

Liapor - Leichtbeton

Bemessungshilfen für Konstruktionsleichtbeton

Leichtbeton mit geschlossenem Gefüge; Allgemeine Regeln
Grundlagen und Anwendungsregeln für den Hoch- und Ingenieurbau
nach DIN EN 1992-1-1 (01/2011), DIN EN 1992-1-1/NA (EC2-1-1)

Bearbeitung: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Martina Schnellenbach-Held,
Institut für Massivbau, Universität Duisburg-Essen



Bildquelle: Hanns Joosten

Bemessungshilfen für Konstruktionsleichtbeton

Leichtbeton mit geschlossenem Gefüge; Allgemeine Regeln
 Grundlagen und Anwendungsregeln für den Hoch- und Ingenieurbau
 nach DIN EN 1992-1-1 (01/2011), DIN EN 1992-1-1/NA (EC2-1-1), 04/2013

Bearbeitung: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Martina Schnellenbach-Held,
 Institut für Massivbau, Universität Duisburg-Essen

1 Gültigkeitsbereich

Bemessung und Konstruktion von Tragwerken des Hoch- und Ingenieurbaus aus Stahlbeton und Spannbeton unter Verwendung von Leichtbeton mit geschlossenem Gefüge.
 (Trockenrohddichte: $800 \text{ kg/m}^3 < \rho \leq 2000 \text{ kg/m}^3$; hergestellt unter Verwendung von grober leichter Gesteinskörnung)

2 Materialkenngößen

Tabelle 1: Rohdichteklassen und Bemessungsrohddichten, η - Beiwerte

Rohdichteklasse		1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0
Trockenrohddichte ρ [kg/m^3]		801-1000	1001-1200	1201-1400	1401-1600	1601-1800	1801-2000
Wichte für Bemessungslast [kg/m^2]	unbewehrt	1050	1250	1450	1650	1850	2050
	bewehrt	1150	1350	1550	1750	1950	2150
η_1		$0,40 + 0,60 \cdot \frac{\rho}{2200}$; ρ in kg/m^3					
η_E		$\left(\frac{\rho}{2200}\right)^2$; ρ in kg/m^3					

Tabelle 2: Charakteristische Druckfestigkeit und Würfeldruckfestigkeit [N/mm^2], Elastizitätsmodul E_{lcm} [kN/mm^2] und Zugfestigkeit f_{lctm} [N/mm^2] in Abhängigkeit der Rohdichte

Festigkeitsklassen ^{a)}	LC ^{b)} 12/13	LC 16/18	LC 20/22	LC 25/28	LC 30/33	LC 35/38	LC 40/44	LC 45/50	LC 50/55	LC 55/60	LC 60/66	LC 70/77	LC 80/88
f_{lck}	12	16	20	25	30	35	40	45	50	55	60	70	80
$f_{lck,cube}$	13	18	22	28	33	38	44	50	55	60	66	77	88
f_{lcm}	17	22	28	33	38	43	48	53	58	63	68	78	88
E_{lcm}	$27 \cdot \eta_E$	$29 \cdot \eta_E$	$30 \cdot \eta_E$	$31 \cdot \eta_E$	$33 \cdot \eta_E$	$34 \cdot \eta_E$	$35 \cdot \eta_E$	$36 \cdot \eta_E$	$37 \cdot \eta_E$	$38 \cdot \eta_E$	$39 \cdot \eta_E$	$41 \cdot \eta_E$	$42 \cdot \eta_E$
f_{lctm}	$1,6 \cdot \eta_1$	$1,9 \cdot \eta_1$	$2,2 \cdot \eta_1$	$2,6 \cdot \eta_1$	$2,9 \cdot \eta_1$	$3,2 \cdot \eta_1$	$3,5 \cdot \eta_1$	$3,8 \cdot \eta_1$	$4,1 \cdot \eta_1$	$4,2 \cdot \eta_1$	$4,4 \cdot \eta_1$	$4,6 \cdot \eta_1$	$4,8 \cdot \eta_1$
$f_{lck,0,05}$	$1,1 \cdot \eta_1$	$1,3 \cdot \eta_1$	$1,5 \cdot \eta_1$	$1,8 \cdot \eta_1$	$2,0 \cdot \eta_1$	$2,2 \cdot \eta_1$	$2,5 \cdot \eta_1$	$2,7 \cdot \eta_1$	$2,9 \cdot \eta_1$	$3,0 \cdot \eta_1$	$3,1 \cdot \eta_1$	$3,2 \cdot \eta_1$	$3,4 \cdot \eta_1$

a) Für die Einstufung in die Festigkeitsklasse für die Bemessung ist nur die Zylinderdruckfestigkeit relevant.

b) Ermüdungsnachweise mit der Festigkeitsklasse LC12/13 sind nicht zulässig.

Tabelle 3: Endkriechzahl $\varphi_l(\infty, t_0)$

Festigkeitsklasse	Kriechzahl
LC 12/13 und LC 16/18	$\varphi_l(\infty, t_0) = 1,3 \cdot \varphi(\infty, t_0) \cdot \eta_E$
LC 20/22 bis LC 80/88	$\varphi_l(\infty, t_0) = 1,0 \cdot \varphi(\infty, t_0) \cdot \eta_E$

Tabelle 4: Endschwindmaß $\varepsilon_{lcs}(\infty)$ [ρ_{100}]

Festigkeitsklasse	Schwindzahl
LC 12/13 und LC 16/18	$\varepsilon_{lcs}(\infty) = 1,5 \cdot \varepsilon_{cs}(\infty)$
LC 20/22 bis LC 80/88	$\varepsilon_{lcs}(\infty) = 1,2 \cdot \varepsilon_{cs}(\infty)$

3 Betondeckung

Tabelle 5: Mindestbetondeckung

	Expositions- klasse	1		2		3	
		Mindestbetondeckung $c_{min,dur}$ [mm] ^{a,b}				Vorhaltemaß Δc_{dev} [mm] ^f	
		Betonstahl		Spannglieder im sofortigen Verbund und im nachträglichen Verbund ^d			
1	XC1	10		20		10	
2	XC2 und XC3	20		30		15	
	XC4	25		35			
3	XD1 bis XD3 ^e	40		50			
4	XS1 bis XS3	40		50			

^a Verringerung um 5 mm für Bauteile, deren Festigkeitsklasse nach DIN EN 1992-1-1, Tab. 4.3DE gewählt wird (außer für XC1). Zur Sicherstellung der Dauerhaftigkeit sind zusätzliche Anforderungen an die Zusammensetzung und die Eigenschaften des Betons nach DIN EN 206-1 und DIN 1045-2 zu berücksichtigen.

^b Wird Ortbeton kraftschlüssig mit einem Fertigteil verbunden, dürfen die Werte für die der Fuge zugewandten Rändern auf 5 mm im Fertigteil und auf 10 mm im Ortbeton verringert werden. Die Bedingungen zur Sicherstellung des Verbundes nach DIN EN 1992-1-1, 4.4.1.2 (3) müssen eingehalten werden, wenn die Bewehrung im Bauzustand ausgenutzt wird. In diesen Fällen darf auf das Vorhaltemaß verzichtet werden.

^c Die Mindestbetondeckung bezieht sich bei Spanngliedern im nachträglichen Verbund auf die Oberfläche des Hüllrohrs.

^d Im Einzelfall können besondere Maßnahmen zum Korrosionsschutz der Bewehrung nötig sein.

^e Abminderung um 5 mm möglich, wenn dies durch eine entsprechende Qualitätskontrolle gerechtfertigt werden kann.

^f Bei Bauteilen aus Leichtbeton muß die Mindestbetondeckung $c_{min,b}$, außer für die Expositionsklasse XC1, mindestens 5 mm größer sein als der Durchmesser des Größtkorns der leichten Gesteinskörnung.

▪ Mindestbetondeckung $c_{min,dur} \geq \text{Stabdurchmesser } \phi + 5 \text{ mm}$ bzw. $c_{min,dur} \geq \phi_n + 5 \text{ mm}$

4 Spannungsdehnungslinien des Leichtbetons

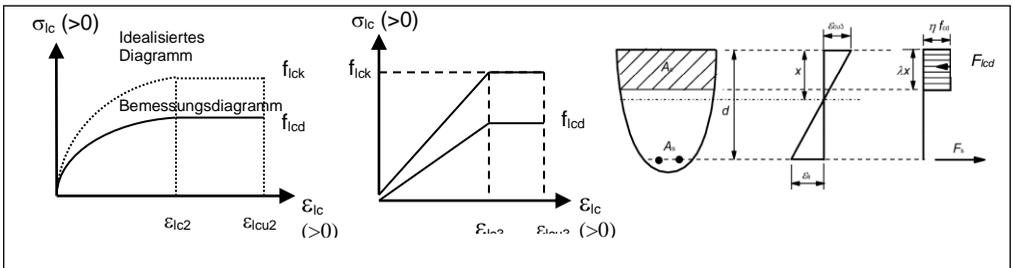


Tabelle 6: Formänderungskennwerte von Leichtbeton

$f_{lcd} = \alpha_{lc} \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c}$	α_{lc}	f_{lck}	12 ^a	16	20	25	30	35	40	45	50	55	60	70	80		
Parabel-Rechteck-Diagramm	0,75	η	2,0										1,75	1,6	1,45	1,4	
		ϵ_{lc2}	2,0										2,2	2,3	2,4	2,5	
		ϵ_{lcu2}	[3,5 · η_1] ≥ [ε _{lc2}]										3,1· η_1	2,9· η_1	2,7· η_1	2,6· η_1	
bilineares-Diagramm	0,80	ϵ_{lc3}	1,75										1,8	1,9	2,0	2,2	
		ϵ_{lcu3}	[3,5 · η_1] ≥ [ε _{lc3}]										3,1· η_1	2,9· η_1	2,7· η_1	2,6· η_1	
		η	1,0										1,25 - $f_{lck} / 200$				
Spannungs-block	0,75	ϵ_{lcu3}	[3,5 · η_1] ≥ [ε _{lc3}]										3,1· η_1	2,9· η_1	2,7· η_1	2,6· η_1	
		λ	0,80										0,925 - $f_{lck} / 400$				
		Sofern die Breite der Druckzone zum gedrückten Querschnittsrand hin abnimmt, sollte der Wert $\eta \cdot f_{lck}$ um 10 % abgemindert werden.															

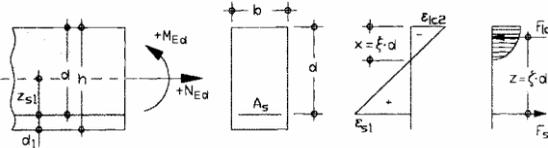
^a Ermüdungsnachweise mit der Festigkeitsklasse LC12/13 sind nicht zulässig.

5 Biegebemessung von Rechteckquerschnitten

Bei den abgebildeten Bemessungstafeln handelt es sich um Tafeln mit dimensionslosen Beiwerten. Die Tafel 1 gilt für Querschnitte ohne, die Tafeln 2 und 3 für Querschnitte mit Druckbewehrung.

Hinweis: Für Querschnitte mit Druckbewehrung ist bei der Ermittlung von ω_2 zur Bestimmung von A_{s2} als maßgebender Rechenwert der Trockenrohddichte der kleinste Wert der zugehörigen Rohdichteklasse aus Tabelle 1 zu entnehmen.

Tafel 1: Bemessungstafel für Leichtbeton aller Rohdichten mit dimensionslosen Beiwerten für den Rechteckquerschnitt ohne Druckbewehrung (LC 12/13 + LC 50/55)
(DIN EN 1992-1-1 - Parabel-Rechteck-Diagramm, $\alpha_{lcc} = 0,75$, B500, $\gamma_s = 1,15$)



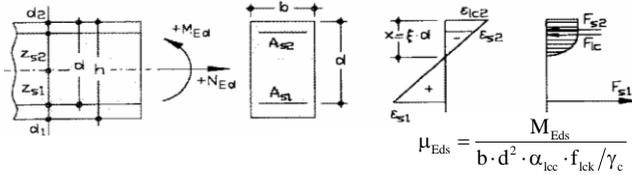
$$\mu_{Eds} = \frac{M_{Eds}}{b \cdot d^2 \cdot \alpha_{lcc} \cdot f_{lck} / \gamma_c}$$

$$A_{s1} = \frac{1}{\sigma_{sd}} \left(\omega_{1,M} \cdot b \cdot d \cdot \frac{\alpha_{lcc} \cdot f_{lck}}{\gamma_c} + N_{Ed} \right)$$

	μ_{Eds}	$\omega_{1,M}$	$\xi = x/d$	$\zeta = z/d$	$ \epsilon_{c2} $	$ \epsilon_{s1} $	$\sigma_{sd} - B500$
	[-]	[-]	[-]	[-]	[‰]	[‰]	[N/mm ²]
alle Rohdichten > 800	0,01	0,0101	0,030	0,990	0,77	25,00	456,5
	0,02	0,0203	0,044	0,985	1,15	25,00	456,5
	0,03	0,0306	0,055	0,980	1,46	25,00	456,5
	0,04	0,0410	0,066	0,976	1,76	25,00	456,5
	0,05	0,0515	0,076	0,971	2,06	25,00	456,5
	0,06	0,0621	0,090	0,966	2,16	21,93	453,6
	0,07	0,0729	0,105	0,960	2,16	18,36	450,2
	0,08	0,0839	0,121	0,954	2,16	15,69	447,7
	0,09	0,0950	0,137	0,948	2,16	13,60	445,7
	0,10	0,1062	0,153	0,942	2,16	11,93	444,1
	0,11	0,1176	0,170	0,935	2,16	10,57	442,8
	0,12	0,1292	0,187	0,929	2,16	9,43	441,7
	0,13	0,1409	0,204	0,923	2,16	8,46	440,8
	0,14	0,1528	0,221	0,916	2,16	7,63	440,0
	0,15	0,1650	0,238	0,909	2,16	6,91	439,3
	0,16	0,1773	0,256	0,903	2,16	6,28	438,7
	0,17	0,1898	0,274	0,896	2,16	5,72	438,2
	0,18	0,2025	0,293	0,889	2,16	5,23	437,7
	0,19	0,2155	0,312	0,882	2,16	4,78	437,3
	0,20	0,2288	0,331	0,874	2,16	4,38	436,9
0,21	0,2423	0,350	0,867	2,16	4,02	436,5	
0,22	0,2560	0,370	0,859	2,16	3,68	436,2	
0,23	0,2701	0,390	0,852	2,16	3,38	435,9	
0,24	0,2845	0,411	0,844	2,16	3,10	435,7	
0,25	0,2992	0,432	0,836	2,16	2,84	435,4	
0,26	0,3143	0,454	0,827	2,16	2,60	435,2	
0,27	0,3298	0,477	0,819	2,16	2,38	435,0	
> 1000	0,28	0,3437	0,479	0,815	2,35	2,56	435,1
	0,29	0,3598	0,502	0,806	2,35	2,34	434,9
> 1200	0,30	0,3746	0,507	0,801	2,55	2,47	435,1
	0,31	0,3914	0,530	0,792	2,55	2,25	434,9
> 1400	0,32	0,4072	0,538	0,786	2,74	2,35	434,9
> 1600	0,33	0,4236	0,549	0,779	2,93	2,41	435,0
	0,34	0,4419	0,572	0,769	2,93	2,19	434,8
> 1800	0,35	0,4594	0,584	0,762	3,12	2,22	434,8
Rohdichte = 2000	0,36	0,4778	0,598	0,754	3,31	2,22	434,8
	0,37	0,4979	0,624	0,743	3,31	2,00	399,6
	0,38	0,5189	0,650	0,732	3,31	1,78	356,6
	0,39	0,5410	0,677	0,721	3,31	1,58	315,1
	0,40	0,5643	0,707	0,709	3,31	1,37	274,8
	0,41	0,5890	0,738	0,696	3,31	1,18	235,5
	0,42	0,6154	0,771	0,683	3,31	0,99	197,0
	0,43	0,6439	0,806	0,668	3,31	0,79	158,9
	0,44	0,6752	0,846	0,652	3,31	0,60	120,9
	0,45	0,7103	0,889	0,634	3,31	0,41	82,2

Tafel 2: Bemessungstafel für Leichtbeton mit dimensionslosen Beiwerten für den Rechteckquerschnitt mit Druckbewehrung (LC 12/13 + LC 50/55)

(DIN EN 1992-1-1 - Parabel-Rechteck-Diagramm, $\alpha_{lcc} = 0,75$, B500, $\gamma_s = 1,15$)



$$A_{s1} = \omega_{1,M} \cdot b \cdot d \cdot \frac{\alpha_{lcc} \cdot f_{lck} + N_{Ed}}{\gamma_c \cdot f_{yd} + f_{yd}}$$

$$A_{s2} = \omega_2 \cdot b \cdot d \cdot \frac{\alpha_{lcc} \cdot f_{lck}}{\gamma_c \cdot f_{yd}}$$

$$\mu_{Eds} = \frac{M_{Eds}}{b \cdot d^2 \cdot \alpha_{lcc} \cdot f_{lck} / \gamma_c}$$

μ_{Eds} für $\rho > 800$ $\xi_{lim} = 0,499$	μ_{Eds} für $\rho > 1000$ $\xi_{lim} = 0,520$	μ_{Eds} für $\rho > 1200$ $\xi_{lim} = 0,539$	μ_{Eds} für $\rho > 1400$ $\xi_{lim} = 0,557$	μ_{Eds} für $\rho > 1600$ $\xi_{lim} = 0,574$	μ_{Eds} für $\rho > 1800$ $\xi_{lim} = 0,589$	μ_{Eds} für $\rho > 2000$ $\xi_{lim} = 0,604$	d_2 / d	d_2 / d	d_2 / d	d_2 / d
							0,05	0,10	0,15	0,20
							$\omega_{1,M}$	$\omega_{1,M}$	$\omega_{1,M}$	$\omega_{1,M}$
0,28							0,345	0,345	0,346	0,346
0,29							0,356	0,357	0,357	0,358
0,30							0,367	0,368	0,369	0,371
0,31	0,30						0,377	0,379	0,381	0,383
0,32	0,31						0,388	0,390	0,393	0,396
0,33	0,32						0,398	0,401	0,404	0,408
0,34	0,33	0,32					0,409	0,412	0,416	0,421
0,35	0,34	0,33					0,419	0,423	0,428	0,433
0,36	0,35	0,34	0,33				0,430	0,434	0,440	0,446
0,37	0,36	0,35	0,34				0,440	0,445	0,451	0,458
0,38	0,37	0,36	0,35	0,35			0,451	0,457	0,463	0,471
0,39	0,38	0,37	0,36	0,36			0,461	0,468	0,475	0,483
0,40	0,39	0,38	0,37	0,37	0,36		0,472	0,479	0,487	0,496
0,41	0,40	0,39	0,38	0,38	0,37		0,482	0,490	0,498	0,508
0,42	0,41	0,40	0,39	0,39	0,38	0,37	0,493	0,501	0,510	0,521
0,43	0,42	0,41	0,40	0,40	0,39	0,38	0,503	0,512	0,522	0,533
0,44	0,43	0,42	0,41	0,41	0,40	0,39	0,514	0,523	0,534	0,546
0,45	0,44	0,43	0,42	0,42	0,41	0,40	0,524	0,534	0,546	0,558
0,46	0,45	0,44	0,43	0,43	0,42	0,41	0,535	0,545	0,557	0,571
0,47	0,46	0,45	0,44	0,44	0,43	0,42	0,545	0,557	0,569	0,583
0,48	0,47	0,46	0,45	0,45	0,44	0,43	0,556	0,568	0,581	0,596
0,49	0,48	0,47	0,46	0,46	0,45	0,44	0,567	0,579	0,593	0,608
0,50	0,49	0,48	0,47	0,47	0,46	0,45	0,577	0,590	0,604	0,621
0,51	0,50	0,49	0,48	0,48	0,47	0,46	0,588	0,601	0,616	0,633
0,52	0,51	0,50	0,49	0,49	0,48	0,47	0,598	0,612	0,628	0,646
0,53	0,52	0,51	0,50	0,50	0,49	0,48	0,609	0,623	0,640	0,658
0,54	0,53	0,52	0,51	0,51	0,50	0,49	0,619	0,634	0,651	0,671
0,55	0,54	0,53	0,52	0,52	0,51	0,50	0,630	0,645	0,663	0,683
0,56	0,55	0,54	0,53	0,53	0,52	0,51	0,640	0,657	0,675	0,696
0,57	0,56	0,55	0,54	0,54	0,53	0,52	0,651	0,668	0,687	0,708
0,58	0,57	0,56	0,55	0,55	0,54	0,53	0,661	0,679	0,698	0,721
0,59	0,58	0,57	0,56	0,56	0,55	0,54	0,672	0,690	0,710	0,733

Tafel 3: Rechteckquerschnitt mit Druckbewehrung, Beiwert ω_2

μ_{Eds} für $\rho > 800$	μ_{Eds} für $\rho > 1000$	μ_{Eds} für $\rho > 1200$	μ_{Eds} für $\rho > 1400$	μ_{Eds} für $\rho > 1600$	μ_{Eds} für $\rho > 1800$	μ_{Eds} für $\rho > 2000$	$d_2/d = 0,05$		$d_2/d = 0,10$		$d_2/d = 0,15$		$d_2/d = 0,20$	
							$\omega_{2,\rho=800}$	λ_{lc}	$\omega_{2,\rho=800}$	λ_{lc}	$\omega_{2,\rho=800}$	λ_{lc}	$\omega_{2,\rho=800}$	λ_{lc}
0,28							0,000	[-]	0,000	[-]	0,001	[-]	0,001	[-]
0,29							0,012	[-]	0,014	[-]	0,017	[-]	0,022	[-]
0,30	0,30						0,024	0,071	0,028	0,085	0,034	0,103	0,043	0,127
0,31	0,31						0,036	0,075	0,042	0,089	0,051	0,108	0,064	0,135
0,32	0,32	0,32					0,047	0,085	0,056	0,102	0,068	0,124	0,085	0,154
0,33	0,33	0,33	0,33				0,059	0,091	0,070	0,108	0,085	0,131	0,106	0,163
0,34	0,34	0,34	0,34				0,071	0,093	0,084	0,113	0,102	0,138	0,127	0,171
0,35	0,35	0,35	0,35	0,35			0,083	0,096	0,098	0,115	0,119	0,141	0,147	0,176
0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36		0,094	0,097	0,112	0,117	0,136	0,143	0,168	0,178
0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	0,106	0,098	0,126	0,117	0,153	0,143	0,189	0,180
0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,118	0,099	0,140	0,120	0,170	0,149	0,210	0,188
0,39	0,39	0,39	0,39	0,39	0,39	0,39	0,130	0,100	0,154	0,123	0,187	0,154	0,231	0,196
0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,141	0,102	0,168	0,126	0,203	0,159	0,252	0,205
0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	0,153	0,103	0,182	0,129	0,220	0,164	0,273	0,213
0,42	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42	0,165	0,104	0,196	0,132	0,237	0,169	0,294	0,222
0,43	0,43	0,43	0,43	0,43	0,43	0,43	0,177	0,105	0,210	0,134	0,254	0,174	0,315	0,230
0,44	0,44	0,44	0,44	0,44	0,44	0,44	0,188	0,106	0,224	0,137	0,271	0,179	0,336	0,239
0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,200	0,108	0,238	0,140	0,288	0,185	0,357	0,247
0,46	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46	0,212	0,109	0,252	0,143	0,305	0,190	0,378	0,256
0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	0,224	0,110	0,266	0,146	0,322	0,195	0,399	0,264
0,48	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48	0,235	0,111	0,280	0,149	0,339	0,200	0,420	0,273
0,49	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49	0,247	0,113	0,294	0,152	0,356	0,205	0,441	0,281
0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,259	0,114	0,308	0,154	0,372	0,210	0,462	0,290
0,51	0,51	0,51	0,51	0,51	0,51	0,51	0,271	0,115	0,322	0,157	0,389	0,215	0,483	0,298
0,52	0,52	0,52	0,52	0,52	0,52	0,52	0,283	0,116	0,336	0,160	0,406	0,221	0,504	0,307
0,53	0,53	0,53	0,53	0,53	0,53	0,53	0,294	0,118	0,350	0,163	0,423	0,226	0,525	0,315
0,54	0,54	0,54	0,54	0,54	0,54	0,54	0,306	0,119	0,364	0,166	0,440	0,231	0,546	0,323
0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,318	0,120	0,377	0,169	0,457	0,236	0,567	0,332
0,56	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56	0,330	0,121	0,391	0,172	0,474	0,241	0,588	0,340
0,57	0,57	0,57	0,57	0,57	0,57	0,57	0,341	0,122	0,405	0,174	0,491	0,246	0,609	0,349
0,58	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58	0,353	0,124	0,419	0,177	0,508	0,251	0,630	0,357
0,59	0,59	0,59	0,59	0,59	0,59	0,59	0,365	0,125	0,433	0,180	0,525	0,256	0,651	0,366

Zwischenwerte dürfen linear interpoliert werden

- für alle Rohdichten ≥ 1000 gilt: $\omega_2 = \omega_{2,\rho=800} - \lambda_{lc} \left(\frac{\rho - 800}{1200} \right)^{2/3}$ $\rho =$ maßgebende Bemessungsrohddichte in kg/m^3
- für Rohdichte = 800 ÷ 1000 $\rightarrow \omega_2 = \omega_{2,\rho=800}$

Bemessungsbeispiel: Beton LC 30/33; Trockenrohddichte $\rho = 1500 kg/m^3$

\rightarrow Rohdichteklasse: D 1,6 \rightarrow maßgebende Bemessungsrohddichte: $\rho = 1401 kg/m^3$

Stahl: B500A	Schnittgrößen: $M_{Ed} = 0,60$ MNm	Bemessung: $\omega_{1,M} = 0,479$
Bemessungswerte:	$N_{Ed} = 0$ MN	$\lambda_{lc} = 0,117$
$f_{cd} = 15$ MN/m ²	Eingangswerte: $M_{Eds} = 0,60$ MNm	$\omega_{2,\rho=800} = 0,126$
$f_{yd} = 435$ MN/m ²	$\mu_{Eds} = 0,37$	$\omega_2 = 0,052$
Abmessungen: $b/d = 0,3/0,6$ m		$A_{s1,req} = 29,73$ cm ²
$d_2 = 0,06$ m		$A_{s2,req} = 3,23$ cm ²
$d_2/d = 0,10$		

6 Querkraftbemessung

Die Tragfähigkeit für Querkraft wird durch verschiedene Versagensmechanismen begrenzt. Deshalb gelten folgende Bemessungswerte der aufnehmbaren Querkraft:

$V_{IRd,c}$ Bemessungswert der Querkrafttragfähigkeit ohne Querkraftbewehrung

$V_{IRd,s}$ Bemessungswert der Querkrafttragfähigkeit mit Querkraftbewehrung

$V_{IRd,max}$ Bemessungswert der Querkrafttragfähigkeit der durch die Druckstrebenfestigkeit begrenzten maximal aufnehmbaren Querkraft

Bauteile ohne rechnerisch erforderliche Querkraftbewehrung $V_{Rd,c}$

Der Bemessungswert der Querkrafttragfähigkeit $V_{Rd,c}$ biegebewehrter Bauteile ohne Querkraftbewehrung ist i. A. nach Gleichung (1) zu ermitteln.

$$V_{IRd,c} = \left[C_{IRd,c} \cdot \eta_1 \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} + k_1 \cdot \sigma_{cp} \right] \cdot b_w \cdot d \quad (1)$$

mit einem Mindestwert

$$V_{IRd,c} \geq (\eta_1 \cdot v_{1,min} + k_1 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d$$

mit:

$$C_{IRd,c} = 0,15 / \gamma_c$$

η_1 = Beiwert für Leichtbeton nach Tabelle 1

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} \leq 2,0 \quad \text{mit } d \text{ in [mm]}$$

ρ_l der Längsbewehrungsgrad mit:

$$\rho_l = \frac{A_{sl}}{b_w \cdot d} \leq 0,02 \quad \text{in N/mm}^2$$

A_{sl} die Fläche der Zugbewehrung, die mindestens um das Maß $l_{bd} + d$ über den betrachteten Querschnitt hinaus geführt und dort wirksam verankert wird.

k_1 = 0,12

σ_{cp} die mittlere Druckspannung im Querschnitt infolge von Normalkräften und einer Vorspannung mit:

$$\sigma_{cp} = \frac{N_{Ed}}{A_c} < 0,2 \cdot f_{ctd}$$

N_{Ed} die Normalkraft im Querschnitt infolge Lastbeanspruchung oder Vorspannung ($N_{Ed} > 0$ als Längsdruckkraft)

b_w die kleinste Querschnittsbreite innerhalb der Zugzone des Querschnitts in mm

$v_{1,min} = (0,0525 / \gamma_c) \cdot k^{3/2} \cdot f_{lck}^{1/2}$ für $d \leq 600$ mm

$= (0,0375 / \gamma_c) \cdot k^{3/2} \cdot f_{lck}^{1/2}$ für $d > 800$ mm (Zwischenwerte dürfen interpoliert werden)

In ungerissenen Bereichen (wenn nachgewiesen wird, dass die Biegezugspannung im Grenzzustand der Tragfähigkeit stets kleiner ist als $f_{lck;0,05} / \gamma_c$) darf die Querkrafttragfähigkeit auf Grundlage der Betonzugfestigkeit wie folgt berechnet werden:

$$V_{IRd,c} = \frac{I \cdot b_w}{S} \cdot \sqrt{(f_{lctd})^2 + \alpha_1 \cdot \sigma_{cp} \cdot f_{lctd}} \quad (2)$$

mit:

I das Flächenträgheitsmoment 2. Grades des Querschnitts

S das Flächenmoment 1. Grades des Querschnitts (Statisches Moment)

$\alpha_1 = l_x / l_{pt2} \leq 1,0$ für Spannglieder im sofortigem Verbund

$= 1$ für andere Arten der Vorspannung

l_x der Abstand des betrachteten Querschnitts vom Beginn der Übertragungslänge

der obere Grenzwert der Übertragungslänge des Spanngliedes ($l_{pt2} = 1,2 \cdot l_{pt}$)

$f_{lctd} = \alpha_{lct} \cdot f_{lctk;0,05} / \gamma_c = 0,85 \cdot f_{lctk;0,05} / \gamma_c$; $f_{lctk;0,05}$ nach Tabelle 2

Bauteile mit rechnerisch erforderlicher Querkraftbewehrung

Veränderliche Druckstrebenneigung:

Die Neigung θ der Druckstreben des Fachwerks ist wie folgt zu begrenzen:

$$1,0 \leq \cot \theta \leq \frac{1,2 + 1,4 \cdot \sigma_{cd} / f_{lcd}}{1 - V_{Rd,cc} / V_{Ed}} \leq 2,0 \quad \text{für Leichtbeton}$$

Bei geneigter Bewehrung darf $\cot \theta$ bis 0,58 ausgenutzt werden.

Vereinfachend dürfen für $\cot \theta$ die folgenden Werte angesetzt werden:

reine Biegung: $\cot \theta = 1,2$ ($\theta = 40^\circ$)

Biegung und Längsdruckkraft: $\cot \theta = 1,2$ ($\theta = 40^\circ$)

Biegung und Längszugkraft: $\cot \theta = 1,0$ ($\theta = 45^\circ$)

mit Bemessungswert der Rissreibungskraft:

$$V_{Rd,cc} = \eta_l \left[c \cdot 0,48 \cdot f_{lck}^{1/3} \left(1 - 1,2 \cdot \frac{\sigma_{cd}}{f_{lcd}} \right) \cdot b_w \cdot z \right] \quad \text{mit } c = 0,5$$

σ_{cd} der Bemessungswert der Betonlängsspannung in Höhe des Schwerpunkts des Querschnitts mit:

$$\sigma_{cd} = \frac{N_{Ed}}{A_c}$$

Betonzugspannungen σ_{cd} sind negativ einzusetzen.

Querkraftbewehrung

Der Bemessungswert $V_{Rd,s}$ ist bei Bauteilen mit Querkraftbewehrung rechtwinklig zur Bauteilachse nach folgender Gleichung zu ermitteln:

$$V_{Rd,s} = \frac{A_{sw}}{s} \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot \cot \theta$$

(s entspricht dem Bügelabstand in Richtung der Bauteilachse)

Bei Bauteilen mit um α geneigter Querkraftbewehrung gilt:

$$V_{Rd,s} = \frac{A_{sw}}{s} \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot (\cot \theta + \cot \alpha) \cdot \sin \alpha$$

Betondruckstrebenfestigkeit $V_{Rd,max}$

Der Bemessungswert der maximalen Querkrafttragfähigkeit $V_{Rd,max}$ ist bei Bauteilen mit Querkraftbewehrung senkrecht zur Bauteilachse nach folgender Gleichung zu ermitteln:

$$V_{Rd,max} = \frac{\alpha_{cw} \cdot b_w \cdot z \cdot 0,75 \cdot \eta_1 \cdot f_{lcd}}{\cot \theta + \tan \theta} \quad \text{mit } \alpha_{cw} = 1,0$$

Bei Bauteilen mit um α geneigter Querkraftbewehrung:

$$V_{Rd,max} = \alpha_{cw} \cdot b_w \cdot z \cdot 0,75 \cdot \eta_1 \cdot f_{lcd} \cdot \frac{\cot \theta + \cot \alpha}{1 + \cot^2 \theta} \quad \text{mit } \alpha_{cw} = 1,0$$

Bemessungsbeispiel: Beton LC 30/33; Trockenrohdichte $\rho = 1500 \text{ kg/m}^3$

Stahl: B500A vorhandene Bewehrung: $\rho_l = 15 \text{ cm}^2 / (30 \text{ cm} \cdot 60 \text{ cm}) = 0,0083$

Bemessungswerte: Nachweis der Druckstrebe: $V_{Rd,max} = 1,0 \cdot 0,3 \cdot 0,54 \cdot 0,75 \cdot 0,809 \cdot 15 / (1,2 + 1/1,2)$
 $f_{lcd} = 15 \text{ MN/m}^2$ $= 0,725 \text{ MN} > V_{Ed} = 0,400 \text{ MN}$
 $f_{yd} = 435 \text{ MN/m}^2$

Querkraft: $V_{Ed} = 400 \text{ kN}$ Querkraftnachweis: $V_{Rd,c} = [0,1 \cdot 0,809 \cdot 1,58 \cdot (100 \cdot 0,0083 \cdot 30)^{1/3}] \cdot 0,3 \cdot 0,6$
Querschnitt: $b = 0,3 \text{ m}$ $= 0,067 \text{ MN}$
 $d = 0,6 \text{ m}$

Lotrechte Bügelbewehrung: $a_{sw} = 0,4 / (435 \cdot 0,9 \cdot 0,6 \cdot 1,2) \cdot 10^4$
 $= 14,2 \text{ cm}^2/\text{m}$

Beanspruchungsart:

reine Biegung \rightarrow vereinfachend: $\cot \theta = 1,2$

7 Biegeschlankheit

Der Nachweis der Begrenzung der Durchbiegung darf vereinfachend durch eine Begrenzung der Biegeschlankheit l/d geführt werden.

Für Decken des üblichen Hochbaus aus Leichtbeton gelten die folgenden Besonderheiten:

Begrenzung der Biegeschlankheit

$$l/d = \eta_E^{0,15} \cdot K \cdot G_{l/d} \cdot k_1 \leq K \cdot 35 \cdot \eta_E^{0,15} \quad \text{für normale Anforderungen}$$

$$\leq K^2 \cdot 150 / l \cdot \eta_E^{0,15} \quad \text{für höhere Anforderungen}$$

(verformungsempfindliche Ausbauelemente)

mit:

l: maßgebende Stützweite
 (bei liniengelagerten Platten die kleinere Stützweite,
 bei punktförmig gelagerten Platten die größere Stützweite,
 bei 3-seitig gelagerten Platten die Länge parallel zum freien Rand)

η_E nach Tabelle 1

K: Beiwert zur Berücksichtigung des statischen Systems

Einfeldträger	Endfeld (Durchlaufräger)	Innenfeld (Durchlaufräger)	Flachdecke	Kragträger
K = 1,0	K = 1,3	K = 1,5	K = 1,2	K = 0,4

$k_1 = 310 / \sigma_s$, falls Stahlspannung unter der Bemessungslast im GZG $\sigma_s \neq 310 \text{ N/mm}^2$ (ungerissener Querschnitt)

$k_2 = 0,8$, bei gegliederten Querschnitten (z. B. Plattenbalken) mit $b_{\text{eff}} / b_w > 3,0$

$k_3 = 7 / l_{\text{eff}}$, für Balken und Platten mit $l > 7,0 \text{ m}$ und erhöhten Anforderungen,
 = $8,5 / l_{\text{eff}}$, für Flachdecken mit $l > 8,5$ und erhöhten Anforderungen.

$G_{l/d}$: Grundwerte der Biegeschlankheit nach Tabelle 7

Tabelle 7: Grundwerte der Biegeschlankheit $G_{l/d}$ (Bauteile ohne Druckbewehrung)

ρ [%]	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
LC12/13	27	18	16	15	14	14	13	13	13	13	13	12	12	12	12	12	12	12	12
LC16/18		21	17	16	15	14	14	14	13	13	13	13	13	13	13	12	12	12	12
LC20/22		26	19	17	16	15	15	14	14	14	14	13	13	13	13	13	13	13	13
LC25/28		32	22	19	17	16	16	15	15	14	14	14	14	14	13	13	13	13	13
LC30/33			26	21	19	17	17	16	16	15	15	14	14	14	14	14	14	13	13
LC35/38			30	23	20	19	18	17	16	16	15	15	15	15	14	14	14	14	14
LC40/44			35	26	21	20	19	18	17	16	16	16	15	15	15	15	14	14	14
LC45/50				29	23	21	19	19	18	17	17	16	16	16	15	15	15	15	14
LC50/55				32	25	22	20	19	19	18	17	17	16	16	16	15	15	15	15
LC55/60				35	27	23	21	20	19	19	18	17	17	17	16	16	16	15	15
LC60/66					30	25	22	21	20	19	19	18	17	17	17	16	16	16	16
LC70/77					35	28	24	23	22	21	20	19	19	18	18	17	17	17	16
LC80/88						32	27	24	23	22	21	20	20	19	19	18	18	17	17

8 Bauliche Durchbildung

Stabdurchmesser

Stabdurchmesser in Leichtbetonbauteilen i. d. R. ≤ 32 mm

- Lichte Stababstände:**
- mindestens gleich dem größten Stabdurchmesser oder 20 mm
 - für ein Größtkorn $d_g > 16$ mm mindestens $d_g + 5$ mm

Mindestwerte der Biegerollendurchmesser:

Die Mindestwerte der Biegerollendurchmesser sind bei Verwendung von Leichtbeton um 50 % zu vergrößern.

Grundwert der Verankerungslänge $l_{b,rqd}$

$$l_{b,rqd} = \frac{\varnothing \cdot \sigma_{sd}}{4 \cdot f_{lbd}} \quad \text{mit} \quad f_{lbd} = 2,25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{lctd}$$

- mit: $\eta_1 = 1,0$ für gute Verbundbedingungen
 $= 0,7$ für mäßige Verbundbedingungen
 $\eta_2 = 1,0$ für $\varnothing \leq 32$ mm
 $= (132 - \varnothing) / 100$ für $\varnothing > 32$ mm
 $f_{lctd} = f_{lctk;0,05} / \gamma_c$; $f_{lctk;0,05}$ nach Tabelle 2

Tabelle 8: Bezogenes Grundmaß der Verankerungslänge $l_{b,rqd,bez}$ mit $f_{yd} = 435$ N/mm² und $\gamma_c = 1,5$

Verbund- bedin- gungen	Trocken- rohdichte	LC												
		12/13	16/18	20/22	25/28	30/33	35/38	40/44	45/50	50/55	55/60	60/66	70/77	80/88
gut	$\rho=1000$	98,0												
mäßig	kg/m ³	140,0												
gut	$\rho=1200$	90,6	76,7											
mäßig	kg/m ³	129,5	109,5											
gut	$\rho=1400$	84,3	71,3	61,8	51,5	46,4	42,2							
mäßig	kg/m ³	120,4	101,9	88,3	73,6	66,2	60,2							
gut	$\rho=1600$	78,8	66,7	57,8	48,2	43,3	39,4	34,7	32,1	29,9	28,9	28,0	27,1	25,5
mäßig	kg/m ³	112,6	95,3	82,6	68,8	61,9	56,3	49,5	45,9	42,7	41,3	39,9	38,7	36,4
gut	$\rho=1800$	74,0	62,6	54,3	45,2	40,7	37,0	32,6	30,1	28,1	27,1	26,3	25,4	23,9
mäßig	kg/m ³	105,7	89,4	77,5	64,6	58,1	52,8	46,5	43,1	40,1	38,8	37,5	36,3	34,2
gut	$\rho=2000$	69,7	59,0	51,1	42,6	38,3	34,9	30,7	28,4	26,4	25,6	24,7	24,0	22,6
mäßig	kg/m ³	99,6	84,3	73,0	60,9	54,8	49,8	43,8	40,6	37,8	36,5	35,3	34,2	32,2

Grundwert der Verankerungslänge: $l_{b,rqd} = l_{b,rqd,bez} \cdot \varnothing \cdot A_{s,rqd}/A_{s,prov}$

Erforderliche Verankerungslänge für Stäbe: $l_{lbd} = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_4 \cdot \alpha_5 \cdot l_{b,rqd} \geq l_{b,min}$

- mit $l_{b,min}$ Mindestwert der Verankerungslänge
für Zugstäbe: $l_{b,min} = 0,3 \cdot \alpha_1 \cdot \alpha_4 \cdot l_{b,rqd} \geq 10 \cdot \varnothing$
für Druckstäbe: $l_{b,min} = 0,6 \cdot l_{b,rqd} \geq 10 \cdot \varnothing$
 α_{1-5} Beiwerte nach DIN EN 1992-1-1, Tab. 8.2

Übergreifungslänge: $l_{l0} = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_5 \cdot \alpha_6 \cdot l_{b,rqd} \geq l_{l0,min}$

- mit $l_{l0,min} = 0,3 \cdot \alpha_6 \cdot l_{b,rqd} \geq (15 \cdot \varnothing; 200$ mm)
 α_{1-5} Beiwert nach DIN EN 1992-1-1, Tab. 8.2 mit NA
 α_6 Beiwert nach DIN EN 1992-1-1, Tab. 8.3 mit NA

9 Wärmeleitfähigkeit von Leichtbeton aus Liapor

Rohdichte [kg/m³]	Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit λ [W/(mK)]			
	Nach DIN 4108		nach allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung Z-23.11-1244	
	mit Quarzsand	ohne Quarzsand	mit Quarzsand	ohne Quarzsand
800	-	0,39	-	0,36
900	-	0,44	-	0,36
1000	-	0,49	-	0,36
1100	-	0,55	-	0,40
1200	-	0,62	-	0,45
1300	-	0,70	0,80	0,50
1400	0,95	0,79	0,80	0,55
1500	1,07	0,89	0,80	0,60
1600	1,20	1,00	0,80	0,65
1800	1,56	1,30	-	-
2000	1,92	1,60	-	-

10 Leichtbeton aus Liapor

Lieferprogramm		Materialeigenschaften	Betoneigenschaften
Sorte	Korngruppe [mm]	Kornrohddichte [kg/m³]	Festigkeitsklasse
Liapor 3,5	2/8	670 ± 50	LC12/13 LC16/18
Liapor 4,5	2/10	840 ± 50	LC16/18 LC20/22
Liapor 6,5	2/10	1190 ± 50	LC20/22 LC25/28 LC30/33 LC35/38 LC40/44
Liapor 8	4/8	1430 ± 50	LC40/44 LC45/50
Liapor 9,5*	4/8	1700 ± 50	LC50/55 LC55/60 LC60/66
Liapor-Sand K0/2	0/2	1770 ± 100	bis LC35/38
Liapor-Sand K0/4	0/4	1550 ± 100	bis LC35/38

* nur auf Bestellung lieferbar



08/2017

11 Weitere Informationen durch

Liapor GmbH & Co. KG
Industriestr. 2
D-91352 Hallerndorf
Tel. (++49) 9545/448-0
Fax (++49) 9545/448-80
E-Mail: info@liapor.com

Lias Österreich GesmbH
Fabrikstr. 11
A-8350 Fehring
Tel. (++43) 3155/2368-0
Fax (++43) 3155/2368-20
E-Mail: info@liapor.at

Lias Vintřov LSM. k.s.
CZ-35744 Vintřov

Tel. (++420) 352/3244-44
Fax (++420) 352/3244-99
E-Mail: info@liapor.cz

www.liapor.com