



Bemessungshilfe Stützen im Geschossbau

Bemessungstabellen nach DIN EN 1993-1-1 und
Nomogramme für den Brandfall nach DIN EN 1993-1-2

A	Bemessungstabellen für das Biegeknicken	Seite 4
A.1	Einführung	Seite 4
A.1.1	Biegeknickbeanspruchbarkeiten von HEA-Profilen der Stahlgüte S355 mit $\gamma_{M1}=1,1$	Seite 5
A.1.2	Biegeknickbeanspruchbarkeiten von HEA-Profilen der Stahlgüte S460M mit $\gamma_{M1}=1,1$	Seite 6
A.1.3	Biegeknickbeanspruchbarkeiten von HEB-Profilen der Stahlgüte S355 mit $\gamma_{M1}=1,1$	Seite 7
A.1.4	Biegeknickbeanspruchbarkeiten von HEB-Profilen der Stahlgüte S460M mit $\gamma_{M1}=1,1$	Seite 8
A.1.5	Biegeknickbeanspruchbarkeiten von HEM-Profilen der Stahlgüte S355 mit $\gamma_{M1}=1,1$	Seite 9
A.1.6	Biegeknickbeanspruchbarkeiten von HEM-Profilen der Stahlgüte S460M mit $\gamma_{M1}=1,1$	Seite 10
A.1.7	Biegeknickbeanspruchbarkeiten von HD-Profilen der Stahlgüte S355 mit $\gamma_{M1}=1,1$	Seite 11
A.1.8	Biegeknickbeanspruchbarkeiten von HD-Profilen der Stahlgüte S460M mit $\gamma_{M1}=1,1$	Seite 12
<hr/>		
Stützen im Geschossbau		Seite 13
1	Einführung und allgemeine Vorbemerkungen	Seite 13
1.1	Querschnittswahl und Wahl der Stahlgüte	Seite 14
2	Bemessungskonzept für Stützen nach DIN EN 1993-1-1:2010-12	Seite 16
2.1	Bemessungsgrundlagen	Seite 16
2.1.1	Werkstoffe	Seite 17
2.1.2	Querschnittsklassifizierung	Seite 17
2.1.3	Einstufung in die Knicklinie	Seite 22
2.2	Nachweis gleichförmiger Bauteile mit planmäßig zentrischem Druck – (BK-Biegeknicken) nach DIN EN 1993-1-1, Element 6.3.1	Seite 22
2.3	Nachweis der gleichförmigen Bauteile mit Biegung um die Hauptachse (BDK -Biegedrillknicken) nach DIN EN 1993-1-1, Element 6.3.2	Seite 24
2.3.1	Allgemeiner Fall für das BDK nach DIN EN 1993-1-1, Element 6.3.2.2	Seite 24
2.3.2	Spezieller Fall für das BDK - Gewalzte Querschnitte oder gleichartige geschweißte Querschnitte - nach DIN EN 1993-1-1, Element 6.3.2.3	Seite 24
2.4	Interaktionsnachweise für auf Biegung und Druck beanspruchte gleichförmige Bauteile nach DIN EN 1993-1-1, Element 6.3.3	Seite 26
2.5	Rechenbeispiel einer Stütze mit planmäßig zentrischem Druck - Biegeknicken nach DIN EN 1993-1-1, vgl. Tabelle A.1.1	Seite 26
<hr/>		
3	Brandschutz	Seite 27
3.1	Berechnungsgrundlagen	Seite 28
3.1.1	Tragfähigkeit im Brandfall	Seite 28
3.1.2	Randbedingungen	Seite 29
3.1.3	Brandschutzmaterialien	Seite 30
3.2	Berechnungsverfahren	Seite 30
3.2.1	Kritische Temperatur	Seite 30
3.2.2	Feuerwiderstandsdauer	Seite 30
3.2.3	Bauteile mit Querschnitten der Klasse 4	Seite 33
3.3	Rechenbeispiele	Seite 33
3.3.1	Beispiel 1 - Geschützte Geschossstütze	Seite 33
3.3.2	Beispiel 2 - Ungeschützte Geschossstütze	Seite 34
Nomogramm B.1:	Entwicklung der Stahltemperaturen in Abhängigkeit von der Branddauer	Seite 35
Nomogramm B.2:	kritische Temperatur $\theta_{a,cr}$ für Druckstäbe der Stahlsorten S355	Seite 36
Nomogramm B.3:	kritische Temperatur $\theta_{a,cr}$ für Druckstäbe der Stahlsorten S460M	Seite 37
<hr/>		
4	Literatur	Seite 38

Impressum

Bemessungshilfe Stützen im Geschossbau –
Bemessungstabellen nach DIN EN 1993-1-1 und
Nomogramme für den Brandfall nach DIN EN 1993-1-2
Nr. B 503

Herausgeber:

bauforumstahl e.V. | Sohnstraße 65 | 40237 Düsseldorf
Postfach 104842 | 40039 Düsseldorf
T: +49 (0)211.6707.828 | F: +49 (0)211.6707.829
zentrale@bauforumstahl.de | www.bauforumstahl.de
www.facebook.com/bauforumstahl

© bauforumstahl e.V., Düsseldorf, Juni 2014

Ein Nachdruck dieser Publikation – auch auszugsweise – ist nur mit schriftlicher Genehmigung des Herausgebers bei deutlicher Quellenangabe gestattet.

Bei der Zusammenstellung aller Texte, Formeln, Abbildungen, Zeichnungen und Tabellen wurde mit größtmöglicher Sorgfalt vorgegangen. Trotzdem können Fehler nicht vollständig ausgeschlossen werden.

bauforumstahl kann für fehlerhafte Angaben und deren Folgen keine Haftung übernehmen. Rechtsansprüche aus der Benutzung der bereitgestellten Daten sind daher ausgeschlossen. Für Hinweise und Verbesserungsvorschläge sind wir stets dankbar.

Autoren:

Dr.-Ing. Julija Ruga, bauforumstahl e.V.
Dipl.-Ing. Marc May, ArcelorMittal Europe
Dipl.-Ing. Sivo Schilling, bauforumstahl e.V.

Titelbild:

Torre Diamante in Mailand, 2012, © bauforumstahl e.V.

A | Bemessungstabellen für das Biegeknicken

A.1 | Einführung

Das Ziel dieser Publikation ist es, dem Leser Tabellen bereitzustellen, aus denen die Beanspruchbarkeiten von Geschosstützen abhängig von der Geschosshöhe schnell ablesbar sind. Üblicherweise ist die Geschosshöhe im Hochbau gleich der relevanten Knicklänge. Selbst wenn die Knicklänge nicht mit der Geschosshöhe übereinstimmt, z.B. aufgrund von Einspannungen an den Stabenden, kann die Biegeknickbeanspruchbarkeit für die tatsächliche Knicklänge den Tabellen entnommen werden.

Die Bemessungstabellen gelten auch allgemein für Druckstäbe, z.B. Pfosten, Diagonalen und Gurte von Fachwerken mit ihren relevanten Knicklängen.

Allen Tabellen im Kapitel A liegt das Bemessungskonzept nach DIN EN 1993-1-1 [1] zugrunde.

Die Bemessungstabellen basieren auf den **Biegeknickbeanspruchbarkeiten** für die folgenden Variablen:

Walzprofilquerschnitt: **HEA, HEB, HEM oder HD**

Stahlgüte: **S355 oder S460M**

Knicklänge: **2 m bis 14 m**

Für die deutsche Version der Publikation wurden nach DIN EN 1993-1-1/NA [2] die Nennwerte der Streckgrenze f_y und der Zugfestigkeit f_u für Nenndicken bis 80 mm der Tabelle 1 gemäß DIN EN 1993-1-1 [1] entnommen. Für Nenndicken über 80 mm gilt entsprechend Tabelle 2 gemäß EN 10025-2 [9] und EN 10025-4 [11].

Die Biegeknickbeanspruchbarkeiten der deutschen Version der Publikation wurden mit dem Teilsicherheitsbeiwert für die Beanspruchbarkeit bei Stabilitätsversagen $\gamma_{M1}=1,1$ nach DIN EN 1993-1-1/NA [2] berechnet.

Der englischen Version dieser Publikation (in Vorbereitung) liegt nach EN 1993-1-1 für die mechanischen Eigenschaften Tabelle 2 und der Teilsicherheitsbeiwert $\gamma_{M1}=1,0$ (empfohlener Zahlenwert nach EN 1993-1-1) zugrunde. Für jedes europäische Land müssen die Werkstoffeigenschaften nach Tabelle 1 oder Tabelle 2 sowie die Teilsicherheitsbeiwerte γ_{M1} , geregelt in den jeweiligen Nationalen Anhängen zu EN1993-1-1, berücksichtigt werden.

Zusätzliche Biegemomente und die ggf. daraus resultierenden Interaktionsnachweise wurden nicht berücksichtigt.

Die in den Tabellen angegebenen Biegeknickbeanspruchbarkeiten ersetzen nicht den normgerechten Nachweis der Tragfähigkeit und der Gebrauchstauglichkeit.

A.1.1 | Biegeknickbeanspruchbarkeiten von HEA-Profilen der Stahlgüte S355 mit $\gamma_{M1}=1,1$

Normen: DIN EN 1993-1-1:2010-12 und DIN EN 1993-1-1/NA:2010-12

Materialwerte: nach Tabelle 3.1 aus DIN EN 1993-1-1:2010-12

Stahlgüte: S355

$\gamma_{M1}=1,1$

Profil	Achse	Biegeknickbeanspruchbarkeiten $N_{b,y,Rd}$ und $N_{b,z,Rd}$ [kN] für verschiedene Knicklängen L_{cr} [m]												
		2,00	3,00	4,00	5,00	6,00	7,00	8,00	9,00	10,00	11,00	12,00	13,00	14,00
HEA 1000	$N_{b,y,Rd}$	9.846	9.846	9.846	9.846	9.846	9.813	9.746	9.678	9.608	9.535	9.460	9.383	9.301
	$N_{b,z,Rd}$	9.171	8.341	7.297	6.092	4.930	3.963	3.210	2.634	2.193	1.850	1.580	1.364	1.189
HEA 900	$N_{b,y,Rd}$	9.379	9.379	9.379	9.379	9.366	9.295	9.223	9.148	9.071	8.990	8.906	8.817	8.724
	$N_{b,z,Rd}$	8.747	7.967	6.985	5.849	4.746	3.820	3.097	2.544	2.118	1.788	1.527	1.318	1.149
HEA 800	$N_{b,y,Rd}$	8.557	8.557	8.557	8.557	8.497	8.422	8.345	8.266	8.182	8.094	8.001	7.901	7.794
	$N_{b,z,Rd}$	7.995	7.295	6.417	5.395	4.392	3.544	2.877	2.365	1.971	1.664	1.422	1.228	1.070
HEA 700	$N_{b,y,Rd}$	8.025	8.025	8.025	7.986	7.906	7.823	7.737	7.645	7.548	7.444	7.331	7.207	7.072
	$N_{b,z,Rd}$	7.514	6.871	6.066	5.125	4.191	3.391	2.758	2.270	1.893	1.599	1.366	1.180	1.029
HEA 650	$N_{b,y,Rd}$	7.490	7.490	7.490	7.427	7.346	7.262	7.173	7.079	6.977	6.866	6.744	6.610	6.462
	$N_{b,z,Rd}$	7.029	6.443	5.712	4.852	3.986	3.237	2.638	2.174	1.814	1.533	1.311	1.133	988
HEA 600	$N_{b,y,Rd}$	7.106	7.106	7.095	7.014	6.929	6.840	6.745	6.642	6.530	6.406	6.269	6.115	5.943
	$N_{b,z,Rd}$	6.675	6.125	5.440	4.631	3.814	3.101	2.530	2.086	1.742	1.472	1.259	1.088	949
HEA 550	$N_{b,y,Rd}$	6.723	6.723	6.684	6.599	6.509	6.414	6.310	6.196	6.070	5.928	5.768	5.588	5.385
	$N_{b,z,Rd}$	6.322	5.807	5.167	4.411	3.640	2.965	2.422	1.998	1.669	1.411	1.207	1.043	910
HEA 500	$N_{b,y,Rd}$	6.374	6.374	6.304	6.213	6.115	6.010	5.893	5.763	5.614	5.445	5.251	5.032	4.789
	$N_{b,z,Rd}$	5.999	5.515	4.913	4.202	3.474	2.833	2.316	1.911	1.597	1.351	1.156	999	872
HEA 450	$N_{b,y,Rd}$	5.745	5.735	5.646	5.552	5.450	5.337	5.209	5.062	4.892	4.695	4.470	4.219	3.950
	$N_{b,z,Rd}$	5.412	4.979	4.443	3.808	3.155	2.576	2.108	1.741	1.455	1.231	1.054	911	795
HEA 400	$N_{b,y,Rd}$	5.131	5.094	5.003	4.904	4.795	4.669	4.523	4.351	4.148	3.914	3.654	3.378	3.100
	$N_{b,z,Rd}$	4.839	4.456	3.983	3.420	2.840	2.323	1.902	1.572	1.314	1.112	952	823	719
HEA 360	$N_{b,y,Rd}$	4.609	4.513	4.368	4.212	4.042	3.853	3.643	3.413	3.166	2.911	2.659	2.418	2.194
	$N_{b,z,Rd}$	4.251	3.811	3.327	2.820	2.340	1.928	1.594	1.330	1.121	955	822	714	626
HEA 340	$N_{b,y,Rd}$	4.308	4.197	4.051	3.894	3.721	3.527	3.310	3.074	2.824	2.573	2.331	2.104	1.898
	$N_{b,z,Rd}$	3.977	3.569	3.118	2.646	2.199	1.813	1.500	1.252	1.055	899	774	673	590
HEA 320	$N_{b,y,Rd}$	4.015	3.886	3.741	3.582	3.404	3.203	2.979	2.738	2.489	2.245	2.016	1.807	1.621
	$N_{b,z,Rd}$	3.709	3.330	2.913	2.474	2.058	1.699	1.406	1.174	990	844	726	631	553
HEA 300	$N_{b,y,Rd}$	3.624	3.489	3.346	3.188	3.009	2.806	2.581	2.343	2.105	1.879	1.673	1.489	1.329
	$N_{b,z,Rd}$	3.354	3.011	2.633	2.237	1.860	1.535	1.271	1.060	894	762	656	570	500
HEA 280	$N_{b,y,Rd}$	3.117	2.991	2.855	2.702	2.526	2.327	2.110	1.887	1.673	1.477	1.303	1.153	1.023
	$N_{b,z,Rd}$	2.860	2.538	2.181	1.816	1.484	1.209	991	822	690	587	504	437	383
HEA 260	$N_{b,y,Rd}$	2.763	2.640	2.505	2.350	2.170	1.968	1.754	1.544	1.350	1.180	1.033	908	803
	$N_{b,z,Rd}$	2.510	2.193	1.846	1.502	1.205	969	788	650	543	460	395	342	299
HEA 240	$N_{b,y,Rd}$	2.425	2.305	2.169	2.009	1.824	1.621	1.415	1.224	1.056	913	794	695	611
	$N_{b,z,Rd}$	2.177	1.866	1.530	1.214	956	759	613	503	419	354	303	262	228
HEA 220	$N_{b,y,Rd}$	2.012	1.898	1.767	1.610	1.430	1.241	1.060	902	769	660	570	496	436
	$N_{b,z,Rd}$	1.778	1.488	1.182	913	706	555	445	363	302	254	217	187	163
HEA 200	$N_{b,y,Rd}$	1.664	1.555	1.425	1.269	1.094	923	772	647	546	465	400	347	303
	$N_{b,z,Rd}$	1.439	1.163	888	666	506	393	313	254	210	177	151	130	113
HEA 180	$N_{b,y,Rd}$	1.381	1.275	1.143	986	823	675	554	458	384	325	278	241	210
	$N_{b,z,Rd}$	1.166	905	664	485	363	280	222	180	148	124	106	91	79
HEA 160	$N_{b,y,Rd}$	1.160	1.049	909	750	602	481	388	318	264	222	190	164	143
	$N_{b,z,Rd}$	940	687	479	341	252	192	152	122	101	84	72	62	53
HEA 140	$N_{b,y,Rd}$	915	803	662	518	400	313	249	202	167	141	120	103	90
	$N_{b,z,Rd}$	707	483	323	225	164	125	98	79	65	54	46	39	34
HEA 120	$N_{b,y,Rd}$	709	590	452	334	250	192	152	122	101	84	72	61	53
	$N_{b,z,Rd}$	507	318	204	139	101	76	59	48	39	33	28	24	21
HEA 100	$N_{b,y,Rd}$	557	423	295	208	152	115	90	72	59	50	42	36	31
	$N_{b,z,Rd}$	353	202	125	84	60	45	35	28	23	19	16	14	12

A.1.2 | Biegeknickbeanspruchbarkeiten von HEA-Profilen der Stahlgüte S460M mit $\gamma_{M1}=1,1$

Normen: DIN EN 1993-1-1:2010-12 und DIN EN 1993-1-1/NA:2010-12

Materialwerte: nach Tabelle 3.1 aus DIN EN 1993-1-1:2010-12

Stahlgüte: S460M

 $\gamma_{M1}=1,1$

Profil	Achse	Biegeknickbeanspruchbarkeiten $N_{b,y,Rd}$ und $N_{b,z,Rd}$ [kN] für verschiedene Knicklängen L_{cr} [m]												
		2,00	3,00	4,00	5,00	6,00	7,00	8,00	9,00	10,00	11,00	12,00	13,00	14,00
HEA 1000	$N_{b,y,Rd}$	12.351	12.351	12.351	12.351	12.340	12.282	12.221	12.159	12.095	12.026	11.955	11.878	11.796
	$N_{b,z,Rd}$	11.911	11.280	10.097	8.179	6.254	4.799	3.762	3.017	2.470	2.057	1.738	1.488	1.288
HEA 900	$N_{b,y,Rd}$	11.790	11.790	11.790	11.790	11.740	11.677	11.610	11.541	11.468	11.390	11.306	11.215	11.116
	$N_{b,z,Rd}$	11.377	10.784	9.680	7.876	6.038	4.638	3.638	2.918	2.389	1.990	1.682	1.440	1.246
HEA 800	$N_{b,y,Rd}$	10.784	10.784	10.784	10.759	10.694	10.626	10.555	10.479	10.397	10.308	10.210	10.102	9.980
	$N_{b,z,Rd}$	10.414	9.885	8.907	7.292	5.611	4.317	3.388	2.719	2.226	1.855	1.568	1.342	1.162
HEA 700	$N_{b,y,Rd}$	10.140	10.140	10.140	10.070	9.997	9.920	9.837	9.747	9.646	9.534	9.406	9.258	9.087
	$N_{b,z,Rd}$	9.801	9.318	8.434	6.958	5.381	4.148	3.259	2.617	2.143	1.785	1.510	1.293	1.119
HEA 650	$N_{b,y,Rd}$	9.484	9.484	9.465	9.395	9.320	9.240	9.153	9.057	8.948	8.824	8.679	8.510	8.310
	$N_{b,z,Rd}$	9.177	8.740	7.951	6.617	5.147	3.977	3.129	2.513	2.059	1.716	1.451	1.243	1.076
HEA 600	$N_{b,y,Rd}$	9.013	9.013	8.973	8.899	8.819	8.733	8.637	8.528	8.403	8.257	8.082	7.874	7.623
	$N_{b,z,Rd}$	8.726	8.316	7.580	6.331	4.937	3.819	3.005	2.415	1.979	1.649	1.395	1.195	1.034
HEA 550	$N_{b,y,Rd}$	8.544	8.544	8.480	8.401	8.315	8.220	8.111	7.986	7.836	7.656	7.436	7.169	6.850
	$N_{b,z,Rd}$	8.275	7.892	7.209	6.044	4.726	3.661	2.882	2.317	1.899	1.583	1.339	1.147	993
HEA 500	$N_{b,y,Rd}$	8.075	8.063	7.984	7.899	7.804	7.696	7.570	7.418	7.230	6.998	6.710	6.361	5.961
	$N_{b,z,Rd}$	7.825	7.468	6.837	5.756	4.515	3.502	2.759	2.219	1.819	1.516	1.282	1.098	951
HEA 450	$N_{b,y,Rd}$	7.444	7.407	7.322	7.229	7.123	6.997	6.842	6.647	6.398	6.083	5.699	5.265	4.812
	$N_{b,z,Rd}$	7.210	6.878	6.287	5.277	4.130	3.201	2.521	2.026	1.661	1.384	1.171	1.003	868
HEA 400	$N_{b,y,Rd}$	6.649	6.589	6.501	6.401	6.281	6.132	5.939	5.686	5.357	4.955	4.507	4.055	3.629
	$N_{b,z,Rd}$	6.444	6.151	5.634	4.747	3.726	2.891	2.278	1.832	1.502	1.252	1.059	907	785
HEA 360	$N_{b,y,Rd}$	5.972	5.846	5.703	5.539	5.343	5.104	4.809	4.458	4.064	3.656	3.263	2.903	2.585
	$N_{b,z,Rd}$	5.688	5.312	4.745	3.965	3.155	2.486	1.982	1.607	1.325	1.110	942	810	703
HEA 340	$N_{b,y,Rd}$	5.574	5.444	5.299	5.130	4.924	4.668	4.352	3.982	3.581	3.184	2.816	2.490	2.206
	$N_{b,z,Rd}$	5.320	4.971	4.447	3.723	2.967	2.340	1.867	1.514	1.249	1.046	888	763	662
HEA 320	$N_{b,y,Rd}$	5.180	5.049	4.902	4.726	4.507	4.232	3.893	3.508	3.110	2.734	2.398	2.108	1.860
	$N_{b,z,Rd}$	4.960	4.637	4.153	3.484	2.781	2.195	1.752	1.421	1.172	982	834	716	622
HEA 300	$N_{b,y,Rd}$	4.669	4.541	4.394	4.214	3.985	3.693	3.341	2.959	2.586	2.249	1.959	1.713	1.506
	$N_{b,z,Rd}$	4.485	4.193	3.755	3.149	2.513	1.983	1.583	1.284	1.059	887	753	647	562
HEA 280	$N_{b,y,Rd}$	4.023	3.901	3.757	3.576	3.340	3.040	2.693	2.339	2.015	1.736	1.501	1.307	1.145
	$N_{b,z,Rd}$	3.849	3.559	3.112	2.524	1.966	1.532	1.214	981	807	675	573	492	427
HEA 260	$N_{b,y,Rd}$	3.572	3.451	3.304	3.112	2.857	2.541	2.198	1.874	1.594	1.362	1.172	1.016	888
	$N_{b,z,Rd}$	3.400	3.098	2.624	2.051	1.562	1.204	949	764	628	524	444	381	330
HEA 240	$N_{b,y,Rd}$	3.142	3.021	2.867	2.658	2.380	2.054	1.732	1.451	1.221	1.036	887	767	669
	$N_{b,z,Rd}$	2.972	2.653	2.155	1.622	1.212	926	726	583	478	399	338	289	251
HEA 220	$N_{b,y,Rd}$	2.613	2.496	2.340	2.121	1.838	1.535	1.266	1.046	873	737	629	542	472
	$N_{b,z,Rd}$	2.450	2.123	1.638	1.191	876	664	519	416	340	284	240	205	178
HEA 200	$N_{b,y,Rd}$	2.167	2.051	1.886	1.652	1.373	1.111	899	735	609	512	435	375	326
	$N_{b,z,Rd}$	2.004	1.656	1.198	843	612	461	359	287	235	195	165	141	122
HEA 180	$N_{b,y,Rd}$	1.805	1.686	1.507	1.260	1.003	791	630	511	422	353	300	258	224
	$N_{b,z,Rd}$	1.640	1.275	871	599	431	323	251	200	164	136	115	98	85
HEA 160	$N_{b,y,Rd}$	1.522	1.390	1.183	929	710	548	432	348	286	239	202	174	151
	$N_{b,z,Rd}$	1.337	943	607	409	292	218	169	135	110	91	77	66	57
HEA 140	$N_{b,y,Rd}$	1.206	1.060	838	619	458	348	273	219	179	149	126	108	94
	$N_{b,z,Rd}$	1.009	641	396	264	187	139	108	86	70	58	49	42	36
HEA 120	$N_{b,y,Rd}$	938	767	549	384	279	210	163	130	107	89	75	64	56
	$N_{b,z,Rd}$	714	403	242	159	113	84	65	51	42	35	29	25	22
HEA 100	$N_{b,y,Rd}$	737	528	342	231	165	123	96	76	62	52	44	37	32
	$N_{b,z,Rd}$	478	245	144	94	66	49	38	30	24	20	17	15	13

A.1.3 | Biegeknickbeanspruchbarkeiten von HEB-Profilen der Stahlgüte S355 mit $\gamma_{M1}=1,1$

Normen: DIN EN 1993-1-1:2010-12 und DIN EN 1993-1-1/NA:2010-12

Materialwerte: nach Tabelle 3.1 aus DIN EN 1993-1-1:2010-12

Stahlgüte: S355

$\gamma_{M1}=1,1$

Profil	Achse	Biegeknickbeanspruchbarkeiten $N_{b,y,Rd}$ und $N_{b,z,Rd}$ [kN] für verschiedene Knicklängen L_{cr} [m]												
		2,00	3,00	4,00	5,00	6,00	7,00	8,00	9,00	10,00	11,00	12,00	13,00	14,00
HEB 1000	$N_{b,y,Rd}$	11.773	11.773	11.773	11.773	11.773	11.726	11.645	11.562	11.476	11.388	11.297	11.202	11.103
	$N_{b,z,Rd}$	10.940	9.926	8.647	7.182	5.788	4.639	3.751	3.075	2.558	2.157	1.841	1.589	1.385
HEB 900	$N_{b,y,Rd}$	11.243	11.243	11.243	11.243	11.222	11.136	11.047	10.956	10.862	10.764	10.661	10.553	10.438
	$N_{b,z,Rd}$	10.463	9.508	8.304	6.920	5.591	4.489	3.634	2.981	2.481	2.093	1.787	1.542	1.344
HEB 800	$N_{b,y,Rd}$	10.341	10.341	10.341	10.341	10.262	10.171	10.077	9.979	9.877	9.769	9.654	9.531	9.399
	$N_{b,z,Rd}$	9.642	8.780	7.695	6.441	5.223	4.204	3.408	2.798	2.330	1.966	1.679	1.450	1.264
HEB 700	$N_{b,y,Rd}$	9.726	9.726	9.726	9.674	9.576	9.475	9.369	9.258	9.138	9.010	8.870	8.718	8.551
	$N_{b,z,Rd}$	9.090	8.298	7.304	6.147	5.008	4.043	3.284	2.700	2.250	1.900	1.623	1.402	1.222
HEB 650	$N_{b,y,Rd}$	9.240	9.240	9.240	9.155	9.054	8.949	8.837	8.718	8.589	8.449	8.295	8.125	7.936
	$N_{b,z,Rd}$	8.649	7.907	6.978	5.892	4.816	3.896	3.168	2.607	2.173	1.836	1.569	1.355	1.182
HEB 600	$N_{b,y,Rd}$	8.714	8.714	8.698	8.598	8.493	8.383	8.265	8.138	7.999	7.845	7.674	7.482	7.269
	$N_{b,z,Rd}$	8.173	7.487	6.630	5.624	4.616	3.744	3.050	2.513	2.097	1.772	1.515	1.309	1.141
HEB 550	$N_{b,y,Rd}$	8.201	8.201	8.154	8.050	7.941	7.824	7.698	7.559	7.405	7.233	7.038	6.818	6.572
	$N_{b,z,Rd}$	7.707	7.074	6.287	5.358	4.416	3.593	2.933	2.419	2.020	1.708	1.461	1.262	1.101
HEB 500	$N_{b,y,Rd}$	7.700	7.700	7.620	7.511	7.395	7.270	7.132	6.977	6.801	6.601	6.373	6.115	5.828
	$N_{b,z,Rd}$	7.251	6.669	5.948	5.092	4.215	3.441	2.814	2.323	1.942	1.643	1.406	1.215	1.060
HEB 450	$N_{b,y,Rd}$	7.035	7.028	6.920	6.807	6.684	6.549	6.396	6.220	6.017	5.783	5.515	5.215	4.892
	$N_{b,z,Rd}$	6.633	6.108	5.458	4.686	3.889	3.180	2.604	2.152	1.799	1.523	1.303	1.127	984
HEB 400	$N_{b,y,Rd}$	6.384	6.341	6.230	6.110	5.977	5.825	5.649	5.442	5.198	4.917	4.602	4.265	3.924
	$N_{b,z,Rd}$	6.026	5.556	4.975	4.283	3.565	2.921	2.395	1.981	1.657	1.403	1.201	1.039	907
HEB 360	$N_{b,y,Rd}$	5.828	5.717	5.536	5.343	5.133	4.901	4.642	4.358	4.054	3.738	3.422	3.119	2.835
	$N_{b,z,Rd}$	5.384	4.835	4.229	3.592	2.988	2.466	2.041	1.704	1.437	1.225	1.055	917	803
HEB 340	$N_{b,y,Rd}$	5.515	5.381	5.199	5.003	4.787	4.545	4.276	3.981	3.669	3.353	3.044	2.754	2.489
	$N_{b,z,Rd}$	5.100	4.583	4.013	3.414	2.843	2.349	1.946	1.625	1.371	1.169	1.006	875	767
HEB 320	$N_{b,y,Rd}$	5.206	5.049	4.864	4.663	4.439	4.187	3.906	3.601	3.285	2.972	2.675	2.403	2.159
	$N_{b,z,Rd}$	4.818	4.333	3.799	3.236	2.699	2.232	1.850	1.546	1.305	1.113	958	833	730
HEB 300	$N_{b,y,Rd}$	4.809	4.635	4.451	4.247	4.017	3.757	3.469	3.161	2.851	2.552	2.278	2.032	1.816
	$N_{b,z,Rd}$	4.455	4.007	3.515	2.995	2.499	2.067	1.714	1.432	1.209	1.031	888	772	677
HEB 280	$N_{b,y,Rd}$	4.216	4.050	3.872	3.672	3.443	3.184	2.900	2.606	2.319	2.054	1.817	1.610	1.431
	$N_{b,z,Rd}$	3.873	3.444	2.970	2.482	2.035	1.661	1.365	1.133	952	809	696	604	528
HEB 260	$N_{b,y,Rd}$	3.776	3.613	3.435	3.231	2.996	2.730	2.446	2.163	1.899	1.664	1.460	1.286	1.138
	$N_{b,z,Rd}$	3.434	3.010	2.542	2.077	1.671	1.347	1.097	906	758	642	551	477	417
HEB 240	$N_{b,y,Rd}$	3.355	3.194	3.013	2.802	2.558	2.286	2.008	1.745	1.511	1.310	1.141	1.000	881
	$N_{b,z,Rd}$	3.014	2.594	2.136	1.701	1.344	1.069	864	709	591	500	428	370	323
HEB 220	$N_{b,y,Rd}$	2.855	2.700	2.523	2.312	2.068	1.807	1.554	1.328	1.136	977	845	737	647
	$N_{b,z,Rd}$	2.527	2.124	1.696	1.316	1.020	803	644	526	437	369	315	272	237
HEB 200	$N_{b,y,Rd}$	2.424	2.273	2.093	1.878	1.635	1.391	1.170	984	833	711	612	532	466
	$N_{b,z,Rd}$	2.101	1.708	1.312	988	753	586	467	380	315	265	225	194	169
HEB 180	$N_{b,y,Rd}$	1.999	1.852	1.671	1.455	1.225	1.012	835	693	581	493	422	366	319
	$N_{b,z,Rd}$	1.689	1.317	970	711	533	412	326	264	218	183	156	134	117
HEB 160	$N_{b,y,Rd}$	1.632	1.485	1.299	1.084	878	705	571	469	390	329	281	243	212
	$N_{b,z,Rd}$	1.327	977	686	490	362	277	218	176	145	121	103	89	77
HEB 140	$N_{b,y,Rd}$	1.262	1.116	932	739	576	452	361	294	243	204	174	150	130
	$N_{b,z,Rd}$	978	673	453	317	231	176	138	111	91	76	65	56	48
HEB 120	$N_{b,y,Rd}$	961	809	629	470	353	272	215	174	143	120	102	87	76
	$N_{b,z,Rd}$	688	434	279	191	138	104	82	65	54	45	38	33	28
HEB 100	$N_{b,y,Rd}$	690	531	375	266	195	148	116	93	76	64	54	46	40
	$N_{b,z,Rd}$	438	251	156	105	75	57	44	35	29	24	20	17	15

A.1.4 | Biegeknickbeanspruchbarkeiten von HEB-Profilen der Stahlgüte S460M mit $\gamma_{M1}=1,1$

Normen: DIN EN 1993-1-1:2010-12 und DIN EN 1993-1-1/NA:2010-12
 Materialwerte: nach Tabelle 3.1 aus DIN EN 1993-1-1:2010-12
 Stahlgüte: S460M

$\gamma_{M1}=1,1$

Profil	Achse	Biegeknickbeanspruchbarkeiten $N_{b,y,Rd}$ und $N_{b,z,Rd}$ [kN] für verschiedene Knicklängen L_{cr} [m]												
		2,00	3,00	4,00	5,00	6,00	7,00	8,00	9,00	10,00	11,00	12,00	13,00	14,00
HEB 1000	$N_{b,y,Rd}$	14.761	14.761	14.761	14.761	14.743	14.672	14.599	14.523	14.445	14.362	14.274	14.180	14.079
	$N_{b,z,Rd}$	14.219	13.440	11.961	9.605	7.308	5.596	4.384	3.514	2.875	2.394	2.023	1.732	1.499
HEB 900	$N_{b,y,Rd}$	14.134	14.134	14.134	14.134	14.068	13.991	13.910	13.826	13.736	13.641	13.538	13.426	13.304
	$N_{b,z,Rd}$	13.623	12.890	11.508	9.285	7.083	5.430	4.255	3.412	2.792	2.325	1.965	1.682	1.456
HEB 800	$N_{b,y,Rd}$	13.037	13.037	13.037	13.002	12.922	12.839	12.752	12.658	12.558	12.448	12.327	12.192	12.040
	$N_{b,z,Rd}$	12.577	11.917	10.685	8.679	6.646	5.103	4.002	3.210	2.627	2.188	1.850	1.584	1.371
HEB 700	$N_{b,y,Rd}$	12.302	12.302	12.299	12.214	12.124	12.030	11.928	11.816	11.692	11.553	11.395	11.211	10.998
	$N_{b,z,Rd}$	11.880	11.278	10.165	8.326	6.408	4.931	3.870	3.106	2.543	2.119	1.791	1.534	1.328
HEB 650	$N_{b,y,Rd}$	11.583	11.583	11.557	11.470	11.378	11.279	11.171	11.052	10.917	10.762	10.582	10.370	10.119
	$N_{b,z,Rd}$	11.198	10.649	9.648	7.971	6.170	4.758	3.739	3.002	2.459	2.049	1.732	1.483	1.284
HEB 600	$N_{b,y,Rd}$	11.058	11.058	11.006	10.914	10.815	10.708	10.589	10.454	10.298	10.115	9.897	9.635	9.322
	$N_{b,z,Rd}$	10.696	10.180	9.245	7.671	5.954	4.597	3.615	2.903	2.378	1.982	1.676	1.435	1.243
HEB 550	$N_{b,y,Rd}$	10.626	10.626	10.543	10.443	10.335	10.215	10.078	9.918	9.727	9.497	9.216	8.873	8.464
	$N_{b,z,Rd}$	10.281	9.788	8.899	7.397	5.749	4.441	3.493	2.806	2.299	1.915	1.620	1.387	1.201
HEB 500	$N_{b,y,Rd}$	9.978	9.963	9.865	9.759	9.642	9.509	9.352	9.163	8.931	8.643	8.285	7.853	7.357
	$N_{b,z,Rd}$	9.663	9.215	8.416	7.053	5.514	4.270	3.362	2.703	2.215	1.846	1.561	1.337	1.158
HEB 450	$N_{b,y,Rd}$	9.116	9.075	8.973	8.861	8.733	8.583	8.399	8.168	7.875	7.504	7.050	6.532	5.984
	$N_{b,z,Rd}$	8.834	8.432	7.721	6.502	5.102	3.957	3.118	2.507	2.055	1.713	1.449	1.241	1.075
HEB 400	$N_{b,y,Rd}$	8.272	8.201	8.094	7.972	7.827	7.648	7.419	7.118	6.728	6.246	5.703	5.145	4.616
	$N_{b,z,Rd}$	8.021	7.663	7.035	5.955	4.691	3.645	2.874	2.312	1.896	1.581	1.337	1.145	992
HEB 360	$N_{b,y,Rd}$	7.552	7.402	7.225	7.023	6.783	6.491	6.133	5.704	5.219	4.712	4.217	3.760	3.352
	$N_{b,z,Rd}$	7.200	6.732	6.030	5.058	4.037	3.187	2.543	2.063	1.702	1.426	1.211	1.040	903
HEB 340	$N_{b,y,Rd}$	7.141	6.977	6.796	6.586	6.332	6.018	5.630	5.172	4.671	4.168	3.696	3.273	2.904
	$N_{b,z,Rd}$	6.817	6.378	5.722	4.811	3.846	3.040	2.427	1.969	1.625	1.362	1.156	993	863
HEB 320	$N_{b,y,Rd}$	6.722	6.556	6.370	6.150	5.878	5.536	5.115	4.631	4.124	3.637	3.198	2.815	2.487
	$N_{b,z,Rd}$	6.438	6.027	5.415	4.564	3.656	2.893	2.311	1.876	1.548	1.297	1.102	947	822
HEB 300	$N_{b,y,Rd}$	6.195	6.029	5.840	5.611	5.321	4.952	4.505	4.011	3.520	3.071	2.680	2.347	2.066
	$N_{b,z,Rd}$	5.952	5.573	5.009	4.224	3.386	2.680	2.141	1.738	1.435	1.202	1.021	877	762
HEB 280	$N_{b,y,Rd}$	5.439	5.279	5.092	4.858	4.556	4.170	3.718	3.248	2.809	2.426	2.103	1.833	1.608
	$N_{b,z,Rd}$	5.205	4.824	4.239	3.460	2.705	2.113	1.676	1.356	1.116	934	792	680	590
HEB 260	$N_{b,y,Rd}$	4.879	4.720	4.528	4.279	3.950	3.538	3.082	2.642	2.255	1.931	1.663	1.444	1.263
	$N_{b,z,Rd}$	4.646	4.246	3.618	2.847	2.176	1.680	1.325	1.068	877	733	621	533	462
HEB 240	$N_{b,y,Rd}$	4.344	4.183	3.981	3.709	3.347	2.914	2.474	2.083	1.757	1.493	1.280	1.108	967
	$N_{b,z,Rd}$	4.111	3.683	3.014	2.282	1.710	1.308	1.026	825	676	564	478	409	355
HEB 220	$N_{b,y,Rd}$	3.705	3.547	3.339	3.050	2.670	2.253	1.869	1.550	1.296	1.095	936	807	703
	$N_{b,z,Rd}$	3.477	3.029	2.357	1.722	1.269	964	753	604	494	412	348	298	259
HEB 200	$N_{b,y,Rd}$	3.154	2.994	2.772	2.456	2.067	1.688	1.372	1.125	934	786	669	576	501
	$N_{b,z,Rd}$	2.921	2.434	1.780	1.257	914	690	537	430	351	292	247	212	183
HEB 180	$N_{b,y,Rd}$	2.610	2.447	2.207	1.870	1.505	1.194	955	776	641	537	456	392	340
	$N_{b,z,Rd}$	2.373	1.859	1.278	880	634	476	370	295	241	200	169	145	125
HEB 160	$N_{b,y,Rd}$	2.139	1.966	1.697	1.354	1.044	809	639	516	424	355	301	258	224
	$N_{b,z,Rd}$	1.885	1.346	873	589	421	314	244	194	158	132	111	95	82
HEB 140	$N_{b,y,Rd}$	1.660	1.476	1.189	890	663	506	396	318	261	218	184	158	137
	$N_{b,z,Rd}$	1.396	898	558	372	264	197	152	121	99	82	69	59	51
HEB 120	$N_{b,y,Rd}$	1.270	1.056	770	543	395	298	232	185	152	126	107	91	79
	$N_{b,z,Rd}$	971	553	332	219	155	115	89	70	57	48	40	34	30
HEB 100	$N_{b,y,Rd}$	913	667	437	296	212	159	123	98	80	66	56	48	41
	$N_{b,z,Rd}$	594	305	179	117	83	61	47	37	30	25	21	18	16

A.1.5 | Biegeknickbeanspruchbarkeiten von HEM-Profilen der Stahlgüte S355 mit $\gamma_{M1}=1,1$

Normen: DIN EN 1993-1-1:2010-12 und DIN EN 1993-1-1/NA:2010-12
 Materialwerte: nach Tabelle 3.1 aus DIN EN 1993-1-1:2010-12
 Stahlgüte: S355

$\gamma_{M1}=1,1$

Profil	Achse	Biegeknickbeanspruchbarkeiten $N_{b,y,Rd}$ und $N_{b,z,Rd}$ [kN] für verschiedene Knicklängen L_{cr} [m]													
		2,00	3,00	4,00	5,00	6,00	7,00	8,00	9,00	10,00	11,00	12,00	13,00	14,00	
HEM 1000	$N_{b,y,Rd}$	13.412	13.412	13.412	13.412	13.412	13.354	13.260	13.165	13.066	12.965	12.860	12.750	12.635	
	$N_{b,z,Rd}$	12.459	11.300	9.836	8.162	6.573	5.266	4.257	3.489	2.902	2.447	2.089	1.803	1.571	
HEM 900	$N_{b,y,Rd}$	13.206	13.206	13.206	13.206	13.176	13.073	12.968	12.860	12.748	12.632	12.509	12.380	12.243	
	$N_{b,z,Rd}$	12.283	11.154	9.732	8.099	6.537	5.244	4.243	3.480	2.896	2.442	2.085	1.800	1.568	
HEM 800	$N_{b,y,Rd}$	13.048	13.048	13.048	13.048	12.940	12.824	12.704	12.578	12.447	12.308	12.160	12.001	11.830	
	$N_{b,z,Rd}$	12.157	11.061	9.682	8.090	6.552	5.268	4.268	3.503	2.917	2.461	2.101	1.814	1.581	
HEM 700	$N_{b,y,Rd}$	12.360	12.360	12.360	12.298	12.174	12.046	11.912	11.771	11.621	11.459	11.283	11.091	10.881	
	$N_{b,z,Rd}$	11.575	10.586	9.349	7.902	6.463	5.231	4.256	3.502	2.921	2.467	2.109	1.822	1.588	
HEM 650	$N_{b,y,Rd}$	12.060	12.060	12.060	11.958	11.828	11.692	11.549	11.397	11.233	11.054	10.858	10.642	10.403	
	$N_{b,z,Rd}$	11.323	10.383	9.212	7.833	6.442	5.233	4.267	3.517	2.936	2.482	2.122	1.834	1.600	
HEM 600	$N_{b,y,Rd}$	11.738	11.738	11.725	11.592	11.453	11.308	11.153	10.986	10.804	10.603	10.380	10.131	9.854	
	$N_{b,z,Rd}$	11.042	10.146	9.033	7.717	6.374	5.194	4.244	3.502	2.926	2.474	2.117	1.830	1.596	
HEM 550	$N_{b,y,Rd}$	11.437	11.437	11.383	11.241	11.093	10.934	10.764	10.577	10.371	10.140	9.880	9.587	9.260	
	$N_{b,z,Rd}$	10.788	9.937	8.886	7.636	6.343	5.191	4.252	3.515	2.939	2.488	2.130	1.842	1.607	
HEM 500	$N_{b,y,Rd}$	11.112	11.112	11.010	10.857	10.695	10.520	10.328	10.115	9.874	9.601	9.290	8.938	8.545	
	$N_{b,z,Rd}$	10.501	9.693	8.696	7.508	6.265	5.144	4.223	3.496	2.926	2.478	2.122	1.836	1.603	
HEM 450	$N_{b,y,Rd}$	10.824	10.824	10.669	10.502	10.323	10.126	9.905	9.655	9.367	9.035	8.655	8.228	7.762	
	$N_{b,z,Rd}$	10.256	9.488	8.548	7.422	6.230	5.138	4.230	3.508	2.940	2.492	2.136	1.848	1.614	
HEM 400	$N_{b,y,Rd}$	10.514	10.469	10.295	10.110	9.906	9.677	9.414	9.108	8.749	8.334	7.863	7.350	6.814	
	$N_{b,z,Rd}$	9.982	9.252	8.361	7.293	6.150	5.090	4.201	3.489	2.928	2.483	2.129	1.843	1.610	
HEM 360	$N_{b,y,Rd}$	10.289	10.196	10.006	9.800	9.568	9.301	8.987	8.614	8.174	7.670	7.116	6.540	5.971	
	$N_{b,z,Rd}$	9.788	9.089	8.240	7.221	6.120	5.085	4.208	3.501	2.941	2.497	2.142	1.855	1.621	
HEM 340	$N_{b,y,Rd}$	10.192	10.073	9.873	9.654	9.404	9.112	8.764	8.348	7.859	7.305	6.713	6.116	5.543	
	$N_{b,z,Rd}$	9.708	9.025	8.198	7.204	6.124	5.101	4.228	3.522	2.961	2.515	2.158	1.870	1.634	
HEM 320	$N_{b,y,Rd}$	10.069	9.833	9.504	9.150	8.761	8.326	7.843	7.313	6.750	6.177	5.616	5.087	4.601	
	$N_{b,z,Rd}$	9.406	8.522	7.553	6.520	5.507	4.602	3.842	3.227	2.733	2.337	2.017	1.756	1.541	
HEM 300	$N_{b,y,Rd}$	9.782	9.499	9.156	8.784	8.371	7.906	7.388	6.825	6.238	5.654	5.098	4.586	4.124	
	$N_{b,z,Rd}$	9.148	8.296	7.363	6.367	5.387	4.507	3.768	3.166	2.683	2.295	1.981	1.726	1.515	
HEM 280	$N_{b,y,Rd}$	7.741	7.457	7.154	6.820	6.442	6.014	5.539	5.036	4.530	4.048	3.607	3.214	2.869	
	$N_{b,z,Rd}$	7.144	6.402	5.583	4.726	3.918	3.226	2.666	2.222	1.873	1.595	1.373	1.193	1.045	
HEM 260	$N_{b,y,Rd}$	7.039	6.757	6.453	6.111	5.720	5.276	4.791	4.292	3.810	3.367	2.974	2.632	2.338	
	$N_{b,z,Rd}$	6.436	5.695	4.876	4.042	3.290	2.673	2.189	1.813	1.521	1.292	1.109	962	842	
HEM 240	$N_{b,y,Rd}$	6.356	6.076	5.767	5.414	5.005	4.544	4.056	3.573	3.128	2.734	2.395	2.107	1.863	
	$N_{b,z,Rd}$	5.748	5.004	4.188	3.390	2.708	2.172	1.763	1.452	1.213	1.027	880	762	666	
HEM 220	$N_{b,y,Rd}$	4.710	4.471	4.199	3.880	3.510	3.105	2.700	2.328	2.004	1.730	1.502	1.313	1.155	
	$N_{b,z,Rd}$	4.192	3.560	2.881	2.260	1.765	1.396	1.123	919	765	645	552	477	416	
HEM 200	$N_{b,y,Rd}$	4.100	3.862	3.586	3.256	2.877	2.482	2.113	1.792	1.525	1.306	1.127	981	860	
	$N_{b,z,Rd}$	3.581	2.953	2.306	1.757	1.348	1.054	842	686	569	479	408	352	307	
HEM 180	$N_{b,y,Rd}$	3.495	3.260	2.977	2.637	2.262	1.898	1.582	1.322	1.114	947	814	706	617	
	$N_{b,z,Rd}$	2.982	2.369	1.776	1.317	994	769	611	496	410	344	293	252	220	
HEM 160	$N_{b,y,Rd}$	2.949	2.711	2.416	2.066	1.708	1.393	1.138	940	785	664	568	491	429	
	$N_{b,z,Rd}$	2.433	1.837	1.315	949	705	541	427	345	285	239	203	175	152	
HEM 140	$N_{b,y,Rd}$	2.399	2.158	1.853	1.513	1.204	957	770	629	522	440	375	323	282	
	$N_{b,z,Rd}$	1.893	1.342	919	647	475	362	285	229	189	158	134	115	100	
HEM 120	$N_{b,y,Rd}$	1.918	1.665	1.348	1.040	796	619	492	399	329	276	235	202	176	
	$N_{b,z,Rd}$	1.413	923	604	416	302	229	179	144	118	99	84	72	62	
HEM 100	$N_{b,y,Rd}$	1.467	1.193	889	647	480	367	289	233	191	160	136	116	101	
	$N_{b,z,Rd}$	972	579	364	247	177	134	104	83	68	57	48	41	36	

A.1.6 | Biegeknickbeanspruchbarkeiten von HEM-Profilen der Stahlgüte S460M mit $\gamma_{M1}=1,1$

Normen: DIN EN 1993-1-1:2010-12 und DIN EN 1993-1-1/NA:2010-12
 Materialwerte: nach Tabelle 3.1 aus DIN EN 1993-1-1:2010-12
 Stahlgüte: S460M

$\gamma_{M1}=1,1$

Profil	Achse	Biegeknickbeanspruchbarkeiten $N_{b,y,Rd}$ und $N_{b,z,Rd}$ [kN] für verschiedene Knicklängen L_{cr} [m]													
		2,00	3,00	4,00	5,00	6,00	7,00	8,00	9,00	10,00	11,00	12,00	13,00	14,00	
HEM 1000	$N_{b,y,Rd}$	16.822	16.822	16.822	16.822	16.797	16.716	16.632	16.544	16.453	16.358	16.256	16.147	16.030	
	$N_{b,z,Rd}$	16.201	15.307	13.608	10.910	8.294	6.349	4.972	3.986	3.261	2.715	2.294	1.964	1.700	
HEM 900	$N_{b,y,Rd}$	16.615	16.615	16.615	16.615	16.534	16.442	16.346	16.245	16.139	16.024	15.901	15.767	15.620	
	$N_{b,z,Rd}$	16.010	15.140	13.493	10.859	8.273	6.338	4.966	3.981	3.257	2.712	2.292	1.962	1.699	
HEM 800	$N_{b,y,Rd}$	16.392	16.392	16.392	16.343	16.242	16.136	16.024	15.905	15.776	15.635	15.480	15.306	15.110	
	$N_{b,z,Rd}$	15.810	14.975	13.412	10.874	8.318	6.384	5.006	4.015	3.286	2.737	2.313	1.980	1.714	
HEM 700	$N_{b,y,Rd}$	16.016	16.016	16.009	15.897	15.780	15.655	15.520	15.373	15.209	15.025	14.814	14.570	14.286	
	$N_{b,z,Rd}$	15.468	14.683	13.234	10.840	8.343	6.419	5.039	4.044	3.311	2.758	2.332	1.997	1.728	
HEM 650	$N_{b,y,Rd}$	15.627	15.627	15.591	15.473	15.348	15.214	15.067	14.904	14.720	14.509	14.263	13.974	13.631	
	$N_{b,z,Rd}$	15.112	14.377	13.039	10.794	8.366	6.455	5.074	4.075	3.338	2.781	2.351	2.014	1.743	
HEM 600	$N_{b,y,Rd}$	15.209	15.209	15.140	15.014	14.880	14.734	14.571	14.388	14.176	13.927	13.631	13.277	12.852	
	$N_{b,z,Rd}$	14.722	14.029	12.783	10.671	8.317	6.433	5.062	4.068	3.333	2.778	2.349	2.012	1.742	
HEM 550	$N_{b,y,Rd}$	14.820	14.820	14.714	14.579	14.432	14.270	14.086	13.873	13.620	13.317	12.948	12.500	11.963	
	$N_{b,z,Rd}$	14.365	13.715	12.569	10.603	8.329	6.465	5.095	4.097	3.359	2.800	2.369	2.029	1.757	
HEM 500	$N_{b,y,Rd}$	14.398	14.386	14.248	14.101	13.938	13.753	13.539	13.282	12.970	12.583	12.105	11.525	10.850	
	$N_{b,z,Rd}$	13.969	13.358	12.293	10.457	8.268	6.436	5.079	4.088	3.352	2.795	2.365	2.026	1.755	
HEM 450	$N_{b,y,Rd}$	14.026	13.977	13.827	13.663	13.478	13.262	13.003	12.682	12.278	11.768	11.139	10.403	9.600	
	$N_{b,z,Rd}$	13.625	13.053	12.073	10.373	8.273	6.466	5.112	4.118	3.379	2.819	2.385	2.044	1.770	
HEM 400	$N_{b,y,Rd}$	13.624	13.531	13.364	13.178	12.961	12.697	12.366	11.940	11.388	10.695	9.881	9.006	8.140	
	$N_{b,z,Rd}$	13.248	12.709	11.799	10.218	8.208	6.438	5.098	4.110	3.374	2.815	2.383	2.042	1.769	
HEM 360	$N_{b,y,Rd}$	13.332	13.195	13.010	12.798	12.541	12.217	11.792	11.227	10.498	9.626	8.687	7.767	6.923	
	$N_{b,z,Rd}$	12.977	12.466	11.617	10.141	8.210	6.465	5.129	4.139	3.399	2.837	2.402	2.059	1.784	
HEM 340	$N_{b,y,Rd}$	13.206	13.045	12.849	12.620	12.337	11.970	11.479	10.822	9.988	9.034	8.060	7.149	6.337	
	$N_{b,z,Rd}$	12.862	12.367	11.550	10.130	8.242	6.507	5.168	4.173	3.428	2.862	2.424	2.077	1.800	
HEM 320	$N_{b,y,Rd}$	13.043	12.746	12.420	12.043	11.588	11.026	10.333	9.513	8.610	7.696	6.835	6.060	5.380	
	$N_{b,z,Rd}$	12.516	11.791	10.740	9.251	7.558	6.049	4.862	3.961	3.276	2.749	2.337	2.010	1.746	
HEM 300	$N_{b,y,Rd}$	12.638	12.331	11.987	11.581	11.082	10.457	9.686	8.794	7.852	6.940	6.112	5.386	4.762	
	$N_{b,z,Rd}$	12.167	11.471	10.465	9.040	7.405	5.937	4.776	3.893	3.221	2.703	2.298	1.977	1.717	
HEM 280	$N_{b,y,Rd}$	9.973	9.702	9.392	9.012	8.531	7.919	7.179	6.370	5.576	4.855	4.231	3.702	3.256	
	$N_{b,z,Rd}$	9.564	8.925	7.963	6.641	5.276	4.154	3.310	2.684	2.213	1.853	1.573	1.351	1.173	
HEM 260	$N_{b,y,Rd}$	9.083	8.811	8.491	8.088	7.565	6.899	6.124	5.330	4.598	3.964	3.431	2.988	2.620	
	$N_{b,z,Rd}$	8.671	7.998	6.954	5.601	4.341	3.375	2.672	2.158	1.775	1.484	1.258	1.080	937	
HEM 240	$N_{b,y,Rd}$	8.217	7.941	7.607	7.171	6.592	5.872	5.088	4.343	3.697	3.160	2.720	2.359	2.063	
	$N_{b,z,Rd}$	7.800	7.079	5.945	4.609	3.494	2.687	2.115	1.703	1.398	1.167	989	848	735	
HEM 220	$N_{b,y,Rd}$	6.105	5.864	5.554	5.130	4.568	3.918	3.289	2.748	2.308	1.956	1.674	1.447	1.261	
	$N_{b,z,Rd}$	5.746	5.070	4.032	2.988	2.216	1.688	1.321	1.060	868	724	613	525	455	
HEM 200	$N_{b,y,Rd}$	5.327	5.081	4.749	4.281	3.682	3.057	2.510	2.070	1.724	1.454	1.240	1.069	930	
	$N_{b,z,Rd}$	4.957	4.214	3.161	2.261	1.653	1.250	975	780	638	531	449	385	333	
HEM 180	$N_{b,y,Rd}$	4.555	4.302	3.940	3.425	2.824	2.274	1.833	1.496	1.239	1.040	885	761	661	
	$N_{b,z,Rd}$	4.172	3.361	2.369	1.648	1.191	896	696	556	454	378	319	273	237	
HEM 160	$N_{b,y,Rd}$	3.857	3.588	3.178	2.623	2.067	1.621	1.289	1.044	860	720	611	525	455	
	$N_{b,z,Rd}$	3.442	2.560	1.697	1.154	827	619	480	383	312	260	219	187	162	
HEM 140	$N_{b,y,Rd}$	3.150	2.858	2.400	1.861	1.410	1.085	854	687	564	471	399	342	297	
	$N_{b,z,Rd}$	2.699	1.816	1.146	767	546	407	315	251	205	170	143	123	106	
HEM 120	$N_{b,y,Rd}$	2.530	2.192	1.691	1.229	904	686	536	429	351	293	248	212	184	
	$N_{b,z,Rd}$	2.009	1.197	727	481	340	253	196	155	127	105	89	76	65	
HEM 100	$N_{b,y,Rd}$	1.942	1.536	1.064	736	530	398	309	247	202	168	142	121	105	
	$N_{b,z,Rd}$	1.345	716	424	278	196	145	112	89	72	60	51	43	37	

A.1.7 | Biegeknickbeanspruchbarkeiten von HD-Profilen der Stahlgüte S355 mit $\gamma_{M1}=1,1$

Normen: DIN EN 1993-1-1:2010-12 und DIN EN 1993-1-1/NA:2010-12
 Materialwerte: nach Tabelle 3.1 aus DIN EN 1993-1-1:2010-12 und für $t > 80$ mm EN 10025-2
 Stahlgüte: S355

$\gamma_{M1}=1,1$

Profil	Achse	Biegeknickbeanspruchbarkeiten $N_{b,y,Rd}$ und $N_{b,z,Rd}$ [kN] für verschiedene Knicklängen L_{cr} [m]												
		2,00	3,00	4,00	5,00	6,00	7,00	8,00	9,00	10,00	11,00	12,00	13,00	14,00
HD 400 x 1299	Nb,y,Rd	44.250	44.250	43.887	43.002	42.092	41.145	40.147	39.086	37.951	36.734	35.430	34.040	32.572
	Nb,z,Rd	44.250	42.265	40.072	37.784	35.366	32.816	30.172	27.508	24.913	22.464	20.215	18.188	16.386
HD 400 x 1202	Nb,y,Rd	41.032	41.032	40.607	39.762	38.892	37.982	37.021	35.995	34.896	33.714	32.446	31.097	29.675
	Nb,z,Rd	41.032	39.097	37.028	34.866	32.577	30.164	27.668	25.163	22.736	20.458	18.376	16.510	14.856
HD 400 x 1086	Nb,y,Rd	37.170	37.170	36.772	36.002	35.209	34.380	33.504	32.568	31.564	30.485	29.328	28.095	26.798
	Nb,z,Rd	37.160	35.264	33.332	31.306	29.157	26.893	24.561	22.240	20.011	17.940	16.065	14.397	12.928
HD 400 x 990	Nb,y,Rd	33.845	33.845	33.420	32.702	31.960	31.182	30.358	29.475	28.526	27.505	26.409	25.243	24.020
	Nb,z,Rd	33.783	32.031	30.242	28.362	26.366	24.265	22.108	19.969	17.927	16.040	14.340	12.834	11.512
HD 400 x 900	Nb,y,Rd	30.814	30.814	30.364	29.693	28.997	28.265	27.487	26.652	25.751	24.781	23.740	22.635	21.480
	Nb,z,Rd	30.711	29.092	27.435	25.692	23.839	21.890	19.895	17.927	16.058	14.340	12.800	11.440	10.251
HD 400 x 818	Nb,y,Rd	29.868	29.868	29.290	28.599	27.878	27.114	26.295	25.411	24.453	23.419	22.313	21.146	19.939
	Nb,z,Rd	29.619	27.975	26.281	24.488	22.580	20.581	18.557	16.591	14.758	13.102	11.639	10.363	9.258
HD 400 x 744	Nb,y,Rd	27.150	27.150	26.574	25.930	25.257	24.542	23.773	22.941	22.038	21.063	20.022	18.927	17.801
	Nb,z,Rd	26.884	25.368	23.804	22.146	20.380	18.534	16.671	14.871	13.201	11.701	10.380	9.233	8.241
HD 400 x 677	Nb,y,Rd	24.725	24.725	24.154	23.554	22.925	22.255	21.533	20.749	19.898	18.979	17.999	16.973	15.923
	Nb,z,Rd	24.453	23.057	21.615	20.084	18.454	16.751	15.039	13.391	11.869	10.506	9.311	8.275	7.381
HD 400 x 634	Nb,y,Rd	24.607	24.546	23.939	23.311	22.650	21.941	21.172	20.333	19.421	18.438	17.395	16.315	15.222
	Nb,z,Rd	24.224	22.776	21.272	19.667	17.958	16.185	14.424	12.757	11.242	9.905	8.745	7.749	6.897
HD 400 x 592	Nb,y,Rd	22.990	22.913	22.338	21.744	21.116	20.441	19.709	18.909	18.039	17.102	16.110	15.085	14.053
	Nb,z,Rd	22.608	21.243	19.822	18.305	16.690	15.017	13.361	11.798	10.384	9.140	8.064	7.141	6.352
HD 400 x 551	Nb,y,Rd	21.361	21.267	20.725	20.163	19.568	18.928	18.232	17.471	16.643	15.751	14.810	13.841	12.870
	Nb,z,Rd	20.986	19.707	18.375	16.951	15.435	13.868	12.320	10.865	9.552	8.400	7.406	6.555	5.828
HD 400 x 509	Nb,y,Rd	19.765	19.661	19.153	18.626	18.067	17.465	16.808	16.090	15.308	14.467	13.581	12.673	11.766
	Nb,z,Rd	19.404	18.213	16.971	15.643	14.229	12.769	11.331	9.983	8.769	7.706	6.791	6.008	5.340
HD 400 x 463	Nb,y,Rd	17.953	17.837	17.369	16.881	16.362	15.802	15.190	14.520	13.791	13.008	12.186	11.347	10.514
	Nb,z,Rd	17.602	16.508	15.365	14.142	12.840	11.499	10.183	8.955	7.855	6.895	6.070	5.367	4.767
HD 400 x 421	Nb,y,Rd	16.357	16.234	15.800	15.348	14.866	14.344	13.773	13.147	12.466	11.736	10.972	10.196	9.430
	Nb,z,Rd	16.021	15.015	13.963	12.837	11.638	10.406	9.201	8.080	7.079	6.208	5.462	4.826	4.286
HD 400 x 382	Nb,y,Rd	14.834	14.708	14.310	13.893	13.449	12.967	12.438	11.858	11.227	10.552	9.849	9.137	8.437
	Nb,z,Rd	14.515	13.595	12.632	11.599	10.501	9.374	8.276	7.258	6.352	5.566	4.894	4.322	3.836
HD 400 x 347	Nb,y,Rd	13.461	13.332	12.965	12.581	12.171	11.724	11.233	10.695	10.109	9.484	8.835	8.181	7.541
	Nb,z,Rd	13.161	12.321	11.441	10.497	9.493	8.465	7.465	6.540	5.719	5.008	4.401	3.886	3.448
HD 400 x 314	Nb,y,Rd	12.883	12.717	12.349	11.962	11.545	11.089	10.585	10.031	9.431	8.795	8.143	7.496	6.874
	Nb,z,Rd	12.534	11.696	10.812	9.861	8.853	7.832	6.856	5.969	5.193	4.530	3.969	3.496	3.096
HD 400 x 287	Nb,y,Rd	11.822	11.662	11.322	10.963	10.577	10.153	9.686	9.171	8.613	8.024	7.421	6.825	6.253
	Nb,z,Rd	11.495	10.722	9.907	9.030	8.101	7.161	6.263	5.449	4.739	4.132	3.619	3.187	2.822
HD 400 x 262	Nb,y,Rd	10.798	10.644	10.330	9.999	9.641	9.248	8.814	8.336	7.819	7.274	6.718	6.170	5.646
	Nb,z,Rd	10.492	9.782	9.032	8.225	7.370	6.507	5.685	4.942	4.294	3.742	3.276	2.884	2.554
HD 400 x 237	Nb,y,Rd	9.711	9.564	9.278	8.976	8.649	8.290	7.892	7.455	6.982	6.485	5.980	5.484	5.012
	Nb,z,Rd	9.426	8.783	8.102	7.369	6.594	5.813	5.071	4.403	3.823	3.329	2.913	2.564	2.269
HD 400 x 216	Nb,y,Rd	8.891	8.751	8.487	8.208	7.906	7.573	7.205	6.800	6.362	5.902	5.437	4.981	4.549
	Nb,z,Rd	8.627	8.036	7.410	6.737	6.024	5.308	4.628	4.016	3.486	3.035	2.655	2.336	2.067
HD 400 x 187	Nb,y,Rd	7.668	7.541	7.311	7.067	6.802	6.511	6.188	5.832	5.449	5.047	4.642	4.248	3.874
	Nb,z,Rd	7.431	6.916	6.370	5.782	5.161	4.538	3.950	3.423	2.967	2.581	2.257	1.984	1.755
HD 360 x 196	Nb,y,Rd	8.078	7.945	7.703	7.447	7.169	6.863	6.524	6.150	5.748	5.326	4.900	4.484	4.091
	Nb,z,Rd	7.774	7.202	6.591	5.930	5.239	4.558	3.931	3.381	2.914	2.524	2.200	1.929	1.703
HD 360 x 179	Nb,y,Rd	7.368	7.243	7.021	6.786	6.531	6.249	5.937	5.593	5.223	4.835	4.445	4.065	3.707
	Nb,z,Rd	7.087	6.562	6.002	5.396	4.763	4.140	3.568	3.067	2.642	2.288	1.993	1.748	1.543
HD 360 x 162	Nb,y,Rd	6.658	6.543	6.342	6.128	5.896	5.640	5.356	5.044	4.707	4.356	4.002	3.658	3.334
	Nb,z,Rd	6.401	5.925	5.416	4.866	4.292	3.728	3.210	2.758	2.376	2.056	1.791	1.570	1.386
HD 360 x 147	Nb,y,Rd	6.064	5.956	5.771	5.575	5.361	5.125	4.863	4.575	4.265	3.942	3.618	3.304	3.009
	Nb,z,Rd	5.825	5.389	4.922	4.418	3.892	3.377	2.905	2.494	2.146	1.857	1.617	1.417	1.251
HD 360 x 134	Nb,y,Rd	5.506	5.404	5.235	5.056	4.860	4.643	4.403	4.139	3.855	3.559	3.263	2.977	2.709
	Nb,z,Rd	5.286	4.889	4.463	4.004	3.524	3.055	2.627	2.254	1.939	1.677	1.460	1.280	1.129
HD 320 x 300	Nb,y,Rd	11.637	11.418	11.058	10.676	10.259	9.798	9.286	8.722	8.117	7.489	6.862	6.257	5.690
	Nb,z,Rd	10.944	9.969	8.904	7.762	6.622	5.579	4.687	3.953	3.359	2.879	2.489	2.170	1.907
HD 320 x 245	Nb,y,Rd	10.069	9.833	9.504	9.150	8.761	8.326	7.843	7.313	6.750	6.177	5.616	5.087	4.601
	Nb,z,Rd	9.406	8.522	7.553	6.520	5.507	4.602	3.842	3.227	2.733	2.337	2.017	1.756	1.541
HD 320 x 198	Nb,y,Rd	8.142	7.928	7.652	7.353	7.023	6.653	6.241	5.791	5.318	4.842	4.382	3.954	3.565
	Nb,z,Rd	7.578	6.846	6.041	5.187	4.359	3.626	3.019	2.530	2.139	1.827	1.576	1.371	1.203
HD 320 x 158	Nb,y,Rd	6.493	6.308	6.082	5.837	5.564	5.258	4.916	4.545	4.158	3.772	3.403	3.062	2.755
	Nb,z,Rd	6.026	5.431	4.776	4.084	3.418	2.834	2.354	1.970	1.664	1.420	1.224	1.064	933
HD 320 x 127	Nb,y,Rd	5.206	5.049	4.864	4.663	4.439	4.187	3.906	3.601	3.285	2.972	2.675	2.403	2.159
	Nb,z,Rd	4.818	4.333	3.799	3.236	2.699	2.232	1.850	1.546	1.305	1.113	958	833	730
HD 320 x 97,6	Nb,y,Rd	4.015	3.886	3.741	3.582	3.404	3.203	2.979	2.738	2.489	2.245	2.016	1.807	1.621
	Nb,z,Rd	3.709	3.330	2.913	2.474	2.058	1.699	1.406	1.174	990	844	726	631	553
HD 320 x 74,2	Nb,y,Rd	3.053	2.946	2.831	2.705	2.562	2.402	2.223	2.032	1.837	1.649	1.475	1.318	1.179
	Nb,z,Rd	2.801	2.501	2.169	1.824	1.504	1.233	1.016	845					

A.1.8 | Biegeknickbeanspruchbarkeiten von HD-Profilen der Stahlgüte S460M mit $\gamma_{M1}=1,1$

Normen: DIN EN 1993-1-1:2010-12 und DIN EN 1993-1-1/NA:2010-12
 Materialwerte: nach Tabelle 3.1 aus DIN EN 1993-1-1:2010-12 und für $t > 80$ mm EN 10025-4
 Stahlgüte: S460M

$\gamma_{M1}=1,1$

Profil	Achse	Biegeknickbeanspruchbarkeiten $N_{b,y,Rd}$ und $N_{b,z,Rd}$ [kN] für verschiedene Knicklängen l_{cr} [m]												
		2,00	3,00	4,00	5,00	6,00	7,00	8,00	9,00	10,00	11,00	12,00	13,00	14,00
HD 400 x 1299	$N_{b,y,Rd}$	57.750	57.750	57.047	56.196	55.288	54.298	53.199	51.960	50.547	48.929	47.078	44.988	42.679
	$N_{b,z,Rd}$	57.350	55.051	52.568	49.777	46.580	42.953	38.995	34.924	30.991	27.381	24.180	21.398	19.004
HD 400 x 1202	$N_{b,y,Rd}$	53.550	53.550	52.815	52.000	51.125	50.166	49.095	47.880	46.488	44.886	43.053	40.990	38.727
	$N_{b,z,Rd}$	53.114	50.944	48.593	45.940	42.894	39.440	35.688	31.859	28.192	24.852	21.909	19.364	17.181
HD 400 x 1086	$N_{b,y,Rd}$	48.510	48.510	47.831	47.088	46.290	45.415	44.436	43.325	42.051	40.584	38.904	37.015	34.946
	$N_{b,z,Rd}$	48.009	45.981	43.769	41.258	38.363	35.087	31.562	28.014	24.670	21.665	19.045	16.796	14.879
HD 400 x 990	$N_{b,y,Rd}$	44.170	44.154	43.493	42.797	42.046	41.219	40.289	39.228	38.006	36.594	34.980	33.170	31.204
	$N_{b,z,Rd}$	43.660	41.781	39.725	37.381	34.675	31.618	28.346	25.082	22.030	19.308	16.948	14.930	13.215
HD 400 x 900	$N_{b,y,Rd}$	40.215	40.157	39.538	38.884	38.176	37.391	36.503	35.485	34.306	32.941	31.382	29.645	27.776
	$N_{b,z,Rd}$	39.701	37.961	36.050	33.863	31.335	28.484	25.452	22.452	19.670	17.207	15.082	13.273	11.738
HD 400 x 818	$N_{b,y,Rd}$	37.927	37.803	37.192	36.542	35.832	35.038	34.131	33.080	31.855	30.435	28.820	27.043	25.166
	$N_{b,z,Rd}$	37.560	36.471	35.200	33.618	31.577	28.974	25.904	22.684	19.655	16.996	14.741	12.855	11.281
HD 400 x 744	$N_{b,y,Rd}$	34.476	34.329	33.760	33.153	32.486	31.736	30.876	29.874	28.703	27.344	25.806	24.126	22.371
	$N_{b,z,Rd}$	34.117	33.110	31.928	30.449	28.531	26.088	23.230	20.270	17.518	15.121	13.100	11.414	10.011
HD 400 x 677	$N_{b,y,Rd}$	31.396	31.232	30.702	30.133	29.507	28.799	27.982	27.026	25.906	24.608	23.145	21.561	19.925
	$N_{b,z,Rd}$	31.051	30.121	29.025	27.647	25.854	23.574	20.924	18.208	15.704	13.537	11.717	10.204	8.946
HD 400 x 634	$N_{b,y,Rd}$	31.585	31.345	30.780	30.169	29.488	28.708	27.797	26.721	25.454	23.993	22.372	20.660	18.941
	$N_{b,z,Rd}$	31.156	30.161	28.968	27.438	25.422	22.881	20.029	17.233	14.746	12.646	10.908	9.477	8.295
HD 400 x 592	$N_{b,y,Rd}$	29.510	29.267	28.731	28.151	27.501	26.756	25.882	24.847	23.629	22.226	20.677	19.052	17.434
	$N_{b,z,Rd}$	29.093	28.152	27.020	25.561	23.636	21.216	18.520	15.900	13.587	11.641	10.035	8.714	7.625
HD 400 x 551	$N_{b,y,Rd}$	27.418	27.172	26.666	26.116	25.498	24.786	23.948	22.954	21.782	20.437	18.961	17.426	15.910
	$N_{b,z,Rd}$	27.018	26.135	25.068	23.689	21.865	19.579	17.051	14.612	12.471	10.676	9.199	7.985	6.985
HD 400 x 509	$N_{b,y,Rd}$	25.370	25.127	24.652	24.134	23.551	22.877	22.081	21.135	20.020	18.744	17.351	15.913	14.502
	$N_{b,z,Rd}$	24.990	24.166	23.168	21.874	20.161	18.019	15.662	13.403	11.428	9.778	8.421	7.308	6.392
HD 400 x 463	$N_{b,y,Rd}$	23.044	22.804	22.364	21.883	21.340	20.708	19.959	19.067	18.016	16.818	15.522	14.195	12.907
	$N_{b,z,Rd}$	22.684	21.924	21.000	19.795	18.198	16.209	14.043	11.988	10.205	8.723	7.507	6.512	5.694
HD 400 x 421	$N_{b,y,Rd}$	20.996	20.760	20.352	19.905	19.397	18.804	18.100	17.257	16.266	15.143	13.935	12.712	11.534
	$N_{b,z,Rd}$	20.657	19.957	19.101	17.983	16.498	14.655	12.665	10.792	9.176	7.837	6.741	5.846	5.110
HD 400 x 382	$N_{b,y,Rd}$	19.041	18.815	18.439	18.026	17.555	17.004	16.346	15.560	14.635	13.590	12.476	11.357	10.286
	$N_{b,z,Rd}$	18.724	18.082	17.295	16.262	14.888	13.190	11.371	9.673	8.215	7.011	6.028	5.226	4.567
HD 400 x 347	$N_{b,y,Rd}$	17.278	17.060	16.713	16.330	15.893	15.379	14.763	14.026	13.160	12.188	11.159	10.134	9.162
	$N_{b,z,Rd}$	16.984	16.397	15.674	14.724	13.460	11.902	10.242	8.701	7.384	6.299	5.414	4.692	4.100
HD 400 x 314	$N_{b,y,Rd}$	16.694	16.437	16.082	15.685	15.226	14.677	14.014	13.216	12.289	11.271	10.226	9.216	8.282
	$N_{b,z,Rd}$	16.363	15.759	15.000	13.983	12.626	11.000	9.346	7.871	6.643	5.647	4.842	4.190	3.657
HD 400 x 287	$N_{b,y,Rd}$	15.318	15.076	14.747	14.379	13.951	13.440	12.821	12.076	11.213	10.268	9.303	8.375	7.520
	$N_{b,z,Rd}$	15.010	14.453	13.751	12.809	11.552	10.051	8.530	7.178	6.055	5.145	4.412	3.817	3.331
HD 400 x 262	$N_{b,y,Rd}$	13.992	13.763	13.459	13.118	12.720	12.244	11.665	10.969	10.164	9.289	8.401	7.551	6.773
	$N_{b,z,Rd}$	13.706	13.192	12.544	11.672	10.508	9.124	7.731	6.499	5.478	4.653	3.989	3.450	3.010
HD 400 x 237	$N_{b,y,Rd}$	12.583	12.369	12.092	11.780	11.415	10.976	10.443	9.801	9.062	8.263	7.458	6.693	5.997
	$N_{b,z,Rd}$	12.319	11.852	11.261	10.463	9.399	8.140	6.883	5.778	4.867	4.132	3.540	3.062	2.671
HD 400 x 216	$N_{b,y,Rd}$	11.521	11.320	11.064	10.775	10.436	10.028	9.531	8.934	8.247	7.509	6.768	6.068	5.432
	$N_{b,z,Rd}$	11.277	10.848	10.303	9.567	8.586	7.428	6.276	5.266	4.434	3.763	3.224	2.788	2.432
HD 400 x 187	$N_{b,y,Rd}$	9.936	9.756	9.533	9.279	8.982	8.622	8.183	7.656	7.052	6.407	5.765	5.161	4.615
	$N_{b,z,Rd}$	9.719	9.344	8.866	8.216	7.352	6.340	5.343	4.476	3.765	3.194	2.735	2.364	2.062
HD 360 x 196	$N_{b,y,Rd}$	10.467	10.279	10.044	9.778	9.466	9.088	8.628	8.075	7.442	6.763	6.087	5.451	4.876
	$N_{b,z,Rd}$	10.203	9.776	9.220	8.449	7.435	6.302	5.244	4.359	3.649	3.086	2.638	2.277	1.984
HD 360 x 179	$N_{b,y,Rd}$	9.547	9.373	9.156	8.912	8.624	8.276	7.850	7.340	6.756	6.133	5.515	4.935	4.411
	$N_{b,z,Rd}$	9.303	8.912	8.400	7.690	6.756	5.718	4.754	3.949	3.305	2.794	2.388	2.061	1.795
HD 360 x 162	$N_{b,y,Rd}$	8.627	8.467	8.271	8.049	7.787	7.470	7.082	6.617	6.085	5.520	4.960	4.436	3.964
	$N_{b,z,Rd}$	8.404	8.049	7.583	6.936	6.086	5.145	4.274	3.549	2.969	2.510	2.144	1.851	1.612
HD 360 x 147	$N_{b,y,Rd}$	7.858	7.709	7.528	7.323	7.081	6.788	6.428	5.998	5.507	4.988	4.476	3.999	3.571
	$N_{b,z,Rd}$	7.651	7.325	6.896	6.298	5.516	4.654	3.861	3.203	2.678	2.264	1.934	1.669	1.453
HD 360 x 134	$N_{b,y,Rd}$	7.134	6.996	6.831	6.643	6.420	6.150	5.819	5.422	4.971	4.496	4.030	3.598	3.211
	$N_{b,z,Rd}$	6.945	6.647	6.255	5.708	4.992	4.207	3.488	2.892	2.418	2.043	1.745	1.506	1.311
HD 320 x 300	$N_{b,y,Rd}$	14.937	14.647	14.301	13.907	13.442	12.875	12.182	11.351	10.407	9.413	8.438	7.532	6.722
	$N_{b,z,Rd}$	14.388	13.620	12.533	10.987	9.138	7.399	5.985	4.893	4.056	3.409	2.901	2.496	2.170
HD 320 x 245	$N_{b,y,Rd}$	13.043	12.746	12.420	12.043	11.588	11.026	10.333	9.513	8.610	7.696	6.835	6.060	5.380
	$N_{b,z,Rd}$	12.516	11.791	10.740	9.251	7.558	6.049	4.862	3.961	3.276	2.749	2.337	2.010	1.746
HD 320 x 198	$N_{b,y,Rd}$	10.533	10.284	10.009	9.687	9.295	8.806	8.204	7.498	6.737	5.985	5.290	4.674	4.140
	$N_{b,z,Rd}$	10.101	9.492	8.600	7.343	5.951	4.739	3.799	3.090	2.553	2.141	1.820	1.564	1.359
HD 320 x 158	$N_{b,y,Rd}$	8.391	8.188	7.961	7.694	7.366	6.955	6.449	5.862	5.239	4.635	4.084	3.600	3.184
	$N_{b,z,Rd}$	8.042	7.543	6.804	5.770	4.647	3.688	2.951	2.397	1.980	1.660	1.410	1.212	1.052
HD 320 x 127	$N_{b,y,Rd}$	6.722	6.556	6.370	6.150	5.878	5.536	5.115	4.631	4.124	3.637	3.198	2.815	2.487
	$N_{b,z,Rd}$	6.438	6.027	5.415	4.564	3.656	2.893	2.311	1.876	1.548	1.297	1.102	947	822
HD 320 x 97,6	$N_{b,y,Rd}$	5.180	5.049	4.902	4.726	4.507	4.232	3.893	3.508	3.110	2.734	2.398	2.108	1.860

1 | Einführung und allgemeine Vorbemerkungen

Stützen dienen nicht nur dem vertikalen Lastabtrag, sondern stellen ein wichtiges Gestaltungselement eines Gebäudes dar. Dabei haben die Stützen im Außenbereich, wie z. B. Fassadenstützen oder freistehende Foyerstützen, gestalterisch oft größere Bedeutung als die Innenstützen. Die Fassadenstützen sollen zumeist möglichst filigran wirken und eine größtmögliche Transparenz und einen hohen Tageslichteinfall in das Gebäudeinnere ermöglichen. Doch selbst hochbelastete Innenstützen können dank der Stahlbauweise mit hocheffizienten und kompakten Querschnitten ausgeführt werden.

Stützen werden hauptsächlich durch Druckkräfte beansprucht. Erfolgt die Lasteinleitung zentrisch, was anzustreben ist, treten keine Biegemomente auf und nur der Biegeknicknachweis ist erforderlich. Da Stützen in beide Richtungen knicken können, wird bei gleicher Knicklänge für beide Achsen die sogenannte „schwache“ Achse für die Bemessung maßgebend. Daher empfehlen sich Querschnitte, die in beide Richtungen ähnlich große Biegeknickbeanspruchbarkeiten aufweisen, wie z.B. die warmgewalzten Breitflanschprofile der HE- und HD-Reihe. Für kleinere Lasten eignen sich insbesondere HEA-, für größere kommen HEB-, HEM- und HD-Profile in Frage. Für sehr große Lasten eignen sich besonders HD-Profile. Alle diese Profile haben einen günstigen Materialpreis pro Tonne. Wichtiger aber noch ist, dass sie konstruktiv einfache, leicht zugängliche und dadurch sehr wirtschaftliche Anschlüsse ermöglichen. Zudem ist eine vertikale Installationsführung in den Stützenkammern unproblematisch möglich.

Vorteilhaft ist es, die Außenabmessungen der Stützen über die Gebäudehöhe annähernd unverändert zu lassen, um z.B. den Einbau von genormten Ausbauelementen zu ermöglichen. Die Stützen einer Profilreihe (HE oder HD) mit gleicher Nennhöhe haben in der Regel gleiche Innenmaße. Bei den Außenabmessungen sind HEA- etwas niedriger als HEB-, die wiederum etwas niedriger und schmaler als HEM-Profile sind. Dazwischen können kleinere HD-Profile liegen (Bild 1). HE-Profile sind auf eine Profilhöhe von etwa 300 mm begrenzt, große HD-Profile hingegen erreichen Profilhöhen von weit über 400 mm.

Um die Abmessung der Stützen geschossweise den Belastungen anzupassen und sie damit optimal auszunutzen, empfiehlt es sich, die Stützenprofile über die Gebäudehöhe von HEA- in den oberen Etagen

über HEB- bis hin zu HD- oder HEM-Profilen abzustufen. Neben dem Profilquerschnitt kann zur besseren

Ausnutzung der Stützen auch die Stahlgüte variiert werden (Bild 2).

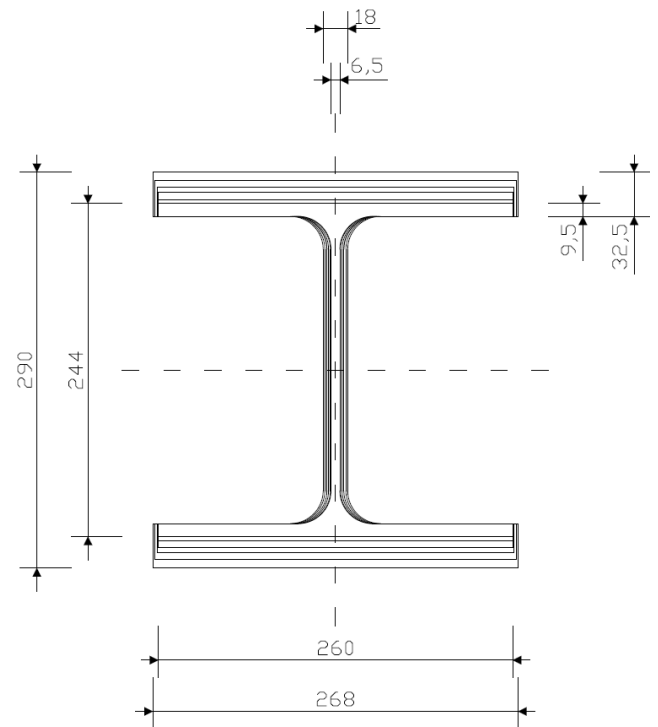


Bild 1: Vergleich der Innen- und Außenabmessungen der HE- und HD-Profilreihen für eine Nennhöhe von 260 mm

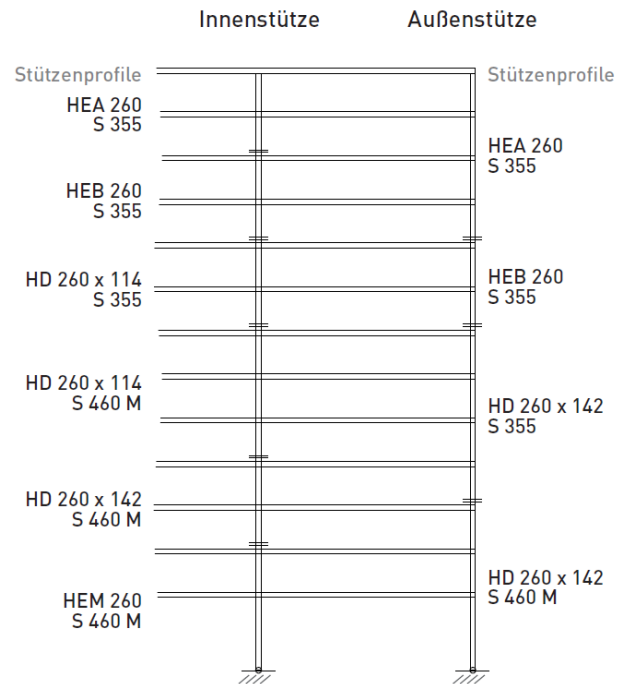


Bild 2: Vielfältige Möglichkeiten der Stützenquerschnittsoptimierung über die Gebäudehöhe

1.1 | Querschnittswahl und Wahl der Stahlgüte

Die vormals meistgebräuchliche Stahlgüte S235 erweist sich zunehmend und besonders für Stützen aus Walzprofilen im Geschößbau als weniger wirtschaftlich und daher wenig zweckmäßig. Wirtschaftlich ist insbesondere die Standardgüte S355 sowie häufig eine weitere Optimierung mit hochfestem Stahl S460.

Eine höhere Streckgrenze ermöglicht eine Querschnittsreduktion und folglich eine Materialeinsparung. Über die Einsparungen bei Material und Materialkosten hinaus, ergeben sich Kosteneinsparungen in der Verarbeitung durch reduziertes Schweißnahtvolumen, kleinere Anstrichflächen und einen häufig günstigeren Transport.

Exemplarisch ist die Zunahme der Biegeknickbeanspruchbarkeit um die schwache Achse in beiden zuvor genannten Stahlgüten in Diagramm 1 für verschiedene Knicklängen und Profile dargestellt. Bei größeren Knicklängen ist die Zunahme der Biegeknickbeanspruchbarkeit durch eine höhere Stahlgüte prozentual geringer, da die Knicklänge linear, die Streckgrenze jedoch nur im Radikand in die Ermittlung der bezogenen Schlankheit eingeht und

die relevanten Knicklinien bei großen bezogenen Schlankheiten geringere Abweichungen voneinander aufweisen als bei mittleren (s. Kap. 2.2).

In Diagramm 2 ist die Abhängigkeit der Biegeknickbeanspruchbarkeiten der Profilreihen HE und HD für die Stahlgüten S355 und S460M und für eine Knicklänge von 4,0 m dargestellt. Aus Gründen der Übersichtlichkeit sind nur Profile mit einem Eigengewicht bis 400 kg/m abgebildet.

Die "Knicke" in den Verläufen resultieren zum einen aus einem Wechsel bei $h/b > 1,2$ bei der Zuordnung zu den Knicklinien nach DIN EN 1993-1-1 (Tabelle 7) und zum anderen aus der Streckgrenzenabminderung nach Tabelle 1.

Es ist gut erkennbar, dass unter Beibehaltung der Stahlgüte jeweils HEA-Profile bis 125 kg/m (HEA 400) die, bezogen auf den Materialverbrauch, günstigste Ausführungsmöglichkeit darstellen. Ab 134 kg/m (HD360x134) sind die HD-Profilreihen am günstigsten.

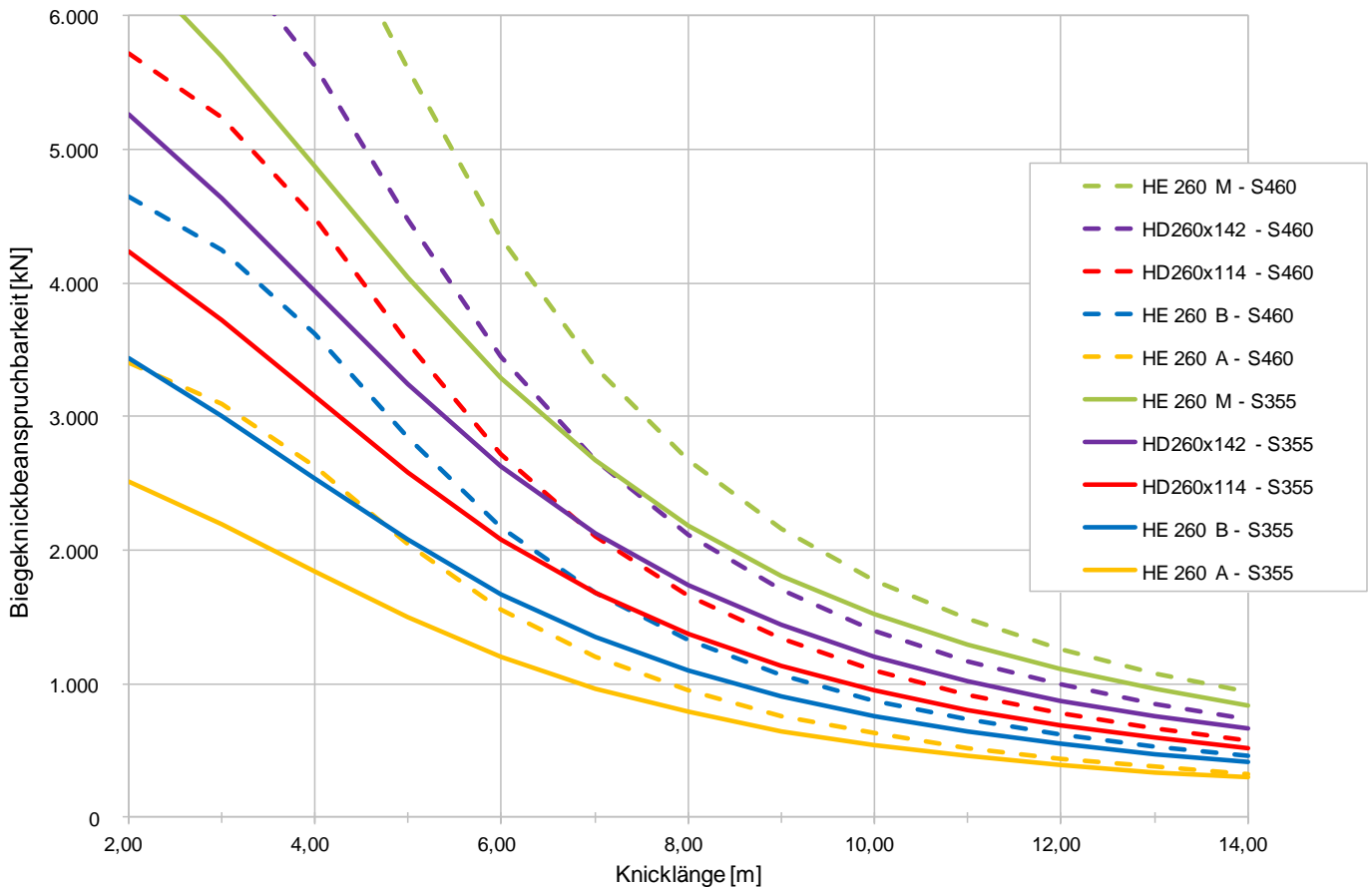


Diagramm 1: Biegeknickbeanspruchbarkeiten der Profile aus Bild 1 für S355 und S460M (Zwischenwerte interpoliert)

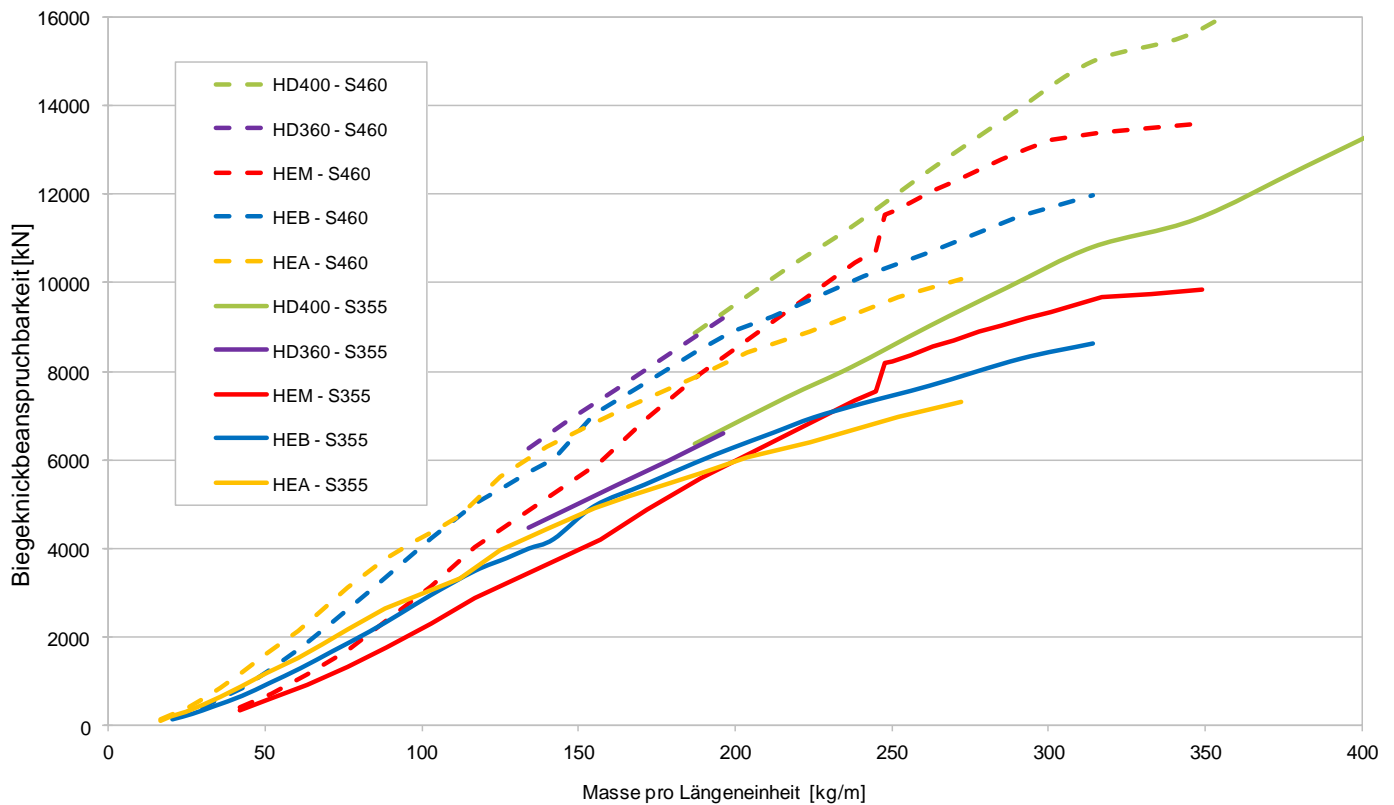


Diagramm 2 : Verlauf der Biegeknickbeanspruchbarkeiten in Abhängigkeit von der Profilreihe und der Stahlgüte ((Zwischenwerte interpoliert)

Für den Lastbereich ab ca. 10.000 kN (S355) bzw. 14.000 kN (S460M) bis hin zu über 50.000 kN (Tabelle A.1.7 und Tabelle A.1.8) stehen nur noch HD400-Profile zur Auswahl. Die HD360- und HD400-Profilreihen haben zudem, durch das stets gleiche Kammermass, den Vorteil sehr einfach ausführbarer Stützenstösse [22].

Bei einer konstanter Biegeknickbeanspruchbarkeit und einer konstanten Knicklänge von 4,0 m kann das Optimierungspotential wie folgt erläutert werden:

Für das exemplarisch gewählte Profil HEM320 in S355 mit der Masse $G = 245 \text{ kg/m}$, der Querschnittsfläche $A = 312 \text{ cm}^2$ und dem Trägheitsradius $i_z = \sqrt{I_z/A} = 7,95 \text{ cm}$ gilt: $N_{b,Rd} = 7553 \text{ kN}$ (Diagramm 2 und Tabelle A.1.5).

Eine annähernd gleiche Biegeknickbeanspruchbarkeit von $N_{b,Rd} = 7583 \text{ kN}$ gilt für das Profil HD360x162 in S460M mit $G = 162 \text{ kg/m}$, $A = 206,3 \text{ cm}^2$ und $i_z = \sqrt{I_z/A} = 9,49 \text{ cm}$ (Diagramm 2 und Tabelle A.1.8).

Somit kann für dieses Beispiel eine Materialeinsparung von 34 % durch die Querschnittsoptimierung und den Einsatz von hochfestem Stahl S460M erreicht werden.

In Diagramm 3 werden die Biegeknickbeanspruchbarkeiten von Profilen verschiedener Profilreihen mit etwa gleicher Querschnittsfläche von ca. 200 cm^2 (HEA500, HEB400, HEM240 und HD360x162) verglichen, da sowohl die Querschnittsfläche als auch die Streckgrenze in die Berechnung der bezogenen Schlankheit und damit des Abminderungsfaktors, sowie direkt in die Berechnung der Biegeknickbeanspruchbarkeit eingehen.

Folgende Einflussfaktoren sind für die Ermittlung der bezogenen Schlankheit und damit der Biegeknickbeanspruchbarkeit bedeutsam:

- Die **Knicklänge** L_{cr} des Druckstabs.
- Die **Trägheitsradien** i um die jeweilige Querschnittsachse (hier um die bemessungsmaßgebende schwache Achse z dargestellt): Profile mit größeren Trägheitsradien (hier i_z) weisen bei gleicher Querschnittsfläche wesentlich größere Biegeknickbeanspruchbarkeiten auf. Sehr deutlich ist dies bei den HD-Profilen erkennbar, welche die statisch günstigste Materialverteilung für Beanspruchungen um die schwache Achse aufweisen.
- Die **Stahlgüte** mit dem zugehörigen Nennwert der **Streckgrenze** f_y sowie die davon abhängige Zuordnung zu einer Knicklinie nach Diagramm 5.

Der Tragfähigkeitszuwachs bei ähnlicher Querschnittsfläche und einer konstanter Knicklänge von 4,0 m kann wie folgt erläutert werden:

Für das exemplarisch gewählte Profil HEM240 in S355 mit $G = 157 \text{ kg/m}$, $A = 199.6 \text{ cm}^2$ und $i_z = \sqrt{I_z/A} = 6,39 \text{ cm}$ gilt: $N_{b,Rd} = 4188 \text{ kN}$ (Diagramm 2, Diagramm 3 und Tabelle A.1.5).

Bei ähnlicher Querschnittsfläche und ähnlichem Gewicht gilt für das Profil HD360x162 in S460M mit $G = 162 \text{ kg/m}$, $A = 206,3 \text{ cm}^2$ und $i_z = \sqrt{I_z/A} = 9,49 \text{ cm}$ eine Biegeknickbeanspruchbarkeit von $N_{b,Rd} = 7583 \text{ kN}$ (Diagramm 2, Diagramm 3 und Tabelle A.1.8).

Somit kann für dieses Beispiel ein Tragfähigkeitszuwachs von 81 % durch die Querschnittsoptimierung und den Einsatz von hochfestem Stahl S460M erreicht werden.

2 | Bemessungskonzept für Stützen nach DIN EN 1993-1-1:2010-12

Unter alleiniger Normalkrafteinwirkung werden die Stützen für den Stabilitätsfall Biegeknicken oder Biegedrillknicken nach DIN EN 1993-1-1, Element 6.3.1 [1] untersucht. Unter zusätzlichen Biegemomenteneinwirkungen infolge einer exzentrischen Lasteinleitung, Aussteifungseinflüssen oder einer Windbelastung, sind Stützen mit den Interaktionsgleichungen am Ersatzstab nach [1], Element 6.3.3 nachzuweisen.

2.1 | Bemessungsgrundlagen

Bevor die Stabilitätsnachweise geführt werden, muss zunächst die Stahlgüte und der Querschnitt gewählt werden (Kapitel 1.1).

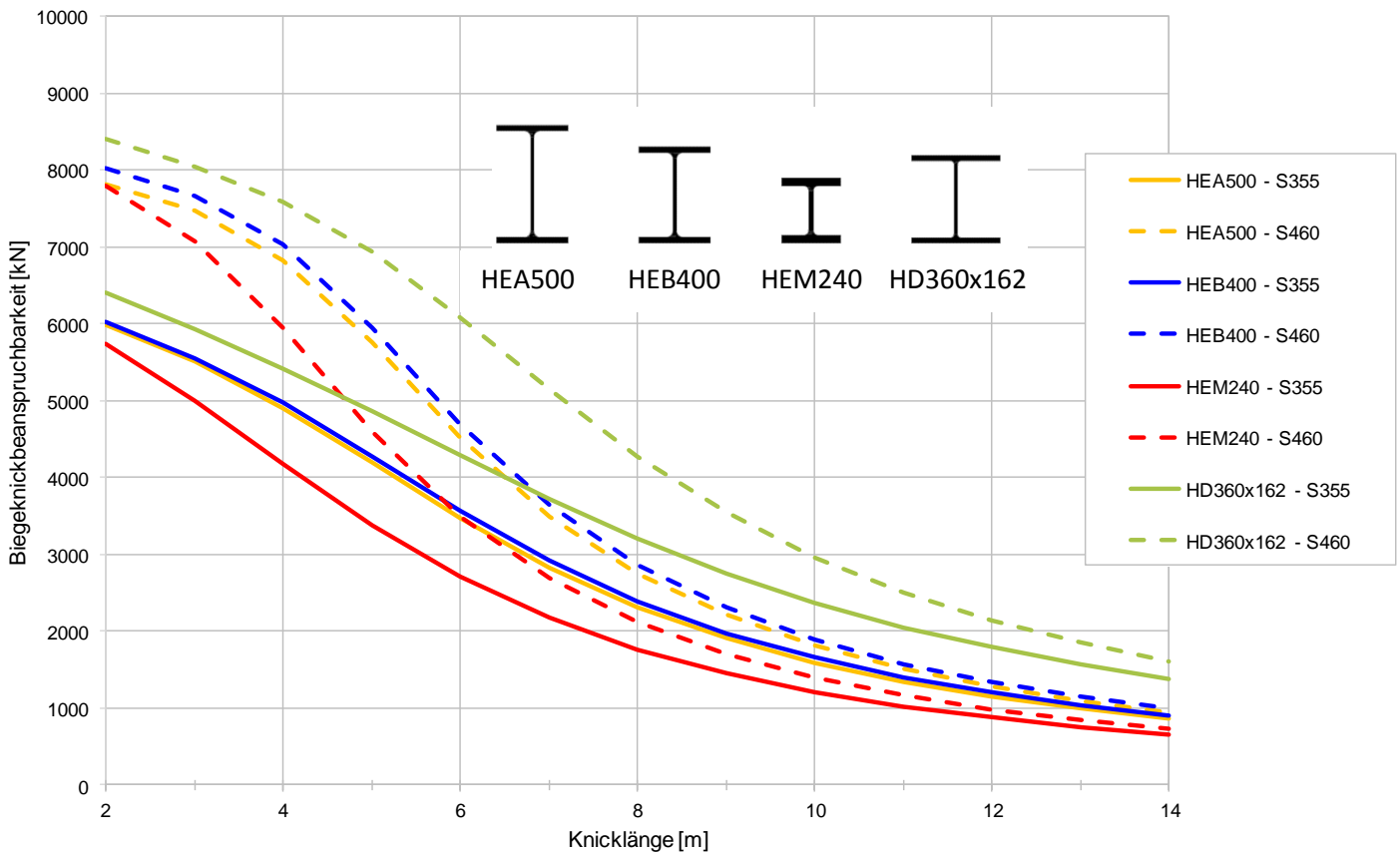


Diagramm 3: Abhängigkeit der Biegeknickbeanspruchbarkeit vom Profil und der Stahlgüte bei ähnlicher Querschnittsfläche (Zwischenwerte interpoliert)

2.1.1 | Werkstoffe

Mit der Wahl der **Stahlgüte** werden die mechanischen Eigenschaften des Grundwerkstoffes, d.h. die Nennwerte der Streckgrenze f_y und der Zugfestigkeit f_u festgelegt. Für die in dieser Publikation verwendete Stähle stellt die Tabelle 1 einen Auszug aus der Tabelle 3.1 der DIN EN 1993-1-1 [1] dar.

Tabelle 2 beinhaltet die Nennwerte der Streckgrenze f_y der betrachteten Stähle gemäß den entsprechenden Produktnormen, die alternativ nach [1] und [2] angesetzt werden dürfen.

Aus den Tabellen 1 und 2 ist ersichtlich, dass mit zunehmender Nenndicke der Nennwert der Streckgrenze f_y abnimmt. Dies ist bei der Bemessung entsprechend zu berücksichtigen.

Für Profile mit Materialdicken über 80 mm wurden bei der Erarbeitung der Bemessungstabellen die Materialeigenschaften nach den Produktnormen EN 10025-2 für S355 und EN 10025-4 für S460M verwendet (Tabelle 2 für $t > 80$ mm).

Alle Tabellen in Kapitel A beinhalten die nach [1] und [2] normgemäßen Abminderungen der Bemessungstreckgrenze.

Tabelle 1: Nennwerte der Streckgrenze f_y für warmgewalzten Baustahl nach DIN EN 1993-1-1, Tabelle 3.1 [1]

Stahlgüte*	Erzeugnisdicke t*	
	t ≤ 40 mm	40 mm < t ≤ 80 mm
	f_y in N/mm ²	
S355	355	335
S460M/ML	460	430

*Die Stahlgüte entspricht der Stahlsorte und die Erzeugnisdicke der Nenndicke des Baustahlbleches bzw. hier des Profilflansches

Tabelle 2: Nennwerte der Streckgrenze f_y für warmgewalzten Baustahl nach Produktnormen [9], [11]

Werkstoffnorm	Stahlgüte*	Nenndicke t					
		t ≤ 16 mm	16 mm < t ≤ 40 mm	40 mm < t ≤ 63 mm	63 mm < t ≤ 80 mm	80 mm < t ≤ 100 mm	100 mm < t ≤ 150 mm
		f_y in N/mm ²					
EN 10025-2 [9]	S355	355	345	335	325	315	295
EN 10025-4 [11]	S460 M/ML	460	440	430	410	400	385

2.1.2 | Querschnittsklassifizierung

Nach der Festlegung des Querschnitts ist zunächst eine Querschnittsklassifizierung nach DIN EN 1993-1-1, Abschnitt 5.5 [1] durchzuführen. Mit der Klassifizierung von Querschnitten wird eine Begrenzung der Beanspruchbarkeit und der Rotationskapazität durch lokales Beulen erfasst.

Die Eignung eines Querschnitts zur elastischen oder plastischen Querschnittsbemessung wird durch seine **Querschnittsklasse (QKL)** ausgedrückt. DIN EN 1993-1-1 [1] definiert vier Querschnittsklassen, deren Momenten-Rotationsverhalten im Diagramm 4 abgebildet ist.

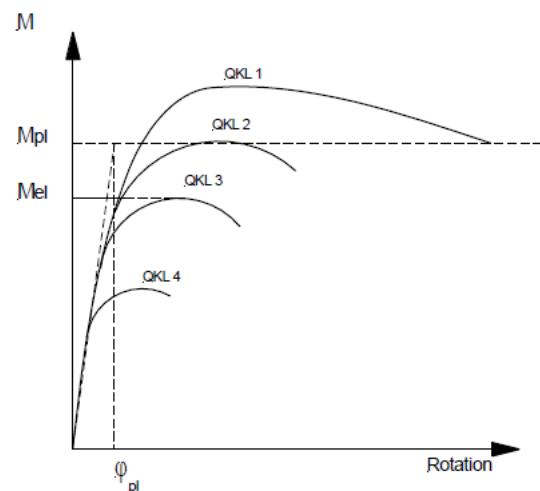


Diagramm 4 : Momenten-Rotationsverhalten der verschiedenen Querschnittsklassen (QKL)

- **QKL 1** – Es können sich plastische Gelenke mit einer ausreichenden plastischen Momenten-tragfähigkeit und Rotationskapazität ausbilden.
- **QKL 2** – Die plastische Momententrag-fähigkeit bei begrenzter Rotationskapazität wird erreicht.
- **QKL 3** – In den Randfasern wird die Streckgrenze erreicht, aufgrund örtlichen Beulens ist allerdings keine plastische Momententragfähigkeit aus-nutzbar.
- **QKL 4** – Ein örtliches Beulen tritt vor Errei-chen der Streckgrenze ein. Die Ermittlung von effek-tiven Querschnittswerten kann nach DIN EN 1993-1-5 [3] erfolgen.

Maßgebend für die Querschnittsklassifizierung nach DIN EN 1993-1-1, Tabelle 5.2 sind die druckbeanspruchten Teile eines Querschnitts, wobei die Abgrenzung über die Grenzschlankheiten der c/t -Verhältnisse der einzelnen druckbeanspruchten Querschnittsteile erfolgt. Dabei ist c die Breite oder Höhe und t die Materialdicke eines Querschnittsteils sowie ϵ die von der Stahlgüte abhängige bezogene Streckgrenze (Tabelle 4). Es wird zwischen reinem Druck, reiner Biegung und kombinierter Druck- und Biegebeanspruchung unterschieden.

Die Klassifizierung erfolgt zunächst getrennt für den Steg und die Flansche. Der Gesamtquerschnitt wird durch die höchste und gleichzeitig ungünstigste Klasse seiner Querschnittsteile definiert.

Tabelle 3 fasst die Kriterien der Klassifizierung für den Steg als beidseitig gestütztes und für die Flansche als einseitig gestützte Querschnittsteile zusammen.

Nach Abschnitt 6.2.6 (6) der DIN EN 1993-1-1 ist bei querkraftbeanspruchten Stützenquerschnitten mit unausgesteiften Stegblechen und

$$\frac{h_w}{t_w} > 72 \cdot \frac{\epsilon}{\eta}$$

zusätzlich ein Nachweis gegen Schubbeulen nach DIN

EN 1993-1-5 zu führen. Auf der sicheren Seite liegend, wird bis Stahlsorte S460 $\eta = 1,2$ empfohlen, für Stahlsorten oberhalb von S460 $\eta = 1,0$. Im Allgemeinen ist das Schubbeulkriterium nur bei sehr hohen Trägern mit geringen Stegdicken von Bedeutung, welche selten für druckbeanspruchte Stützen eingesetzt werden.

Stützen unter reinem Druck bleiben querkraftfrei, wodurch das Schubbeulkriterium für diesen Fall nicht anzuwenden ist.

Tabelle 4 beinhaltet informativ die Auswertung des Kriteriums für das Schubbeulen. Geometrisch gesehen entspricht das Verhältnis h_w/t_w aus Tabelle 4 dem Verhältnis c/t für den Steg aus Tabelle 3.

Ein weiteres Kriterium für die Begrenzung der Schlankheit des Steges d_c/t_w ist in DIN EN 1993-1-8 [4] definiert. Für die Komponentenmethode wird bei der Grundkomponente 1 – Stützensteg mit Schubbeanspruchung – die Schlankheit des Steges auf $d_c/t_w \leq 69 \epsilon$ begrenzt, damit die Beulgefahr ausgeschlossen wird. Da dieses Kriterium aber weit über dem ungünstigsten Kriterium für die Klassifizierung des Steges unter Druckbeanspruchung liegt, ist es hier nicht maßgebend.

Tabelle 3: Maximale c/t -Verhältnisse der druckbeanspruchten Querschnittsteile

QKL	Beidseitig gestützte Querschnittsteile (Steg)		Einseitig gestützte Querschnittsteile (Flansche)
	Reiner Druck	Reine Biegung	Reiner Druck
1	$c/t \leq 33\epsilon$	$c/t \leq 72\epsilon$	$c/t \leq 9\epsilon$
2	$c/t \leq 38\epsilon$	$c/t \leq 83\epsilon$	$c/t \leq 10\epsilon$
3	$c/t \leq 42\epsilon$	$c/t \leq 124\epsilon$	$c/t \leq 14\epsilon$
4	$c/t > 42\epsilon$	$c/t > 124\epsilon$	$c/t > 14\epsilon$

Tabelle 4: Bezogene Streckgrenze ϵ und Kriterium für das Schubbeulen in Abhängigkeit von der Stahlgüte

	f_y [N/mm ²]				
	235	275	355	420	460
$\epsilon = \sqrt{235/f_y}$	1	0,92	0,81	0,75	0,71
$72 \epsilon / \eta = 60 \epsilon$	60	55,2	48,6	45	42,5

Für die in dieser Publikation betrachteten **Profile: HEA100 bis HEA1000; HEB100 bis HEB1000; HEM100 bis HEM1000 und HD260x54,1 bis HD400x1299** sind in Tabelle 5 die Klassifizierungen der Querschnittsteile angegeben. Berücksichtigt werden sowohl für den Steg als auch für die Flansche nur reiner Druck,

da dies für die Bemessungstabellen maßgebend ist. Die resultierende und für die Bemessung maßgebende Klassifizierung des gesamten Querschnitts ist der Tabelle 6 zu entnehmen. Die Klassifizierungen erfolgen für die **Stahlgüten S355 und S460M**.

Tabelle 5: Klassifizierung der Querschnittsteile für Profilreihe HEA, HEB, HEM und HD in Stahlgüte S355

Stahlgüte	QKL	Beidseitig gestützte Querschnittsteile (Steg)		Einseitig gestützte Querschnittsteile (Flansche)	
			Profile		Profile
S355 ($\varepsilon = 0,81$)	1	$c/t \leq 33 \quad \varepsilon = 26,73$	HEA100 – HEA360 HEB100 – HEB450 HEM100 – HEM650 HD260x68,2 – HD260x299 HD320x97,6 – HD320x300 HD360x134 – HD360x196 HD400x187 – HD400x1299	$c/t \leq 9 \quad \varepsilon = 7,29$	HEA100 - HEA160 HEA340 – HEA1000 HEB100 – HEB1000 HEM100 – HEM1000 HD260x93 – HD260x299 HD320x127 – HD320x300 HD360x179 – HD360x196 HD400x187 – HD400x1299
	2	$c/t \leq 38 \quad \varepsilon = 30,78$	HEA400 – HEA450 HEB500 – HEB550 HEM700 HD260x54,1 HD320x74,2	$c/t \leq 10 \quad \varepsilon = 8,1$	HEA180 – HEA240 HEA320 HD320x97,6 HD360x162
	3	$c/t \leq 42 \quad \varepsilon = 34,02$	HEA500 HEB600 – HEB650 HEM800	$c/t \leq 14 \quad \varepsilon = 11,34$	HEA260 – HEA300 HD260x54,1 – HD260x68,2 HD320x74,2 HD360x134 – HD360x147
	4	$c/t > 42 \quad \varepsilon = 34,02$	HEA550 – HEA1000 HEB700 – HEB1000 HEM900 – HEM1000	$c/t > 14 \quad \varepsilon = 11,34$	

Tabelle 5 (Fortsetzung): Klassifizierung der Querschnittsteile für Profilreihe HEA, HEB, HEM und HD in Stahlgüte S460M

Stahlgüte	QKL	Beidseitig gestützte Querschnittsteile (Steg)		Einseitig gestützte Querschnittsteile (Flansche)	
			Profile		Profile
S460M ($\varepsilon = 0,71$)	1	$c/t \leq 33 \quad \varepsilon = 23,43$	HEA100 – HEA240 HEB100 – HEB400 HEM100 – HEM600 HD260x93 – HD260x299 HD320x127 – HD320x300 HD360x162 – HD360x196 HD400x187 – HD400x1299	$c/t \leq 9 \quad \varepsilon = 6,39$	HEA100 – HEA120 HEA400 – HEA1000 HEB100 – HEB1000 HEM100 – HEM1000 HD260x93 – HD260x299 HD320x127 – HD320x300 HD360x196 HD400x216 – HD400x1299
	2	$c/t \leq 38 \quad \varepsilon = 26,98$	HEA260 – HEA400 HEB450 – HEB500 HEM650 HD260x68,2 HD320x97,6 HD360x134 – HD360x147	$c/t \leq 10 \quad \varepsilon = 7,1$	HEA140 – HEA160 HEA360 HD360x179
	3	$c/t \leq 42 \quad \varepsilon = 29,82$	HEA450 HEB550 HEM700 HD260x54,1 HD320x74,2	$c/t \leq 14 \quad \varepsilon = 9,94$	HEA180 – HEA340 HD260x68,2 HD320x97,6 HD360x134 – HD360x162 HD400x187
	4	$c/t > 42 \quad \varepsilon = 29,82$	HEA500 – HEA1000 HEB600 – HEB1000 HEM800 – HEM1000	$c/t > 14 \quad \varepsilon = 9,94$	HD260x54,1 HD320x74,2

Tabelle 6: Klassifizierung des gesamten Querschnitts für Profilverihe HEA, HEB, HEM und HD in Stahlgüte S355 und S460M

Profil	Stahlgüte		Profil	Stahlgüte		Profil	Stahlgüte	
	S355	S460M		S355	S460M		S355	S460M
HEA100	1	1	HEB100	1	1	HEM100	1	1
HEA120	1	1	HEB120	1	1	HEM120	1	1
HEA140	1	2	HEB140	1	1	HEM140	1	1
HEA160	1	2	HEB160	1	1	HEM160	1	1
HEA180	2	3	HEB180	1	1	HEM180	1	1
HEA200	2	3	HEB200	1	1	HEM200	1	1
HEA220	2	3	HEB220	1	1	HEM220	1	1
HEA240	2	3	HEB240	1	1	HEM240	1	1
HEA260	3	3	HEB260	1	1	HEM260	1	1
HEA280	3	3	HEB280	1	1	HEM280	1	1
HEA300	3	3	HEB300	1	1	HEM300	1	1
HEA320	2	3	HEB320	1	1	HEM320	1	1
HEA340	1	3	HEB340	1	1	HEM340	1	1
HEA360	1	2	HEB360	1	1	HEM360	1	1
HEA400	2	2	HEB400	1	1	HEM400	1	1
HEA450	2	3	HEB450	1	2	HEM450	1	1
HEA500	3	4	HEB500	2	2	HEM500	1	1
HEA550	4	4	HEB550	2	3	HEM550	1	1
HEA600	4	4	HEB600	3	4	HEM600	1	1
HEA650	4	4	HEB650	3	4	HEM650	1	2
HEA700	4	4	HEB700	4	4	HEM700	2	3
HEA800	4	4	HEB800	4	4	HEM800	3	4
HEA900	4	4	HEB900	4	4	HEM900	4	4
HEA1000	4	4	HEB1000	4	4	HEM1000	4	4
Profil	Stahlgüte		Profil	Stahlgüte				
	S355	S460M		S355	S460M			
HD260x54.1	3	4	HD400x187	1	3			
HD260x68.2	3	3	HD400x216	1	1			
HD260x93.0	1	1	HD400x237	1	1			
HD260x114	1	1	HD400x262	1	1			
HD260x142	1	1	HD400x287	1	1			
HD260x172	1	1	HD400x314	1	1			
HD260x225	1	1	HD400x347	1	1			
HD260x299	1	1	HD400x382	1	1			
			HD400x421	1	1			
HD320x74.2	3	4	HD400x463	1	1			
HD320x97.6	2	3	HD400x509	1	1			
HD320x127	1	1	HD400x551	1	1			
HD320x158	1	1	HD400x592	1	1			
HD320x198	1	1	HD400x634	1	1			
HD320x245	1	1	HD400x677	1	1			
HD320x300	1	1	HD400x744	1	1			
			HD400x818	1	1			
HD360x134	3	3	HD400x900	1	1			
HD360x147	3	3	HD400x990	1	1			
HD360x162	2	3	HD400x1086	1	1			
HD360x179	1	2	HD400x1202	1	1			
HD360x196	1	1	HD400x1299	1	1			

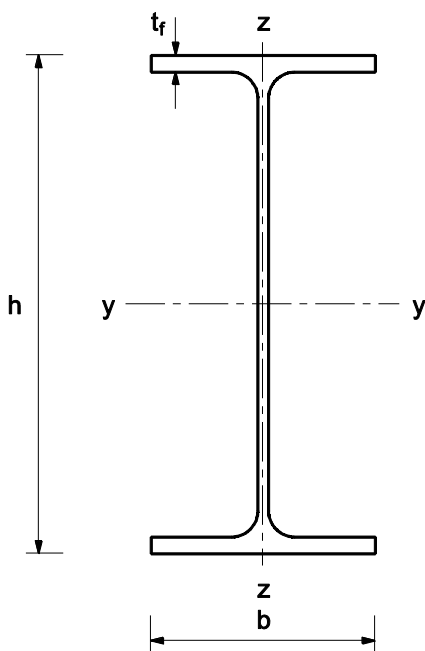
2.1.3 | Einstufung in die Knicklinie

Für den Nachweis gegen Biegeknicken wird der gewählte Querschnitt in eine der Knicklinien nach Tabelle 6.2 der DIN EN 1993-1-1 eingestuft werden, die auszugsweise für gewalzte doppelsymmetrische Querschnitte in der Tabelle 7 wiedergegeben ist.

Welche Knicklinie zu verwenden ist, hängt von Querschnittsgeometrie und Stahlgüte ab. Hintergrund ist der Einfluss von Imperfektionen, welche durch die Verwendung der relevanten Knicklinie bzw. des Imperfektionsbeiwerts α in die Bemessung eingehen. Es wird zwischen geometrischen und strukturellen Imperfektionen unterschieden. Hochfeste Stähle haben geringere auf die Streckgrenze bezogene Eigenspannungen und damit geringere strukturelle Imperfektionen und werden daher günstigeren Knicklinien zugeordnet.

Profile mit Abmessungsverhältnissen $h/b > 1,2$ und Blechdicken $t_f > 100$ mm, wie HD400x900 bis HD400x1299 werden für das Biegeknicken um die starke Achse für S355 in die Knicklinie b und um die schwache Achse in die Knicklinie c eingestuft. In S460M sind solche Profile für das Biegeknicken um die starke Achse in die Knicklinie a und um die schwache Achse in die Knicklinie b einzustufen. Diese Einstufung basiert auf den Ergebnissen eines Forschungsprojektes an der TU Eindhoven [23].

Tabelle 7: Einstufung in die Knicklinie



Begrenzungen		Ausweichen rechtwinklig zur Achse	Knicklinie	
			S 235	S 460
$h / b > 1,2$	$t_f \leq 40$ mm	y-y	a	a ₀
		z-z	b	a ₀
	$40 \text{ mm} \leq t_f \leq 100$ mm	y-y	b	a
		z-z	c	a
$h / b \leq 1,2$	$t_f \leq 100$ mm	y-y	b	a
		z-z	c	a
	$t_f > 100$ mm	y-y	d	c
		z-z	d	c

2.2 | Nachweis gleichförmiger Bauteile mit planmäßig zentrischem Druck – (BK-Biegeknicken) nach DIN EN 1993-1-1, Element 6.3.1

Der Nachweis ist erbracht, wenn der Bemessungswert der Einwirkung N_{Ed} den Bemessungswert der Biegeknickbeanspruchbarkeit $N_{b,Rd}$ nicht überschreitet.

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1,0 \quad \text{mit} \quad N_{b,Rd} = \frac{\chi A f_y}{\gamma_{M1}}$$

$N_{b,Rd}$ ist der Bemessungswert der Beanspruchbarkeit gegen Biegeknicken. Für QKL 1 bis QKL 3 wird dieser mit der Bruttoquerschnittsfläche A , für QKL 4 mit der nach DIN EN 1993-1-5 ermittelten effektiven Querschnittsfläche A_{eff} berechnet.

Dabei ist f_y die Streckgrenze und γ_{M1} der Teilsicherheitsbeiwert. Der empfohlene Teilsicherheitswert nach EN 1993-1-1 beträgt $\gamma_{M1} = 1,0$, dagegen gilt nach DIN EN 1993-1-1/NA [2] in Deutschland für alle Stabilitätsfälle $\gamma_{M1} = 1,1$.

Der Abminderungsfaktor χ für die maßgebende Biegeknickrichtung wird berechnet als:

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \lambda^2}} \quad \text{aber} \quad \chi \leq 1,0$$

wobei: $\phi = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2]$

α ist der Imperfektionsbeiwert für die maßgebende Knicklinie nach Tabelle 8.

Tabelle 8: Imperfektionsbeiwert α

Knicklinie	a_0	a	b	c	d
Imperfektionsbeiwert α	0,13	0,21	0,34	0,49	0,76

Der bezogene Schlankheitsgrad für Biegeknicken $\bar{\lambda}$ ist wie folgt zu berechnen:

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \frac{L_{cr}}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{I \cdot E}}$$

($A=A_{brutto}$ für QK1 bis QKL 3, $A=A_{eff}$ für QKL4)

wobei N_{cr} die ideale Verzweigungslast für die maßgebende Knickrichtung darstellt. Sie wird für das Biegeknicken für die vier Eulerfälle ermittelt als:

$$N_{cr} = \left(\frac{\pi}{\beta \cdot L} \right)^2 \cdot E \cdot I$$

Im Diagramm 5 ist der Abminderungsfaktor χ in Abhängigkeit vom Schlankheitsgrad $\bar{\lambda}$ aufgetragen. Ein Nachweis gegen Biegeknicken ist nicht erforderlich, wenn $\bar{\lambda} \leq 0,2$ oder $N_{ed} / N_{cr} \leq 0,04$.

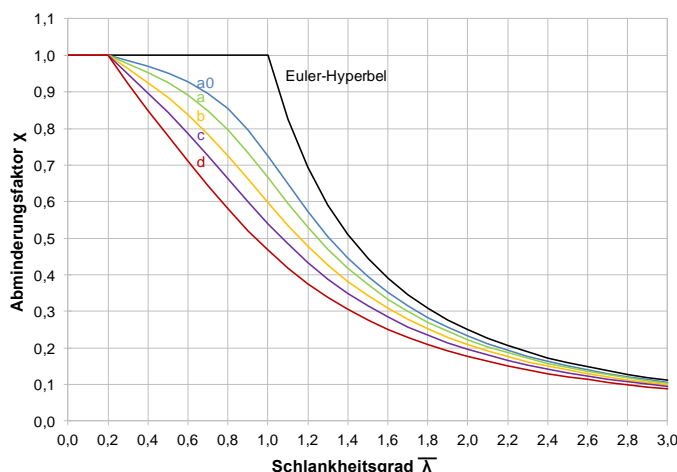


Diagramm 5: Abminderungsfaktor χ in Abhängigkeit vom Schlankheitsgrad $\bar{\lambda}$ nach DIN EN 1993-1-1 [1]

Auf diesem Bemessungskonzept basierend wurden Bemessungstabellen mit den Biegeknickbeanspruchbarkeiten erarbeitet (s. Kapitel A). Variiert werden dabei die Parameter Querschnitt (HEA, HEB, HEM und HD), Stahlgüte (S355 und S460M) sowie die Knicklängen (2,0 m bis 14,0 m). Die relevante Knicklänge $L_{cr} = \beta \cdot L$ zum Ablesen der Biegeknickbeanspruchbarkeit kann abhängig vom vorhandenen statischen System (Eulerfälle 1 bis 4) ermittelt werden (Bild 3). Bei der Erarbeitung der Bemessungstabellen wurden bei den Querschnittsklassen 1 bis 3 die volle Querschnittsfläche berücksichtigt. Für Querschnitte der Klasse 4 wurde die effektive Querschnittsfläche A_{eff} nach [3] berücksichtigt.

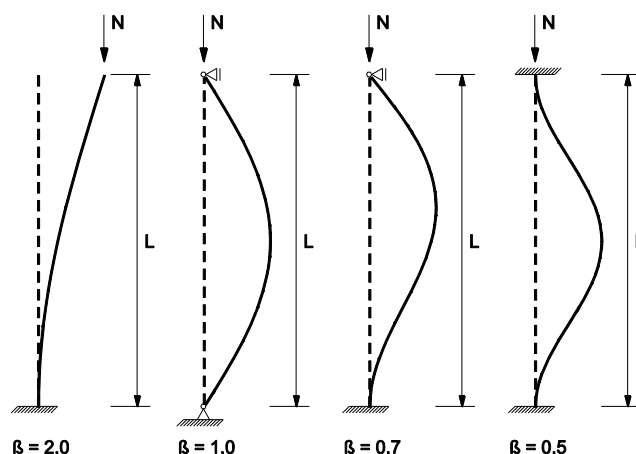


Bild 3: Eulerfälle 1 bis 4 mit Skizzierung der 1. Eigenform mit $L_{cr} = \beta L$

2.3 | Nachweis der gleichförmigen Bauteile mit Biegung um die Hauptachse (BDK - Biegedrillknicken) nach DIN EN 1993-1-1, Element 6.3.2

Da die Stützen öfter einer, wenn auch geringen, Biegebeanspruchung ausgesetzt sind, werden hier auch die Bemessungsprinzipien weiterer Stabilitätsnachweise angegeben.

Ein Biegedrillknicknachweis (BDK) infolge Biegebeanspruchung muss ggf. geführt werden, gefolgt von einem Interaktionsnachweis für Biegeknicken und Biegedrillknicken.

Der Nachweis gegen BDK ist erbracht wenn: $\frac{M_{Ed}}{M_{b,Rd}} \leq 1,0$

Bemessungswert der BDK-Beanspruchbarkeit $M_{b,Rd}$ wird berechnet als:

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} W_y \frac{f_y}{\gamma_{M1}}$$

wobei: $W_y = W_{pl,y}$ für QKL 1 und QKL2; $W_y = W_{el,y}$ für QKL 3, $W_y = W_{eff,y}$ für QKL 4

DIN EN 1993-1-1 [1] unterscheidet an dieser Stelle zwei Fälle: einen „Allgemeinen Fall“ für alle Querschnitte und einen „speziellen Fall“ für doppelsymmetrische gewalzte und gleichartige geschweißte Querschnitte.

2.3.1 | Allgemeiner Fall für das BDK nach DIN EN 1993-1-1, Element 6.3.2.2

Der Abminderungsfaktor für das Biegedrillknicken χ_{LT} im sogenannten „Allgemeinen Fall“ wird ermittelt als:

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}} \text{ jedoch } \chi_{LT} \leq 1,0$$

mit $\phi_{LT} = 0,5 \cdot [1 + \alpha_{LT}(\bar{\lambda}_{LT} - 0,2) + \bar{\lambda}_{LT}^2]$ und

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_y f_y}{M_{cr}}}$$

Dabei ist M_{cr} das ideale BDK-Moment, das anhand von Lösungen aus der Literatur oder mit Hilfe von Bemessungssoftware bestimmt werden kann.

Bei dem sogenannten „Allgemeinen Fall“ wird der Abminderungsfaktor χ_{LT} mit dem Imperfektionsbeiwert α_{LT} für das BDK bestimmt. Quantitativ sind die α_{LT} -Werte den α -Werten für das Biegeknicken nach Tabelle 8 identisch. Die Einstufung in die entsprechende Knicklinie erfolgt abhängig von der Herstellungsart des Profils (geschweißt/gewalzt) und dem geometrischen Verhältnis -Höhe zu Breite (h/b). Tabelle 9 beinhaltet die Einordnung der Profile nach diesen Kriterien.

Tabelle 9: Empfohlene Knicklinien für das BDK

Querschnitt	Grenzen	Knicklinien
gewalzt I-Profil	$h/b \leq 2$	a
	$h/b > 2$	b
geschweißtes I-Profil	$h/b \leq 2$	c
	$h/b > 2$	d
andere Querschnitte	-	d

2.3.2 | Spezieller Fall für das BDK - Gewalzte Querschnitte oder gleichartige geschweißte Querschnitte - nach DIN EN 1993-1-1, Element 6.3.2.3

Für den „speziellen Fall“, dass gewalzte oder gleichartige geschweißte Profile vorliegen, darf mit günstigeren Biegedrillknicklinien gerechnet werden. Zur Ermittlung des Abminderungsfaktors für das Biegedrillknicken χ_{LT} werden für diesen „speziellen Fall“ ein Plateauwert $\bar{\lambda}_{LT,0}$ und ein Faktor β verwendet.

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \beta \cdot \bar{\lambda}_{LT}^2}}$$

worin: $\phi_{LT} = 0,5 \cdot [1 + \alpha_{LT}(\bar{\lambda}_{LT} - \bar{\lambda}_{LT,0}) + \beta \cdot \bar{\lambda}_{LT}^2]$

Nach DIN EN 1993-1-1 [1] sind $\bar{\lambda}_{LT,0} = 0,4$ (Höchstwert) und $\beta = 0,75$ (Mindestwert) anzusetzen. Die Zuordnung der Profile zu den „Biegedrillknicklinien“ ist in der Tabelle 10 zusammengefasst.

Tabelle 10: Empfohlene Biegedrillknicklinien

Querschnitt	Grenzen	Biegedrillknicklinien
gewalztes I-Profil	$h/b \leq 2$	b
	$h/b > 2$	c
geschweißtes I-Profil	$h/b \leq 2$	c
	$h/b > 2$	d

Im Diagramm 6 sind die Knicklinien und Biegedrillknicklinien einander gegenübergestellt. Daraus wird ersichtlich, dass das Plateau mit $\chi_{LT} = 1$ bei den gewalzten oder gleichartigen geschweißten Profilen von 0,2 auf 0,4 verlängert wurde und die entsprechenden BDK-Linien für den „speziellen Fall“ im Vergleich zu den Knicklinien für den „Allgemeinen Fall“ deutlich angehoben sind. Für den „speziellen Fall“ entfällt der Nachweis gegen BDK bei Schlankheiten kleiner als 0,4, bei dem „Allgemeinen Fall“ bei Schlankheiten kleiner als 0,2. D.h. ein Nachweis gegen Biegedrillknicken für gewalzte oder gleichartige geschweißte Profile ist nicht erforderlich, wenn $\bar{\lambda}_{LT} \leq 0,4$ oder umgerechnet $M_{ed} / M_{cr} \leq 0,16$ gilt.

Um die belastungsabhängige Momentenverteilung zwischen den seitlichen Lagerungen zu berücksichtigen, darf der Abminderungsfaktor χ_{LT} wie folgt modifiziert werden:

$$\chi_{LT,mod} = \frac{\chi_{LT}}{f} \quad \text{jedoch} \quad \left\{ \begin{array}{l} \chi_{LT,mod} \leq 1 \\ \chi_{LT,mod} \leq \frac{1}{\bar{\lambda}_{LT}^2} \end{array} \right.$$

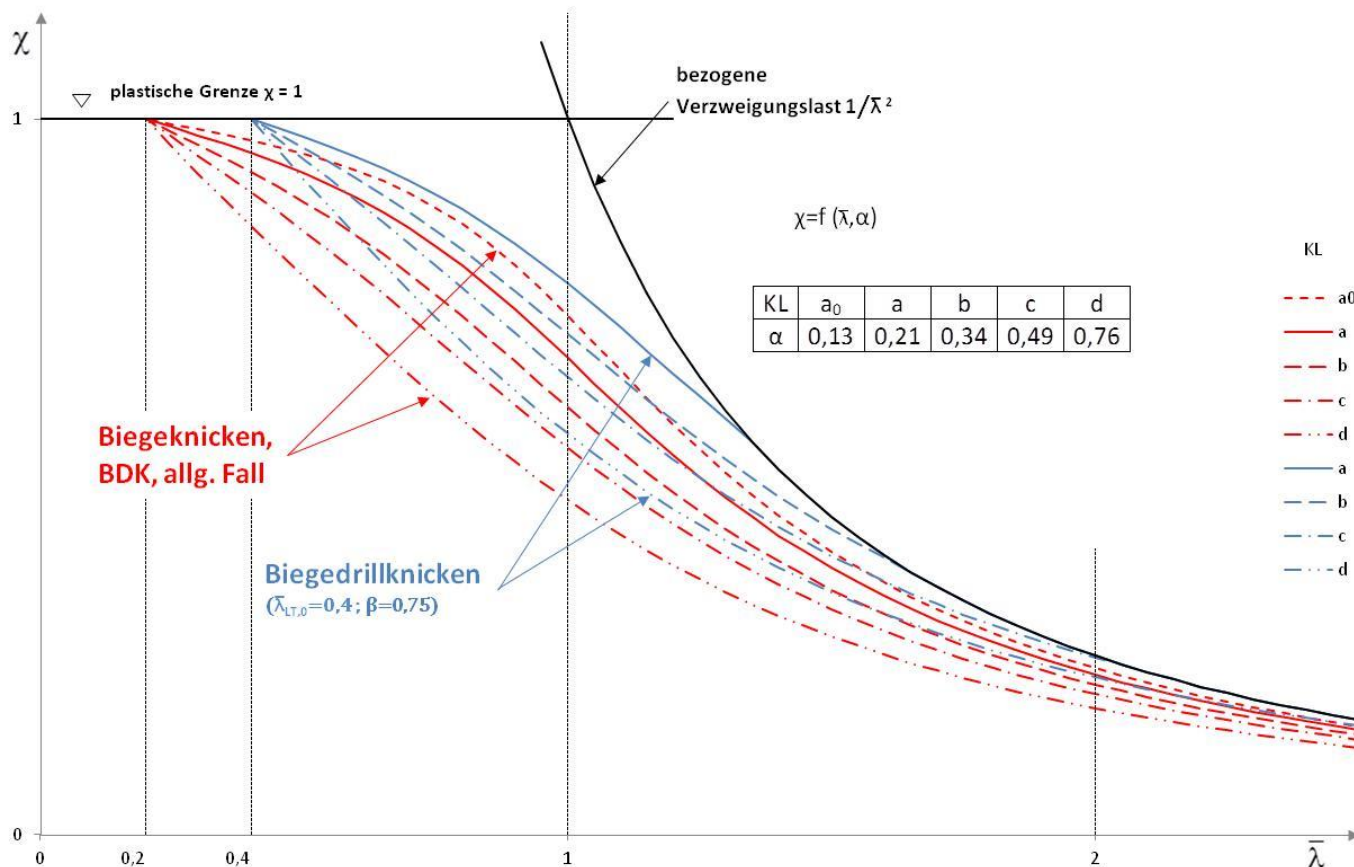


Diagramm 6: Knick- und Biegedrillknicklinien

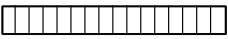
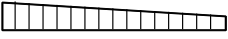


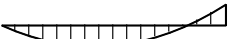
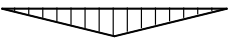


$$f = 1 - 0,5 \cdot (1 - k_c) \cdot [1 - 2,0 \cdot (\bar{\lambda}_{LT} - 0,8)^2] \leq 1,0$$

k_c ist ein Korrekturbeiwert nach Tabelle 11 oder darf berechnet werden als:

$$k_c = \sqrt{\frac{1}{C_1}}$$

C_1 entspricht exakt dem Momentenbeiwert ζ für Gabellagerung an den Stabenden nach DIN 18800, Teil 2, abhängig vom Momentverlauf.

Tabelle 11: Empfohlene Korrekturbeiwerte k_c nach [1]

Momentenverteilung	k_c
 $\psi = 1$	1
 $-1 \leq \psi \leq 1$	$\frac{1}{1,33 - 0,33 \cdot \psi}$
	0,940
	0,897
	0,910
	0,860
	0,763
	0,816

2.4 | Interaktionsnachweise für auf Biegung und Druck beanspruchte gleichförmige Bauteile nach DIN EN 1993-1-1, Element 6.3.3

Auf Druck und Biegung beanspruchte Bauteile müssen den Anforderungen der folgenden Interaktionsnachweise genügen:

$$\frac{\frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk}} + k_{yy} \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yz} \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{\gamma_{M1}}}{\gamma_{M1}} \leq 1$$

$$\frac{\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk}} + k_{zy} \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zz} \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{\gamma_{M1}}}{\gamma_{M1}} \leq 1$$

Mit diesen Nachweisen wird die gegenseitige Beeinflussung des Biegeknickens um beide Querschnittsachsen, des Biegedrillknickens infolge des Biegemomentes M_y und des Biegemomentes M_z berücksichtigt. Dabei werden für die Bestimmung der Interaktionsfaktoren k_{yy} , k_{yz} , k_{zy} und k_{zz} in [1] zwei Verfahren angeboten:

- Alternativverfahren 1 nach Anhang A
- Alternativverfahren 2 nach Anhang B

Die praktische Anwendung zeigt eine bessere Eignung des Verfahrens 1 für eine computer-gestützte Auswertung, dagegen des Verfahrens 2 für eine Handrechnung.

2.5 | Rechenbeispiel einer Stütze mit planmäßig zentrischem Druck - Biegeknicken nach DIN EN 1993-1-1, vgl. Tabelle A.1.1

Gegeben: Stütze HEA320 aus S355, beidseitig gelenkig gelagert mit einer Länge von 5 m ($\beta = 1,0$).

Gesucht: Biegeknickbeanspruchbarkeit um die y- und um die z-Achse

Schritt 1:

Bestimmung der QKL
HEA320 nach Tabelle 6 → QKL 2

Schritt 2:

Einstufung in die Knicklinie
 $h/b = 310/300 = 1,033 < 1,2$ und $t_f = 15,5 \text{ mm} < 100 \text{ mm}$ → für S355: Ausweichen rechtwinklig zur y-Achse = Knicklinie b, rechtwinklig zur z-Achse = Knicklinie c

Schritt 3:

Imperfektionsbeiwert α (vgl. Tabelle 8)
 $\alpha = 0,34$ für die y-Achse bzw.

$\alpha = 0,49$ für die z-Achse

Schritt 4:

Berechnung der Biegeknickbeanspruchbarkeit um die starke y-Achse:

$$N_{cr,y} = \left(\frac{\pi}{\beta \cdot L} \right)^2 \cdot E \cdot I_y = \left(\frac{3,14}{1 \cdot 500} \right)^2 \cdot 21000 \cdot 22929 \\ = 18990 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{124,4 \cdot 35,5}{18990}} = 0,482$$

$$\phi = 0,5 \cdot \left[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2 \right] \\ = 0,5 \cdot \left[1 + 0,34 \cdot (0,482 - 0,2) + 0,482^2 \right] \\ = 0,664$$

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{0,664 + \sqrt{0,664^2 - 0,482^2}} \\ = 0,892$$

$$N_{b,Rd,y} = \frac{\chi A f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,892 \cdot 124,4 \cdot 35,5}{1,1} = 3581 \text{ kN}$$

Schritt 5:

Berechnung der Biegeknickbeanspruchbarkeit um die schwache z-Achse:

$$N_{cr,z} = \left(\frac{\pi}{\beta \cdot L} \right)^2 \cdot E \cdot I_z = \left(\frac{3,14}{1 \cdot 500} \right)^2 \cdot 21000 \cdot 6985 \\ = 5785 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{124,4 \cdot 35,5}{5785}} = 0,874$$

$$\phi = 0,5 \cdot \left[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2 \right] \\ = 0,5 \cdot \left[1 + 0,49 \cdot (0,874 - 0,2) + 0,874^2 \right] \\ = 1,047$$

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{1,047 + \sqrt{1,047^2 - 0,874^2}} \\ = 0,616$$

$$N_{b,Rd,z} = \frac{\chi A f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,616 \cdot 124,4 \cdot 35,5}{1,1} = 2473 \text{ kN}$$

3 | Brandschutz

Der Brandschutz ist ein weiterer und wichtiger Aspekt für Gestaltung und Bemessung der Stützen im Geschossbau.

Stahl ist ein anorganischer Baustoff und wird ohne besonderen Nachweis als nichtbrennbar eingestuft. Allerdings nimmt die Tragfähigkeit der ungeschützten Stahltragwerke bei Erwärmung ab ca. 500° C maßgeblich ab. Durch entsprechende Brandschutzmaßnahmen wird es allerdings möglich, jede geforderte Feuerwiderstandsdauer, definiert durch s.g. Feuerwiderstandsklasse, zu erreichen. Dazu kann ein Brandschutzkonzept auf die Nutzung des Gebäudes abgestimmt werden.

Um die Stützen im Brandfall zu schützen und damit die geforderte Feuerwiderstandsdauer zu erreichen, gibt es verschiedene Brandschutzmaßnahmen:

- **Spritzputz-Bekleidungen** mit spritzrauh Oberfläch, vorwiegend anzuwenden bei untergeordneten Räumen mit geringen ästhetischen Anforderungen.
- **Beschichtung** - dämmschichtbildende Anstriche bei denen die Stahlkonstruktion sichtbar bleibt und die im Brandfall den schützenden Schaum entwickeln
- **Ummantelung** - Verkleidung des Stützenquerschnitts mit Platten, Matten oder mit Formteilen. Bei den Ummantelungen sind die Oberflächen glatt und bereits vorbereitet für die weitere Behandlung durch Anstriche. Die vorgefertigten Platten können geklebt, geklammert, geschraubt oder genagelt werden. Die Stöße und Fugen werden nach Zulassungen der Hersteller ausgeführt.
- **Heißbemessung** - Bemessung der ungeschützten Stahlstütze unter Temperatureinwirkung infolge des Brandes
- **Verbundquerschnitt mit Beton** - betongefüllte Hohlprofilstützen, betonummantelte I-Profilstützen, kammerbetonierte Stützen
- **Wasserkühlung** - durch Wasserfüllung, überwiegend bei Hohlprofilstützen, wird die übermäßige Erwärmung des Stahls verhindert

Einen Überblick zu den Möglichkeiten für den Brandschutz von Stahlstützen, ihren Randbedingungen und Ausführungen kann [20] entnommen werden.

3.1 | Berechnungsgrundlagen

Der erforderliche Feuerwiderstand von Bauteilen – ausgedrückt durch die Klassierungen R30/R60/R90 usw. – wird in den Landesbauordnungen bzw. Sonderbauverordnungen festgelegt. Berücksichtigt werden dabei i.d.R. die Stockwerkzahl, die Personenbelegung und die Nutzung in Verbindung mit den vorhandenen Brandlasten. Die Maßnahmen des anlagentechnischen Brandschutzes, wie Brandmeldeanlagen, Feuerlöschanlagen (z.B. Sprinkler) und/oder Rauch- und Wärmeabzugsanlagen, wirken auf die Festlegung der Feuerwiderstandsklasse begünstigend.

Die Feuerwiderstandsklassierung von Bauteilen erfolgt mittels genormter Brandversuche oder anhand einer Tragwerksbemessung für den Brandfall. Im Rahmen dieser Publikation werden rechnerische Nachweisverfahren für innen liegende, ungeschützte bzw. durch Brandschutzmaterialien geschützte Geschossstützen aus warmgewalztem Baustahl auf der Grundlage der einfachen Bemessungsverfahren nach DIN EN 1993-1-2:2010-12, Kapitel 4.2 [5] beschrieben, in Nomogrammen ausgewertet [21] und mit Beispielen belegt.

3.1.1 | Tragfähigkeit im Brandfall

Der Zeitpunkt, an dem Bauteile aus Stahl im Brandfall versagen können, ist abhängig von

- **der kritischen Temperatur $\theta_{a,cr}$:** Die Eigenschaften von Baustahl sind temperaturabhängig (vgl. Diagramm 7). Bei Erreichen der kritischen Temperatur entspricht der Tragwiderstand gerade noch den Einwirkungen für die außergewöhnliche Bemessungssituation nach DIN EN 1990:2010-12 [6]. Es besteht dann die Gefahr des Versagens. Die kritische Temperatur wird bestimmt durch den Ausnutzungsgrad im Brandfall μ_0 :

$$\mu_0 = E_{fi,d} / R_{fi,d,0}$$

$E_{fi,d}$: Bemessungswert der Beanspruchung im Brandfall nach DIN EN 1991-1-2:2010-12 [7]

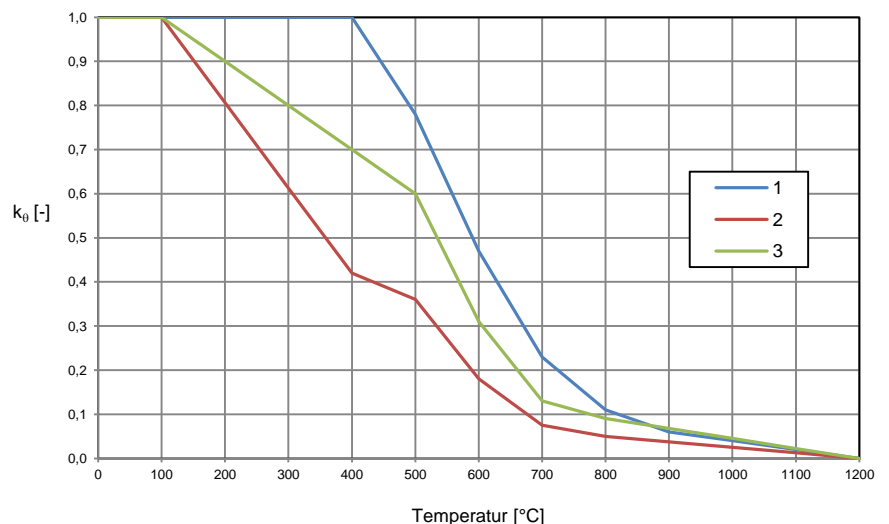
$R_{fi,d,0}$: Bemessungswert der Beanspruchbarkeit des Stahlbauteils zum Zeitpunkt $t = 0$ (d.h. bei Raumtemperatur) mit dem Teilsicherheitsbeiwert für außergewöhnliche Bemessungssituationen $\gamma_{M,0} = \gamma_{M,fi} = 1,0$.

- **der Entwicklung der Stahltemperatur**, für die folgende Parameter von Bedeutung sind:
 - Profilmfaktor $P = A_m/V$, der sich als Verhältnis der brandbeanspruchten Oberfläche zum Volumen eines Stahlprofils ergibt. Die Berechnung des Profilmfaktors ist in Kapitel 3.2.2 dargestellt.
 - Dicke der Brandschutzplatten d_p und
 - thermische Eigenschaften von i.d.R. vorhandener Brandschutzverkleidung:
 - ◆ Dichte ρ_p [kg/m³]
 - ◆ Wärmeleitfähigkeit λ_p [W/(m·K)]
 - ◆ Wärmekapazität c_p [J/(kg·K)]

In Kapitel 3.1.3 werden thermische Eigenschaften für verschiedene Brandschutzmaterialien angegeben.

Diagramm 7: Temperaturbedingte Abminderungsfaktoren für:

- 1 - die effektive Fließgrenze $k_{y,\theta} = f_{y,\theta} / f_y$
- 2 - die Proportionalitätsgrenze $k_{p,\theta} = f_{p,\theta} / f_y$
- 3 - den Elastizitätsmodul $k_{E,\theta} = E_{a,\theta} / E_a$



3.1.2 | Randbedingungen

Geschosstützen mit planmäßig zentrischem Druck im Brandfall werden nach dem Berechnungsverfahren nach DIN EN 1993-1-2:2010-12 [5] berechnet. Stützen, die biegedrillknickgefährdet sind oder planmäßig auf Druck und Biegung beansprucht werden, sind ausgeschlossen. Das Nachweisverfahren ist für folgende Randbedingungen anwendbar:

- **Baustahlorten** nach DIN EN 10025 (alle Teile)
- **Profile** der Querschnittsklassen (QKL) 1, 2 und 3 (mit $A_m/V > 10 \text{ m}^{-1}$) nach [1]; für QKL 4 vgl. Kapitel 3.2.3
- einen **Temperaturanstieg** im Brandraum entsprechend der Einheitstemperaturzeitkurve (ETK) nach ISO 834-1 [Informativ]
- **mechanische Einwirkungen**, die während der gesamten Branddauer konstant sind. Die Einflüsse thermischer Dehnungen in Bauteillängsachse werden vernachlässigt.
- eine **gleichmäßige Temperaturverteilung** im Bauteil.
- eine **Klassifizierung der Querschnitte** wie unter Normaltemperaturen, jedoch mit einem reduzierten Wert ε

$$\varepsilon = 0,85 \cdot \sqrt{235/f_y}$$
 und f_y = Streckgrenze bei 20°C

- eine **vereinfachte Bestimmung der Beanspruchungen im Brandfall** $E_{fi,d}$ nach [5], Element 2.4.2(2) aus den Beanspruchungen bei Raumtemperatur E_d : $E_{fi,d} = \eta_{fi} \cdot E_d$ mit dem Abminderungsfaktor η_{fi} nach Diagramm 8 aus Element 2.4.2 (3) [5] oder nach Tabelle 12 aus [21].

Tabelle 12: Abminderungsfaktoren η_{fi} für Vertikallasten im Brandfall in Abhängigkeit vom Verhältnis $Q_{k,1}/G_k$

Kategorie	Q_k kN/m ²	$Q_{k,i}/G_k$ $\psi_{2,i}$	η_{fi}		
			0,5	1,0	2,0
A: Wohngebäude	2,00	0,3	0,55	0,46	0,37
B: Bürogebäude	3,00	0,3	0,55	0,46	0,37
C: Versammlungsbereiche	5,00	0,6	0,62	0,56	0,51
D: Verkaufsflächen	5,00	0,6	0,62	0,56	0,51
E: Lagerflächen	7,50	0,8	0,67	0,63	0,60
F: Fahrzeuge < 30 kN	2,50	0,6	0,62	0,56	0,51
G: Fahrzeuge 30 – 160 kN	5,00	0,3	0,55	0,46	0,37
H: Dächer	0,75	0,0	0,48	0,35	0,23

Als Vereinfachung darf $\eta_{fi} = 0,7$ für Einwirkungen der Kategorie E und $\eta_{fi} = 0,65$ in allen anderen Fällen angenommen werden.

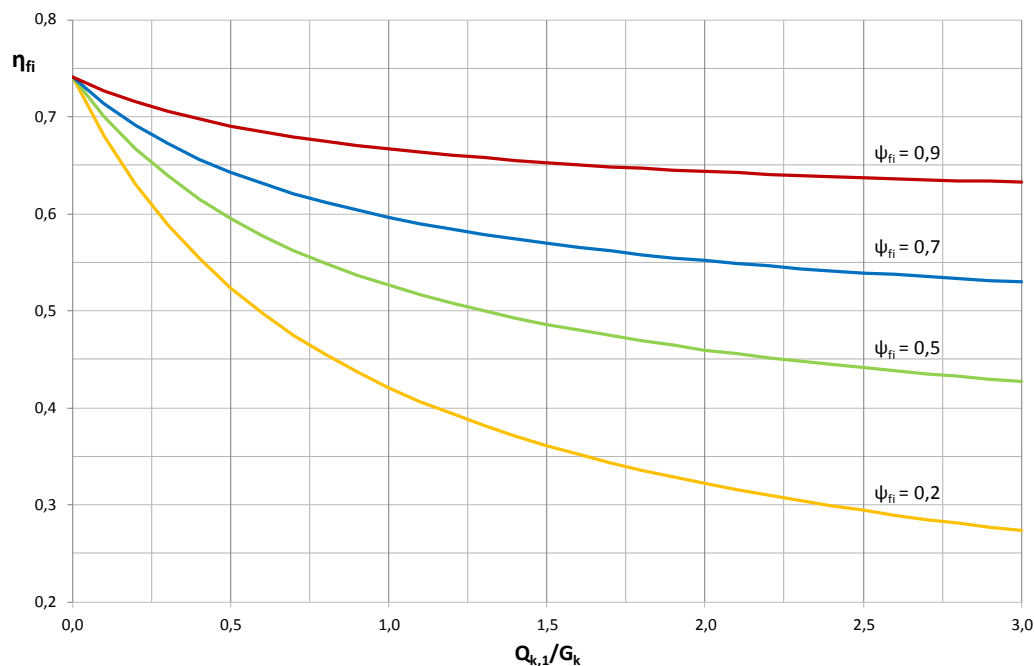


Diagramm 8 : nach Element 2.4.2(3) in [5]

3.1.3 | Brandschutzmaterialien

Die Eigenschaften von Brandschutzmaterialien (vgl. Tabelle 13), die im Berechnungsverfahren angesetzt werden, sind i.d.R. mit den entsprechenden Prüfverfahren nach CEN/TS 13381-1, ENV 13381-2 und -4 [Informativ] zu bestimmen.

In diesen Normen ist die Anforderung enthalten, dass das Brandschutzmaterial während der maßgebenden Brandbeanspruchung zusammenhalten muss und sich nicht vom Bauteil ablösen darf.

Tabelle 13: thermische Eigenschaften von Verkleidungen

Material der Brandschutzverkleidung	ρ_p [kg/m ³]	λ_p W/(m·K)	c_p [J/(kg·K)]
Spritzputze			
- Mineralfaser	300	0,12	1200
- Vermiculite oder Perlite	350	0,12	1200
Spezialputze			
- Vermiculite/Perlite + Zement	550	0,12	1100
- Vermiculite/Perlite + Gips	650	0,12	1100
Platten			
- Vermiculite/Perlite + Zement	800	0,20	1200
- Faser-Silikat oder Faser-Calcium-Silikate	600	0,15	1200
- Faser-Zement	800	0,15	1200
- Gipskarton	800	0,20	1700
Matten			
- Mineral- oder Steinwolle	150	0,20	1200
Dämmschichtbildner	0	≤ 0,012	0

3.2 | Berechnungsverfahren

3.2.1 | Kritische Temperatur

Die kritische Temperatur von warmgewalztem Baustahl $\theta_{a,cr}$ zum Zeitpunkt t in Abhängigkeit vom Ausnutzungsgrad μ_0 wird mit der Funktion (4.22) nach DIN EN 1993-1-2, Element 4.2.4 [5] ermittelt. Diese Funktion ist in den Nomogrammen B.2 und B.3, abhängig von dem Schlankheitsgrad der Stütze für die Stahlgüten S355 und S460M ausgewertet.

Der Nachweis druckbeanspruchter Stützen im Brandfall wird mit Hilfe von Nomogrammen mit folgenden Schritten durchgeführt:

Schritt 1:

Berechnung des Ausnutzungsgrades μ_0

$$\mu_0 = |N_{fi,Ed}| / (f_y \cdot A)$$

Schritt 2:

Berechnung des bezogenen Schlankheitsgrades zum Zeitpunkt $t = 0$:

$$\bar{\lambda}_{\theta,0} = \frac{\beta_{fi}}{\beta} \cdot \bar{\lambda} = \beta_{fi} \cdot \frac{L}{i_{min} \cdot \pi} \cdot \sqrt{\frac{f_y}{E_a}}$$

β_{fi}	Knicklängenbeiwert nach [5] Element 4.2.3.2 (4)
0,5	für Stützen in einem innenliegenden Stockwerk
0,7	für Stützen im obersten Stockwerk
β	in allen anderen Fällen wie für Raumtemperatur

Schritt 3:

Ablesen der kritischen Temperatur aus den Nomogrammen B.2 und B.3 in Abhängigkeit von der Stahlgüte des Bauteils.

3.2.2 | Feuerwiderstandsdauer

Im Brandfall kann der Temperaturanstieg $\Delta\theta_{a,t}$ in einem Stahlbauteil während des Zeitintervalls Δt berechnet werden. Dessen Berechnung erfolgt nach DIN EN 1993-1-2, Element 4.2.5.1 [5] für ungeschützte und nach Element 4.2.5.2 für geschützte innen liegende Stahlbauteile. Wesentlicher Einflussfaktor für die Erwärmung ist der Profilkfaktor P , der als Verhältnis von brandbeanspruchter Oberfläche zum Volumen des Stahlbauteils definiert ist. Je größer dieser Faktor ist, desto schneller erwärmt sich das Bauteil.

Die Feuerwiderstandsdauer eines Bauteils wird anhand von weiteren Schritten aus dem Nomogramm B.1 abgelesen.

Schritt 4:

Berechnung des Profilkoeffizienten P

$$P = A_m/V$$

mit A_m als dem der Brandeinwirkung ausgesetzten Umfang und V als Querschnittsfläche. Für ungeschützte und kastenförmig verkleidete H-Profile kann als A_m die Kontur des den Querschnitt umschreibenden Rechtecks angenommen werden (vgl. Tabelle 14). Für profilfolgende Verkleidungen konstanter Dicke ist P als Quotient aus Querschnittsumfang und Querschnittsfläche zu berechnen.

Schritt 5:

Korrektur des Profilkoeffizienten P bei ungeschützten Bauteilen

Für ungeschützte Bauteile mit I- oder H-Querschnitt muss der Profilkoeffizient, wie in der Tabelle 14 angegeben, mit dem Wert 0,9 multipliziert werden.

In den Tabellen 15 sind bereits ermittelte Profilkoeffizienten für die profilfolgend bzw. kastenförmig geschützten, drei- und vierseitig beflammbaren Profile der Reihe HEA, HEB, HEM und HD zusammengefasst.

Tabelle 15: Profilkoeffizienten für Profile der Reihen HEA, HEB, HEM und HD

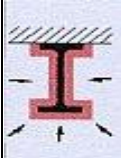



HEA..				
100	217	264	138	185
120	220	267	137	185
140	208	253	129	174
160	192	234	120	161
180	187	226	115	155
200	174	211	108	145
220	161	195	99	134
240	147	178	91	122
260	141	171	88	117
280	136	165	84	113
300	126	153	78	105
320	117	141	74	98
340	112	134	72	94
360	107	128	70	91
400	101	120	68	87
450	96	113	66	83
500	92	107	65	80
550	90	104	65	79
600	89	102	65	79
650	87	100	65	78
700	85	96	64	76
800	84	94	66	76
900	81	90	65	74
1000	81	89	66	74

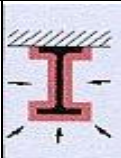



Tabelle 14 : Beispiele für die Berechnung von Profilkoeffizienten

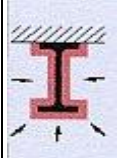
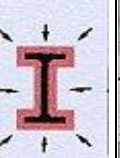
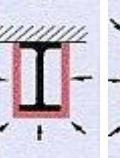

ungeschützte, vierseitig erwärmte I- und H-Profile	kastenförmig verkleidete, vierseitig erwärmte I- und H-Profile ¹⁾	vierseitig erwärmte I- und H-Profile mit profilfolgender Verkleidung
$P = 0,9 \cdot (2b + 2h)/A_a$	$P = (2b + 2h)/A_a$	$P = U/A_a$
ungeschützte, dreiseitig erwärmte I- und H-Profile	kastenförmig verkleidete, dreiseitig erwärmte I- und H-Profile ¹⁾	dreiseitig erwärmte I- und H-Profile mit profilfolgender Verkleidung
$P = 0,9 \cdot (b + 2h)/A_a$	$P = (b + 2h)/A_a$	$P = (U - b)/A_a$

¹⁾ Die Luftspalten c_1 und c_2 sollten $h/4$ nicht überschreiten.

Tabelle 15 (Fortsetzung): Profilkoeffizienten für Profile der Reihen HEA, HEB, HEM und HD

HEB..				
100	180	218	115	154
120	167	202	106	141
140	155	187	98	130
160	140	169	88	118
180	131	159	83	110
200	122	147	77	102
220	115	140	72	97
240	108	131	68	91
260	105	127	66	88
280	102	123	64	85
300	96	116	60	80
320	91	110	58	77
340	88	106	57	75
360	86	102	56	73
400	82	97	56	71
450	79	93	55	69
500	76	89	54	67
550	76	88	55	67
600	75	86	56	67
650	74	85	56	66
700	72	82	55	65
800	72	81	57	66
900	70	78	57	65
1000	70	78	57	65

HEM..				
100	96	116	65	85
120	92	111	61	80
140	88	106	58	76
160	83	100	54	71
180	80	96	52	68
200	76	92	49	65
220	73	88	47	62
240	61	73	39	52
260	59	72	39	51
280	59	71	38	50
300	50	60	33	43
320	50	60	33	43
340	50	60	34	43
360	51	61	34	44
400	52	62	36	45
450	53	62	38	47
500	55	63	39	48
550	56	64	41	50
600	57	65	42	51
650	58	66	44	52
700	59	67	45	53
800	60	68	48	55
900	70	78	57	65
1000	64	70	52	59

HD..				
HD 260 x 54,1	176	214	108	146
HD 260 x 68,2	141	171	88	117
HD 260 x 93	105	127	66	88
HD 260 x 114	86	104	55	73
HD 260 x 142	71	86	46	60
HD 260 x 172	59	72	39	51
HD 320 x 74,2	152	184	95	127
HD 320 x 97,6	117	141	74	98
HD 320 x 127	91	110	58	77
HD 320 x 158	74	89	48	63
HD 320 x 198	60	72	39	51
HD 320 x 245	50	60	33	43
HD 320 x 300	42	50	28	36
HD 360 x 134	104	125	63	85
HD 360 x 147	95	114	58	78
HD 360 x 162	87	105	53	71
HD 360 x 179	79	95	49	65
HD 360 x 196	72	87	45	60
HD 400 x 187	78	94	47	64
HD 400 x 216	68	82	42	56
HD 400 x 237	63	76	38	52
HD 400 x 262	57	69	35	47
HD 400 x 287	52	63	32	43
HD 400 x 314	48	58	30	40
HD 400 x 347	44	53	28	37
HD 400 x 382	40	49	25	34
HD 400 x 421	37	45	23	31
HD 400 x 463	34	41	22	29
HD 400 x 509	31	38	20	27
HD 400 x 551	29	35	19	25
HD 400 x 592	28	33	18	23
HD 400 x 634	26	31	17	22
HD 400 x 677	25	30	16	21
HD 400 x 744	23	27	15	20
HD 400 x 818	21	25	14	18
HD 400 x 900	19	23	13	17
HD 400 x 990	18	22	12	16
HD 400 x 1086	17	20	11	15
HD 400 x 1202	15	18	11	14
HD 400 x 1299	15	17	10	13

Für verkleidete Bauteile ist die Erwärmung mit einem thermischen Profilmfaktor TP zu berechnen:

$$TP = \frac{A_p}{V} \cdot \frac{\lambda_p}{d_p} \cdot \frac{1}{1 + \phi/3} \quad \text{und} \quad \phi = \frac{\rho_p \cdot c_p}{\rho_a \cdot c_a} \cdot d_p \cdot \frac{A_p}{V}$$

mit A_p als der inneren Abwicklung der Brandschutzverkleidung (vgl. Tabelle 14).

Der Parameter ϕ erfasst die Trägheit des Brandschutzsystems, ρ_a ist die Dichte und c_a die Wärmekapazität von Baustahl, die konstant als 7850 kg/m^3 und $600 \text{ J/(kg}\cdot\text{K)}$ angesetzt werden. Vereinfachend kann ϕ auch vernachlässigt werden, d.h. zu 0 angenommen werden. Die Zeit-Temperatur-Kurven für verkleidete Bauteile in Nomogramm B.1 wurden ohne Ansatz der thermischen Trägheit ϕ ermittelt.

Schritt 6:

Ablesen der Feuerwiderstandsdauer (Zeit) aus dem Zeit-Temperatur-Nomogramm B.1, sowohl für ein geschütztes als auch für ein ungeschütztes Bauteil.

3.2.3 | Bauteile mit Querschnitten der Klasse 4

Nach der DIN EN 1993-1-2, Element 4.2.3.6 [5] gilt der Nachweis der Bauteile der QKL 4 als erbracht, solange die Stahltemperatur θ_a die empfohlene kritische Temperatur θ_{crit} von 350°C nicht übersteigt. Für den Rechengang unter Verwendung der Nomogramme folgt daraus, dass aus Nomogramm B.1 für $\theta_{crit} = 350^\circ\text{C}$ und die geforderte Feuerwiderstandsdauer der erforderliche thermische Profilmfaktor abzulesen ist, um daraus die Dicke einer entsprechenden Brandschutzverkleidung zu ermitteln.

3.3 | Rechenbeispiele

3.3.1 | Beispiel 1 - Geschützte Geschosstütze

Gegeben: durchlaufende Stütze HEB200 aus S355 in einem Bürogebäude. Über der Stütze befinden sich 5 Geschosse und es wird ein innen liegendes Geschoss mit einer Höhe von 3 m untersucht. Die Brandschutzverkleidung bilden 20 mm kastenförmig angebrachte Gipskartonplatten.

Gesucht: Feuerwiderstandsdauer

Schritt 1: Ausnutzungsgrad

Annahme: die Stütze trägt $5 \cdot 2 = 10$ Träger mit einer Gesamtlast im Brandfall von

$$N_{fi,ED} = 500 \text{ kN}$$

Klassifizierung des Querschnittes im Brandfall:

$$\varepsilon = 0,85 \cdot \sqrt{235/f_y} = 0,69 \quad \rightarrow \text{Begrenzung für QKL1} \\ c/t \leq 22,77$$

Bei HEB200: vorh. $c/t = 14,9 \leq 22,77 \rightarrow$ Querschnitt in QKL 1!

Der Ausnutzungsgrad beträgt

$$\mu_0 = \frac{500}{78,08 \cdot 35,5} = 0,18$$

Schritt 2: bezogener Schlankheitsgrad für $t = 0$

Der Knicklängenbeiwert für den Brandfall ist $\beta_{fi} = 0,5$ (innen liegendes Stockwerk).

$$\bar{\lambda}_{\theta,0} = \beta_{fi} \cdot \frac{L}{i_{min} \cdot \pi} \cdot \sqrt{\frac{f_y}{E_a}} \\ = 0,5 \cdot \frac{300}{5,065 \cdot 3,14} \sqrt{\frac{355}{210000}} \\ = 0,388$$

Schritt 3: aus Nomogramm B.2 folgt ca. $\theta_{a,cr} = 690^\circ\text{C}$

Schritt 4: Berechnung des Profilmfaktors nach Tabelle 14 oder Ablesen aus Tabellen 15

$$P = \frac{2b + 2h}{A_a} = \frac{2 \cdot 20 + 2 \cdot 20}{78,08} = 1,024 \text{ cm}^{-1} \\ = 102 \text{ m}^{-1}$$

Schritt 5: Korrektur des Profilmfaktors

$$\phi = \frac{\rho_p \cdot c_p}{\rho_a \cdot c_a} \cdot d_p \cdot \frac{A_p}{V} = \frac{800 \cdot 1700}{7850 \cdot 600} \cdot 0,02 \cdot 102 \\ = 0,59$$

$$TP = \frac{A_p}{V} \cdot \frac{\lambda_p}{d_p} \cdot \frac{1}{1 + \phi/3} = \frac{102 \cdot 0,2}{0,02 \cdot (1 + \frac{0,59}{3})} \\ = 852 \frac{\text{W}}{\text{m}^3 \cdot \text{K}}$$

Schritt 6: Feuerwiderstandsdauer

Aus Nomogramm B.1 wird abgelesen $t > 120$ Minuten. Damit erfüllt die Stütze die Klassierung R 90!

3.3.2 | Beispiel 2 - Ungeschützte Geschosstütze

Gegeben: Dachgeschossstütze HEA200 aus S355 in dem bereits betrachteten Bürogebäude. Die Stütze erhält keine Brandschutzverkleidung. Zur Vereinfachung werden die gleichen Einwirkungen wie in Kapitel 3.3.1 angesetzt (konservativ).

Gesucht: Kontrolle, ob die Stütze als R 30 klassiert werden kann

Schritt 1: Ausnutzungsgrad

Einwirkende Normalkraft - vereinfacht wird die Dachdecke als eine Geschossdecke angenommen.

$$N_{fi,ED} = 500/5 = 100 \text{ kN}$$

Der Ausnutzungsgrad beträgt

$$\mu_0 = \frac{100}{53,83 \cdot 35,5} = 0,052$$

Schritt 2: bezogener Schlankheitsgrad für $t = 0$

Der Knicklängenbeiwert für den Brandfall ist $\beta_{fi} = 0,7$.

$$\begin{aligned} \bar{\lambda}_{\theta,0} &= \beta_{fi} \cdot \frac{L}{i_{min} \cdot \pi} \cdot \sqrt{\frac{f_y}{E_a}} = 0,7 \cdot \frac{300}{4,98} \cdot \frac{1}{93,9} \\ &= 0,449 \end{aligned}$$

Schritt 3: aus Nomogramm B.2 folgt. $\theta_{a,cr} > 900^\circ\text{C}$

Schritt 4: Berechnung des Profilmomentenarms (vgl. Tabelle 14)

$$\begin{aligned} P &= 0,9 \cdot \frac{2 \cdot b + 2 \cdot h}{A_a} \\ &= 0,9 \cdot \frac{2 \cdot 20 + 2 \cdot 19}{53,8} = 131 \text{ m}^{-1} \end{aligned}$$

oder mit Hilfe von Tabelle 15:

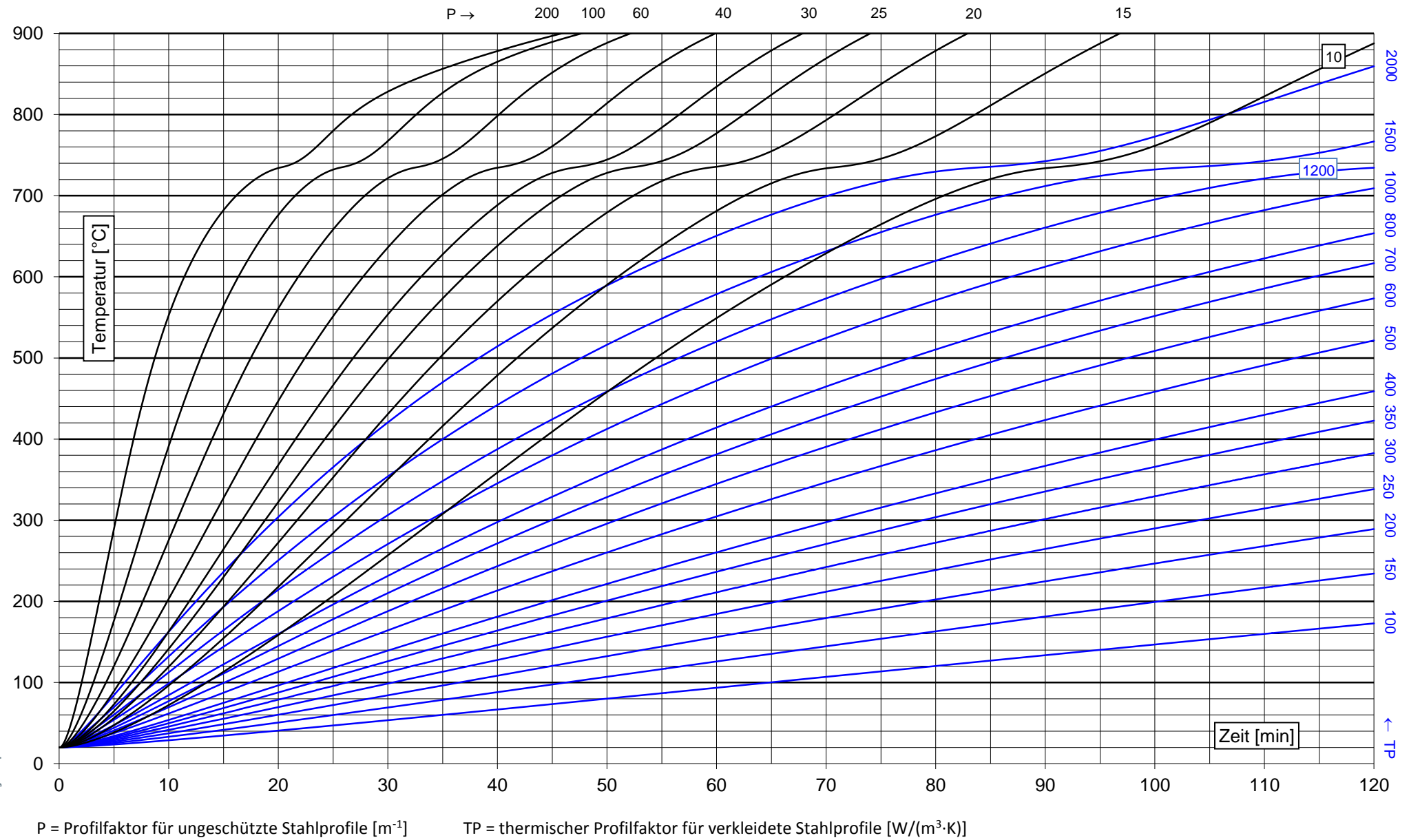
$$P = 0,9 \cdot 145 \text{ m}^{-1} = 131 \text{ m}^{-1}$$

Schritt 5: entfällt

Schritt 6: Feuerwiderstandsdauer

Aus Nomogramm B.1 wird abgelesen $t > 46$ Minuten, d.h. die Stütze erfüllt die Klassierung R 30!

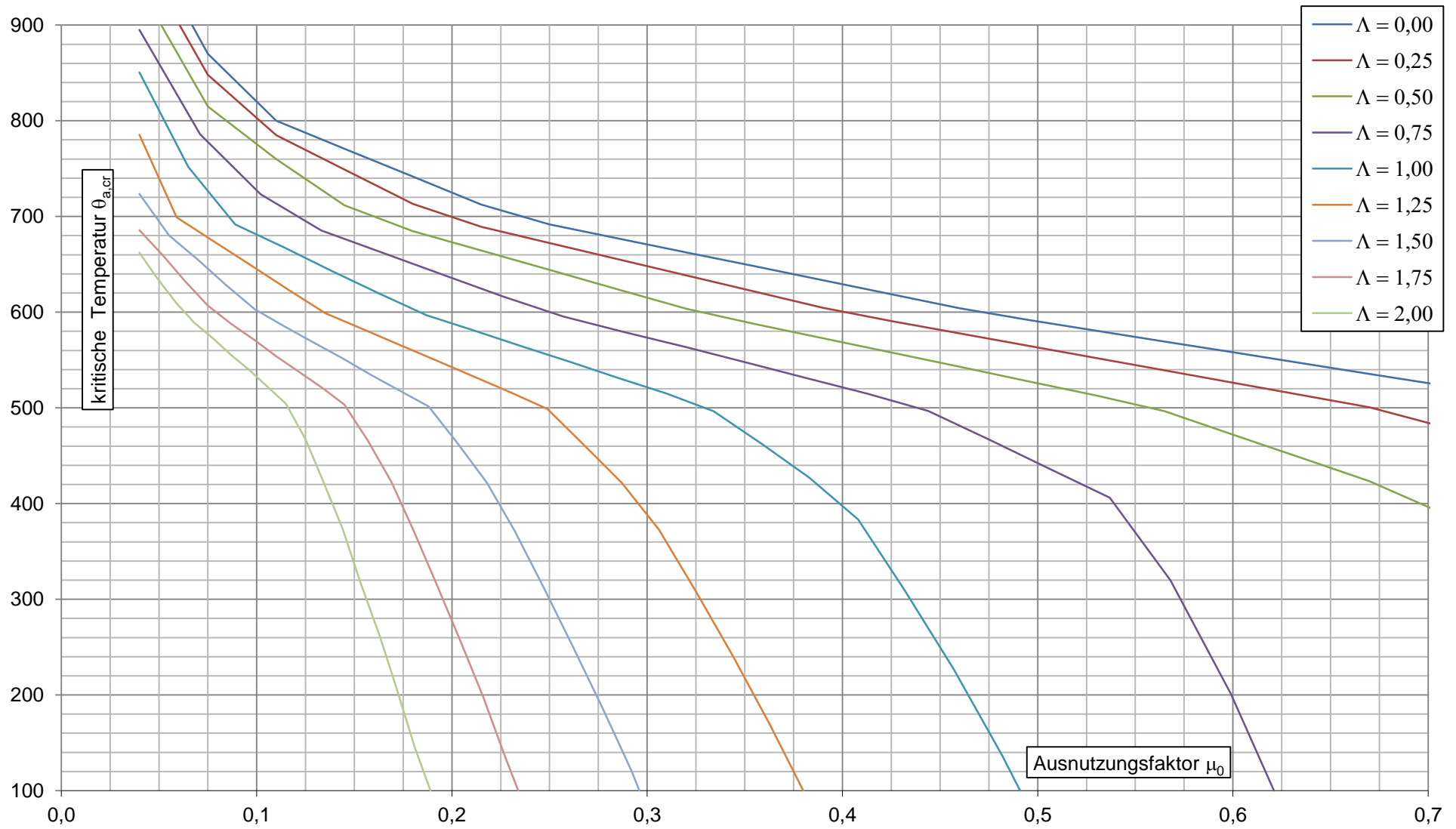
Nomogramm B.1: Entwicklung der Stahltemperaturen in Abhängigkeit von der Branddauer (Zeit) (aus [21])



P = Profilmfaktor für ungeschützte Stahlprofile [m^{-1}]

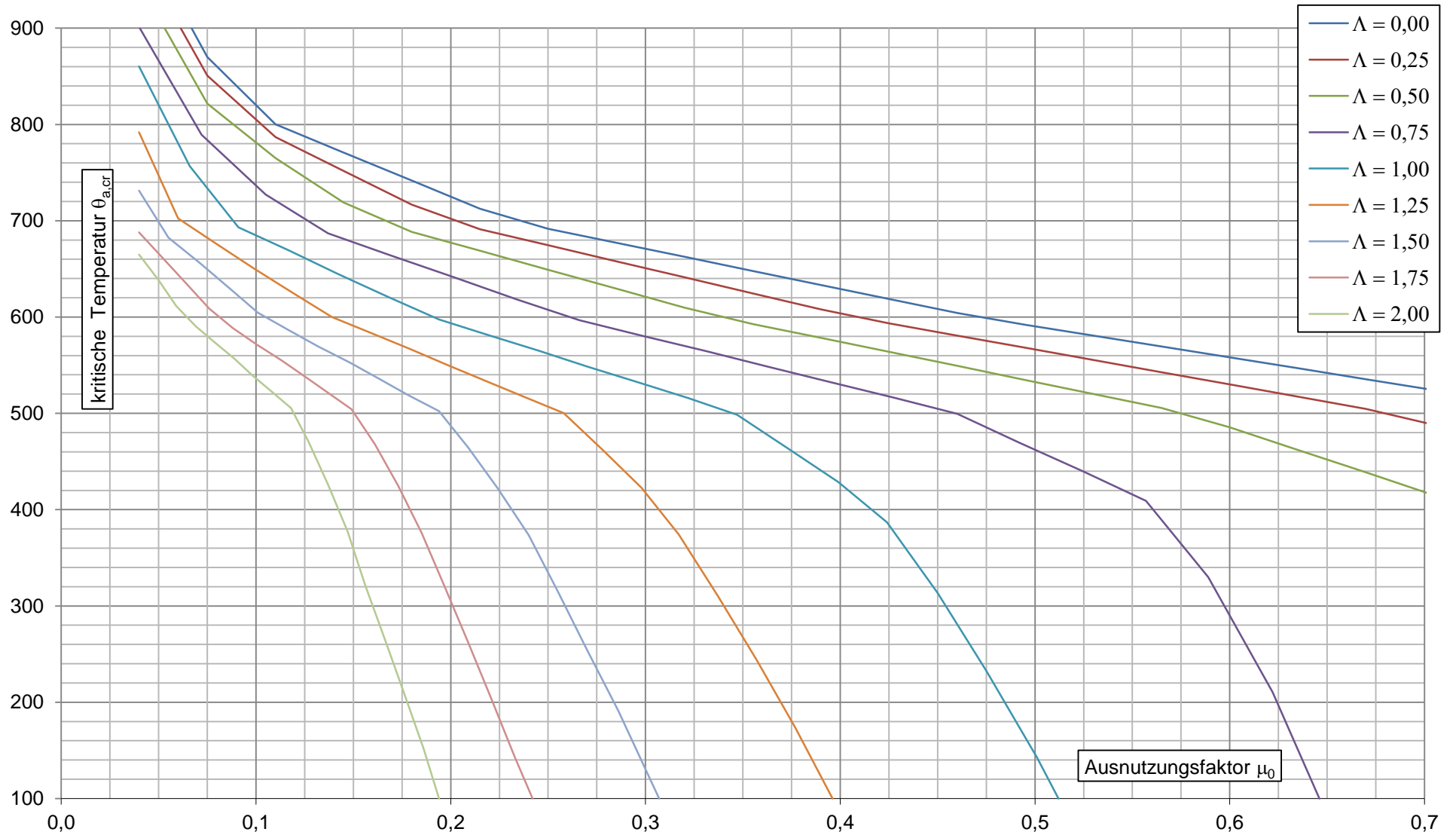
TP = thermischer Profilmfaktor für verkleidete Stahlprofile [$W/(m^3 \cdot K)$]

Nomogramm B.2: kritische Temperatur $\theta_{a,cr}$ für Druckstäbe der Stahlsorten S355 (aus [21])



$\Lambda = \bar{\lambda}_{\theta,0}$ = bezogener Schlankheitsgrad im Brandfall

Nomogramm B.3: kritische Temperatur $\theta_{a,cr}$ für Druckstäbe der Stahlsorten S460M (aus [21])



$\Lambda = \bar{\lambda}_{\theta,0}$ = bezogener Schlankheitsgrad im Brandfall

4 | Literatur

- [1] DIN EN 1993-1-1:2010-12 – Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-1- Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau
- [2] DIN EN 1993-1-1/NA: 2010-12 – Nationaler Anhang - Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-1- Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau
- [3] DIN EN 1993-1-5:2010-12 – Eurocode 3 : Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-5 - Plattenförmige Bauteile
- [4] DIN EN 1993-1-8:2010-12– Eurocode 3 : Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-8 – Bemessung von Anschlüssen
- [5] DIN EN 1993-1-2:2010-12 - Eurocode 3 : Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-2- Allgemeine Regeln – Tragwerksbemessung für den Brandfall
- [6] DIN EN 1990:2010-12 - Eurocode: Grundlagen der Tragwerksplanung
- [7] DIN EN 1991-1-2:2010-12 - Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke, Teil 1-2: Allgemeine Einwirkungen, Brandeinwirkungen auf Tragwerke
- [8] EN 10025 -1:2004 - Warmgewalzte Erzeugnisse aus Baustählen – Teil 1: Allgemeine technische Lieferbedingungen
- [9] EN 10025-2:2004 - Warmgewalzte Erzeugnisse aus Baustählen – Teil 2: Technische Lieferbedingungen für unlegierte Baustähle
- [10] EN 10025-3:2004 - Warmgewalzte Erzeugnisse aus Baustählen – Teil 3: Technische Lieferbedingungen für normalgeglühte/normalisierend gewalzte schweißgeeignete Feinkornbaustähle
- [11] EN 10025-4:2004 - Warmgewalzte Erzeugnisse aus Baustählen – Teil 4: Technische Lieferbedingungen für thermomechanisch gewalzte schweißgeeignete Feinkornbaustähle
- [12] Kindmann, R., Krahwinkel, M: Stahl- und Verbundkonstruktionen, B.G. Teubner Stuttgart Leipzig, 1999
- [13] Kindmann, R., Ludwig, C.: Zur Tragfähigkeit von Stabquerschnitten nach DIN EN 1993-1-1, Teil 1, Stahlbau 81 (2012), Heft 4, Seiten 257-264 und Teil 2, Stahlbau 81 (2012), Heft 5, Seiten 353-357
- [14] Kindmann, R., Kraus, M., Niebuhr, H.-J.: Stahlbau Kompakt, Bemessungshilfen, Profiltabellen, Verlag Stahl Eisen GmbH, Düsseldorf, 2. Auflage 2008
- [15] Kuhlmann, U., Froschmeier, B., Euler, M.: Allgemeine Bemessungsregeln, Bemessungsregeln für den Hochbau – Erläuterungen zur Struktur und Anwendung von DIN EN 1993-1-1, Stahlbau 79 (2010), Heft 11, Seiten 779-792
- [16] Stroetmann, R., Lindner, J.: Knicknachweise nach DIN EN 1993-1-1, Stahlbau 79 (2010), Heft 11, Seiten 793-808
- [17] Stahlbau Kalender 2011, Eurocode 3 – Grundnorm Verbindungen, 13 Jahrgang
- [18] Hart, F., Henn, W., Sonntag, H.: Stahlbauatlas Geschossbauten, zweite Auflage, 1982
- [19] bauforumstahl e.V., Schilling, S: Beispiele zur Bemessung von Stahltragwerken nach DIN EN 1993 Eurocode 3, 2011
- [20] Dokumentation 662, Brandschutz von Stahlbauteilen, Sonderdruck aus dem Brandschutzatlas, Herausgeber BAUEN MIT STAHL e.V., 2007
- [21] Schilling, S.: Feuerwiderstand von Bauteilen aus Stahl, Nomogramme für die Berechnung des Feuerwiderstandes von Stahlbauteilen gemäß DIN EN 1993-1-2:2005, http://www.bauforumstahl.de/upload/documents/brandschutz/nomogramme_en.pdf
- [22] Hauke, B., Manganelli, E., Piccolin, G., May, M.: Torre Diamante – Ein flexibler Büroturm im Herzen Mailands, Sonderdruck aus VDI-Jahresausgabe 2012/2013, Seiten 32-39
- [23] <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0143974X13001752>

Informativ:

- ISO 834-1:1999-09, Feuerwiderstandsprüfungen - Bauteile - Teil 1: Allgemeine Anforderungen
- CEN/TS 13381-1, Prüfverfahren zur Bestimmung des Beitrages zum Feuerwiderstand von tragenden Bauteilen - Teil 1: Horizontal angeordnete Brandschutzbekleidungen
- ENV 13381-2:2002, Prüfverfahren zur Bestimmung des Beitrages zum Feuerwiderstand von tragenden Bauteilen - Teil 2: Vertikal angeordnete Brandschutzbekleidungen
- ENV 13381-4:2002, Prüfverfahren zur Bestimmung des Beitrages zum Feuerwiderstand von tragenden Bauteilen - Teil 4: Brandschutzmaßnahmen für Stahlbauteile

Mitglieder bauforumstahl



Interessengemeinschaft Stahlhandel im bauforumstahl (IGS)



Verbände

