

Deutsche
Demokratische
Republik

Stahlbau
STABILITÄT VON STAHLTRAGWERKEN
Grundlagen

TGL
13503/01

Gruppe 135000

Стальные конструкции
Устойчивость стальных несущих конструкций
Основы

Bauinformation
Zentrale Fachbibliothek
Bauwesen

Steel Structures
Stability of Steel Supporting Structures
Fundamentals

Deskriptoren: Stahlbauweise; Tragwerk; Stabilität

Für neu auszuarbeitende Projektlösungen und Angebotsprojekte
verbindlich ab 1. 1. 1983
Für bestehende Angebotsprojekte und Wiederverwendungsprojektlösungen
verbindlich ab deren planmäßiger Überarbeitung spätestens
jedoch verbindlich ab 1. 1. 1985
Für Serienerzeugnisse verbindlich ab 1. 1. 1987

Dieser Standard gilt in Verbindung mit TGL 13500/01.

Dieser Standard gilt nicht für den Grenzlastfall S bei Brücken im Verkehrsbau.

Abweichungen von diesem Standard sind zulässig, wenn sie durch Theorie oder Versuche ausreichend begründet und von der zuständigen Prüfstelle genehmigt sind.

Vorbemerkung

Für die Umrechnung der Werte dieses Standards ist anzunehmen:

$$10 \text{ N} \triangleq 1 \text{ kp}$$

Inhaltsverzeichnis

Seite

1. Allgemeines	2
2. Berechnung der Druckstäbe	2
3. Knicklänge	2
4. Schlankheitsgrad	3
5. Dünnwandige Teile von Druckstäben	3
6. Mittig gedrückte einteilige Stäbe	3
7. Mittig gedrückte mehrteilige Stäbe	4
8. Stabzüge mit federnder Querstützung	6
9. Auf Druck und Biegung beanspruchte einteilige Stäbe	6
10. Auf Druck und Biegung beanspruchte mehrteilige Stäbe	8
11. Kippen der Träger	8
12. Kippen mit Längskraft	9
13. Bogenträger	9
14. Stabwerke	10
15. Verbände	10
16. Beulen unausgesteifter ebener Bleche	10
17. Beulen ausgesteifter ebener Bleche	14
18. Beulen von Kreiszyinderschalen	15

Fortsetzung Seite 2 bis 22

Verantwortlich: VEB Metalleichtbaukombinat, Leipzig

Bestätigt: 21. 4. 1982, Amt für Standardisierung, Meßwesen und Warenprüfung, Berlin

1. ALLGEMEINES

1.1. Berechnungsgrundlagen

Zu den Stabilitätsfällen des Stahlbaues gehören das Knicken, Kippen und Beulen. Sie sind dadurch gekennzeichnet, daß das Tragvermögen bei einer kritischen Belastung durch Ausweichen des Bauteiles rechtwinklig zur Lastwirkungsrichtung begrenzt wird.

Bei Annahme idealer Bedingungen, z. B. ideal gerade Stabachse oder ebenes Blech, ideal mittige Lasteintragung, isotropes, ideal elastisches Material, lassen sich die Ausweicherscheinungen als Verzweigungsprobleme beschreiben. Hiermit wird im allgemeinen die theoretisch obere Grenze des Tragvermögens als ideale Ausweichlast (F_{ki} , M_{ki} , σ_{ki}) bestimmt.

Bei Berücksichtigung von planmäßigen und ungewollten Außermittigkeiten, Vorkrümmungen, Inhomogenitäten, Eigenspannungen u. ä. (geometrischen und strukturellen Imperfektionen) und der Plastizierung ergeben sich die Traglasten (F_{kr} , M_{kr} , σ_{kr}). Sie dürfen näherungsweise unter Berücksichtigung der Verformungen und der Imperfektionen sowie einer teilweisen Plastizierung nach Elastizitätstheorie II. Ordnung berechnet werden.

In besonderen Fällen, z. B. beim Beulen ebener Bleche, kann durch Spannungsumlagerungen auch nach teilweisem Ausweichen des Bauteiles ein nutzbares Tragvermögen bestehen, überkritischer Bereich.

1.2. Nachweismumfang

Nachzuweisen ist, daß die Stabilität des Stahltragwerkes und seiner Teile sowohl im fertigen Zustand als auch in jedem Bau- und Umbauzustand gesichert ist.

2. BERECHNUNG DER DRUCKSTÄBE

Grundsätzlich muß ein Stab die Sicherheit v_{kr} gegen Erreichen der Grenzlast bei teilweiser Plastizierung haben. Die Spannung ist dabei nach Elastizitätstheorie II. Ordnung unter Annahme einer Vorkrümmung (Imperfektion μ_N) zusätzlich zu der unter Umständen vorhandenen planmäßigen Außermittigkeit zu berechnen.

Als Spannungs-Dehnungs-Gesetz darf bei Baustählen bis zur Festigkeitsklasse S 60/45 ideal-elastisches Verhalten bis zur Teilplastizierung oder 0,2-%-Dehngrenze und darüber ideal-plastisches Verhalten angenommen werden.

Bei dünnwandigen Bauteilen und mehrteiligen Stäben ist zu berücksichtigen, daß die Tragfähigkeit durch örtliche Instabilität statt durch Fließen begrenzt sein kann.

Die der Imperfektion zuzuordnende Biegelinie darf ähnlich der ersten Eigenfunktion beim Knicken angesetzt werden. Mit der Imperfektion werden außer den Toleranzen nach TGL 13510/07 auch andere Einflüsse, z. B. Eigenspannungen, abgegolten.

Stäbe, deren Druckkraft planmäßig außermittig angreift oder deren Achse eine planmäßige Krümmung hat oder die zusätzlich zur Druckkraft noch Biegemomente aufzunehmen haben, sind als auf Druck und Biegung beansprucht zu berechnen. Bei Stäben, deren Abweichungen ausnahmsweise über die Toleranzen nach TGL 13510/07 hinausgehen, ist diese Überschreitung bei der Ermittlung der Biegespannung zusätzlich zu μ_N zu berücksichtigen.

Die erforderlichen Sicherheitszahlen betragen im Grenzlastfall

$$H: v_{kr} = 1,50$$

$$HZ: v_{kr} = 1,33$$

$$S: v_{kr} = 1,20.$$

Wird ausnahmsweise die Verzweigungslast (ideale Knicklast) als maßgebend angesehen, sind die erforderlichen Sicherheitszahlen im Grenzlastfall

$$H: v_{ki} = 2,00$$

$$HZ: v_{ki} = 1,78$$

$$S: v_{ki} = 1,60,$$

sofern nicht aus der idealen Knicklast ein Schlankheitsgrad berechnet und der Nachweis nach Abschnitt 6. bis 10. geführt wird.

3. KNICKLÄNGE

Die Knicklänge (l_k) ist die Länge eines gedachten, beiderseits gelenkig gelagerten Stabes, der bei gleichen Querschnittsabmessungen die gleiche ideale Knicklast wie der untersuchte Stab hat:

$$l_k = \beta \cdot l.$$

Hierbei bedeuten:

l Systemlänge des Stabes

β Knicklängenfaktor

Im Regelfall wird vorausgesetzt, daß die beiden Enden des Stabes gegen seitliches Ausweichen gehalten sind. Die Stabenden sind als gelenkig gelagert anzusehen, und der Knicklängenfaktor ist $\beta = 1$. Ist die Voraussetzung seitlich quasi-unverschieblich festgehaltener Stabenden nicht erfüllt, kann β erheblich größer als 1 sein. Die Wirkung einer Einspannung und Verhinderung der Querschnittsverwölbung sind nur zu berücksichtigen, wenn es in der Vorschrift angegeben ist oder wenn ein genaueres, auch das Verhalten der einspannenden Stäbe, also der gesamten Stabverbindung, berücksichtigender Nachweis erbracht wird.

Bei Gurtstäben und Endstreben gilt für das Ausknicken in der Fachwerkebene und bei seitlich unverschieblicher Halterung der Knoten auch für das Ausknicken rechtwinklig zur Fachwerkebene $\beta = 1$. Bei federnder Stützung der Knoten gilt Abschnitt 8. Bei Streben und Pfosten von Fachwerken gilt für das Ausknicken in der Fachwerkebene und das Drillknicken als l_k der Abstand l_0 der nach der Zeichnung geschätzten Schwerpunkte der Anschlüsse an den beiden Stabenden. Bei an Knotenbleche angeschweißten Stäben ist als Knicklänge mindestens die Länge des Stabes zwischen den Knoten, vergrößert um die doppelte Breite des Stabes, anzusetzen, siehe Bild 1. Für Fachwerk-Füllstäbe, die ohne Knotenbleche an wesentlich steifere Gurte angeschweißt sind und die am Ende keine geringere Steifigkeit haben, darf $\beta = 0,9$ angenommen werden.

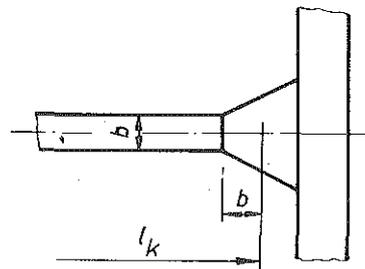


Bild 1

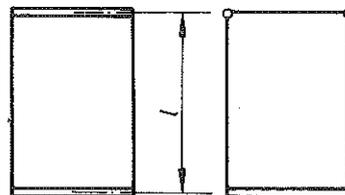


Bild 2 a

Bild 2 b

	Stahlbau STABILITÄT VON STAHLTRAGWERKEN Grundlagen	 13 503/01 Gruppe 135000
---	---	--

Umfang 1 Seite

Verantwortlich: VEB Metalleichtbaukombinat, Leipzig

Bestätigt: 26. 1. 1984, Amt für Standardisierung, Meßwesen und Warenprüfung, Berlin

Verbindlich ab 1. 9. 1984

 Bauinformation
 Informationskabinett
 Projektierungsgrundlagen

In TGL 13 503/01 Ausg. 4.82 wurden die Seiten 10 und 17 geändert.

Seite 10, Abschnitt 15. 1. erster Satz lautet:

15. 1. Sofern nicht begründet genauere Werte angenommen werden können oder vorgeschrieben werden, sind Abstützungen von Druckstäben für $1/100$ der größten in der Berechnung anzusetzenden Druckkraft des abzustützenden Stabes zu bemessen.

Seite 17, Tabelle „Knickfaktoren φ für $\sigma_F = 240 \text{ N/mm}^2$ Knickspannungslinie a“ ist bei $\lambda = 120$, Spalte 0 der Wert in ,482 zu ändern.

Ist die Strebe oder der Pfosten eines Fachwerks an den beiden Enden unverschieblich festgehalten, so gilt für das Ausknicken rechtwinklig zur Fachwerkebene $\beta = 1$. Sind beide Stabenden unverschieblich festgehalten und z. B. durch Querträger elastisch eingespannt, siehe Bild 2 a, so darf der Knicklängenfaktor bei entsprechender Begründung bis zu $\beta = 0,7$ oder bei einseitiger Einspannung, siehe Bild 2 b, bis zu $\beta = 0,8$ herabgesetzt werden. Für querverschiebliche Rahmen gilt Abschnitt 14.

Besteht der Stab aus einem einzelnen Winkelstahl, so gilt Abschnitt 9.4.

4. SCHLANKHEITSGRAD

Der Schlankheitsgrad (λ) ist das Verhältnis der Knicklänge (l_k) zum entsprechenden Trägheitsradius (i):

$$\lambda = \frac{l_k}{i} \quad (1 a)$$

Der bezogene Schlankheitsgrad ist

$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_S} = \frac{\lambda}{\pi} \sqrt{\frac{\sigma_F}{E}} = \sqrt{\frac{\sigma_F}{\sigma_{ki}}} \quad (1 b)$$

Hierbei bedeuten:

$$\lambda_S = \pi \sqrt{\frac{E}{\sigma_F}}$$

σ_F N/mm ²	λ_S ≈
240	93
300	83
360	76
450	68

σ_F Streckgrenze

E Elastizitätsmodul mit 210 000 N/mm² anzusetzen

Der Schlankheitsgrad der Druckstäbe darf nicht größer als 300 sein.

Für Brücken im Verkehrsbau darf der Schlankheitsgrad der Druckstäbe den Wert $\lambda = 150$ nicht überschreiten; Füllstäbe von Verbänden, die nur durch Zusatzkräfte belastet werden, oder Hilfsstäbe, die gedrückte Gurte nur gegen das Ausknicken sichern, dürfen einen Schlankheitsgrad bis 200 aufweisen.

Bei mehrteiligen Stäben und beim Drill- und Biegedrillknicken ist hier der ideelle Schlankheitsgrad (λ_m) oder der Vergleichsschlankheitsgrad (λ_{yi}) einzuführen.

Bei der Begrenzung des Schlankheitsgrades von einzelnen Stäben in Stabwerken darf der Knicklängenfaktor $\beta \leq 1$ bei beiderseits quasi-unverschieblich gelagerten Stäben und $\beta \leq 2$ bei an einem Ende eingespannten, am anderen Ende gelenkigen und verschieblichen Rahmenstielen angenommen werden.

5. DÜNNWANDIGE TEILE VON DRUCKSTÄBEN

Wenn nicht ausreichende Beulsicherheit nach Abschnitt 16. oder 17. nachgewiesen wird, muß das Verhältnis Breite zu Dicke (b/t)

– bei an beiden Längsrändern gelagerten Querschnittsteilen

$$\frac{b}{t} \leq 49 n \sqrt{\frac{\sigma_F^*}{\sigma_F}} \quad (2 a)$$

– bei an einem Längsrand gelagerten, am anderen Rand freien Querschnittsteilen

$$\frac{b}{t} \leq 16 n \sqrt{\frac{\sigma_F^*}{\sigma_F}} \quad (2 b)$$

sein.

Hierbei bedeuten:

σ_F^* Streckgrenze des St 38 mit 240 N/mm²

n Faktor, bei nicht geschweißten Stäben = 1,00

bei geschweißten Stäben ohne Querstöße = 0,90

bei geschweißten Stäben mit Querstößen = 0,81

Die Breite (b) ist sinngemäß nach Abschnitt 16.1.3. zu messen.

6. MITTIG GEDRÜCKTE EINTEILIGE STÄBE

6.1. Der nach Abschnitt 2. geforderte Nachweis darf bei planmäßig mittiger Belastung in folgender Form geführt werden:

$$\sigma_c = \frac{N}{A} \leq \text{zul } \sigma \cdot \varphi \quad (3)$$

Hierbei bedeuten:

N Absolutwert der größten im Stab auftretenden Druckkraft, berechnet unter Berücksichtigung der dynamischen Kräfte und Schwingbeiwerte nach den jeweiligen Vorschriften

A ungeschwächte Querschnittsfläche des Stabes
zul σ für den untersuchten Grenzlastfall und die Festigkeitsklasse des Stahls geltende zulässige Spannung nach TGL 13500/01

φ Knickfaktor, abhängig von der Form des Querschnitts und den Eigenspannungen (Knicksprunglinie a bis d) siehe Tabelle 2 sowie von dem bezogenen Schlankheitsgrad ($\bar{\lambda}$) siehe Tabelle 1 oder vom Schlankheitsgrad (λ) und der Streckgrenze, siehe Abschnitt Hinweise

6.2. Stäbe mit geringem Drillwiderstand sind auf Drill- oder Biegedrillknicken zu untersuchen, sofern nicht feststeht, daß diese Instabilität nicht maßgebend wird. Dabei ist ein Vergleichsschlankheitsgrad

$$\lambda_{yi} = \pi \sqrt{\frac{EA}{N_{ki}}} \quad \text{und} \quad (4 a)$$

$$\bar{\lambda}_{yi} = \frac{\lambda_{yi}}{\lambda_S} = \sqrt{\frac{A\sigma_F}{N_{ki}}} = \sqrt{\frac{\sigma_F}{\sigma_{ki}}} \quad (4 b)$$

einzuführen, siehe TGL 13503/02. N_{ki} und σ_{ki} sind die ideale kritische Druckkraft und Spannung für Drill- oder Biegedrillknicken. Die Einstufung darf in Knicksprunglinie b statt c oder c statt d erfolgen, wenn zusätzlich Biegeknicken mit λ_y und der dafür maßgebenden Knicksprunglinie nachgewiesen wird.

6.3. Bei pulsierender Längskraft ist das Schwingungsverhalten zu berücksichtigen, siehe TGL 13503/02.

Tabelle 1 Knickfaktoren φ

$\bar{\lambda}$	φ für Knickspannungslinie			
	a	b	c	d
0.108		1.000	1.000	1.000
0.15		0.988	0.982	0.975
0.161	1.000			
0.2	0.993	0.973	0.961	0.947
0.25	.983	.958	.940	.919
0.3	.973	.942	.919	.892
0.35	.962	.926	.897	.864
0.4	.950	.910	.874	.836
0.45	.938	.892	.851	.808
0.5	.924	.873	.827	.779
0.55	.909	.852	.802	.751
0.6	.893	.831	.776	.721
0.65	.874	.807	.749	.692
0.7	.853	.782	.721	.662
0.75	.830	.755	.692	.633
0.8	.804	.727	.663	.604
0.85	.775	.697	.634	.575
0.9	.743	.667	.604	.547
0.95	.710	.635	.575	.520
1.0	.676	.604	.546	.494
1.05	.640	.573	.518	.469
1.1	.605	.543	.492	.445
1.15	.571	.514	.466	.422
1.2	.538	.486	.441	.400
1.25	.507	.459	.418	.380
1.3	.477	.434	.396	.361
1.35	.450	.411	.376	.342
1.4	.424	.388	.356	.325
1.45	.400	.368	.338	.309
1.5	.377	.348	.321	.294

$\bar{\lambda}$	φ für Knickspannungslinie			
	a	b	c	d
1.6	0.337	0.313	0.290	0.267
1.7	.303	.283	.263	.243
1.8	.273	.256	.239	.222
1.9	.248	.233	.218	.203
2.0	.225	.213	.200	.187
2.1	.206	.195	.184	.172
2.2	.188	.179	.169	.159
2.3	.173	.165	.157	.147
2.4	.160	.153	.145	.137
2.5	.148	.142	.135	.128
2.6	.1373	.1317	.1256	.1190
2.7	.1277	.1227	.1172	.1113
2.8	.1191	.1146	.1097	.1043
2.9	.1113	.1073	.1028	.0980
3.0	.1043	.1007	.0966	.0922
3.1	.0979	.0946	.0909	.0869
3.2	.0921	.0891	.0857	.0820
3.3	.0867	.0840	.0809	.0775
3.4	.0819	.0794	.0765	.0734
3.5	.0774	.0751	.0725	.0696
3.6	.0733	.0712	.0688	.0661
3.7	.0695	.0675	.0653	.0628
3.8	.0659	.0642	.0621	.0598
3.9	.0627	.0610	.0591	.0570
4.0	.0597	.0581	.0564	.0544
4.1	.0569	.0554	.0538	.0519
4.2	.0542	.0529	.0514	.0496
4.3	.0518	.0506	.0491	.0475
4.4	.0495	.0484	.0470	.0455
4.5	.0474	.0463	.0451	.0436

Tabelle 2 Einstufung in die Knickspannungslinien

Eigen- spannungen	Querschnitt					
	geometrisch günstig			geometrisch ungünstig		
	z. B.	↓		z. B.	↓	
	Knick- spannungslinie	c_1	c_2	Knick- spannungslinie	c_1	c_2
gering	a	15	500	b	10	320
$t \leq 40 \text{ mm}^{**1)}$	b	10	320	c	10	220
hoch $t > 40 \text{ mm}^{**1)}$	c	10	220	d	10	160

6.4. Bei Stäben mit $\lambda < 100$ und mit wirklich gelenkiger Lagerung, z. B. durch Gelenkbolzen oder Zentrierstücke, ist der Nachweis für außermittige Belastung nach Abschnitt 9.1. zu führen, wenn die zu erwartende Exzentrizität (a) einschließlich Stabkrümmung den Betrag $l_k/1000$ übersteigt. Außer der Imperfektion (μ_N) ist dann noch der Betrag $a - l_k/1000$ anzusetzen.

Für das Ausknicken^{*)} rechtwinklig zur stofffreien Achse y-y nach Bild 3 ist der mehrteilige Stab wie ein einteiliger Stab mit dem ideellen Schlankheitsgrad

$$\lambda_{ym} = \sqrt{\lambda_y^2 + \frac{m}{2} \lambda_1^2} \quad (5 a)$$

zu berechnen, wenn $\frac{l_1}{i_1} \leq \frac{1}{2} \lambda_x$ oder $\frac{l_1}{i_1} \leq 50$ ist.

7. MITTIG GEDRÜCKTE MEHRTEILIGE STÄBE

7.1. Mehrteilige Stäbe sind unter Berücksichtigung der Schub- und Biege-Verformung zu berechnen.

Das Ausknicken rechtwinklig zur Stoffachse x-x nach Bild 3 ist wie bei einem einteiligen Stab zu berechnen.

Stäbe aus zwei übereck gestellten Winkelstählen, siehe Bild 4 a, brauchen nur auf Knicken rechtwinklig zur Stoffachse x-x berechnet zu werden. Dabei muß $l_1/i_1 \leq 50$ sein. Als Knicklänge ist der arithmetische Mittelwert der beiden Knicklängen anzu-

^{**1)} Mittelwert der Dicke der durch die Schweißnaht verbundenen Querschnittsteile.

Eigenspannungen sind im Regelfall als hoch anzunehmen, wenn Langsnähte oder mit Schrumpfbehinderung geschweißte Quernähte im mittleren Bereich des Stabes vorhanden sind.

setzen, die für das Ausknicken in der Tragwerksebene und rechtwinklig dazu maßgebend sind, sofern nicht eine Zwischen-Abstützung des Stabes nur in einer Richtung erfolgt. Bei übereck gestellten ungleichschenkligen Winkelstäben nach Bild 4 b darf $i_x \approx i_0/1,15$ und $\lambda_x \approx 1,15 i_{KX}/i_0$ gesetzt werden, wobei sich der Trägheitsradius des Gesamtquerschnitts i_0 auf die zum längeren Winkelschenkel parallele Schwerachse bezieht.

Stäbe ohne Stoffachse, siehe Bild 5, sind für Knicken in beiden Richtungen mit dem ideellen Schlankheitsgrad

$$\lambda_{ym} = \sqrt{\lambda_y^2 + \frac{m}{2} \lambda_{1y}^2} \quad \text{und} \quad (5b)$$

$$\lambda_{xm} = \sqrt{\lambda_x^2 + \frac{m'}{2} \lambda_{1x}^2} \quad (5c)$$

zu berechnen, wobei $i_{1x}/i_1 \leq 50$ und $i_{1y}/i_1 \leq 50$ vorausgesetzt ist.

Ist beim Ausknicken rechtwinklig zu einer stofffreien Achse die Forderung für das Verhältnis i_1/i_1 nicht erfüllt, so sind die Einzelstäbe für die unter Berücksichtigung der Verformung des Gesamtstabes berechnete anteilige Stabkraft zu bemessen. Bei Rahmenstäben sind dann außerdem die Biegemomente aus der ideellen Querkraft zu berücksichtigen. Näherungsweise darf bei Gitterstäben der Nachweis

$$\sigma_{c1} = \frac{N_1}{\varphi_m \cdot A_1} \leq \text{zul} \sigma \cdot \varphi_1 \quad (6)$$

geführt werden, wobei φ_m dem ideellen Schlankheitsgrad λ_m und φ_1 dem Schlankheitsgrad i_1/i_1 zugeordnet ist. Für φ_m gilt Knickspannungslinie b oder bei Gitterstäben, deren Gurte nicht aus geschweißten Profilen bestehen, Knickspannungslinie a. Für φ_1 gilt die Knickspannungslinie entsprechend dem Einzelstab.

Hierbei bedeuten:

m Zahl der zu einem Gesamtstab vereinigten Einzelstäbe oder Stabgruppen, siehe Bild 3 und 5

λ_x, λ_y Schlankheitsgrad des Gesamtstabes ohne Berücksichtigung der Schub-Verformung

$\lambda_m = \lambda_{ym}$ oder λ_{xm}

λ_1 Hilfswert, der bei Rahmenstäben, siehe Bild 6 a, $\lambda_1 = \frac{l_1}{i_1}$ (7 a)

bei Gitterstäben nach Bild 6 b bis 6 e

$$\lambda_1 = \pi \sqrt{\frac{A}{z \cdot A_D} \cdot \frac{d^3}{c \cdot e^2}} \quad (7b)$$

bei Gitterstäben nach Bild 6 f

$$\lambda_1 = \pi \sqrt{2 \frac{A}{z \cdot A_D} \cdot \frac{d^3}{c \cdot e^2}} \quad (7c)$$

Bei Gitterstäben ist eine überschlägliche Abschätzung zulässig.

z Anzahl der in parallelen Ebenen nebeneinanderliegenden Querverbände

l_1 größte Knicklänge des Einzelstabes

c, d, e nach Bild 6

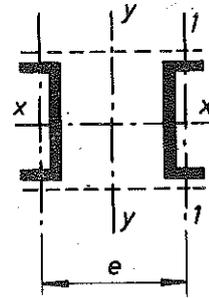
N Absolutwert der größten auf den Gesamtstab einwirkenden Druckkraft

N_1 Absolutwert der größten auf den Einzelstab einwirkenden Druckkraft ohne Berücksichtigung der Stab-Verformung

A ungeschwächter Querschnitt des Gesamtstabes

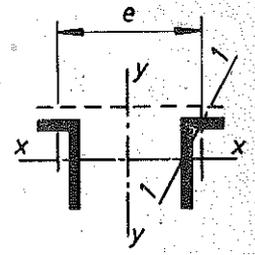
A_1 ungeschwächter Querschnitt eines Einzelstabes auf die Achse 1-1 nach Bild 3 bis 5 bezogener Trägheitsradius eines Einzelstabes

A_D ungeschwächter Querschnitt einer einzelnen Diagonale eines Gitterstabes; bei gekreuzten knicksteifen Diagonalen nach Bild 6 d und 6 e ist die Summe der Querschnittsflächen einzusetzen.



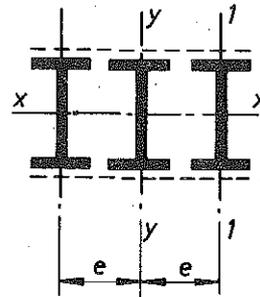
m = 2
z = 2

Bild 3 a



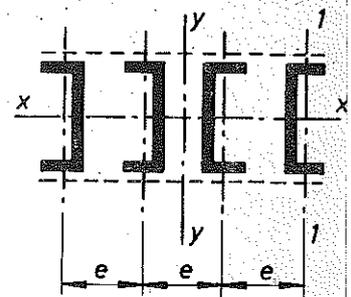
m = 2
z = 1

Bild 3 b



m = 3
z = 2

Bild 3 c



m = 4
z = 2

Bild 3 d

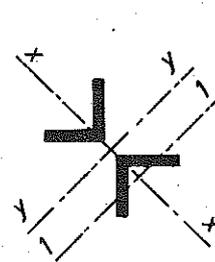


Bild 4 a

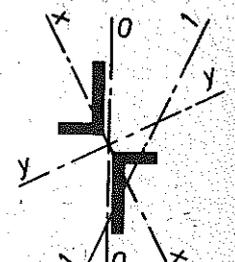


Bild 4 b

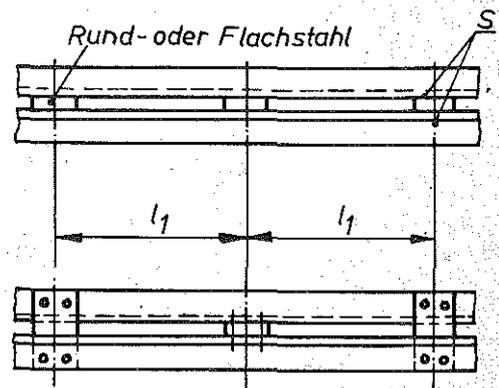


Bild 4 c

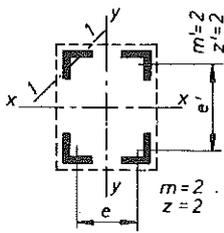


Bild 5 a

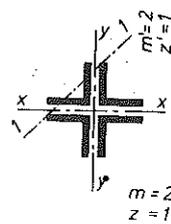


Bild 5 b

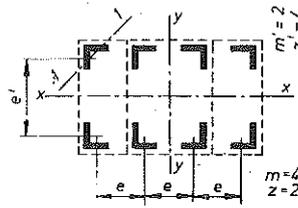


Bild 5 c

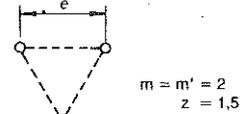


Bild 5 d

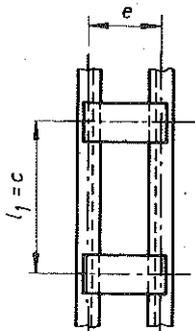


Bild 6 a

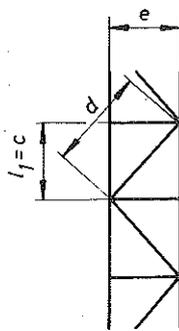


Bild 6 b

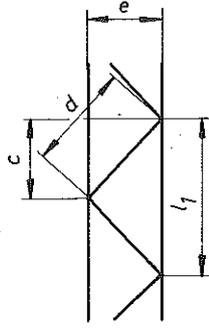


Bild 6 c

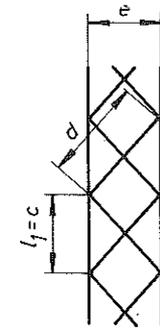


Bild 6 d

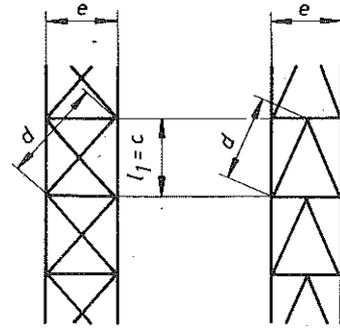


Bild 6 e

Bild 6 f

7.2. Die Bindebleche und Ausfachungen sowie ihre Anschlüsse sind so zu gestalten, daß sie die ideale Querkraft

$$Q_i = N \cdot \pi \cdot \frac{\mu_i}{\lambda_m} \cdot f_N \quad (8 a)$$

$$\approx \frac{N}{100} \cdot f_N \quad (8 b)$$

aufnehmen können.

Hierbei bedeuten:

$$\mu_i = \frac{\lambda_m - 10}{320} \text{ die geometrische Imperfektion}$$

$$f_N = 1 + \frac{1}{\frac{\sigma_{ki}}{\nu \sigma_c} - 1 \lambda_m} \text{ wobei } \sigma_{ki} \text{ für den ideellen Schlankheitsgrad zu berechnen ist.}$$

Die ideale Querkraft darf auch vereinfacht mit

$$Q_i = \frac{A \cdot \text{zul } \sigma}{65} \quad (8 c)$$

angenommen werden.

Bei Verbänden nach Bild 6 e und 6 f ist gegebenenfalls die zusätzliche Belastung aus der Längenänderung der Gurte zu berücksichtigen, siehe TGL 13500/01.

7.3. Die Bindebleche und Ausfachungen sind so anzuschließen, daß der Schlupf so klein wie möglich wird.

Bei Rahmenstäben sind Bindebleche mindestens in den Dritelpunkten der Stablänge anzuordnen.

Rahmen- und Gitterstäbe müssen an den Stabenden Bindebleche erhalten, deren Breite mindestens halb so groß wie die Spreizung des Stabes sein muß. Diese dürfen durch die anschließenden Bauteile, z. B. Knotenbleche, ersetzt werden, wenn der Anschluß zusätzlich für die Aufnahme der ideellen Querkraft bemessen wird. Bei Stäben in einem zweiwandigen Tragwerk sind die Endbindebleche nach Möglichkeit zwischen den Knotenblechen anzuordnen; andernfalls sind die entstehenden Biegemomente auch im Einzelstab zu berücksichtigen. Sind die Bindebleche randversteift, dürfen sie entsprechend schmaler sein.

8. STABZÜGE MIT FEDERNDER QUERSTÜTZUNG

Druckgurtungen, die wie der Obergurt einer einfachen Trög-

brücke mit unterliegender Fahrbahn gegen Ausknicken aus der Hauptträgerenebene nicht durch einen Querverband gesichert sind, sind seitlich elastisch durch rechtwinklig zur Hauptträgerenebene angeordnete Halbrahmen zu stützen, deren Biegesteifigkeit für den Nachweis der erforderlichen Knicksicherheit der Druckgurte wesentlich ist. Ebenso ist bei gedrückten Fachwerk-Füllstäben, die rechtwinklig zur Fachwerkebene nur elastisch gestützt sind, die ausreichende Biegesteifigkeit der elastisch querstützenden Tragglieder nachzuweisen.

9. AUF DRUCK UND BIEGUNG BEANSPRUCHETE EINTEILIGE STÄBE

9.1. Knicken in der Momentenebene

Der nach Abschnitt 2. geforderte Nachweis darf bei Ausweichen in der Momentenebene bei Stäben von gleichbleibendem Querschnitt in folgender Form geführt werden, wenn das Biegemoment (M) auf eine der beiden Querschnitts-Hauptachsen bezogen ist:

$$\sigma_c (1 + \mu_N f_N) + \sigma_{bc} f_M \leq \text{zul } \sigma \quad (9)$$

und

$$\sigma_c (-1 + \mu_N f_N) + \sigma_{bz} f_M \leq \text{zul } \sigma \quad (10)$$

Der Nachweis nach Formel (10) entfällt, wenn die Biege-Druckspannung (σ_{bc}) größer als die Biege-Zugspannung (σ_{bz}) ist. Nach Formel (9) dürfen auch planmäßig mittig gedrückte Stäbe nachgewiesen werden, wenn $\sigma_{bc} = 0$ gesetzt wird.

Hierbei bedeuten:

$$\sigma_c = \frac{N}{A} \text{ Absolutwert der Druckspannung, siehe Abschnitt 6.1.}$$

$$\sigma_{bc} = \frac{M}{W_d} \text{ Absolutwert der Biege-Druckspannung und der Biege-Zugspannung unter Berücksichtigung der dynamischen Kräfte und Schwingbeiwerte}$$

$$\sigma_{bz} = \frac{M}{W_z} \text{ Als Widerstandsmoment darf } W_T \text{ als Mittelwert aus elastischem und plastischem Widerstandsmoment } (W_{el} + W_{pl})/2 \text{ angenommen werden, wenn } W_{el} < W_{pl} \text{ ist, jedoch nicht mehr als } 1,2 W_{el} \text{, siehe TGL 13500/01 und /02.}$$

$$f_N, f_M \text{ Faktor, der die Vergrößerung der Biegemomente nach Theorie II. Ordnung gegenüber denen nach Theorie I. Ordnung ausdrückt, siehe TGL 13503/02}$$

$$\text{zul } \sigma \text{ dem untersuchten Grenzlastfall entsprechende}$$

zulässige Spannung nach den einschlägigen Vorschriften

$$\mu_N = \frac{\lambda \sqrt{\sigma_F / \sigma_F^*} - c_1}{c_2} = \frac{92,93 \bar{\lambda} - c_1}{c_2} \approx \frac{93 \bar{\lambda} - c_1}{c_2} \geq 0 \quad (11)$$

= Imperfektion

- c_1, c_2 nach Tabelle 2, abhängig von der Knickspannungslinie
- σ_F Streckgrenze in N/mm²
- $\sigma_F^* = 240$ N/mm²
- λ Schlankheitsgrad für Knicken in der Verformungsrichtung durch das Moment.

σ_F N/mm ²	$\sqrt{\sigma_F / \sigma_F^*}$
240	1
300	1,12
360	1,22
450	1,37

9.2. Knicken aus der Momentenebene heraus
 Außermitig gedrückte Stäbe mit mindestens einfachsymmetrischem Querschnitt, bei denen die Gefahr des Knickens aus der Momentenebene heraus besteht, sind zusätzlich zum Nachweis nach Abschnitt 9.1. auch auf Biegedrillknicken zu untersuchen. Sofern kein genauere Nachweis erfolgt, darf er mit dem Vergleichsschlankheitsgrad λ_{yi} nach TGL 13503/02 und dem zugeordneten Knickfaktor (φ) geführt werden. Bei großer Drill- oder Wölbsteifigkeit darf $\lambda_{yi} = \lambda_y$ gesetzt werden. Das Moment wirkt um die x-Achse, und das Knicken erfolgt um die Symmetrieachse y-y, siehe Bild 7.
 Bei größerem Einfluß des Biegemoments ist nach Abschnitt 12. zu rechnen.

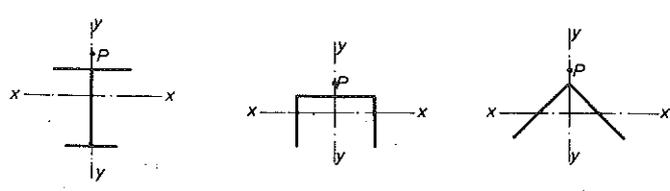


Bild 7

9.3. Biegemoment in zwei Ebenen

Stäbe mit mindestens einfachsymmetrischem Querschnitt, an denen Biegemomente um beide Hauptachsen wirken, wobei y-y die Symmetrieachse ist, dürfen näherungsweise nachgewiesen werden:

$$\sigma_c (1 + \mu_N f_N) + \sigma_{bcx} f_x + \sigma_{bcy} f_{yi} \leq \text{zul } \sigma \quad (12)$$

$$\sigma_c (-1 + \mu_N f_N) + \sigma_{bzx} f_x + \sigma_{bzy} f_{yi} \leq \text{zul } \sigma \quad (13)$$

Der Nachweis der Formel (13) entfällt, wenn die Biege-Druckspannungen σ_{bcx} und σ_{bcy} größer als die Biege-Zugspannungen σ_{bzx} und σ_{bzy} sind.

Hierbei bedeuten:

$$\sigma_c, \sigma_{bcx} = \frac{M_x}{W_{dx}}, \sigma_{bcy} = \frac{M_y}{W_{dy}} \quad \text{Spannungen sinngemäß nach Abschnitt 9.1.}$$

$$\sigma_{bzx} = \frac{M_x}{W_{zx}}, \sigma_{bzy} = \frac{M_y}{W_{zy}}$$

- f_N, μ_N Vergrößerungsfaktor und Imperfektion nach Abschnitt 9.1., mit dem größeren der beiden Schlankheitsgrade λ_x oder λ_y berechnet
- f_x Vergrößerungsfaktor nach TGL 13503/02, mit dem Schlankheitsgrad λ_x berechnet
- f_{yi} Vergrößerungsfaktor, mit dem Vergleichsschlankheitsgrad λ_{yi} berechnet
- λ_x Schlankheitsgrad für Knicken rechtwinklig zur Achse x-x, siehe Bild 7
- λ_{yi} Vergleichsschlankheitsgrad für Biegedrillknicken um die Symmetrieachse y-y, siehe Bild 7, mit der Exzentrizität $a = M_x/N$ nach TGL 13503/02 berechnet
 Bei Stäben mit großer Drill- oder Wölbsteifigkeit darf $\lambda_{yi} = \lambda_y$ gesetzt werden.

9.4. Zusätzliche Festlegungen

Ist das Biegemoment des auf Druck und Biegung beanspruchten Stabes planmäßig längs der Stabachse veränderlich, so ist das maximale Biegemoment einzusetzen.
 Die Biegemomente aus der Eigenlast des Stabes und aus der Windlast auf den Stab sind grundsätzlich zu berücksichtigen. Die zulässige Spannung darf dabei um 10 % erhöht werden. Zusätzlich ist nachzuweisen, daß ohne diese Biegespannungen die zulässige Spannung eingehalten wird. Der Nachweis der statischen Windlast auf den Stab darf bei $\lambda \leq 100$, der Nachweis der Eigenlast bei $\lambda \leq 70/\cos \alpha$ entfallen, wobei α der Neigungswinkel des Stabes gegen die Horizontale ist.
 Bei Druckgurten mit gemittelter Schwerachse darf die Außermittigkeit des Kraftangriffs unberücksichtigt bleiben, wenn das Verhältnis Außermittigkeit zu Trägheitsradius $a/i \leq 0,08$ ist.
 Biegemomente in außermitig angeschlossenen Stäben sind zu berücksichtigen. Wenn der Knoten und der Anschluß so gestaltet sind, daß sie ein entsprechendes Moment aufnehmen können, darf bei Fachwerk-Füllstäben das Moment für die Bemessung des Stabes bis auf die Hälfte, also $M = 0,5 \cdot N \cdot e$, herabgesetzt werden, siehe Bild 8 a und 8 b. Stäbe aus einem einzelnen Winkelstahl dürfen auf Druck und Biegung um die Achse u-u nach Bild 8 b berechnet werden. Zusätzlich ist bei $\lambda_u > 0,85$ Knicken um die Achse v-v ohne Berücksichtigung der Außermittigkeit nachzuweisen.

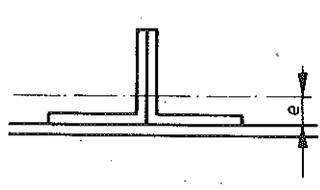


Bild 8 a

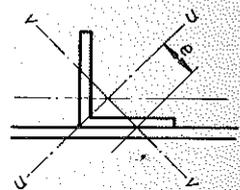


Bild 8 b

Bei der Berechnung der Knicklasten von statisch unbestimmt gelagerten Bogen nach Abschnitt 13. und Rahmen nach Abschnitt 14. dürfen die durch die elastischen Längenänderungen der Stabachsen bedingten kleinen Biegemomente unberücksichtigt bleiben. Dasselbe gilt auch für die Nebenspannungen der Fachwerke.

10. AUF DRUCK UND BIEGUNG BEANSPRUCHTE MEHRTEILIGE STÄBE

Wird ein mehrteiliger Stab in einer Ebene rechtwinklig zur stofffreien Querschnittsachse auf Druck und Biegung beansprucht, so ist die Stabkraft im Einzelstab unter Berücksichtigung der Verformung des Gesamtstabes zu berechnen. Die Festlegungen nach Abschnitt 7. sind zu berücksichtigen. Bei Gitterstäben darf näherungsweise

$$\sigma_c = \frac{N}{2 A_1} (1 + \mu_N f_N) + \frac{M}{e \cdot A_1} \cdot f_M \leq \text{zul} \sigma \cdot \varphi_1 \quad (14)$$

nachgewiesen werden. Zur Berechnung von μ_N , f_N und f_M nach Abschnitt 9. sind der ideale Schlankheitsgrad $\bar{\lambda}_M$ und die Knickspannungslinie nach Abschnitt 7.1. einzusetzen. Beim Biegemoment (M) ist, wenn vorhanden, der exzentrische Angriff der Druckkraft (N) des Gesamtstabes zu berücksichtigen.

Die Querverbände mehrteiliger Stäbe sind für die Querkraft

$$Q_m = Q_a + Q_i + \frac{M}{l_k} \pi (f_M - 1) \quad (15)$$

zu bemessen, sofern kein genauere Nachweis erbracht wird.

Hierbei bedeuten:

- Q_a Querkraft aus äußeren Lasten
- Q_i ideale Querkraft nach Abschnitt 7.2.
- M maßgebendes Biegemoment

11. KIPPEN DER TRÄGER

11.1. Die Kippsicherheit biegebeanspruchter Träger ist nachzuweisen, wenn sie nicht auf Grund großer Seitensteifigkeit oder Drillsteifigkeit oder seitlicher Halterung offensichtlich gewährleistet ist. Dabei muß

$$M \leq \frac{M_{kr}}{\nu_{kr}} = \frac{M_T \cdot \varphi_M}{\nu_{kr}} \text{ oder } \sigma_b = \frac{M}{W_T} \leq \text{zul} \sigma \cdot \varphi_M \quad (16 a)$$

oder

$$M (1 + \mu_M f_{oM}) \leq M_T / \nu_{kr} \text{ oder } \sigma_b (1 + \mu_M f_{oM}) \leq \text{zul} \sigma \quad (16 b)$$

sein.

Tabelle 3 Kippfaktoren φ_M

$\bar{\lambda}_M = \sqrt{\frac{M_T}{M_{ki}}}$	φ_M für Kippmomentenlinie			
	a	b	c	d
0,2	1	1	0,991	0,961
,3	1	0,995	,966	,919
,4	1	,977	,939	,874
,5	0,991	,955	,908	,827
0,55	,983	,943	,890	,802
,6	,974	,929	,871	,776
,65	,963	,912	,850	,749
,7	,950	,894	,826	,721
,75	,935	,872	,801	,692
,8	,916	,848	,773	,663
,85	,891	,819	,743	,634
,9	,862	,787	,712	,604
,95	,826	,753	,679	,575
1,0	,785	,715	,645	,546
1,05	,741	,677	,612	,518
1,1	,696	,639	,579	,492
1,15	,651	,601	,547	,466
1,2	,609	,565	,516	,441
1,25	,569	,530	,487	,418
1,3	,531	,498	,459	,396
1,35	,497	,468	,433	,376
1,4	,466	,440	,409	,356
1,45	,437	,414	,386	,338
1,5	,410	,390	,365	,321

Außerdem müssen die Forderungen nach TGL 13500/01, statischer Spannungsnachweis, Ermüdungsfestigkeitsnachweis, erfüllt sein.

Hierbei bedeuten:

M rechnerisches Biegemoment

$M_{kr} = M_T \cdot \varphi_M$ kritisches Kippmoment

ν_{kr} nach Abschnitt 2.

φ_M Kippfaktor nach Tabelle 3, abhängig von der Kippmomentenlinie nach Tabelle 4

$\bar{\lambda}_M = \sqrt{\frac{M_T}{M_{ki}}}$ bezogener Schlankheitsgrad

$M_T = \frac{M_F + M_{pl}}{2} \leq 1,2 M_F$ das modifizierte Tragmoment oder Widerstandsmoment. Wenn für den Druckgurt

$W_T = \frac{W + W_{pl}}{2} \leq 1,2 W$ $M_{pl} < M_F$ oder $W_{pl} < W$ ist, ist $M_T = M_F$ oder $W_T = W$ zu setzen.

$M_F = W \cdot \sigma_F$ Fließmoment, bei dem in der ungünstigsten Faser des Druckgurttes die Streckgrenze erreicht wird. vollplastisches Moment

$M_{pl} = W_{pl} \cdot \sigma_F$

M_{ki} ideales Kippmoment, siehe TGL 13503/02

$f_{oM} = \frac{M_{ki}}{M_{ki} - \nu_{kr} \cdot M}$ Vergrößerungsfaktor

$\mu_M = \frac{92,93 \bar{\lambda}_M - c_1}{c_2}$ Imperfektion entsprechend der Kippmomentenlinie nach Tab. 4

c_1, c_2 nach Tabelle 4

h_s, s Höhe und Dicke des Stegblechs

$\bar{\lambda}_M = \sqrt{\frac{M_T}{M_{ki}}}$	φ_M für Kippmomentenlinie			
	a	b	c	d
1,5	0,410	0,390	0,365	0,321
1,55	,386	,368	,345	,305
1,6	,364	,348	,327	,290
1,65	,343	,329	,310	,276
1,7	,324	,311	,294	,263
1,75	,307	,295	,280	,251
1,8	,291	,280	,266	,239
1,85	,276	,266	,253	,228
1,9	,262	,253	,241	,218
1,95	,249	,241	,230	,209
2,0	,237	,230	,220	,200
2,1	,216	,210	,201	,184
2,2	,197	,192	,184	,169
2,3	,181	,176	,170	,157
2,4	,167	,162	,157	,145
2,5	,154	,150	,145	,135
2,6	,142	,139	,135	,126
2,7	,132	,129	,126	,117
2,8	,123	,121	,117	,110
2,9	,115	,113	,110	,103
3,0	,108	,106	,103	,966
3,2	,0947	,0931	,0908	,0857
3,4	,0841	,0827	,0808	,0765
3,6	,0751	,0740	,0724	,0688
3,8	,0675	,0666	,0652	,0621
4,0	,0610	,0602	,0590	,0564

Tabelle 4 Einstufung in die Kippmomentenlinien

Art des Trägers	Kippmomentenlinie	c ₁	c ₂
nicht geschweißt, ohne oder mit aufgeschweißten Gurtlamellen	a	40	900
geschweißt ²⁾ h _s /s ≤ 150 oder mit Querrippen, die an den Gurten anliegen, mindestens in den Dritteipunkten der Trägerlänge	b	25	600
150 ≤ h _s /s ≤ 250 ohne Querrippen oder unter Schrumpfbehinderung geschweißt, h _s /s ≤ 150	c	15	400
h _s /s > 250 ohne Querrippen oder unter Schrumpfbehinderung geschweißt, h _s /s > 150	d	10	220

Bei nahezu konstanter Spannung über der Trägerlänge im Druckgurt und Berechnung des idealen Kippmomentes (M_{ki}) unter Berücksichtigung von Einspannungen (β < 1, β₀ < 1) ist eine Linie nach Tabelle 4 niedriger anzusetzen.

11.2. Der bezogene Schlankheitsgrad darf bei Zweistützträgern überschläglich ermittelt werden mit

$$\bar{\lambda}_M \approx \frac{\theta}{\lambda_S} \cdot \frac{l_k}{i_G} \quad (17)$$

Hierbei bedeuten:

- θ = 1,25 bei Lastangriff am Obergurt, geschweißte Profile
- θ = 1 bei Lastangriff am Obergurt, Walzprofile
- θ = 0,8 bei Lastangriff am Untergurt
- Bei Lastangriff in der Trägerachse darf interpoliert werden.
- λ_S nach Abschnitt 4.
- l_k Abstand der seitlich unverschieblichen Halterungen des Obergurtes
- i_G auf die Stegebene bezogener Hauptträgheitsradius des Gurtquerschnittes; dazu gehören der Gurt und 2/5 der auf Druck beanspruchten Stegfläche.

Bei über der Trägerlänge veränderlichem Biegemoment darf l_k mit 1/√ζ abgemindert werden. ζ siehe TGL 13503/02.

11.3. Der Kippsicherheitsnachweis darf entfallen, wenn bei Trägern entsprechend Kippmomentenlinie nach Tabelle 4

- a $\bar{\lambda}_M \leq 0,6$
- b $\bar{\lambda}_M \leq 0,4$
- c $\bar{\lambda}_M \leq 0,28$

ist.

12. KIPPEN MIT LÄNGSKRAFT

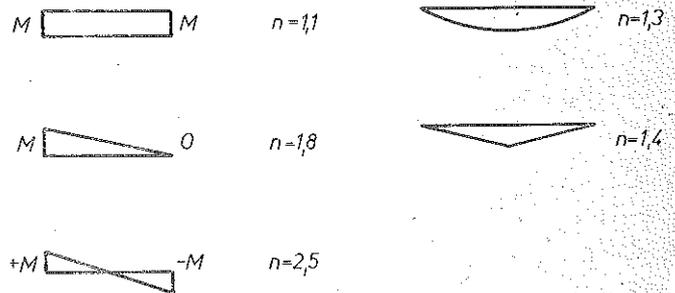
Kippgefährdete Träger, die zusätzlich zum nach Theorie II. Ordnung berechneten Biegemoment (M) eine Drucklängskraft (N) aufzunehmen haben, dürfen nach der folgenden Formel nachgewiesen werden, wenn kein genauere Nachweis erfolgt:

$$\frac{N}{zul N} + \left(\frac{M}{zul M} \right)^n \leq 1 \quad (18)$$

Hierbei bedeuten:

- zul N = A · zul σ · φ zulässige Längskraft nach Abschnitt 6. bei planmäßig mittiger Krafteintragung, gegebenenfalls unter Berücksichtigung des Biegedrillknickens
- zul M = M_{kr}/v_{kr} zulässiges Biegemoment nach Abschnitt 11.1.
- n Exponent nach Bild 9, vom Momentenverlauf abhängig.

Der Nachweis nach Theorie II. Ordnung nach Abschnitt 9. muß außerdem erfüllt sein.



Interpolation zulässig

Bild 9

13. BOGENTRÄGER

13.1. Knicken in der Bogenebene

13.1.1. Bei symmetrischen Bogenträgern, die einen gleichbleibenden Querschnitt haben und durch eine Vollbelastung planmäßig nur auf Druck beansprucht werden, muß

$$\frac{N_V}{A} \leq zul \sigma \cdot \varphi_X$$

sein, wenn von einem genaueren Nachweis abgesehen wird.

Hierbei bedeuten:

- N_V Druckkraft im Viertelpunkt der Stützweite
- A ungeschwächter Querschnitt des Bogenträgers
- φ_X Knickfaktor nach Abschnitt 6. für den Schlankheitsgrad λ_X = β_B · l/i_X für Ausknicken in der Bogenebene
- l halbe Bogenlänge
- β_B Knicklängenfaktor, siehe TGL 13503/02

13.1.2. Bogenträger, die planmäßig auf Druck und Biegung beansprucht werden, sind nach Abschnitt 9. zu berechnen, wobei die Druckkraft N_V und der Schlankheitsgrad λ_X nach Abschnitt 13.1.1. anzusetzen sind.

13.2. Knicken rechtwinklig zur Bogenebene

Für das Knicken des Bogens aus seiner Ebene heraus darf die genaue Untersuchung, die auch die Verdrehung zu berücksichtigen hätte, durch den Nachweis

$$\frac{N_V}{A} \leq zul \sigma \cdot \varphi_Y$$

ersetzt werden, siehe TGL 13503/02.

²⁾ wenn spannungsarm geschweißt oder gegläht, Einstufung eine Linie höher

14. STABWERKE

Stabwerke, in denen Stäbe Druckkräfte erhalten, müssen die Sicherheit v_{kr} gegen Erreichen der Traglast bei Teilplastifizierung haben. Der Nachweis hat dabei nach Theorie II. Ordnung unter Annahme einer ungewollten Vorverformung zu erfolgen, die ähnlich der ersten Eigenfunktion des Tragwerks beim Knicken anzunehmen ist.

Die Stabilität darf auch über die Verzweigungslast mit den Knickfaktoren (φ) oder ausnahmsweise mit der Knicksicherheitszahl (v_{ki}) nachgewiesen werden, wenn durch die Verformung keine wesentliche Erhöhung der Schnittkräfte auftritt oder diese näherungsweise berücksichtigt wird.

14.1. Beim Nachweis nach Theorie II. Ordnung ist bei unverschieblichen Stabwerken für jeden Druckstab eine sinusförmige Vorverformung anzunehmen, deren Größtwert aus der Imperfektion (μ_N) nach Abschnitt 9.1. zu berechnen ist. Bei verschieblichen Stabwerken sind Vorverdrehungen der Stäbe zu berücksichtigen. Die Vorverformung von in ihrer Ebene nicht festgehaltenen Rahmen ist als Verschiebung der Riegel von 1/200 der Stockwerkshöhe anzunehmen und zusätzlich zu den Verformungen aus den äußeren Lasten anzusetzen; die Imperfektion (μ_N) darf dabei unberücksichtigt bleiben. Wenn zusätzlich der Nachweis über die Verzweigungslast ohne Berücksichtigung der Horizontalkräfte, z. B. nach Abschnitt 14.2. erbracht wird, genügt der Ansatz der ungewollten Verschiebung der Riegel mit 1/800 der Stockwerkshöhe.

14.2. Statt der Berechnung nach Abschnitt 14.1. dürfen Rahmen näherungsweise auch so nachgewiesen werden, daß die Stiele unter Berücksichtigung des Knicklängenfaktors (β) nach TGL 13503/02 wie Stäbe nach Abschnitt 6. oder 9. berechnet werden. Für mehrteilige Stäbe gilt Abschnitt 7. oder 10: Die Kippsicherheit nach Abschnitt 11. oder 12. muß ebenfalls gewährleistet sein.

14.3. Wenn die Knotenpunkte nicht gegen Ausweichen aus der Rahmenebene heraus gehalten sind, ist die Berücksichtigung der räumlichen Verformungen erforderlich.

15. VERBÄNDE

15.1. Sofern nicht begründet genauere Werte angenommen werden können oder vorgeschrieben werden, sind Abstützung von Druckstäben für 1/100 der größten in der Berechnung anzusetzenden Druckkraft des abstützenden Stabes zu bemessen. Im allgemeinen ist diese Stabilisierungskraft zusätzlich zu den planmäßigen Kräften aus äußeren Lasten, z. B. Eigenlast, Wind, Bremskräfte, anzusetzen. Bei Abstützung durch hochfeste Zugelemente, z. B. Seile, ist deren Verformung zu berücksichtigen.

15.2. Dachverbände, die die Druckgurte der Dachbinder zu stabilisieren haben, sind – sofern kein genauere Nachweis erbracht wird – zusätzlich zu den planmäßigen Kräften, z. B. aus Wind, für die folgenden Schnittkräfte aus der Stabilisierungswirkung zu bemessen

– größte Gurtkraft im Verband:

$$S = \frac{\sum N_i}{900} \cdot \frac{l}{b} \quad (19)$$

– größte Querkraft im Verband:

$$Q = \frac{\sum N_i}{300} \quad (20)$$

Hierbei bedeuten:

$\sum N_i$ Summe der größten Obergurt-Druckkräfte derjenigen Binder, die dem Verband zugeordnet sind

l Spannweite des Verbandes

b Systemhöhe des Verbandes

Die Gurtkraft (S) ist sinusförmig, die Querkraft (Q) cosinusförmig über die Verbandlänge verlaufend anzunehmen. Diese Stabilisierungskräfte werden nicht auf die Vertikalverbände und Stützen übertragen.

15.3. Rahmenartige Längsportale sind zusätzlich zu den planmäßigen äußeren Lasten für die Stabilisierungskräfte zu bemessen, die sich aus einer angenommenen gleichsinnigen Schrägstellung von $h/800$ aller zu stabilisierenden Bauteile, z. B. Stützen, ergibt, wobei der Einfluß der Verformung nach Theorie II. Ordnung zu berücksichtigen ist, wenn die Portalstiele vertikale Lasten außer der Eigenlast der Stahlkonstruktion zu tragen haben.

Bei Fachwerk-Längsportalen darf die Stabilisierungskraft unberücksichtigt bleiben, wenn das Portal für andere Kräfte, z. B. Wind, Bremskraft, bemessen ist.

16. BEULEN UNAUSGESTEIFTER EBENER BLECHE

16.1. Allgemeines

16.1.1. Für durch Druck- oder Schubspannungen beanspruchte Bleche oder Profilverteile ist ausreichende Sicherheit gegen Ausbeulen nachzuweisen, sofern diese nicht auf Grund eines geringen Breite/Dicke-Verhältnisses offensichtlich gegeben ist.

16.1.2. Das Blech wird bei der Beuluntersuchung im allgemeinen in rechteckige Felder der Länge (a) und Breite (b) nach Bild 10 unterteilt und an allen vier Rändern einspannungsfrei und unverschieblich gelagert angenommen, sofern nicht ein Rand ungestützt ist. Bei Feldern zwischen Gurten oder Steifen mit Hohlprofil darf der Beulwert aus dem Mittelwert für gelenkige Lagerung und starre Einspannung berechnet werden, wenn er nicht genauer unter Berücksichtigung der Steifigkeit berechnet wird.

16.1.3. Bei der Beuluntersuchung sind die vollen Querschnitte ohne Abzug von Schrauben- oder Nietlöchern einzusetzen. Die im untersuchten Feld durch die äußere Belastung bewirkten Spannungen, z. B. gleichmäßig verteilte Druckspannungen (σ_z), geradlinig verteilte Normalspannungen mit den Randwerten σ_{z1} (größte Druckspannung) und σ_{z2} , Druckspannungen σ_y , z. B. aus örtlicher Lasteinleitung, Schubspannungen (τ), sind unter Berücksichtigung der dynamischen Kräfte und Schwingbeiwerte nach den jeweiligen Vorschriften und im Regelfall unter der Annahme elastischen Verhaltens zu berechnen.

Die äußere Last wird als in der Mittelebene des Bleches wirkend vorausgesetzt.

Die Schubspannungen dürfen im allgemeinen unter der Annahme ermittelt werden, daß die Querkraft gleichmäßig über die ganze Breite (b) oder $b_1 + b_2$ verteilt ist.

Für σ_z ist der Absolutwert der größten Längsdruckspannung im untersuchten Feld einzusetzen. Bei Teilen von Druckstäben ist die erhöhte Spannung nach Theorie II. Ordnung zu berücksichtigen. Sofern kein genauere Nachweis erfolgt, darf mit der Spannung σ/φ gerechnet werden, wobei der Knickfaktor (φ) für geringe Eigenspannungen angenommen wird.

Sind nur Schub- und Zugspannungen vorhanden, so ist die Zugspannung bei der Beuluntersuchung unberücksichtigt zu lassen, wenn von einem genaueren Nachweis abgesehen wird.

Der Verlauf der geradlinig verteilten Normalspannungen wird durch Größe und Vorzeichen von $\psi = \sigma_{z2}/\sigma_{z1}$ gekennzeichnet.

Der Bestimmung von σ_z und τ ist der im untersuchten Feld vor-

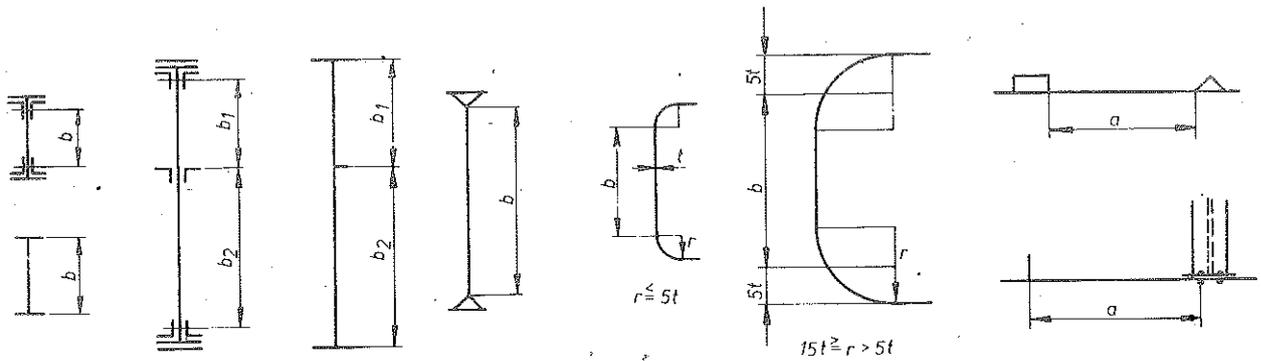


Bild 10

handene Größtwert des Biegemoments oder der Querkraft zugrunde zu legen. Tritt dieser Größtwert an einem Ende des Feldes auf, so darf der in Feldmitte vorhandene Wert des Biegemoments oder der Querkraft, jedoch nicht weniger als der Wert an der Stelle, die den Abstand $b/2$ vom erwähnten Ende hat, zur Berechnung von σ_z und τ verwendet werden.

16.2. Beulsicherheitsnachweis

16.2.1. Der ebene Spannungszustand, der im Blech im Augenblick des Ausbeulens vorhanden ist, wird durch die Angabe der Beulspannung festgelegt.

Die ideale Beulspannung beträgt:

$$\sigma_{zki} = k_\sigma \cdot \sigma_e; \quad \sigma_{yki} = k_y \cdot \sigma_e; \quad \tau_{ki} = k_\tau \cdot \sigma_e,$$

wobei k den von Belastungsfall, Lagerung und Seitenverhältnis $\alpha = a/b$ abhängigen Beulwert darstellt und σ_e eine Bezugsspannung ist:

$$\sigma_e = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot t^2}{12 b^2 (1 - \mu^2)} = 0,9038 E \frac{t^2}{b^2} \quad (21)$$

$$= (436 \frac{t}{b})^2 \text{ in N/mm}^2$$

Hierbei bedeuten:

- $\mu = 0,3$ Querdehnungszahl
- b Breite des Beulfeldes
- t Dicke des Beulfeldes

Zur Berücksichtigung der Minustoleranzen ist die Dicke t in Formel (21) um 5 % bei $t < 5$ mm, um 0,3 mm bei $5 \text{ mm} \leq t < 8$ mm und um 0,5 mm bei $8 \text{ mm} \leq t \leq 16$ mm abgemindert anzunehmen, sofern nicht durch entsprechende Kontrolle gewährleistet ist, daß keine Minusabweichung vorhanden ist.

Die Beulwerte (k) können für einige gebräuchliche Fälle TGL 13503/02 entnommen werden, sonst der einschlägigen Literatur, wobei die Hüllkurve der „Girlandelinien“ zu verwenden ist.

Treten Normal- und Schubspannungen gleichzeitig auf, so sind die idealen Einzelbeulspannungen σ_{zki} , σ_{yki} und τ_{ki} getrennt zu berechnen.

16.2.2. Aus den idealen Beulspannungen σ_{zki} , σ_{yki} , τ_{ki} sind die kritischen Beulspannungen σ_{zkr} , σ_{ykr} und τ_{kr} abhängig von der Art der Beulfelder, Beulspannungslinie nach Tabelle 6, nach Formel (22) zu berechnen oder Tabelle 5 zu entnehmen.

$$\frac{\sigma_{kr}}{\sigma_F} = n \sqrt{\frac{\sigma_{ki}}{\sigma_F} \left(1 - \frac{n^2}{10} \cdot \frac{\sigma_{ki}}{\sigma_F}\right)} \leq 1 \text{ und } \sigma_{kr} \leq \sigma_{ki} \quad (22)$$

$$\frac{\tau_{kr}}{\tau_F} = n \sqrt{\frac{\tau_{ki}}{\tau_F} \left(1 - \frac{n^2}{10} \cdot \frac{\tau_{ki}}{\tau_F}\right)} \leq 1 \text{ und } \tau_{kr} \leq \tau_{ki}$$

gültig für $\frac{\sigma_{ki}}{\sigma_F}$ oder $\frac{\tau_{ki}}{\tau_F} \leq \frac{1,34}{n^2}$,

bei größeren Werten ist

$$\frac{\sigma_{kr}}{\sigma_F} \text{ und } \frac{\tau_{kr}}{\tau_F} = 1$$

Die Begrenzung $\sigma_{kr} \leq \sigma_{ki}$ entfällt, wenn überkritisches Beulverhalten nach Abschnitt 16.3. berücksichtigt werden darf.

Tabelle 5 Kritische bezogene Beulspannungen $\frac{\sigma_{kr}}{\sigma_F}$ oder $\frac{\sigma_{vkr}}{\sigma_F}$ oder Beulfaktoren φ_B

$\frac{\sigma_{ki}}{\sigma_F}$ oder $\frac{\sigma_{vki}}{\sigma_F} \cdot \frac{2}{1/\lambda_B}$	φ_B bei Beulspannungslinie			
	a	b	c	d
0,10	0,313	0,282	0,254	0,229
0,12	0,342	0,309	0,278	0,251
0,14	0,369	0,333	0,300	0,271
0,16	0,394	0,355	0,321	0,289
0,18	0,417	0,376	0,340	0,306
0,20	0,438	0,396	0,357	0,323
0,22	0,459	0,415	0,374	0,338
0,24	0,478	0,432	0,391	0,353
0,26	0,497	0,449	0,406	0,367
0,28	0,514	0,465	0,421	0,380
0,30	0,531	0,481	0,435	0,393
0,32	0,548	0,496	0,449	0,405
0,34	0,563	0,510	0,462	0,417
0,36	0,578	0,524	0,475	0,429
0,38	0,593	0,538	0,487	0,440
0,40	0,607	0,551	0,499	0,451
0,42	0,621	0,563	0,510	0,462
0,44	0,634	0,576	0,522	0,472
0,46	0,647	0,588	0,533	0,482
0,48	0,660	0,599	0,544	0,492
0,50	0,672	0,611	0,554	0,502
0,52	0,684	0,622	0,564	0,511
0,54	0,695	0,632	0,574	0,520
0,56	0,706	0,643	0,584	0,529
0,58	0,717	0,653	0,593	0,538
0,60	0,728	0,663	0,603	0,547
0,62	0,739	0,673	0,612	0,555
0,64	0,749	0,683	0,621	0,563
0,66	0,759	0,692	0,630	0,571
0,68	0,769	0,701	0,638	0,579
0,70	0,778	0,710	0,647	0,587
0,72	0,787	0,719	0,655	0,595
0,74	0,797	0,728	0,663	0,602
0,76	0,806	0,736	0,671	0,610
0,78	0,814	0,745	0,679	0,617
0,80	0,823	0,753	0,686	0,624

$\frac{\sigma_{ki}}{\sigma_F}$ oder $\frac{\sigma_{vki}}{\sigma_F} \cdot \frac{2}{1/\lambda_B}$	φ_B bei Beulspannungslinie			
	a	b	c	d
0,80	0,823	0,753	0,686	0,624
0,82	0,831	0,761	0,694	0,631
0,84	0,840	0,769	0,701	0,638
0,86	0,848	0,776	0,709	0,645
0,88	0,856	0,784	0,716	0,652
0,90	0,863	0,792	0,723	0,659
0,95	0,882	0,810	0,740	0,675
1,00	0,900	0,827	0,757	0,690
1,05	0,917	0,844	0,773	0,705
1,10	0,933	0,860	0,788	0,720
1,15	0,949	0,875	0,803	0,734
1,20	0,964	0,890	0,817	0,748
1,25	0,978	0,904	0,831	0,761
1,30	0,992	0,918	0,845	0,774
1,35	(1,005)	0,931	0,858	0,786
1,40		0,944	0,870	0,798
1,45		0,956	0,883	0,810
1,50		0,968	0,894	0,822
1,60		0,991	0,917	0,844
1,70		(1,012)	0,938	0,865
1,80			0,958	0,884
1,90			0,977	0,903
2,00			0,995	0,921
2,10			(1,012)	0,939
2,20				0,955
2,30				0,970
2,40				0,985
2,50				1,000

Für $\frac{\tau_{kr}}{\tau_F}$ gelten die gleichen Werte abhängig von $\frac{\tau_{ki}}{\tau_F}$, jedoch

stets $\tau_{kr} \leq \tau_{ki}$

Werte $\frac{\sigma_{kr}}{\sigma_F} > \frac{\sigma_{ki}}{\sigma_F}$ gelten nur bei Normalspannungen, wenn

überkritisches Beulen berücksichtigt werden darf.
Klammerwerte > 1 dienen nur zur Interpolation.

Tabelle 6 Einstufung in die Beulspannungslinien

Art des Beulfeldes	Beulspannungslinie	Faktor n
geringe Eigenspannungen, z. B. nicht geschweißt oder spannungsarm geschweißt oder gegläht	a	1,00
geschweißt, Schweißnähte $\leq 1/8$ der kleineren Feldabmessung vom Rand entfernt, Vorbeulen $w_0 \leq b/250$	b	0,90
geschweißt wie Linie b, aber Vorbeulen $b/175 \leq w_0 > b/250$ oder Schweißnähte im mittleren Bereich und Vorbeulen $w_0 \leq b/250$	c	$0,9^2 = 0,81$
Schweißnähte im mittleren Bereich und Vorbeulen $b/175 \leq w_0 > b/250$	d	$0,9^3 = 0,729$

Falls Vorbeulen $w_0 > b/175$ auftreten, sind besondere Nachweise zu führen.

Die kritischen Spannungen können mit den Beulfaktoren

$$\varphi_B = \frac{\sigma_{kr}}{\sigma_F} \text{ auch dargestellt werden als}$$

$$\sigma_{kr} = \varphi_B \cdot \sigma_F$$

$$\tau_{kr} = \varphi_B \cdot \tau_F = \varphi_B \cdot \sigma_F / \sqrt{3}$$

16.2.3. Für die einzelnen Spannungen ist nachzuweisen:

$$\sigma \leq \sigma_{kr}/v \text{ und } \tau \leq \tau_{kr}/v$$

Bei zusammengesetzter Beanspruchung ist die ideale Beulvergleichsspannung

$$\sigma_{vki} = \frac{1+\psi}{4} \frac{v_z \sigma_z}{\sigma_{zki}} + \frac{1}{2} \frac{v_y \sigma_y}{\sigma_{yki}} + \sqrt{\left(\frac{3-\psi}{4} \frac{v_z \sigma_z}{\sigma_{zki}} + \frac{1}{2} \frac{v_y \sigma_y}{\sigma_{yki}} \right)^2 + \left(\frac{v_\tau \tau}{\tau_{ki}} \right)^2} \text{ zu berechnen.} \quad (23)$$

Aus $\frac{\sigma_{vki}}{\sigma_F}$ ist die bezogene kritische Beulvergleichsspannung $\frac{\sigma_{vkr}}{\sigma_F}$ nach Formel (22) oder Tabelle 5 zu bestimmen und nachzuweisen:

$$\left(\frac{v_z \sigma_z}{\sigma_{vkr}} \right)^2 + \left(\frac{v_y \sigma_y}{\sigma_{vkr}} \right)^2 - \frac{v_z \sigma_z}{\sigma_{vkr}} \cdot \frac{v_y \sigma_y}{\sigma_{vkr}} + 3 \left(\frac{v_\tau \tau}{\sigma_{vkr}} \right)^2 \leq 1 \quad (24a)$$

$$\text{oder } \sqrt{(v_z \sigma_z)^2 + (v_y \sigma_y)^2 - v_z \sigma_z \cdot v_y \sigma_y + 3 (v_\tau \tau)^2} \leq \sigma_{vkr} \quad (24b)$$

Spannungen und Spannungsverhältnis (ψ) siehe Abschnitt 16.1.3.

Näherungsweise darf auch ohne Berechnung von σ_{vki} nachgewiesen werden

$$\frac{1+\psi}{2} \left(\frac{v_z \sigma_z}{\sigma_{zkr}} \right) + \frac{1-\psi}{2} \left(\frac{v_z \sigma_z}{\sigma_{zkr}} \right)^2 + \frac{v_y \sigma_y}{\sigma_{ykr}} + \left(\frac{v_\tau \tau}{\tau_{kr}} \right)^2 \leq 1 \quad (25)$$

Die erforderlichen Beulsicherheitszahlen betragen

– bei Längsspannungen σ_z

im allgemeinen im Grenzlastfall

H: $v_z = 1,50$

HZ: $v_z = 1,33$

S: $v_z = 1,20$

wenn bei unausgesteiften Feldern beide Längsränder gestützt sind und Randeinspannung durch benachbarte Felder mit höherer Beulsicherheit nicht berücksichtigt wird im Grenzlastfall

H: $v_z = 1,50 - 0,075(1-\psi) \geq 1,35$

HZ: $v_z = 1,33 - 0,040(1-\psi) \geq 1,25$

S: $v_z = 1,20 - 0,050(1-\psi) \geq 1,10$

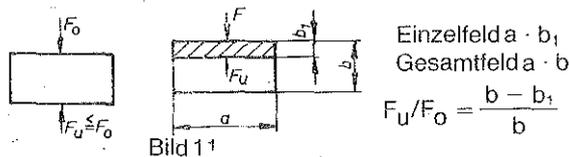
– bei Beanspruchung durch örtliche Lasteintragung

σ_y , siehe Bild 11, im Grenzlastfall

H: $v_y = 1,35 + 0,15 F_U/F_0$

HZ: $v_y = 1,25 + 0,08 F_U/F_0$

S: $v_y = 1,10 + 0,10 F_U/F_0$



Einzelfeld $a \cdot b_1$
Gesamtfeld $a \cdot b$
 $F_U/F_0 = \frac{b - b_1}{b}$

– bei Schubspannungen τ im Grenzlastfall

H: $v_\tau = 1,35$

HZ: $v_\tau = 1,25$

S: $v_\tau = 1,10$

16.3. Überkritisches Beulverhalten

Überkritisches Beulverhalten mit Überschreitung der idealen Beulspannungen (σ_{ki} oder τ_{ki}) darf bei Bauteilen der Berechnungsgruppe C nach TGL 13500/01 in nachstehenden Fällen berücksichtigt werden. Bei Berechnungsgruppe A erfordert die Anwendung besondere Überlegungen.

16.3.1. Gedrückte Teile

Der Wert $\frac{\sigma_{kr}}{\sigma_F}$ nach Abschnitt 16.2.2., Formel (22), kann auch als Verhältnis der mitwirkenden Breite (b_m) zur geometrischen Breite (b) angesehen werden:

$$\frac{b_m}{b} = \frac{\sigma_{kr}}{\sigma_F} = \varphi_B \quad (26)$$

Die ideale Beulspannung (σ_{ki}) ist entsprechend der Verteilung der Längsspannung und der Lagerung des Beulfeldes zu berechnen. Der Nachweis darf entweder nach Abschnitt 16.2. ohne die Begrenzung $\sigma_{kr} \leq \sigma_{ki}^0$ oder als Spannungsnachweis $\sigma_z \leq \sigma_F/v_z$ mit dem Ersatzquerschnitt der Breite b_m erfolgen.

16.3.2. Stege von Biegeträgern

Das überkritische Tragverhalten der Stege biegebeanspruchter Träger darf entweder durch die Berechnung nach Abschnitt 16.3.1. oder durch eine Spannungsberechnung berücksichtigt werden, bei der die Druckzone des Stegbleches als ausgebeult und nur teilweise mitwirkend angenommen wird, siehe TGL 13503/02.

16.3.3. Schubbeanspruchte Teile

Das überkritische Tragverhalten schubbeanspruchter Felder darf berücksichtigt werden.

Die Tragspannung setzt sich aus der idealen oder reduzierten Beulspannung (τ_{kr}) und einem überkritischen Anteil ($\Delta\tau$) zusammen, der bei geeigneten konstruktiven Bedingungen nach einer Zugfeldtheorie berechnet werden darf, siehe TGL 13503/02. Für die Beulspannung (τ_{kr}) ist die Sicherheitszahl v_τ und für den überkritischen Anteil ($\Delta\tau$) die Sicherheitszahl v_{kr} anzusetzen, so daß die zulässige Schubspannung

$$\text{zul } \tau = \frac{\tau_{kr}}{v_\tau} + \frac{\Delta\tau}{v_{kr}} \text{ wird.} \quad (27)$$

Die Schweißnähte müssen für die Aufnahme der Zugfeldspannung bemessen werden.

16.3.4. Kombinierte Beanspruchung

Bei kombinierter Beanspruchung darf sinngemäß nach Abschnitt 16.2.3. gerechnet werden, sofern kein genauere Nachweis geführt wird, siehe TGL 13503/02.

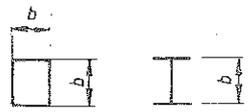
16.4. Örtliches Beulen dünnwandiger Stege

Wird der Steg am Auflager oder unter Einzellasten nicht ausgesteift, so ist insbesondere bei Leichtbauprofilen die aufnehmbare Kraft durch örtliche Verformung (Krüppeln) begrenzt, siehe TGL 13503/02.

16.5. Breite/Dicke-Verhältnis

Um zu große Verformungen druckbeanspruchter Querschnitte zu vermeiden, sollen die Verhältnisse b/t nach Tabelle 7 nicht überschritten werden. Ab etwa der Hälfte dieser Zahlenwerte ist sichtbares Ausbeulen zu erwarten.

Tabelle 7 Maximalwerte b/t

Lagerungsbedingungen	max. b/t
Profile  beide Längsränder praktisch unverschieblich	250
Profilbleche 	500
ein Längsrand unverschieblich, der andere durch eine elastische Steife außer Bördel mit l_{\min} nach TGL 13503/02, Abschnitt 17.2.2. gelagert	90
ein Längsrand unverschieblich, der andere durch Bördel oder beide Längsränder elastisch, z. B. durch Sicken gelagert	60
ein Längsrand unverschieblich, der andere frei	30

17. BEULEN AUSGESTEIFTER EBENER BLECHE

17.1. Ausgesteifte Beulfelder

Ausgesteifte Felder haben zusätzlich zur Lagerung an den Rändern noch Zwischensteifen. Sie sind abhängig vom Seitenverhältnis (α) und der Zahl der Längssteifen unterschiedlich zu berechnen, weil ihr Tragverhalten entweder mehr dem Beulen oder mehr dem Stabknicken entspricht.

Nur aus konstruktiven oder technologischen Gründen angeordnete, statisch nicht berücksichtigte Steifen werden nicht gezählt.

Das Einzelfeld zwischen den Steifen muß ausreichende Beulsicherheit nach Abschnitt 16. haben.

17.1.1. Ausgesteifte Felder mit Beanspruchung durch örtliche Lasteintragung σ_y oder F oder Schub τ sind nach Abschnitt 16.1. und 16.2. mit den Beulwerten (k) für ausgesteifte Felder zu berechnen. Bei mehr als 2 Längssteifen betragen die erforderlichen Sicherheitszahlen im Grenzlasterfall

$$H: v_y = v_\tau = 1,50$$

$$HZ: v_y = v_\tau = 1,33$$

$$S: v_y = v_\tau = 1,20$$

Bei Durchlaufträgern mit mehr als zwei Längssteifen sind die unmittelbar an mittlere Auflager anschließenden Einzelfelder mit dem 1,3fachen Betrag der Schubspannung auf Beulen nach Abschnitt 16.1. und 16.2. zu berechnen, wenn nicht durch konstruktive Maßnahmen eine Erhöhung der Schubspannung vermieden wird.

17.1.2. Durch Normalspannungen (σ_z) beanspruchte Felder mit höchstens 3 Längssteifen im Druckbereich sind im Regelfall nach Abschnitt 16.1. und 16.2. mit den Beulwerten (k) für

ausgesteifte Felder zu berechnen, der Nachweis nach dem Knickstabverfahren nach Abschnitt 17.1.3. ist auch zulässig. Sind ausnahmsweise die zulässigen Abweichungen nach TGL 13510/07 überschritten, ist der Nachweis nach Abschnitt 17.1.3. zu führen.

17.1.3. Durch Druckspannungen (σ_z ($\psi \geq 0$)) beanspruchte Felder mit mehr als 3 Längssteifen und einem Seitenverhältnis $\alpha \leq 0,9$ sind nach dem Knickstabverfahren zu berechnen. Das Beulfeld wird in einzelne Stäbe zerlegt gedacht, die aus der Längssteife und dem mitwirkenden Blech nach Abschnitt 16.3.1. bestehen.

Für diese Stäbe ist der Nachweis nach Abschnitt 6. zu führen, sofern die Toleranzen nach TGL 13510/07 eingehalten sind. Einstufung in die Knickspannungslinien nach Abschnitt 17.2.4. Der bezogene Schlankheitsgrad ist $\bar{\lambda} = \sqrt{\sigma_F / \sigma_{zki}}$, wobei σ_{zki} die ideale Beulspannung für das ausgesteifte Feld ist. Er muß stets mit $\bar{\lambda} \geq 0,4$ angenommen werden, auch wenn die Berechnung einen kleineren Wert ergibt. Näherungsweise darf der Schlankheitsgrad auch als $\lambda = l/i$ angenommen werden, wobei l der Abstand der Quersteifen ist.

Sind ausnahmsweise die Abweichungen größer als nach TGL 13510/07 zulässig, so ist die Zustimmung der zuständigen Prüfstelle einzuholen und der Nachweis nach Abschnitt 9. zu führen. Dabei darf die Imperfektion (μ_N) unberücksichtigt bleiben, wenn die gemessene Außermittigkeit einen größeren Betrag ergibt; sonst ist nur mit μ_N zu rechnen.

17.1.4. Für durch Normalspannungen (σ_z) beanspruchte Felder mit mehr als 3 Längssteifen und einem Seitenverhältnis $\alpha > 0,9$ oder $\alpha \leq 0,9$ bei $\psi < 0$ darf die Berechnung nach Abschnitt 17.1.2. oder 17.1.3. erfolgen. Bei ausnahmsweiser Überschreitung der nach TGL 13510/07 zulässigen Abweichungen ist nach Abschnitt 17.1.3. zu rechnen.

17.1.5. Treten in den Längssteifen planmäßig Biegemomente auf, z. B. aus Radlasten, so ist der Nachweis im Sinne von Abschnitt 17.1.3. für Druck und Biegung nach Abschnitt 9. zu führen, sofern die Tragfähigkeit nicht offensichtlich oder nach Erfahrung gegeben ist, z. B. bei orthotropen Fahrbahnplatten von Straßenbrücken. Der Schlankheitsgrad ist $\lambda = l/i$ mit der Forderung $\bar{\lambda} \geq 0,4$.

17.1.6. Das Zusammenwirken mehrerer Beanspruchungsarten, z. B. σ_z , σ_y , τ , darf nach Abschnitt 16.2.3. nachgewiesen werden.

17.2. Steifen

17.2.1. Das Trägheitsmoment der Steifen ist auf die Schwerlinie von Steife und mitwirkendem Blech zu beziehen. Die mitwirkende Breite ist nach Abschnitt 16.3.1. zu berechnen; näherungsweise darf sie mit der 30fachen Dicke des mitwirkenden Bleches angenommen werden.

Das Trägheitsmoment (I) darf kleiner als die Mindeststeifigkeit (I^*) sein, wenn ein $I < I^*$ entsprechender Beulwert (k) für das ausgesteifte Feld angesetzt wird.

17.2.2. Die Mindeststeifigkeit (I^*) für Aussteifungen von Blechen mit 2 und mehr torsionssteifen oder 2 torsionsweichen Längssteifen ist gegenüber den theoretischen Werten zu verdoppeln, bei 3 und mehr torsionsweichen Längssteifen zu verdreifachen, sofern kein genauere Nachweis erfolgt.

Zur Ermittlung des Beulwertes (k) ist das Trägheitsmoment (I) der Steifen bei Feldern mit 2 und mehr torsionssteifen oder 2 torsionsweichen Längssteifen nur mit 1/2, bei 3 und mehr torsionsweichen Längssteifen nur mit 1/3 des berechneten Wertes einzuführen.

17.2.3. Sind Exzentrizitäten beim Stoß von Steifen nicht zu vermeiden, muß ihr Einfluß untersucht werden. Längssteifen sind an Queraussteifungen so anzuschließen, daß sie rechtwinklig zur Blechebene gehalten sind, es sei denn, das Blech ist in der Lage, durch Querbiegung die Stabilisierungskräfte zu übertragen.

Ausschnitte an Steifen, die z. B. aus schweißtechnischen Gründen angeordnet werden, dürfen die Aussteifungswirkung nicht beeinträchtigen.

Längssteifen, die an den Kreuzungsstellen mit Queraussteifungen ungeschwächt durchgeführt oder gleichwertig gestoßen sind, dürfen bei der Berechnung von Fläche und Trägheitsmoment des gesamten Trägerquerschnittes berücksichtigt werden, wenn eine einwandfreie Übertragung der anteiligen Axialkräfte der Steife durch ihre Anschlüsse gewährleistet ist und im Druckbereich das Blech zwischen den Steifen $b/t \leq 60$ und $t \geq 2$ mm aufweist.

Bei der Berechnung nach Abschnitt 17.1.3. gilt die Einschränkung b/t und t nicht.

Bei $60 < b/t < 85$ und $t \geq 2$ mm ist im Druckbereich die wirksame Steifenfläche abzumindern auf:

$$A_{S \text{ red}} = A_S \left[1 - 0,04 \left(1 - \frac{b_m}{b} \right) \left(\frac{b}{t} - 60 \right) \right] \quad (28)$$

bei $b/t \geq 85$ und $t \geq 2$ mm auf

$$A_{S \text{ red}} = A_S \cdot \frac{b_m}{b} \quad (29)$$

Bei $t < 2$ mm (Nennmaß) ist $A_S = 0$ zu setzen.

Hierbei bedeuten:

A_S Fläche einer Steife ohne Berücksichtigung angrenzender Querschnittsteile

b_m mitwirkende Breite nach Abschnitt 16.3.1.

17.2.4. Bei der Berechnung nach dem Knickstabverfahren nach Abschnitt 17.1.3. sind bei Steifen mit Ausnahme der

Flachstahlsteifen die Knickfaktoren (φ) oder Imperfektionen (μ_N) nach Knickspannungslinie b anzunehmen.

Für Flachstahlsteifen gelten die Werte der Knickspannungslinie c. Die zulässige Spannung ist auf 85 % herabgesetzt.

Flachstahl- oder Flachwulststeifen dürfen zur Längsaussteifung druckbeanspruchter Felder nur angewendet werden, wenn die Beulsicherheit mindestens 30 % größer als der in Abschnitt 17.1. geforderte Wert oder der Schlankheitsgrad des Knickstabes $\lambda \leq 80$ ist. Bei Flachstahlsteifen muß $b/t \leq 15$ sein.

Ein Biegedrillknicknachweis beim Knickstabverfahren ist nicht erforderlich.

17.2.5. Steifen dürfen nur dann aus Stahl geringerer Festigkeit als das auszusteiende Blech bestehen, wenn sie unter Einwirkung der kritischen Beulbelastung keine höhere Spannung als $0,8 \sigma_F$ erhalten.

17.2.6. Queraussteifungen in druckbeanspruchten Feldern sind auf Biegung für eine Kraft von 2 % der Längskraft des versteiften Bleches zu bemessen, sofern kein genauere Nachweis erfolgt.

17.2.7. Die Summe der Flächen der Schweißnähte zwischen Längssteifen und Blech soll 0,3 % der gesamten Querschnittsfläche von Längssteifen und Blech nicht überschreiten, sonst sind die durch das Schweißen entstehenden Eigenspannungen zu berücksichtigen.

18. BEULEN VON KREISZYLINDERSCHALEN

18.1. Axialbeanspruchung

Die ideale Beulspannung isotroper Kreiszylinderschalen ist

$$\sigma_{ki} = k \cdot 0,605 E \cdot \frac{t}{r} = k \cdot 127000 \cdot \frac{t}{r} \text{ in N/mm}^2 \quad (30)$$

Für axialgedrückte Kreiszylinderschalen-Abschnitte ist

$$\begin{aligned} \sigma_{ki} &= 0,605 E \left[\frac{t}{r} + 6 \left(\frac{t}{b} \right)^2 \right] \\ &= 127000 \left[\frac{t}{r} + 6 \left(\frac{t}{b} \right)^2 \right] \text{ in N/mm}^2 \quad (31) \end{aligned}$$

Hierbei bedeuten:

t Wanddicke

r Radius des Kreiszylinders, bis Wandmittelfläche gemessen

$b = \varrho \cdot r$ Breite eines Schalen-Abschnittes zwischen zwei Steifen, auf dem Umfang gemessen, siehe Bild 12

$k = 1$ bei Axialdruck

$k = 1,2$ bei Biegung

Zwischenwerte sind entsprechend dem Anteil der Spannung aus Axialdruck und Biegung zu interpolieren.

Die Tragspannung ist

$$\begin{aligned} \sigma_{kr} &= c \cdot \sigma_{ki} \\ \text{bei } c \cdot \sigma_{ki} &\leq 0,6 \sigma_F \end{aligned} \quad (32 a)$$

$$\begin{aligned} \sigma_{kr} &= \sigma_F \cdot \left(1,1 - 0,3 \frac{\sigma_F}{c \cdot \sigma_{ki}} \right) \leq \sigma_F \\ \text{bei } c \cdot \sigma_{ki} &> 0,6 \sigma_F \end{aligned} \quad (32 b)$$

Hierbei bedeutet:

c nach Tabelle 8.

Wenn die kritische Spannung (σ_{kr}) für einen Schalenabschnitt zwischen zwei Längssteifen bei Berechnung als ebenes Blech nach Abschnitt 16. größer ist als nach den Formeln (31) und

(32 a) oder (32 b), darf sie als maßgebend angesehen werden.

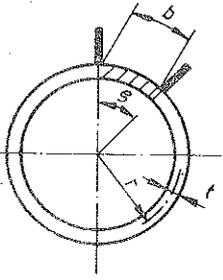


Bild 12

Als Sicherheitszahl gilt v_{kr} nach Abschnitt 2.

Tabelle 8 Faktor c

	Rohre	größte Vorbeulungstiefe w_0	c
a	gewalzt oder spiralgeschweißt	$0,3 t$	0,33
b	gewalzt oder spiralgeschweißt	t	0,25
c	gewalzt oder spiralgeschweißt	$2 t$	0,19
	längsgeschweißt	t	
d	längsgeschweißt	$2 t$	0,14

Bei langen Rohren ist der Knickfaktor (φ) zu bestimmen und nachzuweisen

$$\sigma_c \leq \sigma_{kr} \cdot \varphi / v_{kr} \quad (33)$$

Bei langen Rohren mit Druck- und Biegebeanspruchung ist die maximale Biegedruckspannung (max. σ) nach Theorie II. Ordnung zu berechnen und nachzuweisen.

$$\max. \sigma \leq \sigma_{kr} / v_{kr} \quad (34)$$

Längssteifen sind als Knickstab nach Abschnitt 17.1.3. nachzuweisen, sofern kein genauere Nachweis erfolgt. Die mitwirkende Breite des Zylindermantels ist mit

$$b_m = b \cdot \frac{\sigma_{kr}}{\sigma_F} \leq b \quad (35)$$

anzunehmen.

Die Vorbeulungstiefe (w_0) ist in Längsrichtung des Rohres auf einer Bezugslänge von $500 \text{ mm} \leq 4 \sqrt{r \cdot t} \leq 2000 \text{ mm}$ zu messen, siehe Bild 13. Im Bereich von Schweißnähten ist die Bezugslänge 500 mm.

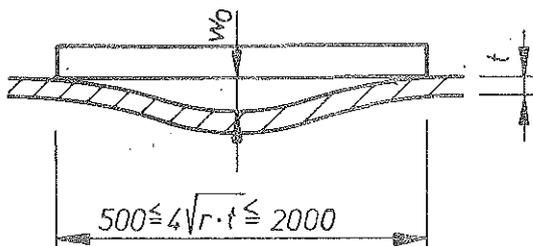


Bild 13

18.2. Schubbeanspruchung

Als ideale Beulschubspannung einer isotropen Kreiszyinderschale ist anzunehmen

$$\tau_{ki} = 1,8 \cdot E \cdot \left(\frac{t}{r} \right)^{\frac{5}{4}} \left(\frac{r}{l} \right)^{\frac{1}{2}} = 378000 \left(\frac{t}{r} \right)^{\frac{5}{4}} \left(\frac{r}{l} \right)^{\frac{1}{2}} \quad \text{in N/mm}^2 \quad (36)$$

Hierbei bedeutet:

l Länge des Kreiszyinders, wobei $l \geq r$ vorausgesetzt ist.
Übrige Formelzeichen nach Abschnitt 18.1.

Die Trag-Schubspannung ist

$$\tau_{kr} = c \cdot \tau_{ki} \quad \text{bei } c \cdot \tau_{ki} \leq 0,6 \tau_F = 0,35 \sigma_F \quad (37 a)$$

$$\begin{aligned} \tau_{kr} &= \tau_F \left(1,1 - 0,3 \frac{\tau_F}{c \cdot \tau_{ki}} \right) \leq \tau_F \\ &= \sigma_F \left(0,635 - 0,1 \frac{\sigma_F}{c \cdot \tau_{ki}} \right) \leq 0,577 \cdot \sigma_F \quad (37 b) \end{aligned}$$

bei $c \cdot \tau_{ki} > 0,6 \tau_F = 0,35 \sigma_F$

Hierbei bedeutet:

c nach Tabelle 8;

Als Sicherheitszahl gilt (v_{kr}) nach Abschnitt 2.

18.3. Kombinierte Beanspruchung

Beim Zusammenwirken von Axialdruckspannungen (σ_z) und Schubspannungen (τ) ist nachzuweisen:

$$\frac{v_{kr} \sigma_z}{\sigma_{kr}} + \left(\frac{v_{kr} \tau}{\tau_{kr}} \right)^2 \leq 1 \quad (38)$$

Hinweise

Ersatz für TGL 13503/01 Ausg. 3. 72 und TGL 13506/01 Ausg. 12. 72

Änderungen gegenüber 13503/01 und TGL 13506/01:
redaktionell überarbeitet;

Gliederung gegenüber TGL 13503/01 verändert, dadurch teilweise andere Abschnittsnummern. Einige Abschnitte gekürzt, weil Berechnungsmöglichkeiten, die nicht verbindlich angewendet werden müssen, in TGL 13503/02 übernommen sind.

Aus TGL 13506/01 sind nur die Festlegungen zur Stabilitätsberechnung und mitwirkenden Breite in veränderter Form übernommen. Die übrigen Festlegungen gehen in TGL 13500/01 und /02 ein. Berechnung der Druckstäbe verändert. Knickzahlen ω durch Knickfaktoren φ (entsprechend $1/\omega$) ersetzt. Imperfektion μ_N als sinusförmige Vorkrümmung statt als exzentrischer Kraftangriff bei früherem μ_0 ; Zahlenwerte verändert. Einstufung der Stäbe in Knickspannungslinie a bis d. Nachweis mit σ_{ki} und v_{ki} entfällt.

Kippung der Träger verändert. Vom Tragmoment M_T und idealen Kippmoment M_{ki} ausgehend, werden kritische Momente M_{kr} bzw. Kippfaktoren φ_M nach Kippmomentenlinie a bis d entsprechend der Art des Trägers festgelegt. Abminderung nach Engesser-Knickspannungen entfällt.

Stabilisierungskräfte in Verbänden reduziert entsprechend den Toleranzen nach TGL 13510/07.

Berechnung ebener Bleche verändert. Überkritisches Beulen zugelassen. Übergang von idealen Beulspannungen σ_{ki} auf reale Beulspannungen σ_{kr} nach Beulspannungslinie a bis d entsprechend der Art des Beulfeldes. Abminderung nach Engesser-Spannungen entfällt. Festlegungen für ausgesteifte Blechfelder neu aufgenommen oder erweitert.

Die im Abschnitt 17.2.2. geforderte Erhöhung der Mindeststeifigkeit I^* bezieht sich z. B. auf die Beulwerte nach Klöppel-Möller und Klöppel-Scheer. Abschnitt 18. – Beulung von Kreiszyinderschalen – neu aufgenommen.

Im vorliegenden Standard ist auf folgende Standards Bezug genommen: TGL 13500/01 und /02; TGL 13503/02; TGL 13510/07

