

# 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,  $\eta$  - Beiwerte**

Rohdichteklasse		1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0
Trockenrohddichte $\rho$ [ $\text{kg/m}^3$ ]		801-1000	1001-1200	1201-1400	1401-1600	1601-1800	1801-2000
Wichte für Bemessungslast [ $\text{kg/m}^2$ ]	unbewehrt	1050	1250	1450	1650	1850	2050
	bewehrt	1150	1350	1550	1750	1950	2150
$\eta_1$		$0,40 + 0,60 \cdot \frac{\rho}{2200}$ ; $\rho$ in $\text{kg/m}^3$					
$\eta_E$		$\left(\frac{\rho}{2200}\right)^2$ ; $\rho$ in $\text{kg/m}^3$					

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

Festigkeitsklassen <sup>a)</sup>	LC <sup>b)</sup> 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  $\varepsilon_{lcs}(\infty)$  [ $\rho_{l00}$ ]**

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	$\varepsilon_{lcs}(\infty) = 1,2 \cdot \varepsilon_{cs}(\infty)$

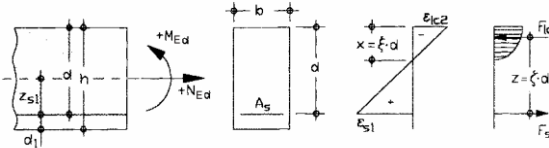


# 5 Biegebemessung von Rechteckquerschnitten

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  $\omega_2$  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,  $\gamma_s = 1,15$ )



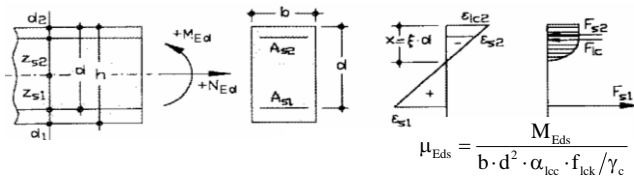
$$\mu_{Eds} = \frac{M_{Eds}}{b \cdot d^2 \cdot \alpha_{lcc} \cdot f_{lck} / \gamma_c}$$

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

	$\mu_{Eds}$	$\omega_{1,M}$	$\xi = x/d$	$\zeta = z/d$	$ \epsilon_{c2} $	$ \epsilon_{s1} $	$\sigma_{sd} - B500$
	[-]	[-]	[-]	[-]	[‰]	[‰]	[N/mm <sup>2</sup> ]
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,  $\gamma_s = 1,15$ )



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

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

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

$\mu_{Eds}$ für $\rho > 800$ $\xi_{lim} = 0,499$	$\mu_{Eds}$ für $\rho > 1000$ $\xi_{lim} = 0,520$	$\mu_{Eds}$ für $\rho > 1200$ $\xi_{lim} = 0,539$	$\mu_{Eds}$ für $\rho > 1400$ $\xi_{lim} = 0,557$	$\mu_{Eds}$ für $\rho > 1600$ $\xi_{lim} = 0,574$	$\mu_{Eds}$ für $\rho > 1800$ $\xi_{lim} = 0,589$	$\mu_{Eds}$ 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  $\omega_2$**

$\mu_{Eds}$ für $\rho > 800$	$\mu_{Eds}$ für $\rho > 1000$	$\mu_{Eds}$ für $\rho > 1200$	$\mu_{Eds}$ für $\rho > 1400$	$\mu_{Eds}$ für $\rho > 1600$	$\mu_{Eds}$ für $\rho > 1800$	$\mu_{Eds}$ für $\rho > 2000$	$d_2/d = 0,05$		$d_2/d = 0,10$		$d_2/d = 0,15$		$d_2/d = 0,20$	
							$\omega_{2,\rho=800}$	$\lambda_{lc}$	$\omega_{2,\rho=800}$	$\lambda_{lc}$	$\omega_{2,\rho=800}$	$\lambda_{lc}$	$\omega_{2,\rho=800}$	$\lambda_{lc}$
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  $\geq 1000$  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  $\div$  1000  $\rightarrow \omega_2 = \omega_{2,\rho=800}$

<b>Bemessungsbeispiel: Beton LC 30/33; Trockenrohddichte <math>\rho = 1500 kg/m^3</math></b>	
$\rightarrow$ 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 <sup>2</sup>	Eingangswerte: $M_{Eds} = 0,60$ MNm $\omega_{2,\rho=800} = 0,126$
$f_{yd} = 435$ MN/m <sup>2</sup>	$\mu_{Eds} = 0,37$ $\omega_2 = 0,052$
Abmessungen: $b/d = 0,3/0,6$ m	$A_{s1,req} = 29,73$ cm <sup>2</sup>
$d_2 = 0,06$ m	$A_{s2,req} = 3,23$ cm <sup>2</sup>
$d_2/d = 0,10$	

## 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:

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

$\eta_1$  = Beiwert für Leichtbeton nach Tabelle 1

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

$\rho_l$  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

$\sigma_{cp}$  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  $\theta$  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:

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

$\sigma_{cd}$  der Bemessungswert der Betonlängsspannung in Höhe des Schwerpunkts des Querschnitts mit:

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

Betonzugspannungen  $\sigma_{cd}$  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  $\alpha$  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  $\alpha$  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)

$\eta_E$  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)**

$\rho$ [%]	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.  $\leq 32$  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/mm<sup>2</sup> und  $\gamma_c = 1,5$**

Verbund- bedin- gungen	Trocken- rohdichte	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	LC	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 <sup>3</sup>	140,0												
gut	$\rho=1200$	90,6	76,7											
mäßig	kg/m <sup>3</sup>	129,5	109,5											
gut	$\rho=1400$	84,3	71,3	61,8	51,5	46,4	42,2							
mäßig	kg/m <sup>3</sup>	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 <sup>3</sup>	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 <sup>3</sup>	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 <sup>3</sup>	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:  $l_{b,min} = 0,6 \cdot l_{b,rqd} \geq 10 \cdot \varnothing$   
 $\alpha_{1-5}$  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)  
 $\alpha_{1-5}$  Beiwert nach DIN EN 1992-1-1, Tab. 8.2 mit NA  
 $\alpha_6$  Beiwert nach DIN EN 1992-1-1, Tab. 8.3 mit NA

## 9 Wärmeleitfähigkeit von Leichtbeton aus Liapor

Rohdichte [kg/m³]	Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit $\lambda$ [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](http://www.liapor.com)