DK 624:351.78:531.36 **DDR-Standard** 22. April 1970 September 1962 -/-

Deutsche Demokratische Republik

Stahlbau

Stabilitätsfälle (Knickung, Kippung, Beulung)

Berechnungsgrundlagen Vorschriften

TGL 0-4114 Blatt 1

Gruppe 311

Eigentum der ZIS

Стальное Строительство

Случаи Устойчивости/Деформация при продольном изгибе, Опрокидывание, Выпучивание

Основания Расчёта Предписания

Steel structures

Stability (buckling, overturning, bulging)

method of calculation regulations

Verbindlichkeit aufgehoben lt. AO 693 ab 1.4.73

Verbindlich ab 1. 1. 1963

Inhalt

1. Allgemeines
2. Geltungsbereich

Knickung der Druckstäbe

3. Grundsätzliches

Gerade, planmäßig mittig gedrückte Stäbe

4. Allgemeines
5. Höchstzulässiger Schlankheitsgrad
6. Knicklänge
7. Einteilige Druckstäbe von gleichbleibendem Querschnitt
8. Mehrteilige Druckstäbe von gleichbleibendem Querschnitt
9. Dünnwandige Teile von Druckstäben

Gerade, planmäßig außermittig gedrückte Stäbe; Beanspruchung auf Druck und Biegung

10. Gerade, planmäßig außermittig gedrückte Stäbe von gleichbleibendem Querschnitt

Druckgurte und Druckstäbe mit federnder Querstützung einschließlich Hilfsstäbe zum Abstützen von Druckstäben

11. Allgemeines
12. Näherungsverfahren

Bogenträger

13. Knickung symmetrischer Bogenträger

Rahmen

14. Knicklänge der Stiele freistehender Rechteckrahmen

Kippung der Träger

15. Kippsicherheit von Trägern mit I-Querschnitt

Beulung der Stegbleche vollwandiger Träger

16. Allgemeines
17. Nachweis der erforderlichen Beulsicherheit
18. Aussteifung von Stegblechen
19. Knickzahlen ω für einteilige Druckstäbe aus Rundrohren

Ersetzt durch TGL 13 503 Bl. 1 Ausg. 7.72

1. Allgemeines

Es ist besonders sorgfältig zu untersuchen, ob in Stahltragwerken oder Teilen von Stahltragwerken instabile Gleichgewichtszustände auftreten können. Die Stabilität des Gleichgewichtes eines Stahltragwerkes muß nicht nur im fertigen Zustand, sondern auch in jedem Bau- und Umbauzustand gesichert sein. Ein wichtiges Mittel zur Sicherstellung der Stabilität sind die Verbände. Sie sind so auszubilden, daß sie die einzelnen Bauteile und das ganze Tragwerk am seitlichen Ausweichen hindern und auf diese Weise eine hinreichend hohe Lage der Stabilitätsgrenze gewährleisten.

2. Geltungsbereich

Die Berechnungsgrundlagen für Stabilitätsfälle im Stahlbau (Knickung, Kippung, Beulung) TGL 0-4114 gelten für:

a) TGL 13 500 Stahlbau, Stahltragwerke, Berechnung und bauliche Durchbildung;

b) TGL 13 501, Bl. 1 und 2 Stahlbau, Stahlleichttragwerke und Stahlrohrtragwerke, Berechnung und bauliche Durchbildung;

c) TGL 13 450 Stahlbau, Stahltragwerke im Hochbau;

d) TGL 13 460 Stahlbau, Stählerne Straßenbrücken;

e) TGL 13 470 Stahlbau, Stahltragwerke für Krane;

f) TGL 13 471 Stahlbau, Stahltragwerke für Kranbahnen;

g) TGL 13 472 Stahlbau, Stahltragwerke für Abraumförderbrücken, Bagger, Absetzer und Gurtbandförderer;

h) TGL 13 480 Stahlbau, Stählerne Antennentragwerke;

i) TGL 13 481 Stahlbau, Stahltragwerke für ortsfeste und bewegliche Bohrgerüste,

k) TGL 10 727 Fliegende Bauten, Bemessung, Ausführung;

l) Deutsche Reichsbahn, DV 804 Berechnungsgrundlagen für stählerne Eisenbahnbrücken (BE);

m) Deutsche Reichsbahn, DV 848 Vorschriften für geschweißte Eisenbahnbrücken;

n) Vorschriften für den Bau von Starkstromfreileitungen;

o) TGL 0-4118 Berechnungsgrundlagen für Fördergerüste.

Bearbeiter: Fachbereich 21, Stahlbau

Bestätigt: 24. 9. 1962, Amt für Standardisierung, Berlin

Fortsetzung Seite 2 bis 18

(688) Ag 103/2/69 DDR

Vertrieb: Buchhaus Leipzig, 701 Leipzig, Postschließfach 140 – Verlag: VEB Fachbuchverlag, 7031 Leipzig

Knickung der Druckstäbe

3. Grundsätzliches

Im allgemeinen Fall des gedrückten Stabes, bei dem Schwerachse (*S*), Schubmittelpunktsachse (*M*) und Lastwirkungslinie (*P*) nicht zusammenfallen (vgl. Bild 1), tritt beim seitlichen Ausweichen des Stabes sowohl eine Verbiegung als auch eine Verdrehung ein, wobei im allgemeinen die Verbindungslinie der Drillruhepunkte (*D*) mit keiner der genannten drei Linien zusammenfällt und bei geeigneten Randbedingungen an den Stabenden auch eine Kurve sein kann. Diese Art des Ausweichens wird mit Biegedrillknickung bezeichnet. Je nach Lage des Lastangriffspunktes und Form des Querschnittes ergeben sich als Sonderfälle die Biegeknickung mit ausschließlicher Verbiegung des Stabes um eine Hauptachse (gekennzeichnet im elastischen Bereich durch die Euler-Formeln) und die Drillknickung mit ausschließlicher Verdrehung des Stabes um die dann mit der Schubmittelpunktsachse (*M*) und der Lastwirkungslinie (*P*) zusammenfallende Schwerachse (*S*). Hierzu geben die Richtlinien Ri 3 weitere Erläuterungen.

S = Schwerpunkt
P = Lastangriff
M = Schubmittelpunkt
D = Drillruhepunkt

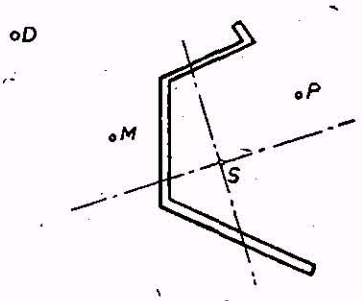


Bild 1

Gerade, planmäßig mittig gedrückte Stäbe

4. Allgemeines

Als gerade, mittig gedrückte Stäbe gelten nur die, die nach dem Bau-Entwurf als solche angegeben sind. Stäbe, deren Druckkraft außermittig an einem planmäßig bekannten Hebel angreift oder deren Achse schon im lastfreien Zustand eine Krümmung von planmäßig festgelegter Größe hat, oder Stäbe, die außer der Druckkraft noch Querlasten oder Kräftepaare zu tragen haben, sind nach Abschnitt 10. zu berechnen. Bei waagerecht oder schräg liegenden Druckstäben, deren auf die waagerechte Ebene projizierte Netzlänge mehr als 6,00 m beträgt, ist die Wirkung des Eigengewichtes nach Abschnitt 10.5. zu berücksichtigen.

5. Höchstzulässiger Schlankheitsgrad

Der Schlankheitsgrad λ der Druckstäbe (Abschnitt 7.) darf nicht größer als 250 sein. Insonderheit gilt folgendes: Im Brückenbau 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 (Abschnitt 12.4.), dürfen jedoch Schlankheitsgrade bis 200 aufweisen. Bei mehrteiligen Druckstäben ist hier der ideelle Schlankheitsgrad (Abschnitt 8.) einzuführen. Für Gittermaste von Starkstromfreileitungen entfällt die Begrenzung der Schlankheit.

6. Knicklänge

6.1. Allgemeines

6.1.1. Die Bemessung von Druckstäben mit gleichbleibender Querschnittsfläche *F*, jedoch mit beliebiger Lagerung oder veränderlichen Normalkräften oder mit Druckkräften, die ihre Richtung während des Ausknickens nicht beibehalten, darf zurückgeführt werden auf das Verfahren des Abschnittes 7. zur Bemessung von Stäben mit gelenkiger Lagerung und an den Enden angreifenden richtungstreuen Druckkräften. Es ist dazu als wirksame Knicklänge eine gedachte Länge $s_K = \beta s$ einzuführen, worin *s* die Netzlänge des Stabes bedeutet.

In der Regel wird vorausgesetzt, daß die beiden Enden des Stabes durch Verbände, Scheiben, Zugglieder oder nach Abschnitt 12. gegen seitliches Ausweichen gesichert sind. Hierbei ist die Wirkung einer Einspannung und Verhinderung der Querschnittsverwölbung unberücksichtigt zu lassen, wenn von den im weiteren angeführten Ausnahmefällen abgesehen und kein genauerer, auch das Verhalten der einspannenden Stäbe (also der gesamten Stabverbindung) berücksichtigender Nachweis erbracht wird. Die Stabenden sind demnach als gelenkig festgehalten anzusehen, und die Knicklänge s_K ist der Netzlänge *s* gleichzusetzen. Ist die Voraussetzung unverschieblich festgehaltener Stabenden nicht erfüllt, so kann die Knicklänge s_K erheblich größer als die Netzlänge *s* sein ($\beta > 1$).

6.1.2. Beim Anschluß von Hilfsstäben, die einen Druckstab gegen das seitliche Ausknicken sichern sollen, ist darauf zu achten, daß auch die abstehenden Teile (Flanschen) des Druckstabes gegen das seitliche Ausweichen gesichert sind.

6.2. Gurtstäbe von Fachwerken und Endstreben von Trapezträgern

6.2.1. Für das Ausknicken in der Fachwerkebene gilt $s_K = s$.

6.2.2. Für das Ausknicken rechtwinklig zur Fachwerkebene gelten folgende Festsetzungen:
Sind die Knotenpunkte seitlich unverschieblich festgehalten, so ist $s_K = s$.

Sind die Knotenpunkte nur federnd quergestützt, so gelten die Vorschriften des Abschnittes 11. und 12.

Sind die Knotenpunkte *a* und *b* in beiden Fachwerkebenen seitlich unverschieblich festgehalten, wirken aber in den beiden Hälften der Stablänge verschiedengroße Druckkräfte S_1 und $S_2 < S_1$ (Bild 2), so ist der Stab mit der Druckkraft S_1 und der Knicklänge $s_K = s \cdot (0{,}75 + 0{,}25 \cdot S_2/S_1)$ zu berechnen.

6.3. Streben und Pfosten von Fachwerken

6.3.1. Für das Ausknicken in der Fachwerkebene und das Drillknicken gilt für s_K der Abstand s_0 der nach der Zeichnung geschätzten Schwerpunkte der Anschlußnietgruppen oder Schweißanschlüsse an den beiden Stabenden. Wird der Stab von einem anderen Stab gekreuzt, so darf der Kreuzungspunkt in der Fachwerkebene als unverschieblich angesehen werden, wenn die sich kreuzenden Stäbe durch mindestens ein Viertel der zum Anschluß des gedrückten Stabes erforderlichen Niete oder eine nach den Vorschriften gleichwertige Schweißverbindung miteinander verbunden sind.

6.3.2. Für das Ausknicken rechtwinklig zur Fachwerkebene gelten die folgenden Festsetzungen
Ist der Stab an den beiden Enden unverschieblich festgehalten, so gilt $s_K = s$. Bildet er zusammen mit einem Querträger oder einem Querriegel einen biegesteifen, nicht querverschieblichen Rahmen (Bild 3a), so darf $s_K = 0{,}8 \cdot s$ gesetzt werden. Gehört der Fachwerkstab einem geschlossenen, nicht querverschieblichen biegesteifen Rahmen an (Bild 3 b), so darf $s_K = 0{,}7 \cdot s$ gesetzt werden. Für querverschiebliche Rahmen gilt der Abschnitt 14.

6.3.3. Besteht der Stab aus einem einzelnen Winkelstahl, so ist die in 10.8. angegebene Vorschrift zu beachten.

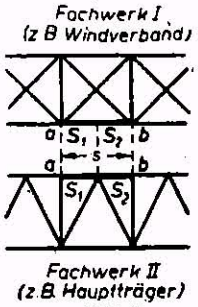


Bild 2

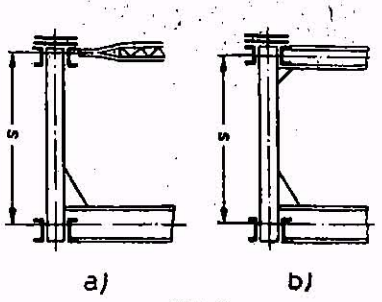


Bild 3

6.4. Geschoßstützen

6.4.1. Stehen die Stützen in mehreren Stockwerken übereinander und werden ihre Enden unverrückbar festgehalten, so darf die Geschoßhöhe als Knicklänge zugrunde gelegt werden. Beim untersten Geschoß ist die Knicklänge vom Stützenfuß aus zu messen.

6.4.2. Eingemauerte, eingeschossige Stützen in $^1/_2$-Stein dicken Stahlfachwerkwänden müssen auch auf Knickung in der Wandebene berechnet werden, und zwar mindestens mit einer Knicklänge gleich dem Abstand der an die Stützen angeschlossenen Riegel, die durch Verbände dauernd gegen Verschiebungen in der Wandebene gesichert sind. Werden Stahlstützen in mehr als $^1/_2$-Stein dicke Wände eingemauert, so müssen sie in der Wandebene zumindest für die Länge knicksicher ausgebildet werden, die der Tür- oder Fensterhöhe des betreffenden Gebäudes entspricht. Bei Stützen in ausgemauerten Wänden von mehrgeschossigen Stahlskelettbauten darf die Querstützung durch die Ausmauerung bei der Bestimmung der wirksamen Knicklänge nicht berücksichtigt werden.

6.4.3. Nach TGL 13 450 (Stahlbau, Stahltragwerke im Hochbau) dürfen bei durchgehenden Geschoßstützen, die nur auf Druck beansprucht werden und deren Stöße in den äußeren Viertelteilen der Knicklänge angeordnet sind, die Verlaschungen und Nietanschlüsse der Stöße für die halbe Stützenlast bemessen werden, wenn die Endquerschnitte winkelrecht gefräst oder gehobelt sind und fugenlos aufeinander liegen. Am Kopf und Fuß der nur auf Druck beanspruchten Stützen brauchen bei winkelrechter Fräsung der Endquerschnitte und bei Anordnung ausreichend dicker Auflagerplatten die Niete der Anschlußteile (Schaftbleche, Winkel u. dgl.) nur für ein Viertel der Stützenlast bemessen zu werden.

7. Einteilige Druckstäbe von gleichbleibendem Querschnitt

7.1. Bei einteiligen Druckstäben muß

$$\omega \cdot \frac{S}{F} \leqq \sigma_{zul}$$

sein. Hierbei bedeutet

S den Absolutwert der größten im Stab auftretenden Druckkraft in kp, berechnet unter Berücksichtigung der dynamischen Kräfte und Schwingbeiwerte nach den jeweiligen Vorschriften.

F die unverschwächte Querschnittsfläche des Stabes in cm²

σ_{zul} die für den untersuchten Belastungsfall und die gewählte Baustahlsorte geltende zulässige Druckspannung in kp/cm² (z. B. nach TGL 13 500 [1]); Deutsche Reichsbahn, Berechnungsgrundlagen für stählerne Eisenbahnbrücken [1]))

ω die von der Baustahlsorte und dem Schlankheitsgrad λ abhängige, aus den Tabellen 1 oder 2 zu entnehmende Knickzahl

λ den Schlankheitsgrad des Stabes, d. i. der größere der beiden Verhältniswerte $\lambda_x = s_{Kx}/i_x$, $\lambda_y = s_{Ky}/i_y$, wobei s_{Kx}, s_{Ky} die Knicklängen (Abschnitt 6.) des Stabes für das Ausknicken rechtwinklig zur Querschnittshauptachse $x - x$ bzw. $y - y$ und i_x, i_y die zugeordneten Hauptträgheitshalbmesser sind.

7.2. Stäbe mit geringem Drillwiderstand sind, falls erforderlich, auf Biegedrillknickung und Drillknickung (vgl. Abschnitt 3. und Richtlinien Ri 7.5.) zu untersuchen.

7.3. Für Stäbe mit $\lambda < 20$ ist keine Knickuntersuchung durchzuführen. Also ist hier $\omega = 1$ zu setzen.

7.4. Für einteilige Druckstäbe aus Rundrohren vgl. Abschnitt 19.

8. Mehrteilige Druckstäbe von gleichbleibendem Querschnitt

8.1. Bezeichnungsweise

Es bedeutet

m die Zahl der gleichartig ausgebildeten, mit Hilfe eines Querverbandes zu einem Gesamtstab vereinigten Einzelstäbe (z. B. $m = 3$ in Bild 5 e) oder Stab-

[1]) Im Anwendungsbereich von TGL 13 500, Ausg. 9.62, gelten somit die zulässigen Spannungen nach Tabelle 2, Zeile 2, in dem der BE die zulässigen Spannungen nach Übersicht 40.1.1, Zeile 2 und Übersicht 40.2.1, Zeile 2.

Tabelle 1 **Knickzahlen ω für St 38**

λ	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	λ
20	1,04	1,04	1,04	1,05	1,05	1,06	1,06	1,07	1,07	1,08	20
30	1,08	1,09	1,09	1,10	1,10	1,11	1,11	1,12	1,13	1,13	30
40	1,14	1,14	1,15	1,16	1,16	1,17	1,18	1,19	1,19	1,20	40
50	1,21	1,22	1,23	1,23	1,24	1,25	1,26	1,27	1,28	1,29	50
60	1,30	1,31	1,32	1,33	1,34	1,35	1,36	1,37	1,39	1,40	60
70	1,41	1,42	1,44	1,45	1,46	1,48	1,49	1,50	1,52	1,53	70
80	1,55	1,56	1,58	1,59	1,61	1,62	1,64	1,66	1,68	1,69	80
90	1,71	1,73	1,74	1,76	1,78	1,80	1,82	1,84	1,86	1,88	90
100	1,90	1,92	1,94	1,96	1,98	2,00	2,02	2,05	2,07	2,09	100
110	2,11	2,14	2,16	2,18	2,21	2,23	2,27	2,31	2,35	2,39	110
120	2,43	2,47	2,51	2,55	2,60	2,64	2,68	2,72	2,77	2,81	120
130	2,85	2,90	2,94	2,99	3,03	3,08	3,12	3,17	3,22	3,26	130
140	3,31	3,36	3,41	3,45	3,50	3,55	3,60	3,65	3,70	3,75	140
150	3,80	3,85	3,90	3,95	4,00	4,06	4,11	4,16	4,22	4,27	150
160	4,32	4,38	4,43	4,49	4,54	4,60	4,65	4,71	4,77	4,82	160
170	4,88	4,94	5,00	5,05	5,11	5,17	5,23	5,29	5,35	5,41	170
180	5,47	5,53	5,59	5,66	5,72	5,78	5,84	5,91	5,97	6,03	180
190	6,10	6,16	6,23	6,29	6,36	6,42	6,49	6,55	6,62	6,69	190
200	6,75	6,82	6,89	6,96	7,03	7,10	7,17	7,24	7,31	7,38	200
210	7,45	7,52	7,59	7,66	7,73	7,81	7,88	7,95	8,03	8,10	210
220	8,17	8,25	8,32	8,40	8,47	8,55	8,63	8,70	8,78	8,86	220
230	8,93	9,01	9,09	9,17	9,25	9,33	9,41	9,49	9,57	9,65	230
240	9,73	9,81	9,89	9,97	10,05	10,14	10,22	10,30	10,39	10,47	240
250	10,55										

Zwischenwerte brauchen nicht eingeschaltet zu werden.

Tabelle 2 **Knickzahlen ω für St 52**

λ	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	λ
20	1,06	1,06	1,07	1,07	1,08	1,08	1,09	1,09	1,10	1,11	20
30	1,11	1,12	1,12	1,13	1,14	1,15	1,15	1,16	1,17	1,18	30
40	1,19	1,19	1,20	1,21	1,22	1,23	1,24	1,25	1,26	1,27	40
50	1,28	1,30	1,31	1,32	1,33	1,35	1,36	1,37	1,39	1,40	50
60	1,41	1,43	1,44	1,46	1,48	1,49	1,51	1,53	1,54	1,56	60
70	1,58	1,60	1,62	1,64	1,66	1,68	1,70	1,72	1,74	1,77	70
80	1,79	1,81	1,83	1,86	1,88	1,91	1,93	1,95	1,98	2,01	80
90	2,05	2,10	2,14	2,19	2,24	2,29	2,33	2,38	2,43	2,48	90
100	2,53	2,58	2,64	2,69	2,74	2,79	2,85	2,90	2,95	3,01	100
110	3,06	3,12	3,18	3,23	3,29	3,35	3,41	3,47	3,53	3,59	110
120	3,65	3,71	3,77	3,83	3,89	3,96	4,02	4,09	4,15	4,22	120
130	4,28	4,35	4,41	4,48	4,55	4,62	4,69	4,75	4,82	4,89	130
140	4,96	5,04	5,11	5,18	5,25	5,33	5,40	5,47	5,55	5,62	140
150	5,70	5,78	5,85	5,93	6,01	6,09	6,16	6,24	6,32	6,40	150
160	6,48	6,57	6,65	6,73	6,81	6,90	6,98	7,06	7,15	7,23	160
170	7,32	7,41	7,49	7,58	7,67	7,76	7,85	7,94	8,03	8,12	170
180	8,21	8,30	8,39	8,48	8,58	8,67	8,76	8,86	8,95	9,05	180
190	9,14	9,24	9,34	9,44	9,53	9,63	9,73	9,83	9,93	10,03	190
200	10,13	10,23	10,34	10,44	10,54	10,65	10,75	10,85	10,96	11,06	200
210	11,17	11,28	11,38	11,49	11,60	11,71	11,82	11,93	12,04	12,15	210
220	12,26	12,37	12,48	12,60	12,71	12,82	12,94	13,05	13,17	13,28	220
230	13,40	13,52	13,63	13,75	13,87	13,99	14,11	14,23	14,35	14,47	230
240	14,59	14,71	14,83	14,96	15,08	15,20	15,33	15,45	15,58	15,71	240
250	15,83										

Zwischenwerte brauchen nicht eingeschaltet zu werden.

gruppen, die durch Einzelstäbe ersetzt werden dürfen (z. B. $m = 2$ in Bild 8 c). Der Querverband kann ein Fachwerkverband („Gitterstab", Bild 4 a) oder ein Rahmenverband („Rahmenstab", Bild 4 b) sein.

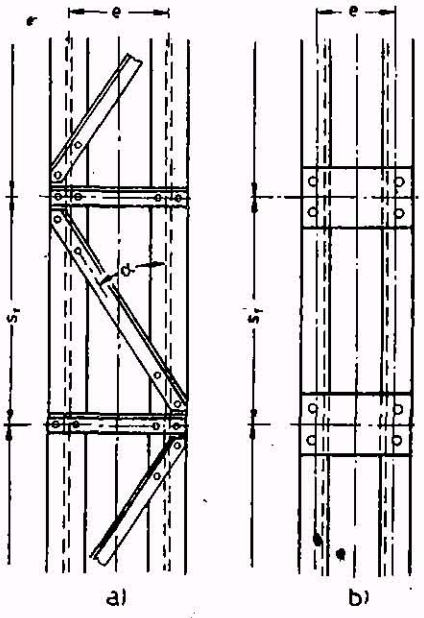


Bild 4

S den Absolutwert der größten auf den Gesamtstab einwirkenden Druckkraft [kp]

F den unverschwächten Querschnitt des Gesamtstabes [cm²]

F_1 den unverschwächten Querschnitt eines Einzelstabes [cm²]

$J_x = F \cdot i_x^2$ und $J_y = F \cdot i_y^2$ die Trägheitsmomente des Gesamtquerschnittes, bezogen auf die Hauptachsen $x - x$ bzw. $y - y$ [cm⁴]; die Hauptachse $x - x$ wird als „Stoffachse" bezeichnet, wenn sie alle Einzelstabquerschnitte durchschneidet

s_{Kx} und s_{Ky} die nach Abschnitt 6. zu bestimmenden Knicklängen des Gesamtstabes für ein Ausknicken rechtwinklig zur Hauptachse $x - x$ bzw. $y - y$ [cm]

$\lambda_x = s_{Kx}/i_x$ und $\lambda_y = s_{Ky}/i_y$ die zugehörigen Schlankheitsgrade des Gesamtstabes

$J_1 = F_1 \cdot i_1^2$ das auf die Achse 1 — 1 bezogene Trägheitsmoment des Einzelstabquerschnittes [cm⁴]; die Achse 1 — 1 ist die Minimumachse dieses Querschnittes (Bild 5 bis 8)

λ_1 Hilfsgröße für die bei Rahmenstäben (Bild 4 b)

$$\lambda_1 = \frac{s_1}{i_1}$$

und bei Gitterstäben (Bild 4 a)

$$\lambda_1 = \pi \sqrt{\frac{F}{z \cdot F_D} \cdot \frac{d^3}{s_1 \cdot e^2}}$$

einzuführen ist.

z Anzahl der in parallelen Ebenen nebeneinanderliegenden Querverbände

s_1 größte Feldweite des Stabes [cm] (Bild 4)

F_D unverschwächte Querschnittsfläche [cm²] einer einzelnen Diagonale eines Gitterstabes (Bild 4 a); bei Anordnung gekreuzter Diagonalen ist für F_D die Summe der Querschnittsflächen der beiden gekreuzten Diagonalen einzusetzen

d Netzlänge einer Diagonale [cm] eines Gitterstabes (Bild 4 a)

n die Felderzahl

e den Abstand der Einzelstab-Achsen [cm].

8.2. Berechnung des Stabes

8.2.1. Stabgruppe I (Bild 5 und 6)

8.2.1.1. Mehrteilige Druckstäbe, die aus m Einzelstäben bestehen und deren Querschnitt eine Stoffachse $x - x$ hat (Bild 5 und 6), sind für das Ausknicken rechtwinklig zu dieser Stoffachse wie einteilige Druckstäbe zu berechnen. Es muß daher

$$\omega_x \frac{S}{F} \leqq \sigma_{zul}$$

sein, wobei ω_x die dem Schlankheitsgrad $\lambda_x = s_{Kx}/i_x$ zugeordnete Knickzahl (Tabelle 1 oder 2) und σ_{zul} die dem untersuchten Belastungsfall entsprechende zulässige Druckspannung (Abschnitt 7.) bedeuten.

8.2.1.2. Für das Ausknicken rechtwinklig zur Querschnittshauptachse $y - y$ ist der Stab wie ein einteiliger Druckstab mit der ideellen Schlankheit

$$\lambda_{yi} = \sqrt{\lambda_y^2 + \frac{m}{2}\lambda_1^2}$$

zu berechnen. Es muß daher

$$\omega_{yi} \frac{S}{F} \leqq \sigma_{zul}$$

sein, wobei ω_{yi} die der ideellen Schlankheit λ_{yi} zugeordnete, aus den Tabellen 1 oder 2 zu entnehmende Knickzahl und σ_{zul} die dem untersuchten Belastungsfall entsprechende zulässige Druckspannung (Abschnitt 7.) bedeuten.

8.2.1.3. Im Brücken- und Kranbau muß das Verhältnis $\frac{s_1}{i_1}$ der Bedingung $\frac{s_1}{i_1} \leqq {}^1/_2\, \lambda_x$ genügen, braucht unter Beachtung von Abschnitt 8.3.4. jedoch nicht kleiner als 50 zu sein. Im Hochbau (einschließlich der Abraumförderbrücken) darf diese Bedingung in der Form $\frac{s_1}{i_1} \leqq {}^1/_2 \lambda_x \cdot \left(4 - 3\frac{\omega_{yi} \cdot S}{F \cdot \sigma_{zul}}\right)$ geschrieben werden, wobei ω_{yi} und σ_{zul} die gleiche Bedeutung wie im Abschnitt 8.2.1.2. haben. Anstelle von ${}^1/_2\, \lambda_x$ darf 50 geschrieben werden, wenn ${}^1/_2\, \lambda_x < 50$ ist.

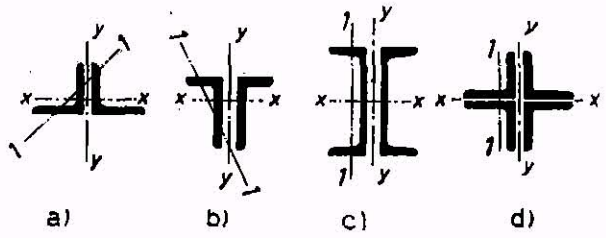


Bild 6

8.2.1.4. Wird bei zweiteiligen Druckstäben, bei denen der lichte Abstand der Einzelstäbe nicht oder nur wenig größer ist als die Dicke des Knotenbleches (Bild 6), zur Verbindung der Einzelstäbe ein durchgehendes Flachstahlfutter verwendet, so darf in Abschnitt 8.2.1.2. unmittelbar $\lambda_{yi} = \lambda_y$ gesetzt werden; dies gilt auch für Stäbe mit Bindeblechen oder Flachstahl-Futterstücken, wenn diese Querverbindungen den Vorschriften Abschnitt 8.2.1.3. und Abschnitt 8.3.4. entsprechen und wenn ausnahmsweise zwischen den Orten der Querverbindungen unterfütterte Niete angeordnet werden, deren Abstand in Richtung der Stabachse nicht mehr als 15 i_1 beträgt. Das Querschnittsträgheitsmoment eines durchgehenden Futters darf in die Rechnung einbezogen werden; für die Querschnittsfläche gilt dies nur in jenen Fällen, in denen die (ohne Knickzahl berechnete) Stabspannung an der Anschlußstelle den Wert σ_{zul} nicht überschreitet oder in denen diese Überschreitung durch einen ausreichenden Anschluß des Futters an das Knotenblech unwirksam gemacht wird.

8.2.2. Stabgruppe II (Bild 7)

8.2.2.1. Druckstäbe, die aus zwei übereck gestellten Winkelstählen bestehen (Bild 7 a oder 7 b), brauchen nur auf Knickung rechtwinklig zur Stoffachse $x - x$ berechnet zu werden. Es muß

$$\omega_x \frac{S}{F} \leqq \sigma_{zul}$$

sein, wobei ω_x die dem Schlankheitsgrad $\lambda_x = s_{Kx}/i_x$ zugeordnete Knickzahl (Tabelle 1 oder 2) und σ_{zul} die dem untersuchten Belastungsfall entsprechende zulässige Druckspannung (Abschnitt 7.) ist.

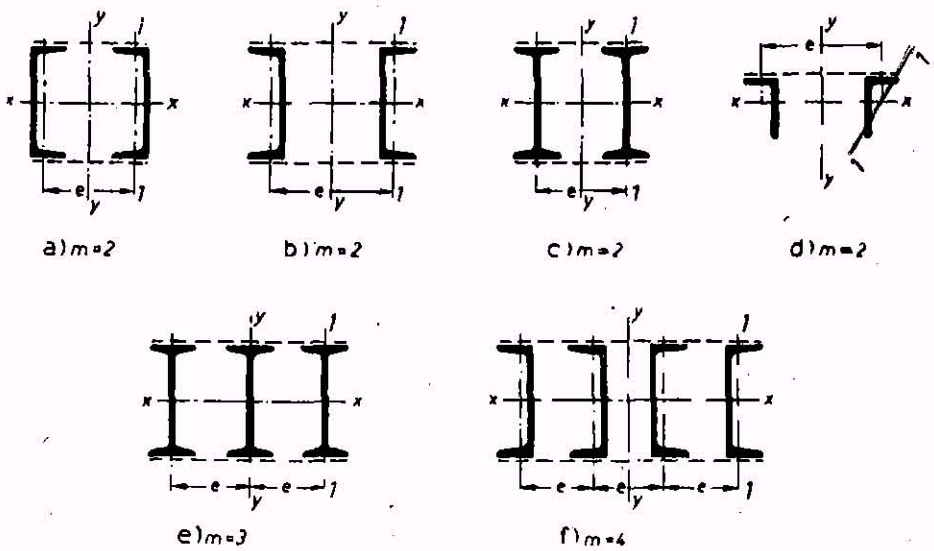


Bild 5

8.2.2.2. Das Verhältnis $\frac{s_1}{i}$ darf nicht größer als 50 sein.

8.2.2.3. Für s_{Kx} ist der arithmetische Mittelwert der beiden Knicklängen einzusetzen, die nach Abschnitt 6. für das Ausknicken in der Tragwerksebene und rechtwinklig zur Tragwerksebene maßgebend sind.

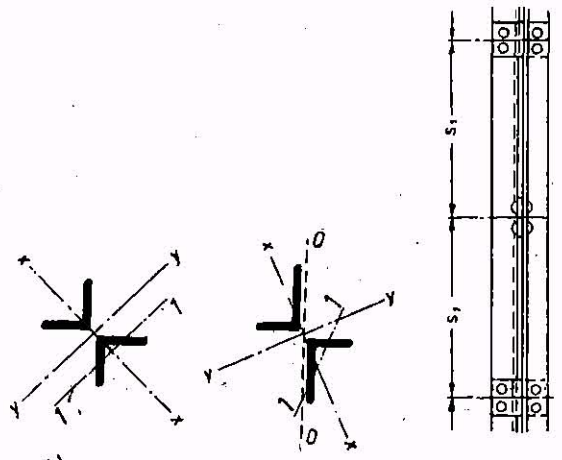


Bild 7

8.2.2.4. Bei Stäben mit dem in Bild 7 b dargestellten Querschnitt darf $l_x \approx i_0/1{,}15$ und daher $\lambda_x \approx 1{,}15 \frac{s_{Kx}}{i_0}$ gesetzt werden, wobei sich der Trägheitshalbmesser i_0 des Gesamtquerschnittes auf die zum langen Winkelschenkel parallele Schwerachse bezieht.

8.2.3. Stabgruppe III (Bild 8)

8.2.3.1. Bei mehrteiligen Druckstäben, deren Querschnitt keine Stoffachse hat (Bild 8 a bis 8 e), muß

$$\omega_{yi} \frac{S}{F} \leqq \sigma_{zul} \text{ und } \omega_{xi} \frac{S}{F} \leqq \sigma_{zul}$$

sein, wobei die aus den Tabellen 1 oder 2 zu entnehmenden Knickzahlen ω_{yi} und ω_{xi} auf die ideellen Schlankheitsgrade

$$\lambda_{yi} = \sqrt{\lambda_y^2 + \frac{m}{2}\lambda_{1y}^2} \text{ und } \lambda_{xi} = \sqrt{\lambda_x^2 + \frac{m'}{2}\lambda_{1x}^2}$$

bezogen sind und σ_{zul} die dem untersuchten Belastungsfall entsprechende Druckspannung (Abschnitt 7.) bedeutet.

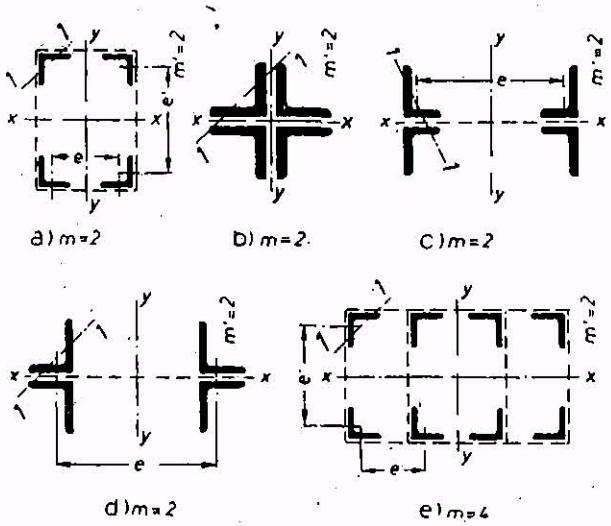


Bild 8

8.2.3.2. Beim Ausknicken des Stabes rechtwinklig zur Achse $y - y$ werden die $y - y$ parallelen Querverbände nicht beansprucht, so daß die durch diese Querverbände verbundenen Stabgruppen als „Einzelstäbe" aufgefaßt werden dürfen; in die Beziehung für λ_{yi} ist daher bei den in Bild 8 a bis 8 d gezeichneten Querschnitten $m = 2$ und bei dem in Bild 8 e dargestellten Querschnitt $m = 4$ einzusetzen. Die gleiche Überlegung gilt auch für das Ausknicken rechtwinklig zur Achse $x - x$, so daß in die Beziehung für λ_{xi} bei allen in Bild 8 gezeichneten Stabquerschnitten $m' = 2$ einzuführen ist.

Bei Stäben nach Bild 8 a und 8 e muß die Erhaltung der rechteckigen Querschnittsform durch Querschotte gesichert werden.

8.2.3.3. Im Brücken- und Kranbau dürfen die Verhältnisse $\frac{s_{1y}}{i_1}$ und $\frac{s_{1x}}{i_1}$ der Einzelstäbe nicht größer als 50 sein. Im Hochbau (einschließlich der Abraumförderbrücken) darf diese Bedingung in der Form

$$\frac{s_{1y}}{i_1} \leqq 50 \left(4 - 3 \frac{\omega_{yi} \cdot S}{F \cdot \sigma_{zul}}\right) \text{ bzw. } \frac{s_{1x}}{i_1} \leqq 50 \left(4 - 3 \frac{\omega_{xi} \cdot S}{F \cdot \sigma_{zul}}\right)$$

geschrieben werden, wobei ω_{yi}, ω_{xi} und σ_{zul} dieselbe Bedeutung wie im Abschnitt 8.2.3.1. haben.

8.2.3.4. Bei Stäben mit dem in Bild 8 b dargestellten Querschnitt darf $\lambda_{yi} = \lambda_y$ und $\lambda_{xi} = \lambda_x$ gesetzt werden, wenn die Winkelstähle nicht nur durch die vorgeschriebenen Bindebleche, sondern außerdem noch durch unterfütterte Niete verbunden werden, deren Abstand in Richtung der Stabachse nicht größer als 15 i_1 ist. Sinngemäß darf bei Stäben mit den in Bild 8 c und 8 d gezeichneten Querschnitten $\lambda_{xi} = \lambda_x$ gesetzt werden, wenn die beiden nebeneinanderliegenden Winkelstähle zusätzlich durch unterfütterte Niete verbunden sind, deren Abstand nicht mehr als 15 i_1 beträgt.

8.3. Bauliche Ausbildung und Berechnung des Querverbandes

8.3.1. Alle Bindebleche und Ausfachungen sowie auch die Anschlüsse dieser Bindebleche und Ausfachungen müssen im Brücken- und Kranbau so bemessen werden, daß bei Einwirkung der ideellen Stabquerkraft

$$Q_i = \frac{F \cdot \sigma_{zul}}{80}$$

die zulässigen Spannungen σ_{zul} (Abschnitt 7.) und τ_{zul} nicht überschritten werden. Diese sind für die gewählte Baustahlsorte und den untersuchten Belastungsfall in den einschlägigen Vorschriften (z. B. TGL 13 500; Deutsche Reichsbahn, Berechnungsgrundlagen für stählerne Eisenbahnbrücken) angegeben. Im Hochbau (einschließlich der Abraumförderbrücken) darf $Q_i = \frac{\omega_{yi} \cdot S}{80}$ gesetzt werden, wobei ω_{yi} die aus den Tabellen 1 oder 2 zu entnehmende, dem ideellen Schlankheitsgrad λ_{yi} zugeordnete Knickzahl ist. Hat der Stab keine Stoffachse (Bild 8), so ist der Querverband, der beim Ausknicken des Stabes rechtwinklig zur Achse $x - x$ wirksam wird, sinngemäß unter Verwendung der Knickzahl ω_{xi} zu bemessen. Für Rahmenstäbe (Bild 4 b), bei denen die gegenseitige Entfernung e der Einzelstab-Achsen (Bild 5 und 8) den Wert 20 i_1 überschreitet, ist die ideelle Stabquerkraft, die der Bemessung des Querverbandes zugrunde zu legen ist, um 5 $(e/i_1 - 20)$ % zu erhöhen. Bei Gitterstäben, die bei großen Spreizungen vorzuziehen sind, ist diese Erhöhung nicht erforderlich.

8.3.2. Bei zweiteiligen Gitterstäben (Bild 4 a) sind die unter Q_i auftretenden Strebenkräfte D mit Hilfe der Formel

$$D = \frac{Q_i}{z \cdot \sin\alpha}$$

zu berechnen, wobei z wiederum die Zahl der in parallelen Ebenen nebeneinanderliegenden Querverbände und α den Strebenneigungswinkel (Bild 4 a) bedeutet.

8.3.3. Bei Rahmenstäben (Bild 4 b) kann jede Querverbindung aus einem einzelnen Bindeblech (Bild 5 d, 8 b, 8 c, 8 d) oder aus mehreren nebeneinanderliegenden Bindeblechen (Bild 5 a, 5 b, 5 c, 5 e, 5 f, 8 a, 8 e) bestehen. Auf eine solche Querverbindung entfällt eine Schubkraft T, deren Größe

beim zweiteiligen Stab ($m = 2$) mit $T = \frac{Q_i \cdot s_1}{e}$,

beim dreiteiligen Stab ($m = 3$) mit $T = \frac{Q_i \cdot s_1}{2e}$ und

beim vierteiligen Stab ($m = 4$) im Bereich zwischen den mittleren Einzelstäben mit $T' = 0{,}4 \frac{Q_i \cdot s_1}{e}$ und außerhalb dieser Einzelstäbe mit $T'' = 0{,}3 \frac{Q_i \cdot s_1}{e}$ festgesetzt wird. Von den Nullpunkten der Biegemomentenverteilung, die unter den Schubkräften T in der Querverbindung auftreten, darf angenommen werden, daß sie den Abstand der äußeren Einzelstabachsen beim zweiteiligen Stab im Verhältnis $\frac{e}{2} : \frac{e}{2}$, beim dreiteiligen Stab im Verhältnis $\frac{2e}{3} : \frac{2e}{3} : \frac{2e}{3}$ und beim vierteiligen Stab im Verhältnis $\frac{5e}{6} : \frac{4e}{6} : \frac{4e}{6} : \frac{5e}{6}$ unterteilen (Bild 9).

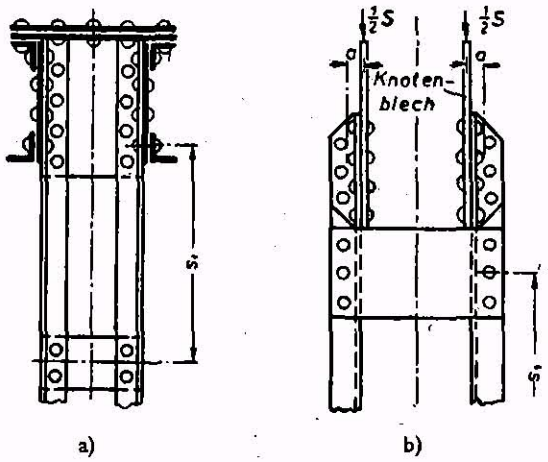


Bild 10

8.3.6. Zweiteilige Druckstäbe, bei denen der lichte Abstand der Einzelstäbe gleich oder nur wenig größer ist als die Dicke des Knotenbleches (Bild 6 und 7), brauchen an den Enden keine besonderen Bindebleche zu erhalten, doch müssen zumindest in

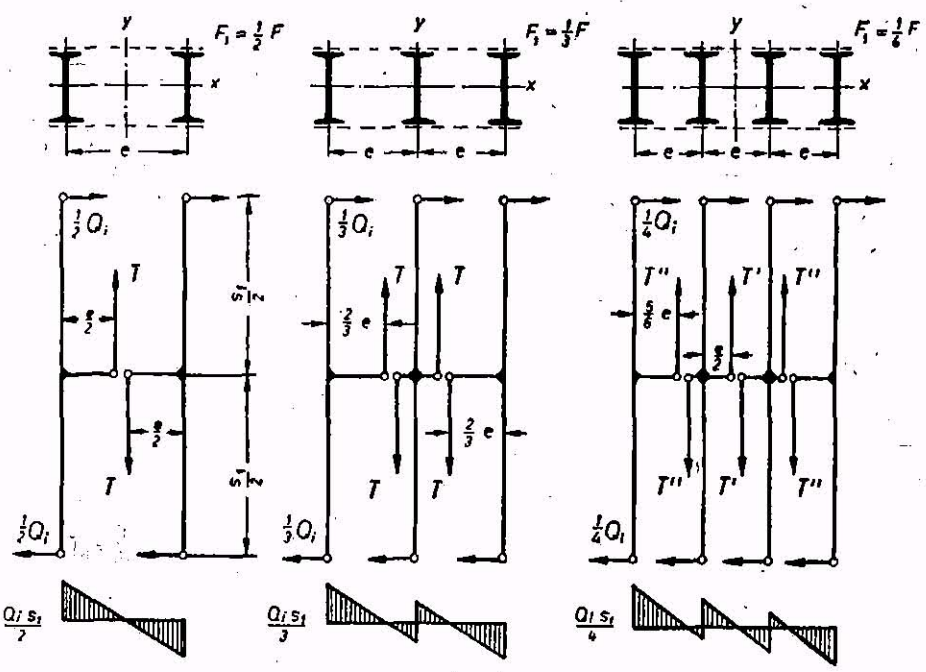


Bild 9

8.3.4. Die Bindebleche sind so aufzuteilen, daß die Lichtabstände gleich oder angenähert gleich groß werden; sie sind an jeden Einzelstab mit mindestens zwei Nieten oder einer nach den Vorschriften gleichwertigen Schweißnaht anzuschließen. Die Felderzahl der Rahmenstäbe muß $n \geqq 3$ sein, so daß die Bindebleche zumindest in den Drittelpunkten der Stablänge angeordnet sind.

8.3.5. Gitter- und Rahmenstäbe (Bild 4 a und 4 b) müssen an den Enden Bindebleche erhalten, die an jeden Einzelstab mit mindestens drei Nieten oder einer nach den Vorschriften gleichwertigen Schweißnaht angeschlossen sind. Bei Stäben, die einem zweiwandigen Tragwerk angehören, sind diese Endbindebleche nach Möglichkeit zwischen den beiden Knotenblechen anzuordnen (Bild 10 a). Andernfalls muß von den gegengleichen Anschlußmomenten $^1/_2\, S \cdot a$, die sich nach Bild 10 b ergeben, wenn die Einzelstabachsen inner- oder außerhalb der Knotenblechebene liegen, die Hälfte (also der Wert $^1/_4\, S \cdot a$) bei der Bemessung der Endbindebleche und ihrer Anschlüsse den von T bewirkten Momenten hinzugezählt werden. Die Endbindebleche dürfen entfallen, wenn die Knotenbleche in der Ebene des Querverbandes des Stabes liegen.

den Drittelspunkten der Stablänge Bindebleche angeordnet werden, die an jeden Einzelstab mit mindestens zwei Nieten oder einer nach den Vorschriften gleichwertigen Schweißnaht angeschlossen sind. Bei Stäben nach Bild 6 dürfen an Stelle der Bindebleche auch Flachstahl-Futterstücke verwendet werden, die in Richtung der Stabachse mit mindestens zwei Nieten oder einer nach den Vorschriften gleichwertigen Schweißnaht angeschlossen sind. Bei Stäben nach Bild 7 können die Bindebleche im rechten Winkel versetzt (Bild 7 c) oder gleichlaufend angeordnet werden. Bei den Bindeblechen und Flachstahl-Futterstücken der Stäbe nach Bild 6 und 7 genügt der Nachweis, daß ihr Anschluß zur Übertragung der Schubkraft T ausreicht. Gleiches gilt auch für Stäbe nach Bild 8 b und, bezogen auf das Ausknicken rechtwinklig zur Achse $x - x$ für Stäbe nach Bild 8 c und 8 d.

8.3.7. Ist der Rahmen- oder Fachwerkverband des Druckstabes neben einem vollwandigen Gurt- oder Stegblech angeordnet (Bild 11 e, 11 g, 11 i), so gilt $Q_i = \frac{F \cdot \sigma_{zul}}{80}$, wobei für F die Querschnittsfläche der beiden Randwinkel (bzw. der beiden Rand-

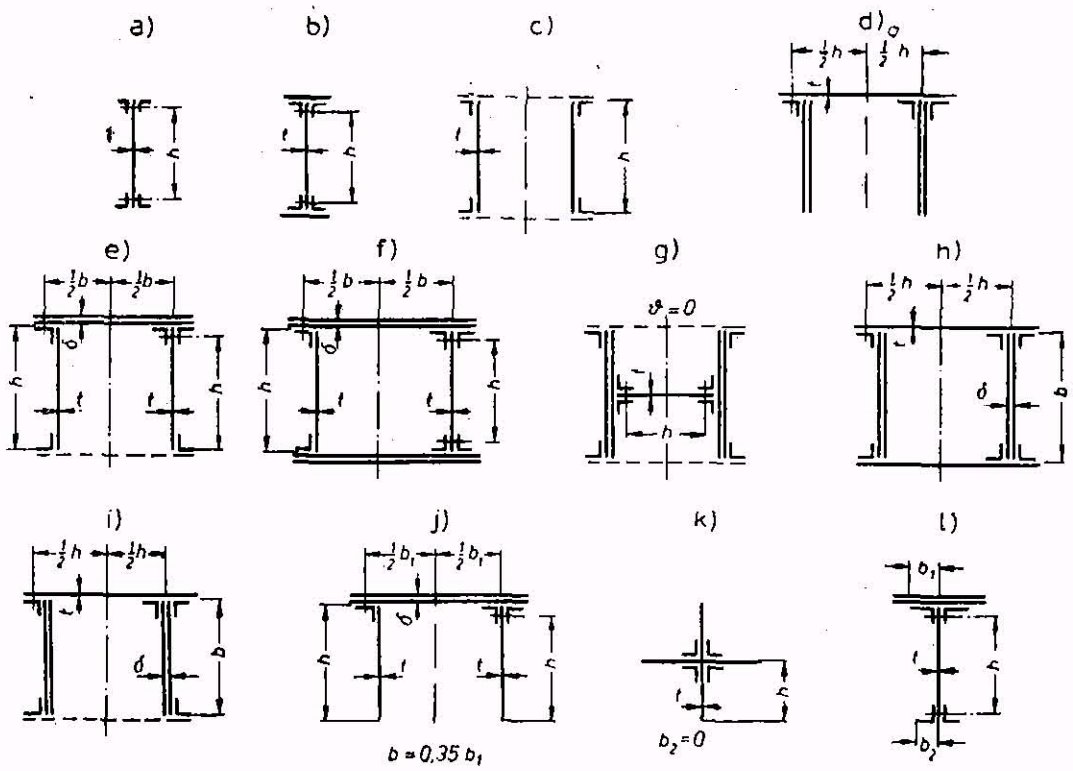


Bild 11

winkelpaare) einschließlich der am Winkelschenkel anliegenden Teile der beiden Stegbleche einzuführen ist.
Wegen σ_{zul} vgl. Abschnitt 7.

8.3.8. Schrauben dürfen zum Anschluß der Querverbindungen nur an Stellen verwendet werden, an denen sich kein Niet schlagen läßt; hierbei sind nach Möglichkeit eingepaßte Schrauben zu verwenden.

9. Dünnwandige Teile von Druckstäben

Um ein vorzeitiges Ausbeulen der dünnwandigen Teile von Druckstäben *auszuschließen, muß deren Beulsicherheit mindestens* gleich der Knicksicherheit des Gesamtstabes sein (siehe auch Abschnitt 17.5.). Falls kein genauerer Nachweis erbracht wird, kann das für alle Baustahlsorten geltende Verhältnis $h : t$ der Tabelle 3 entnommen werden. Hierin bedeutet:

t die Dicke der dünnwandigen Teile [cm] (Bild 11)

h ihre freie Höhe [cm] (Bild 11)

λ den für die Knickuntersuchung des Stabes maßgebenden Schlankheitsgrad des Stabes (Abschnitt 7.)

δ und b die Dicke [cm] und die aus Bild 11 zu entnehmende ideelle Breite [cm] der einspannenden Platte.
Bei geschweißten Stäben ist h, b und b_1 in Bild 11 sinngemäß bis zur Schweißnahtmitte zu messen.

$\vartheta = \dfrac{b \cdot t}{h \cdot \delta}$ eine Zahl, die zur näherungsweisen Berücksichtigung *der elastischen Einspannung dient*, die der untersuchte dünnwandige Teil durch eine biegesteife Verbindung mit einer dicken Platte erfährt; ist $b \cdot t > h \cdot \delta$ oder ist keine einspannende Platte vorhanden, so ist $\vartheta = 1$ einzuführen.

Tabelle 3

Stegbleche nach Bild 11a, b, c oder Gurtplatten nach Bild 11d	für $\lambda \leq 75$ für $\lambda > 75$	$h/t \leq 45$ $h/t \leq 0{,}6 \cdot \lambda$
Stegbleche nach Bild 11e	für $\lambda \leq 75$ für $\lambda > 75$	$h/t \leq 52{,}5 - 7{,}5 \cdot \vartheta^2$ $h/t \leq (0{,}7 - 0{,}1 \cdot \vartheta^2) \cdot \lambda$
Stegbleche nach Bild 11f, g oder Gurtplatten nach Bild 11h, i	für $\lambda \leq 75$ für $\lambda > 75$	$h/t \leq 60 - 15 \cdot \vartheta^2$ $h/t \leq (0{,}8 - 0{,}2 \cdot \vartheta^2) \cdot \lambda$
Stegbleche nach Bild 11j, wenn ausnahmsweise keine Saumwinkel sondern nur Querschotte im Abstande a angeordnet werden	für $\lambda \leq 75$ für $\lambda > 75$	$h/t \leq 25{,}5 - [10{,}5 - 15 \cdot (h/a)^2] \cdot \vartheta^2$ $h/t \leq \{0{,}34 - [0{,}14 - 0{,}2 \cdot (h/a)^2] \cdot \vartheta^2\} \cdot \lambda$
Stegbleche nach Bild 11k, l	für $\lambda \leq 75$ für $\lambda > 75$	$h/t \leq 15 + 30 \sqrt{b_2/b_1}$ $h/t \leq (0{,}2 + 0{,}4 \sqrt{b_2/b_1}) \cdot \lambda$

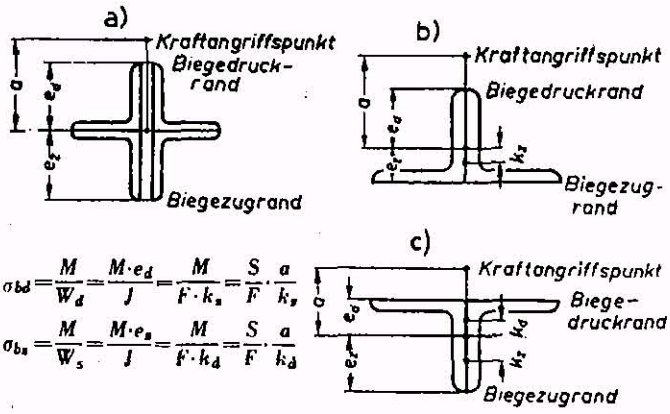
Gerade, planmäßig außermittig gedrückte Stäbe; Beanspruchung auf Druck und Biegung

10. Gerade, planmäßig außermittig gedrückte Stäbe von gleichbleibendem Querschnitt

10.1. Die im weiteren angeführten Vorschriften sind — von den in Abschnitt 10.7., 10.8., 10.9. angeführten Ausnahmen abgesehen — stets dann zu befolgen, wenn die Druckkraft S des Stabes an einem planmäßigen Hebel a angreift oder wenn außer der Druckkraft ein planmäßiges, von S abhängiges oder unabhängiges Biegemoment M wirkt. Vorerst ist die gewöhnliche Spannungsuntersuchung auf Druck und Biegung durchzuführen und nach den hierfür maßgebenden Vorschriften [2]) nachzuweisen, daß die

[2]) Im Anwendungsbereich von TGL 13 500, Ausg. 9.62, gelten somit die zulässigen Spannungen nach Tabelle 2, Zeile 1, in dem der BE die zulässigen Spannungen nach Übersicht 40.1.1, Zeile 1 und Übersicht 40.2.1, Zeile 1.

größten im Stab auftretenden Spannungen den Wert σ_{zul} nicht überschreiten. Dabei sind diese ohne Berücksichtigung des Einflusses der Ausbiegung, jedoch mit Berücksichtigung der Vorschriften über die Nietlochschwächung, die dynamischen Kräfte und die Schwingbeiwerte zu berechnen.



$$\sigma_{bd} = \frac{M}{W_d} = \frac{M \cdot e_d}{J} = \frac{M}{F \cdot k_z} = \frac{S}{F} \cdot \frac{a}{k_z}$$

$$\sigma_{bz} = \frac{M}{W_z} = \frac{M \cdot e_z}{J} = \frac{M}{F \cdot k_d} = \frac{S}{F} \cdot \frac{a}{k_d}$$

Bild 12

10.2. Anschließend ist die Knickuntersuchung für die Knickung in der (als Hauptebene vorausgesetzten) Momentenebene durchzuführen, wobei — falls kein genauerer Nachweis erbracht wird — in folgender Weise vorzugehen ist:

Liegt der Kraftangriffspunkt auf einer der beiden Querschnittshauptachsen, ist also M auf eine Querschnittshauptachse bezogen, so muß bei Stabquerschnitten, deren Schwerpunkt vom Biegezug- und Biegedruckrand den gleichen Abstand hat ($e_z = e_d$, Bild 12 a) oder deren Schwerpunkt dem Biegezugrand näher liegt ($e_z < e_d$, Bild 12 b),

$$\text{I)} \qquad \omega \cdot \frac{S}{F} + 0{,}9 \cdot \frac{M}{W_d} \leqq \sigma_{zul}$$

sein. Bei Stabquerschnitten, deren Schwerpunkt dem Biegedruckrand näher als dem Biegezugrand liegt ($e_z > e_d$, Bild 12 c), müssen die beiden Bedingungen

$$\text{II)} \quad \begin{cases} \omega \cdot \dfrac{S}{F} + 0{,}9 \cdot \dfrac{M}{W_d} \leqq \sigma_{zul} \\[2ex] \omega \cdot \dfrac{S}{F} + \dfrac{300 + 2 \cdot \lambda}{1000} \cdot \dfrac{M}{W_z} \leqq \sigma_{zul} \end{cases}$$

erfüllt sein. Die Näherungsformeln I und II, in denen die Absolutbeträge gedachter Spannungen summiert werden, führen bei Druckstäben mit großem Schlankheitsgrad λ und kleinem Angriffshebel a zu größeren Querschnittsabmessungen als der in Abschnitt 10.1. geforderte gewöhnliche Spannungsnachweis und sind dann für die Bemessung maßgebend.

Es bedeuten

S und M	die unter Berücksichtigung der dynamischen Kräfte und Schwingbeiwerte nach den jeweiligen Vorschriften berechneten Absolutwerte der Druckkraft [kp] und des Biegemomentes [kpcm]
F	die unverschwächte Stabquerschnittsfläche [cm²]
ω	die Knickzahl des Stabes für Knickung in der Momentenebene
W_d und W_z	die auf den Biegedruck- bzw. Biegezugrand bezogenen Widerstandsmomente des unverschwächten Stabquerschnittes [cm³]
σ_{zul}	die dem untersuchten Belastungsfall entsprechende zulässige Druckspannung (TGL 13 500; Deutsche Reichsbahn, Berechnungsgrundlagen für stählerne Eisenbahnbrücken), [kp/cm²]; vgl. auch Abschnitt 7.
	den Schlankheitsgrad des Stabes (Abschnitt 7.) für Knickung in der Momentenebene.

10.3. Das mit einer Verdrehung verbundene Ausknicken rechtwinklig zur Momentenebene ist erforderlichenfalls nach den Richtlinien Rl 10.1. zu untersuchen.

10.4. Ist das Biegemoment M des auf außermittigen Druck oder auf Druck und Biegung beanspruchten Stabes planmäßig längs der Stabachse veränderlich, so ist in die Formeln I, II der Wert max M einzusetzen. Nur wenn max M an einem der beiden Stabenden auftritt und beide Stabenden in Richtung der Ausbiegung unverschieblich festgehalten sind, darf an Stelle von max M das arithmetische Mittel der beiden Endbiegemomente, jedoch nicht weniger als $^1/_2$ max M eingeführt werden (Bild 13); für Stützen gilt daher diese Erleichterung nur dann, wenn auch das obere Ende seitlich unverschieblich festgehalten ist, und für Rahmenstiele gilt sie nur dann, wenn der Rahmenriegel in Richtung seiner Achse keine Verschiebung erfahren kann.

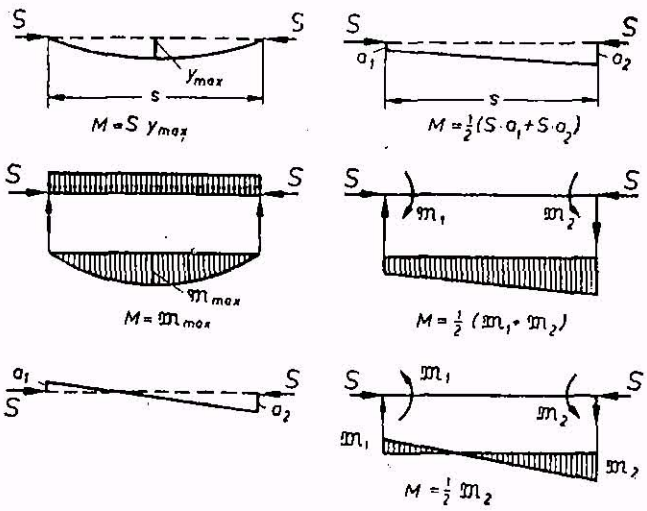


Bild 13

10.5. Nach Abschnitt 10.4. sind auch planmäßig mittig gedrückte Stäbe zu berechnen, die waagerecht oder schräg liegen und daher durch ihr Eigengewicht auf Biegung beansprucht werden; für M darf hierbei näherungsweise der Wert $M = G \cdot l_H/10$ eingesetzt werden, wobei G das Gewicht und l_H die im Grundriß gemessene (auf die waagerechte Ebene projizierte) Netzlänge des Stabes bedeuten. Bei Stäben mit $l_H \leqq 6{,}00$ m braucht dieser Einfluß nicht berücksichtigt zu werden.

10.6. Liegt der Angriffspunkt der Druckkraft nicht auf einer Hauptachse des Stabquerschnittes oder sind außer einer mittigen Druckkraft noch Angriffsmomente M_x und M_y wirksam, so ist in die Formeln I, II die auf die Minimumachse bezogene Knickzahl einzusetzen und an Stelle der Randspannungen M/W_d und M/W_z die bei gleichzeitiger Wirkung von M_x und M_y auftretende größte Biegedruck- bzw. Biegezugspannung. Stäbe mit geringem Drillwiderstand sind, falls erforderlich, auf Biegedrillknickung zu untersuchen.

10.7. Bei Druckgurten mit „gemittelter" Schwerachse darf die Außermittigkeit des Kraftangriffes unberücksichtigt bleiben.

10.8. Bei gedrückten, aus einem einzelnen Winkelstahl gebildeten Fachwerk-Füllstäben, die mit einem der beiden Winkelschenkel an den Gurt oder das Knotenblech angeschlossen sind und nur durch Zusatzkräfte belastet werden, darf — ebenso wie auch bei allen Füllstäben von Gittermasten — die Außermittigkeit des Kraftangriffes unberücksichtigt bleiben, wenn für λ das Verhältnis der Netzlänge des Stabes zum kleinsten Trägheitshalbmesser seines Querschnittes eingeführt wird.

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

10.10. Wird ausnahmsweise ein mehrteiliger Druckstab in einer Ebene rechtwinklig zur stofffreien Querschnittsachse auf planmäßig außermittigen Druck beansprucht, so ist der Abschnitt 8. der Vorschriften zu beachten und die dort unter 8.2. angegebene Knickzahl ω_{yi} in die Formeln I, II einzuführen.

Druckgurte und Druckstäbe mit federnder Querstützung einschließlich Hilfsstäbe zum Abstützen von Druckstäben

11. Allgemeines

Druckgurtungen, die wie der Obergurt einer einfachen Trogbrücke mit untenliegender Fahrbahn gegen Ausknicken aus der Hauptträgerebene nicht durch einen Querverband gesichert sind, werden seitlich elastisch gestützt durch rechtwinklig zur Hauptträgerebene angeordnete Halbrahmen, 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 (Bild 16), die ausreichende Biegesteifigkeit der elastisch querstützenden Tragglieder nachzuweisen.

12. Näherungsverfahren

12.1. Wird bei Druckgurten, die nur durch biegesteife Rahmen (z. B. Halbrahmen) seitlich elastisch gegen Ausknicken aus der Hauptträgerebene gestützt sind, von einer genaueren Berechnung abgesehen, so muß der in Mp/cm gemessene Rahmenwiderstand

der Zwischenrahmen $H_1 \geqq c_1 \cdot H_o$

und der Endrahmen $H_2 \geqq c_2 \cdot H_o$

sein, wobei

$$H_o = \frac{2{,}5\,\nu_K}{\beta_m^2} \cdot \frac{\max S}{\min s}$$

ist. Darin sind H_1 oder H_2 die Rahmenwiderstände in Mp/cm, die bei der waagerechten Verschiebung der Anschlußstellen der Gurte in der Rahmenebene um 1 cm auftreten (Bild 14); und es ist max S der in Mp gemessene Absolutwert der größten Stab-

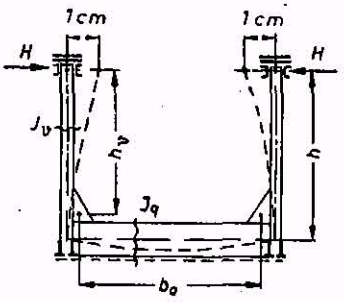


Bild 14

druckkraft im Druckgurt, die unter Berücksichtigung der dynamischen Kräfte und Schwingbeiwerte nach den jeweiligen Vorschriften zu ermitteln ist. Für min s ist die kleinste in cm gemessene Netzlänge der von Rahmen zu Rahmen reichenden Druckgurtstäbe einzuführen. Um β_m und ν_K zu erhalten, sind für jeden einzelnen Druckgurtstab mit der Druckkraft S, der Querschnittsfläche F, dem Querschnittsträgheitsmoment J_y und der Stablänge s die den Knickzahlen

$$\omega_y = \frac{F \cdot \sigma_{zul}}{S}$$

zugeordneten Schlankheiten λ_y aus den Tabellen 1 oder 2 der Vorschriften zu entnehmen. Der größte dieser Schlankheitsgrade λ_y bestimmt nach Tabelle 3 der Richtlinien 7.4.2. die einzusetzende Knicksicherheitszahl ν_K; wegen σ_{zul} vgl. Abschnitt 7.

Für jeden Stab berechnet sich ein Beiwert β zu

$$\beta = \frac{s_{Ky}}{s} = \frac{\lambda_y}{s}\sqrt{\frac{J_y}{F}}$$

Das arithmetische Mittel dieser sämtlichen Beiwerte ist β_m. Das hier gezeigte Näherungsverfahren setzt voraus, daß für alle gedrückten Gurtstäbe $\beta \geqq 1{,}2$ ist.

Wenn c_1 gewählt ist, was bei der Entwurfsberechnung in Betracht kommt, berechnet sich c_2 aus

$$c_2 = \frac{0{,}6c_1 - 0{,}36}{c_1 - 1} \cdot \beta_m.$$

Ist dagegen bei Nachrechnungen mit min H_1 als kleinstem Zwischenrahmen-Widerstand das Verhältnis

$$a = \frac{\min H_1}{H_2}$$

bekannt, so dürfen c_1 und c_2 aus den Formeln

$$c_1 = \frac{1 + 0{,}6a \cdot \beta_m}{2}\left[1 + \sqrt{1 - \frac{1{,}44a \cdot \beta_m}{(1 + 0{,}6a \cdot \beta_m)^2}}\right]$$

$$c_2 = \frac{c_1}{a}$$

bestimmt werden. Sind die Endpunkte der Druckgurtung — wie beispielsweise beim Parabelträger — rechtwinklig zur Hauptträgerebene unverrückbar, so sind $H_2 = c_2 = \infty$, $a = 0$, $c_1 = 1$, und der Nachweis, der für jeden Rahmen zu führen ist, beschränkt sich auf

$$H_1 \geqq H_o.$$

Fallen Schwerpunkt und Schubmittelpunkt des Druckquerschnittes nicht zusammen, (wie z. B. beim T-Querschnitt), so kann der nach RI 7.5.2. berechnete Schlankheitsgrad λ_{Vi} größer als λ_y sein. In diesem Falle ist statt J_y der abgeminderte Wert

$$J_y^* = J_y \left(\frac{\lambda_y}{\lambda_{Vi}}\right)^2$$

einzusetzen.

Die zulässige Spannung σ_{zul} darf bei der Spannungsuntersuchung von Fachwerkhilfspfosten (die einen Querträger zu tragen haben) und von Endpfosten (in Pfostenfachwerken mit zur Mitte fallenden Streben) bei offenen Fachwerkbrücken nur zu 90% ausgenutzt werden. Bei offenen Eisenbahn-Fachwerkbrücken gilt dieselbe Spannungsermäßigung auch für alle Querträger und ihre Anschlüsse. Jedoch ist von dieser Spannungsermäßigung abzusehen, wenn eine zusätzliche Spannungsuntersuchung der Halbrahmen durchgeführt wird (z. B. für die in Bild 15 eingetragenen Kräfte). Hierbei ist für Zwischenrahmen eine nach außen oder innen wirkende Seitenkraft gleich $\frac{1}{100 \cdot \beta_m}$ und für Endrahmen gleich $^1/_{100}$ der in den benachbarten Gurtstäben wirkenden größten, lediglich mit dem Schwingbeiwert φ multiplizierten Stabkraft als Hauptkraft einzuführen. β_m hat dieselbe Bedeutung wie in dem Nachweis ausreichender Seitensteifigkeit des Druckgurtes. Bei Endrahmen, deren anschließender Gurtstab aus der Hauptträgerebene keine Stabkraft erhält, ist die Seitenkraft als $^1/_{100}$ der größten Druckgurtkraft des zweiten Feldes zu nehmen. Für die Spannungsnachweise in Stößen und Anschlüssen der Halbrahmen gelten die gleichen Seitenkräfte.

12.2. Bei offenen Brücken mit vollwandigen Hauptträgern ist der Nachweis der Knicksicherheit des Druckgurtes sinngemäß zu erbringen. Zum Gurtquerschnitt sind bei genieteten Trägern die Gurtplatten mit den anliegenden Schenkeln der Gurtwinkel, bei den gewalzten Trägern der Flansch (ohne den zwischen den Ausrundungen liegenden Stegteil) mit den Gurtplatten und bei den geschweißten Trägern die Gurtplatten zu zählen.

Die maßgebenden Druckkräfte S in den Druckgurten zwischen je zwei Halbrahmen ergeben sich aus

$$S = \frac{M}{J_x} \cdot \mathfrak{S}.$$

Hierbei wird mit M das dem betrachteten Druckgurtabschnitt zugeordnete mittlere Biegemoment, mit J_x das entsprechende mittlere Gesamtträgheitsmoment des Vollquerschnittes in bezug auf dessen waagerechte Schwerachse, und mit $\mathfrak{S}$ das statische

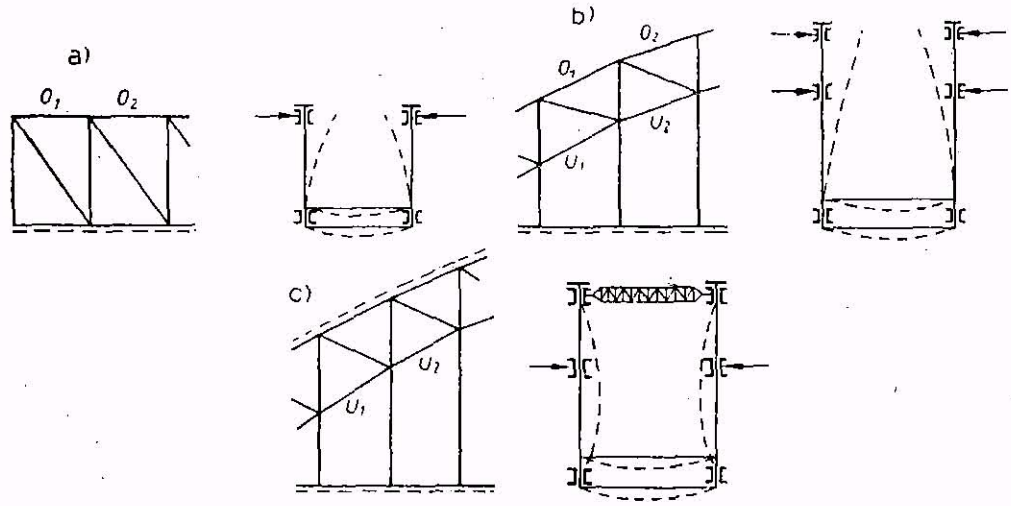


Bild 15

Moment der unverschwächten Gurtquerschnittsfläche in bezug auf die waagerechte Schwerachse des gesamten Vollquerschnittes bezeichnet. Sind die den einzelnen Abschnitten des Druckgurtes zugeordneten Gurtkräfte S sowie die dazu gehörenden Gurtquerschnittsflächen F und deren Trägheitsmomente J_y in bezug auf die lotrechte Schwerachse ermittelt, so kann der Nachweis wie bei den fachwerkartigen Trogbrücken geführt werden.

Bei der Berechnung der Widerstände H der Halbrahmen dürfen die Halbrahmenstiele als starr angenommen werden, so daß sich

$$H = \frac{2E \cdot J_q}{h^2 \cdot b_q}$$

ergibt. Ist der Vollwandträger in einzelnen Punkten des Druckgurtes rechtwinklig zur Trägerebene unverrückbar festgehalten, so gelten die Vorschriften Abschnitt 15.3. und 15.4. über Kippsicherheit.

12.3. Fachwerk-Füllstäbe, die an beiden Enden unverschieblich festgehalten und in ihrer Mitte durch einen Halbrahmen federnd quergestützt sind (Bild 16), können mit der gewählten Knicklänge

$$s \geqq s_K \geqq \frac{s}{2}$$

auf Ausknicken aus der Fachwerkebene berechnet werden, wenn der Rahmenwiderstand

$$H \geqq \frac{16 \nu_K \cdot S}{s} \left(\frac{s}{s_K} - \frac{1}{4} \frac{s^2}{s_K^2} - \frac{3}{4} \right)$$

ist; H ist auch hier der Rahmenwiderstand in Mp/cm, der bei der waagerechten Verschiebung der Anschlußstellen der Gurte in der Rahmenebene um 1 cm auftritt. Für S ist der in Mp gemessene Absolutwert der unter Berücksichtigung der dynamischen Kräfte und Schwingbeiwerte nach den jeweiligen Vorschriften berech-

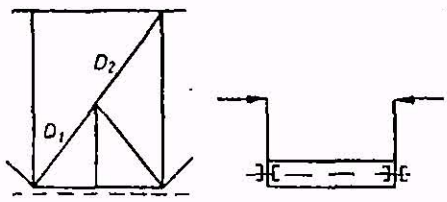


Bild 16

neten größten Druckkraft und für s die Netzlänge des ganzen Stabes einzusetzen. Der Wert ν_K ist der Tabelle 3 der Richtlinien 7.4.2. für die gewählte Baustahlgüte und den Schlankheitsgrad $\lambda_y = s_{Ky} : i_y$ zu entnehmen, worin i_y der rechtwinklig zur Fachwerkebene stehende Trägheitshalbmesser des Druckstabquerschnittes ist. Bei einem mehrteiligen Druckstab ist λ_y durch λ_{yi} nach Abschnitt 8.2. zu ersetzen.

12.4. Hilfsstäbe zur Unterteilung der ohne sie maßgebenden Knicklänge von Druckstäben für Knicken in der Fachwerkebene sind samt ihren Anschlüssen darauf zu untersuchen, ob sie $^1/_{100}$ der unter Berücksichtigung der dynamischen Kräfte und der Schwing-

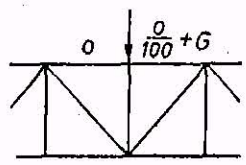


Bild 17

beiwerte nach den jeweiligen Vorschriften berechneten größten Druckkraft des gestützten Stabes auf Zug und Druck aufnehmen können, ohne σ_{zul} zu überschreiten. Bei lotrechten Hilfsstäben (Bild 17) ist diese Kraft um die Knotenlast G, die dem zu übertragenden Eigengewicht des abgestützten Druckstabes entspricht, zu vermehren.

Bogenträger

13. Knickung symmetrischer Bogenträger

13.1. Knickung in der Bogenebene

13.1.1. Bei symmetrischen Bogenträgern, die einen gleichbleibenden Querschnitt haben und durch eine Vollbelastung planmäßig nur auf Druck (ohne Biegung) beansprucht werden, muß — wenn kein genauerer Nachweis erbracht wird — die Bedingung

$$\omega \cdot \frac{N_v}{F} \leqq \sigma_{zul}$$

erfüllt sein. Hierbei ist

N_v der Absolutwert der im Viertelspunkt der Stützweite unter der gegebenen Belastung auftretenden (mit Berücksichtigung der dynamischen Kräfte und Schwingbeiwerte nach den jeweiligen Vorschriften berechneten) Normalkraft des Bogenträgers [kp]

F der unverschwächte Querschnitt des Bogenträgers [cm²]

σ_{zul} die für den untersuchten Belastungsfall und die gewählte Baustahlsorte geltende zulässige Druckspannung [kp/cm²]; vgl. auch Abschnitt 7.

ω die von der Baustahlsorte und dem Schlankheitsgrad λ_x abhängige, aus den Tabellen 1 oder 2 zu entnehmende Knickzahl

$\lambda_x = \beta \cdot s/i_x$ der für das Ausknicken in der Bogenebene (rechtwinklig zur Querschnittshauptachse $x - x$) geltende Schlankheitsgrad

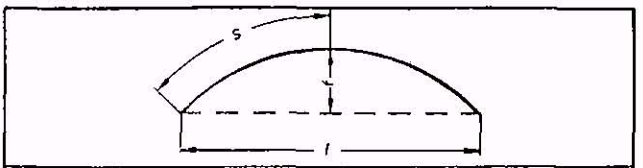
s die halbe Bogenlänge [cm]

i_x der auf die Hauptachse $x - x$ bezogene Trägheitshalbmesser des unverschwächten Querschnittes [cm]

β ein Beiwert, der aus der Tabelle 4 zu entnehmen ist, wobei Zwischenwerte geradlinig einzuschalten sind.

13.1.2. Bogenträger, bei denen die Mittelkraftlinie planmäßig von der Bogenachse abweicht und die daher planmäßig auf Druck und Biegung beansprucht werden, sind nach Abschnitt 10. zu berechnen, wobei S durch die im Abschnitt 13.1.1. angegebene Normalkraft N_v und ω durch die im Abschnitt 13.1.1. angegebene Knickzahl zu ersetzen ist. Bei überwiegender Biegebeanspruchung, wie sie beispielsweise bei Bogenträgern großen Pfeilverhältnisses f/l unter halbseitiger Belastung auftritt, darf die Knickuntersuchung näherungsweise durch eine Spannungsuntersuchung ersetzt werden, bei der nachgewiesen wird, daß die größte unter Berücksichtigung des Einflusses der Verformung sowie unter Beachtung der Vorschriften über die Nietlochschwächung, den Einfluß der dynamischen Kräfte und die Schwingbeiwerte berechnete Spannung den Wert σ_{Dzul} [3]) nicht überschreitet.

Tabelle 4



$f/l =$	0.05	0.2	0.3	0.4	0.5
Dreigelenkbogen . . . $\beta =$	1.20	1.16	1.13	1.19	1.25
Zweigelenkbogen . . . $\beta =$	1.00	1.06	1.13	1.19	1.25
Eingespannter Bogen . $\beta =$	0.70	0.72	0.74	0.75	0.76

13.1.3. Bogenträger mit geringfügig veränderlichem Querschnitt dürfen, wenn von einer genaueren Untersuchung abgesehen wird, gleichfalls nach Abschnitt 13.1.1. und 13.1.2. berechnet werden, *wobei für i_x und F Mittelwerte einzuführen sind.*

13.1.4. Die in Abschnitt 13.1.1., 13.1.2., 13.1.3. angegebenen Vorschriften für das Knicken des Bogens in seiner Ebene haben keine Geltung bei Stabbogen mit Versteifungsträgern und bei Bogenträgern, die durch Hängestangen mit einem Zugband fest verbunden sind.

13.2. Knickung rechtwinklig zur Bogenebene

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

$$\omega_y \frac{N_v}{F} \leqq \sigma_{zul}$$

ersetzt werden, worin N_v, F, σ_{zul} dieselbe Bedeutung wie in Abschnitt 13.1.1. haben und die Knickzahl ω_y nach Tabelle 1 oder 2 zu der Schlankheit

$$\lambda_y = \beta_1 \cdot \beta_2 \cdot \frac{l}{i_y}.$$

gehört; l ist wiederum die Stützweite des Bogens und i_y der auf die Hauptachse $y - y$ bezogene Trägheitshalbmesser des unverschwächten Querschnittes. Tabelle 5 gibt (mit geradliniger Zwischenschaltung) die Beiwerte β_1 an für einen Parabelbogen, der sich an den beiden Enden nicht quer zu seiner Bogenebene verdrehen kann und eine lotrecht wirkende, gleichmäßig verteilte Vollast zu übertragen hat. Der Beiwert β_2 regelt den Einfluß der Wirkungsrichtung der Lasten während des Ausknickens. Bleiben alle vom Bogen zu übertragenden Lasten während des seitlichen Ausknickens des Bogens richtungstreu, so ist $\beta_2 = 1$. Übertragen bei einer Bogenbrücke mit angehängter Fahrbahn die Hängestangen *von der gesamten Bogenlast q den Anteil $\alpha \cdot q$ und* müssen sich die Hängestangen während des seitlichen Ausknickens des Bogens schräg stellen, so darf mit $\beta_2 = 1 - 0{,}35\,\alpha$ gerechnet werden. Bei einer Bogenbrücke mit aufgeständerter Fahrbahn ist der Beiwert $\beta_2 > 1$, wenn sich die Ständer beim seitlichen Ausknicken des Bogens schräg stellen können, was durch Querverbände zwischen den Ständern verhindert werden kann. Wird von der gesamten Bogenlast q der Anteil $\alpha \cdot q$ durch die Fahrbahnständer übertragen, und wird die mit dem Bogenscheitel auch seitlich fest verbundene Fahrbahn an den Widerlagern seitlich nicht unverschiebbar gelagert, so muß allein zur Aufnahme lotrechter Lasten $\beta_2 = 1 + 0{,}45\,\alpha$ gesetzt werden. In Tabelle 5 ist J_y das Querschnittsträgheitsmoment für Knickung rechtwinklig zur Bogenebene und φ der Tangentennelgungswinkel in der Bogenebene.

Tabelle 5

	$f/l =$	0,05	0,1	0,2	0,3	0,4
$J_y = \text{const}$	$\beta_1 =$	0,50	0,54	0,65	0,82	1,07
$J_y \cdot \cos\varphi = \text{const}$	$\beta_1 =$	0,50	0,52	0,59	0,71	0,86

Rahmen

14. Knicklänge der Stiele freistehender Rechteckrahmen

14.1. Die folgenden Vorschriften beziehen sich auf lotrechte, einstöckige Rechteckrahmen mit steifen Knoten, die in waagerechter Richtung nur rechtwinklig zur Rahmenebene festgehalten sind. Die Rahmen sind durch Kräfte P, $P_1 \leqq P$ belastet, von denen vorausgesetzt wird, daß sie ihre Richtung während des Ausknickens des Rahmens beibehalten. Die beiden Stiele des Rahmens haben gleiche, unveränderliche Querschnitte mit der Fläche F und dem Trägheitsmoment J. Der Riegel hat das gleichbleibende Querschnittsträgheitsmoment J_0.

14.2. Die Stielquerschnitte müssen, wenn kein genauerer Nachweis erbracht wird, der Bedingung $\omega \cdot P/F \leqq \sigma_{zul}$ entsprechen. Hierbei ist

P die größere der beiden Lasten [kp]

ω die aus den Tabellen 1 oder 2 zu entnehmende, dem Schlankheitsgrad $\lambda = s_K/i = s_K \cdot \sqrt{F/J}$ zugeordnete Knickzahl

$s_K = \beta \cdot h$ die Knicklänge der Rahmenstiele [cm]

σ_{zul} die dem untersuchten Belastungsfall und der gewählten Baustahlsorte entsprechende zulässige Druckspannung [kp/cm²]

F und J die Fläche [cm²] und das bei Ausbiegungen in der Rahmenebene wirksame Trägheitsmoment [cm⁴] des unverschwächten Stielquerschnittes

J_0 das Trägheitsmoment des unverschwächten Riegelquerschnittes [cm⁴]

b und h die Netzbreite und Netzhöhe des Rahmens [cm]

β ein Beiwert, der von den Hilfsgrößen

$$m = \frac{P_1}{P} \leqq 1,\ c = \frac{J \cdot b}{J_0 \cdot h} \leqq 10,\ \alpha = \frac{4 \cdot J}{b^2 \cdot F} \leqq 0{,}2$$

abhängt und für die in Bild 18 dargestellten Rahmen im nachfolgenden angegeben wird. Die Hilfsgröße α, welche den Einfluß der Normalkräfte auf die Rahmenknickung wiedergibt, ist meist vernachlässigbar klein.

14.3. Für freistehende Zweigelenkrahmen nach Bild 18 a darf

$$\beta = \sqrt{1/2(1 + m) \cdot [4 + 1{,}4 \cdot (c + 6\alpha) + 0{,}02 \cdot (c + 6\alpha)^2}$$

gesetzt werden. Diese Beziehung darf auch bei der Berechnung

[3]) Im Anwendungsbereich von TGL 13 500, Ausg. 9.62, gelten somit die zulässigen Spannungen nach Tabelle 5 a und 5 b, in dem der BE die zulässigen Spannungen nach Übersicht 40.1.3.

von einhüftigen Rahmen nach Bild 18 b (mit unbelasteter Pendelstütze) oder Bild 18 c verwendet werden, wenn

$$m = 1, \quad c = \frac{2 \cdot J \cdot b}{J_0 \cdot h} \text{ und } \alpha = \frac{J}{b^2}\left(\frac{1}{F} + \frac{1}{F_1}\right)$$

eingeführt wird.

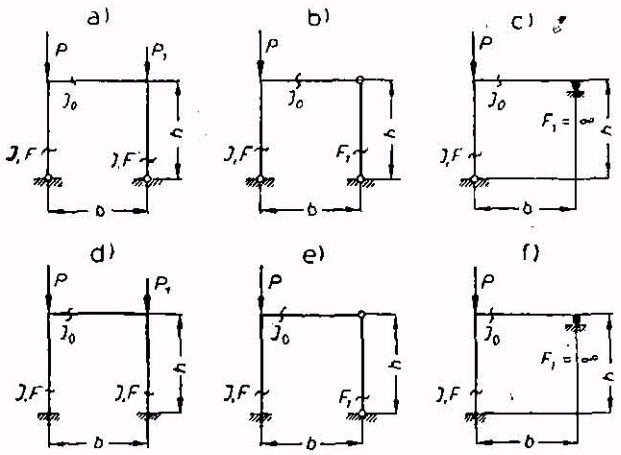


Bild 18

14.4. Für freistehende Rahmen mit fest eingespannten Stielfüßen nach Bild 18 d darf

$$\beta = \sqrt{1/2(1 + m)} \cdot \sqrt{1 + 0{,}35 \cdot (c + 6\,\alpha) - 0{,}017 \cdot (c + 6\alpha)^2}$$

gesetzt werden. Diese Beziehung darf auch bei der Berechnung von einhüftigen Rahmen nach Bild 18 e (mit unbelasteter Pendelstütze) oder Bild 18 f verwendet werden, wenn

$$m = 1, \quad c = \frac{2 \cdot J \cdot b}{J_0 \cdot h} \text{ und } \alpha = \frac{J}{b^2}\left(\frac{1}{F} + \frac{1}{F_1}\right)$$

eingeführt wird.

14.5. Wird der Riegel zwischen den beiden Knotenpunkten durch lotrechte Kräfte belastet, so sind die Stiele planmäßig auf Druck und Biegung beansprucht und daher nach Abschnitt 10. zu bemessen. Die Knickzahl ω ist hierbei einem Schlankheitsgrad λ zuzuordnen, der unter Verwendung der in Abschnitt 14.3. und 14.4. angegebenen Beziehungen für die Zahl β zu berechnen ist.

14.6. Die in den Abschnitten 14.3., 14.4., 14.5. mitgeteilten Formeln für β gelten nur, wenn die Lasten P ihre Richtung beim Ausknicken des Rahmens beibehalten. Sie sind daher auf die Knickberechnung der Pfosten von Endrahmen geschlossener Fachwerkbrücken im allgemeinen nicht anzuwenden.

Kippung der Träger

15. Kippsicherheit von Trägern mit I-Querschnitt

15.1. Bei Trägern mit I-Querschnitt, die in der Stegebene auf Biegung beansprucht sind, muß eine ausreichende Kippsicherheit nachgewiesen werden. Beim Kippen wird der Träger seitlich ausgebogen und gleichzeitig verdrillt.

15.2. Die Kippsicherheit wird durch alle Maßnahmen erhöht, die auf eine Verhinderung der Verdrillung und der seitlichen Ausbiegung des Trägers hinzielen. Zu diesen Maßnahmen gehört vor allem die Anordnung von Quer- und Längsverbänden. Die Querverbände, die die Verdrehung des Trägerquerschnittes in der Querschnittsebene verhindern, sind nicht nur an den Lagern des Trägers, sondern nach Möglichkeit auch noch an anderen Trägerquerschnitten anzuordnen. Das seitliche Ausweichen des Trägers ist durch Längsverbände zu verhindern. Nach der Festlegung der Lager und Verbände ist der Widerstand, den der Träger dem Kippen entgegenstellt, um so größer, je größer der Drillwiderstand und das auf die Stegachse bezogene Trägheitsmoment des Trägerquerschnittes ist und je größer der Wölbwiderstand ist, der beim Verdrillen des Trägers (wegen der ganz oder teilweise verhinderten Verwölbung der Querschnittsebenen) überwunden werden muß. Der Drillwiderstand wächst mit der dritten Potenz der Steg- und Gurtdicken; der Wölbwiderstand kann erhöht werden durch die Anordnung biege- und drillsteifer, an beide Gurte angeschlossener Quersteifen oder durch die Anordnung dicker Stirnplatten an den Trägerenden.

15.3. Ist der Druckgurt des Trägers in einzelnen Punkten, deren Entfernung c beträgt, seitlich unverschieblich festgehalten und ist der auf die Stegachse bezogene Hauptträgheitshalbmesser i_y des Gurtquerschnittes F_G gleich oder größer als $c/40$, so darf der Nachweis der Kippsicherheit entfallen. Zum Gurtquerschnitt F_G sind bei genieteten Trägern die Gurtplatten, die Gurtwinkel und $^1/_5$ der Stegfläche, bei Walzträgern der Flansch mit den Gurtplatten und $^1/_5$ der Stegfläche, bei geschweißten Trägern die Gurtplatten und $^1/_5$ der Stegfläche zu zählen.

15.4. Ist bei den im Abschnitt 15.3. geschilderten Trägern $i_y < c/40$ und wird kein genauerer Nachweis der Kippsicherheit erbracht, so darf die größte (ohne Berücksichtigung der Nietlochschwächung, aber mit Berücksichtigung der dynamischen Kräfte und Schwingbeiwerte nach den jeweiligen Vorschriften berechnete) Randdruckspannung des Trägers den Wert $1{,}14 \cdot \sigma_{zul}/\omega$ nicht überschreiten. Die aus den Tabellen 1 oder 2 zu entnehmende Knickzahl ω ist hierbei dem Schlankheitsgrad $\lambda = c/i_y$ zugeordnet, und für σ_{zul} ist die in Abschnitt 7. angeführte zulässige Druckspannung maßgebend (vgl. Abschnitt 7.).

15.5. Bei der Montage von Hochbauten sind Vorkehrungen zu treffen, um das Kippen langer I-Träger unter der Wirkung des Eigengewichtes auszuschließen. Bei Kranbahnträgern u. dgl. ist darauf zu achten, daß schiefe Seilzüge möglicherweise außerhalb der Stegebene wirken.

Beulung der Stegbleche vollwandiger Träger

16. Allgemeines

16.1. Für die Stegbleche ist ausreichende Sicherheit gegen Ausbeulen nachzuweisen.

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

16.3. Das Stegblech ist bei der Beuluntersuchung in rechteckige Felder der Länge a und der Breite b zu unterteilen. Die Feldlänge a stimmt mit dem Mittenabstand der Quersteifen überein. Die Feldbreite b ist für verschiedene Fälle in Bild 19 angegeben. Bei mehr als einer Halsnietreihe je Stegblechrand ist für b das arithmetische Mittel der gegenseitigen Abstände der entsprechenden Halsnietreihen anzunehmen.

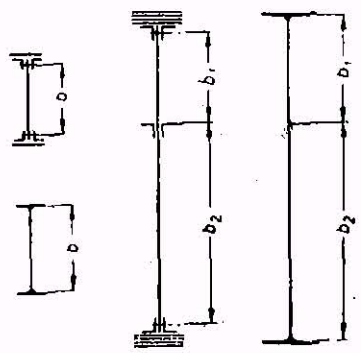
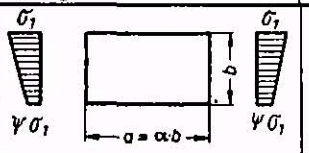
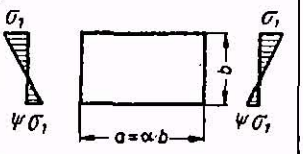
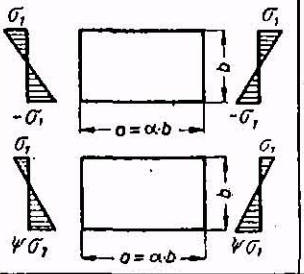
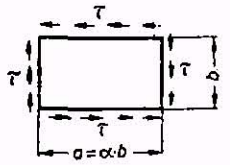


Bild 19

16.4. Das Stegblech ist an allen vier Rändern dieser Felder einspannungsfrei gelagert zu denken.

Tabelle 6

	1		2	3	4
1	Belastung		Beulspannung	Gültigkeitsbereich	Beulwert
2	Geradlinig verteilte Druckspannungen $0 \leq \psi \leq 1$		$\sigma_{1Ki} = k \cdot \sigma_e$	$\alpha \geqq 1$	$k = \frac{8{,}4}{\psi + 1{,}1}$
				$\alpha < 1$	$k = \left(\alpha + \frac{1}{\alpha}\right)^2 \cdot \frac{2{,}1}{\psi + 1{,}1}$
3	Geradlinig verteilte Druck- und Zugspannungen mit überwiegendem Druck $-1 < \psi < 0$		$\sigma_{1Ki} = k \cdot \sigma_e$		$k = (1 + \psi) \cdot k' - \psi \cdot k'' + 10\,\psi \cdot (1 + \psi)$, worin k' den Beulwert für $\psi = 0$ (nach Reihe 2) und k'' den Beulwert für $\psi = -1$ (nach Reihe 4) bedeuten.
4	Geradlinig verteilte Druck- und Zugspannungen mit gegengleichen Randwerten $\psi = -1$ oder mit überwiegendem Zug [4] $\psi < -1$		$\sigma_{1Ki} = k \cdot \sigma_e$	$\alpha \geqq {}^2/_3$	$k = 23{,}9$
				$\alpha < {}^2/_3$	$k = 15{,}87 + \frac{1{,}87}{\alpha^2} + 8{,}6\,\alpha^2$
5	Gleichmäßig verteilte Schubspannungen		$\tau_{Ki} = k \cdot \sigma_e$	$\alpha \geqq 1$	$k = 5{,}34 + \frac{4{,}00}{\alpha^2}$
				$\alpha < 1$	$k = 4{,}00 + \frac{5{,}34}{\alpha^2}$

16.5 Bei der Beuluntersuchung sind immer die vollen Querschnitte ohne Abzug von Nietlöchern einzusetzen. Die im untersuchten Stegblechfeld durch die äußere Belastung bewirkten Spannungen (z. B. gleichmäßig verteilte Druckspannungen σ_1 oder geradlinig verteilte Normalspannungen mit dem Randwert σ_1 oder Schubspannungen τ) sind zu berechnen unter Berücksichtigung der dynamischen Kräfte und Schwingbeiwerte nach den jeweiligen Vorschriften.

Die Schubspannungen τ sind unter der Annahme zu ermitteln, daß die Querkraft gleichmäßig über die ganze Breite b bzw. $(b_1 + b_2)$ verteilt ist. Für σ_1 ist der Absolutwert der größten am Rand des untersuchten Stegblechfeldes (Abschnitt 16.3) auftretenden Druckspannung einzusetzen. Sind nur Schub- und Zugspannungen vorhanden, so ist die Zugspannung bei der Beuluntersuchung unberücksichtigt zu lassen, falls von einer genaueren Untersuchung abgesehen wird.

Der Verlauf der geradlinig verteilten Normalspannungen wird durch Größe und Vorzeichen von ψ gekennzeichnet. ψ ist nach Tabelle 6 Spalte 1 der Quotient der beiden Randnormalspannungen $\psi = \sigma_2 : \sigma_1$.

16.6. Der Bestimmung von σ_1 und τ ist der im untersuchten Feld (Abschnitt 16.3.) vorhandene Größtwert des Biegemomentes bzw. der Querkraft zugrunde zu legen. Tritt dieser Größtwert an einem Ende des untersuchten Feldes auf, so darf der in Feldmitte vorhandene Wert des Biegemomentes bzw. der Querkraft — jedoch nicht weniger als der Wert an jener Stelle, die den Abstand $b/2$ vom erwähnten Ende hat — zur Berechnung von σ_1 und τ verwendet werden.

[4]) Bei der Berechnung des Seitenverhältnisses α und der Eulerspannung σ_e ist hier b durch den ideellen Wert $b_i = 2\,b_D$ zu ersetzen, wobei $b_D < 0{,}5\,b$ die Breite der Druckzone ist. Dies ist jedoch nicht zulässig für die Berechnung des Beulwertes k gleichzeitig wirkender Schubspannungen und der Bezugsspannung σ_e zur Ermittlung der Beulspannung τ_{Ki}.

17. Nachweis der erforderlichen Beulsicherheit

17.1. Die ideale Beulspannung, deren Bestimmung nicht nur an die Voraussetzung eines genau ebenen Bleches, einer genau mittigen Krafteintragung und eines ideal isotropen Werkstoffes, sondern auch an die Voraussetzung eines unbeschränkt gültigen Hookeschen Formänderungsgesetzes gebunden ist, beträgt nach Tabelle 6, Spalte 2

$$\sigma_{1Ki} = k \cdot \sigma_e \text{ bzw. } \tau_{Ki} = k \cdot \sigma_e,$$

wobei k den vom Belastungsfall, der Lagerung und dem Seitenverhältnis $\alpha = a/b$ abhängigen „Beulwert" darstellt und σ_e eine Bezugsspannung ist. Sie ist die Eulersche Knickspannung eines 1 cm breiten, b cm langen, an seinen Enden einspannungsfrei gelagerten Blechstreifens, dessen Biegesteifigkeit durch die Plattensteifigkeit $\frac{E \cdot t^3}{12\,(1 - \mu^2)}$ ersetzt wird. Es gilt

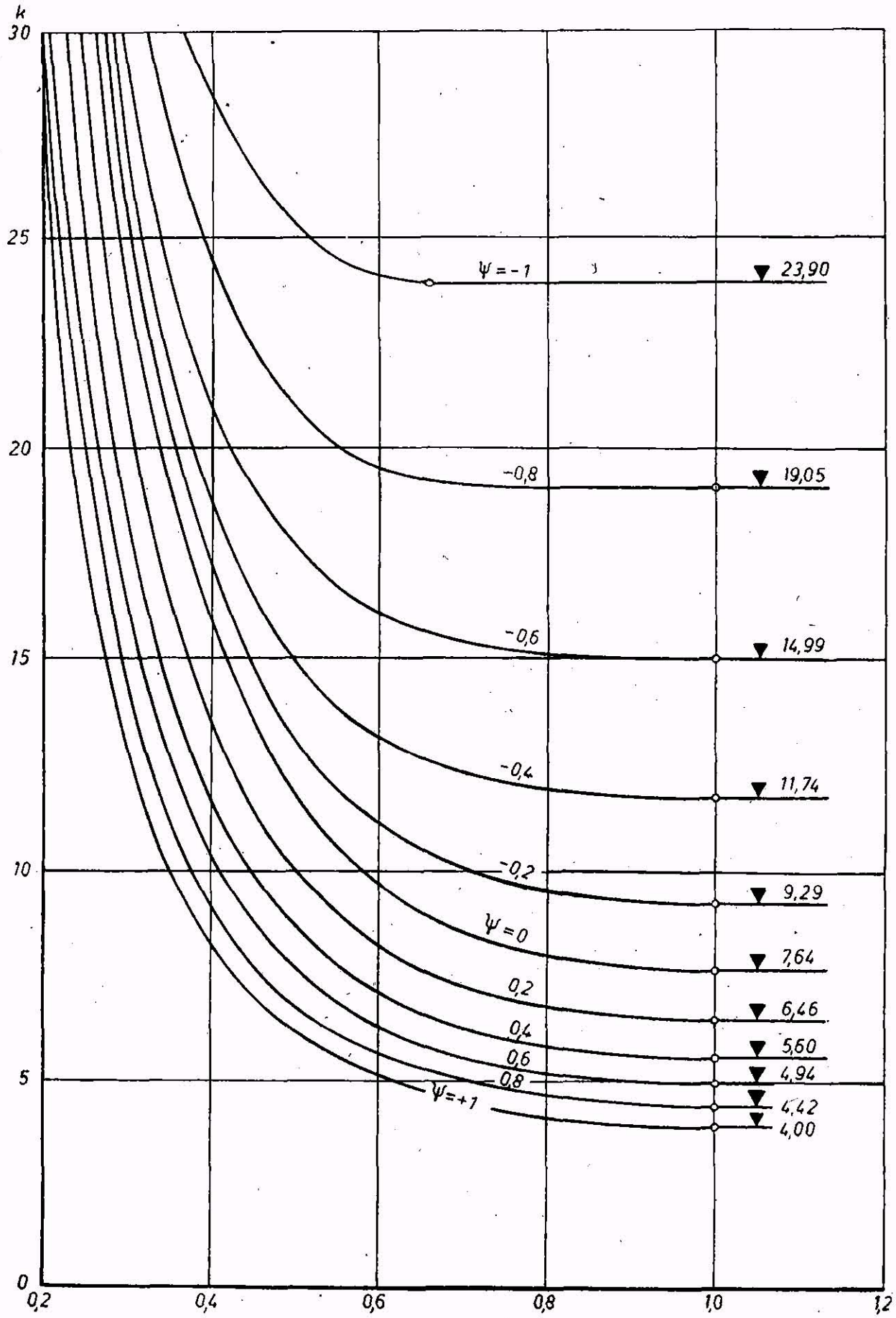
$$\sigma_e = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot t^2}{12 \cdot b^2\,(1 - \mu^2)} = 189{,}8 \cdot \left(\frac{100 \cdot t}{b}\right)^2 = (1378 \cdot t/b)^2 \text{ kp/cm}^2,$$

wobei E der Elastizitätsmodul, $\mu = 0{,}3$ die Querdehnungszahl und t die Blechdicke ist.

17.2. In der Tabelle 6, Spalte 4 sind die Beulwerte k für rechteckige, an allen vier Rändern einspannungsfrei gelagerte Bleche für einige einfache Belastungsarten angegeben. Für näherungsweise Vorberechnungen kann k für die Normalspannungsfälle

$$-1 \leqq \psi \leqq +1$$

auch aus Bild 20 entnommen werden. Treten Normal- und Schubspannungen gleichzeitig auf, so sind die beiden Einzelbeulspannungen σ_{1Ki} und τ_{Ki} getrennt zu berechnen.



$\alpha = \frac{a}{b}$

Bild 20

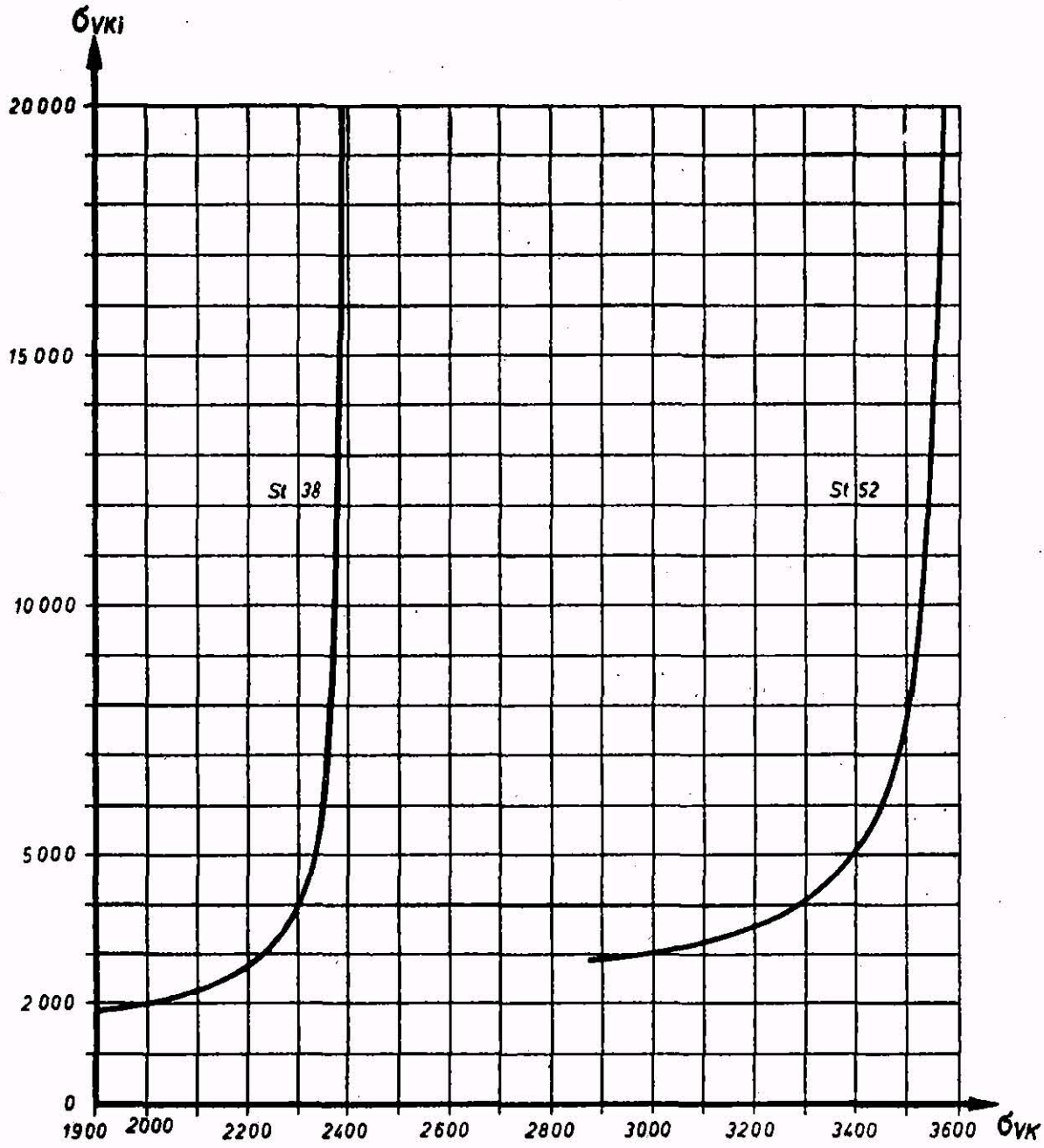


Bild 21

17.3. Mit den Einzelbeulspannungen σ_{1Ki}, τ_{Ki} und den nach Abschnitt 16.5. und 16.6. ermittelten Spannungswerten σ_1, τ ist die ideale Vergleichsspannung

$$\sigma_{VKi} = \frac{\sqrt{\sigma_1^2 + 3\tau^2}}{\frac{1+\psi}{4} \cdot \frac{\sigma_1}{\sigma_{1Ki}} + \sqrt{\left(\frac{3-\psi}{4} \cdot \frac{\sigma_1}{\sigma_{1Ki}}\right)^2 + \left(\frac{\tau}{\tau_{Ki}}\right)^2}}$$

zu berechnen; sie beträgt im Sonderfall $\tau \equiv 0$ einfach $\sigma_{VKi} = \sigma_{1Ki}$ und im Sonderfall $\sigma_1 \equiv 0$ einfach $\sigma_{VKi} = \tau_{Ki} \cdot \sqrt{3}$. Da die idealen Beulspannungen in allen jenen Fällen, in denen σ_{VKi} oberhalb der Proportionalitätsgrenze des Baustahls liegt, eine Abminderung erfahren müssen, ist zur idealen Vergleichsspannung σ_{VKi} eine abgeminderte Vergleichsspannung σ_{VK} zu bestimmen und die Beulsicherheitszahl mit Hilfe der Beziehung

$$\nu_B = \frac{\sigma_{VK}}{\sqrt{\sigma_1^2 + 3\tau^2}}$$

zu berechnen; der zum Wert σ_{VKi} gehörige abgeminderte Wert σ_{VK} ist aus der Tabelle 7 zu entnehmen, wobei Zwischenwerte geradlinig einzuschalten sind. Für Vorberechnungen darf näherungsweise σ_{VK} unmittelbar aus Bild 21 entnommen werden. Die Tabelle 7 und das Bild 21 führen umgekehrt auch von einem gegebenen Spannungswert

$$\sigma_{VK} = \nu_B \cdot \sqrt{\sigma_1^2 + 3\tau^2}$$

zur zugeordneten idealen Vergleichsspannung σ_{VKi}, die bei der Bemessung nicht unterschritten werden darf. Für

$$\sigma_{VK} = \sigma_{VKi} \text{ wird } \nu_B = \nu_{Bl}.$$

17.4. Die Beulsicherheitszahl muß für ideale Vergleichsspannungen $\sigma_{VKi} \leqq 3750$ kp/cm² im Grenzlastfall H $\nu_B \geqq 1{,}35$ und im Grenzlastfall HZ $\nu_B \geqq 1{,}25$ sein. Für Vergleichsspannungen $\sigma_{VKi} > 3750$ kp/cm² darf die Beulsicherheit kleiner sein und zwar im Grenzlastfall H

$$\nu_B \geqq 1{,}35 \cdot \left[0{,}9 + 0{,}1 \left(\frac{3750}{\sigma_{VKi}}\right)^2\right]$$

und im Grenzlastfall HZ

$$\nu_B \geqq 1{,}25 \cdot \left[0{,}9 + 0{,}1 \left(\frac{3750}{\sigma_{VKi}}\right)^2\right].$$

Sie braucht in der Regel nur für einen dieser beiden Belastungsfälle nachgewiesen zu werden.

17.5. Bei Beuluntersuchungen von Rechteckplatten, die Bauteile eines Druckstabes sind, darf die Beulsicherheit ν_B des Bauteiles nicht kleiner sein als die Knicksicherheit ν_K des ganzen Stabes. Jedoch gilt für Vergleichsspannungen $\sigma_{VKi} > 3750$ kp/cm²

$$\nu_B \geqq \left[0{,}9 + 0{,}1 \cdot \left(\frac{3750}{\sigma_{VKi}}\right)^2\right] \cdot \nu_K.$$

Die Knicksicherheit ν_K ist abhängig von der Baustahlgüte und der für die Knickuntersuchung wirksamen Schlankheit λ und ist in Tabelle 7 für die beiden Stahlarten der ideellen Knickspannung σ_{VKi} zugeordnet. Erforderlichenfalls ist die Beulsicherheit durch Vergrößerung der Blechdicke oder der Biegesteifigkeit der Steifen oder durch zusätzliche Anordnung von Steifen bis auf den geforderten Mindestwert zu heben. Sofern keine Steifen angeordnet werden, darf, wenn auf eine genauere Berechnung verzichtet wird, die erforderliche Blechdicke nach Tabelle 3, in der die oben angegebene Ermäßigung für Vergleichsspannungen $\sigma_{VKi} > 3750$ kp/cm² enthalten ist, berechnet werden.

17.6. Bei Beuluntersuchungen von Rechteckplatten, die Bauteile eines Druckstabes sind, der zusätzlich durch Querkraftbiegung beansprucht wird, ist die erforderliche Beulsicherheit $\nu_B^{N,M}$ zu ermitteln nach der Formel

$$\nu_B^{N,M} \geqq \frac{\nu_K \cdot \sigma_N + \nu_B \cdot \sigma_M}{\sigma_N + \sigma_M}$$

Tabelle 7

σ_{VKi} kp/cm²	St 38			St 52		
	σ_{VK} kp/cm²	Grenzlastfall H ν_{K_1}	Grenzlastfall HZ ν_{K_2}	σ_{VK} kp/cm²	Grenzlastfall H ν_{K_1}	Grenzlastfall HZ ν_{K_2}
< 1 570	σ_{VKi}	2,50	2,19	σ_{VKi}	2,50	2,19
1 920	$\sigma_P = 1\,920$	2,72	2,38	„	2,50	2,19
2 000	1 983	2,75	2,41	„	2,50	2,19
2 100	2 036	2,73	2,39	„	2,50	2,19
2 200	2 077	2,73	2,39	„	2,50	2,19
2 300	2 109	2,71	2,37	„	2,50	2,19
2 400	2 136	2,69	2,35	„	2,50	2,19
2 500	2 158	2,67	2,33	„	2,50	2,19
2 600	2 178	2,63	2,30	„	2,50	2,19
2 700	2 194	2,63	2,30	„	2,50	2,19
2 800	2 209	2,59	2,26	σ_{VKi}	2,50	2,19
2 880	—	—	—	$\sigma_P = 2\,880$	2,62	2,28
2 900	2 221	2,57	2,25	2 899	2,64	2,31
3 000	2 233	2,54	2,22	2 974	2,63	2,31
3 200	2 252	2,49	2,18	3 077	2,62	2,30
3 400	2 267	2,46	2,15	3 149	2,61	2,28
3 600	2 280	2,43	2,12	3 203	2,59	2,27
3 800	2 291	2,39	2,09	3 248	2,57	2,25
4 000	2 300	2,37	2,07	3 284	2,53	2,22
4 200	2 308	2,33	2,04	3 313	2,49	2,18
4 400	2 315	2,32	2,03	3 338	2,48	2,17
4 600	2 321	2,27	1,99	3 359	2,45	2,14
4 800	2 326	2,26	1,98	3 378	2,43	2,13
5 000	2 331	2,23	1,95	3 394	2,39	2,09
5 500	2 340	2,19	1,92	3 426	2,33	2,04
6 000	2 347	2,16	1,89	3 450	2,30	2,01
6 500	2 353	2,12	1,85	3 469	2,25	1,97
7 000	2 358	2,09	1,83	3 484	2,21	1,93
8 000	2 366	2,06	1,80	3 506	2,17	1,90
10 000	2 374	2,00	1,75	3 532	2,09	1,83
20 000	2 389	1,86	1,63	3 574	1,91	1,67
∞	2 400	1,71	1,50	3 600	1,71	1,50

Auch hier darf für Vergleichsspannungen $\sigma_{VKi} > 3750$ kp/cm² die erforderliche Beulsicherheit wie oben abgemindert werden, und es gilt dann:

$$\nu_B^{N,M} \geqq \left[0{,}9 + 0{,}1 \left(\frac{3750}{\sigma_{VKi}}\right)^2\right] \frac{\nu_K \cdot \sigma_N + \nu_B \cdot \sigma_M}{\sigma_N + \sigma_M}.$$

In den angegebenen Formeln ist für Grenzlastfall H $\nu_B = 1{,}35$ und für Grenzlastfall HZ $\nu_B = 1{,}25$ einzusetzen. σ_N und σ_M sind die Spannungsanteile infolge der Normalkraft und des Biegemomentes und entsprechen dem ersten und dem zweiten Posten der Formeln I) oder II) des Abschnittes 10.2. Die Knicksicherheitszahl ν_K ist der Schlankheit λ des Druckstabes zugeordnet und kann für die Zehnerzahlen von λ der Tabelle 3 der Richtlinien entnommen werden.

17.7. Im Hochbau darf bei Trägern, deren Stegblechhöhe nicht größer als 1,00 m und deren biegedruckseitige Randspannung nicht größer als die biegezugseitige Randspannung ist, von der Beuluntersuchung abgesehen werden, wenn im Grenzlastfall H die 2,6fache und im Grenzlastfall HZ die 2,3fache größte durchschnittliche Schubspannung den Wert σ_{VK} nicht überschreitet, der in Tabelle 7 oder Bild 21 dem Wert

$$\sigma_{VKi} = 1760 \cdot (100 \cdot t/b)^2 \text{ kp/cm}^2$$

zugeordnet ist. Auch dieser Nachweis braucht in der Regel nur für einen der beiden Belastungsfälle erbracht zu werden.

17.8. Die Beulsicherheit der Stegbleche vollständig einbetonierter Träger braucht nicht nachgewiesen zu werden.

18. Aussteifung von Stegblechen

18.1. Die in Abschnitt 16.3. geschilderte Unterteilung des Stegbleches in einzelne Felder der Länge a und Breite b setzt eine unverschiebliche Querstützung des Bleches an allen vier Feldrändern voraus. In der Regel wird diese Querstützung durch die Gurte des Trägers und die mit den Querträgern verbundenen Pfosten (Halbrahmenstiele), bei mehrwandigen Konstruktionen auch durch Quer- und Längsschotte oder Quer- und Längsverbände bewirkt.

18.2. Werden zur Unterteilung einzelne Quer- oder Längssteifen verwendet, so gibt es grundsätzlich zwei Wege: Entweder erhalten die Längs- und Quersteifen eine so große Biegesteifigkeit (Mindeststeifigkeit, vgl. Ri 18.1.), daß sie die Beulspannung für das zu untersuchende Feld zumindest bis auf jenen Wert heben, der sich für das stärkstbeanspruchte Teilfeld (bei Annahme einer einspannungsfreien Umfangslagerung) nach Abschnitt 17.3. ergibt. Oder die Biegesteifigkeiten der Steifen werden kleiner gewählt als die Mindeststeifigkeiten (vgl. Ri 18.2.), so daß die Beulwerte k kleiner werden als die, die sich für die Teilfelder ergeben, aber noch ausreichend groß sind, um die erforderliche Beulsicherheit zu erreichen. Der zweite Weg ist aber besonders zweckmäßig, da die Erhöhung der Beulspannungen für die sich aus den Mindeststeifigkeiten ergebenden Teilfelder durch die Abminderung im plastischen Bereich häufig nicht ausgenutzt werden kann.

18.3. Steifen, die als Folge ihrer Verbindung mit dem Stegblech eine axiale Druckspannung erfahren, die bei Einwirkung der Beulbelastung des versteiften Bleches die Proportionalitätsgrenze σ_P überschreitet, dürfen bei Stegblechen aus St 52 nicht aus St 38 hergestellt werden. Für alle Baustahlsorten ist $\sigma_P = 0{,}8\,\sigma_F$ anzunehmen.

18.4. Längssteifen von Stegblechen, die an den Kreuzungsstellen mit Quersteifen, Halbrahmenstielen, Querschotten u. dgl. unverschwächt durchgeführt oder gleichwertig gestoßen werden, dürfen bei der Berechnung der Fläche und des Trägheitsmomentes des gesamten Trägerquerschnittes mitberücksichtigt werden. Hierbei wird vorausgesetzt, daß eine einwandfreie Übertragung der auf die Steife entfallenden Axialkraft durch ihre Anschlüsse sichergestellt ist.

18.5. Für die Wahl des Steifenquerschnittes ist auch das Verhalten der Steife während des Ausbeulens des Bleches von Bedeutung. Steifen, deren Biegesteifigkeit schon nach kleinen Ausbeulungen des Bleches durch örtliches Ausweichen absinken kann, sind zu vermeiden.

19. Knickzahlen ω für einteilige Druckstäbe aus Rundrohren

Für einteilige Druckstäbe aus Rundrohren gilt die nachstehende Bestimmung, die bereits seit längerer Zeit durch die Bauaufsichtsbehörden eingeführt ist und die für diese Druckstäbe Erleichterungen für die Bemessung enthält. Diese Bestimmung soll in eine Neuausgabe dieses Standards eingearbeitet werden und wird mit der vorliegenden Ausgabe vorab zur Kenntnis gebracht:

Planmäßig mittig gedrückte Stäbe, die nach Abschnitt 7., bzw. planmäßig ausmittig gedrückte Stäbe, die nach Abschnitt 10. zu berechnen sind, dürfen, sofern der Stab aus einem Rundrohr (nahtlos oder geschweißt) mit einer Wanddicke $t \leqq {}^1/_6$ Außendurchmesser besteht, mit den Knickzahlen ω der nachfolgenden Tabellen 1 a und 2 a bemessen werden. Diese Regelung gilt nur für einteilige Druckstäbe, soweit sie nicht im Gerüstbau verwendet werden. Für mehrteilige Druckstäbe aus Rundrohren und alle übrigen einteiligen oder mehrteiligen Druckstäbe mit geschlossenem Querschnitt gelten die Knickzahlen der Tabellen 1 und 2.

Tabelle 1 a. Knickzahlen ω für St 38 bei einteiligen Druckstäben aus Rundrohren

λ	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	λ
20	1,00	1,00	1,00	1,00	1,01	1,01	1,01	1,02	1,02	1,02	20
30	1,03	1,03	1,04	1,04	1,04	1,05	1,05	1,05	1,06	1,06	30
40	1,07	1,07	1,08	1,08	1,09	1,09	1,10	1,10	1,11	1,11	40
50	1,12	1,13	1,13	1,14	1,15	1,15	1,16	1,17	1,17	1,18	50
60	1,19	1,20	1,20	1,21	1,22	1,23	1,24	1,25	1,26	1,27	60
70	1,28	1,29	1,30	1,31	1,32	1,33	1,34	1,35	1,36	1,37	70
80	1,39	1,40	1,41	1,42	1,44	1,46	1,47	1,48	1,50	1,51	80
90	1,53	1,54	1,56	1,58	1,59	1,61	1,63	1,64	1,66	1,68	90
100	1,70	1,73	1,76	1,79	1,83	1,87	1,90	1,94	1,97	2,01	100
110	2,05	2,08	2,12	2,16	2,20	2,23	weiter wie in Tabelle 1				110

Tabelle 2 a. Knickzahlen ω für St 52 bei einteiligen Druckstäben aus Rundrohren

λ	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	λ
20	1,02	1,02	1,02	1,03	1,03	1,03	1,04	1,04	1,05	1,05	20
30	1,05	1,06	1,06	1,07	1,07	1,08	1,08	1,09	1,10	1,10	30
40	1,11	1,11	1,12	1,13	1,13	1,14	1,15	1,16	1,16	1,17	40
50	1,18	1,19	1,20	1,21	1,22	1,23	1,24	1,25	1,26	1,27	50
60	1,28	1,30	1,31	1,32	1,33	1,35	1,36	1,38	1,39	1,41	60
70	1,42	1,44	1,46	1,47	1,49	1,51	1,53	1,55	1,57	1,59	70
80	1,62	1,66	1,71	1,75	1,79	1,83	1,88	1,92	1,97	2,01	80
90	2,05	weiter wie in Tabelle 2									90

Hinweise:

Entstanden unter Berücksichtigung von DIN 4114 Bl. 1 Ausg. 7.52 xx.
Änderungen gegenüber DIN: Redaktionell überarbeitet.

–/– Erster berichtigter Nachdruck,
Bestätigt: 28.3.1967,
Eingearbeitet: 1. Berichtigung Nr. 344, AO 273 vom 4.6.1963. Auf Seite 7 in der letzten Zeile des Abschnittes 8.3.6. ist „ . . . zur Achse x – x₁" zu ändern in „ . . . zur Achse x – x"
2. Berichtigung Nr. 1100 AO 470 vom 28.3.1967. Auf Seite 1 Abschnitt 2. „Geltungsbereich" TGL-Nummern nachgetragen bei: b) TGL 13 501 Bl. 1 und 2. d) TGL 13 460. f) TGL 13 471. g) TGL 13 472, h) TGL 13 480, i) TGL 13 481, k) TGL 10 727 und o) TGL 0–4118. Seite 2, Abschnitt 3. Bild 1 „oL" in „oD" geändert. Auf Seite 18 unter Hinweise wurde die 3. bis 13. Zeile gestrichen.