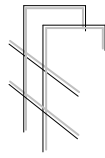
Aufnehmbare Querkraft $v_{Rd,ct}$ ohne Querkraftbewehrung nach Tabelle 3.1:

$$\text{Mit } \rho_1 = \frac{a_{sl}}{d} = \frac{6,3 \text{ cm}^2/\text{m}}{16 \text{ cm}} = 0,39 \% \text{ ist}$$

$$v_{Rd,ct} = 396 \cdot d [\text{m}] = 396 \cdot 0,16 \text{ m} = 63,4 \text{ kN/m} > 38,2 \text{ kN/m} = v_{Ed}$$

→ Es ist **keine Querkraftbewehrung** erforderlich.

→ Innerer Hebelarm $z = 0,9 \cdot d = 0,9 \cdot 16 \text{ cm} = 14,4 \text{ cm}$



- Aufzunehmende Schubkraft in der Fuge:

$$v_{Ed, Fuge} = \frac{F_{cdj}}{F_{cd}} \cdot \frac{v_{Ed}}{z} = 1,0 \cdot \frac{38,2 \text{ kN/m}}{0,144 \text{ m}} = 265 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad (\text{pro m Spannrichtung} \\ \text{und pro m Plattenbreite})$$

- Aufnehmbare Schubkraft in der Fuge ohne Verbundbewehrung nach Tabelle 3.3 (Annahme: glatte Fuge):

$$v_{Rd,ct, Fuge} = 166 \cdot \frac{\text{kN/m}}{\text{m}} < 265 \frac{\text{kN/m}}{\text{m}} = v_{Ed, Fuge}$$

→ Ohne Verbundbewehrung ist die einwirkende Schubkraft nicht aufnehmbar.

- Ermittlung der Verbundbewehrung nach Tabelle 3.10:

gew: Gitterträger KT 811 mit Diagonalen Ø 6 mm

$$\text{erf } s_T = \frac{105}{265 - 166} = 1,06 \text{ m}; \quad \text{gew.: } s_T \leq 2 \cdot h = 2 \cdot 20 \text{ cm} \\ \leq 40 \text{ cm (siehe Abschnitt 4.2.3.1)}$$

- Nachweis für $v_{Rd,max, Fuge}$ (Tabelle 3.8):

$$v_{Rd,max, Fuge} = 1133 \cdot \frac{\text{kN/m}}{\text{m}} > 265 \frac{\text{kN/m}}{\text{m}} = v_{Ed, Fuge}$$

- Nachweis der maximal aufnehmbaren Querkraft $v_{Rd,max}$:

Wenn – wie im vorliegenden Beispiel – keine Querkraftbewehrung erforderlich ist, ist der Nachweis $v_{Rd,max} \geq v_{Ed}$ immer erfüllt.