

E-1-4539

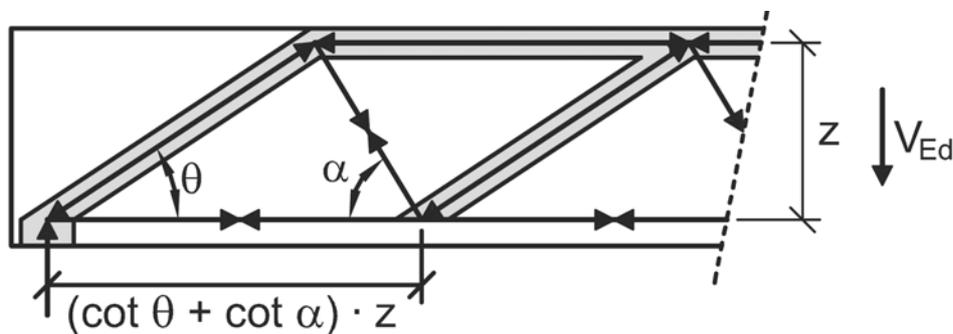
(7/2010)

Filigran-Elementdecke Querkraftnachweis nach Zulassung

Filigran-E/EV-Gitterträger Z-15.1-147
(19. Juni 2010)

Filigran-D-Gitterträger Z-15.1-90
(23. November 2004 mit Verlängerung vom 14. Dezember 2009)

Filigran-EQ-Gitterträger Z-15.1-93
(30. Juni 2009)



Hinweis:

Diese Bemessungshilfe darf nur unverändert in der vorliegenden Form an Dritte weitergegeben werden. Der Nutzer der Bemessungshilfe verpflichtet sich, die erzielten Ergebnisse auf Richtigkeit und die Zulassung auf ihre Gültigkeit zu überprüfen. Grundsätzlich ist die Haftung von FILIGRAN auf Vorsatz und grobe Fahrlässigkeit beschränkt. Die Haftung für Sach- und Rechtsmängel ist auf Vorsatz beschränkt. Im Übrigen haftet FILIGRAN für Schäden aus der Verletzung des Lebens, des Körpers oder der Gesundheit, die auf einer fahrlässigen Verletzung einer nicht leistungsbezogenen Schutzpflicht von FILIGRAN oder eines gesetzlichen Vertreters oder eines Erfüllungsgehilfen von FILIGRAN beruhen. Eine weitergehende Haftung von FILIGRAN ist ausgeschlossen. Hiervon ausgenommen ist die Haftung nach dem Produkthaftungsgesetz.

Die Bemessungsnorm DIN 1045-1:2008-08 für Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton wurde 2008 veröffentlicht und 2009 bauaufsichtlich eingeführt. Gegenüber früheren Versionen wurde unter anderem der Nachweis der Verbundfuge zwischen zwei Betonierabschnitten neu verfasst. Die Anwendung von Gitterträgern und damit die Bemessung von Filigran-Decken erfolgt jedoch nach wie vor auf der Grundlage von bauaufsichtlichen Zulassungen. Diese Zulassungen nehmen formal Bezug auf die neue DIN 1045-1:2008-08. Jedoch wurde bei der Umstellung der Zulassungen für Filigran-Gitterträger das bisherige Bemessungskonzept für die Verbund- und Querkraftbemessung beibehalten. Dieses Konzept wird in den Anlagen der Zulassungen beschrieben.

Diese FI-NORM dient als Bemessungshilfe zum Querkraftnachweis im Endzustand der Elementdecken nach den allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen des DIBt für Filigran-Gitterträger (Z-15.1-90 vom 23.11.2004 mit Verlängerung vom 14.12.2009, Z-15.1-93 vom 30.06.2009 und Z-15.1-147 vom 19.06.2010).

1. Sicherheitskonzept

Die DIN 1045-1 beruht auf einem Sicherheitskonzept mit Teilsicherheitsbeiwerten. Dabei sind die Lasten bzw. die daraus resultierenden Schnittgrößen mit Teilsicherheitsbeiwerten zu multiplizieren. Der so ermittelte Bemessungswert z. B. der einwirkenden Querkraft V_{Ed} ist dem Bemessungswert der aufnehmbaren Querkraft V_{Rd} gegenüberzustellen:

$$V_{Ed} = V_K \cdot \gamma_F \leq V_{Rd}$$

γ_F = Teilsicherheitsbeiwert für die Lastseite

Der Entwurfswiderstand der Querkraft V_{Rd} beinhaltet die Teilsicherheitsbeiwerte für die Materialwiderstände:

$$V_{Rd} = V_{u,0,05} / \gamma_{c,s}$$

2. Querkraft

Bei Elementdecken ist grundsätzlich die Tragfähigkeit für Querkraft nach Abschnitt 10.3 der DIN 1045-1 wie bei Ortbetonkonstruktionen sowie zusätzlich die Schubkraftübertragung in der Fuge (Verbundfuge) nach Zulassung nachzuweisen.

Für alle Querkraftnachweise ist der Neigungswinkel θ der Betondruckstrebe im Fachwerkmodell innerhalb zulässiger Grenzen festzulegen. Die größte erforderliche Verbund- bzw. Schubbewehrung ergibt sich für die steilste zulässige Druckstrebenneigung von $\theta = 45^\circ$.

Für die Nachweise von Stahlbetonplatten nach dieser FI-Tafel gelten folgende weitere Annahmen:

- Einsatz von Normalbeton
- keine Normalspannung in Plattenebene oder senkrecht dazu
- vorwiegend ruhende Belastung

2.1 Schubkraftübertragung in Fugen

Für Ortbetonplatten wird häufig keine Querkraftbewehrung erforderlich (dieses kann einer vorhandenen statischen Berechnung entnommen oder ggfs. nach Punkt 2.2. nachgewiesen werden). Wird eine solche Platte als Elementdecke ausgeführt, ist allein der Nachweis der Schubkraftübertragung in der Verbundfuge erforderlich.

Es ist für die Schubkraft v_{Ed} [N/mm²] in der Fuge nachzuweisen:

$$v_{Ed} \leq v_{Rd,ct} \quad (1a)$$

oder

$$v_{Ed} \leq v_{Rd,sy} \quad (1b)$$

mit

$$v_{Ed} = F_{cdj} / F_{cd} \cdot V_{Ed} / z \quad [\text{N/mm}^2]$$

F_{cdj}/F_{cd} = Verhältniswert der in der Fuge wirkenden Längskraft (im Standardfall und auf der sicheren Seite liegend gilt $F_{cdj}/F_{cd}=1$)

V_{Ed} = Bemessungsquerkraft [kN/m]

z = innerer Hebelarm [m] = $0,9d \leq d - 2c_{vl} \geq d - c_{vl} - 30 \text{ mm}$

(d = statische Höhe)

Anmerkung: Ist $v_{Ed} \leq v_{Rd,ct}$ (vgl. Abschnitt 2.2), so darf $z = 0,9d$ angenommen werden.

a) $v_{Rd,ct}$ = Bemessungswiderstand der Verbundfuge ohne Verbundbewehrung

$$v_{Rd,ct} = 0,042 \cdot \beta_{ct} \cdot f_{ck}^{1/3} \quad [\text{N/mm}^2] \quad (2a)$$

Oberflächenbeschaffenheit	β_{ct}
rau	2,0
glatt	1,4

Tabelle 1: Rauigkeitsbeiwerte β_{ct} (Auszug aus Tab. 1, Anlage 10 der Zulassung Z-15.1-147)

Beton-güte	f_{ck}	$v_{Rd,ct}$ [N/mm ²]	
		Fuge glatt	Fuge rau
C20/25	20	0,160	0,228
C25/30	25	0,172	0,246
C30/37	30	0,183	0,261
C40/50	40	0,201	0,287
C50/60	50	0,217	0,309

Tabelle 2: Bemessungswiderstand $v_{Rd,ct}$ der Verbundfuge ohne Verbundbewehrung für ausgewählte Parameter

Die Anwendung von Gleichung (2a) für unbewehrte Fugen setzt eine definierte Rauigkeit voraus. Maßgebend sind nach vorgenannten Zulassungen die Kriterien von Heft 525 DAfStb.

Danach ist z.B. für eine raue Fuge eine Rautiefe gemäß Sandflächenverfahren nach Kaufmann von $R_t = 0,9$ mm nachzuweisen. Für unbehandelte Fertigteiloberflächen liegt der Bemessungsansatz einer glatten Fuge auf der sicheren Seite.

Beim Nachweis gemäß (1a) bzw. (2a) wird empfohlen einen maximalen Gitterträgerabstand von 75cm einzuhalten, um eine Mindeststeifigkeit der Fertigteilplatten für Transport und Montage zu gewährleisten.

Nach DIN 1045-1 13.4.3 (5) wird für Elementdecken, bei **Endauflagern ohne Wandaufasten**, eine Verbundsicherungsbewehrung von 6 cm²/m entlang der Auflagerlinie gefordert. Diese Bewehrung sollte in einem Streifen von 75cm vom Auflager angeordnet werden. Dies entspricht z.B. EQ20-Träger, $l = 80$ cm im Abstand von 75cm, oder E20-06610, $l = 80$ cm im Abstand von 40 cm.

Trägerabstand [cm]	E/EV-Gitterträger							
	D-Gitterträger							
	Trägerhöhe [mm]							
	≤ 70	90	150	200	250	320	400	
	α=37°	α=46°	α=60°	α=68°	α=72°	α=76°	α=79°	
Diagonale ø 5mm	25	0,402	0,406	0,392	0,373	0,361	0,348	0,336
	36	0,279	0,282	0,272	0,259	0,251	0,241	0,234
	42	0,239	0,241	0,233	0,222	0,215	0,207	0,200
	50	0,201	0,203	0,196	0,187	0,181	0,174	0,168
	55	0,183	0,184	0,178	0,170	0,164	0,158	0,153
	62,5	0,161	0,162	0,157	0,149	0,145	0,139	0,135
	75	0,134	0,135	0,131	0,124	0,120	0,116	0,112
	100*	0,100	0,101	0,098	0,093	0,090	0,087	0,084
Diagonale ø 6mm	25	0,578	0,584	0,564	0,538	0,520	0,501	0,484
	36	0,402	0,406	0,392	0,373	0,361	0,348	0,336
	42	0,344	0,348	0,336	0,320	0,310	0,298	0,288
	50	0,289	0,292	0,282	0,269	0,260	0,250	0,242
	55	0,263	0,265	0,256	0,244	0,237	0,228	0,220
	62,5	0,231	0,234	0,226	0,215	0,208	0,200	0,194
	75	0,193	0,195	0,188	0,179	0,173	0,167	0,161
	100*	0,145	0,146	0,141	0,134	0,130	0,125	0,121
Diagonale ø 7mm	25	0,787	0,795	0,768	0,732	0,708	0,682	0,659
	36	0,547	0,552	0,533	0,508	0,492	0,473	0,458
	42	0,469	0,473	0,457	0,436	0,422	0,406	0,392
	50	0,394	0,397	0,384	0,366	0,354	0,341	0,330
	55	0,358	0,361	0,349	0,333	0,322	0,310	0,300
	62,5	0,315	0,318	0,307	0,293	0,283	0,273	0,264
	75	0,262	0,265	0,256	0,244	0,236	0,227	0,220
	100*	0,197	0,199	0,192	0,183	0,177	0,170	0,165
Diagonale ø 9mm	25	1,302	1,314	1,270	1,210	1,171	1,127	1,090
	36	0,904	0,913	0,882	0,840	0,813	0,782	0,757
	42	0,775	0,782	0,756	0,720	0,697	0,671	0,649
	50	0,651	0,657	0,635	0,605	0,586	0,563	0,545
	55	0,592	0,597	0,577	0,550	0,532	0,512	0,495
	62,5	0,521	0,526	0,508	0,484	0,468	0,451	0,436
	75	0,434	0,438	0,423	0,403	0,390	0,376	0,363
	100*	0,325	0,329	0,317	0,302	0,293	0,282	0,272

Tabelle 3: E/EV- / D - Gitterträger
Aufnehmbare Schubspannungen $v_{Rd,sy}$ [N/mm²]
je m Deckenbreite

b) $v_{Rd,sy}$ = Bemessungswert der Stahltragfähigkeit der Verbundbewehrung

$$v_{Rd,sy} = a_s \cdot f_{yd} \cdot (\cot\theta + \cot\alpha) \cdot \sin\alpha \quad [N/mm^2] \quad (2b)$$

mit

a_s = Querschnittsfläche der Verbundbewehrung pro Flächeneinheit [m²/m²]

θ = Neigungswinkel der Betondruckstrebe nach Gleichung (4) oder wie hier vereinfachend 45°

α = Neigung der Verbundbewehrung (Diagonalen)

f_{yd} = Bemessungstreckgrenze der Verbundbewehrung (hier für glatte Diagonalen:

$$f_{yd} = 420N/mm^2/1,15 = 365N/mm^2)$$

Die aufnehmbare Schubkraft $v_{Rd,sy}$ in der Fuge kann für $\theta = 45^\circ$ in Abhängigkeit von den verwendeten Filigran-E/D-Gitterträgern der Tabelle 3 und für Filigran-EQ-Gitterträger Tabelle 4 entnommen werden.

Bei Kombinationen der beiden Gitterträgertypen können die Tabellenwerte für $v_{Rd,sy}$ addiert werden:

$$v_{Rd,sy} = v_{Rd,sy}(E/D) + v_{Rd,sy}(EQ)$$

Diese Möglichkeit gilt für die hier angesetzte einheitliche Druckstrebenneigung von $\theta = 45^\circ$.

Der Abstand der Gitterträger als Verbundbewehrung untereinander ist in **einachsiger** gespannten Decken auf

$$s_{max} = 75cm \leq 5h \text{ zu begrenzen.}$$

Wird bei **zweiachsiger** gespannten Decken auch die zweite Richtung der Biegezugbewehrung im Fertigteil angeordnet, so ist der Abstand der Gitterträger untereinander zusätzlich zu begrenzen auf:

$$s_{max} \leq 2h$$

Trägerabstand [cm]	Diagonale ø 7mm			
	Trägerhöhe [mm]			
	≤ 150	200	250	300
	α=45°	α=53°	α=59°	α=64°
10	3,393	3,374	3,334	3,285
25	1,357	1,350	1,334	1,314
36	0,943	0,937	0,926	0,912
42	0,808	0,803	0,794	0,782
50	0,679	0,675	0,667	0,657
55	0,617	0,613	0,606	0,597
62,5	0,543	0,540	0,533	0,526
75	0,452	0,450	0,445	0,438
100*	0,339	0,337	0,333	0,328

Tabelle 4: EQ - Gitterträger
Aufnehmbare Schubspannungen $v_{Rd,sy}$ [N/mm²]
je m Deckenbreite

2.2 Querkraftbemessung

Für Stahlbetonplatten ist grundsätzlich ein Querkraftnachweis nach Abschnitt 10.3 der DIN 1045-1 zu führen. Es ist entweder nachzuweisen, dass keine Querkraftbewehrung erforderlich ist, oder es ist eine entsprechende Querkraftbewehrung zu ermitteln.

Für **Platten ohne Querkraftbewehrung** ist nachzuweisen:

$$V_{Ed} \leq V_{Rd,ct}$$

mit $V_{Rd,ct}$ = Bemessungswert der aufnehmbaren Querkraft schubunbewehrter Platten

$$V_{Rd,ct} = [0,10 \cdot \kappa \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3}] \cdot b_w \cdot d \quad (3)$$

ρ_l = Längsbewehrungsgrad = $A_{sl}/(b_w \cdot d) \leq 0,02$

d [mm] = statische Höhe

f_{ck} = char. Betondruckfestigkeit (vgl. Tab. 2)

κ = Maßstabsbeiwert = $1 + \sqrt{200/d} \leq 2$

(weitere Bezeichnungen s. DIN 1045-1, Abschnitt 10.3.3)

Gleichung (3) berücksichtigt nicht den Mindestwert der Querkrafttragfähigkeit nach Gleichung (70a) der DIN 1045-1:2008-08, da dieser in den vorgenannten Zulassungen nicht enthalten ist.

Bild 1 zeigt die Auswertung der Gleichung (3). Mit der statischen Höhe d [mm], der Betongüte und dem Längsbewehrungsgrad ρ_l lässt sich der Querkraftwiderstand $V_{Rd,ct}$ von schubunbewehrten Betonquerschnitten ermitteln.

Kann dieser Nachweis geführt werden, ist die nach Punkt 2.1 b) ermittelte Bewehrung allein zur Sicherung der Verbundfuge erforderlich. In diesen Fällen reicht eine Gitterträgerhöhe aus, welche 2 cm Zwischenraum zwischen Fertigteiloberkante und dem Obergurt sicherstellt.

Bei $V_{Ed} > V_{Rd,ct}$ sind die **Platten mit Querkraftbewehrung** auszuführen.

Die Ermittlung der Tragfähigkeit von Gitterträgern als Querkraftbewehrung erfolgt dann nach Gleichung (77) der DIN 1045-1. Bei gleichen Systemwerten und der selben Druckstrebenneigung (hier 45°) führt diese zu den selben Ergebnissen wie die Verbundbemessung nach Gleichung (2b) und damit zu den Werten der Tabellen 3 bzw. 4.

Als Querkraftbewehrung sind die Gitterträger über die volle Deckenhöhe zu führen. Ist die einwirkende Querkraft auf 50% der maximalen Obergrenze (vgl. Gleichung (5)) begrenzt, kann die gesamte obere Biegezugbewehrung auf dem Obergurt abgelegt werden. Bei größeren

Querkraften darf maximal eine Bewehrungslage (i.d.R. quer zum Gitterträger) auf dem Obergurt abgelegt werden, die Längsbewehrung muss unterhalb der Querbewehrung eingebaut werden.

Für Platten mit $h \leq 40$ cm gilt als maximaler Gitterträgerabstand

$$s_{max} = 40 \text{ cm}$$

In zweiachsig gespannten Platten in denen auch Querkraftbewehrung ($V_{Ed} > V_{Rd,ct}$) für die Richtung senkrecht zur Gitterträgerlängsrichtung erforderlich wird, gilt:

$$s_{max} \leq \cot \theta \cdot z \leq 40 \text{ cm}$$

Maßgebend für den Neigungswinkel der Druckstrebe θ ist hierbei die Querkraft senkrecht zur Gitterträgerlängsrichtung.

2.3 Querkraftobergrenze

Wird Querkraftbewehrung in Ortbetonplatten erforderlich ($V_{Ed} > V_{Rd,ct}$), muss die maximale Obergrenze der aufnehmbaren Belastung aufgrund der Betondruckstrebentragfähigkeit $V_{Rd,max}$ überprüft werden. Allgemein gilt nach DIN 1045-1:

$$V_{Ed} \leq V_{Rd,max}$$

Für die Anwendung von Filigran-Gitterträgern nach Zulassung ergibt sich zum einen eine gesondert festgelegte Querkraftobergrenze $V_{Rd,max}$ und - nach neueren Zulassungsversionen - indirekt eine weitere Grenze durch die Begrenzung der Druckstrebenneigung θ bei der Verbundbemessung.

2.3.1 Begrenzung der Druckstrebenneigung

Bei der Verbundbemessung ist die Druckstrebenneigung nach Gleichung (4) zu begrenzen.

$$1,0 \leq \cot \theta \leq 1,2 \mu / (1 - V_{Rd,ct}/V_{Ed}) \quad (4)$$

mit $\mu = 0,7$ für raue und $\mu = 0,6$ für glatte Fugen

Nach aktuellen Zulassungsversionen ist zu beachten, dass bei $\cot \theta < 1$ die Berechnung der Verbundbewehrung nicht zulässig und die Konstruktion zu ändern ist. Damit ergibt sich indirekt die Querkraftobergrenze für den Grenzfall $\cot \theta = 1$. Für eine üblicherweise rau ausgeführte Fertigteiloberfläche zeigt Tabelle 5 eine Auswertung dieser Gleichung.

Wird der $\cot \theta$ nach Gleichung (4) im konkreten Bemessungsfall größer 1,0 ermittelt, erübrigt sich eine gesonderte Überprüfung nach Tabelle 5.

FILIGRAN – ELEMENTDECKE

Querkraftnachweis nach DIN 1045-1

FI – NORM
E-1-4539 4/5

Beton- güte	zul. V_{Ed}/z [N/mm ²]	d= 120 z*= 80	140	160	180	200	220	240	260	280	300	320	340	360
C20/25	1,42	114	142	171	199	228	256	285	313	342	370	399	427	456
C25/30	1,53	123	153	184	215	245	276	307	337	368	399	429	460	491
C30/37	1,63	130	163	196	228	261	293	326	358	391	424	456	489	521
C35/45	1,72	137	172	206	240	274	309	343	377	412	446	480	515	549
C40/50	1,79	143	179	215	251	287	323	359	395	430	466	502	538	574
C45/55	1,87	149	187	224	261	298	336	373	410	448	485	522	560	597
C50/60	1,93	155	193	232	270	309	348	386	425	464	502	541	579	618

* $z = d - 2 \cdot c_{nom}$, wobei $c_{nom} = 20\text{mm}$, ist $c_{nom} > 20\text{mm}$, so ist zul. V_{Ed} entsprechend dem verringerten inneren Hebelarm abzulesen

Tabelle 5: Querkraftobergrenze zul V_{Ed}/z aus der Bedingung $\cot\theta = 1$ für raue Fugen

2.3.2 Querkraftobergrenze $V_{Rd,max}$ nach Zulassung

Die Querkraftobergrenze $V_{Rd,max}$ von Filigran-Decken berechnet sich nach Gleichung (5). Dadurch wird die Anwendung von Elementdecken auf den Anwendungsbereich von Platten nach der damaligen DIN 1045 von 1988 begrenzt, in dem durch diese Gleichung etwa die Schubspannungsgrenze τ_{02} angenähert wurde (vgl. hierzu Betonkalender 2009, Teil I, Seite 401ff).

Für Diagonalenneigungswinkel $\alpha < 55^\circ$ gilt:

$$V_{Rd,max} = 0,25 \cdot b_w \cdot z \cdot 0,75 \cdot f_{cd} \cdot \frac{(\cot\theta + \cot\alpha)}{1 + \cot^2\theta} \quad (5a)$$

Für Diagonalenneigungswinkel $\alpha > 55^\circ$ gilt:

$$V_{Rd,max} = 0,3 \cdot b_w \cdot z \cdot 0,75 \cdot f_{cd} \cdot \frac{(\cot\theta + \cot\alpha)}{1 + \cot^2\theta} \cdot k \quad (5b)$$

$z =$ innerer Hebelarm $= 0,9d \leq d - 2c_{nom}$

Bemessungswert der Betondruckspannung:

$$f_{cd} = 0,85 \cdot f_{ck} / 1,5$$

$$1 \leq k \leq 1 + \sin(\alpha - 55^\circ)$$

In Tabelle 6 ist die Obergrenze als „Schubspannung“ $V_{Rd,max}/z$ [N/mm²] in Abhängigkeit von der Betongüte und dem Diagonalenwinkel α dargestellt. In diesem Format kann die Betondruckstreben tragfähigkeit direkt mit der einwirkenden Schubspannung v_{Ed} verglichen werden.

Daneben wurde $V_{Rd,max}$ [kN/m] für ausgewählte statische Höhen d [mm] tabelliert. Dabei wurde der innere Hebelarm z mit einer Betondeckung $c_{nom} = 20$ mm ermittelt. Um auf der sicheren Seite den niedrigsten Wert von $V_{Rd,max}$ zu tabellieren, wurde ein Diagonalenwinkel von $\alpha = 54^\circ$ angenommen. Genauere Berechnungen mit den tatsächlichen Stabneigungen sind nach Gleichung (5a)+(5b) möglich.

Ist $c_{nom} > 20\text{mm}$, so ist für die Anwendung der Tabelle der innere Hebelarm gesondert zu ermitteln ($z = d - 2c_{nom}!$) und $V_{Rd,max}$ in der Spalte des verminderten inneren Hebelarms z abzulesen.

Beton- güte	$V_{Rd,max}/z$ [N/mm ²]			d= 120	140	160	180	200	220	240	260	280	300	320	340	360
	$\alpha=45^\circ$	$\alpha=54^\circ$	$\alpha=90^\circ$	z*= 80	100	120	140	160	180	200	220	240	260	280	300	320
C20/25	2,13	1,83	2,01	147	183	220	257	294	330	367	404	440	477	514	550	587
C25/30	2,66	2,29	2,51	183	229	275	321	367	413	459	504	550	596	642	688	734
C30/37	3,19	2,75	3,01	220	275	330	385	440	495	550	605	660	715	770	826	881
C35/45	3,72	3,21	3,51	257	321	385	449	514	578	642	706	770	835	899	963	1027
C40/50	4,25	3,67	4,01	294	367	440	514	587	660	734	807	881	954	1027	1101	1174
C45/55	4,78	4,13	4,51	330	413	495	578	660	743	826	908	991	1073	1156	1238	1321
C50/60	5,31	4,59	5,02	367	459	550	642	734	826	917	1009	1101	1192	1284	1376	1468

* $z = d - 2 \cdot c_{nom}$, wobei $c_{nom} = 20\text{mm}$, ist $c_{nom} > 20\text{mm}$, so ist zul. V_{Ed} entsprechend dem verringerten inneren Hebelarm abzulesen

Tabelle 6: Querkraftobergrenze $V_{Rd,max}$ [kN/m] nach Zulassung

2.3.3 Vergleich der Obergrenzen

Die rechnerische Bedingung für $\cot\theta = 1$ (Tabelle 5) ergibt grundsätzlich geringere aufnehmbare Querkräfte als die explizit angegebene Querkraftobergrenze nach Gleichung (5) (Tabelle 6).

Die DIN 1045-1:2008-08 hat mit der dortigen Gleichung (86) höhere zulässige Spannungen in einer Verbundfuge festgelegt, als sich durch die Begrenzung der Druckstrebenneigung ergibt. Für raue Fugen mit erhöhten Anforderungen an die Rauheit von $R_t = 1,5 \text{ mm}$ gelten die Obergrenzen nach Spalte 2 der Tabelle 7. In dieser Tabelle sind vergleichend die Querkraftwiderstände in Form von Schubspannungen für die verschiedenen Nachweise angegeben.

1	2	3	4
Beton	DIN 1045-1: 2008-08 Gl. (86) ($R_t \geq 1,5\text{mm}$)	$\cot\theta = 1$ Gl. (4) ($R_t \geq 0,9\text{mm}$)	$V_{Rd,max}$ Gl. (5) $\alpha = 54^\circ$
C20/25	2,83	1,42	1,83
C25/30	3,54	1,53	2,29
C30/37	4,25	1,63	2,75
C35/45	4,96	1,72	3,21
C40/50	5,67	1,79	3,67
C45/55	6,38	1,87	4,13
C50/60	7,08	1,93	4,59

Tabelle 7: Vergleich der Querkraftobergrenzen für raue Oberflächen nach verschiedenen Regelungen

Die Anwendung von Gleichung (86) nach DIN 1045-1:2008-08 ist durch die vorgenannten Zulassungen nicht abgedeckt. Falls in gesonderten Anwendungen die gegenüber Gl. (4) erhöhten Werte ausgenutzt werden sollen, wird für Deckenplatten immer die Querkraftobergrenze der Zulassung nach Gleichung (5) bzw. Tabelle 6 maßgebend.

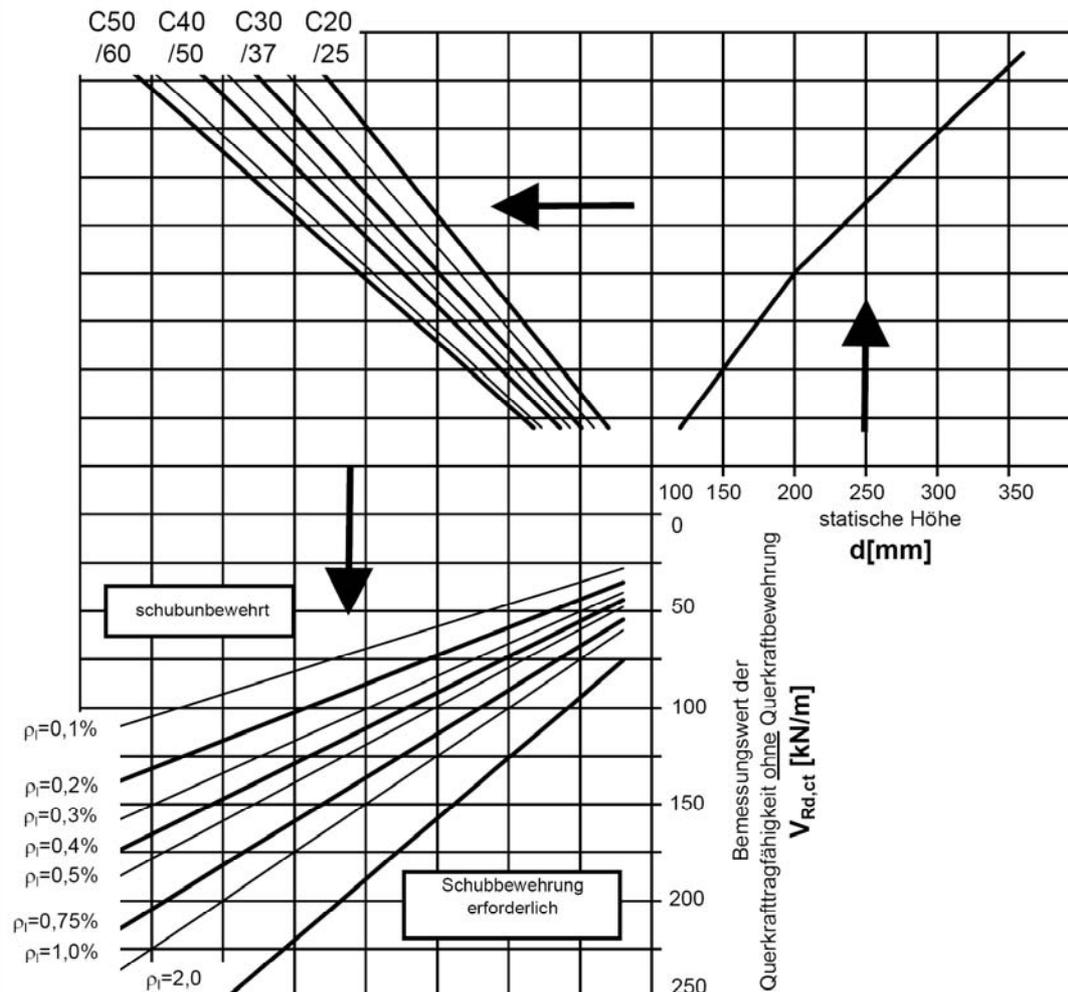


Bild 1: Grafische Ermittlung des Grenzwertes $V_{Rd,ct}$ für schubunbewehrte Platten

Beispiele zu FI-NORM E-1-4539

Beispiel 1:

Vorgaben:

Bemessungswert der einwirkenden Querkraft – incl. Teilsicherheitsbeiwerte γ_F

$$V_{Ed} = 34,5 \text{ kN/m} = 0,0345 \text{ MN/m}$$

Betongüte

C20/25

$$c_{nom} = 20 \text{ mm}$$

Längsbewehrungsgrad laut Biegebemessung

$$A_s = 589 \text{ mm}^2$$

$$\rho_l = 589 / (1000 \cdot 175) \cdot 100 \%$$

$$\rho_l = 0,337 \%$$

Statische Höhe

$$h = 200 \text{ mm}$$

$$d = h - c_{nom} - d_s/2 = 200 - 20 - 10/2$$

$$d = 175 \text{ mm}$$

innerer Hebelarm

$$z = 0,9 \cdot d = 157,5 \text{ mm} \quad (V_{Ed} \leq V_{Rd,ct})$$

$$\leq d - 2 \cdot c_{nom} = 135 \text{ mm} \quad (V_{Ed} > V_{Rd,ct})$$

Querkraftbemessung

mit **FI-Norm E-1-4539**

a) Querkraft-Ortbeton

$$V_{Rd,ct} = 66 \text{ kN/m} \text{ (= Widerstand unbewehrte Platte)}$$

$$> V_{Ed} = 34,5 \text{ kN/m}$$

→ Keine Schubbewehrung erforderlich!

Bild 1 auf Seite 5

b) Querkraft-Verbund

Bemessungswert der einwirkenden Querkraft(Verbund)

$$V_{Ed} = V_{Ed} / z$$

$$V_{Ed} = 0,0345 / 0,158$$

$$V_{Ed} = 0,218 \text{ MN/m}^2$$

$$V_{Ed} = 0,218 \text{ N/mm}^2$$

$$V_{Rd,ct} = 0,160 \text{ N/mm}^2 \text{ (= Widerstand unbewehrte glatte Verbundfuge)}$$

$$< v_{Ed} = 0,218 \text{ N/mm}^2$$

→ Verbundbewehrung erforderlich

Tabelle 2 auf Seite 1

Gitterträger laut Montage

z. B. E11-06612 – Abstand = 50 cm

$$V_{Rd,sy} = 0,282 \text{ N/mm}^2 \text{ (= Widerstand Stahltragfähigkeit)}$$

$$> v_{Ed} = 0,218 \text{ N/mm}^2$$

→ E-Gitterträger im Abstand von 50 cm als Verbundbewehrung ausreichend

Tabelle 3 auf Seite 2

Beispiele zu FI-NORM E-1-4539

Beispiel 2:

Vorgaben:

Bemessungswert der einwirkenden Querkraft(Ortbeton) – incl. Teilsicherheitsbeiwerte γ_L

$$V_{Ed} = 80,0 \text{ kN/m} = 0,080 \text{ MN/m}$$

Betongüte

C20/25

$$c_{nom} = 20 \text{ mm}$$

Längsbewehrungsgrad laut Biegebemessung

$$A_s = 700 \text{ mm}^2$$

$$\rho_l = 700 / (1000 \cdot 175) \cdot 100 \%$$

$$\rho_l = 0,4 \%$$

Statische Höhe

$$h = 200 \text{ mm}$$

$$d = h - c_{nom} - d_s/2 = 200 - 20 - 10/2$$

$$d = 175 \text{ mm}$$

innerer Hebelarm

$$z = 0,9 \cdot d = 157,5 \text{ mm} \quad (V_{Ed} \leq V_{Rd,ct})$$

$$\leq d - 2 \cdot c_{nom} = 135 \text{ mm} \quad (V_{Ed} > V_{Rd,ct})$$

Querkraftbemessung

mit FI-Norm E-1-4539

a) **Querkraft-Ortbeton**

$$V_{Rd,ct} = 71 \text{ kN/m} \text{ (= Widerstand unbewehrte Platte)}$$

$$< V_{Ed} = 80,0 \text{ kN/m}$$

→ Schubbewehrung erforderlich (siehe b)

→ Nachweis der Betondruckstrebe erfüllt

→ Gitterträger müssen bis an die obere Lage heranreichen, gewählt 13cm

Bild 1 auf Seite 5

$$\text{Zul. } V_{Ed} = 192 \text{ kN/m} \text{ (cot } \theta = 1,0)$$

Tabelle 5 auf Seite 4

$$V_{Rd,max} = 248 \text{ kN/m} \text{ (= maximal Widerstand Beton querkraftbewehrt)}$$

$$> V_{Ed} = 80,0 \text{ kN/m} < 0,5 \cdot V_{Rd,max}$$

→ Bewehrung darf komplett auf den Gitterträgerobergurten liegen

Tabelle 6 auf Seite 4

b) **Ermittlung der Querkraftbewehrung**

Anmerkung: Die Ermittlung für Querkraftbewehrung für Ortbeton und Verbund ist bei Annahme gleicher Druckstrebenneigung identisch – gewählt $\theta = 45^\circ$

Bemessungswert der einwirkenden Querkraft(Verbund)

$$V_{Ed} = V_{Ed} / z$$

$$V_{Ed} = 80 / 0,135$$

$$V_{Ed} = 0,593 \text{ N/mm}^2$$

gewählt E13-06712 – Abstand 31,25 cm (8 Träger / 2,5m Element)

$$v_{Rd,sy} = 0,192 \text{ N/mm}^2 \cdot 100 \text{ cm} / 31,25 \text{ cm}$$

$$v_{Rd,sy} = 0,614 \text{ N/mm}^2 > v_{Ed}$$

Tabelle 3 auf Seite 2

alternativ mit EQ-Zulageträgern

Gitterträger laut Montage

E13-06610 – Abstand = 62,5cm

$$v_{Rd,sy} = 0,226 \text{ N/mm}^2 \text{ (= Widerstand Stahltragfähigkeit)}$$

$$< v_{Ed} = 0,593 \text{ N/mm}^2$$

→ E-Gitterträger im Abstand von 62,5cm als Querkraftbewehrung nicht ausreichend

Tabelle 3 auf Seite 2

Beispiele zu FI-NORM E-1-4539

$$\begin{aligned}\Delta V_{Rd, sy} &= V_{Ed} - V_{Rd, sy} \\ &= 0,593 - 0,226 \\ &= 0,367 \text{ N/mm}^2\end{aligned}$$

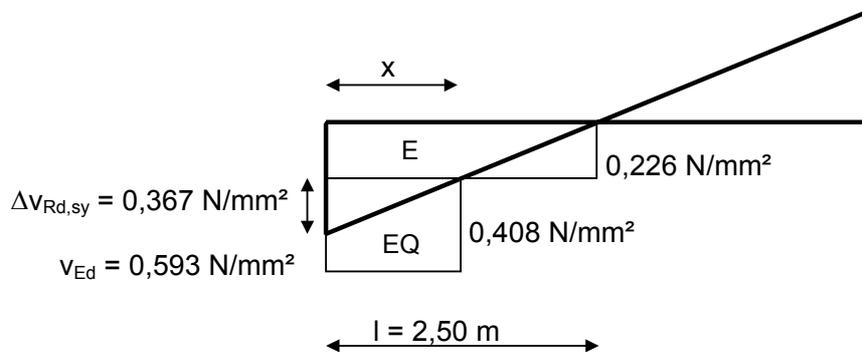
→ **Zulageträger** gewählt

→ EQ13 – Abstand 83 cm (3 Träger / 2,5m Element)
 $= 0,408 \text{ N/mm}^2 > \Delta V_{Rd, sy}$

Tabelle 4 auf Seite 2

$$\begin{aligned}V_{Rd, sy} &= 0,226 \text{ N/mm}^2 + 0,408 \text{ N/mm}^2 \\ \underline{V_{Rd, sy}} &= \underline{0,634 \text{ N/mm}^2} > V_{Ed}\end{aligned}$$

Ermittlung der Zulageträgerlänge zu Beispiel 2



$$\begin{aligned}v_{Ed} / l &= \Delta V_{Rd, sy} / x \\ x &= \Delta V_{Rd, sy} \cdot l / v_{Ed} \\ x &= 0,367 \cdot 2,5 / 0,593 \\ x &= 1,55 \text{ m}\end{aligned}$$

gewählt $x = 1,60 \text{ m}$

Beispiele zu FI-NORM E-1-4539

Beispiel 3: Berechnung mit variabler Druckstrebenneigung

Vorgaben:

wie Beispiel 2

a) Ermittlung der Druckstrebenneigung (Annahme glatte Fuge)

$$1 \leq \cot \theta \leq 1,2 \cdot \mu / (1 - v_{Rd,ct} / v_{Ed}) \leq 3$$

mit $v_{Rd,ct} = 0,160 \text{ N/mm}^2$

Tabelle 2 auf Seite 1

$$1 \leq \cot \theta \leq 1,2 \cdot 0,6 / (1 - 0,160 / 0,593) = 0,99 \quad (\text{s. Z-15.1-147, Anlage 10, Gleichung (4)})$$

→ $\cot \theta \approx 1,0$ → Bemessung wie Beispiel 2 mit E-1-4539

a) Ermittlung des Widerstandes der unbewehrten Verbundfuge $v_{Rd,ct}$ (Annahme raue Fuge)

$$v_{Rd,ct} = 0,042 \cdot \beta_{ct} \cdot f_{ck}^{1/3} \quad (\text{s. Z-15.1-147, Anlage 10, Gleichung (2)})$$

$$v_{Rd,ct} = 0,042 \cdot 2 \cdot 20^{1/3}$$

$$v_{Rd,ct} = 0,228 \text{ N/mm}^2$$

vgl. Tabelle 2 auf Seite 1

b) Ermittlung der Druckstrebenneigung – $\cot \theta$

$$1 \leq \cot \theta \leq 1,2 \cdot \mu / (1 - v_{Rd,ct} / v_{Ed}) \leq 3 \quad (\text{s. Z-15.1-147, Anlage 10, Gleichung (4)})$$

$$1 \leq \cot \theta \leq 1,2 \cdot 0,7 / (1 - 0,228 / 0,593) = 1,36 \quad (\theta = 36^\circ)$$

→ gewählt $\cot \theta = 1,36 > 1,0$

c) Ermittlung von $v_{Rd,sy}$

$$v_{Rd,sy} = a_s \cdot f_{yd} \cdot (\cot \theta + \cot \alpha) \cdot \sin \alpha$$

mit $f_{yd} = 420 / 1,15$ (glatte Diagonalen – BSt 500 G)

$\alpha = 57^\circ$ (E-Gitterträger Bauhöhe 13cm)

$b = 1 \text{ m}$

$$a_s = 2 \cdot \pi \cdot 0,007^2 / 4 / 0,2 = 385 / 10^6 \text{ m}^2/\text{m}^2$$

(2 Diagonalen $\varnothing 7 \text{ mm}$ im Knotenpunktabstand 0,2m)

$$v_{Rd,sy,E} = 0,237 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{aufnehmbare Schubkraft für einen Träger pro Meter})$$

erf. Abstand $\leq v_{Rd,sy} / v_{Ed}$

erf. Abstand $\leq 0,237 / 0,593$

erf. Abstand $\leq 0,40 \text{ m}$

→ gewählter Abstand = 36 cm (7 Träger / 2,5m Element)

d) Ermittlung von $V_{Rd,max}$

$$V_{Rd,max} = 0,3 \cdot b_w \cdot z \cdot \alpha_c \cdot f_{cd} \cdot (\cot \theta + \cot \alpha) / (1 + \cot^2 \theta) \cdot k$$

mit $f_{cd} = \alpha \cdot f_{ck} / \gamma_c = 0,85 \cdot 20 / 1,5 = 11,3 \text{ N/mm}^2$

$\alpha_c = 0,75$

$b_w = 1 \text{ m}$

$$k = 1 + \sin(\alpha - 55^\circ) = 1 + \sin(57^\circ - 55^\circ) = 1,03$$

$$V_{Rd,max} = 0,3 \cdot 1 \cdot 135 \cdot 0,75 \cdot 11,3 \cdot (1,36 + 1/\tan 57^\circ) / (1 + 1,36^2) \cdot 1,03$$

$$V_{Rd,max} = 249 \text{ kN/m}$$

→ $V_{Ed} < V_{Rd,max}$