

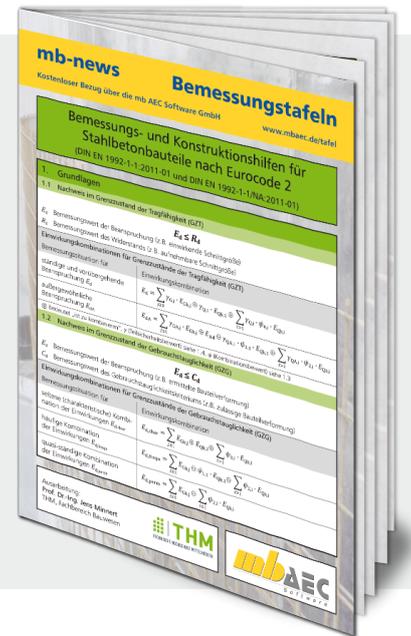
Prof.-Dr.-Ing. Jens Minnert

Erläuterungen und Ergänzungen zur Stahlbeton-Bemessungstafel nach EC 2

Die Stahlbeton-Bemessungstafel [1] zur neuen DIN EN 1992-1-1:2011-01 [2] mit dem zugehörigen Nationalen Anhang DIN EN 1992-1-1/NA:2011-01 [3] sollen den in der Praxis tätigen Ingenieur bei der täglichen Arbeit unterstützen sowie das zeitraubende Aufsuchen der wesentlichen Bemessungs- und Konstruktionshilfen ersparen.

Die Tafel beschränkt sich hierbei auf die in der Praxis überwiegend eingesetzten Stahlbetonbauteile aus Normalbeton bis zu einer Betonfestigkeitsklasse C50/60.

Im nachfolgenden Beitrag werden Erläuterungen und Ergänzungen zu den einzelnen Abschnitten der Tafeln gegeben sowie kleine Beispiele für die Anwendung der Tafel in der Praxis vorgestellt.



Zu:

1. Grundlagen

In DIN EN 1990 (EC 0) werden Prinzipien und Anforderungen für die Tragsicherheit, Gebrauchstauglichkeit und Dauerhaftigkeit für Tragwerke festgelegt. Die Grundlagen der Tragwerksplanung einschließlich der Nachweise sowie Hinweise zu den dafür anzuwendenden Zuverlässigkeitsanforderungen werden dort beschrieben. Sie beruhen auf dem Konzept der Bemessung nach Grenzzuständen mit Teilsicherheitsbeiwerten. Diese Norm bildet die Grundlage der Tragwerksplanung und gilt für die Bemessung und Konstruktion von Stahlbetontragwerken nach DIN EN 1992 (EC 2).

Die Basis des semiprobabilistischen Sicherheitskonzepts mit einem globalen Sicherheitsfaktor im EC 0 wurde schon in der DIN 1055-100 eingeführt. Für den Nachweis der Tragfähigkeit gibt EC 0 drei unterschiedliche Einwirkungskombinationen an:

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{Gj} \cdot G_{kj} \oplus \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} \oplus \sum_{i > 1} \gamma_{Qi} \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i} \quad \text{EN 1990 (6.10)}$$

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{Gj} \cdot G_{kj} \oplus \gamma_{Q,1} \cdot \psi_{0,1} \cdot Q_{k,1} \oplus \sum_{i > 1} \gamma_{Qi} \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i} \quad \text{EN 1990 (6.10a)}$$

$$\sum_{j \geq 1} \xi_j \cdot \gamma_{Gj} \cdot G_{kj} \oplus \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} \oplus \sum_{i > 1} \gamma_{Qi} \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i} \quad \text{EN 1990 (6.10b)}$$

Der Nationale Anhang des EC 0 stellt jedoch klar, dass die Anwendung der Gleichungen 6.10a sowie 6.10b **nicht** zulässig sind.

Auch für die Kombination der außergewöhnlichen Bemessungssituation im EC 0 ergeben sich analoge Nachweise zur DIN 1055-100:

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{GAj} \cdot G_{kj} \oplus A_d \oplus \psi_{1,1} \cdot Q_{k,1} \oplus \sum_{i > 1} \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i} \quad \text{DIN 1055-100 (15)}$$

$$\sum_{j \geq 1} G_{kj} \oplus A_d \oplus (\psi_{1,1} \text{ oder } \psi_{2,1}) \cdot Q_{k,1} \oplus \sum_{i > 1} \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i} \quad \text{EN 1990 (6.11b)}$$

Die Wahl zwischen $\psi_{1,1} \cdot Q_{k,1}$ und $\psi_{2,1} \cdot Q_{k,1}$ hängt laut EC 0 von der maßgebenden außergewöhnlichen Bemessungssituation ab. Der Nationale Anhang sagt aber eindeutig aus, dass im Allgemeinen der häufige Wert der vorherrschenden veränderlichen Einwirkung $\psi_{1,1} \cdot Q_{k,1}$ in den Nachweisen verwendet wird. Und somit ergibt sich wieder dieselbe Gleichung zur DIN 1055-100.

Die Nachweise der Gebrauchstauglichkeit sind in den drei Normen DIN EN 1990, dem Nationalen Anhang und der

DIN 1055-100 identisch. Die drei verschiedenen Einwirkungskombinationen (charakteristisch, häufig und quasi-ständig) werden wieder in die folgenden Kombinationen unterschieden:

charakteristische Kombination $\sum_{j \geq 1} G_{k,j} \oplus Q_{k,1} \oplus \sum_{i > 1} \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}$	EN 1990 (6.14b)
häufige Kombination $\sum_{j \geq 1} G_{k,j} \oplus \psi_{1,1} \cdot Q_{k,1} \oplus \sum_{i > 1} \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i}$	EN 1990 (6.15b)
quasi-ständige Kombination $\sum_{j \geq 1} G_{k,j} \oplus \sum_{i \geq 1} \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i}$	EN 1990 (6.16b)

Die benötigten Teilsicherheitsbeiwerte für die Nachweise der Tragfähigkeit haben sich von der DIN 1055-100 zum Eurocode nicht verändert. Bei den Kombinationsbeiwerten gab es eine Änderung. Der Wert ψ_1 der Windlast mit 0,5 aus der DIN 1055-100 wurde auf 0,2 nach EC 0 und dem Nationalen Anhang herabgesetzt.

Gegenüber DIN 1045-1 wurden die Werte für die Elastizitätsmodule im EC 2 korrigiert und sind jetzt ca. 10-20% höher. Hintergrund dieser Änderung sind die bisher in DIN 1045-1 zu niedrig angegebenen Werte.

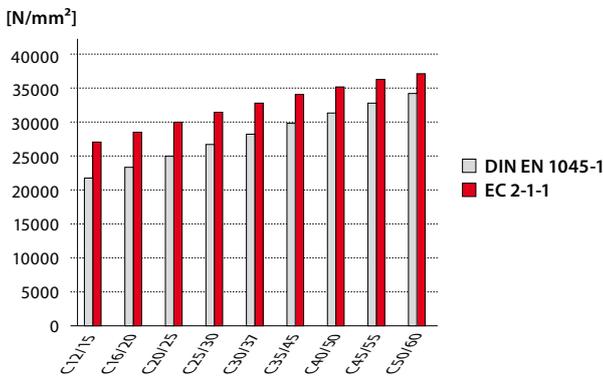


Bild 1. Vergleich der Elastizitätsmodule in DIN 1045-1 zu EC 2-1-1

	f_{cd} (N/mm ²)
C12/15	9,2
C16/20	12,3
C20/25	15,4
C25/30	19,2
C30/37	23,1
C35/45	26,9
C40/50	30,8
C45/55	34,6
C50/60	38,5

Tabelle 1: Bemessungswert der Betondruckfestigkeit für die außergewöhnliche Bemessungssituation

i Bestellung Bemessungstafeln

Die EC-Bemessungstafeln können kostenlos bei der mb AEC Software GmbH bezogen werden:

www.mbaec.de/tafel

In Abschnitt 1.6 der Bemessungstafel sind die wichtigsten Werkstoffkennwerte für Beton zusammengestellt. Hierbei wurde der Bemessungswert der Betondruckfestigkeit lediglich für die ständige und vorübergehende Bemessungssituation angegeben.

Der Bemessungswert ermittelt sich nach folgender Gleichung:

$$f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot f_{ck} / \gamma_c$$

Für die außergewöhnliche Bemessungssituation ergeben sich mit $\alpha_{cc} = 1,0$ (Kurzzeitbelastung) und $\gamma_c = 1,3$ die in Tabelle 1 zusammengestellten Werte.

Zu:

2. Dauerhaftigkeit und Betondeckung

Die Umgebungsbedingungen sind in EC 2-1-1 und DIN 1045-1 weitgehend identisch definiert. Durch die zusätzlichen Regelungen im Nationalen Anhang (z. B. durch das additive Sicherheitselement $\Delta c_{dur,\gamma}$) ergeben sich die aus DIN 1045-1 bekannten Werte für das Nennmaß der Betondeckung c_{nom} .

In den Bewehrungsplänen ist jedoch das Verlegemaß der Bewehrung c_v anzugeben. Das Verlegemaß ergibt sich aus der Bedingung, dass für jedes einzelne Bewehrungselement die Nennmaße der Betondeckung c_{nom} einzuhalten sind. Im Allgemeinen ist das Verlegemaß c_v gleich dem Nennmaß c_{nom} (gegebenenfalls um ein entsprechendes Maß vergrößert). Das Verlegemaß ist maßgebend für die Größe der Abstandhalter. In Bild 2 ist der Zusammenhang zwischen Nennmaß und Verlegemaß skizzenhaft dargestellt.

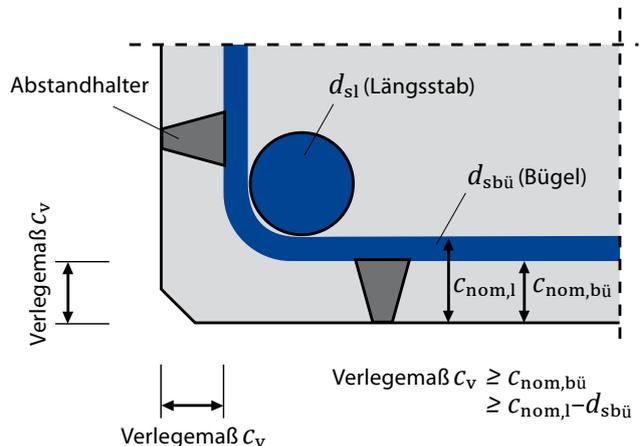
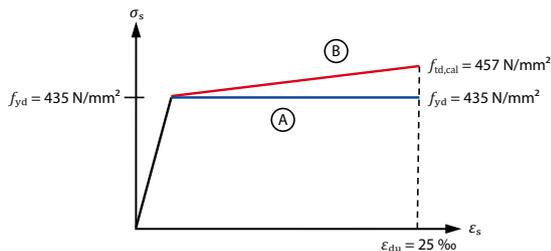


Bild 2. Betondeckung der Bewehrung eines Stahlbetonbalkens (c_{nom} und c_v)

Zu:

3. Bemessung für Biegung mit/ohne Normalkraft

Die Bemessungstafel enthält das Verfahren mit dimensionslosen Beiwerten für biegebeanspruchte Stahlbetonbauteile (mit/ ohne Normalkraft) ohne Druckbewehrung. Die Herleitung der Tafelwerte erfolgte anhand der bilinearen Arbeitslinie des Betonstahls mit horizontalem Verlauf des oberen Astes (Spalte 7 in der Bemessungstafel) sowie mit Berücksichtigung des Festigkeitsanstiegs über die Streckgrenze hinaus (Spalte 8 in der Bemessungstafel). In der nachfolgenden Abbildung 3 sind beide möglichen Verläufe der Arbeitslinie skizzenhaft dargestellt.



- Bilineare Arbeitslinie des Betonstahls
- (A) mit horizontalem Verlauf des oberen Astes
 - (B) mit Berücksichtigung des Festigkeitsanstiegs über die Streckgrenze hinaus

Bild 3. Rechnerische Spannungs-Dehnungs-Linie des Betonstahls für die Bemessung

Gemäß den Angaben in EC 2-1-1, Abschnitt 5.4 (NA.5) sollte bei einer linear-elastischen Schnittgrößenermittlung die bezogene Druckzonenhöhe wie in DIN 1045-1 auf folgenden Wert beschränkt werden:

$$\xi_{lim} = x / d = 0,45$$

Der Grenzwert ist in der Bemessungstafel in der letzten Spalte angegeben. Ist die Begrenzung der bezogenen Druckzonenhöhe auf den Grenzwert nicht möglich, so sind geeignete konstruktive Maßnahmen (z. B. enge Bügelumschnürung der Betondruckzone) zur Sicherstellung einer ausreichenden Duktilität erforderlich.

Bei sehr stark biegebeanspruchten Querschnitten (große Biegemomente und Normalkräfte) kann die Anordnung einer Biegedruckbewehrung notwendig werden. In Bild 4 der Erläuterungen ist die Bemessungstafel für biegebeanspruchte Bauteile mit Druckbewehrung angegeben.

Bei Stahlbetonplatten sollte die Anordnung einer Druckbewehrung, wenn möglich, vermieden werden.

Natürlich ist auch weiterhin die Bemessung von biegebeanspruchten Bauteilen mit dem k_d -Verfahren zulässig. In Bild 4 ist das k_d -Verfahren für Bauteile ohne Druckbewehrung angegeben.

Die rechnerische Auflagerlinie bei Endauflagern darf nicht mehr im Drittelpunkt angenommen werden. Sie ist abhängig von Decken- und Wanddicke. Eine einfache praktische Lösung ist die Auflagerung in Wandmitte auch bei Endauflagern.

Zu:

4. Querkraftbemessung

Ungewohnt ist, dass Druckspannungen im EC 2 mit positivem Vorzeichen verwendet werden müssen. Demzufolge haben sich in einigen Gleichungen die Vorzeichen geändert. Als Grenzwerte für den Druckstrebenneigungswinkel θ sind gemäß dem Nationalen Anhang Winkel zwischen $\theta = 45^\circ$ ($\cot \theta = 1,0$) und $\theta = 18^\circ$ ($\cot \theta = 3,0$) angegeben.

Zu:

6. Begrenzung der Verformungen durch den Nachweis der Biegeschlankheit

In DIN 1045-1 werden Grenzen für l/d angegeben, die auf eine Analyse von Schadensfällen von Mayer und Rüschi aus dem Jahre 1967 zurückgehen und auf Deckenplatten des üblichen Hochbaus aus Normal- und Leichtbeton beschränkt sind. Demgegenüber enthält EC 2 Biegeschlankheitsgrenzen, die auf Verformungsberechnungen aufbauen. Dabei werden die Grenzwerte getrennt für gering und hoch beanspruchte Bauteile aufgeführt und sind gegenüber den in DIN 1045-1 enthaltenen Grenzen teilweise deutlich restriktiver. Die wesentlichste Änderung im EC 2 ist dementsprechend die Berücksichtigung des Bewehrungsgehaltes (der Biegebewehrung). Anhand des Bewehrungsgehaltes lässt sich auch die Belastung rückrechnen, die in die bisherigen Formeln in DIN 1045-1 überhaupt nicht eingegangen sind. Daher werden bei hohem Bewehrungsgehalt (hoher Belastung) auch deutlich größere Deckendicken erforderlich.

In den Bemessungstafeln wurde beim Nachweis der Verformungsbegrenzung versucht, sich an das bisherige bekannte Vorgehen aus DIN 1045-1 anzulehnen. Dementsprechend wurden die Formeln aus dem EC 2 ausgewertet und die Gleichung so umgestellt, dass aus der Bemessungsformel direkt die erforderliche statische Nutzhöhe d abgelesen werden kann.

Der bisherige Beiwert für das statische System α steht nun im Nenner und wird mit K bezeichnet. Die neuen Werte geben ungefähr den Kehrwert des bisherigen Wertes wieder. Der Korrekturbeiwert k_1 berücksichtigt den Bewehrungsgehalt, die Bauteilgeometrie und evtl. erforderliche erhöhte Anforderungen bei größeren Spannweiten.

Nachfolgend wird die Anwendung anhand eines einfachen Beispiels verdeutlicht:

Endfeld einer Deckenplatte (Durchlaufräger): $l = 7,0 \text{ m}$ $\rightarrow K = 1,3$

Betonfestigkeitsklasse: C30/37
Längsbewehrungsgrad: $\rho \approx 0,4 \%$ $\left. \vphantom{\begin{matrix} \text{C30/37} \\ \rho \approx 0,4 \% \end{matrix}} \right\} \rightarrow B = 26$

$A_{s,vorh} = A_{s,erf}$ $\rightarrow k_1 = 1,0$
Plattenquerschnitt: $\rightarrow k_2 = 1,0$
Normale Anforderungen: $\rightarrow k_3 = 1,0$ $\left. \vphantom{\begin{matrix} \rightarrow k_1 = 1,0 \\ \rightarrow k_2 = 1,0 \\ \rightarrow k_3 = 1,0 \end{matrix}} \right\} \rightarrow k_1 = 1,0$

$d \geq \frac{7,0}{1,3 \cdot 1,0 \cdot 26} = 0,21 \text{ m}$ \rightarrow Gewählt: $h = 0,24 \text{ m}$

Dimensionsgebundene Bemessungstafel (k_d -Verfahren)

Bemessungsfall		Nulllinie		Richtwert k_{d1}		erf. A_{s1} [cm ²]		Bemerkung																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
		$x \leq h_f$		$k_d = \frac{d \text{ [cm]}}{\sqrt{M_{Eds} \text{ [kNm]} / b \text{ [m]}}}$		$A_{s1} = k_s \cdot d \text{ [cm]} + \frac{N_{Ed} \text{ [kN]}}{43,5}$																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
k_d für Betonfestigkeitsklasse C...																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
d_g/d	$\xi = x/d$	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50	0,55	0,60	0,65	0,70	0,75	0,80	0,85	0,90	0,95																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
ξ_{s1}/ξ_{s2} [%]	ξ_{s1}	4,28	2,17	-3,22	2,17	-2,93	4,28	-2,33	2,17	-2,65	4,28	-1,94	2,17	-2,37	4,28	-1,94	2,17	-2,37	4,28	-1,94	2,17	-2,37																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
μ_{Eds}	ω_1	0,368	0,004	0,369	0,005	0,381	0,016	0,382	0,019	0,394	0,033	0,407	0,047	0,419	0,061	0,432	0,075	0,444	0,089	0,457	0,103	0,469	0,117	0,482	0,131	0,494	0,145	0,508	0,159	0,523	0,173	0,536	0,186	0,550	0,200	0,563	0,213	0,576	0,226	0,589	0,239	0,602	0,252	0,615	0,265	0,628	0,278	0,641	0,291	0,654	0,304	0,667	0,317	0,680	0,330	0,693	0,343	0,706	0,356	0,719	0,369	0,732	0,382	0,745	0,395	0,758	0,408	0,771	0,421	0,784	0,434	0,797	0,447	0,810	0,460	0,823	0,473	0,836	0,486	0,849	0,500	0,862	0,513	0,875	0,526	0,888	0,539	0,901	0,552	0,914	0,565	0,927	0,578	0,940	0,591	0,953	0,604	0,966	0,617	0,979	0,630	0,992	0,643	1,005	0,656	1,018	0,669	1,031	0,682	1,044	0,695	1,057	0,708	1,070	0,721	1,083	0,734	1,096	0,747	1,109	0,760	1,122	0,773	1,135	0,786	1,148	0,799	1,161	0,812	1,174	0,825	1,187	0,838	1,200	0,851	1,213	0,864	1,226	0,877	1,239	0,890	1,252	0,903	1,265	0,916	1,278	0,929	1,291	0,942	1,304	0,955	1,317	0,968	1,330	0,981	1,343	0,994	1,356	1,007	1,369	1,020	1,382	1,033	1,395	1,046	1,408	1,059	1,421	1,072	1,434	1,085	1,447	1,098	1,460	1,111	1,473	1,124	1,486	1,137	1,499	1,150	1,512	1,163	1,525	1,176	1,538	1,189	1,551	1,202	1,564	1,215	1,577	1,228	1,590	1,241	1,606	1,258	1,622	1,275	1,639	1,292	1,656	1,309	1,673	1,326	1,690	1,343	1,707	1,360	1,724	1,377	1,741	1,394	1,758	1,411	1,775	1,428	1,792	1,445	1,809	1,462	1,826	1,479	1,843	1,496	1,860	1,513	1,877	1,530	1,894	1,547	1,911	1,564	1,928	1,581	1,945	1,598	1,962	1,615	1,979	1,632	1,996	1,649	2,013	1,666	2,030	1,683	2,047	1,700	2,064	1,717	2,081	1,734	2,098	1,751	2,115	1,768	2,132	1,785	2,149	1,802	2,166	1,819	2,183	1,836	2,200	1,853	2,217	1,870	2,234	1,887	2,251	1,904	2,268	1,921	2,285	1,938	2,302	1,955	2,319	1,972	2,336	1,989	2,353	2,006	2,370	2,023	2,387	2,040	2,404	2,057	2,421	2,074	2,438	2,091	2,455	2,108	2,472	2,125	2,489	2,142	2,506	2,159	2,523	2,173	2,540	2,187	2,557	2,200	2,574	2,218	2,591	2,235	2,608	2,250	2,625	2,267	2,642	2,284	2,659	2,299	2,676	2,317	2,693	2,330	2,710	2,343	2,723	2,356	2,736	2,373	2,749	2,390	2,762	2,404	2,775	2,418	2,790	2,432	2,805	2,450	2,820	2,468	2,835	2,485	2,850	2,502	2,865	2,519	2,880	2,536	2,895	2,553	2,910	2,570	2,925	2,585	2,940	2,600	2,955	2,615	2,970	2,630	2,985	2,645	3,000	2,660	3,015	2,675	3,030	2,690	3,045	2,705	3,060	2,720	3,075	2,735	3,090	2,750	3,105	2,765	3,120	2,780	3,135	2,795	3,150	2,810	3,165	2,825	3,180	2,840	3,195	2,855	3,210	2,870	3,225	2,885	3,240	2,900	3,255	2,915	3,270	2,930	3,285	2,945	3,300	2,960	3,315	2,975	3,330	2,990	3,345	3,005	3,360	3,020	3,375	3,035	3,390	3,050	3,405	3,065	3,420	3,080	3,435	3,095	3,450	3,110	3,465	3,125	3,480	3,140	3,495	3,155	3,510	3,170	3,525	3,185	3,540	3,200	3,555	3,215	3,570	3,230	3,585	3,245	3,600	3,260	3,615	3,275	3,630	3,290	3,645	3,305	3,660	3,320	3,675	3,335	3,690	3,355	3,705	3,370	3,720	3,385	3,735	3,400	3,750	3,420	3,765	3,435	3,780	3,450	3,795	3,465	3,810	3,480	3,825	3,495	3,840	3,510	3,855	3,525	3,870	3,540	3,885	3,555	3,900	3,570	3,915	3,585	3,930	3,600	3,945	3,615	3,960	3,630	3,975	3,645	3,990	3,660	4,005	3,675	4,020	3,690	4,035	3,705	4,050	3,720	4,065	3,735	4,080	3,750	4,095	3,765	4,110	3,780	4,125	3,795	4,140	3,810	4,155	3,825	4,170	3,840	4,185	3,855	4,200	3,870	4,215	3,885	4,230	3,900	4,245	3,915	4,260	3,930	4,275	3,945	4,290	3,960	4,305	3,975	4,320	3,990	4,335	4,005	4,350	4,020	4,365	4,035	4,380	4,050	4,395	4,065	4,410	4,080	4,425	4,095	4,440	4,110	4,455	4,125	4,470	4,140	4,485	4,155	4,500	4,170	4,515	4,185	4,530	4,200	4,545	4,215	4,560	4,230	4,575	4,245	4,590	4,260	4,605	4,275	4,620	4,290	4,635	4,305	4,650	4,320	4,665	4,335	4,680	4,350	4,695	4,365	4,710	4,380	4,725	4,395	4,740	4,410	4,755	4,425	4,770	4,440	4,785	4,460	4,800	4,480	4,815	4,500	4,830	4,520	4,845	4,540	4,860	4,560	4,875	4,580	4,890	4,600	4,905	4,615	4,920	4,630	4,935	4,645	4,950	4,660	4,965	4,675	4,980	4,690	4,995	4,705	5,010	4,720	5,025	4,735	5,040	4,750	5,055	4,765	5,070	4,780	5,085	4,795	5,100	4,810	5,115	4,825	5,130	4,840	5,145	4,855	5,160	4,870	5,175	4,885	5,190	4,900	5,205	4,915	5,220	4,930	5,235	4,945	5,250	4,960	5,265	4,975	5,280	4,990	5,295	5,005	5,310	5,020	5,325	5,035	5,340	5,050	5,355	5,065	5,370	5,080	5,385	5,095	5,400	5,110	5,415	5,125	5,430	5,140	5,445	5,155	5,460	5,170	5,475	5,185	5,490	5,200	5,505	5,215	5,520	5,230	5,535	5,245	5,550	5,260	5,565	5,275	5,580	5,290	5,595	5,305	5,610	5,320	5,625	5,335	5,640	5,350	5,655	5,365	5,670	5,380	5,685	5,395	5,700	5,410	5,715	5,425	5,730	5,440	5,745	5,455	5,760	5,470	5,775	5,485	5,790	5,500	5,805	5,515	5,820	5,530	5,835	5,545	5,850	5,560	5,865	5,575	5,880	5,590	5,895	5,605	5,910	5,620	5,925	5,635	5,940	5,650	5,955	5,665	5,970	5,680	5,985	5,695	6,000	5,710	6,015	5,725	6,030	5,740	6,045	5,755	6,060	5,770	6,075	5,785	6,090	5,800	6,105	5,815	6,120	5,830	6,135	5,845	6,150	5,860	6,165	5,875	6,180	5,890	6,195	5,905	6,210	5,920	6,225	5,935	6,240	5,950	6,255	5,965	6,270	5,980	6,285	5,995	6,300	6,010	6,315	6,025	6,330	6,040	6,345	6,055	6,360	6,070	6,375	6,085	6,390	6,100	6,405	6,115	6,420	6,130	6,435	6,145	6,450	6,160	6,465	6,175	6,480	6,190	6,495	6,205	6,510	6,220	6,525	6,235	6,540	6,250	6,555	6,265	6,570	6,280	6,585	6,295	6,600	6,310	6,615	6,325	6,630	6,340	6,645	6,355	6,660	6,370	6,675	6,385	6,690	6,400	6,705	6,415	6,720	6,430	6,735	6,445	6,750	6,460	6,765	6,475	6,780	6,490	6,795	6,505	6,810	6,520	6,825	6,535	6,840	6,550	6,855	6,565	6,870	6,580	6,885	6,595	6,900	6,610	6,915	6,625	6,930	6,640	6,945	6,655	6,960	6,670	6,975	6,685	6,990	6,700	7,005	6,715	7,020	6,730	7,035	6,745	7,050	6,760	7,065	6,775	7,080	6,790	7,095	6,805	7,110	6,820	7,125	6,835	7,140	6,850	7,155	6,865	7,170	6,880	7,185	6,895	7,200	6,910	7,215	6,925	7,230	6,940	7,245	6,955	7,260	6,970	7,275	6,985	7,290	6,995	7,305	7,010	7,320	7,025	7,335	7,040	7,350	7,055	7,365	7,070	7,380	7,085	7,395	7,100	7,410	7,115	7,425	7,130	7,440	7,145	7,455	7,160	7,470	7,175	7,485	7,190	7,500	7,205	7,515	7,220	7,530	7,235	7,545	7,250	7,560	7,265	7,575	7,280	7,590	7,295	7,605	7,310	7,620	7,325	7,635	7,340	7,650	7,355	7,665	7,370	7,680	7,385	7,695	7,400	7,710	7,415	7,725	7,430	7,740	7,445	7,755	7,460	7,770	7,475	7,785	7,490	7,800	7,505	7,815	7,520	7,830	7,535	7,845	7,550	7,860	7,565	7,875	7,580	7,890	7,595	7,905	7,610	7,920	7,625	7,935	7,640	7,950	7,655	7,965	7,670	7,980

Zu:

7. Mindestbiegerollendurchmesser

Die Mindestbiegerollendurchmesser sind neu in die Bemessungstafel mit aufgenommen worden, da diese in der Praxis häufig entscheidend sind und bei der Bewehrungswahl mit berücksichtigt werden müssen. Änderungen gegenüber den bekannten Angaben in DIN 1045-1 gibt es nicht.

Zu:

8. Verankerungen

Das Grundmaß der Verankerung l_{bd} setzt sich aus verschiedenen Beiwerten α_i zusammen.

Wichtig: Bei direkter Lagerung darf l_{bd} nur einmal um den Faktor 2/3 abgemindert werden.

Beispiel zur Verankerungslänge am Endauflager:

Gegeben: Stahlbetonbalken

C30/37
Stabdurchmesser: $\varnothing 16$
guter Verbund

$$\left. \begin{array}{l} \text{C30/37} \\ \text{Stabdurchmesser: } \varnothing 16 \\ \text{guter Verbund} \end{array} \right\} \rightarrow l_{b,rqd} = 57 \text{ cm}$$

$A_{s,erf} / A_{s,vorh} = 0,5$

gerades Stabende: $\rightarrow \alpha_1 = 1,0$

keine angeschweißten Querstäbe: $\rightarrow \alpha_4 = 1,0$

direkte Auflagerung: $\rightarrow \alpha_5 = 2/3$

$$l_{bd} = \alpha_1 \cdot \alpha_4 \cdot \alpha_5 \cdot l_{b,rqd} \cdot (A_{s,erf} / A_{s,vorh}) = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 2/3 \cdot 57 \cdot 0,5 = 19 \text{ cm}$$

$$l_{b,min} = 0,3 \cdot \alpha_1 \cdot \alpha_4 \cdot l_{b,rqd} = 0,3 \cdot 1,0 \cdot 57 = 17,1 \text{ cm} \leq 19 \text{ cm} = l_{bd}$$

$$l_{bd,dir} = 19 \text{ cm} \geq 6,7 \cdot 1,6 = 10,7 \text{ cm}$$

Zu:

10. Bewehrungswahl

und

11. Betonstahlmatten

Das Kapitel Bewehrungswahl und Betonstahlmatten ist vom Umfang her deutlich erweitert worden, um dem praktisch tätigen Ingenieur alle wesentlichen Randbedingungen in übersichtlicher Form zu präsentieren. Diese zusätzlichen Informationen beinhalten z. B. die Querschnitte von Bügelbewehrung (Abschnitt 10.4), die maximalen Bügelabstände (Abschnitt 10.5) sowie die Übergreifungslängen und „Maschenregeln“ für Lagermatten (Abschnitt 11.2). Weiterhin wurden am Ende der Bemessungstafel alle notwendigen Informationen für das Bewehren mit Listenmatten (Abschnitt 11.3) zusammengestellt.

Prof. Dr.-Ing. Jens Minnert
Technische Hochschule Mittelhessen,
Fachbereich Bauwesen

Literatur

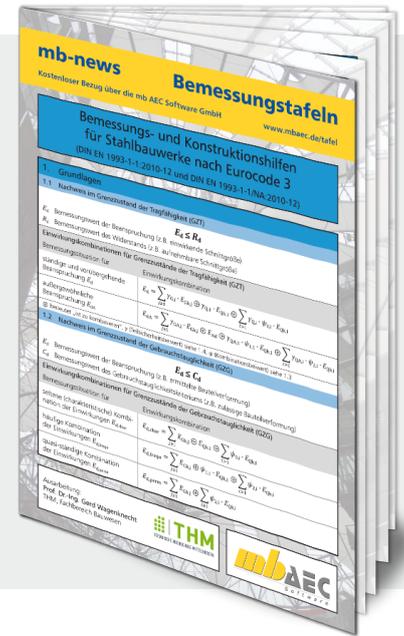
- [1] Jens Minnert: „Bemessungs- und Konstruktionshilfen für Stahlbetonbauteile nach Eurocode 2“, Herausgegeben von der mb AEC Software GmbH, Kaiserslautern 2012
- [2] DIN EN 1992-1-1:01/11: (Eurocode 2) Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken – Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau; Deutsche Fassung
- [3] DIN EN 1992-1-1/NA:01/2011: Nationaler Anhang zu Eurocode 2 – Teil 1-1

Prof. Dr.-Ing. Gerd Wagenknecht

Erläuterungen und Ergänzungen zur Stahlbau-Bemessungstafel nach EC 3

Die Bemessungstafeln [1] zur neuen DIN EN 1993-1-1:2010-12 [2] mit dem zugehörigen Nationalen Anhang DIN EN 1993-1-1/NA:2010-12 [3] sowie zur DIN EN 1993-1-8:2010-12 [4] mit dem zugehörigen Nationalen Anhang DIN EN 1993-1-8/NA: 2010-12 [5] sollen den in der Praxis tätigen Ingenieur bei der täglichen Arbeit unterstützen sowie das zeitraubende Aufsuchen der wesentlichen Bemessungs- und Konstruktionshilfen ersparen. Sie beschränken sich hierbei auf die in der Praxis überwiegend eingesetzten Stahlsorten S 235 und S 355.

Im folgenden Beitrag werden Erläuterungen und Ergänzungen zu den einzelnen Abschnitten der Tafeln gegeben.



Zu:

1.5 Teilsicherheitsbeiwerte γ_M zur Bestimmung des Tragwiderstands		
γ_M	γ_{M0} (kein Stabilitätsversagen)	γ_{M1} (Stabilitätsversagen, Theorie II. Ordnung)
	1,00	1,10

Der Teilsicherheitsbeiwert γ_{M0} gilt für Tragsicherheitsnachweise, wenn kein Stabilitätsversagen vorliegt, d. h. wenn keine Abminderung der Tragfähigkeit erforderlich ist, z.B.

1. Zugstäbe
2. Stirnplattenanschlüsse
3. Druckstäbe, wenn die Schlankheit $\bar{\lambda} \leq 0,2$ ist, s. EC 3-1-1, 6.3.1.2(4)
4. Biegedrillknickgefährdete Biegeträger aus gewalzten I-Profilen, wenn die Schlankheit $\bar{\lambda}_{LT} \leq 0,4$ ist.

Er gilt auch für die Tragwerksberechnung einfacher Systeme nach (EC 3-1-1, 5.2.2(3)c) und (8)). Das Tragwerk wird in diesem Fall nach Theorie I. Ordnung ohne Ansatz von Imperfektionen berechnet und die Beanspruchbarkeit des Querschnitts mit dem Teilsicherheitsbeiwert γ_{M0} nachgewiesen. Das Stabilitätsversagen des Einzelstabes erfolgt mit Ersatzstabnachweisen nach (EC 3-1-1, 6.3.3) mit dem Teilsicherheitsbeiwert γ_{M1} . Die Knicklängen sind in diesem Fall aus der Knickfigur des Gesamttragwerks zu ermitteln.

Der Teilsicherheitsbeiwert γ_{M1} gilt für Tragsicherheitsnachweise, wenn Stabilitätsversagen der Bauteile vorliegt. Der Teilsicherheitsbeiwert γ_{M1} gilt damit auch für die Beanspruchbarkeit des Querschnitts, wenn der Tragsicherheits-

nachweis stabilitätsgefährdeter Bauteile mit geometrischen Ersatzimperfektionen anstatt mit den Ersatzstabnachweisen erfolgt (EC 3-1-1/NA, NDP zu 6.1(1)).

Deshalb ist vor jedem Nachweis des Querschnitts festzulegen, welcher Teilsicherheitsbeiwert γ_M für die Beanspruchbarkeit des Querschnitts anzuwenden ist.

Zu:

1.6 Bemessungswerte der Beanspruchbarkeit $\sigma_{Rd} = f_y/\gamma_M$ und $\tau_{Rd} = f_y/(\gamma_M \cdot \sqrt{3})$								
γ_M	S 235		S 275		S 355		S 450	
	σ_{Rd} [N/mm ²]	τ_{Rd} [N/mm ²]	σ_{Rd} [N/mm ²]	τ_{Rd} [N/mm ²]	σ_{Rd} [N/mm ²]	τ_{Rd} [N/mm ²]	σ_{Rd} [N/mm ²]	τ_{Rd} [N/mm ²]
1,00	235	136	275	159	355	205	440	254
1,10	214	123	250	144	323	186	400	231

Die Beanspruchbarkeit des Werkstoffs wird mit dem Teilsicherheitsbeiwert γ_M und der Streckgrenze berechnet. Um die Darstellung und die Bezeichnung der Nachweisformeln des EC 3 zu vereinfachen, wird der Bemessungswert der Beanspruchbarkeit bezogen auf den Werkstoff mit σ_{Rd} und τ_{Rd} bezeichnet.

$$\sigma_{Rd} = \frac{f_y}{\gamma_M} \tag{1}$$

$$\tau_{Rd} = \frac{f_y}{\gamma_M \cdot \sqrt{3}} \tag{2}$$

Ergänzung: Die Bemessungswerte in Tafel 1.6 gelten für $t \leq 40$ mm.

Zu:

2. Querschnittsklassen (QK)												
2.1 Querschnittsklassen gewalzter I- und H-Querschnitte												
Nennhöhe	IPE				HEA				HEB			
	max N_{Ed} für QK 2		QK für Druck/ A_{eff}		max N_{Ed} für QK 2		QK für Druck/ A_{eff}		max N_{Ed} für QK 2		QK für Druck/ A_{eff}	
	S 235	S 355	S 235	S 355	S 235	S 355	S 235	S 355	S 235	S 355	S 235	S 355
80	1	1	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-
100	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
120	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
140	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
160	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
180	1	2	1	2	1	2	1	2	1	1	1	1
200	1	2	1	2	1	2	1	2	1	1	1	1
220	1	2	1	2	1	2	1	2	1	1	1	1
240	1	2	1	2	1	2	1	2	1	1	1	1
260	-	-	-	-	3*	-	3*	-	1	1	1	1
270	2	407	2	3	-	-	-	-	-	-	-	-
280	-	-	-	-	1	3*	1	3*	1	1	1	1
300	2	447	2	4/52,7	1	3*	1	3*	1	1	1	1
320	-	-	-	-	1	2	1	2	1	1	1	1
330	2	481	2	4/61,0	-	-	-	-	-	-	-	-
340	-	-	-	-	1	1	1	1	1	1	1	1
360	2	527	2	4/70,4	1	1	1	1	1	1	1	1
400	594	585	3	4/81,2	1	2	1	2	1	1	1	1
450	681	655	3	4/93,8	1	2	1	2	1	1	1	1
500	774	730	3	4/108	1	1375	1	3	1	2	1	2
550	908	852	4/132	4/126	2	1383	2	4/208	1	2	1	2
600	1043	968	4/152	4/145	2	1388	2	4/220	1	2368	1	3
650	-	-	-	-	1428	1389	3	4/232	2	2383	2	3
700	-	-	-	-	1626	1568	3	4/249	2	2622	2	4/301
800	-	-	-	-	1544	1384	4/277	4/265	2458	2420	3	4/320
900	-	-	-	-	1610	1351	4/305	4/291	2554	2416	3	4/348
1000	-	-	-	-	1491	1104	4/322	4/305	2429	2146	4/384	4/365

Nachweis: vorh $c/t \leq \max c/t$
 Für reine Biegung ist QK 2 für S 235 und S 355 (außer *) erfüllt. Für reinen Druck ist für QK 4 A_{eff} zu berücksichtigen. Für Druck und Biegung ist QK 2 für $N_{Ed} \leq \max N_{Ed}$ erfüllt. Sonst QK 3 bzw. QK 4.
 $\max N_{Ed} \leq 2 \cdot (\alpha - \frac{1}{2}) \cdot t_w \cdot d \cdot \sigma_{Rd}$ mit $\alpha > 0,5$; $d = h - 2 \cdot t_f - 2 \cdot r$
 Ermittlung von $\max N_{Ed}$ mit $\gamma_{M1} = 1,1$
Schubbeanspruchung:
 $\frac{h_w}{t_w} \leq 72 \cdot \epsilon$ mit $\epsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}}$; $h_w = h - 2 \cdot t_f$ Für IPE, HEA und HEB für S 235 und S 355 erfüllt.

Bei druckbeanspruchten Querschnitten mit dünnwandigen Querschnittsteilen ist stets ein Nachweis ausreichender Beultragfähigkeit erforderlich. Es darf vor Erreichen der Grenztragfähigkeit kein vorzeitiges Versagen durch örtliches Beulen der Querschnittsteile auftreten.

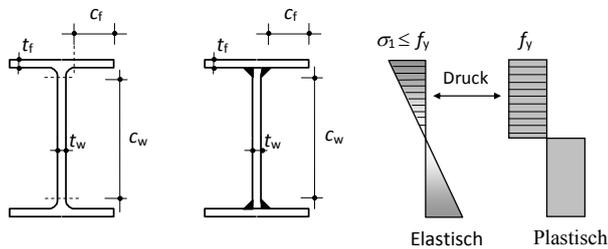


Bild 1. Druckbeanspruchte dünnwandige Querschnitte

Der Beulsicherheitsnachweis ist allgemein in DIN EN 1993-1-5 geregelt. In DIN EN 1993-1-1, Tabelle 5.2, ist ein vereinfachter Beulnachweis für druckbeanspruchte Querschnittsteile angegeben. Dieser Nachweis wird als Klassifizierung von Querschnitten bezeichnet.

Nach EC 3 -1-1, 5.5.2(1) werden vier Querschnittsklassen (QK) definiert:

- **Querschnitte der Klasse 4** sind solche, bei denen örtliches Beulen vor Erreichen der Streckgrenze in einem oder mehreren Teilen des Querschnitts auftritt.
- **Querschnitte der Klasse 3** erreichen für eine elastische Spannungsverteilung die Streckgrenze in der ungünstigsten Faser, können aber wegen örtlichen Beulens die plastische Momententragfähigkeit nicht erreichen.
- **Querschnitte der Klasse 2** können die plastische Momententragfähigkeit entwickeln, haben aber aufgrund des örtlichen Beulens nur eine begrenzte Rotationsfähigkeit.
- **Querschnitte der Klasse 1** können plastische Gelenke oder Fließzonen mit ausreichender plastischer Momententragfähigkeit und Rotationsfähigkeit für die plastische Berechnung ausbilden.

Für die QK 1, 2 und 3 wird der Nachweis in der folgenden Form geführt:

$$\text{vorh } c/t \leq \max c/t \quad (3)$$

In der Tafel 2.1 sind die Querschnittsklassen gewalzter I- und H-Profile angegeben. Es handelt sich dabei um IPE-, HEA- und HEB-Profile der Stahlsorten S 235 und S 355. Die Querschnittsklassen sind von der Beanspruchung abhängig. Dabei sind die Querschnittsklassen des Stegs und des Flansches zu berücksichtigen.

Bei reinem Druck ist der Nachweis für die QK 1, 2 und 3 gleich. Nur für Querschnittsklasse 4 tritt bei diesen Profilen Beulen im Steg auf. Deshalb ist die reduzierte Querschnittsfläche A_{eff} zu berechnen. In Tafel 2.1 sind die Werte für A_{eff} angegeben.

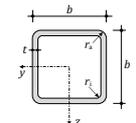
Bei reiner Biegung sind alle Querschnitte dieser Tafel der QK 2 zugeordnet. Nur bei den Querschnitten HEA 260, HEA 280 und HEA 300 aus S 355 liegt stets die QK 3 vor, da in diesem Fall der Flansch maßgebend ist.

Bei Druck und Biegung kann bei allen Profilen (außer HEA 260, HEA 280 und HEA 300 aus S 355) dieser Tafel die Querschnittsklasse 2 erreicht werden, wenn die Normalkraft N_{Ed} den Wert $\max N_{Ed}$ der Tafel 2.1 nicht überschreitet. Dieser Wert kann mit der Reduktionsmethode für den Steg nach [6] berechnet werden.

Ergänzung in der 1. Fassung: Die Profile HEA 260, HEA 280 und HEA 300 aus S 355 sind stets QK 3. Für HEA 700 gilt $A_{eff} = 249 \text{ cm}^2$.

Zu:

10.4 Querschnittswerte für quadratische Hohlprofile	
t Wanddicke	Auszug aus: DIN EN 10210-2 (07.06), warmgefertigt
A Querschnittsfläche	QK für Druck: QK1: $(b-3t)/t \leq 33 \epsilon$ QK2: $(b-3t)/t \leq 38 \epsilon$ QK3: $(b-3t)/t \leq 42 \epsilon$
I Flächenmoment 2. Grades	Angabe in Tabelle: QK S 235/ QK S 355 für min t
W_d elast. Widerstandsmoment	
i Trägheitsradius	
I_t Torsionsträgheitskonstante	
G Konstante des Torsionsmoduls	
W_{pl} plast. Widerstandsmoment	
M Gewicht pro lfd. Meter	



Radien für Berechnungen:
 $r_s = 1,5 \cdot t$
 $r_i = 1,0 \cdot t$
 (1 kg/m = 0,01 kN/m)

Die Formeln für die Querschnittsklassifizierung gelten für druckbeanspruchte Querschnittsteile und damit für quadratische Hohlprofile für Druck und/oder Biegung. Auch in der Tafel 10.5 für kreisförmige Hohlprofile ist der Nachweis der Querschnittsklasse angegeben.

Zu:

3. Nachweise des Querschnittes	
3.1 Nachweis für alle Querschnittsklassen	
$V_{pl,Rd} = A_s \cdot \tau_{Rd}$ Für $V_{Ed} \leq 0,5 \cdot V_{pl,Rd}$ keine Interaktion zwischen Biegemoment und Querkraft; kein Schubbeulen	
QK 2: $\frac{N_{Ed}}{A \cdot \sigma_{Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{W_{pl,y} \cdot \sigma_{Rd}} + \frac{M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot \sigma_{Rd}} \leq 1$	QK 3: $\frac{N_{Ed}}{A \cdot \sigma_{Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{W_y \cdot \sigma_{Rd}} + \frac{M_{z,Ed}}{W_z \cdot \sigma_{Rd}} \leq 1$
QK 4: $\frac{N_{Ed}}{A_{eff} \cdot \sigma_{Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{W_y \cdot \sigma_{Rd}} + \frac{M_{z,Ed}}{W_z \cdot \sigma_{Rd}} \leq 1$ für I- und H-Profile	

Die Bedingung $V_{Ed} \leq 0,5 \cdot V_{pl,Rd}$ ist in der Praxis meist erfüllt, sodass der Einfluss der Querkraft im Allgemeinen vernachlässigt werden kann. Für die in Tafel 2.1 angegebenen Profile liegt kein Schubbeulen vor.

Zu:

4. Berechnung des Tragwerkes nach Theorie II. Ordnung			
Näherungsweise: $M_{Ed} = \frac{M_{1,Ed}}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr}}}$	Vorkrümmung	Elastisch-Elastisch e_0/L	Elastisch-Plastisch e_0/L
Nachweis für unverschiebliche Systeme nur nach 3.1 und 3.2	a	1/550	wie bei E-E, jedoch $\frac{M_{Ed}}{M_{elk}}$ -fach
Nachweis für verschiebliche Systeme nach 3.1, 3.2 und 3.3	b	1/350	
	c	1/250	
	d	1/150	
Ansatz von Imperfektionen:	Vorverdrehung:		
Vorkrümmung:	$\phi = \phi_0 \cdot \alpha_h \cdot \alpha_m$	$\phi_0 = 1/200$ $\alpha_h = \frac{2}{\sqrt{h}}$ jedoch $\frac{2}{3} \leq \alpha_h \leq 1,0$	
Vorverdrehung:	$\alpha_m = \sqrt{0,5 \cdot \left(1 + \frac{1}{m}\right)}$	m Anzahl der Stützen in einer Reihe, die eine Vertikalbelastung größer 50% der durchschnittlichen Stützenlast übernehmen	
		h Höhe des Tragwerkes in m	
	Die Imperfektionen sind in allen Richtungen zu untersuchen, brauchen aber nur in einer Richtung gleichzeitig betrachtet zu werden.		
	Gleichzeitiger Ansatz nur, wenn $\frac{N_{Ed}}{\pi^2 \cdot EI/L^2} > 0,25$		
	L Länge des Stabes		

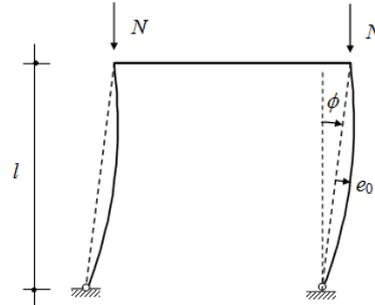


Bild 2. Systemschiefstellung und zusätzliche Stabvorkrümmung

Der EC 3 bietet für die Berechnung von Tragwerken mit Druck und Biegung drei unterschiedliche Berechnungsverfahren an:

1. Berechnung des Tragwerkes nach Theorie II. Ordnung ohne zusätzliche Ersatzstabnachweise – Berechnungsverfahren a (EC 3-1-1, 5.2.2(3)a) und (7)a)

Das Tragwerk ist nach Biegetorsionstheorie II. Ordnung, bei verdrehweichen Stäben mit Wölbkrafttorsion, zu berechnen, wobei die maßgebenden Bauteilimperfektionen vollständig zu berücksichtigen sind.

Dies bedeutet:

- Vorverdrehung ϕ
- zusätzliche Vorkrümmung e_0
- zusätzliche Imperfektion für das Biegedrillknicken nach EC 3-1-1, 5.3.4(3)

Der Querschnittsnachweis kann mit einer elastischen oder plastischen Querschnittsinteraktion erfolgen. Es sind keine weiteren Stabilitätsnachweise erforderlich.

Die Vorverformungen sind in der Regel jeweils in allen maßgebenden Richtungen zu untersuchen, brauchen aber nur in einer Richtung gleichzeitig betrachtet zu werden (EC 3-1-1, 5.3.2(8)).

2. Berechnung des Tragwerkes nach Theorie II. Ordnung mit zusätzlichen Ersatzstabnachweisen – Berechnungsverfahren b (EC 3-1-1, 5.2.2(3)b) und (7)b)

Das Tragwerk ist nach Theorie II. Ordnung zu berechnen, wobei die Bauteilimperfektionen nicht vollständig berücksichtigt werden. Dies soll für ein ebenes Tragwerk erläutert werden.

Voraussetzung ist, dass das Gesamttragwerk in ebene Teiltragwerke aufgeteilt werden kann, die senkrecht zur Tragwerksebene durch Fachwerkverbände oder massive Scheiben ausgesteift sind. Diese Systeme werden i. Allg. im Stahlhochbau verwendet. Das ebene Tragwerk ist nach Biegetheorie II. Ordnung zu berechnen, wobei die maßgebenden Bauteilimperfektionen in der Tragwerksebene vollständig zu berücksichtigen sind.

Dies bedeutet:

- Vorverdrehung ϕ
- zusätzliche Vorkrümmung e_0

Senkrecht zur Tragwerksebene ist der Ersatzstabnachweis, der Biegeknicknachweis bzw. der Biegedrillknicknachweis, mit den Beanspruchungen in der Tragwerksebene zu führen. Der zugehörige Ersatzstabnachweis ist als konservative Lösung in Tafel 6 angegeben.

Werden dagegen keine zusätzlichen Vorkrümmungen angesetzt, ist ein zusätzlicher Ersatzstabnachweis für den herausgeschnittenen Einzelstab auch in der Tragwerksebene zu führen. In diesem Fall ist für die **Knicklänge des Stabes die Systemlänge** einzusetzen (EC 3-1-1, 5.2.2 (7)b).

3. Berechnung des Tragwerkes nach Theorie I. Ordnung mit zusätzlichen Ersatzstabnachweisen – Berechnungsverfahren c (EC 3-1-1, 5.2.2(3)c) und (8))

Das Tragwerk ist nach Biegetheorie I. Ordnung ohne Ansatz von Imperfektionen zu berechnen. Der Nachweis erfolgt in beiden Tragwerksebenen mithilfe des Ersatzstabnachweises. Die **Knicklängen sind aus der Knickfigur des Gesamttragwerkes** zu ermitteln.

Dieses Verfahren ist nur beschränkt anwendbar. Ist ein Biegedrillknicknachweis erforderlich, dann sind die Stabendmomente nach Theorie II. Ordnung zu berechnen. Dies ist i. Allg. auch bei Anschlüssen der Fall.

Zu:

7. Zugstab	
Nachweis: $\frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} \leq 1$ mit $N_{Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$ und $N_{Rd} = \frac{0,9 \cdot A_{net} \cdot f_u}{\gamma_{M2}}$ mit Nettofläche A_{net} bei Löchern: $\gamma_{M2} = 1,25$	Winkel: $N_{Rd} = \frac{\beta \cdot A_{net} \cdot f_u}{\gamma_{M2}}$
	Lochabstand
	$p_1 \leq 2,5 d_0$ $p_1 \geq 5 d_0$
	2 Schrauben β 0,4 0,7
	3 Schrauben β 0,5 0,7
Für Zwischenwerte von p_1 , darf β interpoliert werden.	

A_{net} ist die Nettoquerschnittsfläche des Winkels. Wird ein ungleichschenkliger Winkel am kleineren Schenkel angeschlossen, so ist A_{net} in der Regel für einen äquivalenten gleichschenkligen Winkel mit den kleineren Schenkelabmessungen zu berechnen. Die Abminderungsbeiwerte β_2 (in der Tafel: 2 Schrauben β) und β_3 (in der Tafel: 3 Schrauben β) sind in Tafel 7 in Abhängigkeit von dem Lochabstand p_1 angegeben.

Zu:

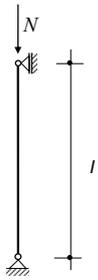
8.7 Grenzlochleibungskräfte
Grenzlochleibungskräfte $F_{b,Rd}$ für Scher-Lochleibungsverbindungen in kN mit normalem Lochspiel bezogen auf die Dicke $t = 10$ mm; Werkstoff S 235; $3 \text{ mm} \leq t \leq 40$ mm; Voraussetzung: $e_2 \geq 1,5d_0$ und $p_2 \geq 3d_0$; Werkstoff S 355 ab 5.6: Tafelwerte mal 1,36

Ergänzung: Werkstoff S 355 ab Festigkeitsklasse 5.6

Beispiele

Beispiel 1: Druckstab aus I-Profil mit Querschnittsklasse 4

In diesem Beispiel soll ein Druckstab aus einem I-Profil berechnet werden, das der Querschnittsklasse 4 zugeordnet ist. Es wird die Berechnung der wirksamen Querschnittsfläche A_{eff} hergeleitet.



Werkstoff: S 355
 Ersatzstabverfahren
 c/t -Verhältnis erforderlich für Klasse 3
 Beanspruchung: $N_{Ed} = 541$ kN
 Knicklängen: $L_{cr,y} = L_{cr,z} = 5,25$ m

Gewählt: IPE 360

Querschnittswerte: $A = 72,7$ cm², $I_z = 1040$ cm⁴

Nachweis: max c/t nach Tabelle 4.2 und 4.3 [6]:

Flansch: vorh $c/t = 4,96 < \max c/t = 13,8$

Steg: vorh $c/t = 37,3 < \max c/t = 42 \cdot \sqrt{\frac{235}{355}} = 34,2$ ⚡

→ Es liegt ein Querschnitt mit QK 4 vor, s. Tafel 2.1.

Berechnung der wirksamen Breite des Steges [7]:

1. Eulersche Knickspannung:

$$\sigma_e = 18\,980 \cdot \left(\frac{t_w}{d}\right)^2 = 18\,980 \cdot \left(\frac{8}{299}\right)^2 = 13,59 \text{ kN/cm}^2$$

2. Beulwert k_σ :

$$k_\sigma = \frac{8,2}{\psi + 1,05} = \frac{8,2}{1 + 1,05} = 4$$

3. Ideale Beulspannung σ_{cr} :

$$\sigma_{cr} = k_\sigma \cdot \sigma_e = 4 \cdot 13,59 = 54,4 \text{ kN/cm}^2$$

4. Bezugsschlankheitsgrad:

$$\bar{\lambda}_p = \sqrt{\frac{f_y}{\sigma_{cr}}} = \sqrt{\frac{35,5}{54,4}} = 0,808$$

5. Grenzbeulspannungen:

$$\rho = \frac{\bar{\lambda}_p - 0,055 \cdot (3 + \psi)}{\bar{\lambda}_p^2} = \frac{0,808 - 0,055 \cdot (3 + 1)}{0,808^2} = 0,901 \leq 1,00$$

6. Wirksame Breite des Steges:

$$b_{eff} = \rho \cdot d = 0,901 \cdot 299 = 269 \text{ mm}$$

$$\Delta A_w = (d - b_{eff}) \cdot t_w = (29,9 - 26,9) \cdot 0,8 = 2,4 \text{ cm}^2$$

Querschnittswerte:

$$A_{eff} = A - \Delta A_w = 72,7 - 2,4 = 70,3 \text{ cm}^2$$

Biegeknicken nach Tafel 5:

$$\gamma_{M1} = 1,10$$

Für die Berechnung von N_{cr} gelten nach (EC 3-1-1,6.3.1.3) die Abmessungen des Bruttoquerschnitts.

Querschnittswerte:

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 1040}{525^2} = 782 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A_{eff} \cdot f_y}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{70,3 \cdot 35,5}{782}} = 1,79$$

Knicklinie b: $\chi_z = 0,255$

$$N_{b,z,Rd} = \frac{\chi_z \cdot A_{eff} \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,255 \cdot 70,3 \cdot 35,5}{1,10} = 579 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,z,Rd}} = \frac{541}{579} = 0,93 \leq 1,0$$

Beispiel 2: Hallenrahmen mit eingespannter Stütze und Pendelstütze

In dem folgenden Beispiel sollen exemplarisch einzelne Nachweise geführt werden. Die eingespannte Stütze wird mit der Näherungsberechnung nach Theorie II. Ordnung in der Tragwerksebene nachgewiesen. Der Nachweis senkrecht zur Tragwerksebene erfolgt mit dem vereinfachten Ersatzstabnachweis. Der Untergurt des Fachwerkbinders ist nur senkrecht zur Tragwerksebene durch eine Schraube in einem Langloch gehalten.

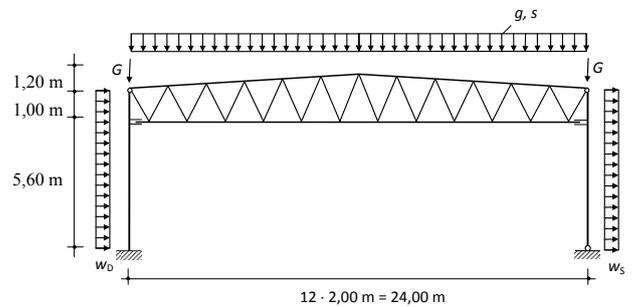


Bild 3. Beispiel Hallenrahmen mit eingespannter Stütze und Pendelstütze

Binderabstand: $a = 6,00$ m, Anzahl der Felder: 8

Werkstoff: S 235

Nachweisverfahren: Elastisch-Plastisch

Profil: HEA 260 für die eingespannte Stütze

Profil: HEA 180 für die Pendelstütze

c/t -Verhältnis ist eingehalten.

Bemessungslasten s. [6]

$$e_{Ed} = 8,73 \text{ kN/m}$$

$$w_{D,Ed} = 3,20 \text{ kN/m}$$

$$w_{S,Ed} = 1,44 \text{ kN/m}$$

$$g_{Ed} = 13,5 \text{ kN/m}$$

Nachweis der eingespannten Stütze in der Tragwerksebene nach Theorie II. Ordnung – Berechnungsverfahren b

$$\gamma_{M1} = 1,10$$

Ersatzimperfektionen

Vorverdrehung:

$$\alpha_h = \frac{2}{\sqrt{h}} = \frac{2}{\sqrt{6,6}} = 0,778 \quad \frac{2}{3} \leq \alpha_h \leq 1,0$$

$$\alpha_m = \sqrt{0,5 \cdot \left(1 + \frac{1}{m}\right)} = \sqrt{0,5 \cdot \left(1 + \frac{1}{2}\right)} = 0,866$$

$$\phi = \phi_0 \cdot \alpha_h \cdot \alpha_m = \frac{1}{200} \cdot 0,778 \cdot 0,866 = \frac{1}{297}$$

Vorkrümmung: Die lokalen Vorkrümmungen dürfen vernachlässigt werden.

Die Ersatzimperfektionen werden bei einer Berechnung ohne EDV am einfachsten durch den Ansatz gleichwertiger Ersatzlasten berücksichtigt. Das Tragwerk besteht aus statisch bestimmten Teilsystemen. Die Ersatzbelastung ist abhängig von der Normalkraft in den Stützen.

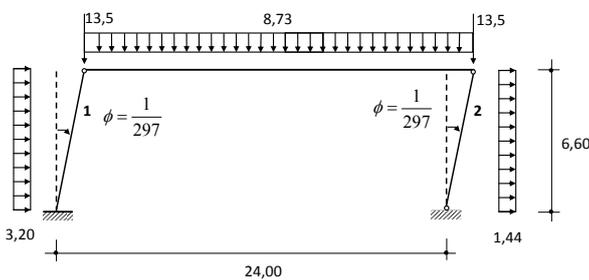
Ersatzlasten

$$N_{1,Ed} = N_{2,Ed} = 13,5 + 8,73 \cdot \frac{24}{2} = 118 \text{ kN}$$

$$H_{\phi 1} = N_{1,Ed} \cdot \phi = \frac{118}{297} = 0,397 \text{ kN}$$

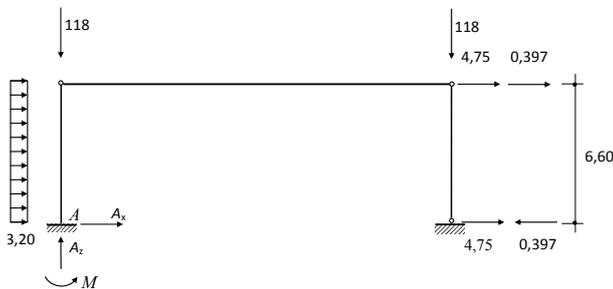
$$H_{\phi 2} = N_{2,Ed} \cdot \phi = \frac{118}{297} = 0,397 \text{ kN}$$

Statisches System und Belastung in kN und m mit Ersatzimperfektionen



Statisches System und Belastung mit Ersatzlasten

$$H_w = 1,44 \cdot \frac{6,60}{2} = 4,75 \text{ kN}$$



$$M_{1,y,Ed} = (4,75 + 0,397 + 0,397) \cdot 6,60 + 3,20 \cdot \frac{6,60^2}{2} = 106 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed} = 118 \text{ kN}$$

$$V_{1,z,Ed} = 4,75 + 0,397 + 0,397 + 3,20 \cdot 6,60 = 26,7 \text{ kN}$$

Nährungsrechnung nach Theorie II. Ordnung

Profil: HEA 260

c/t-Verhältnis ist eingehalten.

Querschnittswerte:

$$I_y = 10\,450 \text{ cm}^4$$

$$N_{pl,Rd} = A \cdot \sigma_{Rd} = 86,8 \cdot 21,4 = 1858 \text{ kN}$$

$$M_{pl,y,Rd} = W_{pl,y} \cdot \sigma_{Rd} = 920 \cdot 21,4 = 19\,688 \text{ kNm} = 197 \text{ kNm}$$

Der Einfluss der Querkraft kann vernachlässigt werden.

Die Beanspruchungen werden mit der Näherung nach Tafel 4 berechnet.

$$M_{II,Ed} = \frac{M_{I,Ed}}{1-q} \text{ mit } q = \frac{N_{Ed}}{N_{cr}}$$

Der Knicklängenbeiwert β für dieses System ist im Abschnitt Druckstab [6] hergeleitet.

$$\chi = \sum \frac{N_i \cdot l_i}{N_1 \cdot l_1} = \frac{118 \cdot 6,60}{118 \cdot 6,60} = 1,00$$

$$\beta = 2 \cdot \sqrt{1 + \frac{\pi^2}{12} \cdot \chi} = 2 \cdot \sqrt{1 + \frac{\pi^2}{12} \cdot 1,00} = 2,70$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 21\,000 \cdot 10\,450}{2,70^2 \cdot 660^2} = 682 \text{ kN}$$

$$q_y = \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}} = \frac{118}{682} = 0,173 > 0,1$$

$$M_{y,Ed} = \frac{M_{1,y,Ed}}{1-q_y} = \frac{106}{1-0,173} = 128 \text{ kNm}$$

Tragsicherheitsnachweis

$$\frac{V_{z,Ed}}{V_{pl,z,Rd}} \leq 0,5$$

y-y -Achse:

$$N_{Ed} = 118 \text{ kN} \leq 0,25 \cdot N_{pl,Rd} = 0,25 \cdot A \cdot \sigma_{Rd} = 0,25 \cdot 86,8 \cdot 21,4 = 464 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} = 118 \text{ kN} \leq \frac{0,5 \cdot h_w \cdot t_w \cdot f_y}{\gamma_M} = \frac{0,5 \cdot 22,5 \cdot 0,75 \cdot 23,5}{1,10} = 180 \text{ kN}$$

Es ist keine Interaktion mit der Normalkraft erforderlich.

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,y,Rd}} = \frac{128}{197} = 0,650 \leq 1,00$$

Ersatzstabnachweis der eingespannten Stütze

$$\gamma_{M1} = 1,10$$

Konstruktiv ist in der Tragwerksebene eine Fußriegeleinspannung vorgesehen. Senkrecht zur Tragwerksebene wird eine gelenkige Lager angenommen. Es wird vorausgesetzt, dass am oberen Ende ein Gabellager vorhanden ist.

Der Nachweis wird vereinfacht mit der konservativen Lösung nach Tafel 6 ohne Berücksichtigung des Interaktionsbeiwertes k_{ij} geführt.

Knicken um die z-z-Achse ist hier für $N_{b,min,Rd}$ maßgebend.

Querschnittswerte: $I_z = 3670 \text{ cm}^4$

Nach Tafel 5.2 ist dieses Profil bei Knicken um die z-z-Achse der Kurve c zugeordnet.

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 21\,000 \cdot 3670}{660^2} = 1746 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{N_{pl}}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{86,8 \cdot 23,5}{1746}} = 1,08 \quad \text{Tafel 5.1} \quad \chi_z = 0,495$$

$$N_{b,min,Rd} = \frac{\chi_z \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,495 \cdot 86,8 \cdot 23,5}{1,10} = 918 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,min,Rd}} = \frac{118}{918} = 0,129 \leq 1,00$$

Biegedrillknicken ohne Normalkraft

Querschnittswerte:

$$I_t = 52,4 \text{ cm}^4; I_z = 3670 \text{ cm}^4; I_w = 516\,400 \text{ cm}^6$$

$$h = 25,0 \text{ cm}; W_{ply} = 920 \text{ cm}^3$$

$$c^2 = \frac{I_w + 0,039 \cdot I^2 \cdot I_t}{I_z} = \frac{516\,400 + 0,039 \cdot 660^2 \cdot 52,4}{3670} = 383 \text{ cm}^2$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{l^2} = \frac{\pi^2 \cdot 21\,000 \cdot 3670}{660^2} = 1746 \text{ kN}$$

$C_1 = 1,77$ nach Tafel 6, sichere Seite

$$M_{cr} = C_1 \cdot N_{cr,z} \cdot \left(\sqrt{c^2 + 0,25 \cdot z_p^2} + 0,5 \cdot z_p \right)$$

$$M_{cr} = 1,77 \cdot 1746 / 100 \cdot \left(\sqrt{383 + 0,25 \cdot 12,5^2} - 0,5 \cdot 12,5 \right) = 442 \text{ kNm}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{ply} \cdot f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{920 \cdot 23,5}{442 \cdot 100}} = 0,699$$

$\chi_{LT} = 0,870$ nach Tafel 6

$k_c = 0,75$ nach Tafel 6

$$f = 1 - 0,5 \cdot (1 - k_c) \cdot \left[1 - 2,0 \cdot (\bar{\lambda}_{LT} - 0,8)^2 \right]$$

$$f = 1 - 0,5 \cdot (1 - 0,75) \cdot \left[1 - 2,0 \cdot (0,700 - 0,8)^2 \right] = 0,878 \text{ jedoch } < 1,0$$

$$\chi_{LT,mod} = \frac{\chi_{LT}}{f} = \frac{0,870}{0,878} = 0,991 \leq 1,0$$

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT,mod} \cdot W_{ply} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}} = 0,991 \cdot 920 \cdot \frac{23,5}{1,10 \cdot 100} = 195 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{b,Rd}} = \frac{128}{195} = 0,656 \leq 1,0$$

Interaktionsbeziehung für Biegedrillknicken mit Normalkraft

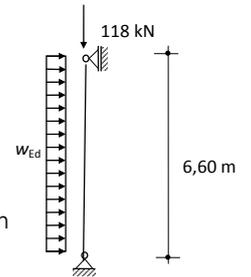
$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,min,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{b,Rd}} = \frac{118}{918} + \frac{128}{195} = 0,785 \leq 1$$

Beispiel 3: Nachweis der Pendelstütze nach Theorie I. Ordnung mit Ersatzstabnachweisen – Berechnungsverfahren c

$\gamma_M = \gamma_{M0} = 1,00$

$w_{Ed} = 3,20 \text{ kN/m}$

$N_{Ed} = 118 \text{ kN}$



System und Belastung

Werkstoff: S 235
 Nachweisverfahren: Elastisch-Plastisch
 Profil: HEA 180
 c/t-Verhältnis ist eingehalten.

Querschnittswerte:

$I_y = 2510 \text{ cm}^4; W_{ply} = 325 \text{ cm}^3$

$N_{pl,Rd} = A \cdot \sigma_{Rd} = 45,3 \cdot 23,5 = 1065 \text{ kN}$

$M_{y,Ed} = \frac{w_{Ed} \cdot l^2}{8} = \frac{3,20 \cdot 6,60^2}{8} = 17,4 \text{ kNm}$

Tragsicherheitsnachweis

$$\frac{V_{z,Ed}}{V_{pl,z,Ed}} \leq 0,5$$

y-y-Achse:

$$N_{Ed} = 118 \text{ kN} \leq 0,25 \cdot N_{pl,Rd} = 0,25 \cdot A \cdot \sigma_{Rd} = 0,25 \cdot 45,3 \cdot 23,5 = 266 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} = 118 \text{ kN} \leq \frac{0,5 \cdot h_w \cdot t_w \cdot f_y}{\gamma_M} = \frac{0,5 \cdot 15,3 \cdot 0,6 \cdot 23,5}{1,00} = 108 \text{ kN} \quad \text{⚡}$$

→ Es ist die Interaktion mit der Normalkraft erforderlich.

Seminar „Fit für den Eurocode“
 Restposten Tagungsband und Tagungstasche bestellbar



Das Seminar „Fit für den Eurocode“ war ein riesiger zweitägiger Event rund um die Einführung des Eurocodes für das Bauwesen in Deutschland. Über 1000 Tragwerksplaner aus dem gesamten Bundesgebiet waren der Einladung der mb AEC Software GmbH gefolgt, um in Berlin gemeinsam den Start in den Eurocode zu erleben.

Der offizielle Tagungsband „Fit für den Eurocode“ mit Aufsätzen von Prof. Dr.-Ing. Jens Minnert und Prof. Dr.-Ing. Gerd Wagenknecht und den umfangreichen Rechenbeispielen von Dipl.-Ing. Petra Licht ist ab sofort zum Preis von je 29,90 EUR erhältlich. Er kann auch in der Original Tagungstasche „Wichtige Dokumente“ für 39,90 EUR bestellt werden.

Prof. Dr.-Ing. Jens Minnert,
 Prof. Dr.-Ing. Gerd Wagenknecht
 Dipl.-Ing. Petra Licht

Fit für den Eurocode
 DIN A4, Softcover, 300 Seiten, Farbe

Inhalt: Einführung in die Eurocodes: Die neue Normengeneration. Eurocode 2 - Stahlbetonbau: Wesentliche Änderungen gegenüber DIN 1045-1. Eurocode 3 - Stahlbau: Grundlagen und Beispiele. Eurocode 5 - Holzbau: Wesentliche Änderungen gegenüber DIN 1052.

Offizieller Tagungsband „Fit für den Eurocode“
29,90 EUR



Offizieller Tagungsband + Original Tagungstasche „Wichtige Dokumente“
39,90 EUR



Die Rechnungsstellung erfolgt zzgl. einmalig 7,50 EUR Versandkostenpauschale, zzgl. gesetzl. MWSt. Solange Vorrat reicht.

Zu beziehen über
www.mbaec.de

mb AEC Software GmbH · Europaallee 14 · 67657 Kaiserslautern · Tel. 0631 30 333-11 · info@mbaec.de · www.mbaec.de

$$n = \frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} = \frac{118}{1065} = 0,111$$

$$a = \frac{A \cdot 2 \cdot b \cdot t_f}{A} = \frac{45,3 \cdot 2 \cdot 18,0 \cdot 0,95}{45,3} = 0,245 \leq 0,5 \quad \text{jedoch } a \leq 0,5$$

$$M_{pl,y,Rd} = W_{pl,y} \cdot \sigma_{Rd} = 325 \cdot 23,5 = 7638 \text{ kNm} = 76,4 \text{ kNm}$$

y-y -Achse:

$$M_{N,y,Rd} = M_{pl,y,Rd} \cdot \frac{1-n}{1-0,5 \cdot a} = 76,4 \cdot \frac{1-0,111}{1-0,5 \cdot 0,245} = 77,4 \text{ kNm}$$

aber $M_{N,y,Rd} \leq M_{pl,y,Rd} = 76,4 \text{ kNm}$

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{N,y,Rd}} = \frac{17,4}{76,4} = 0,228 \leq 1,00$$

Ersatzstabnachweis der Pendelstütze

$$\gamma_{M1} = 1,10$$

Der Nachweis wird vereinfacht mit der konservativen Lösung nach Tafel 6 ohne Berücksichtigung des Interaktionsbeiwertes k_{ij} geführt.

Knicken um die z-z-Achse ist hier für $N_{b,min,Rd}$ maßgebend.

Querschnittswerte: $I_z = 925 \text{ cm}^4$

Nach Tafel 5.2 ist dieses Profil bei Knicken um die z-z-Achse der Kurve c zugeordnet.

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 21\,000 \cdot 925}{660^2} = 440 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{N_{pl}}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{45,3 \cdot 23,5}{440}} = 1,56 \quad \text{Tafel 5.1} \quad \chi_z = 0,296$$

$$N_{b,min,Rd} = \frac{\chi_z \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,296 \cdot 45,3 \cdot 23,5}{1,10} = 286 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,min,Rd}} = \frac{118}{286} = 0,413 \leq 1,00$$

Biegedrillknicken ohne Normkraft

Querschnittswerte:

$$I_t = 14,8 \text{ cm}^4; I_z = 925 \text{ cm}^4; I_w = 60\,210 \text{ cm}^6$$

$$h = 17,1 \text{ cm}; W_{pl,y} = 325 \text{ cm}^3$$

$$c^2 = \frac{I_w + 0,039 \cdot I^2 \cdot I_t}{I_z} = \frac{60\,210 + 0,039 \cdot 660^2 \cdot 14,8}{925} = 337 \text{ cm}^2$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{l^2} = \frac{\pi^2 \cdot 21\,000 \cdot 925}{660^2} = 440 \text{ kN}$$

$$C_1 = 1,12 \text{ nach Tafel 6}$$

$$M_{cr} = C_1 \cdot N_{cr,z} \cdot \left(\sqrt{c^2 + 0,25 \cdot z_p^2} + 0,5 \cdot z_p \right)$$

$$M_{cr} = 1,12 \cdot 440 / 100 \cdot \left(\sqrt{337 + 0,25 \cdot 8,6^2} - 0,5 \cdot 8,6 \right) = 71,7 \text{ kNm}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{325 \cdot 23,5}{71,7 \cdot 100}} = 1,03$$

$$\chi_{LT} = 0,682 \text{ nach Tafel 6}$$

$$k_c = 0,94 \text{ nach Tafel 6}$$

$$f = 1 - 0,5 \cdot (1 - k_c) \cdot \left[1 - 2,0 \cdot (\bar{\lambda}_{LT} - 0,8)^2 \right]$$

$$f = 1 - 0,5 \cdot (1 - 0,94) \cdot \left[1 - 2,0 \cdot (0,682 - 0,8)^2 \right] = 0,971 \text{ jedoch } < 1,0$$

$$\chi_{LT,mod} = \frac{\chi_{LT}}{f} = \frac{0,682}{0,971} = 0,702 \leq 1,0$$

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT,mod} \cdot W_{pl,y} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}} = 0,702 \cdot 325 \cdot \frac{23,5}{1,10 \cdot 100} = 48,7 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{b,Rd}} = \frac{17,4}{48,7} = 0,357 \leq 1,0$$

Interaktionsbeziehung für Biegedrillknicken mit Normkraft

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,min,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{b,Rd}} = \frac{118}{286} + \frac{17,4}{48,7} = 0,770 \leq 1$$

Beispiel 4: Nachweis der Pendelstütze nach Theorie II. Ordnung für ein Hohlprofil – Berechnungsverfahren a nach NA Deutschland

$$\gamma_M = \gamma_{M1} = 1,10$$

Bei unverschieblichen Systemen mit Stäben aus drehsteifen Querschnitten sind bei der globalen Tragwerksberechnung die Vorkrümmungen in der Regel jeweils in allen maßgebenden Richtungen zu untersuchen, brauchen aber nur in einer Richtung gleichzeitig betrachtet zu werden. Exemplarisch soll dieser Nachweis für die Pendelstütze geführt werden.

1. Imperfektion um die y-y-Achse

$$w_{Ed} = 3,20 \text{ kN/m}$$

$$N_{Ed} = 118 \text{ kN}$$

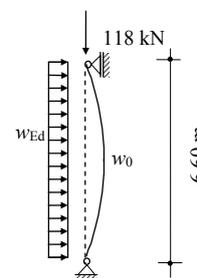
System und Belastung

Werkstoff: S 235

Nachweisverfahren: Elastisch-Plastisch

Profil: RHP 150x100x8 warmgefertigt

c/t-Verhältnis ist eingehalten.



Querschnittswerte:

$$I_y = 1087 \text{ cm}^4; W_{pl,y} = 180 \text{ cm}^3; W_{pl,z} = 135 \text{ cm}^3$$

$$I_z = 569 \text{ cm}^4; W_{el,y} = 145 \text{ cm}^3; W_{el,z} = 114 \text{ cm}^3$$

$$N_{pl,Rd} = A \cdot \sigma_{Rd} = 36,8 \cdot 21,4 = 788 \text{ kN}$$

$$M_{pl,y,Rd} = W_{pl,y} \cdot \sigma_{Rd} = 180 \cdot 21,4 / 100 = 38,5 \text{ kNm}$$

$$M_{pl,z,Rd} = W_{pl,z} \cdot \sigma_{Rd} = 135 \cdot 21,4 / 100 = 28,9 \text{ kNm}$$

Beanspruchung um die y-y-Achse

Theorie I. oder II. Ordnung ?

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 21\,000 \cdot 1087}{660^2} = 517 \text{ kN}$$

$$q_y = \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}} = \frac{118}{517} = 0,228 > 0,1 \text{ bzw. } \frac{N_{cr,y}}{N_{Ed}} = \frac{517}{118} = 4,38 < 10$$

Die Berechnung muss nach Theorie II. Ordnung erfolgen. Die Ersatzimperfektion w_0 richtet sich nach der Knickspannungslinie. Nach Tafel 5.2 ist dieses Profil bei Knicken um die y-y-Achse der Kurve a zugeordnet. Senkrecht zur Biegeebene wird keine Ersatzimperfektion angesetzt.

$$w_0 = \frac{l}{550} \cdot \frac{W_{pl,y}}{W_{el,y}} = \frac{6,60}{550} \cdot \frac{180}{145} = 0,0149 \text{ m nach Tafel 4}$$

$$M_{1,y,Ed} = \frac{w_{Ed} \cdot l^2}{8} + N_{Ed} \cdot w_0 = \frac{3,20 \cdot 6,60^2}{8} + 118 \cdot 0,0149 = 19,2 \text{ kNm}$$

Sehr genau ist für diese Belastung die folgende Näherung:

$$M_{y,Ed} = \frac{M_{1,y,Ed}}{1 - q_y} = \frac{19,2}{1 - 0,228} = 24,9 \text{ kNm}$$

Keine Imperfektion und keine Beanspruchung um die z-z-Achse. Es ist der Nachweis für einachsige Biegung mit Normalkraft zu führen.

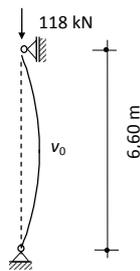
Tragsicherheitsnachweis

$$\frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,y,Rd}} = \frac{118}{788} + \frac{24,9}{38,5} = 0,796 \leq 1,00$$

2. Imperfektion um die z-z-Achse

$N_{Ed} = 118 \text{ kN}$

System und Belastung



Beanspruchung um die z-z-Achse

Theorie I. oder II. Ordnung ?

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 21\,000 \cdot 569}{660^2} = 271 \text{ kN}$$

$$q_z = \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}} = \frac{118}{271} = 0,435 > 0,1 \text{ bzw. } \frac{N_{cr,z}}{N_{Ed}} = \frac{271}{118} = 2,30 < 10$$

Die Berechnung muss nach Theorie II. Ordnung erfolgen. Die Ersatzimperfektion v_0 richtet sich nach der Knickspannungslinie. Nach Tafel 5.2 ist dieses Profil bei Knicken um die z-z-Achse der Kurve a zugeordnet. Senkrecht zur Biegeebene wird keine Ersatzimperfektion angesetzt.

$$v_0 = \frac{l}{550} \cdot \frac{W_{pl,z}}{W_{el,z}} = \frac{6,60}{550} \cdot \frac{135}{114} = 0,0142 \text{ m}$$

$$M_{1,z,Ed} = N_{Ed} \cdot v_0 = 118 \cdot 0,0142 = 1,68 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Ed} = \frac{M_{1,z,Ed}}{1 - q_z} = \frac{1,68}{1 - 0,435} = 2,97 \text{ kNm}$$

Beanspruchung um die y-y-Achse ohne Imperfektion:

$$M_{1,y,Ed} = \frac{w_{Ed} \cdot l^2}{8} = \frac{3,20 \cdot 6,60^2}{8} = 17,4 \text{ kNm}$$

$$M_{y,Ed} = \frac{M_{1,y,Ed}}{1 - q_y} = \frac{17,4}{1 - 0,228} = 22,5 \text{ kNm}$$

i

Bestellung Bemessungstafeln

Die EC-Bemessungstafeln können kostenlos bei der mb AEC Software GmbH bezogen werden:

www.mbaec.de/tafel

Es ist der Nachweis für zweiachsige Biegung mit Normalkraft zu führen.

Tragsicherheitsnachweis

$$\frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,y,Rd}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,z,Rd}} = \frac{118}{788} + \frac{22,5}{38,5} + \frac{2,97}{28,9} = 0,834 \leq 1,00$$

Prof. Dr.-Ing. Gerd Wagenknecht
Technische Hochschule Mittelhessen

Literatur

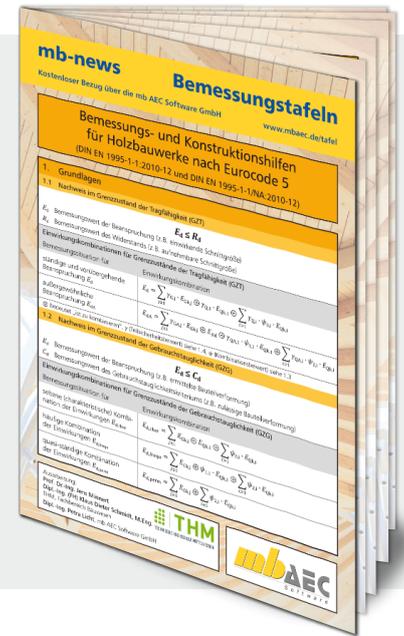
- [1] Gerd Wagenknecht: „Bemessungs- und Konstruktionshilfen für Stahlbauwerke nach Eurocode 3“. Herausgegeben von der mb AEC Software GmbH, Kaiserslautern 2012
- [2] DIN EN 1993-1-1:2010-12, Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau
- [3] DIN EN 1993-1-1/NA:2010-12, Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau
- [4] DIN EN 1993-1-8:2010-12, Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-8: Bemessung von Anschlüssen
- [5] DIN EN 1993-1-8/NA:2010-12, Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-8: Bemessung von Anschlüssen
- [6] Gerd Wagenknecht: Stahlbau-Praxis nach Eurocode 3, Band 1, Tragwerksplanung Grundlagen, 4. Auflage. Beuth/Bauwerk Verlag, Berlin 2011
- [7] Gerd Wagenknecht: Stahlbau-Praxis nach Eurocode 3, Band 2, Verbindungen und Konstruktionen, 3. Auflage. Beuth/Bauwerk Verlag, Berlin 2011

Jens Minnert, Klaus Dieter Schmidt, Petra Licht

Erläuterungen und Ergänzungen zur Holzbau-Bemessungstafel nach EC 5

Die Bemessungstabellen zur neuen Holzbaunorm DIN EN 1995-1-1:2010-12 und DIN EN 1995-1-1/NA:2010-12 sollen den in der Praxis tätigen Ingenieur bei der täglichen Arbeit unterstützen sowie das zeitraubende Aufsuchen der wesentlichen Bemessungs- und Konstruktionshilfen ersparen.

Die Tabellen beschränken sich auf die gängigsten Hölzer und Verbindungsmittel. Im folgenden Beitrag werden Erläuterungen und Ergänzungen zu ausgewählten Abschnitten gezeigt, die aus Kapazitätsgründen nicht in die Bemessungstafel aufgenommen werden konnten.



Allgemeines

Der Eurocode 5 setzt sich aus den drei folgenden Teilen zusammen:

- Teil 1-1: Grundlagen
- Teil 1-2: Brandschutz
- Teil 2: Brücken

Ergänzend gibt es für jeden Teil noch einen nationalen Anhang. Der Anwendungsbereich dieser Norm liegt bei der Bemessung und Konstruktion von Hochbauten und Ingenieurbauwerken, mit dem Schwerpunkt Tragfähigkeit, Gebrauchstauglichkeit, Dauerhaftigkeit und dem Brandschutz. Anforderungen, die nicht mit der Standsicherheit in Zusammenhang stehen, wie z.B. der Schall- und Wärmeschutz, sind nicht Gegenstand dieser Norm.

Grundlagen

Klassen der Lasteinwirkungsdauer (KLED)

Die Festlegung der Klasse der Lasteinwirkungsdauer ist eine Besonderheit des Holzbaus, da die Festigkeitseigenschaften unter anderem von der Dauer der Einwirkung beeinflusst werden. Die Klassen der Lasteinwirkungsdauer sind nach Tabelle 2.1 EC 5-1-1 eingeteilt. Die dort angegebenen Werte beziehen sich nicht auf einen zusammenhängenden Zeitraum in dem die Last auftritt, sondern auf die Summe der einzelnen Zeiträume in denen mindestens die

charakteristische Last vorhanden ist, (siehe Bild 1) [3]. Ge-
naue Zuweisungen zwischen der Lastart und der KLED können aufgrund der unterschiedlichen Klimabedingungen nur im Nationalen Anhang angegeben werden (EC 5-1-1/NA Tab. NA.1).

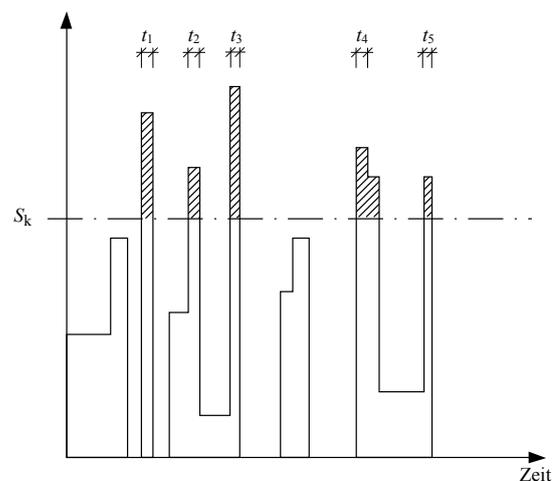


Bild 1: Lasteinwirkungsdauer (in Anlehnung an [3])

Teilsicherheitsbeiwerte

Die Teilsicherheitsbeiwerte für Einwirkungen wurden aus dem EC 0/NA Tabelle NA.A1.2 entnommen. Die Teilsicherheitsbeiwerte auf der Materialseite dagegen stehen im EC 5-1-1/NA Tabelle NA.2. Gegenüber der DIN 1052 wur-

den die Teilsicherheitsbeiwerte für Stahlverbindungsmittel (ausgenommen Nagelplatten) deutlich erhöht. Für biegebeanspruchte Verbindungsmittel steigt der Sicherheitsbeiwert von 1,1 auf 1,3 an. Bei Beanspruchungen auf Zug oder Abscheren wird der Wert von 1,25 auf 1,3 angehoben.

Materialkennwerte

Der EC 5-1-1 regelt selbst keine Holzfestigkeiten und Verformungsparameter. Abschnitt 3.2 Vollholz verweist auf die DIN EN 338 und Abschnitt 3.3 Brettschichtholz auf die DIN EN 1194. Die charakteristischen Festigkeitswerte für Schub und Torsion $f_{v,k}$ fallen im Vergleich zur DIN deutlich höher aus. Dies liegt daran, dass hier entsprechend der Norm EN 408, die Festigkeitswerte für Holz ohne Risse angegeben wurden. Die Berücksichtigung der Risse für die Bemessung wird im EC 5-1-1 Abschnitt 6.1.7 Schub behandelt. Hier ist auch geschrieben, dass die Rollschubfestigkeit näherungsweise das Doppelte der Zugfestigkeit rechtwinklig zur Faserrichtung beträgt.

Die Zugfestigkeit von Laubholz wurde rechtwinklig zur Faser durchweg um 0,1 N/mm² auf 0,6 N/mm² angehoben [7]. Der Schubmodul G_{mean} änderte sich bei den Festigkeitsklassen D30, D35 und D40 ebenfalls. Die Festigkeitsklasse D40 erzielt einen deutlichen Anstieg von 13,6%. Die Festigkeitswerte von Brettschichtholz bleiben im Wesentlichen unverändert. Eine geringfügige Veränderung zeigt die Zugfestigkeit rechtwinklig zur Faser sowie der Elastizitätsmodul $E_{0,05}$ [8]. Die charakteristischen Werte der Biegefestigkeit und Zugfestigkeit nach DIN EN 338 dürfen bei rechteckigen Vollholzquerschnitten mit einer Rohdichte von unter 700 kg/m³ und einer Breite von unter 15 cm mit dem Beiwert k_h erhöht werden.

h	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140
k_h	1,2457	1,2011	1,1647	1,134	1,1076	1,0845	1,064	1,0456	1,029	1,0139

Querschnittsnachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit

Biegung und Zug bzw. Biegung und Druck

Die Nachweisführung für Querschnitte mit einachsiger und zweiachsiger Biegebeanspruchung, sowie deren Kombination mit Zug oder Druck, hat sich im Vergleich zur DIN von 2008 nicht geändert. Lediglich der Abminderungsfaktor k , der bei schiefer Biegung benötigt wird, trägt im Eurocode den Index „m“ und nach DIN den Index „red“. Der Abminderungsfaktor für Rechteckquerschnitte aus Vollholz k_m beträgt nach EC - unabhängig des Seitenverhältnisses - 0,7. Gemäß der DIN wurde das Verhältnis auf $h/b \leq 4$ begrenzt, bei einer Überschreitung war 1,0 anzusetzen.

Erläuterung zum Abminderungsfaktor k_m

Wird ein Rechteckquerschnitt um beide Hauptachsen belastet, treten die beiden Hauptspannungen σ_y und σ_z auf. Bei Überlagerung dieser zwei Spannungen entsteht an einem Eckpunkt der Maximalwert. Hingegen ist bei einachsiger Biegung der Maximalwert auf einer kompletten Kante vor-

handen. Die Wahrscheinlichkeit des Versagens ist an einem Eckpunkt gegenüber der Kante wesentlich geringer, weil hier der extrem beanspruchte Bereich deutlich kleiner ist. Aus diesem Grund darf die kleinere Biegespannung mit dem Faktor k_m abgemindert werden [3].

Schub und Querkraft

Wie zuvor bereits erwähnt, ist die charakteristische Festigkeit $f_{v,k}$ für Schub ohne Berücksichtigung der Risse angegeben. Um den Einfluss bei biegebeanspruchten Bauteilen zu erfassen, wird die Schubfläche A mit der wirksamen Breite b_{ef} berechnet. Die wirksame Breite b_{ef} ist das Produkt aus der tatsächlich vorhanden Breite b und dem Abminderungsfaktor k_{cr} , der je nach Holzsorte und Holzprodukt variiert. Der NA ersetzt die im EC vorgeschlagenen festen k_{cr} -Werte durch Gleichungen. Infolgedessen wird die Schubfestigkeit auf die bisher angewendeten Festigkeiten der DIN 1052 begrenzt.

Das folgende Beispiel verdeutlicht dies:

Brettschichtholz GL36h:

$$f_{v,k} = 4,3 \text{ N/mm}^2 \text{ nach EC 5,}$$

$$\text{ohne Berücksichtigung der Risse}$$

$$f_{v,k} = 2,5 \text{ N/mm}^2 \text{ nach DIN 1052,}$$

$$\text{mit Berücksichtigung der Risse}$$

$$k_{\text{cr}} = 2,5/f_{v,k} = 2,5/4,3 = 0,581$$

$$f_{v,k} = 0,581 \cdot 4,3 = 2,50 \text{ N/mm}^2 \text{ nach EC 5,}$$

$$\text{mit Berücksichtigung der Risse}$$

Nach Umstellen der Gleichung ist ersichtlich, dass es völlig egal ist, wie hoch die Schubfestigkeit in der DIN EN 338 oder DIN EN 1194 angegeben wird:

$$f_{v,k} \cdot k_{\text{cr}} = 2,5 \text{ N/mm}^2$$

Die Möglichkeit, einen biegebeanspruchten Träger aus Gleichstreckenlast mit einer reduzierten Querkraft im Abstand h zum Auflagerrand nachzuweisen, ist erhalten geblieben. Verändert hat sich dagegen der Einfluss einer Einzellast oder einer Linienlast. Nach Eurocode 5 darf die Einzellast, wenn sie innerhalb des Abstandes h steht, für den Querkraftnachweis unberücksichtigt bleiben. Bisher durften Einzellasten, die im Abstand $2,5h$ von der Auflagermitte wirkten, mit dem Faktor $e/2,5h$ verringert werden.

Nachweise der Gebrauchstauglichkeit

Nachweis der Durchbiegung

Die Verformungen einer Konstruktion sind so zu begrenzen, dass keine Schäden an nachgeordneten Bauteilen wie z.B. Trennwänden oder Fenstern auftreten, die Benutzbarkeit nicht eingeschränkt wird und das Erscheinungsbild gewahrt bleibt. Dabei dürfen die Verformungen im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit unter Verwendung der Mittelwerte der entsprechenden Elastizitätsmoduln und den Teilsicherheitsbeiwerten für Einwirkungen und Material mit $\gamma = 1,0$ berechnet werden.

Die im EC 5 Tabelle 7.2 angegebenen Grenzwerte für die Durchbiegung eines Biegestabs sind lediglich empfohlene Grenzwerte und müssen nicht zwingend eingehalten werden. Im Zweifelsfall sollten die Grenzwerte gemeinsam mit dem Bauherrn, aufgrund der vorgesehenen Nutzung, abgestimmt werden.

Die Berechnung der vorhandenen Verformung ist in Abschnitt 2.2.3 des EC 5 und dem zugehörigen Abschnitt des NA geregelt. Entsprechend dem NA ist immer die Anfangsverformung w_{inst} nach Absatz (2) und der Kriechanteil in der quasi-ständigen Kombination zu berücksichtigen. Die Vereinfachung zur Berechnung der Endverformung w_{fin} nach Absatz (5), ist aus Sicht der Autoren verwirrend und stellt keinerlei Vereinfachung dar. Somit ergeben sich die drei folgenden Gleichungen:

$$w_{inst} = w_{inst,G} + w_{inst,Q,1} + \sum_{i>1} \psi_{0,i} \cdot w_{inst,Q,i}$$

$$w_{fin} = w_{inst} + w_{inst,G} \cdot k_{def} + \sum_{i>1} w_{inst,Q,i} \cdot \psi_{2,i} \cdot k_{def}$$

$$w_{net,fin} = w_{fin,qs} - w_c$$

$$= w_{inst,G} \cdot (1 + k_{def}) + \sum_{i>1} w_{inst,Q,i} \cdot \psi_{2,i} \cdot (1 + k_{def})$$

Besteht ein Bauteil aus Materialien mit unterschiedlichen Kriecheigenschaften (z.B. I-Träger mit Gurten aus Vollholz und einem Steg aus Holzwerkstoff), sollte entsprechend Absatz (4) des EC 5 die Endverformung mit abgeänderten Steifigkeitswerten ermittelt werden, siehe folgende Gleichung.

$$E_{mean,fin} = \frac{E_{mean}}{(1 + k_{def})}$$

Nachweis der Schwingungen

Häufig auftretende Einwirkungen dürfen, nach EC 5 Abschnitt 7.3, keine Schwingungen verursachen, die die Funktion des Bauwerks beeinträchtigen oder bei den Nutzern Unbehagen verursachen. Für Wohnungsdecken mit einer Eigenfrequenz über 8 Hz, bedeutet dies, dass die folgenden zwei Nachweise eingehalten werden sollten:

1. $w/F \leq a$ [mm/kN]
 2. $v \leq b^{(\zeta-1)}$ [m/(Ns²)]
- w größte vertikale Anfangsdurchbiegung infolge der statischen Einzellast F , an beliebiger Stelle wirkend und unter Berücksichtigung der Lastverteilung
- v Einheitsimpuls geschwindigkeit (Schwinggeschwindigkeit)
- ζ modaler Dämpfungsgrad ($\zeta = 0,01$)

Der erste Nachweis begrenzt die Durchbiegung. Dadurch wird eine Mindeststeifigkeit erreicht, die sicherstellt, dass niederfrequente Belastungen (Gehen) die Schwingungs-

amplitude gering halten [4]. Beim zweiten Nachweis handelt es sich um einen Nachweis der Schwingungsgeschwindigkeit. Hier wird eine Mindestanforderung an die Masse gestellt, da sie bei einer impulsartigen Belastung (Springen) entscheidend für die Anfangsgeschwindigkeit ist [5].

Bei Decken, die eine Eigenfrequenz von unter 8 Hz aufweisen, ist ein besonderer Nachweis erforderlich. Genauere Informationen zum „besonderen Nachweis“ werden im Eurocode nicht gegeben. Als weiterführende Literatur wird auf [5] verwiesen.

Bisher durfte der Schwingungsnachweis nach DIN 1052 über einen Durchbiegungsnachweis am Einfeldträger mit $w_{G,inst} + \psi_2 \cdot w_{Q,inst} \leq 6 \text{ mm}$ erbracht werden. Daraus resultiert eine Frequenz von $f = 5/\sqrt{0,8 \cdot w} = 5/\sqrt{0,8 \cdot 0,6} = 7,2 \text{ Hz}$. Nach dem Eurocode 5 wird eine Frequenz von $\geq 8 \text{ Hz}$ gefordert.

Dementsprechend folgt:

$$\max. w = \frac{(5/f)^2}{0,8} = \frac{(5/8)^2}{0,8} = 0,49 \text{ cm}$$

Somit ist der Nachweis gemäß Eurocode etwas verschärft worden [5].

Verbindungen

Druckanschluss – Kraft schräg zur Faser

Mit der Einführung des Eurocode 5 vereinfacht sich der Druckspannungsnachweis für eine schräg angreifende Kraft deutlich. Der anwendungsfreundlichere Nachweis benötigt nun keine Hilfstabellen mehr, um effizient zu arbeiten. Der Spannungsnachweis ist erbracht, wenn folgende Bedingung eingehalten ist:

$$\sigma_{c,\alpha,d} \leq \frac{f_{c,0,d}}{\frac{f_{c,0,d}}{k_{c,90} \cdot f_{c,90,d}} \cdot \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha}$$

Stellt man diese Gleichung um und setzt für $\sigma_{c,\alpha,d}$ gleich $F_{c,\alpha,d}/A_{ef}$ ein, so erhält man:

$$\frac{\left(\frac{F_{c,\alpha,d}}{A_{ef}}\right) \cdot \left(\frac{f_{c,0,d}}{k_{c,90} \cdot f_{c,90,d}} \cdot \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha\right)}{f_{c,0,d}} \leq 1$$

Im Vergleich zwischen DIN 1052 und Eurocode 5 ist auffällig, dass die maximal aufnehmbare Schubspannung $f_{v,d}$ nun nicht mehr in die Gleichung integriert ist. Stellt man die Ergebnisse für die maximal aufnehmbare Spannung $\sigma_{c,\alpha,d}$ gegenüber, so ist ersichtlich, dass nach EC 5 eine höhere Spannung zugelassen wird.

Zugverbindungen – Kraft schräg zur Faser

Bedingt durch Zugkräfte, die unter einem Winkel zur Faserrichtung angreifen ($\sin \alpha \cdot F_{Ed}$), treten Querzugspannungen auf. Diese Spannungen müssen nachgewiesen werden.

Gegebenenfalls ist bei Nichteinhaltung der zulässigen Spannung die Verbindung zu verstärken. Hierbei wird zwischen innenliegender und außenliegender Verstärkung unterschieden. Eine innenliegende Verstärkung kann z.B. durch eingeklebte Gewindestangen oder Betonstabstähle sowie durch Vollgewindeschrauben erfolgen. Für außenliegende Verstärkungen kommen aufgeklebte Verstärkungen aus Sperrholz, Furnierschichtholz, Bretter aus Nadelholz oder eingepresste Nagelplatten in Frage [6].

Um ein Quersugversagen auszuschließen, ist folgende Bedingung einzuhalten:

$$F_{v,Ed} \leq F_{90,Rd}$$

$F_{v,Ed}$ Bemessungswert der Querkraft

$F_{90,Rd}$ Bemessungswert der Quersugtragfähigkeit

Hierbei ist:

$$F_{v,Ed} = \max \left\{ F_{v,Ed,1}, F_{v,Ed,2} \right\}$$

$$F_{90,Rd} = 14 \cdot b \cdot w \cdot \sqrt{\frac{h_e}{(1-h_e/h)}}$$

Der Modifikationsbeiwert w wird für Nagelplatten nach folgender Gleichung ermittelt. Für alle anderen Verbindungsmittel wird dieser mit 1 angenommen.

$$w = \max \left\{ \left(\frac{w_{pl}}{100} \right)^{0,35}, 1 \right\}$$

h_e Abstand des am entferntesten angeordneten Verbindungsmittels oder Nagelplattenrand vom beanspruchten Holzrand in mm

h Höhe des Holzbauteils in mm

b Dicke des Holzbauteils in mm

w_{pl} Breite der Nagelplatte parallel zur Faserrichtung in mm

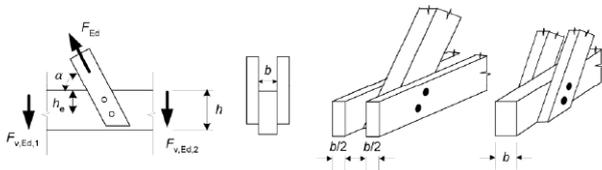


Bild 2. Verbindung einer schräg angreifenden Zugkraft [1]

Verbindungen mit Nägeln

Abweichend von Holz-Holz-Verbindungen und Stahlblech-Holz-Verbindungen dürfen Nägel, die auf Abscheren beansprucht werden, nach den vereinfachten Regeln bemessen werden. Der Sicherheitsbeiwert wird hierbei, abweichend von Tabelle NA.2 des EC 5/NA, mit $\gamma_M = 1,1$ angenommen.

Nägel mit einem Durchmesser von größer als 6 mm sollten vorgebohrt werden, um die Spaltgefahr zu senken, da beim Einschlagen eines nicht vorgebohrten Nagels Quersugspannungen entstehen. Diese Spannungen werden durch das Verdrängen der Holzfasern erzeugt, die den Holzquerschnitt spalten können. Aus diesem Grund ist die Tragfähigkeit eines vorgebohrten Nagels auf Abscheren im Vergleich

zum nicht vorgebohrten Nagel höher. Bei Verwendung von Nageldurchmessern größer als 8 mm, ist die Lochleibungsfestigkeit für Bolzen anzuwenden.

Die in der Bemessungstafel unter Punkt 9.1 aufgeführte Tabelle, beinhaltet die Mindestzugfestigkeit $f_{t,u}$ von 600 N/mm^2 für die Werte von $F_{v,Rk}$.

In Faserrichtung hintereinander liegende Nägel, die nicht mindestens $1d$ gegeneinander versetzt sind, erhöhen die Gefahr des Aufspaltens. Aus diesem Grund wird eine wirksame Anzahl von Nägeln berechnet. Besonders günstig ist es, die Nägel in Faserrichtung nebeneinander anzuordnen, da diese ihre volle Tragfähigkeit behalten.

Die Gegenüberstellung von Eurocode und DIN zeigt im Bereich der effektiv wirksamen Anzahl der Nägel eine deutliche Veränderung. Nach der DIN durften Nägel, mit einem Schaftdurchmesser unter 6 mm, bei Einhaltung der Mindestabstände, pauschal zu 100% angesetzt werden. Der Eurocode hingegen differenziert nicht zwischen den Nageldurchmessern. Stattdessen zählt nur der Abstand der Nägel untereinander.

Prof. Dr.-Ing. Jens Minnert,
Dipl.-Ing. M.Eng. Klaus Dieter Schmidt
Technische Hochschule Mittelhessen,
Fachbereich Bauwesen

Dipl.-Ing. Petra Licht,
mb AEC Software GmbH

Literaturverzeichnis

- [1] DIN EN 1995-1-1:2010-12: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten- Teil 1-1: Allgemeines Allgemeine Regeln und Regeln für den Hochbau
- [2] DIN EN 1995-1-1/NA:2010-12: Nationaler Anhang – Bemessung und Konstruktion von Holzbauten- Allgemeines
- [3] Colling, François (2004): Holzbau, Mering, Vieweg
- [4] Absatzförderungsfonds der deutschen Forst- und Holzwirtschaft (1995): Informationsdienst Holz- Bemessung nach Eurocode 5-1-1,
- [5] Blaß, H. J., Ehlbeck, J., Kreuzinger, H., Steck, G. (2005): Erläuterungen zu DIN 1052: 2004-08, Bruderverlag
- [6] Fördergesellschaft Holzbau und Ausbau mbH (2010): DIN 1052 Praxishandbuch Holzbau, 2. Auflage, Beuth
- [7] DIN EN 338:2010-02: Bauholz für tragende Zwecke – Festigkeitsklassen
- [8] DIN EN 1194:1999-05: Brettschichtholz, Festigkeitsklassen und Bestimmung charakteristischer Werte

i Bestellung Bemessungstafeln

Die EC-Bemessungstafeln können kostenlos bei der mb AEC Software GmbH bezogen werden:
www.mbaec.de/tafel