

**Deutsche
Demokratische
Republik**

Stahlbau
STABILITÄTSFÄLLE
Berechnung nach zulässigen Spannungen
Allgemeine Grundlagen

★ **TGL**
13 503
Teil 1

Gruppe 135000

Стальное строительство
Устойчивость
Расчет основанный на допуска-
емых напряжениях
Общие основания

Steel Structures
Stability Conditions
Calculation of
Permissible Stress
General Fundamentals

Verbindlich ab 1.4.1973

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

Die Festlegungen zum Grenzlastfall S gelten nicht für Brücken im Verkehrsbau.

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1. Allgemeines	2
KNICKUNG UND KIPPUNG	
2. Formen der Instabilität	2
3. Berechnung der Knickstäbe	3
GERADE, PLANMÄSSIG MITTIG GEDRÜCKTE STÄBE	
4. Allgemeines	3
5. Höchstzulässiger Schlankheitsgrad	4
6. Knicklänge	4
7. Einteilige Druckstäbe von gleichbleibendem Querschnitt	6
8. Mehrteilige Druckstäbe von gleichbleibendem Querschnitt	17
9. Dünnwandige Teile von Druckstäben	29
GERADE, PLANMÄSSIG AUSSERMITTIG GEDRÜCKTE STÄBE; BEANSPRUCHUNG AUF DRUCK UND BIEGUNG	
10. Gerade, planmäßig außermittig gedrückte Stäbe von gleichbleibendem Querschnitt	30

Fortsetzung Seite 2 bis 56

Verantwortlich: VEB Metalleichtbaukombinat

Bestätigt: 10.7.1972, Amt für Standardisierung, Berlin

**DRUCKGURTE UND DRUCKSTÄBE MIT FEDERNDER
QUERSTÜTZUNG, VERBÄNDE UND HILFSSTÄBE
ZUM ABSTÜTZEN VON DRUCKSTÄBEN**

- | | | |
|-----|--------------------|----|
| 11. | Allgemeines | 35 |
| 12. | Näherungsverfahren | 35 |

BOGENTRÄGER

- | | | |
|-----|--|----|
| 13. | Knickung symmetrischer Bogenträger | 40 |
| 14. | Rahmen | 43 |
| | Nachweis nach Theorie II. Ordnung | |
| | Nachweis nach dem ω - Verfahren | |

KIPPUNG DER TRÄGER

- | | | |
|-----|--|----|
| 15. | Kippsicherheit von Trägern mit I-Querschnitt | 45 |
|-----|--|----|

BEULUNG EBENER BLECHE

- | | | |
|-----|--|----|
| 16. | Allgemeines | 46 |
| 17. | Nachweis der erforderlichen Beulsicherheit | 47 |
| 18. | Aussteifung von Stegblechen | 54 |
| 19. | Zuständige Prüfstellen | 54 |

1. Allgemeines

Die Stabilität des Gleichgewichtes eines Stahltragwerkes muß nicht nur im fertigen Zustand, sondern auch in jedem Bau- und Umbaugustand gesichert sein.

KNICKUNG UND KIPPUNG

2. Formen der Instabilität

Im allgemeinen Fall des gedrückten Stabes, bei dem Schwerachse (S), Schmittelpunktachse (M) und Lastwirkungslinie (P) nicht zusammenfallen, siehe 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 Linien zusammenfällt und bei geeigneten Randbedingungen an den Stabenden auch eine Kurve sein kann.

Unter Kippen wird das mit einer Verdrehung der Querschnitte verbundene seitliche Ausweichen eines doppelt- oder einfachsymmetrischen Trägers verstanden, der in der Symmetrie-Ebene durch Querkraftbiegung beansprucht ist und außerdem noch Längskräfte haben kann. Ist keine Querkraft, sondern nur Längskraft und gegebenenfalls ein konstantes Biegemoment vorhanden, so wird der allgemeine Instabilitätsfall Biegedrillknicken genannt.

Wenn von vornherein Biegemomente vorhanden sind, die eine Verformung in Richtung des Ausweichens hervorrufen, liegt im allgemeinen ein Traglastproblem, bei Beschränkung auf den elastischen Formänderungsbereich ein Spannungsproblem nach der Theorie II. Ordnung vor, in Sonderfällen auch ein Verzweigungsproblem.

Je nach Lage des Lastangriffspunktes und Form des Querschnittes ergeben sich als Sonderfälle die Biegeknickung mit ausschließlicher Verbiegung des Stabes um eine Hauptachse - ausgedrückt im elastischen Bereich durch die Euler-Formeln - und die Drillknickung mit ausschließlicher Verdrehung des Stabes um die dann mit der Schubmittelpunktachse (M) und der Lastwirkungslinie (P) zusammenfallende Schwerachse (S). Weitere Erläuterungen siehe TGL 13 503 Bl.2.

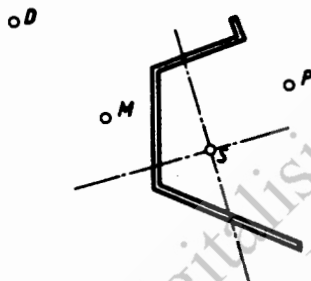


Bild 1

3. Berechnung der Knickstäbe

Die Berechnung der Knickstäbe hat im Regelfall nach der Theorie II. Ordnung unter Annahme einer ungewollten Außermittigkeit zusätzlich zu der unter Umständen vorhandenen planmäßigen Außermittigkeit zu erfolgen; außerdem ist gegen Erreichen der Eulerlast abzusichern.

Für die Berechnung nach der Theorie II. Ordnung ist als Spannungs-Dehnungs-Gesetz bis zur Streckgrenze ideal-elastisches Verhalten und darüber ideal-plastisches Verhalten angenommen.

Die Biegelinie aus ungewollter Außermittigkeit darf ähnlich der ersten Eigenfunktion beim Knicken angesetzt werden; damit sollen auch andere Einflüsse, z. B. Eigenspannungen, abgegolten werden.

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 waagrecht oder schräg

liegenden Druckstäben, deren auf die waagerechte Ebene projizierte Netzlänge mehr als 6,00 m beträgt, ist zusätzlich die Wirkung der Eigenlast nach Abschnitt 10.5. zu berücksichtigen.

5. Höchstzulässiger Schlankheitsgrad

Der Schlankheitsgrad (λ) der Druckstäbe darf nicht größer als 300 sein. Insbesonderheit gilt folgendes:

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 jedoch einen Schlankheitsgrad bis 200 aufweisen. Bei mehrteiligen Druckstäben ist hier der ideale Schlankheitsgrad (λ_1) einzuführen. Für Gittermaste von Starkstromleitungen entfällt die Begrenzung der Schlankheit, ebenso für den rechnerischen Schlankheitsgrad von Rahmenriegeln.

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, wird zurückgeführt auf das Verfahren des Abschnittes 7. zur Bemessung von Stäben mit gelenkiger Lagerung und an den Enden angreifenden richtungstreuen Druckkräften. Es ist dazu als rechnerische Knicklänge eine gedachte Länge $s_K = \beta \cdot s$ 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. Die Wirkung einer **E i n s p a n n u n g** und **V e r h i n d e r u n g** d e r **Q u e r s c h n i t t s v e r w ö l b u n g** s i n d n i c h t z u b e r ü c k s i c h t i g e n, wenn von den im weiteren angeführten Ausnahmefällen abgesehen und kein genaueres, auch das Verhalten der einspannenden Stäbe - also der **g e s a m t e n** Stabverbindung - berücksichtigender Nachweis erbracht wird. Die Stabenden sind demnach als **g e l e n k i g** festgehalten anzusehen und die Knicklänge (s_K) ist s gleichzusetzen. Ist die Voraussetzung unverschieblich haltener Stabenden nicht erfüllt, so kann s_K erheblich größer als 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 abtenden 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 **i n d e r** **F a c h w e r k e b e n e** gilt $s_K = s$.

6.2.2. Für das Ausknicken **r e c h t w i n k l i g** z u r **F a c h w e r k e b e n e** gelten folgende Festsetzungen:

Sind die Knotenpunkte seitlich unverschieblich festgehalten, so ist $s_K = s$.

Sind die Knotenpunkte nur federnd quergestützt, so gelten die Festlegungen der Abschnitte 11. und 12.

Sind die Knotenpunkte a und b in beiden Fachwerkebenen seitlich unverschieblich festgehalten, wirken aber in den beiden Hälften der Stablänge verschieden große Druckkräfte N_1 und $N_2 < N_1$, siehe Bild 2, so ist der Stab mit der Druckkraft N_1 und der Knicklänge $s_K = s \cdot (0,75 + 0,25 \cdot N_2/N_1)$ zu berechnen.

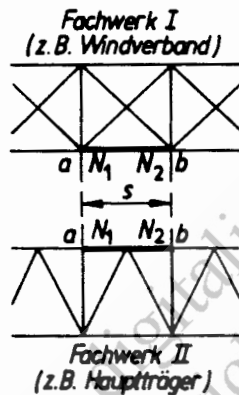


Bild 2

6.3. Streben und Pfosten von Fachwerken

6.3.1. Für das Ausknicken in der Fachwerkebene und das Drilknicken gilt für s_K der Abstand s , der nach der Zeichnung geschätzten Schwerpunkte der Anschlußnietgruppen oder Schweißanschlüsse an beiden Stabenden. Für Fachwerk-Füllstäbe, die ohne Knotenbleche an steifere Gurte angeschweißt sind, darf $s_K = 0,9 \cdot s$ angenommen werden. 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 gleichwertige Schweißverbindung miteinander verbunden sind.

6.3.2. Für das Ausknicken rechtwinklig zur Fachwerkebene gelten folgende Festlegungen:

Ist der Stab an den beiden Enden unverschieblich festgehalten, so gilt $s_K = s$. Sind beide Stabenden unverschieblich festgehalten und elastisch eingespannt, so darf die Knicklänge bei entsprechender Begründung bis zu $s_K = 0,7 \cdot s$, siehe Bild 3 b, bei einseitiger Einspannung bis zu $s_K = 0,8 \cdot s$, siehe Bild 3 a, herabgesetzt werden. Für querverschiebliche Rahmen gilt der Abschnitt 14.

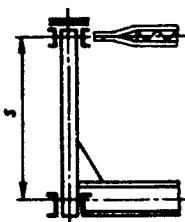


Bild 3 a

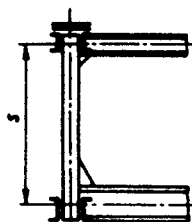


Bild 3 b

6.3.3. Besteht der Stab aus einem einzelnen Winkelstahl, so gilt Abschnitt 10.8.

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 mehr geschossigen Stahlgewölkkonstruktionen darf die Querstützung durch die Ausmauerung bei der Bestimmung der wirksamen Knicklänge nicht berücksichtigt werden.

7. Einteilige Druckstäbe von gleichbleibendem Querschnitt

7.1. Bei einteiligen Druckstäben muß

$$\sigma_c = \frac{N}{F} \leq \frac{\text{zul } \sigma}{\omega} \quad (1)$$

sein.

Hierbei bedeutet:

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

- F ungeschwächte Querschnittsfläche des Stabes;
- zul σ für den untersuchten Belastungsfall und die gewählte Baustahlorte geltende zulässige Spannung¹⁾;
- ω von der Art des Querschnitts, vom Anwendungsbereich, von der Baustahlorte und vom Schlankheitsgrad λ abhängige Knickzahl, die den Tabellen 1 bis 3 sowie für Brücken im Verkehrsbau den Tabellen 4 zu entnehmen ist;
- λ Schlankheitsgrad des Stabes, das ist der größere der beiden Verhältnswerte $\lambda_x = s_{Kx} / i_x$ oder $\lambda_y = s_{Ky} / i_y$, wobei s_{Kx} , s_{Ky} die Knicklängen des Stabes nach Abschnitt 6. für das Ausknicken rechtwinklig zur Querschnittshauptachse x - x oder y - y und i_x , i_y die zugeordneten Hauptträgheitshalbmesser sind.

7.2. Stäbe mit geringem Drillwiderstand sind, falls erforderlich, auf Biegedrillknickung und Drillknickung nach TGL 13 503 Bl.2 zu untersuchen.

Tabelle 1 a Knickzahlen (ω) für geschweißte Stäbe aus St 38 für geometrisch ungünstige Querschnitte mit wesentlichen Eigenspannungen, das heißt mit Längs-Schweißnähten, z. B. L, +, T, \perp

λ	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	λ
10	1,04	1,04	1,05	1,05	1,06	1,06	1,07	1,07	1,08	1,08	10
20	1,08	1,09	1,09	1,10	1,10	1,11	1,11	1,12	1,12	1,13	20
30	1,14	1,14	1,15	1,15	1,16	1,16	1,17	1,18	1,18	1,19	30
40	1,20	1,20	1,21	1,22	1,23	1,23	1,24	1,25	1,26	1,27	40
50	1,27	1,28	1,29	1,30	1,31	1,32	1,33	1,34	1,35	1,36	50
60	1,37	1,38	1,40	1,41	1,42	1,43	1,44	1,46	1,47	1,48	60
70	1,50	1,51	1,53	1,54	1,56	1,57	1,59	1,60	1,62	1,63	70
80	1,65	1,67	1,69	1,70	1,72	1,74	1,76	1,78	1,80	1,82	80
90	1,84	1,86	1,88	1,90	1,92	1,94	1,97	1,99	2,01	2,03	90
100	2,06	2,08	2,10	2,13	2,15	2,18	2,20	2,23	2,25	2,28	100
110	2,31	2,33	2,36	2,39	2,42	2,44	2,47	2,50	2,53	2,56	110
120	2,59	2,62	2,65	2,68	2,71	2,74	2,77	2,80	2,83	2,87	120
130	2,90	2,93	2,96	3,00	3,03	3,06	3,10	3,13	3,17	3,20	130
140	3,24	3,27	3,31	3,34	3,38	3,41	3,45	3,49	3,53	3,56	140
150	3,60	3,64	3,68	3,71	3,75	3,79	3,83	3,87	3,91	3,95	150
160	3,99	4,03	4,07	4,11	4,16	4,20	4,25	4,31	4,36	4,41	160
170	4,46	4,51	4,57	4,62	4,67	4,73	4,78	4,84	4,89	4,95	170
180	5,00	5,06	5,11	5,17	5,23	5,28	5,34	5,40	5,46	5,52	180
190	5,57	5,63	5,69	5,75	5,81	5,87	5,93	5,99	6,05	6,11	190
200	6,18	6,24	6,30	6,36	6,43	6,49	6,55	6,62	6,68	6,74	200

Fortsetzung der Tabelle Seite 8

¹⁾ Entgegen der bisherigen Regelung ist jetzt auch bei Stabilitätsnachweisen derselbe Wert für die zulässige Spannung einzusetzen wie bei Zug, Druck und Biegung.


λ	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	λ
210	6,81	6,87	6,94	7,01	7,07	7,14	7,20	7,27	7,34	7,41	210
220	7,47	7,54	7,61	7,68	7,75	7,82	7,89	7,96	8,03	8,10	220
230	8,17	8,24	8,31	8,38	8,45	8,53	8,60	8,67	8,75	8,82	230
240	8,89	8,97	9,04	9,12	9,19	9,27	9,34	9,42	9,50	9,57	240
250	9,65	9,73	9,81	9,88	9,96	10,04	10,12	10,20	10,28	10,36	250
260	10,44	10,52	10,60	10,68	10,76	10,84	10,92	11,01	11,09	11,17	260
270	11,26	11,34	11,42	11,51	11,59	11,68	11,76	11,85	11,93	12,02	270
280	12,11	12,19	12,28	12,37	12,45	12,54	12,63	12,72	12,81	12,90	280
290	12,99	13,07	13,16	13,26	13,35	13,44	13,53	13,62	13,71	13,80	290
300	13,90										300

Für Werte unterhalb der Trennlinie gilt $\omega = \frac{\sigma_F}{0,75 \sigma_{K1}}$

Tabelle 1 b Knickzahlen (ω) für geschweißte Stäbe aus einem Stahl mit $\sigma_F = 3,0 \text{ Mp/cm}^2$ für geometrisch ungünstige Querschnitte mit wesentlich geringen Spannungen, das heißt mit Längsschweißnähten, z.B. L, +, T, \perp


λ	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	λ
10	1,04	1,04	1,05	1,05	1,06	1,06	1,07	1,07	1,08	1,08	10
20	1,09	1,09	1,10	1,10	1,11	1,11	1,12	1,12	1,13	1,13	20
30	1,14	1,15	1,15	1,16	1,17	1,17	1,18	1,19	1,19	1,20	30
40	1,21	1,22	1,22	1,23	1,24	1,25	1,26	1,27	1,28	1,29	40
50	1,30	1,31	1,32	1,33	1,34	1,35	1,37	1,38	1,39	1,40	50
60	1,42	1,43	1,45	1,46	1,48	1,49	1,51	1,52	1,54	1,56	60
70	1,57	1,59	1,61	1,63	1,65	1,67	1,69	1,71	1,73	1,75	70
80	1,77	1,79	1,81	1,83	1,86	1,88	1,91	1,93	1,95	1,98	80
90	2,01	2,03	2,06	2,08	2,11	2,14	2,17	2,20	2,22	2,25	90
100	2,28	2,31	2,34	2,37	2,40	2,44	2,47	2,50	2,53	2,57	100
110	2,60	2,63	2,67	2,70	2,73	2,77	2,81	2,84	2,88	2,91	110
120	2,95	2,99	3,03	3,06	3,10	3,14	3,18	3,22	3,26	3,30	120
130	3,34	3,38	3,42	3,46	3,50	3,54	3,59	3,63	3,68	3,73	130
140	3,78	3,84	3,89	3,95	4,00	4,06	4,11	4,17	4,23	4,28	140
150	4,34	4,40	4,46	4,52	4,58	4,64	4,70	4,76	4,82	4,88	150
160	4,94	5,00	5,07	5,13	5,19	5,25	5,32	5,38	5,45	5,51	160
170	5,58	5,64	5,71	5,78	5,84	5,91	5,98	6,05	6,12	6,18	170
180	6,25	6,32	6,39	6,46	6,53	6,61	6,68	6,75	6,82	6,89	180
190	6,97	7,04	7,11	7,19	7,26	7,34	7,41	7,49	7,57	7,64	190
200	7,72	7,80	7,88	7,95	8,03	8,11	8,19	8,27	8,35	8,43	200
210	8,51	8,59	8,67	8,76	8,84	8,92	9,00	9,09	9,17	9,26	210
220	9,34	9,43	9,51	9,60	9,68	9,77	9,86	9,95	10,03	10,12	220
230	10,21	10,30	10,39	10,48	10,57	10,66	10,75	10,84	10,93	11,02	230
240	11,12	11,21	11,30	11,40	11,49	11,58	11,68	11,77	11,87	11,97	240
250	12,06	12,16	12,26	12,35	12,45	12,55	12,65	12,75	12,85	12,95	250
260	13,05	13,15	13,25	13,35	13,45	13,55	13,66	13,76	13,86	13,97	260
270	14,07	14,17	14,28	14,38	14,49	14,60	14,70	14,81	14,92	15,02	270
280	15,13	15,24	15,35	15,46	15,57	15,68	15,79	15,90	16,01	16,12	280
290	16,23	16,34	16,46	16,57	16,68	16,80	16,91	17,02	17,14	17,25	290
300	17,37										300

Für Werte unterhalb der Trennlinie gilt $\omega = \frac{\sigma_F}{0,75 \sigma_{K1}}$

Tabelle 1 c Knickzahlen (ω) für geschweißte Stäbe aus St 52
für geometrisch ungünstige Querschnitte mit wesentlichen
Eigenspannungen, das heißt mit Längs-Schweißnähten, z.B.
L, +, T, 

λ	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	λ
10	1,04	1,05	1,05	1,05	1,06	1,06	1,07	1,07	1,08	1,08	10
20	1,09	1,09	1,10	1,10	1,11	1,11	1,12	1,13	1,13	1,14	20
30	1,14	1,15	1,16	1,16	1,17	1,18	1,19	1,19	1,20	1,21	30
40	1,22	1,23	1,24	1,25	1,26	1,27	1,28	1,29	1,30	1,31	40
50	1,32	1,34	1,35	1,36	1,38	1,39	1,40	1,42	1,43	1,45	50
60	1,47	1,48	1,50	1,52	1,54	1,56	1,57	1,59	1,61	1,64	60
70	1,66	1,68	1,70	1,72	1,75	1,77	1,79	1,82	1,84	1,87	70
80	1,90	1,92	1,95	1,98	2,01	2,04	2,06	2,09	2,12	2,16	80
90	2,19	2,22	2,25	2,28	2,32	2,35	2,38	2,42	2,45	2,49	90
100	2,52	2,56	2,60	2,63	2,67	2,71	2,75	2,79	2,83	2,87	100
110	2,91	2,95	2,99	3,03	3,07	3,11	3,15	3,20	3,24	3,28	110
120	3,33	3,39	3,45	3,50	3,56	3,62	3,68	3,74	3,79	3,85	120
130	3,91	3,97	4,04	4,10	4,16	4,22	4,28	4,35	4,41	4,47	130
140	4,54	4,60	4,67	4,74	4,80	4,87	4,94	5,00	5,07	5,14	140
150	5,21	5,28	5,35	5,42	5,49	5,56	5,64	5,71	5,78	5,85	150
160	5,93	6,00	6,08	6,15	6,23	6,31	6,38	6,46	6,54	6,61	160
170	6,69	6,77	6,85	6,93	7,01	7,09	7,17	7,26	7,34	7,42	170
180	7,50	7,59	7,67	7,76	7,84	7,93	8,01	8,10	8,19	8,27	180
190	8,36	8,45	8,54	8,63	8,72	8,81	8,90	8,99	9,08	9,17	190
200	9,26	9,36	9,45	9,54	9,64	9,73	9,83	9,92	10,02	10,12	200
210	10,21	10,31	10,41	10,51	10,61	10,71	10,81	10,91	11,01	11,11	210
220	11,21	11,31	11,41	11,52	11,62	11,72	11,83	11,93	12,04	12,15	220
230	12,25	12,36	12,47	12,57	12,68	12,79	12,90	13,01	13,12	13,23	230
240	13,34	13,45	13,56	13,68	13,79	13,90	14,02	14,13	14,24	14,36	240
250	14,47	14,59	14,71	14,82	14,94	15,06	15,18	15,30	15,42	15,54	250
260	15,66	15,78	15,90	16,02	16,14	16,26	16,39	16,51	16,63	16,76	260
270	16,88	17,01	17,13	17,26	17,39	17,51	17,64	17,77	17,90	18,03	270
280	18,16	18,29	18,42	18,55	18,68	18,81	18,94	19,08	19,21	19,34	280
290	19,48	19,61	19,75	19,88	20,02	20,15	20,29	20,43	20,57	20,71	290
300	20,84										300

Für Werte unterhalb der Trennlinie gilt $\omega = \frac{\sigma_F}{0,75 \sigma_{K1}}$

Tabelle 1 d Kriechzahlen (ω) für geschweißte Stäbe aus St 45/60 für geometrisch ungünstige Querschnitte mit wesentlichen Eigenspannungen, das heißt mit Längs-Schweißnähten, z. B. L, +, T, 

λ	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	λ
10	1,08	1,09	1,09	1,09	1,10	1,10	1,11	1,11	1,12	1,12	10
20	1,12	1,13	1,13	1,14	1,14	1,15	1,15	1,16	1,16	1,17	20
30	1,17	1,18	1,18	1,19	1,20	1,20	1,21	1,22	1,22	1,23	30
40	1,24	1,25	1,26	1,27	1,28	1,30	1,31	1,32	1,34	1,35	40
50	1,37	1,38	1,40	1,42	1,43	1,45	1,47	1,49	1,51	1,53	50
60	1,55	1,57	1,59	1,62	1,64	1,67	1,69	1,72	1,74	1,77	60
70	1,80	1,83	1,85	1,88	1,91	1,94	1,98	2,01	2,04	2,07	70
80	2,11	2,14	2,18	2,21	2,25	2,29	2,32	2,36	2,40	2,44	80
90	2,48	2,52	2,56	2,60	2,64	2,69	2,73	2,77	2,82	2,86	90
100	2,91	2,95	3,01	3,07	3,13	3,19	3,25	3,31	3,38	3,44	100
110	3,50	3,57	3,63	3,70	3,76	3,83	3,90	3,96	4,03	4,10	//
120	4,17	4,24	4,31	4,38	4,45	4,52	4,60	4,67	4,74	4,82	//
130	4,89	4,97	5,04	5,12	5,20	5,28	5,35	5,43	5,51	5,59	130
140	5,67	5,76	5,84	5,92	6,00	6,09	6,17	6,26	6,34	6,43	140
150	6,51	6,60	6,69	6,78	6,87	6,96	7,05	7,14	7,23	7,32	150
160	7,41	7,50	7,60	7,69	7,79	7,88	7,98	8,07	8,17	8,27	160
170	8,37	8,47	8,56	8,66	8,77	8,87	8,97	9,07	9,17	9,28	170
180	9,38	9,48	9,59	9,70	9,80	9,91	10,02	10,12	10,23	10,34	180
190	10,45	10,56	10,67	10,78	10,90	11,01	11,12	11,24	11,35	11,46	190
200	11,58	11,70	11,81	11,93	12,05	12,17	12,29	12,40	12,52	12,65	200
210	12,77	12,89	13,01	13,13	13,26	13,38	13,51	13,63	13,76	13,88	210
220	14,01	14,14	14,27	14,40	14,53	14,66	14,79	14,92	15,05	15,18	220
230	15,31	15,45	15,58	15,72	15,85	15,99	16,12	16,26	16,40	16,54	230
240	16,68	16,81	16,95	17,09	17,24	17,38	17,52	17,66	17,81	17,95	240
250	18,09	18,24	18,38	18,53	18,68	18,82	18,97	19,12	19,27	19,42	250
260	19,57	19,72	19,87	20,02	20,18	20,33	20,48	20,64	20,79	20,95	260
270	21,10	21,26	21,42	21,58	21,73	21,89	22,05	22,21	22,37	22,53	270
280	22,70	22,86	23,02	23,19	23,35	23,51	23,68	23,85	24,01	24,18	280
290	24,35	24,51	24,68	24,85	25,02	25,19	25,36	25,54	25,71	25,88	290
300	26,05										300

Für Werte unterhalb der Trennlinie gilt $\omega = \frac{\sigma_F}{0,75 \sigma_{K1}}$

Tabelle 2 a Knickzahlen (ω) für St 38
 für geometrisch ungünstige Querschnitte ohne wesentliche Eigenspannungen, das heißt ohne Längs-Schweißnähte, z.B. L, \uparrow , T, \sqcap , $\uparrow\uparrow$
 und für geometrisch günstige Querschnitte mit wesentlichen Eigenspannungen, das heißt mit Längs-Schweißnähten, z. B. Rohre, Kastenquerschnitte, \llbracket sowie I bei Knicken in der Stegebene

λ	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	λ
10	1,03	1,03	1,03	1,03	1,04	1,04	1,04	1,04	1,05	1,05	10
20	1,05	1,06	1,06	1,06	1,07	1,07	1,07	1,08	1,08	1,08	20
30	1,09	1,09	1,09	1,10	1,10	1,10	1,11	1,11	1,12	1,12	30
40	1,13	1,13	1,13	1,14	1,14	1,15	1,15	1,16	1,17	1,17	40
50	1,18	1,18	1,19	1,20	1,20	1,21	1,22	1,22	1,23	1,24	50
60	1,25	1,25	1,26	1,27	1,28	1,29	1,30	1,31	1,32	1,33	60
70	1,34	1,35	1,36	1,37	1,38	1,40	1,41	1,42	1,44	1,45	70
80	1,46	1,48	1,49	1,51	1,52	1,54	1,55	1,57	1,59	1,60	80
90	1,62	1,64	1,66	1,67	1,69	1,71	1,73	1,75	1,77	1,79	90
100	1,81	1,84	1,86	1,89	1,92	1,94	1,97	2,00	2,03	2,06	100
110	2,08	2,11	2,14	2,17	2,20	2,23	2,26	2,29	2,32	2,35	110
120	2,39	2,42	2,45	2,48	2,51	2,55	2,58	2,61	2,65	2,68	120
130	2,72	2,75	2,78	2,82	2,85	2,89	2,93	2,96	3,00	3,04	130
140	3,07	3,11	3,15	3,18	3,22	3,26	3,30	3,34	3,38	3,43	140
150	3,47	3,52	3,57	3,61	3,66	3,71	3,76	3,81	3,85	3,90	150
160	3,95	4,00	4,05	4,10	4,15	4,20	4,25	4,31	4,36	4,41	160
170	4,46	4,52	4,57	4,62	4,67	4,73	4,78	4,84	4,89	4,95	170
180	5,00	5,06	5,11	5,17	5,23	5,28	5,34	5,40	5,46	5,52	180
190	5,57	5,63	5,69	5,75	5,81	5,87	5,93	5,99	6,05	6,11	190
200	6,18	6,24	6,30	6,36	6,43	6,49	6,55	6,62	6,68	6,74	200

Fortsetzung wie Tabelle 1 a

Tabelle 2 b Knickzahlen (ω) für Stahl mit $\sigma_F = 3000 \text{ kp/cm}^2$
 für geometrisch ungünstige Querschnitte ohne wesentliche Eigenspannungen, das heißt ohne Längs-Schweißnähte, z.B. L, \uparrow , T, \sqcap , $\uparrow\uparrow$
 und für geometrisch günstige Querschnitte mit wesentlichen Eigenspannungen, das heißt mit Längs-Schweißnähten, z. B. Rohre, Kastenquerschnitte, \llbracket sowie I bei Knicken in der Stegebene

λ	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	λ
10	1,03	1,03	1,03	1,03	1,04	1,04	1,04	1,05	1,05	1,05	10
20	1,05	1,06	1,06	1,06	1,07	1,07	1,07	1,08	1,08	1,08	20
30	1,09	1,09	1,10	1,10	1,10	1,11	1,11	1,12	1,12	1,13	30
40	1,13	1,14	1,14	1,15	1,16	1,16	1,17	1,17	1,18	1,19	40
50	1,19	1,20	1,21	1,22	1,23	1,23	1,24	1,25	1,26	1,27	50
60	1,28	1,29	1,30	1,31	1,33	1,34	1,35	1,36	1,38	1,39	60
70	1,40	1,42	1,43	1,45	1,45	1,48	1,50	1,51	1,53	1,55	70
80	1,57	1,59	1,61	1,63	1,65	1,67	1,69	1,71	1,73	1,76	80
90	1,78	1,80	1,83	1,85	1,88	1,90	1,93	1,95	1,98	2,01	90
100	2,04	2,07	2,10	2,13	2,17	2,20	2,23	2,27	2,30	2,34	100
110	2,37	2,41	2,45	2,48	2,52	2,56	2,60	2,64	2,69	2,73	110
120	2,78	2,83	2,87	2,92	2,97	3,02	3,06	3,11	3,16	3,21	120
130	3,26	3,31	3,36	3,41	3,47	3,52	3,57	3,62	3,68	3,73	130
140	3,78	3,84	3,89	3,95	4,00	4,06	4,11	4,17	4,23	4,29	140
150	4,34	4,40	4,46	4,52	4,58	4,64	4,70	4,76	4,82	4,88	150

Fortsetzung wie Tabelle 1 b

Für Werte unterhalb der Trennlinie beider Tabellen gilt $\omega = \frac{\sigma_F}{0,75 \sigma_{K1}}$

Tabelle 2 c Knickzahlen (ω) für St 52

für geometrisch ungünstige Querschnitte ohne wesentliche Eigenspannungen, das heißt ohne Längs-Schweißnähte, z.B.

L, T, T, T, T

und für geometrisch günstige Querschnitte mit wesentlichen Eigenspannungen, das heißt mit Längs-Schweißnähten, z. B. Rohre, Kastenquerschnitte,]C sowie I bei Knicken in der Stegebene

λ	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	λ
10	1,03	1,03	1,03	1,03	1,04	1,04	1,04	1,04	1,05	1,05	10
20	1,05	1,06	1,06	1,06	1,07	1,07	1,08	1,08	1,08	1,09	20
30	1,09	1,10	1,10	1,10	1,11	1,11	1,12	1,12	1,13	1,14	30
40	1,14	1,15	1,15	1,16	1,17	1,17	1,18	1,19	1,20	1,21	40
50	1,21	1,22	1,23	1,24	1,25	1,26	1,27	1,29	1,30	1,31	50
60	1,32	1,34	1,35	1,36	1,38	1,39	1,41	1,43	1,44	1,46	60
70	1,48	1,50	1,52	1,54	1,56	1,58	1,60	1,62	1,64	1,67	70
80	1,69	1,71	1,74	1,76	1,79	1,82	1,84	1,87	1,90	1,93	80
90	1,96	1,99	2,02	2,05	2,08	2,11	2,14	2,18	2,22	2,27	90
100	2,32	2,36	2,41	2,46	2,51	2,55	2,60	2,65	2,70	2,75	100
110	2,80	2,85	2,91	2,96	3,01	3,06	3,12	3,17	3,23	3,28	110
120	3,34	3,39	3,45	3,50	3,56	3,62	3,68	3,74	3,79	3,85	120
130	3,91	3,97	4,04	4,10	4,16	4,22	4,28	4,35	4,41	4,48	130
140	4,54	4,60	4,67	4,74	4,80	4,87	4,94	5,00	5,07	5,14	140
150	5,21	5,28	5,35	5,42	5,49	5,56	5,64	5,71	5,78	5,86	150

Fortsetzung wie Tabelle 1 c

Tabelle 2 d Knickzahlen (ω) für St 45/60

für geometrisch ungünstige Querschnitte ohne wesentliche Eigenspannungen, das heißt ohne Längs-Schweißnähte, z.B.

L, T, T, T, T

und für geometrisch günstige Querschnitte mit wesentlichen Eigenspannungen, das heißt mit Längs-Schweißnähten, z. B. Rohre, Kastenquerschnitte,]C sowie I bei Knicken in der Stegebene

λ	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	λ
10	1,08	1,09	1,09	1,09	1,10	1,10	1,11	1,11	1,12	1,12	10
20	1,12	1,13	1,13	1,14	1,14	1,15	1,15	1,16	1,16	1,17	20
30	1,17	1,18	1,18	1,19	1,20	1,20	1,21	1,22	1,22	1,23	30
40	1,24	1,25	1,25	1,26	1,27	1,28	1,29	1,30	1,31	1,32	40
50	1,33	1,34	1,36	1,37	1,38	1,40	1,41	1,42	1,44	1,46	50
60	1,47	1,49	1,51	1,53	1,55	1,57	1,59	1,61	1,63	1,65	60
70	1,67	1,70	1,72	1,75	1,77	1,80	1,83	1,85	1,88	1,91	70
80	1,94	1,97	2,00	2,03	2,07	2,10	2,14	2,19	2,24	2,29	80
90	2,35	2,40	2,45	2,50	2,56	2,61	2,67	2,72	2,78	2,84	90
100	2,90	2,95	3,01	3,07	3,13	3,19	3,25	3,31	3,38	3,44	100

Fortsetzung wie Tabelle 1 d

Für Werte unterhalb der Trennlinie beider Tabellen gilt $\omega = \frac{\sigma_F}{0,75\sigma_{K1}}$

Tabelle 3 a Knickzahlen (ω) für Rohre aus St 38
für geometrisch günstige Querschnitte ohne wesentliche Eigenspannungen, das heißt ohne Längs-Schweißnähte, z.B. Rohre, Kastenquerschnitte sowie I bei Knicken in der Steigebene

λ	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	λ
10	1,00	1,00	1,00	1,00	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	10
20	1,01	1,01	1,01	1,01	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02	20
30	1,03	1,03	1,03	1,03	1,03	1,04	1,04	1,04	1,04	1,05	30
40	1,05	1,05	1,06	1,06	1,07	1,07	1,07	1,08	1,08	1,09	40
50	1,09	1,10	1,10	1,11	1,11	1,12	1,13	1,13	1,14	1,15	50
60	1,16	1,16	1,17	1,18	1,19	1,20	1,21	1,22	1,23	1,24	60
70	1,25	1,26	1,28	1,29	1,30	1,32	1,33	1,35	1,36	1,38	70
80	1,39	1,41	1,43	1,44	1,46	1,48	1,50	1,52	1,54	1,56	80
90	1,58	1,60	1,62	1,65	1,67	1,69	1,71	1,74	1,76	1,79	90
100	1,81	1,84	1,86	1,89	1,92	1,94	1,97	2,00	2,03	2,06	100

Fortsetzung wie Tabelle 2 a

Für Werte unterhalb der Trennlinie gilt $\omega = \frac{\sigma_F}{0,75 \sigma_{K1}}$

Tabelle 3 b Knickzahlen (ω) für Rohre aus Stahl mit $\sigma_F = 3000 \text{ kp/cm}^2$
für geometrisch günstige Querschnitte ohne wesentliche Eigenspannungen, das heißt ohne Längs-Schweißnähte, z. B. Rohre, Kastenquerschnitte sowie I bei Knicken in der Steigebene

λ	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	λ
10	1,00	1,00	1,00	1,00	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	10
20	1,01	1,01	1,01	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02	1,03	20
30	1,03	1,03	1,03	1,03	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,05	30
40	1,05	1,06	1,06	1,07	1,07	1,08	1,08	1,09	1,09	1,10	40
50	1,10	1,11	1,11	1,12	1,13	1,14	1,14	1,15	1,16	1,17	50
60	1,18	1,19	1,20	1,21	1,23	1,24	1,25	1,26	1,28	1,29	60
70	1,31	1,32	1,34	1,36	1,37	1,39	1,41	1,43	1,45	1,47	70
80	1,49	1,52	1,54	1,56	1,58	1,61	1,63	1,66	1,68	1,71	80
90	1,74	1,77	1,79	1,82	1,85	1,88	1,91	1,94	1,97	2,00	90
100	2,04	2,07	2,10	2,13	2,17	2,20	2,23	2,27	2,30	2,34	100

Fortsetzung wie Tabelle 2 b

Für Werte unterhalb der Trennlinie gilt $\omega = \frac{\sigma_F}{0,75 \sigma_{K1}}$

Tabelle 3 c Knickzahlen (ω) für Rohre aus St 52
für geometrisch günstige Querschnitte ohne wesentliche
Eigenspannungen, das heißt ohne Längs-Schweißnähte, z.B. Rohre,
Kastenquerschnitte sowie I bei Knicken in der Stegebene

λ	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	λ
10	1,00	1,00	1,00	1,00	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	10
20	1,01	1,01	1,01	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02	1,03	20
30	1,03	1,03	1,03	1,04	1,04	1,04	1,04	1,05	1,05	1,05	30
40	1,06	1,06	1,07	1,07	1,08	1,08	1,09	1,09	1,10	1,11	40
50	1,11	1,12	1,13	1,14	1,15	1,16	1,17	1,18	1,19	1,20	50
60	1,21	1,23	1,24	1,25	1,27	1,29	1,30	1,32	1,34	1,36	60
70	1,38	1,40	1,42	1,44	1,46	1,49	1,51	1,53	1,56	1,59	70
80	1,61	1,64	1,67	1,70	1,73	1,76	1,79	1,82	1,85	1,88	80
90	1,92	1,95	1,98	2,02	2,05	2,10	2,13	2,18	2,22	2,27	90
100	2,32	2,36	2,41	2,46	2,51	2,55	2,60	2,65	2,70	2,75	100

Fortsetzung wie Tabelle 2 c

Für Werte unterhalb der Trennlinie gilt $\omega = \frac{\sigma_F}{0,75 \sigma_{K1}}$

Tabelle 3 d Knickzahlen (ω) für Rohre aus St 45/60
für geometrisch günstige Querschnitte ohne wesentliche
Eigenspannungen, das heißt ohne Längs-Schweißnähte, z.B.
Rohre, Kastenquerschnitte sowie I bei Knicken in der Steg-
ebene

λ	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	λ
10	1,03	1,03	1,03	1,03	1,04	1,04	1,04	1,05	1,05	1,05	10
20	1,06	1,06	1,06	1,07	1,07	1,07	1,08	1,08	1,09	1,09	20
30	1,10	1,10	1,11	1,11	1,12	1,12	1,13	1,13	1,14	1,15	30
40	1,16	1,16	1,17	1,18	1,19	1,20	1,21	1,22	1,23	1,24	40
50	1,25	1,26	1,27	1,29	1,30	1,31	1,33	1,34	1,36	1,38	50
60	1,39	1,41	1,43	1,45	1,47	1,49	1,51	1,54	1,56	1,59	60
70	1,61	1,64	1,66	1,69	1,72	1,75	1,77	1,80	1,83	1,87	70
80	1,90	1,93	1,96	2,00	2,04	2,09	2,14	2,19	2,24	2,29	80
90	2,35	2,40	2,45	2,50	2,56	2,61	2,67	2,72	2,78	2,84	90
100	2,90	2,95	3,01	3,07	3,13	3,19	3,25	3,31	3,38	3,44	100

Fortsetzung wie Tabelle 2 d

Für Werte unterhalb der Trennlinie gilt $\omega = \frac{\sigma_F}{0,75 \sigma_{K1}}$

Tabelle 4 a Knickzahlen (ω) für St 38
für Brücken im Verkehrsbau

λ	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	λ
10	1,04	1,04	1,05	1,05	1,06	1,06	1,07	1,07	1,08	1,08	10
20	1,08	1,09	1,09	1,10	1,10	1,11	1,11	1,12	1,12	1,13	20
30	1,14	1,14	1,15	1,15	1,16	1,16	1,17	1,18	1,18	1,19	30
40	1,20	1,20	1,21	1,22	1,23	1,23	1,24	1,25	1,26	1,27	40
50	1,27	1,28	1,29	1,30	1,31	1,32	1,33	1,34	1,35	1,36	50
60	1,37	1,38	1,40	1,41	1,42	1,43	1,44	1,46	1,47	1,48	60
70	1,50	1,51	1,53	1,54	1,56	1,57	1,59	1,60	1,62	1,63	70
80	1,65	1,67	1,69	1,70	1,72	1,74	1,76	1,78	1,80	1,82	80
90	1,84	1,86	1,88	1,90	1,92	1,94	1,97	1,99	2,01	2,03	90
100	2,06	2,08	2,10	2,13	2,15	2,18	2,20	2,23	2,25	2,29	100
110	2,34	2,38	2,42	2,46	2,51	2,55	2,60	2,64	2,69	2,73	110
120	2,78	2,83	2,87	2,92	2,97	3,02	3,06	3,11	3,16	3,21	120
130	3,26	3,31	3,36	3,41	3,47	3,52	3,57	3,62	3,68	3,73	130
140	3,78	3,84	3,89	3,95	4,00	4,06	4,11	4,17	4,23	4,28	140
150	4,34	4,40	4,46	4,52	4,58	4,64	4,70	4,76	4,82	4,88	150
160	4,94	5,00	5,07	5,13	5,19	5,25	5,32	5,38	5,45	5,51	160
170	5,58	5,64	5,71	5,78	5,84	5,91	5,98	6,05	6,11	6,18	170
180	6,25	6,32	6,39	6,46	6,54	6,60	6,68	6,75	6,82	6,89	180
190	6,96	7,04	7,11	7,19	7,26	7,34	7,41	7,49	7,57	7,64	190
200	7,72										200

Für Werte unterhalb der Trennlinie gilt $\omega = \frac{\sigma_F}{0,6 \sigma_{K1}}$

Tabelle 4 b Kriechzahlen (ω) für St 52
für Brücken im Verkehrsbau

λ	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	λ
10	1,04	1,05	1,05	1,05	1,06	1,06	1,07	1,07	1,08	1,08	10
20	1,09	1,09	1,10	1,10	1,11	1,11	1,12	1,13	1,13	1,14	20
30	1,14	1,15	1,16	1,16	1,17	1,18	1,19	1,19	1,20	1,21	30
40	1,22	1,23	1,24	1,25	1,26	1,27	1,28	1,29	1,30	1,31	40
50	1,32	1,34	1,35	1,36	1,38	1,39	1,40	1,42	1,43	1,45	50
60	1,47	1,48	1,50	1,52	1,54	1,56	1,57	1,59	1,61	1,64	60
70	1,66	1,68	1,70	1,72	1,75	1,77	1,79	1,82	1,84	1,87	70
80	1,90	1,92	1,95	1,99	2,04	2,09	2,14	2,19	2,24	2,29	80
90	2,34	2,40	2,45	2,50	2,56	2,61	2,67	2,72	2,78	2,84	90
100	2,89	2,95	3,01	3,07	3,13	3,19	3,25	3,31	3,38	3,44	100
110	3,50	3,57	3,63	3,70	3,76	3,83	3,90	3,96	4,03	4,10	110
120	4,17	4,24	4,31	4,38	4,45	4,52	4,59	4,67	4,74	4,82	120
130	4,89	4,97	5,04	5,12	5,20	5,28	5,35	5,43	5,51	5,59	130
140	5,67	5,76	5,84	5,92	6,00	6,09	6,17	6,26	6,34	6,43	140
150	6,51	6,60	6,69	6,78	6,87	6,95	7,04	7,14	7,23	7,32	150
160	7,41	7,50	7,60	7,69	7,79	7,88	7,98	8,07	8,17	8,27	160
170	8,37	8,46	8,56	8,66	8,76	8,87	8,97	9,07	9,17	9,28	170
180	9,38	9,48	9,59	9,64	9,80	9,91	10,02	10,12	10,23	10,34	180
190	10,45	10,56	10,67	10,78	10,90	11,01	11,12	11,23	11,35	11,46	190
200	11,58										200

Für Werte unterhalb der Trennlinie gilt $\omega = \frac{\sigma_F}{0,6 \sigma_{R1}}$

7.3. Für Stäbe mit $\lambda < 10$ ist keine Knickuntersuchung durchzuführen. Hier ist $\omega = 1$ zu setzen.

7.4. Bei Stäben mit wirklich gelenkiger Lagerung, Gelenkbolzen, Zentrierstücke, sind die Maße bei der Fertigung und Montage genau einzuhalten. Bei gedrungenen Stäben, $\lambda < 100$, ist der Nachweis für außermittige Belastung nach Abschnitt 10.1. zu führen, wobei für die Exzentrizität ein Maß a anzusetzen ist, das bei der Fertigung und Montage nicht überschritten werden darf.

Wenn dieses Maß a kleiner ist als der Hebelarm der ungewollten Außermittigkeit

$$u = \frac{\mu_0 \cdot l^2}{e}$$

so darf der Nachweis entfallen.

Hierbei bedeutet:

- für die Biegedruck- und/oder -zugseite maßgebender Schwerpunktabstand

μ_0 nach Abschnitt 10.1.

8. Mehrteilige Druckstäbe von gleichbleibendem Querschnitt

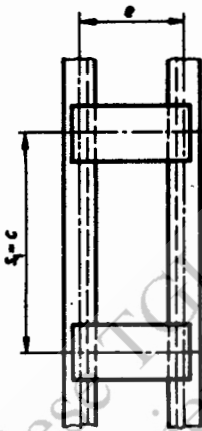


Bild 4a

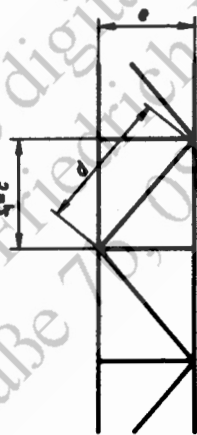


Bild 4b

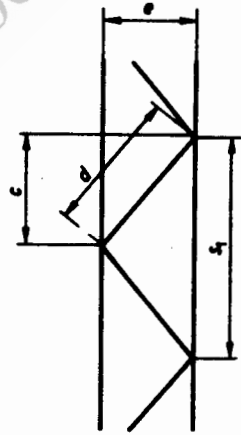


Bild 4c

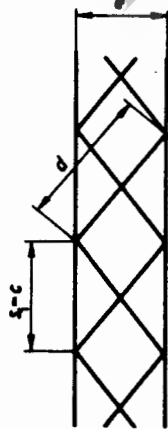


Bild 4d

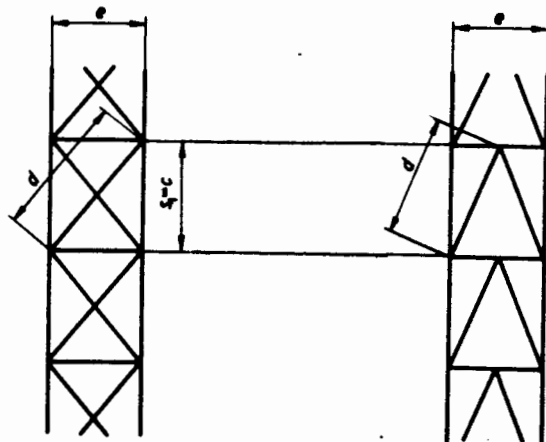


Bild 4e



Bild 4f

8.1. Bezeichnungsweise

Hierbei bedeutet:

- m** Zahl der gleichartig ausgebildeten, mit Hilfe eines Querverbandes zu einem Gesamtstab vereinigten Einzelstäbe, z. B. $m = 3$ in Bild 5e, oder Stabgruppen, die durch Einzelstäbe ersetzt werden dürfen, z. B. $m = 2$ in Bild 8c. Der Querverband darf ein Fachwerkverband - "Gitterstab", Bild 4b bis f - oder ein Rahmenverband - "Rahmenstab", Bild 4a - sein.
- N** Absolutwert der größten auf den Gesamtstab einwirkenden Druckkraft
- N₁** Absolutwert der größten planmäßig auf den Einzelstab einwirkenden Druckkraft
- F** unverschwächter Querschnitt des Gesamtstabes
- F₁** unverschwächter Querschnitt eines Einzelstabes
- J_x** = $F \cdot i_x^2$ und **J_y** = $F \cdot i_y^2$ Trägheitsmomente des Gesamtquerschnittes, bezogen auf die Hauptachse $x - x$ bzw. $y - y$; 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 $x - x$ oder $y - y$
- λ_x** = s_{Kx} / i_x und **λ_y** = s_{Ky} / i_y die zugehörigen Schlankheitsgrade des Gesamtstabes
- J₁** = $F_1 \cdot i_1^2$ das auf die Achse 1 - 1 bezogene Trägheitsmoment des Einzelstabquerschnittes; die Achse 1 - 1 ist die Minimumachse dieses Querschnittes, siehe Bild 5 bis 8
- λ₁** Hilfsgröße, für die bei Rahmenstäben, siehe Bild 4a

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

und bei Gitterstäben nach Bild 4b bis 4e

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

und bei Gitterstäben nach Bild 4f

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

einzuführen ist.

Bei Gitterstäben ist für λ_1 eine überschlägliche Abschätzung zulässig.

- z** Anzahl der in parallelen Ebenen nebeneinanderliegenden Querverbände
- c** für λ_1 maßgebende Länge nach Bild 4

- s_1 größte Knicklänge des Einzelstabes
- F_D ungeschwächte Querschnittsfläche einer einzelnen Diagonale eines Gitterstabes, siehe Bild 4b, c, f; bei Anordnung gekreuzter Diagonalen, siehe Bild 4d, e, ist für F_D die Summe der Querschnittsflächen der beiden gekreuzten Diagonalen einzusetzen.
- d Netzlänge einer Diagonale eines Gitterstabes
- e den Abstand der Einzelstab-Achsen

8.2. Berechnung des Stabes

8.2.1. Stabgruppe I

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

$$\frac{N}{F} \leq \text{zul } \sigma / \omega_x$$

sein, wobei ω_x die dem Schlankheitsgrad $\lambda_x = s_{Kx} / i_x$ zugeordnete Knickzahl nach Tabelle 1a bis 4b bedeutet.

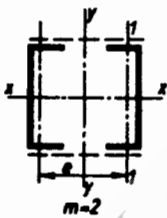


Bild 5a



Bild 5b



Bild 5c

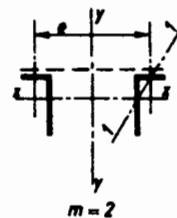


Bild 5d

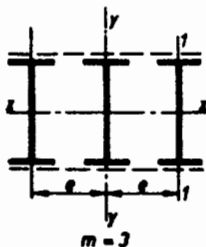


Bild 5e

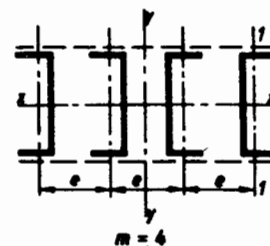


Bild 5f

8.2.1.2. Für das Ausknicken rechtwinklig zur Querschnittshauptachse $y - y$ ist der Stab wie ein einteiliger Druckstab mit dem **i d e e l l e n** **S c h l a n k h e i t s g r a d**

$$\lambda_{y1} = \sqrt{\lambda_y^2 + \frac{m}{2} \lambda_1^2}$$

zu berechnen, wenn das Verhältnis s_1 / i_1 kleiner als $1/2 \lambda_x$ oder kleiner als 50 ist.

Es muß daher

$$\frac{N}{F} \leq \text{zul } \sigma / \omega_{y1}$$

sein, wobei ω_{y1} die dem ideellen Schlankheitsgrad (λ_{y1}) zugeordnete, aus den Tabellen 2 oder 4 zu entnehmende Knickzahl bedeutet.

8.2.1.3. Ist das Verhältnis s_1 / i_1 größer als $1/2 \lambda_x$ und größer als 50, so sind die Einzelstäbe für die unter Berücksichtigung der Verformung berechnete anteilige Stabkraft zu bemessen.

Bei Rahmenstäben sind außerdem die Biegemomente zu berücksichtigen, die aus der Verformung entstehen.

Näherungsweise darf bei Gitterstäben der Nachweis

$$\sigma_c = \frac{\omega_y N_1}{F_1} \leq \text{zul } \sigma / \omega_1$$

geführt werden, wobei ω_y dem Schlankheitsgrad $\lambda_y = s_{Ky} / i_y$ und ω_1 dem Schlankheitsgrad s_1 / i_1 zugeordnet ist.

ω_1 ist je nach Art des Stabes den Tabellen 1a bis 4b zu entnehmen.

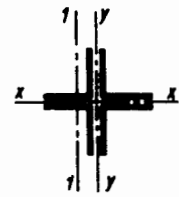
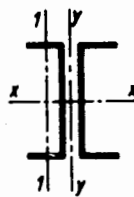
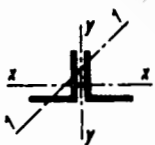


Bild 6a

Bild 6b

Bild 6c

Bild 6d

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, siehe Bild 6, zur Verbindung der Einzelstäbe ein durchgehendes Flachstahlfutter verwendet, so darf in Abschnitt 8.2.1.2. unmittelbar $\lambda_{y1} = \lambda_y$ gesetzt werden; dies gilt auch für Stäbe mit Bindeblechen oder Flachstahl-Futterstücken, wenn diese Querverbindungen den Abschnitten 8.2.1.2. und 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 $\text{zul } \sigma$ nicht überschreitet oder in denen diese Überschreitung durch einen ausreichenden Anschluß des Futters an das Knotenblech unwirksam gemacht wird.

8.2.2. Stabgruppe II

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

$$\frac{N}{F} \leq \text{zul } \sigma / \omega_x$$

sein, wobei ω_x die dem Schlankheitsgrad $\lambda_x = s_{Kx} / i_x$ zugeordnete Knickzahl nach den Tabellen 2a bis d oder 4a bis b ist.



Bild 7a

Bild 7b

Bild 7c

8.2.2.2. Das Verhältnis $\frac{s_1}{i_1}$ 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 *i n d e r* Tragwerksebene und *r e c h t w i n k l i g* zur Tragwerksebene maßgebend sind.

8.2.2.4. Bei Stäben mit dem in Bild 7b dargestellten Querschnitt darf

$$\lambda_x \approx 1,0 / 1,15 \quad \text{und daher} \quad \lambda_x \approx 1,15 \frac{s_{Kx}}{1,0}$$

gesetzt werden, wobei sich der Trägheitshalbmesser 1_0 des Gesamtquerschnittes auf die zum langen Winkelschenkel parallele Schwerachse bezieht.

8.2.3. Stabgruppe III

8.2.3.1. Bei mehrteiligen Druckstäben, deren Querschnitt *k e i n e* *S t o f f a c h s e* hat, siehe Bild 8a bis 8f, muß

$$\frac{N}{F} \leq \frac{zul \sigma}{\omega_{y1}} \quad \text{und} \quad \frac{N}{F} \leq \frac{zul \sigma}{\omega_{x1}}$$

sein, wobei $s_{1x} / 1_1 \leq 50$ und $s_{1y} / 1_1 \leq 50$ vorausgesetzt ist. Die aus den Tabellen 2 oder 4 zu entnehmenden Knickzahlen ω_{y1} und ω_{x1} sind auf die ideellen Schlankheitsgrade

$$\lambda_{y1} = \sqrt{\lambda_y^2 + \frac{m}{2} \lambda_{1y}^2} \quad \text{und} \quad \lambda_{x1} = \sqrt{\lambda_x^2 + \frac{m'}{2} \lambda_{1x}^2}$$

bezogen.

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_{y1} ist daher bei den in Bild 8a bis 8d gezeichneten Querschnitten $m = 2$ und bei dem in Bild 8e 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_{x1} bei allen in Bild 8 gezeichneten Stabquerschnitten $m' = 2$ einzuführen ist.

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

8.2.3.3. Ist das Verhältnis $s_{1x} / 1_1$ oder $s_{1y} / 1_1$ größer als 50, sind die Einzelstäbe für die unter Berücksichtigung der Verformung berechnete anteilige Stabkraft zu bemessen. Die zulässige Druckspannung für den Einzelstab beträgt $zul \sigma / \omega_1$, wobei ω_1 dem größeren der beiden Schlankheitsgrade $s_{1x} / 1_1$ oder $s_{1y} / 1_1$ zugeordnet ist. Näherungsberechnung siehe Abschnitt 8.2.1.3. Bei Rahmenstäben sind zusätzlich die Biegemomente aus der Verformung zu berücksichtigen.

8.2.3.4. Bei Stäben mit dem in Bild 8b dargestellten Querschnitt darf $\lambda_{y1} = \lambda_y$ und $\lambda_{x1} = \lambda_x$ 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 $15 1_1$ ist. Sinngemäß darf bei Stäben mit den im Bild 8c und 8d gezeichneten Querschnitten $\lambda_{x1} = \lambda_x$ gesetzt werden, wenn die beiden nebeneinanderliegenden Winkelstähle zusätzlich durch unterfütterte Niete verbunden sind, deren Abstand nicht mehr als $15 1_1$ beträgt.

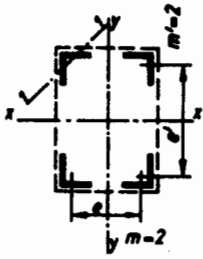


Bild 8a

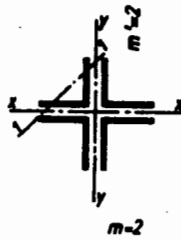


Bild 8b

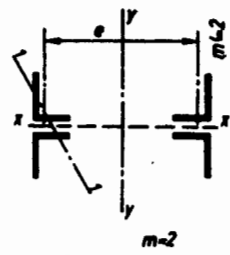


Bild 8c

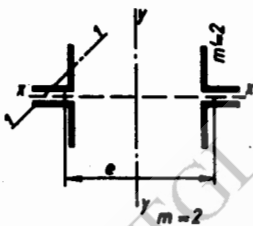


Bild 8d

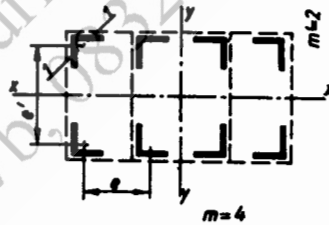


Bild 8e

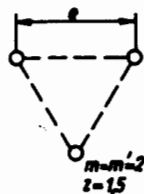
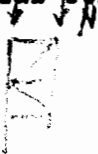


Bild 8f

Diese TGL wurde digitalisiert vom
Ingenieurbüro Friedrich Bau & Renz,
Kapellenstraße 7b, 3824 Bockau.

8.3. Bauliche Ausbildung und Berechnung des Querverbandes

8.3.1. Die Bindebleche und Ausfachungen sowie ihre Anschlüsse sind so zu bemessen, daß bei Einwirkung der ideellen Stabquerkraft



$$Q_1 = N \cdot \pi \cdot \frac{\mu_0}{\lambda_1} \cdot r$$

die zulässigen Spannungen zul σ und zul τ nach den einschlägigen Vorschriften nicht überschritten werden.

Dabei ist $\mu_0 = 0,25 \frac{\lambda_1}{100}$ bei $\lambda_1 \leq 100$

bzw. $0,5 \frac{\lambda_1}{100} - 0,25$ bei $\lambda_1 > 100$

die ungewollte bezogene Außermittigkeit;

$$r = 1 + \frac{1,273}{\sigma_{K1}/(\nu \sigma_c) - 1}$$

die Vergrößerungsfunktion, siehe TGL 13 503 Bl.2; σ_{K1} ist für den ideellen Schlankheitsgrad λ_1 zu berechnen.

Diagramme siehe TGL 13 503 Bl.2.

Die ideelle Querkraft darf auch vereinfacht mit

$$Q_1 = \frac{N}{16} \quad \text{oder} \quad Q_1 = \frac{F \cdot \text{zul } \sigma}{60}$$

angenommen werden, wobei der kleinere Wert maßgebend ist.

Als Mindestwert ist anzusetzen $Q_1 = \frac{F \cdot \text{zul } \sigma}{200}$

8.3.2. Bei zweiteiligen Gitterstäben sind die unter Q_1 auftretenden Stabkräfte D entsprechend der Ausfachungsart zu berechnen.

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

beim zweiteiligen Stab ($m = 2$) mit $T = \frac{Q_1 \cdot s_1}{e}$

beim dreiteiligen Stab ($m = 3$) mit $T = \frac{Q_1 \cdot s_1}{2e}$ und

beim vierteiligen Stab ($m = 4$) im Bereich zwischen

den mittleren Einzelstäben mit $T' = 0,4 \frac{Q_1 \cdot s_1}{e}$ und

außerhalb dieser Einzelstäbe mit $T'' = 0,3 \frac{Q_1 \cdot s_1}{e}$

festgesetzt wird. Von den Nullpunkten der Biegemomentenverteilung, die

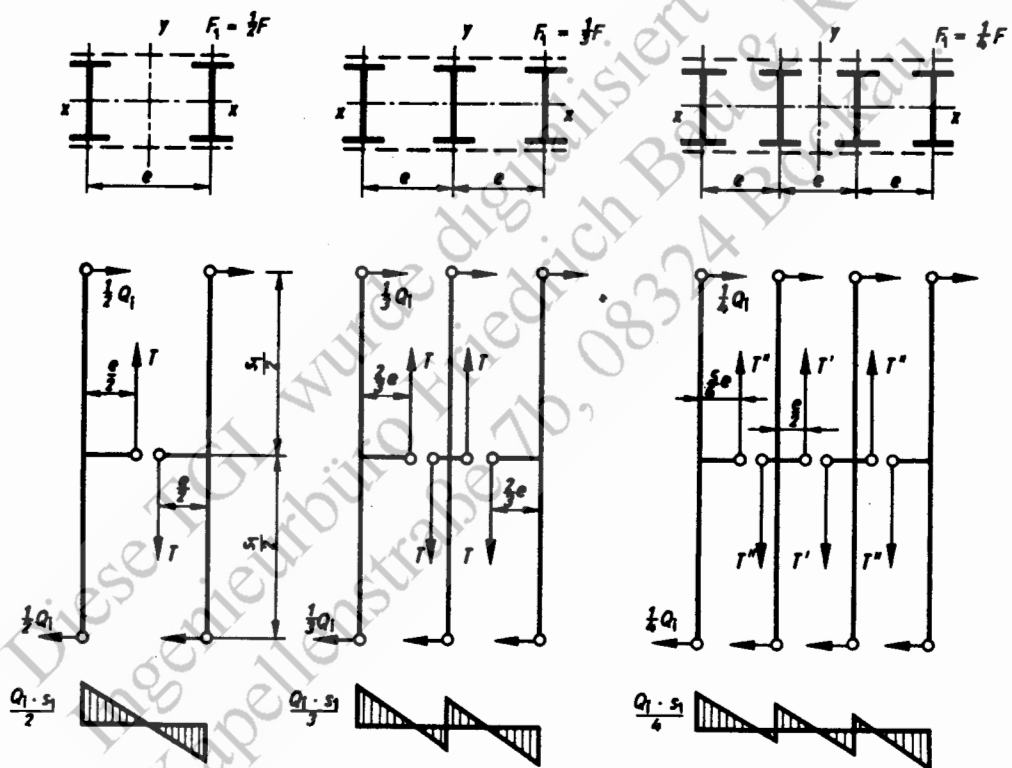


Bild 9

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, siehe Bild 9.

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

8.3.5. Gitter- und Rahmenstäbe, siehe Bild 4, müssen an den Enden Bindebleche erhalten, die an jeden Einzelstab mit mindestens drei Nieten oder einer entsprechenden Schweißnaht angeschlossen sind. Bei Stäben, die einem zweiwandigen Tragwerk angehören, sind diese Endbindebleche nach Möglichkeit zwischen den beiden Knotenblechen anzuordnen, siehe Bild 10a. Andernfalls muß von den gegengleichen Anschlußmomenten $1/2 N \cdot a$, die sich nach Bild 10b ergeben, wenn die Einzelstabachsen inner- oder außerhalb der Knotenblechebene liegen, die Hälfte (also der Wert $1/4 N \cdot a$) 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.

8.3.6. Zweiteilige Druckstäbe, bei denen der lichte Abstand der Einzelstäbe gleich oder nur wenig größer ist als die Dicke des Knotenbleches, siehe Bild 6 und 7, brauchen an den Enden keine besonderen Bindebleche zu erhalten, doch müssen zumindest in den Drittelpunkten der Stablänge Bindebleche angeordnet werden, die an jeden Einzelstab mit mindestens zwei Nieten oder einer entsprechenden 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 gleichwertigen Schweißnaht angeschlossen sind. Bei Stäben nach Bild 7 dürfen die Bindebleche im rechten Winkel versetzt, siehe Bild 7c, oder gleichlaufend angeordnet werden. Sie können auch durch kleine, mit beiden Einzelstäben verschweißte Blech- oder Rundstahlstücke ersetzt 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 8b und, bezogen auf das Ausknicken rechtwinklig zur Achse $x - x$, für Stäbe nach Bild 8c und 8d.

8.3.7. Ist der Rahmen- oder Fachwerkverband des Druckstabes neben einem vollwandigen Gurt- oder Stegblech angeordnet, siehe Bild 11e, 11g, 11i, so gilt Q_1 nach Abschnitt 8.3.1., wobei für N der Längskraftanteil und für F die Querschnittfläche der beiden Randwinkel bzw. Randwinkelpaare einschließlich der am Winkelschenkel anliegenden Teile der beiden Stegbleche einzuführen ist.

8.3.8. Schrauben dürfen zum Anschluß der Querverbindung nur an Stellen verwendet werden, an denen sich kein Niet schlagen läßt; hierbei sind nach Möglichkeit eingepaßte Schrauben oder gleitfeste Schraubverbindungen vorzuziehen.

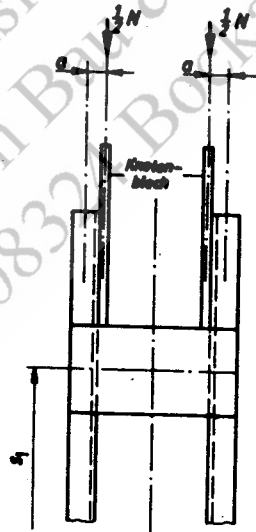
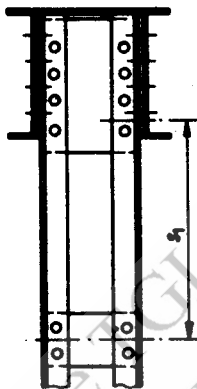


Bild 10a

Bild 10b



Bild 11a



Bild 11b



Bild 11c

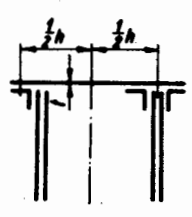


Bild 11d

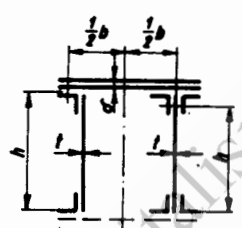


Bild 11e

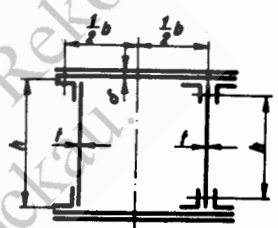


Bild 11f

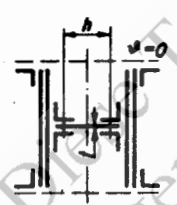


Bild 11g

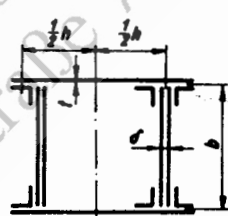


Bild 11h

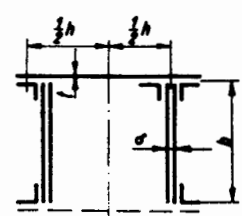


Bild 11i

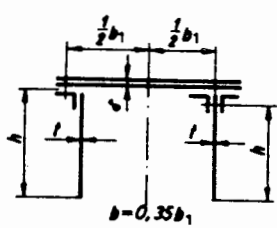


Bild 11j

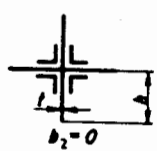


Bild 11k

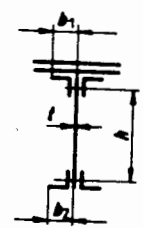


Bild 11l

9. Dünnwandige Teile von Druckstäben

Um ein vorzeitiges Ausbeulen der dünnwandigen Teile von Druckstäben auszuschließen, muß ausreichende Beulsicherheit nachgewiesen werden, siehe auch Abschnitt 17.5.

Das für alle Stahlmarken geltende Verhältnis $h : t$ darf der Tabelle 5 entnommen werden.

Tabelle 5 Verhältnis h/t

Stegbleche oder Gurtplatten	λ	h/t
Stegbleche nach Bild 11a, b, c oder Gurtplatten nach Bild 11d	≤ 75	≤ 45
	> 75	$\leq 0,6 \cdot \lambda$
Stegbleche nach Bild 11e	≤ 75	$\leq 52,5 - 7,5 \cdot \vartheta^2$
	> 75	$\leq (0,7 - 0,1 \cdot \vartheta^2) \cdot \lambda$
Stegbleche nach Bild 11f, g oder Gurtplatten nach Bild 11h, i	≤ 75	$\leq 60 - 15 \cdot \vartheta^2$
	> 75	$\leq (0,8 - 0,2 \cdot \vartheta^2) \cdot \lambda$
Stegbleche nach Bild 11j, wenn ausnahmsweise keine Saumwinkel, sondern nur Quer- schotte im Ab- stand a angeordnet werden	≤ 75	$\leq 25,5 - [10,5 - 15 \cdot (h/a)^2] \cdot \vartheta^2$
	> 75	$\leq \{0,34 - [0,14 - 0,2 \cdot (h/a)^2] \cdot \vartheta^2\} \cdot \lambda$
Stegbleche nach Bild 11k, l	≤ 75	$\leq 15 + 30 \sqrt{b_2/b_1}$
	> 75	$\leq (0,20 + 0,4 \sqrt{b_2/b_1}) \cdot \lambda$

Hierbei bedeutet:

t Dicke der dünnwandigen Teile siehe Bild 11

h ihre freie Höhe siehe Bild 11

λ für die Knickuntersuchung des Stabes maßgebender Schlankheitsgrad des Stabes nach Abschnitt 7.

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

$$\vartheta = \frac{b \cdot t}{h \cdot \delta}$$

eine Zahl, die zur näherungsweise 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.

GERADE, PLANMÄSSIG AUSSERMITTIG GEDRÜCKTE STÄBE;
BEANSPRUCHUNG AUF DRUCK UND BIEGUNG

10. Gerade, planmäßig außermittig gedrückte Stäbe von gleichbleibendem Querschnitt

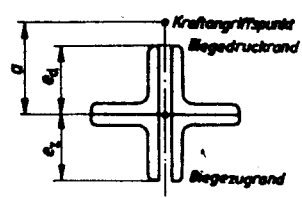


Bild 12a

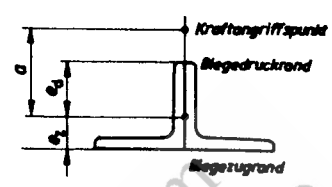


Bild 12b

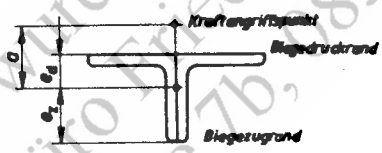


Bild 12c

Als außermittig gedrückt gelten Stäbe, bei denen die Druckkraft (N) an einem planmäßigen Hebel a angreift oder bei denen außer der Druckkraft ein von N abhängiges oder unabhängiges Biegemoment (M) wirkt.

Sofern kein genauere Nachweis erbracht wird, darf er in folgender Weise geführt werden:

10.1. Liegt der Kraftangriffspunkt auf einer der beiden Querschnittshauptachsen, ist also M auf eine Querschnittshauptachse bezogen, so muß

$$\sigma_c + (\sigma_c \mu_0 + \sigma_{bc}) \cdot f \leq \text{zul } \sigma \quad (2)$$

sein.

Hierbei bedeutet:

$$\sigma_0 = \frac{N}{F} \quad \text{Absolutwert der Druckspannung unter Berücksichtigung der dynamischen Kräfte und Schwingbeiwerte.}$$

Dabei muß $\sigma_0 \leq \sigma_{K1} / \nu_{K1}$ sein.

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

$$\mu_0 = \frac{u \cdot \max e}{l^2} \quad \text{die ungewellte bezogene Auermittigkeit.}$$

Sie ist anzusetzen

bei geometrisch ungünstigen Querschnitten mit wesentlichen Eigenspannungen entsprechend Tabelle 1 mit

$$\mu_0 = 0,4 \lambda / 100 \quad \text{bei } \lambda \leq 250 \quad (3a)$$

$$\mu_0 = 0,5 \lambda / 100 - 0,25 \quad \text{bei } \lambda > 250$$

bei den Stäben entsprechend Tabelle 2 mit

$$\mu_0 = 0,25 \lambda / 100 \quad \text{bei } \lambda \leq 100 \quad (3b)$$

$$\mu_0 = 0,5 \lambda / 100 - 0,25 \quad \text{bei } \lambda > 100$$

bei geometrisch günstigen Querschnitten ohne wesentliche Eigenspannungen entsprechend Tabelle 3 mit

$$\mu_0 = 0,25 \left(\frac{\lambda}{100} \right)^2 \quad \text{bei } \lambda \leq 100 \quad I \quad (3c)$$

$$\mu_0 = 0,5 \lambda / 100 - 0,25 \quad \text{bei } \lambda > 100$$

Bei St 45/60 ist zu setzen

bei Stäben entsprechend Tabelle 1

$$\mu_0 = 0,25 \sqrt{\lambda / 100} \quad \text{bei } \lambda < 40$$

bei $\lambda \geq 40$ nach Gleichung (3a)

bei Stäben entsprechend Tabelle 2

$$\mu_0 = 0,25 \sqrt{\lambda / 100} \quad \text{bei } \lambda \leq 100$$

bei $\lambda > 100$ nach Gleichung (3b)

bei Stäben entsprechend Tabelle 3

$$\mu_0 = 0,25 \lambda / 100 \quad \text{bei } \lambda \leq 100$$

bei $\lambda > 100$ nach Gleichung (3c)

Für Brücken im Verkehrsbau ist nach Gleichung (3a) zu rechnen.

λ ist der Schlankheitsgrad für Knicken in der Verformungsrichtung durch die Momente,

$$f = 1 + \frac{1 + \delta}{\sigma_{K1} / (\nu \sigma_0) - 1} \quad \text{die Vergrößerungsfunktion} \quad (4)$$

wobei δ von der Momentverteilung abhängig ist, siehe Abschnitt 10.4.

Für ungewollte Außermittheit und in Zweifelsfällen ist mit

$$\delta = + 0,273 \quad \text{zu rechnen.}$$

$$\sigma_{K1} = \frac{\pi^2 E}{\lambda^2} \quad \text{die Euler-Knickspannung}$$

ν die dem untersuchten Grenzlastfall entsprechende Sicherheitszahl

$$\nu = 1,50 \quad \text{im Grenzlastfall H}$$

$$\nu = 1,33 \quad \text{im Grenzlastfall HZ}$$

$$\nu = 1,20 \quad \text{im Grenzlastfall S}$$

zul σ die dem untersuchten Grenzlastfall entsprechende zulässige Spannung nach den einschlägigen Vorschriften.

10.2. Bei Stabquerschnitten, deren Schwerpunkt dem Biege-Druckrand näher als dem Biege-Zugrand liegt, $e_z > e_d$ Bild 12c, ist zusätzlich zu Gleichung (2) nachzuweisen

$$-\sigma_c + (\sigma_c \mu_0 + \sigma_{bz}) \cdot f \leq \text{zul } \sigma \quad (5)$$

Hierbei bedeutet:

$$\sigma_{bz} = \frac{M}{W_z} \quad \text{Absolutwert der Biege-Zugspannung unter Berücksichtigung der dynamischen Kräfte und Schwingbeiwerte}$$

Die übrigen Bezeichnungen nach Abschnitt 10.1.

10.3. Das mit einer Verdrehung verbundene Ausknicken rechtwinklig zur Momentenebene ist erforderlichenfalls nach der TGL 13 503 Bl.2 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 das maximale Biegemoment einzusetzen. Für einige Fälle sind die Werte der Vergrößerungsfunktion (f) bzw. von δ in Bild 13 angegeben. Die Werte gelten nur, wenn sich nicht infolge der Verformung die Endbiegemomente vergrößern.

Das Biegemoment in außermittig angeschlossenen Verbandstäben ist nach TGL 13 500 (Außermittheit) zu berechnen.

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

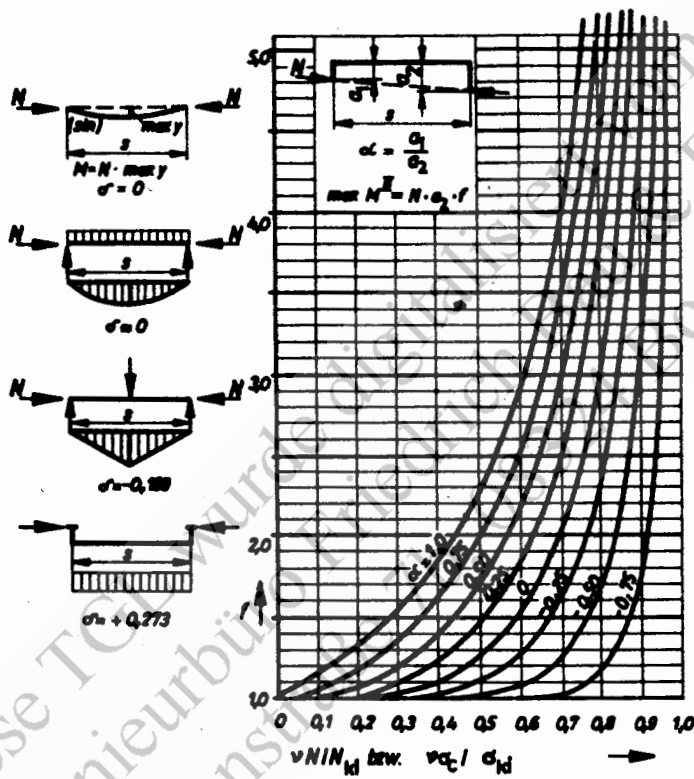


Bild 13

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 Gleichung (2) durch

$$\sigma_c + \sigma_c \mu_0 f + \sigma_{bc,x} f_x + \sigma_{bc,y} f_y \leq \text{zul } \sigma \quad \text{und}$$

Gleichung (5) durch

$$- \sigma_c + \sigma_c \mu_0 f + \sigma_{bz,x} f_x + \sigma_{bz,y} f_y \leq \text{zul } \sigma$$

zu ersetzen.

f , f_x , f_y sind nach Gleichung (4) zu berechnen.

Bei f ist die Eulerspannung σ_{K1} für den größeren der beiden Schlankheitsgrade $\lambda_x = s_{Kx} / i_x$ oder $\lambda_y = s_{Ky} / i_y$ einzusetzen, bei f_x für den Schlankheitsgrad λ_x und bei f_y für den Schlankheitsgrad λ_y .

Für die Berechnung von μ_0 ist der größere der Schlankheitsgrade λ_x oder λ_y einzusetzen.

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 außer durch die Eigenlast des Bauteiles nur durch Zusatzkräfte und/oder Stabilisierungskraft nach Abschnitt 8.3.1.; 12.5. belastet werden, darf 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 Begegnungen 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.

10.10. Wird ein zweiteiliger Druckstab in einer Ebene rechtwinklig zur stofffreien Querschnittsachse auf planmäßig außermittigen Druck beansprucht, so ist der Abschnitt 8. zu beachten. Die Stabkraft im Einzelstab ist nach der Theorie II. Ordnung zu berechnen. Bei Gitterstäben darf näherungsweise

$$\sigma_c = \frac{N}{2F_1} (1 + \mu_0 \cdot f) + \frac{M}{e \cdot F_1} \cdot f \leq \text{zul } \sigma / \omega_1$$

nachgewiesen werden.

Zur Berechnung von μ_0 und f ist in Gleichung (3) und (4) der Schlankheitsgrad λ_{y1} nach Abschnitt 8.2. einzusetzen. Beim Biegemoment (M) ist, wenn vorhanden, der exzentrische Angriff der Druckkraft (N) des Gesamtstabes zu berücksichtigen. Bei Belastung in zwei Ebenen ist μ_0 , f , f_x und f_y sinngemäß wie in Abschnitt 10.6. anzusetzen.

10.11. Die Querverbände mehrteiliger Druckstäbe sind für die Querkraft

$$Q_m = Q_a + Q_1 + \frac{M}{s_K} \pi (f_M - 1)$$

zu bemessen, sofern von einem genaueren Nachweis abgesehen wird.

Hierbei bedeutet:

Q_a Querkraft aus äußeren Lasten

Q_1 ideale Querkraft nach Abschnitt 8.3.1.

M maßgebendes Biegemoment

f_M Vergrößerungsfunktion unter Berücksichtigung der Form der Momentenfläche nach Abschnitt 10.1. σ_{K1} ist für den ideellen Schlankheitsgrad λ_1 zu berechnen.

DRUCKGURTE UND DRUCKSTÄBE MIT FEDERNDER QUERSTÜTZUNG, VERBÄNDE UND HILFSSTÄBE ZUM ABSTÜTZEN VON DRUCKSTÄBEN

11. Allgemeines

Druckgurtungen, die wie der Obergurt einer einfachen Trogbrücke mit untenliegender 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, siehe 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 Hauptträgerenebene gestützt sind, von einem genaueren Nachweis abgesehen, so muß der Rahmenwiderstand

$$\text{der Zwischenrahmen } H_1 \cong c_1 \cdot H_0$$

$$\text{und der Endrahmen } H_2 \cong c_2 \cdot H_0$$

sein, wobei

$$H_0 = \frac{2,5 \cdot \sqrt{K}}{\beta \cdot m} \cdot \frac{\max N}{\min s}$$

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, siehe Bild 14; und es ist $\max N$ der Absolutwert der größten Stabdrukkraft im Druckgurt, die unter Berücksichtigung der dynamischen Kräfte und Schwingbeiwerte nach den jeweiligen Vorschriften zu ermitteln ist.

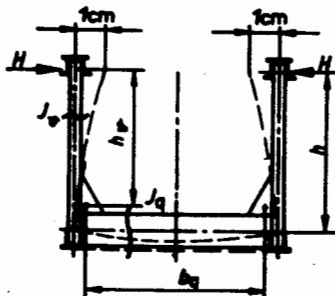


Bild 14

Für $\min a$ ist die kleinste 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 (N), der Querschnittsfläche (F), dem Querschnittsträgheitsmoment (J_y) und der Netzlänge (s) die den Knickzahlen

$$\omega_y = \frac{F \cdot \text{zul } \sigma}{N}$$

zugeordneten Schlankheitsgrade λ_y aus den Tabellen 1a bis 4b zu entnehmen. Der größte dieser Schlankheitsgrade λ_y bestimmt nach Tabelle 1a bis d TGL 13 503 Bl.2 die einzusetzende Knicksicherheitszahl ν_K . Für jeden Stab berechnet sich ein Beiwert 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 gedruckten Gurtstäbe $\beta \cong 1,2$ ist.

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

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

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

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

$\alpha = 1$ gleiche Rahmenabstände.

bekannt, so dürfen c_1 und c_2 aus den Formeln

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

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

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

$$H_1 \cong H_0.$$

Fallen Schwerpunkt und Schubmittelpunkt des Druckquerschnittes nicht zusammen, z. B. beim T-Querschnitt, so kann der nach TGL 13 503 Bl.2 berechnete Schlankheitsgrad λ_{v1} größer als λ_y sein. In diesem Falle ist statt J_y der abgeminderte Wert

$$J_y^* = J_y \left(\frac{\lambda_y}{\lambda_{v1}} \right)^2$$

einsetzen.

Die zulässige Spannung (zul σ) 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 Herabsetzung der zulässigen Spannung 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 Hauptträgerenebene 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.



Bild 15a

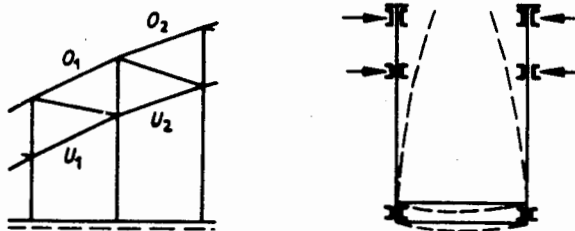


Bild 15b

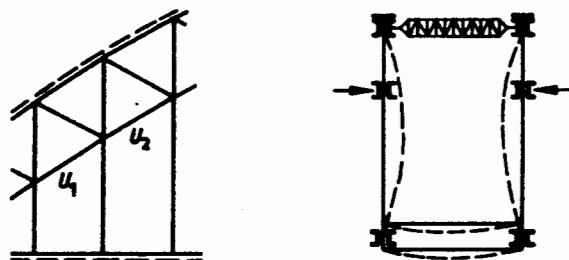


Bild 15c

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 Walzträgern der Flansch (ohne den zwischen den Ausrundungen liegenden Stegteil) mit den Gurtplatten und bei geschweißten Trägern die Gurtplatten zu zählen.

Die maßgebenden Druckkräfte (N) in den Druckgurten zwischen je zwei Halbrahmen ergeben sich aus

$$N = \frac{M}{J_x} \cdot \gamma$$

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 γ das statische Moment der unverschwächten Gurtquerschnittsfläche in bezug auf die waagerechte Schwerachse des gesamten Vollquerschnittes bezeichnet. Sind die den einzelnen Abschnitten des Druckgurtes zugeordneten Druckkräfte (N) sowie die dazu gehörenden Gurtquerschnittsflächen (F) und deren Trägheitsmomente J_y in bezug auf die lotrechte Schwerachse ermittelt, so ist der Nachweis wie bei den fachwerkartigen Trogbrücken zu führen.

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

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

*In beiden Lagen
nach Katarahmen an Widerstand
Tgl. Bild 14*

ergibt. Ist der Vollwandträger in einzelnen Punkten des Druckgurtes rechtwinklig zur Trägerebene unverrückbar festgehalten, so gelten die Verschrifteten 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, siehe Bild 16, sind mit der gewählten Knicklänge

$$s \cong s_k \cong \frac{s}{2}$$

auf Ausknicken aus der Fachwerkebene zu berechnen, wenn der Rahmenwiderstand

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

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 N ist der Absolutwert der unter Berücksichtigung der dynamischen Kräfte und Schwingbeiwerte nach den jeweiligen Vorschriften berechneten größten Druckkraft und für s die Netzlänge des ganzen Stabes einzusetzen.

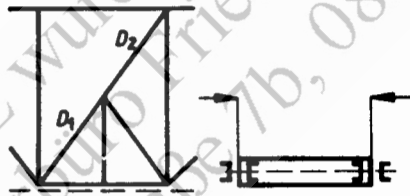


Bild 16

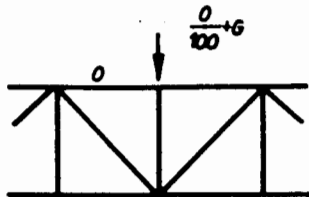


Bild 17

Der Wert ν_K ist der Tabelle 3 nach TGL 13 503 Bl.2 für die gewählte Stahlmarke 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_{y1} 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 Schwingbeiwerte nach den jeweiligen Vorschriften berechneten größten Druckkraft des gestützten Stabes auf Zug und Druck aufnehmen können, ohne zul σ zu überschreiten.

Bei lotrechten Hilfsstäben, siehe Bild 17, ist diese Kraft um die Knotenlast (G), die der zu übertragenden Eigenlast des abgestützten Druckstabes entspricht, zu vermehren.

12.5. Dachverbände, die Druckgurte der Dachbinder zu stabilisieren haben, sind zusätzlich zu den planmäßigen Kräften, z. B. aus Wind, für folgende Schnittkräfte aus der Stabilisierungswirkung zu berechnen:

Größte Gurtkraft im Verband

$$S = \frac{\sum N_1}{300} \cdot \frac{l}{b}$$

Größte Querkraft im Verband

$$Q = \frac{\sum N_1}{100}$$

Hierbei bedeutet:

- $\sum N_1$ 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 Verbandslänge verlaufend anzunehmen.

Diese Berechnung darf durch einen genaueren Nachweis²⁾ ersetzt werden.

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 von einem genaueren Nachweis abgesehen wird - die Bedingung

$$\frac{N_v}{F} \leq \frac{zul \sigma}{\omega}$$

erfüllt sein.

²⁾ Gerold: Zur Frage der Beanspruchung von stabilisierenden Verbänden und Trägern. Der Stahlbau 32 (1963), H. 9, S. 278

Hierbei bedeutet:

N_V	Absolutwert der im Viertelpunkt der Stützweite unter der gegebenen Belastung auftretenden (mit Berücksichtigung der dynamischen Kräfte und Schwingbeiwerte nach den jeweiligen Vorschriften berechneten) Druckkraft des Bogenträgers
F	ungeschwächter Querschnitt des Bogenträgers
zul σ	für den untersuchten Belastungsfall und die gewählte Baustahlsorte geltende zulässige Druckspannung ¹⁾
ω	von der Baustahlsorte und dem Schlankheitsgrad abhängige, aus den Tabellen 1a bis 4b zu entnehmende Knickzahl
$\lambda_x = \beta \cdot s / i_x$	für das Ausknicken in der Bogenebene (rechtwinklig zur Querschnittshauptachse $x - x$) geltender Schlankheitsgrad
s	h a l b e Bogenlänge
i_x	auf die Hauptachse $x - x$ bezogener Trägheitshalbmesser des unverschwächten Querschnittes
β	Beiwert der aus der Tabelle 6 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 die im Abschnitt 13.1.1. angegebene Druckkraft N_V und der im Abschnitt 13.1.1. angegebene Schlankheitsgrad λ_x einzusetzen ist. Bei Überwiegenden der 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 Größe unter Berücksichtigung des Einflusses der Verformungen sowie unter Beachtung der Vorschriften über die Nietlochwächung, den Einfluß der dynamischen Kräfte und die Schwingbeiwerte berechnete Spannung den Wert zul σ bzw. σ_D nach den einschlägigen Vorschriften nicht überschreitet³⁾.

Tabelle 6 β -Werte

	β				
	f/l				
	0,05	0,20	0,30	0,40	0,50
Dreigelenkbogen	1,20	1,16	1,13	1,19	1,25
Zweigelenkbogen	1,00	1,06	1,13	1,19	1,25
Eingespannter Bogen	0,70	0,72	0,74	0,75	0,76

¹⁾ siehe Seite 7

³⁾ Der statische Spannungsnachweis bzw. der Ermüdungsfestigkeitsnachweis ist nach der Theorie II. Ordnung unter den einfachen Lasten zu führen.

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 Festlegungen 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

$$\frac{N_v}{F} \cong \frac{zul \sigma}{\omega_y}$$

ersetzt werden, worin N_v , F , $zul \sigma$ dieselbe Bedeutung wie in Abschnitt 13.1.1. haben und die Knickzahl ω_y nach Tabelle 1a bis 4b 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 7 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 Volllast 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 den Anteil $\alpha \cdot q$ und müssen sich die Hängestangen während des seitlichen Ausknickens des Bogens schräg stellen, so ist mit $\beta_2 = 1 - 0,35 \alpha$ zu rechnen. 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 7 ist J_y das Querschnittsträgheitsmoment für Knickung rechtwinklig zur Bogenebene und φ der Tangentenneigungswinkel in der Bogenebene; der Drillwiderstand ist mit $I_D \cong 0,65 I_y$ vorausgesetzt.

Tabelle 7 β_1 -Werte

	β_1				
	f/l				
	0,05	0,10	0,20	0,30	0,40
$I_y = const$	0,50	0,54	0,65	0,82	1,07
$I_y \cdot \cos \varphi = const$	0,50	0,52	0,59	0,71	0,86

14. RAHMEN

14.1. Nachweis nach der Theorie II. Ordnung

Der Spannungsnachweis ist nach der Theorie II. Ordnung zu führen; außer der Verformung aus den äußeren Lasten ist auch die ungewollte Vorverformung anzusetzen, die ähnlich der ersten Eigenfunktion des Tragwerkes beim Knicken angenommen werden darf mit einer Verschiebung der Riegel von $1/200$ der Stockwerkshöhe. Unter der ν -fachen Belastung darf die Fließgrenze des Stahles an keiner Stelle überschritten werden.

Dieser Nachweis darf auch durch die folgende Berechnung ersetzt werden.

14.2. Nachweis nach dem ω -Verfahren

14.2.1. Die folgenden Festlegungen beziehen sich auf lotrechte, einstückige Rechteckrahmen mit steifen Knoten, die in waagerechter Richtung nur rechtwinklig zur Rahmenebene festgehalten sind. Die Rahmen sind durch Kräfte $P, P_1 \leq P$ 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).

14.2.2. Die Stielquerschnitte müssen, wenn von einem genaueren Nachweis abgesehen wird, der Bedingung $P/F \leq \text{zul } \sigma / \omega$ entsprechen.

Hierbei bedeutet:

P	Größe der beiden Lasten
ω	aus den Tabellen 1a bis 4b zu entnehmende, dem Schlankheitsgrad $\lambda = s_K / i = s_K \cdot \sqrt{F/J}$ zugeordnete Knickzahl
$s_K = \beta \cdot h$	Knicklänge der Rahmenstiele
zul σ	die dem untersuchten Belastungsfall und der gewählten Stahlmarke entsprechende zulässige Spannung ¹⁾
F und J	die Fläche und das bei Ausbiegung in der Rahmenebene wirksame Trägheitsmoment des unverschwächten Stielquerschnittes
J_0	das Trägheitsmoment des unverschwächten Riegelquerschnittes
b und h	Netzbreite und Netzhöhe des Rahmens
β	Beiwert, der von Hilfsgrößen

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

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.

¹⁾ siehe Seite 7

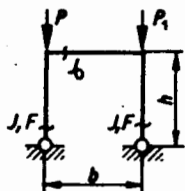


Bild 18a

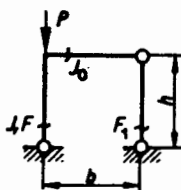


Bild 18b

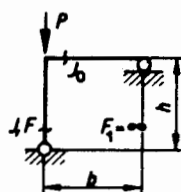


Bild 18c

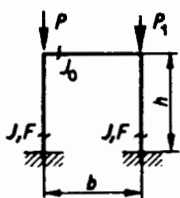


Bild 18d

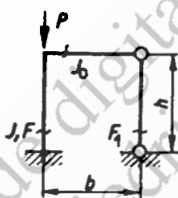


Bild 18e

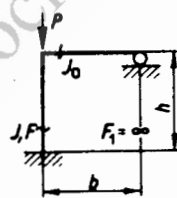


Bild 18f

14.2.3. Für freistehende Zweigelenrahmen nach Bild 18a ist

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

zu setzen. Diese Beziehung darf auch bei der Berechnung von einhüftigen Rahmen nach Bild 18b mit unbelasteter Pendelstütze oder Bild 18c verwendet werden, wenn

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

eingeführt wird.

14.2.4. Für freistehende Rahmen mit fest eingespannten Stiebfüßen nach Bild 18d ist

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

zu setzen. Diese Beziehung darf auch bei der Berechnung von einhüftigen

Rahmen nach Bild 18e mit unbelasteter Pendelstütze oder Bild 18f verwendet werden, wenn

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

eingeführt wird.

14.2.5. Wird der Riegel *z w i s c h e n* den beiden Knotenpunkten durch lotrechte Kräfte belastet, so sind die Stiele planmäßig auf Druck und Biegung beansprucht und daher nach Abschnitt 10. zu bemessen, wobei $\sigma = +0,273$ einzusetzen ist. Der Schlankheitsgrad λ ist hierbei unter Verwendung der in Abschnitt 14.2.3. und 14.2.4. angegebenen Beziehungen für den Beiwert β zu berechnen.

14.2.6. Die in den Abschnitten 14.2.3., 14.2.4., 14.2.5. 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 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, ist eine ausreichende Kippsicherheit nachzuweisen. 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 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) $\cong c/40$, so darf der Nachweis der Kippsicherheit entfallen. Zum Gurtquerschnitt (F_G) sind bei genieteten Trägern die Gurtplatten, die Gurtwinkel und $2/5$ der auf Druck beanspruchten Stegfläche, bei Walzträgern der Flansch mit den Gurtplatten und $2/5$ der auf Druck beanspruchten Stegfläche, bei geschweißten Trägern die Gurtplatten und $2/5$ der auf Druck beanspruchten Stegfläche zu zählen.

15.4. Ist bei den im Abschnitt 15.3. geschilderten Trägern $i_y < c/40$ und wird kein genauere 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 $1,13 \text{ zu } \sigma/\omega$ nicht überschreiten. Die aus den Tabellen 2a bis d oder 4a und b zu entnehmende Knickzahl ω ist hierbei dem Schlankheitsgrad $\lambda = c/i_y$ zugeordnet.

15.5. Bei der Montage sind Vorkehrungen zu treffen, um das Kippen langer I-Träger unter der Wirkung der Eigenlast auszuschließen. Schiefe Seilzüge können außerhalb der Stegebene wirken und damit die Kippgefahr erhöhen.

BEULUNG EBENER BLECHE

16. Allgemeines

16.1. Für die Gurt- und Stegbleche ist ausreichende Sicherheit gegen Ausbeulen nachzuweisen.

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

16.3. Das Blech ist bei der Beuluntersuchung in rechteckige Felder der Länge (a) und der Breite (b) nach Bild 19 zu unterteilen. Bei mehr als einer Halsnietreihe je Stegblechrand ist für b das arithmetische Mittel der gegenseitigen Abstände der entsprechenden Halsnietreihen anzunehmen.

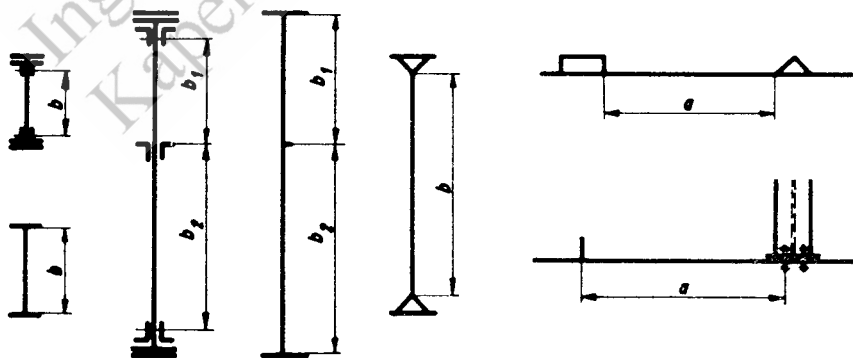


Bild 19

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

16.5. Bei der Beuluntersuchung sind immer die vollen Querschnitte ohne Abzug von Nietlöchern einzusetzen. Die im untersuchten Blechfeld 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 nach Abschnitt 16.3. auftretenden Druckspannung einzusetzen.

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 ψ gekennzeichnet. ψ ist nach Tabelle 8 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 nach 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.

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 Hooke'schen Formänderungsgesetzes gebunden ist, beträgt nach Tabelle 8, Spalte 2

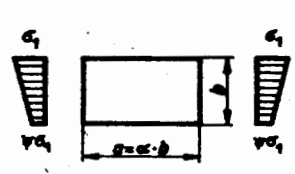
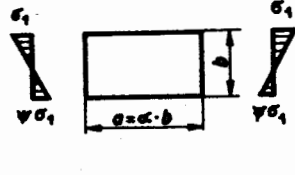
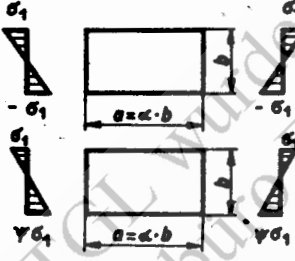
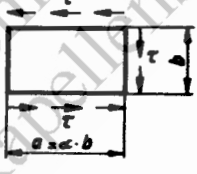
$$\sigma_{K1} = k \cdot \sigma_e \quad \text{bzw.} \quad \tau_{K1} = k \cdot \sigma_e,$$

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.

Tabelle 8 Beulfaktoren

1	2	3	4
Belastung	Beulspannung	Gültigkeitsbereich	Beulwert
Geradlinig verteilte Druckspannungen $0 \leq \psi \leq 1$ 	$\sigma_{1Ki} = k \cdot \sigma_e$	$\alpha \geq 1$ $\alpha < 1$	$k = \frac{8,4}{\psi + 1,1}$ $k = (k + \frac{1}{\alpha})^2 \cdot \frac{2,1}{\psi + 1,1}$
Geradlinig verteilte Druck- u. 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.
Geradlinig verteilte Druck- u. Zugspannungen mit gegen gleichen Randwerten $\psi = -1$ oder mit überwiegendem Zug ⁴⁾ $\psi < -1$ 	$\sigma_{1Ki} = k \cdot \sigma_e$	$\alpha \geq \frac{2}{3}$ $\alpha < \frac{2}{3}$	$k = 23,9$ $k = 15,87 + \frac{1,87}{\alpha^2} + 8,6\alpha^2$
Gleichmäßig verteilte Schubspannungen 	$\tau_{Ki} = k \cdot \sigma_e$	$\alpha \geq 1$ $\alpha < 1$	$k = 5,34 + \frac{4,00}{\alpha^2}$ $k = 4,00 + \frac{5,34}{\alpha^2}$

4) Bei der Berechnung des Seitenverhältnisses α und der Eulerspannung σ_e ist hier b durch den ideellen Wert $b_1 = 2 b_D$ 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} .

Es gilt

$$\sigma_0 = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot t^2}{12 \cdot b^2 (1 - \mu^2)} = 189,8 \cdot \left(\frac{100 \cdot t}{b}\right)^2 = \left(1378 \cdot \frac{t}{b}\right)^2 \text{ kp/cm}^2,$$

wobei E der Elastizitätsmodul, $\mu = 0,3$ die Querdehnungszahl und t die Blechdicke ist⁵⁾.

17.2. In der Tabelle 8, Spalte 4 sind die Beulwerte (k) für rechteckige, an allen vier Rändern einspannungsfrei gelagerte Bleche für einige einfache Belastungsarten angegeben. Für näherungsweise Vorberechnungen darf k für die Normalspannungsfälle

$$-1 \leq \psi \leq +1$$

auch aus Bild 20 entnommen werden. Treten Normal- und Schubspannungen gleichzeitig auf, so sind die beiden Einzelbeulspannungen σ_{1K1} und τ_{K1} getrennt zu berechnen.

17.3. Mit den Einzelbeulspannungen σ_{1K1} , τ_{K1} und den nach Abschnitt 16.5. und 16.6. ermittelten Spannungswerten σ_1 , τ ist die ideale Vergleichsspannung

$$\sigma_{VK1} = \frac{\sqrt{\sigma_1^2 + 3\tau^2}}{\frac{1+\psi}{4} \cdot \frac{\sigma_1}{\sigma_{1K1}} + \sqrt{\left(\frac{3-\psi}{4} \cdot \frac{\sigma_1}{\sigma_{1K1}}\right)^2 + \left(\frac{\tau}{\tau_{K1}}\right)^2}}$$

zu berechnen; sie beträgt im Sonderfall $\tau \equiv 0$ einfach $\sigma_{VK1} = \sigma_{1K1}$ und im Sonderfall $\sigma_1 \equiv 0$ einfach $\sigma_{VK1} = \tau_{K1} \cdot \sqrt{3}$. Da die idealen Beulspannungen in allen jenen Fällen, in denen σ_{VK1} oberhalb der Proportionalitätsgrenze des Baustahls liegt, eine Abminderung erfahren müssen, ist zur idealen Vergleichsspannung σ_{VK1} eine abgeminderte Vergleichsspannung σ_{VK} zu bestimmen und die Beulsicherheitszahl mit Hilfe der Beziehung

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

zu berechnen; der zum Wert σ_{VK1} gehörige abgeminderte Wert σ_{VK} ist aus der Tabelle 9 zu entnehmen, wobei Zwischenwerte geradlinig einzuschalten sind.

Für Vorberechnungen darf näherungsweise σ_{VK} unmittelbar aus Bild 21 entnommen werden.

5) Zur Berücksichtigung der Minustoleranzen nach TGL 8446 (Grobbleche) und TGL 7974 (Breitflachstähle) ist in die Berechnung die Blechdicke t um 0,3 mm bei $5 \text{ mm} \leq t < 8 \text{ mm}$ und um 0,5 mm bei $8 \text{ mm} \leq t \leq 16 \text{ mm}$ abgemindert einzusetzen, sofern nicht durch entsprechende Kontrollen gewährleistet ist, daß das eingebaute Blech keine Minusabweichung aufweist.

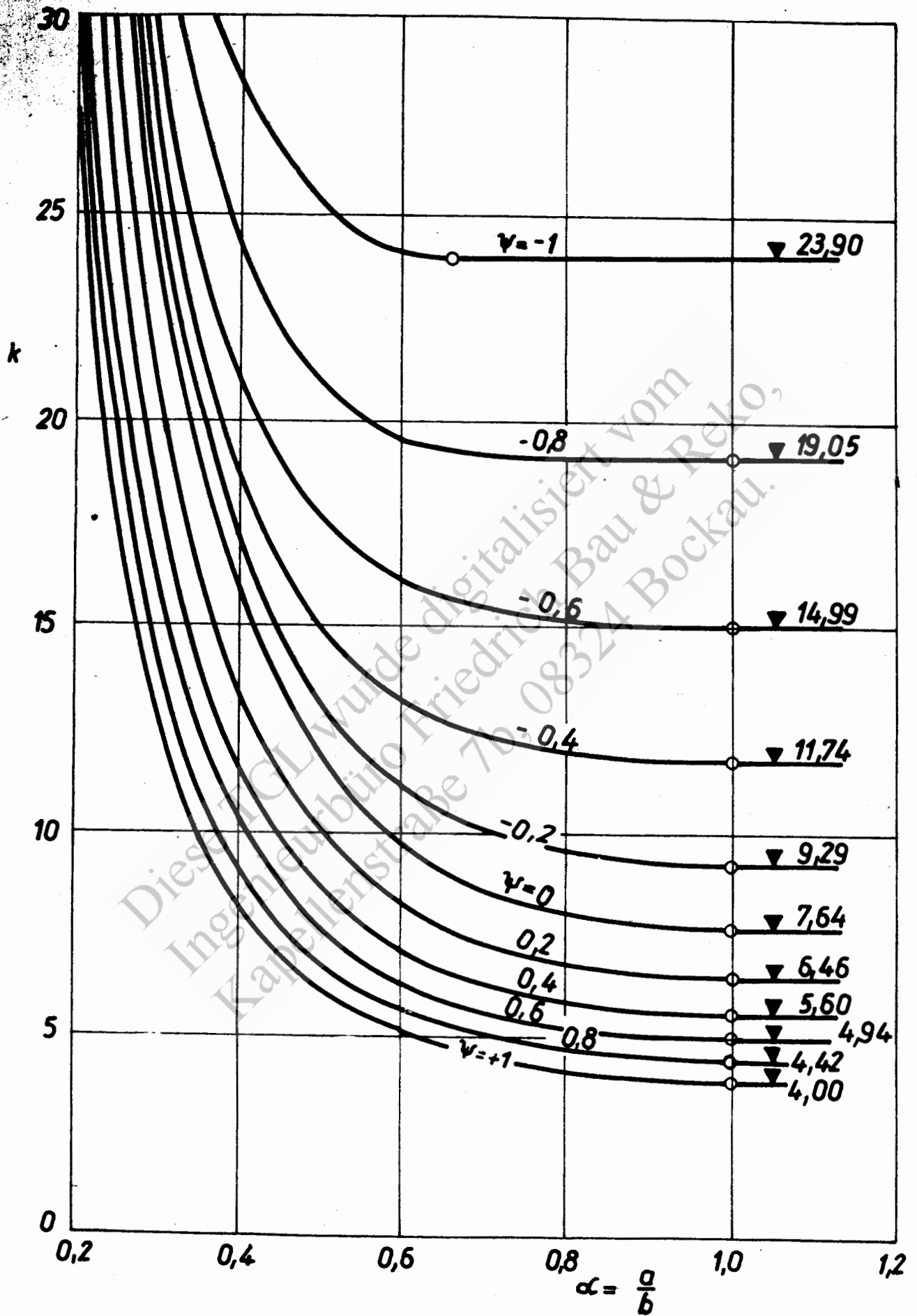


Bild 20

Die Tabelle 9 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_{VK1} , die bei der Bemessung nicht unterschritten werden darf.

Für $\sigma_{VK} = \sigma_{VK1}$ wird $\nu_B = \nu_{B1}$.

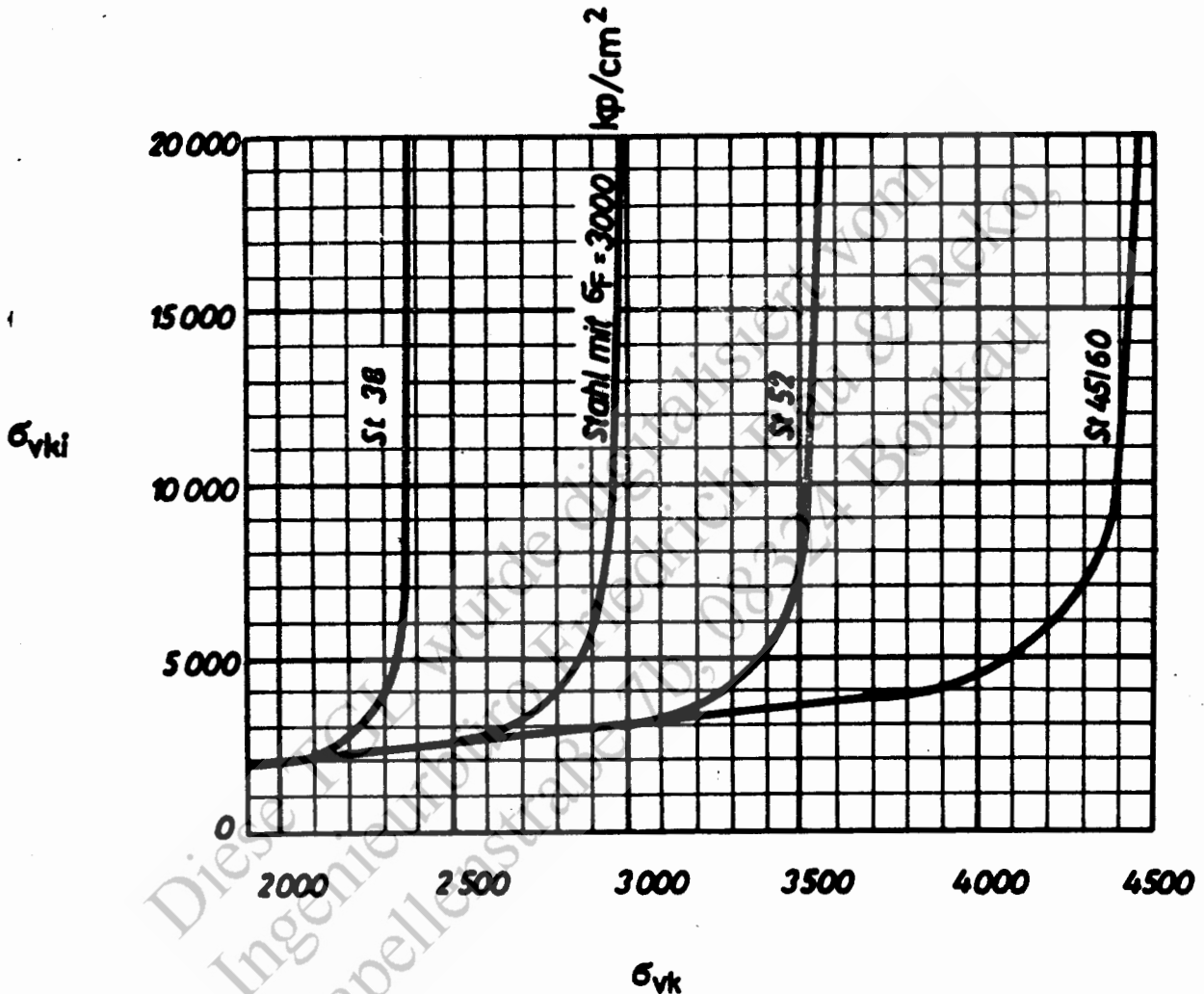


Bild 21

17.4. Die erforderliche Beulsicherheit ist für ideale Vergleichsspannungen $\sigma_{VK1} \leq 1,5 \sigma_F$

bei Druckgurten von Biegeträgern

im Grenzlastfall H erf $\nu_B = 1,50$

im Grenzlastfall HZ erf $\nu_B = 1,33$

im Grenzlastfall S erf $\nu_B = (1,20)$

*$\frac{L_e}{t} > 30$ Prüfung u. M.H. Hoff 10/74
beachten*

und bei Stegblechen

$$\text{im Grenzlastfall H} \quad \text{erf } \nu_B = 1,35$$

$$\text{im Grenzlastfall HZ} \quad \text{erf } \nu_B = 1,25$$

$$\text{im Grenzlastfall S} \quad \text{erf } \nu_B = 1,10$$

*mit mehr als
2 Längssteifen
1,50
1,35
1,20*

Für Vergleichsspannungen $\sigma_{VK1} > 1,5 \sigma_F$ ist die erforderliche Beulsicherheit im Verhältnis

$$0,9 + 0,1 \cdot \left(\frac{1,5 \sigma_F}{\sigma_{VK1}} \right)^2$$

abgemindert.

Die Beulsicherheit braucht in der Regel nur für einen der Grenzlastfälle nachgewiesen zu werden.

17.5. Bei Beuluntersuchungen von Rechteckplatten, die Bauteile eines Druckstabes sind, ist die erforderliche Beulsicherheit $\text{erf } \nu_B$ des Bauteiles gleich der erforderlichen Knicksicherheit $\text{erf } \nu_K$ des ganzen Stabes.

Jedoch gilt für Vergleichsspannungen $\sigma_{VK1} > 1,5 \sigma_F$

$$\text{erf } \nu_B = \left[0,9 + 0,1 \cdot \left(\frac{1,5 \sigma_F}{\sigma_{VK1}} \right)^2 \right] \cdot \text{erf } \nu_K$$

Die Knicksicherheit $\text{erf } \nu_K$ ist abhängig von der Baustahlgüte und der für die Knickuntersuchung wirksamen Schlankheit λ und ist Tabelle 9 oder TGL 13 503 Bl.2, Tabelle 1, zu entnehmen. 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 von einem genaueren Nachweis abgesehen wird, die erforderliche Blechdicke nach Tabelle 5, in der die oben angegebene Ermäßigung für Vergleichsspannungen $\sigma_{VK1} > 1,5 \sigma_F$ 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 $\text{erf } \nu_B^{N,M}$ zu ermitteln nach der Formel

$$\text{erf } \nu_B^{N,M} = \frac{\text{erf } \nu_K \cdot \sigma_N + \text{erf } \nu_B \cdot \sigma_M}{\sigma_N + \sigma_M}$$

Auch hier darf für Vergleichsspannungen $\sigma_{VK1} > 1,5 \sigma_F$ die erforderliche Beulsicherheit wie oben abgemindert werden, und es gilt dann:

$$\text{erf } \nu_B^{N,M} = \left[0,9 + 0,1 \cdot \left(\frac{1,5 \sigma_F}{\sigma_{VK1}} \right)^2 \right] \cdot \frac{\text{erf } \nu_K \cdot \sigma_N + \text{erf } \nu_B \cdot \sigma_M}{\sigma_N + \sigma_M}$$

In den angegebenen Formeln ist für Grenzlastfall H $\text{erf } \nu_B = 1,35$, für Grenzlastfall HZ $\text{erf } \nu_B = 1,25$ und für Grenzlastfall S $\text{erf } \nu_B = 1,10$ einzusetzen. σ_N und σ_M sind die Spannungsanteile infolge der Normalkraft und des Biegemomentes.

Die Knicksicherheitszahl $\text{erf } \nu_K$ ist der Schlankheit λ des Druckstabes zugeordnet und darf für die Zehnerzahlen von λ den Tabellen 1a bis 1d der TGL 13 503 Bl.2 entnommen werden.

Tabelle 9 Kriechspannungen σ_{VK} und Knicksicherheitszahlen γ_K

σ_{VK1} kp/cm ²	St 38							St 45/60						
	allgemein			Brücken 6)				allgemein			Brücken 6)			
	H	HZ	S	H	HZ	S	σ_{VK} kp/cm ²	H	HZ	S	H	HZ	S	σ_{VK} kp/cm ²
1600	2,20	1,95	1,76	2,50	2,22	1,61	σ_{VK1}	2,01	1,79	1,61	2,50	2,22	1,60	2,00
1920	2,30	2,04	1,84	2,58	2,29	1,66	"	2,07	1,84	1,66	2,50	2,22	1,60	2,00
2000	2,29	2,05	1,84	2,60	2,31	1,67	"	2,09	1,88	1,67	2,50	2,22	1,60	2,00
2100	2,27	2,03	1,83	2,60	2,31	1,70	"	2,12	1,88	1,70	2,50	2,22	1,60	2,00
2200	2,27	2,02	1,82	2,58	2,29	1,74	"	2,15	1,91	1,74	2,50	2,22	1,60	2,00
2300	2,25	2,00	1,80	2,56	2,28	1,74	"	2,18	1,94	1,74	2,50	2,22	1,60	2,00
2400	2,23	1,98	1,79	2,53	2,25	1,78	$\sigma_p = 2400$	2,22	1,97	1,78	2,50	2,22	1,60	2,00
2500	2,21	1,96	1,77	2,51	2,23	1,79	$\sigma_p = 2479$	2,24	1,99	1,79	2,50	2,22	1,60	2,00
2600	2,19	1,94	1,75	2,48	2,21	1,78	2534	2,23	1,98	1,78	2,50	2,22	1,60	2,00
2700	2,16	1,92	1,73	2,46	2,18	1,78	2578	2,22	1,98	1,78	2,50	2,22	1,60	2,00
2800	2,14	1,91	1,72	2,43	2,16	1,77	2614	2,21	1,96	1,77	2,50	2,22	1,60	2,00
2880	2,12	1,89	1,70	2,41	2,14	1,75	$\sigma_p = 2880$	2,19	1,95	1,75	2,50	2,22	1,60	2,00
2900	2,10	1,87	1,68	2,38	2,11	1,74	2644	2,17	1,93	1,74	2,50	2,22	1,60	2,00
3000	2,07	1,84	1,65	2,33	2,07	1,71	2670	2,14	1,90	1,71	2,48	2,20	1,58	1,98
3200	2,03	1,81	1,63	2,30	2,04	1,68	2713	2,11	1,87	1,68	2,45	2,17	1,55	1,95
3400	2,01	1,78	1,61	2,26	2,01	1,66	2747	2,10	1,84	1,66	2,42	2,15	1,53	1,93
3600	1,98	1,76	1,59	2,22	1,98	1,63	2774	2,09	1,82	1,63	2,39	2,13	1,51	1,91
3800	1,96	1,74	1,57	2,19	1,95	1,62	2796	2,08	1,82	1,62	2,36	2,10	1,49	1,89
4000	1,94	1,72	1,55	2,17	1,93	1,59	2815	2,07	1,81	1,62	2,33	2,07	1,47	1,87
4200	1,92	1,70	1,53	2,14	1,90	1,58	2831	2,06	1,79	1,58	2,30	2,04	1,45	1,85
4400	1,90	1,69	1,52	2,12	1,88	1,56	2844	2,05	1,77	1,56	2,27	2,01	1,43	1,83
4600	1,88	1,67	1,51	2,09	1,86	1,54	2856	2,04	1,75	1,54	2,24	1,99	1,41	1,81
4800	1,87	1,66	1,50	2,08	1,85	1,53	2866	2,03	1,73	1,53	2,21	1,96	1,39	1,79
5000	1,86	1,65	1,49	2,06	1,83	1,52	2875	2,02	1,71	1,52	2,19	1,94	1,37	1,77
5200	1,84	1,64	1,47	2,04	1,81	1,51	2883	2,01	1,69	1,51	2,16	1,92	1,35	1,75
5400	1,83	1,63	1,46	2,02	1,80	1,50	2890	2,00	1,68	1,50	2,13	1,90	1,33	1,73
5600	1,82	1,62	1,45	2,01	1,79	1,49	2896	1,99	1,66	1,49	2,11	1,88	1,31	1,71
5800	1,81	1,61	1,44	2,00	1,77	1,48	2902	1,98	1,65	1,48	2,09	1,87	1,29	1,69
6000	1,79	1,59	1,44	1,96	1,75	1,46	2907	1,97	1,64	1,47	2,07	1,85	1,28	1,67
6500	1,78	1,58	1,44	1,96	1,75	1,46	2918	1,96	1,62	1,46	2,06	1,84	1,27	1,66
7000	1,76	1,57	1,41	1,92	1,72	1,43	2927	1,95	1,60	1,44	2,04	1,82	1,26	1,65
7500	1,75	1,56	1,40	1,90	1,69	1,42	2934	1,94	1,58	1,43	2,02	1,80	1,25	1,64
8000	1,73	1,54	1,38	1,87	1,66	1,41	2940	1,93	1,57	1,42	2,00	1,79	1,24	1,63
9000	1,71	1,52	1,37	1,84	1,63	1,39	2950	1,91	1,55	1,39	1,97	1,76	1,23	1,61
10000	1,69	1,51	1,36	1,81	1,61	1,38	2957	1,90	1,53	1,38	1,95	1,74	1,22	1,60
15000	1,66	1,48	1,33	1,76	1,56	1,33	2971	1,88	1,50	1,33	1,91	1,71	1,19	1,57
20000	1,63	1,45	1,31	1,71	1,52	1,31	2983	1,86	1,48	1,31	1,88	1,68	1,18	1,55
30000	1,61	1,43	1,29	1,67	1,48	1,29	2989	1,84	1,46	1,29	1,86	1,66	1,17	1,54
∞	1,50	1,33	1,20	1,50	1,33	1,20	3000	1,81	1,44	1,27	1,83	1,64	1,16	1,53

6) Brücken im Verkehrsbau
Geltungsbereich der TGL 13 460 und DV 804

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

18. Aussteifung von Stegblechen

*Prof. Dr. Meißner
10.10.74 besprochen*

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 Quertägern verbundenen Pfosten, Halbrahmenstiele, bei mehrwandigen Konstruktionen auch durch Quer- und Längsschotte oder Quer- und Längsverbände bewirkt.

18.2. Werden zur Unterteilung einzelne Q u e r - oder L ä n g s - s t e i f e n verwendet, so gibt es grundsätzlich zwei Wege: Entweder erhalten die Längs- und Quersteifen eine so große Biegesteifigkeit, Mindeststeifigkeit, siehe TGL 13 503 Bl.2, daß sie die Beulspannung für das zu untersuchende Feld zumindest bis auf jenen Wert heben, der sich für das stärkstbeanspruchte T e i l f e l d bei Annahme einer einspannungsfreien Umfangslagerung nach Abschnitt 17.3. ergibt. Oder die Biegesteifigkeiten der Steifen werden kleiner gewählt als die Mindeststeifigkeiten, siehe TGL 13 503 Bl.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 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 höherfestem Stahl nicht aus Stahl geringerer Festigkeit hergestellt werden. Für alle Stahlmarken ist $\sigma_p = 0,8 \sigma_F$ anzunehmen.

18.4. Längssteifen von Stegblechen, die an den Kreuzungsstellen mit Quersteifen, Halbrahmenstielen, Querschotten und dergleichen ungeschwächt durchgeführt oder gleichwertig gestoßen werden, dürfen bei der Berechnung der Fläche und des Trägheitsmomentes des gesamten Trägerquerschnittes mit berücksichtigt 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 nicht zulässig.

19. Zuständige Prüfstellen

Zuständige Prüfstellen - Aufsichts- und Überwachungsorgane der DDR - sind Staatliche Bauaufsicht, Abnahmeamt der Deutschen Reichsbahn, Technische Überwachung, Prüfstelle für Tagebaugroßgeräte und andere nichtstationäre Tagebauausrüstungen, Prüfstelle für Lastaufnahmemittel, Oberste Bergbehörde, Deutsche Schiffsrevision und -klassifikation sowie Amt für Standardisierung, Meßwesen und Warenprüfung.

Hinweise

Ersatz für TGL 0-4114 Bl.1 Ausg.9.62

Änderungen gegenüber TGL 0-4114 Bl.1:

Abschnitt 3. und 7. Knickstäbe werden grundsätzlich nach Spannungstheorie II. Ordnung berechnet (anstelle des Traglastverfahrens nach Ježek) unter Beibehaltung einer weiteren Absicherung gegen Eulerlast. Die zulässigen Knickspannungen wurden erhöht (Änderung von ω und zul σ).

Abschnitt 8. Für Querkräfte in mehrteiligen Druckstäben werden neue Formeln angegeben.

Abschnitt 10. Überlagerung Druck und Biegung wird nach Spannungstheorie II. Ordnung berechnet.

Für die Querkraft in mehrteiligen Druckstäben mit planmäßiger Querlast ist eine Formel angegeben.

Abschnitt 12.5. Stabilisierungsverbände wurden neu aufgenommen.

Abschnitt 14. Für den Stabilitätsnachweis von Rahmen wird der Spannungsnachweis nach Theorie II. Ordnung zugelassen.

Abschnitt 17. Beulsicherheit wurde auf Druckgurte von Biegeträgern erweitert.

Euler-Knickspannungen σ_{K1} abhängig von λ siehe Tabelle Seite 57.

Die Werte für einen Stahl mit der Fließgrenze $\sigma_F = 3000 \text{ kp/cm}^2$ sind aufgenommen worden, weil derartiger Stahl nach Sondergenehmigung praktisch eingesetzt wird (z.B. St 30/45), auch wenn er noch nicht nach TGL 13 500 allgemein zugelassen ist.

Knickzahlen für einen Stahl mit $\sigma_F = 2300 \text{ kp/cm}^2$ und zul $\sigma = 1400 \text{ kp/cm}^2$ siehe DV 804/100 "Richtlinien für die Nachrechnung stählerner Eisenbahnbrücken".

Stahlbau; Stahltragwerke;
Berechnung, bauliche Durchbildung

siehe TGL 13 500

Stahlbau; Stabilitätsfälle;
Berechnung nach zulässigen Spannungen,
Erläuterungen und
zusätzliche Forderungen

siehe TGL 13 503 Bl.2

**Deutsche
Demokratische
Republik**

**Stahlbau
STABILITÄTSFÄLLE**

**Berechnung nach zulässigen Spannungen
Erläuterungen und zusätzliche Forderungen**

TGL
13 503
Blatt 2

Gruppe 135 000

**Стальные конструкции
Устойчивость
Расчет, основанный на допускаемых
напряжениях
Пояснения и дополнительные требо-
вания**

**Steel Structures
Stability Conditions
Calculation of
Permissible Stress
Explanations and additional
Requirements**

Verbindlich ab 1.4.1973

*Verändert
Tabelle 4/82*
Dieser Standard gilt nur in Verbindung mit
TGL 13 503 Bl.1.

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

Die Festlegungen zum Grenzlastfall S gelten nicht für Brücken
im Verkehrsbau.

Inhaltsverzeichnis

VE WOHNUNGSBAUKOMBINAT
„WILHELM PIECK“ KAM-STADT
Betrieb Projektierung
Karl-Marx-Stadt
Brückenstraße 8 Postschließfach 414

Erläuterungen zu Abschnitt 1.
der TGL 13 503 Bl.1

- | | Seite |
|---------------------------------|-------|
| 1.1. Grundbegriffe | 3 |
| 1.2. Einheitliche Bezeichnungen | 4 |

Erläuterungen zu Abschnitt 3.
der TGL 13 503 Bl.1

- | | |
|---|---|
| 3.1. Allgemeines | 5 |
| 3.2. Einfluß von Kraftangriff und
Querschnittsform | 5 |

Erläuterungen zu Abschnitt 6.
der TGL 13 503 Bl.1

- | | |
|--|----|
| 6.1. Grundbegriffe | 8 |
| 6.2. Übliche Voraussetzung | 8 |
| 6.3. Knicklänge der Eckstiele von
Gittermasten und Fachwerkstützen | 8 |
| 6.4. Knicklänge von Streben und Pfosten
(Knicken rechtwinklig zur Fach-
werkebene) | 11 |

Fortsetzung Seite 2 bis 80

Verantwortlich: VEB Metalleichtbaukombinat

Bestätigt: 10.7.1972, Amt für Standardisierung, Berlin

	Seite
Erläuterungen zu Abschnitt 7. der TGL 13 503 Bl.1	
7.1. Allgemeines	16
7.2. Die Knickzahlen	17
7.3. Kritische Spannungen	18
7.4. Die Knicklast N_K und die Knicksicherheitszahl ν_K	19
7.5. Biegedrillknickung planmäßig mittig gedrückter Gurtstäbe mit einfach-symmetrischen Querschnitten	28
7.6. Druckstäbe mit veränderlicher Querschnittshöhe	30
7.7. Druckstäbe mit veränderlicher Normalkraft	35
7.8. Druckstäbe mit feldweise veränderlichem Querschnitt, feldweise veränderlicher Normalkraft und federnder Querstützung	35
7.9. Tragsicherheitsnachweis planmäßig mittig gedrückter Stäbe nach der Theorie II. Ordnung	42
Erläuterungen zu Abschnitt 8.3. und 10.11. der TGL 13 503 Bl.1	
8.1. Querkraft	42
Erläuterungen zu Abschnitt 10. der TGL 13 503 Bl.1	
10.1. Biegedrillknickung planmäßig außermittig gedrückter Stäbe	45
10.2. Tragsicherheitsnachweis planmäßig außermittig gedrückter Stäbe nach der Theorie II. Ordnung	46
10.3. Querkräfte in mehrteiligen Druckstäben	46
Erläuterungen zu Abschnitt 12. der TGL 13 503 Bl.1	
12.1. Näherungsverfahren zur Knickberechnung der Druckgurte offener Brücken (Trogbriicken)	47
12.2. Genauere Knickberechnung der Druckgurte offener Brücken	51
Erläuterungen zu Abschnitt 13. der TGL 13 503 Bl.1	
13.1. Knickung symmetrischer Parabelbogen in der Bogenebene	54

	Seite
Erläuterungen zu Abschnitt 14. der TGL 13 503 Bl.1	
14.1. Knicklänge der Stiele einfeldrig-mehr- stöckiger und mehrfeldrig-einstöckiger Rechteckrahmen sowie von Rechteckrahmen mit belasteten Pendelstützen	55
14.2. Knicklänge der Stiele von Dreieckrahmen	59
Erläuterungen zu Abschnitt 15. der TGL 13 503 Bl.1	
15.1. Kippung von Trägern mit I-Querschnitt	60
Erläuterungen zu Abschnitt 17. der TGL 13 503 Bl.1	
17.1. Beulung allseitig gedrückter Bleche	66
17.2. Beulwerte für verschiedene Lagerungs- bedingungen der Längsränder	67
17.3. Beulen unter örtlicher Last	69
Erläuterungen zu Abschnitt 18. der TGL 13 503 Bl.1	
18.1. Mindeststeifigkeit von Quer- und Längssteifen, die zur Unterteilung des Stegbleches in einzelne Felder dienen	73
18.2. Beulspannung ausgesteifter Stegbleche	76
Erläuterungen zu Abschnitt 1. der TGL 13 503 Bl.1	
1.1. Grundbegriffe	
<p>Das Gleichgewicht, das in einem belasteten Tragwerk zwischen den äußeren und inneren Kräften vorhanden ist, kann stabil oder instabil sein. Es ist stabil, wenn zu jeder sehr kleinen störenden Verformung des belasteten Tragwerkes ein positiver Arbeitsbetrag aufgewandt werden muß. Diese Eigenschaft ist bei manchen Tragwerken und Belastungsarten nur unter verhältnismäßig kleinen, tief unter der Bruchgrenze liegenden Laststufen gewährleistet. Unter den höheren Laststufen gibt es hier zumindest eine Art der störenden Verformung, zu deren Verwirklichung keine positive Störungsarbeit - also keine Gewaltanwendung - erforderlich ist.</p> <p>Ist die, grundsätzlich von zweiter Ordnung kleine, Störungsarbeit zumindest bei einer dieser kleinen störenden Verformungen gleich Null, aber für keine einzige mögliche negativ, so liegt hier die Grenze vor, bei der die Eigenschaft der Stabilität verlorengeht (Stabilitätsgrenze); sie wird bei Stäben oder Stabwerken als "Knickbelastung", bei den auf Biegung beanspruchten Trägern als "Kippbelastung" und bei dünnen Blechen, Schalen oder Faltenwerken als "Beulbelastung" bezeichnet. Das Tragwerk versucht</p>	

hier, sich der Weiterführung der schon vorhandenen, unter den kleineren Laststufen aufgezwungenen Verformung durch ein Ausweichen zu entziehen.

1.2. Einheitliche Bezeichnungen

Für die Bezeichnungen in den Festigkeitsberechnungen und Zeichnungen gelten neben den einschlägigen Standards die folgenden Angaben:

P_K oder N_K	Knick-, Kipp- oder Beullast, auch Engesser'sche Knicklast genannt; es ist dies die Last an der Stabilitätsgrenze bei Erfüllung bestimmter idealisierender Voraussetzungen, z. B. ideal gerade Stabachse, ideal mittiger Kraftangriff und ideal isotroper Werkstoff
σ_K	Knick-, Kipp- oder Beulspannung, auch Engesser'sche Knickspannung genannt
T	Knickmedul, auch Engesser'scher Knickmedul genannt
ν_K	Knick- oder Kippsicherheitszahl, auch Engesser'sche Knicksicherheitszahl genannt
ν_B	Beulsicherheitszahl im unelastischen (Engesser-) Bereich
P_{K1} oder N_{K1}	ideale Knick-, Kipp- oder Beullast, auch Euler'sche Knicklast genannt; es ist dies die Last an der Stabilitätsgrenze bei zusätzlicher Voraussetzung eines Idealwerkstoffes, der unbeschrankt dem Hookeschen Formänderungsgesetz gehorcht
σ_{K1}	ideale Knick-, Kipp- oder Beulspannung, auch Euler'sche Knickspannung genannt
ν_{K1}	ideale Knick- oder Kippsicherheitszahl, auch Euler'sche Knicksicherheitszahl genannt
ν_{B1}	ideale Beulsicherheitszahl im elastischen (Euler-) Bereich
P_{Kr} oder N_{Kr}	Traglast; es ist dies die größte im Gleichgewicht getragene Last, die man bei Verzicht auf die Voraussetzung eines Hookeschen Idealwerkstoffes und auf die idealisierenden Voraussetzungen geometrischer Art erhält
σ_{Kr}	Tragspannung
ν_{Kr}	Tragsicherheitszahl
P_{Ks} oder N_{Ks}	ertragbare Last beim Nachweis nach der Theorie II. Ordnung
σ_{Ks}	kritische Spannung nach der Theorie II. Ordnung
ν_{Ks}	Sicherheitszahl nach der Theorie II. Ordnung
zul σ	zulässige Spannung nach TGL 13 500
$\sigma_0 = \frac{N}{F}$	gleichmäßig verteilte Druckspannung
zul $\sigma_c = \frac{\text{zul } \sigma}{\omega}$	zulässige Druckspannung
ω	Knickzahl
σ_F	Spannung an der Fließgrenze
a oder l	Netzlänge des Stabes
s_0	Abstand der nach Zeichnung geschätzten Mitten der Anschlüsse

i_x	Trägheitshalbmesser des Stabquerschnittes, bezogen auf die Hauptachse $x - x$
s_{Kx} oder l_{Kx}	Knicklänge des Stabes für das Ausknicken rechtwinklig zur Hauptachse $x - x$ des Stabquerschnittes
$\lambda_x = \frac{s_{Kx}}{i_x}$	Schlankheitsgrad des Stabes für das Ausknicken rechtwinklig zur Hauptachse $x - x$ des Stabquerschnittes
a	planmäßig bekannter Angriffshebel der Druckkraft
u	praktisch unvermeidbarer Angriffshebel der Druckkraft eines planmäßig mittig gedrückten Stabes
y_M	Abstand des Schubmittelpunktes vom Querschnittsschwerpunkt
e_d und e_z	Randabstand, gemessen auf der Biegedruck- oder Biegezugseite
k_d und k_z	Kernweite des Stabquerschnittes, gemessen auf der Biegedruck- oder Biegezugseite
W_d und W_z	Widerstandsmoment des unverschwächten Stabquerschnittes, bezogen auf die Biegedruck- oder Biegezugseite in cm^3
σ_{bc} und σ_{bz}	Biegedruck- oder Biegezugspannung
M	Schubmittelpunkt des Stabquerschnittes
J_D	Drillwiderstand des Stabquerschnittes in cm^4
C_M	Wölbwiderstand des Stabquerschnittes, bezogen auf den Schubmittelpunkt in cm^6
k	Kipp- oder Beulwert

Bemerkung: Alle Stabkräfte und Spannungen sind mit ihren **A b s c l u t - b e t r ä g e n**, ohne Vorzeichen, in die Formeln einzuführen.

Erläuterungen zu Abschnitt 3. der TGL 13 503 Bl.1

3.1. Allgemeines

Die **B i e g e d r i l l k n i c k u n g** als allgemeine Form der Knickung gerader Stäbe von gleichbleibendem Querschnitt ist von Bedeutung vor allem bei dünnwandigen, offenen Profilen, siehe Bild 1a. Die Verkopplung von Biegung und Verdrehung zerfällt jedoch bei speziellem Lastangriff oder besonderer Symmetrie des Querschnittes, wie in Bild 1b bis 1h für einige Sonderfälle dargestellt ist.

3.2. Einfluß von Kraftangriff und Querschnittsform

Beim außermittig gedrückten Stab mit unsymmetrischem Querschnitt nach Bild 1a fällt im allgemeinen der Drillruhepunkt (D) nicht mit dem Schubmittelpunkt (M) zusammen. Es liegt dann stets Biegedrillknickung vor. Greift aber die Last im Schubmittelpunkt an, siehe Bild 1b, dann ist sowohl reine Biegeknickung um eine Hauptachse als auch Biegedrillknickung möglich, wobei die Drillruheachse mit der Schubmittelpunktachse zusammenfällt, sofern der durch die Außermittigkeit bedingte Verformungseinfluß in der Symmetrieebene nicht berücksichtigt wird. Beim mittig gedrückten Stab mit unsymmetrischem Querschnitt, siehe Bild 1c, ist nur Biegedrillknickung möglich.

Fällt der Schubmittelpunkt mit dem Schwerpunkt zusammen, so sind je nach Lastangriff und Drillsteifigkeit alle drei Arten der Knickung möglich.

Zu dieser Gattung gehören alle punkt- oder mindestens doppelsymmetrischen Querschnitte, siehe Bild 1d und 1e, sowie als Sonderfall z. B. der Querschnitt nach Bild 1f, dessen Abmessungen so gewählt sind, daß M mit S zusammenfällt. Für einfachsymmetrische Profile, für die Schubmittelpunkt und Schwerpunkt nicht zusammenfallen, z. B. Bild 1g und 1h, ist sowohl Biegeknickung als auch Biegedrillknickung möglich, dagegen keine Drillknickung. Sie können für Lastangriff auf der Symmetrieachse nach den Abschnitten 7.5. und 10.1. berechnet werden.

Allgemeiner Fall

- S = Schwerpunkt
- M = Schubmittelpunkt
- P = Lastangriffspunkt
- D = Drillruhepunkt

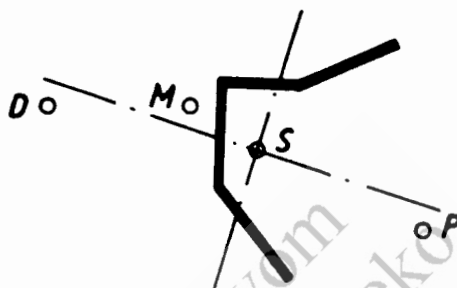


Bild 1a

Biegedrillknickung, keine Symmetrie, kein spezieller Kraftangriff

Sonderfälle des Lastangriffspunktes

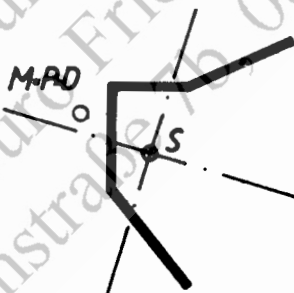


Bild 1b

Biegeknickung in Richtung einer Hauptachse, wenn $P = M$, jedoch auf der anderen Hauptachse liegend.

Biegedrillknickung um die Kraftwirkungsgerade = Schubmittelpunktachse.

Drillungsfreier "planmäßig außermittiger Druck" um beide Hauptachsen, wenn $P = M$, jedoch nicht auf einer Hauptachse liegend.

Drillungsfreier "planmäßig außermittiger Druck" um eine Hauptachse, wenn $P = M$, jedoch auf der anderen Hauptachse liegend.

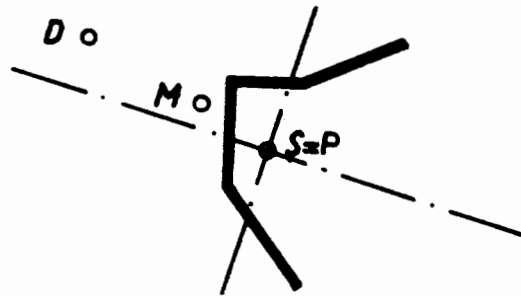


Bild 1c

Biegedrillknickung bei mittigem Druck

Sonderfälle der Querschnittsform

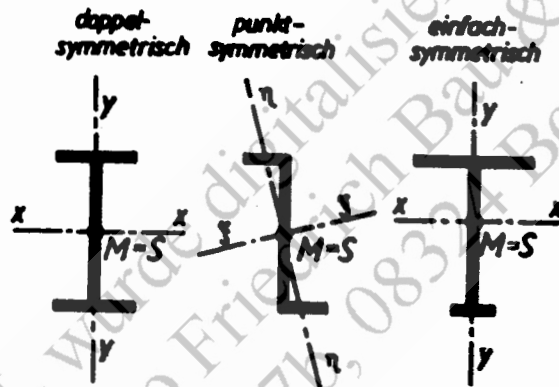


Bild 1d

Bild 1e

Bild 1f

Biegeknickung rechtwinklig zur Hauptachse $x - x$ oder $y - y$, wenn $P = S$.

Drillknickung um die Stabachse, wenn $P = S$.

Biegedrillknickung, wenn $P \neq M$.

Drillungsfreier "planmäßig außermittiger Druck" rechtwinklig zur Hauptachse $x - x$ oder $y - y$, wenn $P \neq S$, jedoch auf Hauptachse $x - x$ oder $y - y$ liegend.

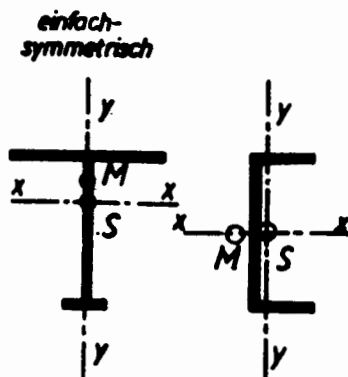


Bild 1g

Bild 1h

Biegeknickung in Richtung der Symmetrieachse, wenn $P = S$, rechtwinklig zur Symmetrieachse, wenn $P = M$.

Biegedrillknickung

Drillungsfreier "planmäßig außermittiger Druck" in Richtung der Symmetrieachse, wenn $P \neq S$, jedoch auf Symmetrieachse liegend.

Erläuterungen zu Abschnitt 6. der TGL 13 503 Bl.1

6.1. Grundbegriffe

Die Knicklänge ist die Länge jenes gedachten, bei der Seite s gelagerten Stabes, der bei gleichen Querschnittsabmessungen die gleiche ideale Knicklast wie der untersuchte Stab hat; sie stimmt daher bei Stäben, die an beiden Enden gelenkig gelagert sind, mit der Netzlänge (s) überein. Beispielsweise gilt für Stäbe von unveränderlichem Querschnitt, die an dem einen Ende gelenkig gelagert und an dem anderen Ende fest eingespannt sind, $s_K = 0,699 \cdot s \approx 0,7 \cdot s$, ferner bei Stäben, die an den Enden fest eingespannt sind, $s_K = 0,5 \cdot s$ und schließlich bei Stäben, die an dem einen Ende fest eingespannt und am anderen Ende frei sind, $s_K = 2 \cdot s$.

6.2. Übliche Voraussetzung

Bei der Berechnung von s_K wird in der Regel vorausgesetzt, daß die am Stab angreifende Kraft ihre Richtung während des Ausknickens des Stabes unverändert beibehält. Trifft diese Voraussetzung ausnahmsweise nicht zu, so ist dies bei der Berechnung von s_K zu berücksichtigen.

Wird beispielsweise bei der in Bild 2a bis 2d dargestellten Stütze von unveränderlichem Querschnitt die Wirkungsgerade der am Stab angreifenden Kraft durch konstruktive Maßnahmen gezwungen, immer - also auch während des Ausknickens der Stütze - durch den Punkt A, im Abstand $a = s / \alpha$ vom freien Stabende, zu gehen, so ist die Knicklänge (s_K) aus der Gleichung

$$\tan \frac{\pi \cdot s}{s_K} - \left(1 + \frac{1}{\alpha}\right) \cdot \frac{\pi \cdot s}{s_K} = 0$$

zu berechnen. Für positive Werte α , siehe Bild 2a und 2b, wird $s_K > 2 \cdot s$ und für negative Werte α , siehe Bild 2c, wird $s_K < 2 \cdot s$; in den Sonderfällen $\alpha = 0$, siehe Bild 2d, $\alpha = -1$ und $\alpha = -\infty$ erhält man die in Abschnitt 6.1. angegebenen Knicklängen $s_K = 2 \cdot s$, $s_K = s$ und $s_K \approx 0,7 \cdot s$.

6.3. Knicklänge der Eckstiele von Gittermasten und Fachwerkstützen

6.3.1. Ist der Stab ein aus gleichschenkligen Winkelstählen gebildeter, in zwei verschiedenen Fachwerkebenen gestützter Eckstiel eines vierwandigen, überwiegend auf Biegung beanspruchten Gittermastes, siehe Bild 3a, so gelten diejenigen wirksamen Knicklängen s_K , die in Bild 3b bis 3e für verschiedene Ausfachungsarten und Querschnittsausbildungen angegeben sind. Dabei ist vorausgesetzt, daß bei Ausfachungen nach Bild 3b und 3c die Eckstielkraft in den Halbfeldern von unten nach oben je um mindestens 10 % des größten, im obersten Halbfeld wirkenden Wertes abnimmt.

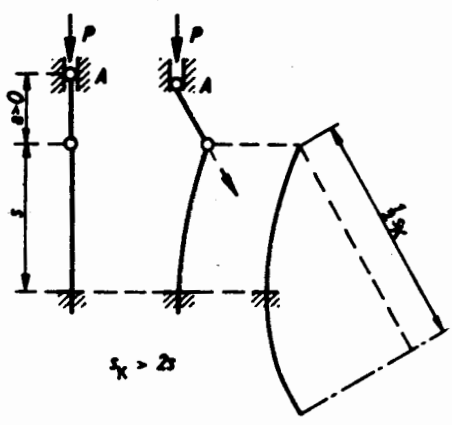


Bild 2a

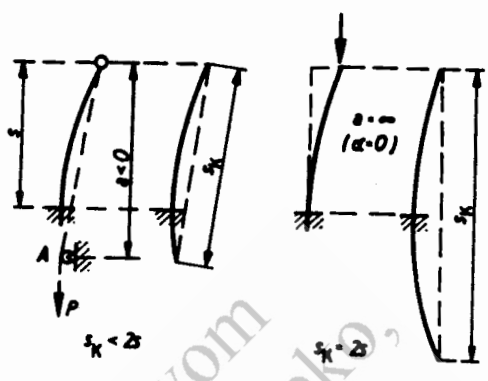


Bild 2b

Bild 2c

Bild 2d

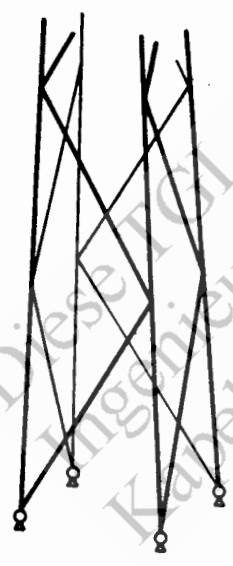


Bild 3a

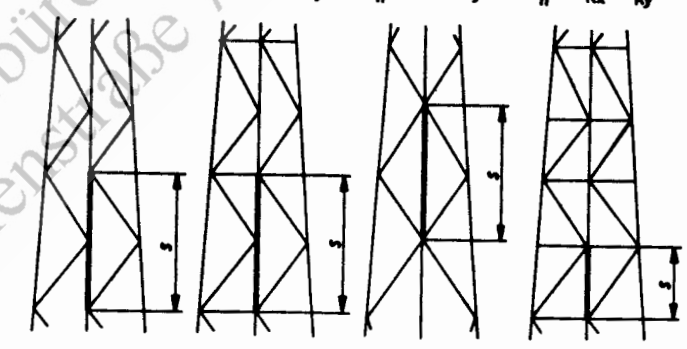


Bild 3b

Bild 3c

Bild 3d

Bild 3e

$L \quad s_k = 0,7s$	$L \quad s_k = 0,6s$	$L \quad s_k = s$	$L \quad s_k = s$
$\perp \quad s_k = 0,85s$	$\perp \quad s_k = 0,8s$	$\perp \quad s_k = s$	$\perp \quad s_k = s$
$\parallel \quad s_{kx} = s_{ky} = s$	$\parallel \quad s_{kx} = s, s_{ky} = 0,8s$	$\parallel \quad s_{kx} = s_{ky} = s$	$\parallel \quad s_{kx} = s_{ky} = s$
$\equiv \quad s_{kx} = s_{ky} = s$	$\equiv \quad s_{kx} = s, s_{ky} = 0,8s$	$\equiv \quad s_{kx} = s_{ky} = s$	$\equiv \quad s_{kx} = s_{ky} = s$

Für die Stabkraft ist dieser größte Wert und für den Schlankheitsgrad (λ) nach Abschnitt 7. der TGL 13 503 Bl.1 ist in allen Fällen $\lambda = s_K / i_{\min}$ einzuführen, wobei i_{\min} der kleinste Trägheitshalbmesser des Eckstielquerschnittes ist.

Bei Gittermasten von Starkstromfreileitungen darf, wenn die Eckstiele nur aus einem gleichschenkligen Winkelstahl bestehen, für die Ausfachungsart nach Bild 3b und 3c und unter Zugrundelegung einer Knicklänge $s_K = s$ die Schlankheit mit dem Trägheitshalbmesser ermittelt werden, der sich auf die zum Winkelschenkel parallele Achse bezieht.

6.3.2. Ist der Stab ein aus gleichschenkligen Winkelstählen gebildeter, in zwei verschiedenen Fachwerkebenen gestützter Eckstiel eines vierwandigen, überwiegend auf axialen Druck beanspruchten **F a c h w e r k t u r m e s**, eines Joches oder einer Gitterstütze, siehe Bild 4a, so gelten diejenigen wirksamen Knicklängen (s_K), die in Bild 4b bis 4e für verschiedene Ausfachungsarten und Querschnittsausbildungen angegeben sind. Dabei ist vorausgesetzt, daß bei Ausfachungen nach Bild 4b und 4c die Eckstielkraft in den Halbfeldern von unten nach oben je um weniger als 10 % des größten, im obersten Halbfeld wirkenden Wertes abnimmt. Für die Stabkraft ist dieser größte Wert und für den Schlankheitsgrad (λ) nach Abschnitt 7. der TGL 13 503 Bl.1 ist in allen Fällen $\lambda = s_K / i_{\min}$ einzuführen, wobei i_{\min} der kleinste Trägheitshalbmesser des Eckstielquerschnittes ist.

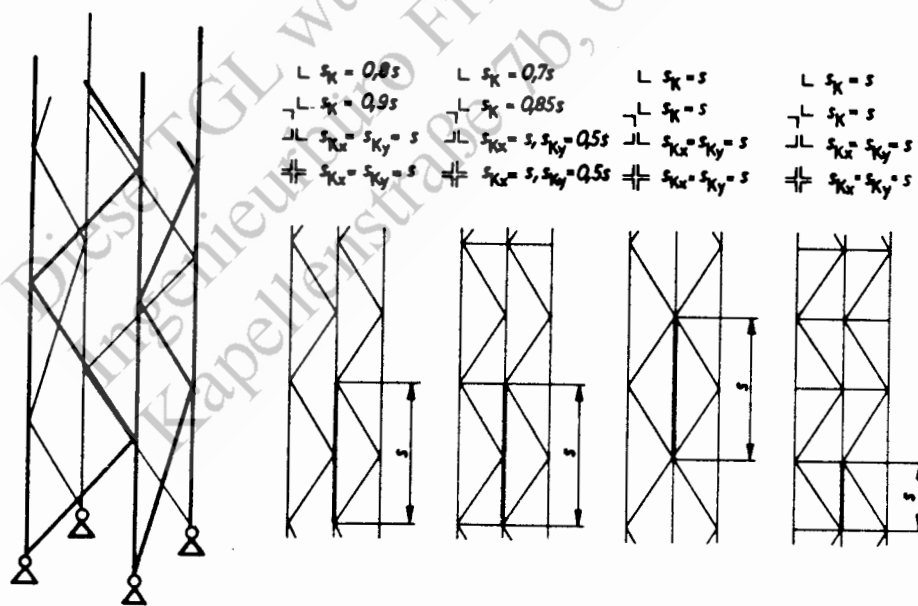


Bild 4a

Bild 4b

Bild 4c

Bild 4d

Bild 4e

$L \quad s_K = 0,8s$	$L \quad s_K = 0,7s$	$L \quad s_K = s$	$L \quad s_K = s$
$\perp \quad s_K = 0,9s$	$\perp \quad s_K = 0,85s$	$\perp \quad s_K = s$	$\perp \quad s_K = s$
$\text{ } \quad s_{Kx} = s_{Ky} = s$	$\text{ } \quad s_{Kx} = s, s_{Ky} = 0,5s$	$\text{ } \quad s_{Kx} = s_{Ky} = s$	$\text{ } \quad s_{Kx} = s_{Ky} = s$
$\text{ } \quad s_{Kx} = s_{Ky} = s$	$\text{ } \quad s_{Kx} = s, s_{Ky} = 0,5s$	$\text{ } \quad s_{Kx} = s_{Ky} = s$	$\text{ } \quad s_{Kx} = s_{Ky} = s$

6.3.3. Wird der Eckstiel eines Gittermastes oder einer Fachwerkstütze aus zwei oder vier nebeneinanderliegenden Winkelstählen gebildet (JL - oder \equiv -Querschnitt) und liegen die Winkelschenkel parallel zu den Fachwerkebenen, so ist er auf Knickung in jeder der beiden Fachwerkebenen zu untersuchen. Für den Schlankheitsgrad (λ) nach Abschnitt 7. der TGL 13 503 Bl.1 ist der größere der beiden Werte $\lambda_x = s_{Kx} / i_x$ und $\lambda_y = s_{Ky} / i_y$ einzuführen.

6.3.4. Bei der Berechnung der größten Stabkraft des Eckstieles ist sowohl die axiale Druckkraft als auch das Biegemoment des Gittermastes oder der Fachwerkstütze zu berücksichtigen. Mit dieser größten Stabkraft und den in Abschnitt 6.3.1., 6.3.2. und 6.3.3. angegebenen Schlankheitsgraden ist der in Abschnitt 7. der TGL 13 503 Bl.1 geforderte Nachweis zu erbringen. Bei Fachwerkstützen sind außerdem noch die in der TGL 13 503 Bl.1, Abschnitt 8.2.3.1. und 8.2.3.2., angegebenen Bestimmungen für die mit der axialen Druckkraft belastete ganze Fachwerkstütze zu beachten.

6.4. Knicklänge von Streben und Pfosten (Knicken rechtwinklig zur Fachwerkebene)

6.4.1. Wird der Stab mit der Druckkraft (N) und der Netz-Länge (s) in seiner Mitte von einem Zugstab mit der Stabkraft N_z und der Länge s_z gekreuzt, siehe Bild 5a, und können sich die Stabenden rechtwinklig zur gemeinsamen Stabebene (Fachwerkebene) nicht verschieben, so muß für die Untersuchung

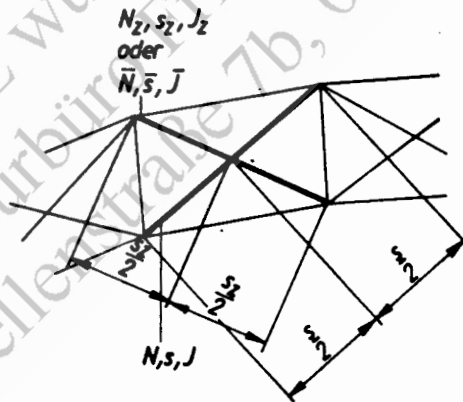


Bild 5a

auf Knicken aus der Fachwerkebene heraus die rechnerische Knicklänge s_k des Druckstabes bekannt sein. Sie darf niemals kleiner als $0,5 \cdot s$ sein. An der Kreuzungsstelle ist zu unterscheiden, ob beide Stäbe mit vollem Trägheitsmoment durchgeführt werden oder ob dies nur für einen zutrifft, während der andere als gelenkig an die Kreuzungsstelle angeschlossen gilt. Unabhängig davon müssen beide Stäbe an der Kreuzungsstelle unmittelbar oder über ein Knotenblech in ausreichendem Maße verbunden sein. Hierzu sind durchgehende Stäbe mit mindestens einem Viertel der zum Anschluß des ge-

drückten Stabes erforderlichen Niete oder mit einer nach den Vorschriften gleichwertigen Schweißverbindung an die Kreuzungsstelle anzuschließen. Bei Gittermasten von Starkstromfreileitungen dürfen für die Verbindung gekreuzter Diagonalen ausnahmsweise auch Schrauben verwendet werden, deren Muttern besonders, z. B. durch Federringe, gesichert sein müssen.

6.4.2. Sind beide Stäbe an der Kreuzungsstelle mit ihrem vollen Trägheitsmoment durchgeführt; siehe Bild 5b, so gilt für die rechnerische Knicklänge des zu bemessenden Druckstabes:

$$s_K = s \sqrt{1 - \frac{N_z \cdot s}{N \cdot s_z} \left(0,75 + \frac{\pi^2 EJ_z}{s_z^2 \cdot \nu_K \cdot N_z} \right)}$$

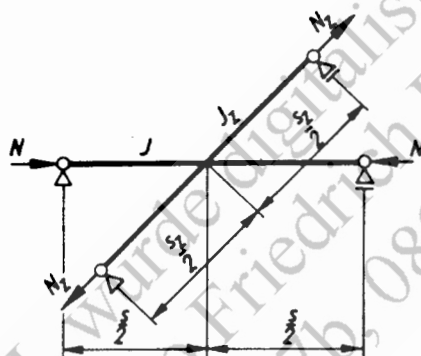


Bild 5b

Jedoch darf die Knicklänge nicht kleiner sein als $s_K = 0,5 \cdot s$, auch wenn die vorstehende Formel einen kleineren Wert liefert.

6.4.3. Wirkt an Stelle der aussteifenden Zugkraft N_z eine Druckkraft \bar{N} , siehe Bild 5c, so ist die wirksame Knicklänge größer und beträgt:

$$s_K = s \sqrt{1 + \frac{\bar{N} \cdot s}{N \cdot \bar{s}} \left(1 - \frac{\pi^2 \times EJ}{\bar{s}^2 \cdot \nu_K \cdot \bar{N}} \right)}$$

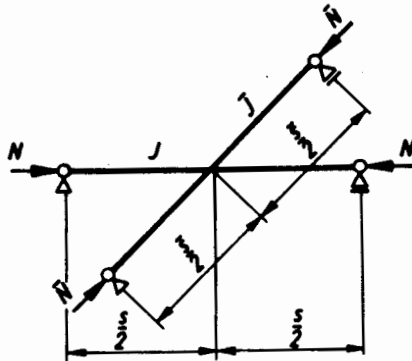


Bild 5c

Jedoch darf die Kniclänge nicht kleiner sein als $s_K = 0,5 \cdot s$, wenn die voranstehende Formel einen kleineren Wert liefert.

Auch der Stab \bar{N} darf mit keiner kleineren Kniclänge als $\bar{s}_K = 0,5 \cdot \bar{s}$ bemessen werden. Der Abminderungsbeiwert χ bei Knickung im plastischen Bereich ist für $\lambda = \bar{s}/\bar{i}$ den Tabellen 1 im Abschnitt 7.4.2. zu entnehmen.

6.4.4. Ist der aussteifende Zugstab an der Kreuzungsstelle gelenkig angeschlossen, während der Druckstab durchgeführt ist, siehe Bild 5d, so folgt für die Kniclänge des Druckstabes:

$$s_K = s \sqrt{1 - 0,75 \frac{N_Z \cdot s}{N \cdot s_Z}}$$

jedoch nicht weniger als $s_K = 0,5 \cdot s$.

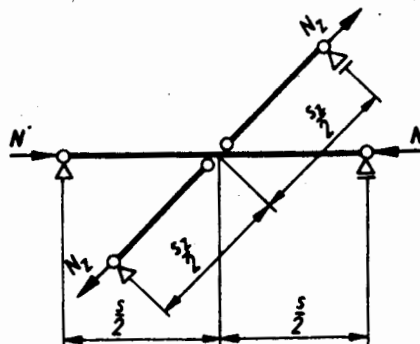


Bild 5d

6.4.5. Wird der Druckstab an der Kreuzungsstelle gelenkig angeschlossen, während der Zugstab durchläuft, siehe Bild 5e, und ist

$$\frac{N_z \cdot s}{N \cdot s_z} \cong 1,$$

so darf der Druckstab mit $s_K = 0,5 \cdot s$ bemessen werden. Ist dagegen

$$\frac{N_z \cdot s}{N \cdot s_z} < 1,$$

so gilt $s_K = 0,5 \cdot s$ nur dann, wenn zusätzlich nachgewiesen ist, daß die Biegesteifigkeit des durchlaufenden Zugstabes bei Ausbiegung rechtwinklig zur Fachwerkebene den Forderungen genügt:

$$EJ_z \cong \nu_K \cdot \frac{N \cdot s_z^3}{12 \cdot s} \left(1 - \frac{N_z \cdot s}{N \cdot s_z} \right)$$

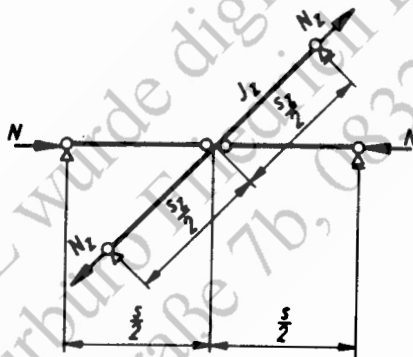


Bild 5e

Für ν_K ist diejenige Knicksicherheit einzusetzen, die der Schlankheit des Druckstabes N entspricht. Sie kann den Tabellen 1 entnommen werden.

6.4.6. Sind beide Stäbe auf Druck beansprucht, siehe Bild 5f, so darf für den an der Kreuzungsstelle gelenkig angeschlossenen Druckstab N die Knicklänge $s_K = 0,5 \cdot s$ eingesetzt werden, wenn zusätzlich nachgewiesen ist, daß die Biegesteifigkeit des durchlaufenden Stabes \bar{N} bei Ausbiegung rechtwinklig zur Fachwerkebene der Forderung genügt:

$$E\bar{J} \cong \nu_K \cdot \frac{N \cdot s^3}{12 \cdot s} \left(1 + 1,21 \frac{\bar{N} \cdot s}{N \cdot \bar{s}} \right)$$

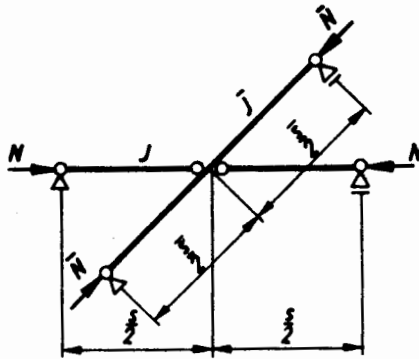


Bild 5f

Mit $\nu_K = 2,0$ ist der durchlaufende Druckstab ausreichend sicher bemessen. Wird aber eine Knicksicherheit $\nu_K < 2,0$ gewählt, so ist zusätzlich noch der nach Abschnitt 7.1. der TGL 13 503 Bl.1 geforderte Nachweis mit der Knicklänge des durchlaufenden Druckstabes

$$\bar{s}_K = \frac{\bar{s}}{\sqrt{1 - \frac{\nu_K \cdot N \cdot \bar{s}^3}{12 E \bar{J} \cdot s}}}$$

zu erbringen.

6.4.7. Ist der Stab an beiden Enden unverschieblich festgehalten, wirken jedoch in den beiden Hälften der Stablänge verschieden große Druckkräfte N_1 und $N_2 < N_1$, siehe Bild 5g, so ist der Stab bei der Untersuchung auf Knicken

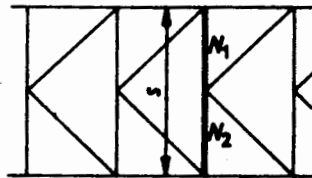


Bild 5g

rechtwinklig zur Fachwerkebene für die Druckkraft N_1 und die Knicklänge

$$s_K = s \cdot \left(0,75 + 0,25 \cdot \frac{N_2}{N_1} \right)$$

zu berechnen. Ist N_2 eine Zugkraft, so ist in dieser Formel das Pluszeichen durch ein Minuszeichen zu ersetzen, doch darf s_k nicht kleiner sein als 0,5-s.

6.4.8. Bei Gittermasten von Starkstromfreileitungen darf für die Bemessung von Diagonalen eine Knicklänge von $s_k = 0,9-s$ angenommen werden.

6.4.9. Besteht der Stab aus einem einzelnen Winkelstahl und wird die Außermittigkeit des Kraftangriffes bei der Bemessung nicht berücksichtigt, siehe Abschnitt 10.8. der TGL 13 503 Bl.1, so ist für den Schlankheitsgrad das Verhältnis der nach Abschnitt 6.4.2. bis 6.4.8. bestimmten Knicklängen zum kleinsten Trägheitshalbmesser i_{\min} des Winkelquerschnittes einzuführen.

Erläuterungen zu Abschnitt 7. der TGL 13 503 Bl.1

7.1. Allgemeines

7.1.1. Das Tragverhalten planmäßig mittig gedrückter Stäbe kann durch verschiedene Ausweicherscheinungen, siehe Abschnitt 1.1., gekennzeichnet sein. Zu diesen Ausweicherscheinungen gehört die Biegeknickung, die Drillknickung, die Biegedrillknickung und das Ausbeulen dünnwandiger Teile, siehe Abschnitt 1.1. und 3. sowie Abschnitt 16. der TGL 13 503 Bl.1.

7.1.2. Bei den planmäßig mittig gedrückten Stäben und bei den planmäßig nur durch Axialkräfte beanspruchten Stabwerken, siehe Abschnitt 10.9. der TGL 13 503 Bl.1, die der B i e g e k n i c k u n g unterliegen, sind je nach den Voraussetzungen, die der Rechnung zugrunde gelegt werden, drei verschiedene stabilitäts-theoretische Sonderwerte der Druckkraft zu unterscheiden:

Die ideale (E u l e r'sche) Knicklast (P_{K1}), die an die Voraussetzung eines unbeschränkt gültigen H o o k e'schen Formänderungsgesetzes sowie an weitere idealisierende Voraussetzungen, ideal gerade Stabachse, ideal mittiger Kraftangriff, ideal isotroper Werkstoff, gebunden ist. Dann die gewöhnliche (E n g e l e r'sche) Knicklast (P_K), bei deren Bestimmung auf die Annahme eines u n b e s c h r ä n k t gültigen H o o k e'schen Formänderungsgesetzes verzichtet wird, die aber nach wie vor an die übrigen idealisierenden Voraussetzungen, ideal gerade Stabachse, ideal mittiger Kraftangriff, ideal isotroper Werkstoff, gebunden ist. Schließlich die Traglast (P_{Kr}), bei deren Berechnung zusätzlich auch auf die idealisierenden Voraussetzungen geometrischer Art, ideal gerade Stabachse, ideal mittiger Kraftangriff, verzichtet wird. Die Schwierigkeit der theoretischen Bestimmung und der Umfang der erforderlichen Rechenarbeit wächst in der genannten Reihenfolge; demgemäß steht im Stahlbau nur in einfacheren Fällen die Traglast, in der Regel die gewöhnliche Knicklast und in schwierigeren Fällen die ideale Knicklast als Bemessungsgrundlage zur Verfügung.

Die Traglast (P_{Kr}) darf ersetzt werden durch die ertragbare Last (P_{Ks}), die sich nach der Theorie II. Ordnung unter Annahme einer ungewollten Außermittigkeit (u) ergibt. Als Kriterium für die ertragbare Last wird das Erreichen der Fließgrenze an einem Rand des Querschnittes angesehen.

7.1.3. Wird bei der Bemessung eines planmäßig mittig gedrückten Stabes oder eines planmäßig biegemomentenfrei beanspruchten Stabwerkes von der Traglast P_{Kr} oder P_{Ks} ausgegangen, so ist der Nachweis $P \leq P_{Kr} / \nu_{Kr}$ oder $P \leq P_{Ks} / \nu_{Ks}$ zu erbringen, wobei P die größte einwirkende Last ist.

Wird von der gewöhnlichen Knicklast (P_K) oder von der idealen Knicklast (P_{K1}) ausgegangen, so ist der Nachweis $P \leq P_K / \nu_K$ oder $P \leq P_{K1} / \nu_{K1}$ zu erbringen.

7.1.4. Die Sicherheitszahlen ν_{Kr} , ν_{Ks} , ν_K und ν_{K1} sind innerhalb der Grenzen, die durch die Sicherheit und Wirtschaftlichkeit sowie durch die praktische Erfahrung und die wissenschaftlichen Erkenntnisse gezogen werden, umso größer festzusetzen, je mehr sich die der Rechnung zugrunde liegenden idealisierenden und vereinfachenden Annahmen von der Wirklichkeit entfernen können. Für die Tragsicherheitszahl und die Sicherheitszahl beim Nachweis nach der Theorie II. Ordnung ist in der Regel, wenn die größtmöglichen "praktisch unvermeidbaren" Außermittigkeiten des Kraftangriffes berücksichtigt werden,

$$\text{im Grenzlastfall H} \quad \nu_{Kr} = \nu_{Ks} = \nu = 1,50$$

$$\text{im Grenzlastfall HZ} \quad \nu_{Kr} = \nu_{Ks} = \nu = 1,33$$

$$\text{im Grenzlastfall S} \quad \nu_{Kr} = \nu_{Ks} = \nu = 1,20$$

zu wählen.

Die Knicksicherheitszahl ν_K hängt von der unter P_K auftretenden größten Druckspannung ab; bei schlanken Stäben und Stabwerken, deren Knicklast so klein ist, daß unter ihrer Einwirkung die Proportionalitätsgrenze (σ_p) des Baustahls nicht überschritten wird, stimmt P_K mit der idealen Knicklast (P_{K1}) und daher ν_K mit der idealen Knicksicherheitszahl ν_{K1} überein. Die ideale Knicksicherheitszahl darf nicht kleiner sein als

	allgemein	Brücken im Verkehrsbau
im Grenzlastfall H	$\nu_{K1} = 2,00$	2,50
im Grenzlastfall HZ	$\nu_{K1} = 1,78$	2,22
im Grenzlastfall S	$\nu_{K1} = 1,60$	

angenommen werden.

Da diese Werte erheblich größer sind als die Sicherheitszahlen ν_{Kr} bzw. ν_{Ks} , kann die Forderung $P \leq P_{K1} / \nu_{K1}$ bei schlanken Stäben und Stabwerken zu einer kleineren zulässigen Last führen als die Forderung $P \leq P_{Kr} / \nu_{Kr}$ bzw. $P \leq P_{Ks} / \nu_{Ks}$. Daher muß, wenn von P_{Kr} oder P_{Ks} ausgegangen wird, stets der Doppelnachweis

$$P \leq P_{Kr} / \nu_{Kr} \quad \text{bzw.} \quad P \leq P_{Ks} / \nu_{Ks}$$

$$\text{und} \quad P \leq P_{K1} / \nu_{K1}$$

erbracht werden.

7.2. Die Knickzahlen

Viele Knickprobleme lassen sich nach Einführung der Knicklänge (s_K), siehe Abschnitt 6, sowie Abschnitt 6, der TGL 13 503 Bl.1, auf die Bestimmung der Knicklast eines an beiden Enden gelenkig gelagerten, planmäßig mittig gedrückten, geraden Stabes von gleichbleibendem Querschnitt und gleichbleibender Normalkraft (der "Stabkraft N ") zurückführen. Damit wird die Knickberechnung der Stäbe für diesen Normalfall einheitlich festgelegt, siehe Abschnitt 7, der TGL 13 503 Bl.1.

An Stelle der im Abschnitt 7.1.3. angegebenen Nachweise kann hier wegen der Unveränderlichkeit der Querschnittsfläche und der Normalkraft einfach

$$\sigma_c = \frac{N}{F} \leq \text{zul } \sigma_c$$

gefordert werden. Um bei der Vorschreibung der Werte $\text{zul } \sigma_c$ keine besonderen Tabellen für die Grenzlastfälle H, HZ und S aufstellen zu müssen,

wird die Forderung $\sigma_c \leq \text{zul } \sigma_c$ in der Form $\sigma_c \leq \text{zul } \sigma / \omega$ geschrieben, wobei $\text{zul } \sigma$ die dem untersuchten Grenzlastfall und der gewählten Stahlmarke zugeordnete zulässige Spannung nach TGL 13 500 bzw. DV 804 und $\omega = \text{zul } \sigma / \text{zul } \sigma_c$ die Knickzahl ist. Die Knickzahlen hängen von der Stahlmarke und dem Schlankheitsgrad (λ) des Stabes sowie von dessen Querschnittsform, den Eigenspannungen und vom Anwendungsgebiet ab und sind in den Tabellen 1 bis 4 der TGL 13 503 Bl.1 angegeben.

7.3. Kritische Spannungen

Um die zulässigen Druckspannungen ($\text{zul } \sigma_c$) und damit auch die Knickzahlen (ω) an eine möglichst einfache Gesetzmäßigkeit zu binden, ist der in Abschnitt 7.1.4. angeführte Doppelnachweis

$$\sigma_c \leq \sigma_{Ks} / \nu_{Ks} \quad \text{und} \quad \sigma_c \leq \sigma_{K1} / \nu_{K1}$$

maßgebend.

Die ideale Knickspannung ist

$$\sigma_{K1} = \frac{\pi^2 \cdot E}{\lambda^2} \quad \text{mit} \quad E = 2\,100\,000 \text{ kp/cm}^2.$$

Der ertragbaren Spannung nach der Theorie II. Ordnung σ_{Ks} liegt folgende Annahme zugrunde:

Der Druckstab ist an den Enden gelenkig gelagert. Der Angriffspunkt der Druckkraft liegt auf der Symmetrieachse des Querschnittes im Abstand u vom Schwerpunkt. Die Größe u stellt den planmäßig nicht vorgesehenen, praktisch jedoch unvermeidbaren Angriffshebel der Druckkraft dar. Sie wird willkürlich angenommen zu

$$u = \mu_0 \cdot \frac{W}{P} = \mu_0 \cdot \frac{I^2}{\max e_d} \quad \text{oder} \quad \mu_0 \cdot \frac{I^2}{\max e_z}$$

Die ungewollte bezogene Außermitteigkeit μ_0 ist im Abschnitt 10.1. der TGL 13 503 Bl.1 angegeben. Durch die unterschiedliche Annahme von μ_0 wird das Tragverhalten des Stabes unter Berücksichtigung von Querschnittsform und Eigenspannungen erfaßt.

Nach der Theorie II. Ordnung muß

$$\frac{\nu P}{F} + \frac{\nu M}{W_d} \cdot \frac{P_{K1} + \delta \cdot \nu P}{P_{K1} - \nu P} \leq \sigma_F \quad \text{sein.}$$

Der Faktor δ ist von der Form der Momentenfläche abhängig und im Abschnitt 10.4. der TGL 13 503 Bl.1 angegeben.

Die ungewollte Außermitteigkeit ist als beidseitige Exzentrizität mit dem Faktor $\delta = +0,273$ anzusetzen.

Mit $M = P \cdot u$ bzw. $\frac{M}{W_d} = \sigma_{bc} = \frac{P}{F} \cdot u \cdot \frac{F}{W_d} = \sigma_c u_0$ wird

$$\nu \sigma_c + \nu \sigma_c \mu_0 \cdot \frac{\sigma_{K1} + \delta \cdot \nu \sigma_c}{\sigma_{K1} - \nu \sigma_c} \leq \sigma_F$$

Die kritische Spannung $\nu \sigma_c = \sigma_{Ks}$ wird erreicht, wenn an der Randfaser des Querschnittes die Fließgrenze erreicht wird:

$$\sigma_{Ks} \left(1 + \mu_0 \frac{\sigma_{K1} + \delta \cdot \sigma_{Ks}}{\sigma_{K1} - \sigma_{Ks}} \right) = \sigma_F$$

Daraus folgt

$$\sigma_{Ks} = \frac{(1 + \mu_0) \sigma_{K1} + \sigma_F}{2(1 - \delta \mu_0)} - \sqrt{\left[\frac{(1 + \mu_0) \sigma_{K1} + \sigma_F}{2(1 - \delta \mu_0)} \right]^2 - \frac{\sigma_{K1} \sigma_F}{1 - \delta \mu_0}}$$

Die Gleichung

$$\frac{\nu P}{F} + \frac{\nu M}{W_d} \cdot \frac{P_{K1} + \delta \cdot \nu P}{P_{K1} - \nu P} \cong \sigma_F$$

darf mit der "Vergrößerungsfunktion"

$$f = \frac{P_{K1} + \delta \cdot \nu P}{P_{K1} - \nu P} = \frac{\sigma_{K1} / (\nu \sigma_c) + \delta}{\sigma_{K1} / (\nu \sigma_c) - 1} = 1 + \frac{1 + \delta}{\sigma_{K1} / (\nu \sigma_c) - 1}$$

auch in der Form

$$\frac{P}{F} + \frac{M}{W_d} \cdot f = \sigma_c + \sigma_{bc} \cdot f \cong \sigma_F / \nu = \text{zul } \sigma$$

geschrieben werden.

σ_{bc} besteht dabei aus dem Anteil $\mu_0 \sigma_c$.

Der Faktor δ ist der Momentenfläche entsprechend anzunehmen, siehe oben.

7.4. Die Knicklast N_K und die Knicksicherheitszahl ν_K

7.4.1. Wird bei der Bestimmung der Knickspannung auf die Voraussetzung eines unbeschränkt geltenden Hookeschen Formänderungsgesetzes verzichtet und an Stelle dieses Gesetzes - unter Beibehaltung aller übrigen idealisierenden Voraussetzungen - die Spannungs-Dehnungs-Linie des Baustahls zugrunde gelegt, so erhält man an Stelle der Eulerschen Knickspannung (σ_{K1}) die vom Knickmodul T abhängige **E n g e s e r** sche Knickspannung

$$\sigma_K = \frac{\pi^2 \cdot T}{\lambda^2}$$

Bedeutet σ_P die Proportionalitäts- und Elastizitätsgrenze des Baustahls, so gilt im Bereich $\sigma_K \leq \sigma_P$, dem "elastischen" Bereich, $T = E$ und daher $\sigma_K = \sigma_{K1}$, während im "unelastischen" Bereich $\sigma_P < \sigma_K \leq \sigma_F$ der Knickmodul (T) kleiner als der Elastizitätsmodul (E) und daher die Knickspannung σ_K **k l e i n e r** ist als die Knickspannung σ_{K1} .

Teilt man σ_K durch die Knicksicherheitszahl ν_K , so erhält man die zulässige Druckspannung $\text{zul } \sigma_c$. Da die aus Abschnitt 7. der TGL 13 503 Bl.1 abgeleiteten Werte $\text{zul } \sigma_c = \text{zul } \sigma / \omega$ als verbindlich anzusehen sind, muß ν_K durch die Beziehung

$$\nu_K = \omega \cdot \frac{\sigma_K}{\text{zul } \sigma}$$

an diese Festlegungen gebunden werden; hierbei ist ω die dem Schlank-

heitsgrad (λ) zugeordnete Knickzahl und zur σ die dem untersuchten Belastungsfall entsprechende zulässige Spannung. Praktisch kommen im allgemeinen nur die Knickzahlen ω nach den Tabellen 2 oder 4 der TGL 13 503 Bl.1 in Betracht.

7.4.2. Bei Stabilitätsuntersuchungen werden oft Abminderungszahlen $x = T / E$ verwendet, siehe Abschnitt 17.1. sowie Abschnitt 17.3. der TGL 13 503 Bl.1. Um eine gemeinsame Grundlage zu ihrer Festsetzung zu finden, legt man der Berechnung der Knickspannung σ_K für alle Stahlmarken die Proportionalitätsgrenze $\sigma_P = 0,8 \sigma_F$ zugrunde und wählt das Druckspannungs-Stauchungsgesetz ($\sigma - \epsilon$ - Gesetz) siehe Bild 6:

$$\frac{\sigma - \sigma_P}{\sigma_F - \sigma_P} = \tanh \frac{\epsilon \cdot E - \sigma_P}{\sigma_F - \sigma_P}$$

oder in expliziter Form:

$$\sigma = \sigma_F \left(0,8 + 0,2 \tanh \frac{\epsilon \cdot E - \sigma_P}{\sigma_F - \sigma_P} \right)$$

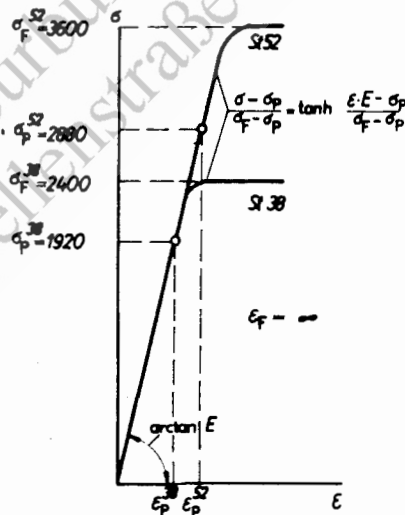


Bild 6

Damit ist sowohl den Versuchswerten als auch den Übergangsbedingungen weitgehend entsprechen. In diesen Formeln ist

$$\varepsilon \cong \frac{0,8 \sigma_F}{E}. \quad \text{Für } \varepsilon = \frac{0,8 \sigma_F}{E} \quad \text{ergibt sich } \sigma = 0,8 \sigma_F,$$

und für $\varepsilon = \infty$ beträgt $\sigma = \sigma_F$. Für $E = 2\,100\,000 \text{ kp/cm}^2$ und für σ_F sind die Normwerte einzusetzen. Dem Spannungswert σ_K sind zugeordnet der "Belastungsmodul"

$$E_1 = \frac{d\sigma}{d\varepsilon},$$

der "Entlastungsmodul" $E_2 = E$ und bei Annahme einer rechteckigen Querschnittsform der "Knickmodul"

$$T = \frac{4 E_1 \cdot E}{(\sqrt{E_1} + \sqrt{E})^2}$$

Aus dem $\sigma - \varepsilon$ -Gesetz erhält man:

$$E_1 = E \cdot \left[1 - \left(\frac{\sigma - \sigma_F}{\sigma_F - \sigma_P} \right)^2 \right]$$

Die Grenze zwischen dem elastischen und dem unelastischen Bereich liegt beim St 38 bei $\lambda = 103,898$ und beim St 52 bei $\lambda = 84,833$. Diese Werte ergeben sich aus der Eulerformel

$$\sigma_{K1} = \frac{\pi^2 \cdot E}{\lambda^2} \quad \text{für } \sigma_{K1} = 0,8 \sigma_F$$

Das Verhältnis $\frac{1}{x}$ ist festgelegt mit

$$\frac{1}{x} = \frac{E}{T} = \frac{(\sqrt{E_1} + \sqrt{E})^2}{4 \cdot E_1} = \left(\frac{1}{2} + \frac{1}{2} \sqrt{\frac{E}{E_1}} \right)^2$$

Mit dem obigen Ausdruck für E_1 und unter Berücksichtigung dessen, daß

$$\frac{1}{x} = \frac{\sigma_{K1}}{\sigma_K}$$

ist, erhält man

$$\frac{1}{x} = \frac{\sigma_{K1}}{\sigma_K} = \left[0,5 + \frac{0,5 (\sigma_F - \sigma_P)}{\sqrt{(\sigma_F - \sigma_P)^2 - (\sigma_K - \sigma_P)^2}} \right]^2$$

Für den beiderseits einspannungsfrei gelagerten Druckstab (Normalfall) gilt

$$\sigma_K = x \cdot \sigma_{K1} = x \frac{\pi^2 \cdot E}{\lambda^2}$$

Nach Einsetzen von x ergibt sich dann für das $\nu_K - \lambda$ - Diagramm

$$\frac{1}{\lambda} = \frac{1}{\pi} \sqrt{\frac{\sigma_K}{E}} \left[0,5 + \frac{0,5 (\sigma_F - \sigma_P)}{\sqrt{(\sigma_F - \sigma_P)^2 - (\sigma_K - \sigma_P)^2}} \right]$$

und mit $\sigma_P = 0,8 \sigma_F$

$$\frac{1}{\lambda} = \frac{1}{\pi} \sqrt{\frac{\sigma_K}{E}} \left[0,5 + \frac{0,1 \sigma_F}{\sqrt{(0,2 \sigma_F)^2 - (\sigma_K - 0,8 \sigma_F)^2}} \right]$$

Die erforderliche Sicherheit ist

$$\text{erf } \nu_K = \frac{\sigma_K}{\text{zul } \sigma_0} = \frac{\sigma_K \cdot \omega}{\text{zul } \sigma}$$

Tabelle 1 und Bild 7 enthält σ_K und $\text{erf } \nu_K$ in Abhängigkeit von λ .

Im Abschnitt 17. der TGL 13 503 Bl. 1 wurden in der Tabelle 9 und in Bild 21 die nach diesem Verfahren ermittelten Knickspannungen (σ_K), dort als "abgeminderte Vergleichsspannung σ_{VK} " bezeichnet, dargestellt in Abhängigkeit von der idealen Knickspannung

$$\sigma_{K1} = \frac{E}{T} \cdot \sigma_K = \frac{\sigma_K}{x},$$

dort als "ideale Vergleichsspannung σ_{VK1} " bezeichnet. Mit Hilfe dieser Darstellung kann unmittelbar festgestellt werden, welcher Wert σ_K einem gegebenen Wert σ_{K1} entspricht und welche ideale Knickspannung (σ_{K1}) erreicht werden muß, um eine bestimmte Knickspannung (σ_K) zu bekommen.

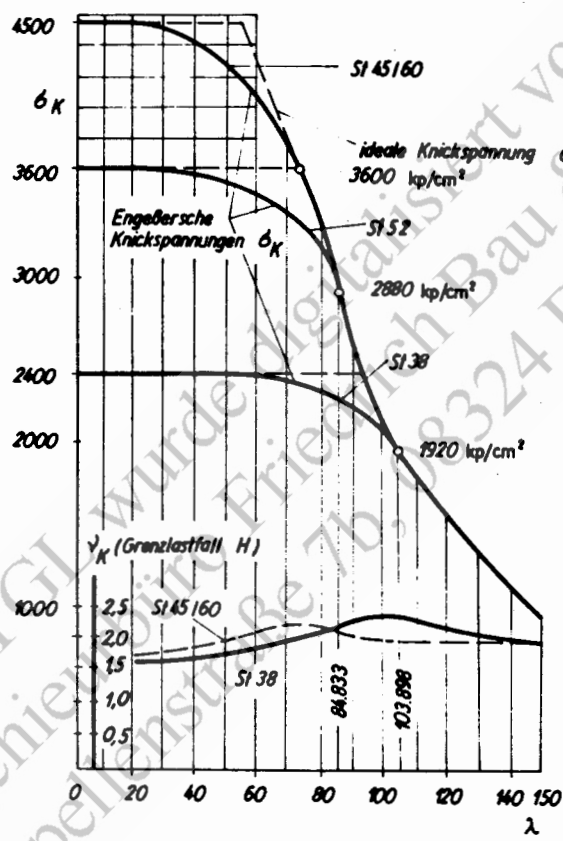


Bild 7

Tabelle 1a, St 38

λ	allgemein										Brücken		
	σ_{K1} kp/cm ²	σ_K kp/cm ²	x	H		HZ		S		H		HZ	
				zul σ_c kp/cm ²	erf ν_K	zul σ_c kp/cm ²	erf ν_K	zul σ_c kp/cm ²	erf ν_K	zul σ_c kp/cm ²	erf ν_K	zul σ_c kp/cm ²	erf ν_K
20	51815	2397	,046	1520	1,58	1710	1,40	1901	1,26	1475	1,63	1660	1,44
30	23029	2391	,104	1474	1,62	1659	1,44	1842	1,30	1409	1,70	1585	1,51
40	12954	2382	,184	1422	1,67	1600	1,49	1778	1,34	1336	1,78	1503	1,58
50	8290	2367	,286	1359	1,74	1529	1,55	1700	1,39	1255	1,89	1412	1,68
60	5757	2344	,407	1284	1,83	1445	1,62	1607	1,46	1165	2,01	1311	1,79
70	4230	2309	,546	1195	1,93	1344	1,72	1494	1,54	1068	2,16	1202	1,92
80	3238	2255	,696	1095	2,06	1231	1,83	1369	1,65	969	2,33	1090	2,07
90	2559	2170	,848	988	2,20	1112	1,95	1237	1,76	871	2,49	979	2,21
100	2073	2024	,976	883	2,29	993	2,04	1103	1,84	778	2,60	875	2,31
110	1713	1713	1,000	768	2,23	864	1,98	960	1,79	685	2,50	771	2,22
120	1439	1439	1,000	671	2,15	755	1,91	839	1,72	576	2,50	648	2,22
130	1226	1226	1,000	589	2,08	657	1,85	736	1,67	491	2,50	552	2,22
140	1057	1057	1,000	521	2,03	586	1,80	651	1,62	423	2,50	476	2,22
150	921	921	1,000	461	2,00	518	1,78	576	1,60	368	2,50	415	2,22
103,898	1920	1920	1,000	836	2,30	940	2,04	1044	1,84	744	2,58	837	2,29

Tabelle 1b, Stahl mit $\sigma_F = 3000 \text{ kp/cm}^2$

λ	σ_{K1} kp/cm ²	σ_K kp/cm ²	χ	H		HZ		S	
				zul σ_0 kp/cm ²	erf ν_K	zul σ_0 kp/cm ²	erf ν_K	zul σ_0 kp/cm ²	erf ν_K
20	51815	2994	,058	1898	1,58	2135	1,40	2372	1,26
30	23029	2985	,130	1838	1,62	2068	1,44	2298	1,30
40	12954	2970	,229	1766	1,68	1986	1,49	2207	1,35
50	8290	2943	,353	1675	1,76	1884	1,56	2094	1,41
60	5757	2901	,504	1561	1,86	1757	1,65	1951	1,49
70	4230	2833	,670	1426	1,99	1604	1,77	1782	1,59
80	3238	2720	,840	1276	2,13	1435	1,90	1595	1,71
90	2559	2513	,982	1124	2,23	1265	1,99	1405	1,79
100	2073	2073	1,000	983	2,11	1106	1,87	1229	1,69
110	1713	1713	1,000	842	2,03	948	1,81	1052	1,63
120	1439	1439	1,000	720	2,00	810	1,78	900	1,60
130	1226	1226	1,000	613	2,00	690	1,78	766	1,60
140	1057	1057	1,000	529	2,00	595	1,78	661	1,60
150	921	921	1,000	461	2,00	518	1,78	576	1,60
92,930	2400	2400	1,000	1082	2,22	1217	1,97	1352	1,78

Tabelle 1c, St 52

λ	allgemein										Brücken		
	σ_{K1} kp/cm ²	σ_K kp/cm ²	x	H		HZ		S		H		HZ	
				zul σ_0 kp/cm ²	erf ν_K	zul σ_0 kp/cm ²	erf ν_K	zul σ_0 kp/cm ²	erf ν_K	zul σ_0 kp/cm ²	erf ν_K	zul σ_0 kp/cm ²	erf ν_K
20	51815	3592	,069	2276	1,58	2560	1,40	2845	1,26	2208	1,63	2484	1,45
30	23029	3578	,155	2200	1,63	2475	1,45	2750	1,30	2098	1,71	2360	1,52
40	12954	3553	,274	2103	1,69	2366	1,50	2629	1,35	1967	1,81	2213	1,61
50	8290	3511	,423	1978	1,78	2225	1,58	2472	1,42	1812	1,94	2039	1,72
60	5757	3439	,597	1816	1,89	2043	1,68	2270	1,52	1636	2,10	1840	1,87
70	4230	3317	,784	1624	2,04	1827	1,82	2030	1,63	1449	2,29	1630	2,03
80	3238	3093	,955	1420	2,18	1598	1,94	1775	1,74	1265	2,45	1423	2,17
90	2559	2559	1,000	1226	2,09	1379	1,85	1532	1,67	1024	2,50	1151	2,22
100	2073	2073	1,000	1036	2,00	1166	1,78	1295	1,60	829	2,50	933	2,22
110	1713	1713	1,000	856	2,00	964	1,78	1070	1,60	685	2,50	771	2,22
120	1439	1439	1,000	720	2,00	810	1,78	900	1,60	576	2,50	648	2,22
130	1226	1226	1,000	613	2,00	690	1,78	766	1,60	491	2,50	552	2,22
140	1057	1057	1,000	529	2,00	595	1,78	661	1,60	423	2,50	476	2,22
150	921	921	1,000	461	2,00	518	1,78	576	1,60	368	2,50	415	2,22
84,833	2880	2880	1,000	1324	2,17	1490	1,93	1655	1,74	1152	2,50	1296	2,22

Tabelle 1d, St 45/60

λ	σ_{K1} kp/cm ²	σ_K kp/cm ²	x	H		HZ		S	
				zul σ_c kp/cm ²	erf ν_K	zul σ_c kp/cm ²	erf ν_K	zul σ_c kp/cm ²	erf ν_K
20	51815	4487	,087	2669	1,68	3025	1,48	3381	1,33
30	23029	4463	,194	2560	1,75	2901	1,54	3242	1,38
40	12954	4420	,341	2425	1,83	2749	1,61	3072	1,44
50	8290	4341	,524	2252	1,93	2552	1,70	2853	1,52
60	5757	4200	,730	2040	2,06	2312	1,82	2585	1,63
70	4230	3930	,929	1792	2,19	2031	1,94	2270	1,73
80	3238	3238	1,000	1546	2,10	1752	1,85	1958	1,66
90	2559	2559	1,000	1279	2,00	1439	1,78	1599	1,60
100	2073	2073	1,000	1036	2,00	1166	1,78	1295	1,60
110	1713	1713	1,000	856	2,00	964	1,78	1070	1,60
120	1439	1439	1,000	720	2,00	810	1,78	900	1,60
130	1226	1226	1,000	613	2,00	690	1,78	766	1,60
140	1057	1057	1,000	529	2,00	595	1,78	661	1,60
150	921	921	1,000	461	2,00	518	1,78	576	1,60
75,877	3600	3600	1,000	1646	2,19	1865	1,93	2084	1,73

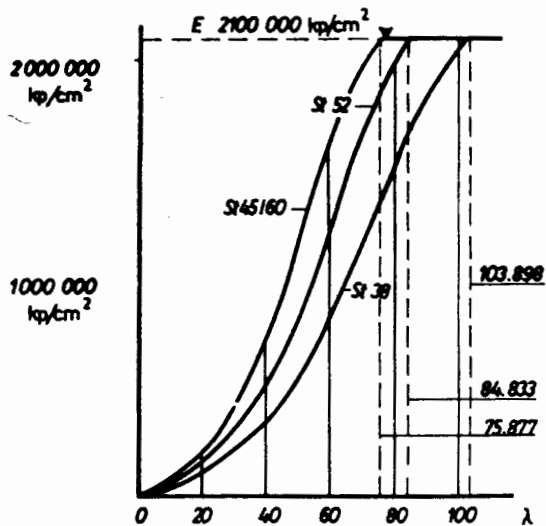


Bild 8

Bild 8 zeigt die Abhängigkeit des Knickmoduls (T) vom Schlankheitsgrad (λ) des Stabes.

7.5. Biegedrillknickung planmäßig mittig gedrückter Gurtstäbe mit einfach-symmetrischen Querschnitten

7.5.1. Bei mittig gedrückten Stäben mit dünnwandigen, offenen und einfach-symmetrischen Querschnitten, deren Schubmittelpunkt (M) nicht mit dem Schwerpunkt (S) zusammenfällt, siehe Bild 9, wird der Stab beim Ausknicken aus der Symmetrieebene nicht nur verbogen, sondern auch verdreht, siehe Abschnitt 3.

Dennoch dürfen solche Stäbe nach Abschnitt 7.1. der TGL 13 503 Bl.1 bemessen werden, wenn ihnen ein ideeller Schlankheitsgrad (λ_{v1}) zugeordnet wird.

7.5.2. Dieser ideale Schlankheitsgrad darf für einfach-symmetrische Querschnitte, bei denen die y-Achse Symmetrieachse ist, berechnet werden nach der Formel:

$$\lambda_{v1} = \frac{\beta \cdot s}{i_y} \sqrt{\frac{c^2 + i_M^2}{2c^2} \left\{ 1 + \sqrt{1 - \frac{4c^2 [i_p^2 + 0,093 (\beta^2 / \beta_0^2 - 1) y_M^2]}{(c^2 + i_M^2)^2}} \right\}}$$

Hierbei bedeutet:

$i_p = \sqrt{i_x^2 + i_y^2}$ auf den Schwerpunkt bezogener polarer Trägheitsradius in cm

$i_M = \sqrt{i_p^2 + y_M^2}$ auf den Schubmittelpunkt bezogener polarer Trägheitsradius in cm

y_M auf den Schwerpunkt bezogene Ordinate des Schubmittelpunktes in cm

$c = \sqrt{\frac{J_M (\beta \cdot s)^2 / (\beta_0 \cdot s_0)^2 + 0,039 (\beta \cdot s)^2}{J_y}}$ den Drehradius des Querschnittes in cm

J_D	Drillwiderstand in cm^4
C_M	auf den Schubmittelpunkt bezogener Wölbwiderstand in cm^6
s	Netzlänge des Stabes in cm
s_0	für die Verdrehung maßgebender und nach der Zeichnung geschätzter Abstand der Anschlußnietgruppen oder Schweißanschlüsse an beiden Stabenden in cm
β	Einspannungswert für Biegung
β_0	Kennwert für Verwölbung, siehe Abschnitt 7.5.2.2.

7.5.2.1. Für Stabquerschnitte nach Bild 9a bis 9c dürfen die Querschnittswerte y_M , C_M und J_D nach folgenden Formeln berechnet werden; für Bild 9a und 9b:

$$y_M = \frac{1}{J_y} \left[e \cdot J_1 - (h - e) \cdot J_2 \right]$$

$$C_M = \frac{J_1 \cdot J_2 \cdot h^2}{J_1 + J_2}$$

$$J_D = \frac{1}{3} (b_1 \cdot t_1^3 + b_2 \cdot t_2^3 + b_3 \cdot t_3^3)$$

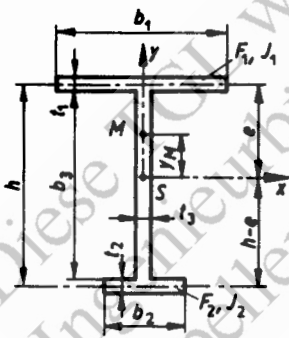
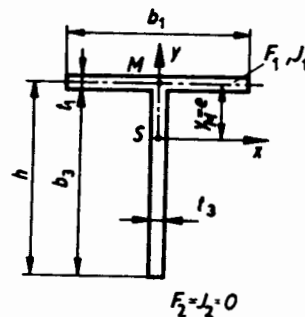


Bild 9a



$$F_2 = J_2 = 0$$

Bild 9b

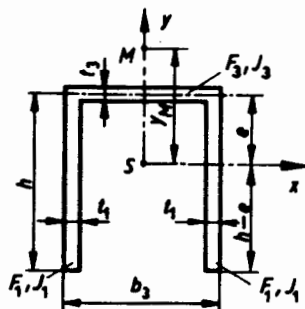


Bild 9c

für Bild 9c:

$$y_M = e + \frac{J_1}{J_y} \cdot h$$

$$C_M = \frac{h^2}{3} \cdot \frac{J_1^2 + 2 J_1 \cdot J_3}{J_y}$$

$$J_D = \frac{1}{3} (2 b_1 t_1^3 + b_3 t_3^3)$$

Hierbei bedeutet:

J_1 , J_2 und J_3 die auf die Symmetrieachse $y - y$ bezogenen Trägheitsmomente der Querschnittsteile F_1 , F_2 und F_3 nach Bild 9a bis 9c.

7.5.2.2. Die in Abschnitt 7.5.2. angegebene Formel für den ideellen Schlankheitsgrad entspricht mit $\beta = \beta_0 = 1$ der "Gabellagerung" beider Stabenden. Hierbei sind die Verdrehungen und Verschiebungen der Endstirnflächen in ihrer Ebene ausgeschlossen. Dagegen kann sich jede Endstirnfläche sowohl um ihre y -Achse als auch um ihre x -Achse frei verdrehen, und außerdem kann sich jede Endstirnfläche in Richtung der Stabachse frei verwölben.

Bei $\beta = \beta_0 = 0,5$ liegt dagegen volle Einspannung gegen Verbiegung um die y -Achse und Wülbverhinderung der Endstirnflächen des Stabes vor. Weichen die Randbedingungen des Stabes von denjenigen der Gabellagerung dadurch ab, daß die Stabenden gegen Verbiegung um die y -Achse elastisch eingespannt sind, so ist $0,5 < \beta < 1$; besteht die Abweichung darin, daß die Verwölbung der Endstirnflächen des Stabes elastisch behindert ist, so ist $0,5 < \beta_0 < 1$. In praktischen Fällen darf oft angenommen werden, daß $0,5 < \beta < 1$ und $\beta_0 = 0,5$ ist.

7.5.3. Bei punkt- und doppelsymmetrischen Querschnitten, siehe Abschnitt 3.2., ist der Stab auf Drillknicken zu untersuchen, wenn $i_p > c$ ist. Dann geht die in Abschnitt 7.5.2. angegebene Formel für den ideellen Schlankheitsgrad über in:

$$\lambda_{VI} = \frac{\beta s}{i_y} \cdot \frac{i_p}{c} = \sqrt{\frac{J_x + J_y}{\frac{C_M}{(\beta_0 \cdot s_0)^2} + 0,039 J_D}}$$

7.6. Druckstäbe mit veränderlicher Querschnittshöhe

Druckstäbe mit gleichbleibender Normalkraft und angenähert gleichbleibender Querschnittsfläche (F), jedoch veränderlicher Querschnittshöhe - und zwar sowohl einteilige Stäbe mit I-Querschnitt als auch zwei- oder vierteilige Stäbe, siehe Bild 10 - dürfen wie Stäbe mit dem gleichbleibenden Querschnittsträgheitsmoment $J = c \cdot \max J$ berechnet werden, wobei c aus der Tabelle 2 zu entnehmen ist. Diese Tabelle enthält die Hilfsgröße

$$v = \sqrt{\frac{J_0}{J_1}} \cong \sqrt{\frac{\min J}{\max J}}$$

und gilt nur für gelenkig gelagerte Stäbe mit $J_0 \cong 0,01 \cdot J_1$. Für Stäbe mit $s_1 \cong 0,8 \cdot s$ darf $c = 1$ gesetzt werden, und bei Stäben, bei denen s_1 zwischen den Werten $0,5 \cdot s$ und $0,8 \cdot s$ liegt, darf c geradlinig eingeschaltet werden. Ein anderes Näherungsverfahren zur Bestimmung von J wird in Abschnitt 13.1.2. angegeben.

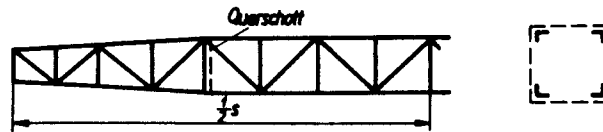
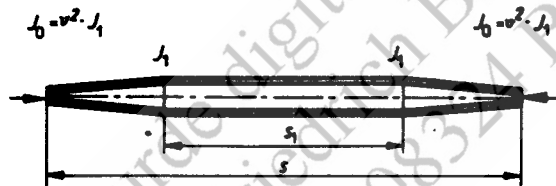


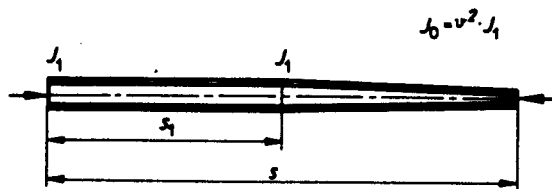
Bild 10

Tabelle 2 c-Werte



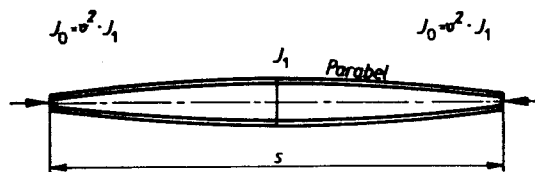
Für alle $s_1 \cong 0,5 \cdot s$ und $0,1 \cong v \cong 1$

$$c = (0,17 + 0,33 \cdot v + 0,5 \cdot \sqrt{v}) + \frac{s_1}{s} \cdot (0,62 + \sqrt{v} - 1,62 \cdot v)$$



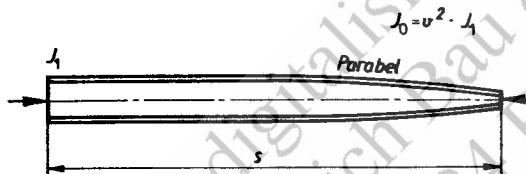
Für alle $s_1 \cong 0,5 \cdot s$ und $0,1 \cong v \cong 1$

$$c = (0,08 + 0,92 \cdot v) + \left(\frac{s_1}{s}\right)^2 \cdot (0,32 + 4 \cdot \sqrt{v} - 4,32 \cdot v)$$



Für alle $0,1 \leq v \leq 1$

$$c = 0,48 + 0,02 \cdot v + 0,5 \cdot \sqrt{v}$$



Für alle $0,1 \leq v \leq 1$

$$c = 0,18 + 0,32 \cdot v + 0,5 \cdot \sqrt{v}$$

Tabelle 3 Knicklänge s_K

1. Beiderseits gelenkig gelagert:

$$s_K = s \cdot \sqrt{\frac{1 + 2,18 \cdot N_0/N_1}{3,18}}$$

2. Beiderseits fest eingespannt:

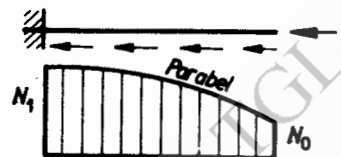
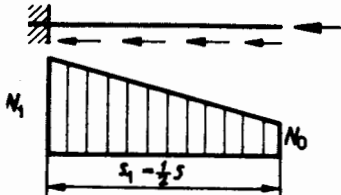
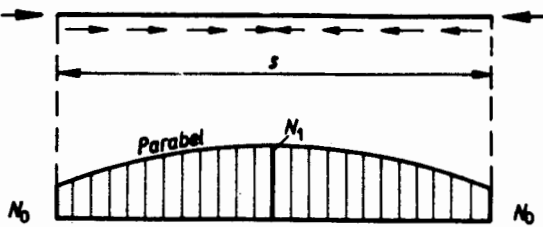
$$s_K = s \cdot \sqrt{\frac{1 + 0,93 \cdot N_0/N_1}{7,72}}$$

3. Beiderseits gelenkig gelagert:

$$s_K = s \cdot \sqrt{\frac{1 + 1,09 \cdot N_0/N_1}{2,09}}$$

4. Beiderseits fest eingespannt:

$$s_K = s \cdot \sqrt{\frac{1 + 0,35 \cdot N_0/N_1}{5,40}}$$



5. Die Formeln (1) und (3) können

sinngemäß auch bei der Bemessung von Stäben angewandt werden, die an dem einen Ende eingespannt

und an dem anderen Ende frei verschieblich sind, wobei N_0 am

freien und N_1 am eingespannten Ende wirkt. Für s ist dann die

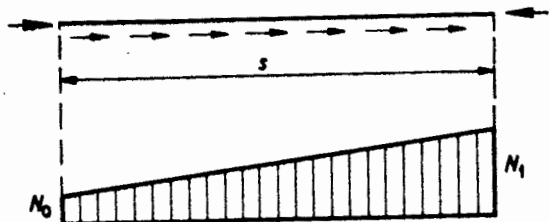
doppelte Stablänge einzusetzen.

6. Beiderseits gelenkig gelagert:

$$s_K = s \cdot \sqrt{\frac{1 + 0,88 \cdot N_0/N_1}{1,88}}$$

7. Beiderseits fest eingespannt:

$$s_K = s \cdot \sqrt{\frac{1 + 0,93 \cdot N_0/N_1}{7,72}}$$



8. Auf der Seite von N_1 gelenkig gelagert und auf der Seite von N_0 fest eingespannt:

$$s_K = s \cdot \sqrt{\frac{1 + 0,51 \cdot N_0/N_1}{3,09}}$$

9. Auf der Seite von N_1 fest eingespannt und auf der Seite von N_0 gelenkig gelagert:

$$s_K = s \cdot \sqrt{\frac{1 + 1,65 \cdot N_0/N_1}{5,42}}$$

Anmerkung:

Die Formeln gelten für alle $N_0/N_1 \leq 1$. Sie dürfen auch angewandt werden, wenn N_0 eine Zugkraft ist, die den Wert $0,2 \cdot N_1$ nicht überschreitet; in den Formeln ist dann das Pluszeichen durch ein Minuszeichen zu ersetzen.

Bei den zwei- und vierteiligen Stäben ist auch der Abschnitt 8. der TGL 13 503 Bl.1 zu beachten. Bei den einteiligen Stäben mit I-Querschnitt ist die geringfügig veränderliche Querschnittsfläche (F) durch einen Mittelwert zu ersetzen; einteilige Stäbe mit stark veränderlicher Querschnittsfläche (F) sind nach Abschnitt 7.8. zu berechnen.

7.7. Druckstäbe mit veränderlicher Normalkraft

7.7.1. Greifen an einem geraden Stab von unveränderlichem Querschnitt stetig verteilte Axialkräfte an, die im Stab eine geradlinige oder parabolische Normalkraftverteilung mit dem Größtwert N_1 hervorrufen, so daß der Stab nach Abschnitt 7, der TGL 13 503 Bl.1, wie der Stab mit der Knicklänge (s_K) berechnet werden, der an beiden Enden mit der Druckkraft belastet ist und daher die gleichbleibende Normalkraft (N_1) hat. Die Länge (s_K) darf hierbei der Tabelle 3 entnommen werden, vorausgesetzt daß alle am Stab angreifenden Kräfte ihre Richtung auch während des Ausknickens des Stabes beibehalten; diese Voraussetzung darf in der Regel als erfüllt angesehen werden bei Druckgurten von Fachwerkträgern, die ausnahmsweise keine Querstützung erfahren und daher rechtwinklig zur Fachwerkebene ausknicken können.

7.7.2. Ändern die am Stab angreifenden Kräfte ihre Richtung während des Ausknickens so, daß die Wirkungsebenen dieser Kräfte dauernd mit den Tangenten der Biegelinie des ausknickenden Stabes zusammenfallen, so erhält man für s_K andere Werte, siehe Abschnitt 6.2. Die in der Tabelle 3 angegebenen 1., 3. und 6. Näherungsformeln nehmen dann beispielsweise die Form an:

$$s_K = s \cdot \sqrt{\frac{1 + 0,40 \cdot N_0/N_1}{1,40}}$$

bzw.:
$$s_K = s \cdot \sqrt{\frac{1 + 0,14 \cdot N_0/N_1}{1,14}}$$

bzw.:
$$s_K = s \cdot \sqrt{\frac{1 + 0,92 \cdot N_0/N_1}{1,92}}$$

7.8. Druckstäbe mit feldweise veränderlichem Querschnitt, feldweise veränderlicher Normalkraft und federnder Querstützung

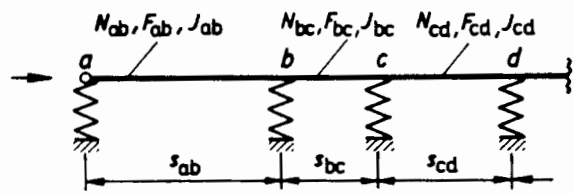


Bild 11a

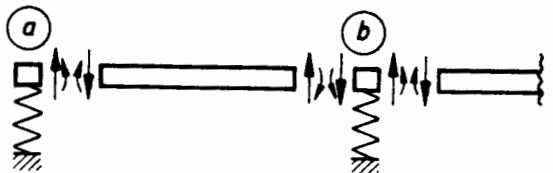


Bild 11b

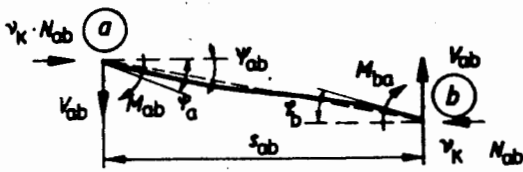


Bild 11c

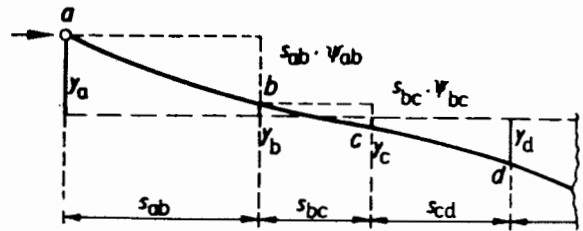


Bild 11d

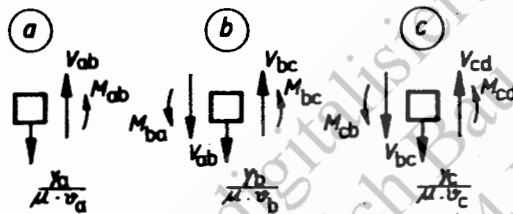


Bild 11e

7.8.1. Zur Herleitung der Knickbedingung wird der Stabzug, siehe Bild 11a, an beiden Seiten der Querstützen durchgeschnitten, so daß er in einzelne Stäbe und verschwindend kleine Knotenstücke zerfällt, siehe Bild 11b.

Im Stab a b, der vom Knoten a zum Knoten b reicht und die Länge s_{ab} , die Normalkraft N_{ab} und die Querschnittsfläche F_{ab} mit dem beim Ausknicken zur Geltung kommenden Hauptträgheitsmoment J_{ab} hat, entstehen beim Ausknicken die beiden Endmomente M_{ab} , M_{ba} und die Endquerkraft V_{ab} . Diese drei Wirkungsgrößen sind mit den beim Ausknicken auftretenden Verdrehungswinkeln φ_a , φ_b , ψ_{ab} , siehe Bild 11c, verknüpft durch drei Grundbeziehungen

$$\left. \begin{aligned} M_{ab} &= A_{ab} \cdot \varphi_a + B_{ab} \cdot \varphi_b - (A_{ab} + B_{ab}) \cdot \psi_{ab} \\ M_{ba} &= A_{ab} \cdot \varphi_b + B_{ab} \cdot \varphi_a - (A_{ab} + B_{ab}) \cdot \psi_{ab} \\ V_{ab} &= \nu_K \cdot N_{ab} \cdot \psi_{ab} + \frac{1}{s_{ab}} (A_{ab} + B_{ab}) \cdot (\varphi_a + \varphi_b - 2\psi_{ab}) \end{aligned} \right\} (1)$$

wobei ν_K die Engesser'sche Knicksicherheitszahl des Stabzuges darstellt. Ist der Stab a b im Endpunkt a oder im Endpunkt b gelenkig gelagert, so lauten die Grundbeziehungen

$$M_{ab} = 0, \quad M_{ba} = C_{ab} \cdot (\varphi_b - \psi_{ab})$$

$$V_{ab} = \nu_K \cdot N_{ab} \cdot \psi_{ab} + \frac{C_{ab}}{s_{ab}} (\varphi_b - \psi_{ab})$$

bzw.: $M_{ab} = C_{ab} \cdot (\varphi_a - \psi_{ab}), \quad M_{ba} = 0,$

$$V_{ab} = \nu_K \cdot N_{ab} \cdot \psi_{ab} + \frac{C_{ab}}{s_{ab}} (\varphi_a - \psi_{ab})$$

(2)

Bei der Berechnung der Hilfsgrößen

$$A_{ab} = \alpha_{ab} \cdot \frac{T_{ab} J_{ab}}{s_{ab}}, \quad B_{ab} = \beta_{ab} \cdot \frac{T_{ab} J_{ab}}{s_{ab}},$$

$$C_{ab} = \gamma_{ab} \cdot \frac{T_{ab} J_{ab}}{s_{ab}}$$

sind die Faktoren α_{ab} , β_{ab} , γ_{ab} aus der Tabelle 4 zu entnehmen für die Kennzahl

$$\varepsilon_{ab} = s_{ab} \cdot \sqrt{\frac{\nu_K \cdot N_{ab}}{T_{ab} J_{ab}}}$$

Hierbei ist:

$$\alpha = \frac{\varepsilon \cdot \sin \varepsilon - \varepsilon^2 \cos \varepsilon}{2(1 - \cos \varepsilon) - \varepsilon \sin \varepsilon}$$

$$\beta = \frac{\varepsilon^2 - \varepsilon \sin \varepsilon}{2(1 - \cos \varepsilon) - \varepsilon \sin \varepsilon}$$

$$\gamma = \frac{\alpha^2 - \beta^2}{\alpha} = \frac{\varepsilon^2 \sin \varepsilon}{\sin \varepsilon - \varepsilon \cos \varepsilon}$$

und T_{ab} der nach Abschnitt 7.4. zu berechnende, der Knickspannung

$$\sigma_{ab} = \nu_K \cdot \frac{N_{ab}}{F_{ab}}$$

zugeordnete Knickmedul.

Tabelle 4 α , β , γ - Faktoren

t	α	β	γ
0,00	4,000	2,000	3,000
0,10	3,999	2,000	2,998
0,20	3,995	2,001	2,992
0,30	3,988	2,003	2,982
0,40	3,979	2,005	2,968
0,60	3,952	2,012	2,927
0,80	3,914	2,022	2,870
1,00	3,865	2,034	2,794
1,20	3,804	2,050	2,699
1,40	3,732	2,070	2,584
1,60	3,647	2,093	2,446
1,80	3,548	2,120	2,282
2,00	3,436	2,152	2,088
2,20	3,309	2,189	1,861
2,40	3,166	2,233	1,591
2,60	3,005	2,283	1,270
2,80	2,825	2,343	0,883
3,00	2,624	2,412	0,408
π	2,467	2,467	0
3,20	2,399	2,492	- 0,191
3,40	2,316	2,588	- 0,974
3,60	1,862	2,702	- 2,059
3,80	1,540	2,838	- 3,691
4,00	1,173	3,004	- 6,518
4,20	0,751	3,207	- 12,947
4,40	0,259	3,462	- 45,982
4,4934	0	3,603	$\mp \infty$
4,60	- 0,323	3,787	44,007
4,80	- 1,029	4,211	16,207
5,00	- 1,909	4,785	10,084
5,20	- 3,052	5,592	7,196
5,40	- 4,625	6,798	5,365
5,60	- 6,992	8,759	3,980
5,80	- 11,111	12,428	2,791
6,00	- 20,637	21,454	1,665
6,20	- 74,361	74,616	0,510
2π	- ∞	∞	0

Ähnliche Beziehungen, wie sie hier für den Stab \overline{ab} angegeben wurden, sind auch für die Stäbe \overline{bc} , \overline{cd} , \overline{de} ... aufzustellen. Von den in den Knotenpunkten angreifenden äußeren Kräften ist vorausgesetzt, daß sie ihre Richtung während des Ausknickens des Stabzuges beibehalten. Die Normalkräfte (N) sind als Druckkräfte vorausgesetzt und mit ihren Absolutwerten einzusetzen. Kommt eine Zugkraft vor, so ist sie durch $N = 0$ zu ersetzen. Alle Kräfte sind in M_p und alle Längen in cm auszudrücken. Die Endmomente und die Verdrehungswinkel zählen im Uhrzeigersinn positiv; das Kräftepaar der positiven V_{ab} versucht den Stab entgegen dem Uhrzeiger zu verdrehen, siehe Bild 11c.

7.8.2. Auf das Knotenstück b wirken nicht nur die Reaktionen der Stabendmomente M_{ba} , M_{bc} und der Stabendquerkräfte V_{ab} , V_{bc} ein, sondern auch die von der federnden Querstützung ausgeübte Stützkraft

$$\frac{y_b}{\mu \cdot v_b} ;$$

hierbei bedeuten y_b die beim Ausknicken des Stabes, siehe Bild 11d, auftretende Verschiebung des Knotens b , v_b die "bezogene Verschiebung" der am Knoten b angeschlossenen federnden Querstütze, das ist die Verschiebung in cm , die bei Einwirkung der Kraft $1 M_p$ auftritt, und die für alle Querstützen gemeinsame Stützensicherheitszahl. Ähnliche Beziehungen gelten auch für die Knotenstücke a , c , d Für alle diese Knotenstücke können die Verdrehungs- und Verschiebungs-Gleichgewichtsbedingungen, siehe Bild 11e, ganz "mechanisch" angeschrieben werden; die ersten lauten der Reihe nach

$$M_{ab} = 0, \quad M_{ba} + M_{bc} = 0, \quad M_{cb} + M_{cd} = 0 \quad \dots \quad (3)$$

und die letzteren der Reihe nach

$$-V_{ab} + \frac{y_a}{\mu \cdot v_a} = 0, \quad V_{ab} - V_{bc} + \frac{y_b}{\mu \cdot v_b} = 0 \quad \dots \quad (4)$$

Nach Einführung der drei Grundbeziehungen (1) und Beachtung der aus Bild 11d ablesbaren Beziehungen

$$y_b = y_a - s_{ab} \cdot \psi_{ab}, \quad y_c = y_a - s_{ab} \cdot \psi_{ab} - s_{bc} \cdot \psi_{bc}, \quad \dots \quad (5)$$

gehen diese Gleichgewichtsbedingungen über in lineare, homogene Gleichungen für die Knotendrehwinkel φ_b , φ_c , ..., die Stabsehnendrehwinkel ψ_{ab} , ψ_{bc} , ... und die Knotenverschiebung y_d . Die gleich N u l l gesetzte Koeffizientendeterminante dieses Gleichungssystems stellt die gesuchte Knickbedingung dar. Sie darf für $\mu = 1$ durch Probieren nach der kleinsten positiven Zahl ν_K des untersuchten Stabzuges aufgelöst werden. In den Fällen federnder Querstützung darf sie - was weniger Aufwand an Rechenarbeit erfordert - für eine gegebene Knicksicherheitszahl ν_K nach der kleinsten positiven Zahl μ , der Stützensicherheitszahl für die gegebene Knickbelastung aufgelöst werden; ergibt sich $\mu \geq 1$, so ist die in die Knickbedingung eingesetzte Knicksicherheitszahl ν_K erreicht oder überschritten, also jedenfalls gewährleistet.

7.8.3. Die in Abschnitt 7.8.2. erwähnte Knickbedingung darf nicht nur durch Ausrechnen und Nullsetzen der Koeffizientendeterminante, sondern auch - was meistens vorgezogen wird - durch schrittweise Elimination der Unbekannten gewonnen werden.

Die in Abschnitt 7.8.2. erwähnten linearen und homogenen Gleichungen sind hierbei durch eine von Null verschiedene Unbekannte, beispielsweise ψ_{ab} oder φ_a , zu dividieren, und die so entstehenden Quotienten der Unbekannten sind als neue Unbekannte x, y, ξ, η, \dots aufzufassen. Diese neuen Unbekannten werden aus dem Gleichungssystem der Reihe nach eliminiert; die letzte so erhaltene Gleichung enthält nur noch die beiden Parameter ν_K , μ und stellt die gesuchte Knickbedingung dar.

7.8.4. Für den in Bild 12a dargestellten Druckstab lauten die in Abschnitt 7.8.2. erwähnten linearen und homogenen Gleichungen

$$\left\{ \begin{array}{l} C_{ab} (\varphi_b - \psi_{ab}) + C_{bc} (\varphi_b - \psi_{bc}) = 0 \\ s_{ab} \cdot \psi_{ab} + s_{bc} \psi_{bc} - \mu \nu_a \left[\nu_K \cdot N_{ab} \psi_{ab} + \frac{C_{ab}}{s_{ab}} (\varphi_b - \psi_{ab}) \right] = 0 \\ s_{bc} \cdot \psi_{bc} + \mu \cdot \nu_b \left[\nu_K \cdot N_{ab} \cdot \psi_{ab} + \frac{C_{ab}}{s_{ab}} (\varphi_b - \psi_{ab}) - \nu_K \cdot N_{bc} \cdot \psi_{bc} - \frac{C_{bc}}{s_{bc}} (\varphi_b - \psi_{bc}) \right] = 0 \end{array} \right.$$

Die erste Gleichung folgt aus (3) und (2), die beiden anderen folgen aus (4), (5) und (2).

Für einen Druckstab nach Bild 12b ist in diesen Gleichungen $\nu_a = 0$ zu setzen und für einen Druckstab nach Bild 12c ist außerdem auch noch $1/\nu_b = 0$ zu setzen. Nach Division der drei Gleichungen durch ψ_{ab} und Elimination der neuen Unbekannten

$$x = \frac{\varphi_b}{\psi_{ab}}, \quad \xi = \frac{\psi_{bc}}{\psi_{ab}},$$

siehe Abschnitt 7.8.3., erhält man die Knickbedingung.

Im Fall Bild 12d ist in den drei angeschriebenen Gleichungen $\nu_a = \nu_b = 0$ zu setzen, so daß sich $\psi_{ab} = \psi_{bc} = 0$ und daher als Knickbedingung einfach $C_{ab} + C_{bc} = 0$ ergibt.

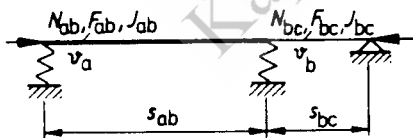


Bild 12a

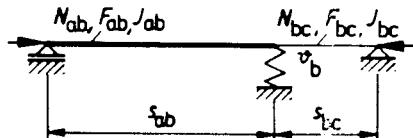


Bild 12b

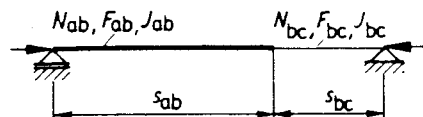


Bild 12c

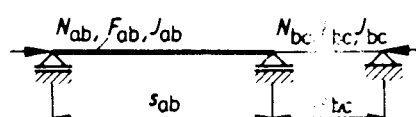


Bild 12d

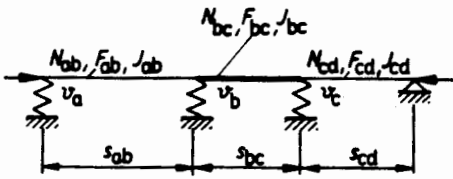


Bild 12e

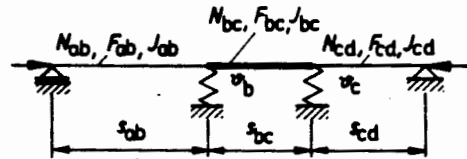


Bild 12f

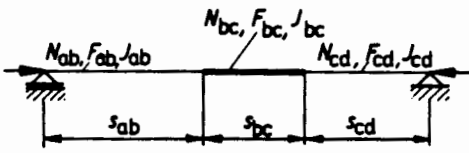


Bild 12g

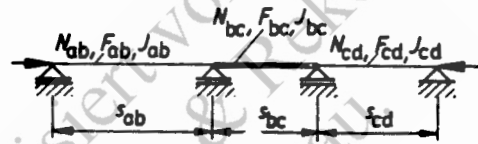


Bild 12h

7.8.5. Für den in Bild 12e dargestellten Druckstab lauten die in Abschnitt 7.8.2. erwähnten linearen und homogenen Gleichungen

$$\left. \begin{aligned}
 & C_{ab} (\varphi_b - \psi_{ab}) + A_{bc} \cdot \varphi_b + B_{bc} \cdot \varphi_c - (A_{bc} + B_{bc}) \psi_{bc} = 0, \\
 & A_{bc} \cdot \varphi_c + B_{bc} \cdot \varphi_b - (A_{bc} + B_{bc}) \psi_{bc} + C_{cd} (\varphi_c - \psi_{cd}) = 0, \\
 & s_{ab} \cdot \psi_{ab} + s_{bc} \cdot \psi_{bc} + s_{cd} \cdot \psi_{cd} - \mu \cdot v_a \left[\nu_K \cdot N_{ab} \cdot \psi_{ab} + \frac{C_{ab}}{s_{ab}} (\varphi_b - \psi_{ab}) \right] = 0, \\
 & s_{bc} \cdot \psi_{bc} + s_{cd} \cdot \psi_{cd} + \mu \cdot v_b \left[\nu_K \cdot N_{ab} \cdot \psi_{ab} + \frac{C_{ab}}{s_{ab}} (\varphi_b - \psi_{ab}) - \nu_K \cdot N_{bc} \cdot \psi_{bc} \right. \\
 & \quad \left. - \frac{1}{s_{bc}} (A_{bc} + B_{bc}) (\varphi_b + \varphi_c - 2 \psi_{bc}) \right] = 0, \\
 & s_{cd} \cdot \psi_{cd} + \mu \cdot v_c \left[\nu_K \cdot N_{bc} \cdot \psi_{bc} + \frac{1}{s_{bc}} (A_{bc} + B_{bc}) (\varphi_b + \varphi_c - 2 \psi_{bc}) \right. \\
 & \quad \left. - \nu_K \cdot N_{cd} \cdot \psi_{cd} - \frac{C_{cd}}{s_{cd}} (\varphi_c - \psi_{cd}) \right] = 0.
 \end{aligned} \right\}$$

Die beiden ersten Gleichungen folgen aus (3), (2) und (1), die drei weiteren folgen aus (4), (5), (2) und (1).

Für einen Druckstab nach Bild 12f ist in diesen Gleichungen $v_a = 0$ zu setzen, und für einen Druckstab nach Bild 12g ist außerdem auch noch

$$\frac{1}{v_b} = \frac{1}{v_c} = 0$$

zu setzen.

Nach Division der fünf Gleichungen durch ψ_{ab} und Elimination der neuen Unbekannten

$$x = \frac{\varphi_b}{\psi_{ab}}, \quad y = \frac{\varphi_c}{\psi_{ab}}, \quad \xi = \frac{\psi_{bc}}{\psi_{ab}}, \quad \eta = \frac{\psi_{cd}}{\psi_{ab}}$$

siehe Abschnitt 7.8.3., erhält man die Knickbedingungen. Im Fall Bild 12h ist in den obenstehenden Gleichungen $v_a = v_b = v_c = 0$ zu setzen, so daß sich $\psi_{ab} = \psi_{bc} = \psi_{cd} = 0$ und nach Division durch φ_b als einzige Unbekannte

$$x = \frac{\varphi_c}{\varphi_b}$$

ergibt; die Elimination dieser Unbekannten führt zur Knickbedingung $(A_{bc} + C_{ab}) \cdot (A_{bc} + C_{cd}) - B_{bc}^2 = 0$.

7.9. Tragsicherheitsnachweis planmäßig mittig gedrückter Stäbe nach der Theorie II. Ordnung

In den Fällen, in denen die ideale Knicklast (P_{K1}) nicht bekannt ist oder nur durch sehr langwierige Rechnung ermittelt werden kann, darf bei Annahme eines idealelastisch-idealplastischen Spannungs-Dehnungsdiagramms des Baustahls der in Abschnitt 7.1. der TGL 13 503 Bl.1 geforderte Stabilitätsnachweis ersetzt werden durch den Nachweis, daß das Tragwerk unter der γ_{Ks} -fachen Belastung und unter Berücksichtigung des Einflusses der Verformungen auf das Kräftespiel, Theorie II. Ordnung, an keiner Stelle eine Spannung aufweist, die größer ist als die Fließgrenze. Um den Einfluß der baupraktisch unvermeidbaren Mängel, siehe Abschnitt 7.1.2. und 7.2.2., zu erfassen, sind auf Grund besonderer Erwägungen geeignete Außermittigkeiten des Kraftangriffes oder Verkrümmungen der Stabachse oder Querlasten zur Erzeugung dieser Verformung anzunehmen. Für die Fließgrenze des Baustahles sind die Normwerte und für γ_{Ks} die Werte nach Abschnitt 7.1.4. einzusetzen. Statt Erreichens der Fließspannung kann auch das Erreichen der Knick- oder Beulspannung eines Einzeltragteiles maßgebend werden.

Erläuterungen zu Abschnitt 8.3. und 10.11. der TGL 13 503 Bl.1

8.1. Querkraft

Die maßgebende Querkraft am Ende eines Stabes ist

$$Q_m = Q_a + N \sin \alpha$$

Hierbei bedeutet:

Q_a Querkraft aus äußerer Belastung

N Normalkraft im Gesamtstab

$\sin \alpha \approx v'$ Neigung der Stabachse am Auflager

Bei sin-förmiger Biegelinie

$$\text{ist } v'(\sigma) = \frac{\pi}{l} v_m$$

$$Q_m = Q_a + N \cdot \frac{\pi}{l} v_m$$

Bei symmetrischer Belastung muß sein

$$\frac{N}{F} + \frac{M + N v_m}{W_d} = \text{vorh } \sigma \cong \text{zul } \sigma$$

oder

$$\sigma_c + \sigma_{bc} + \frac{N v_m}{W_d} = \text{vorh } \sigma = \sigma_c + (\sigma_c \mu_0 + \sigma_{bc}) \cdot f$$

$$N v_m = W_d (\text{vorh } \sigma - \sigma_c - \sigma_{bc})$$

$$= W_d \left[\sigma_c \mu_0 f + \sigma_{bc} (f - 1) \right]$$

Mit $W_d \approx F \cdot \frac{e}{2} = F \cdot l$ für zweiteiligen symmetrischen Querschnitt wird

$$Q_m = Q_a + \frac{\pi F}{\lambda} \left[\sigma_c \mu_0 f + \sigma_{bc} (f - 1) \right]$$

$$Q_m = Q_a + N \cdot \frac{\pi \mu_0}{\lambda} \cdot f + \frac{\pi}{l} M (f - 1)$$

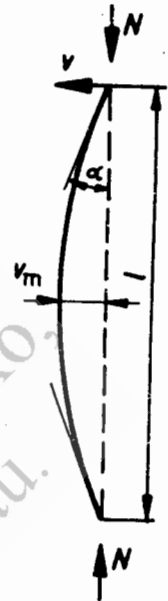


Bild 13a

Für den planmäßig mittig gedrückten Stab folgt mit

$$Q_a = 0, \quad M = 0$$

$$Q_m = Q_1 = N \pi \frac{\mu_0}{\lambda} \cdot f$$

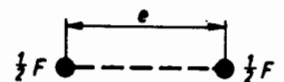


Bild 13b

Für λ ist λ_1 zu setzen, und für l ist s_K zu setzen.

Für den Anteil des Momentes darf in $(f - 1)$ die Form der Momentenfläche nach Abschnitt 10.4. der TGL 13 503 Bl.1 berücksichtigt werden.

Die Funktion

$$\pi \frac{\mu_0}{\lambda}$$

ist im Bild 14a dargestellt.

Im Bild 14b ist der Maximalwert von Q_1 / N angegeben unter der Voraussetzung, daß $N = \text{zul } N$ ist. Die im Abschnitt 8.3.1. der TGL 13 503 Bl.1 angegebenen Näherungsformeln beruhen ebenfalls auf dieser Annahme.

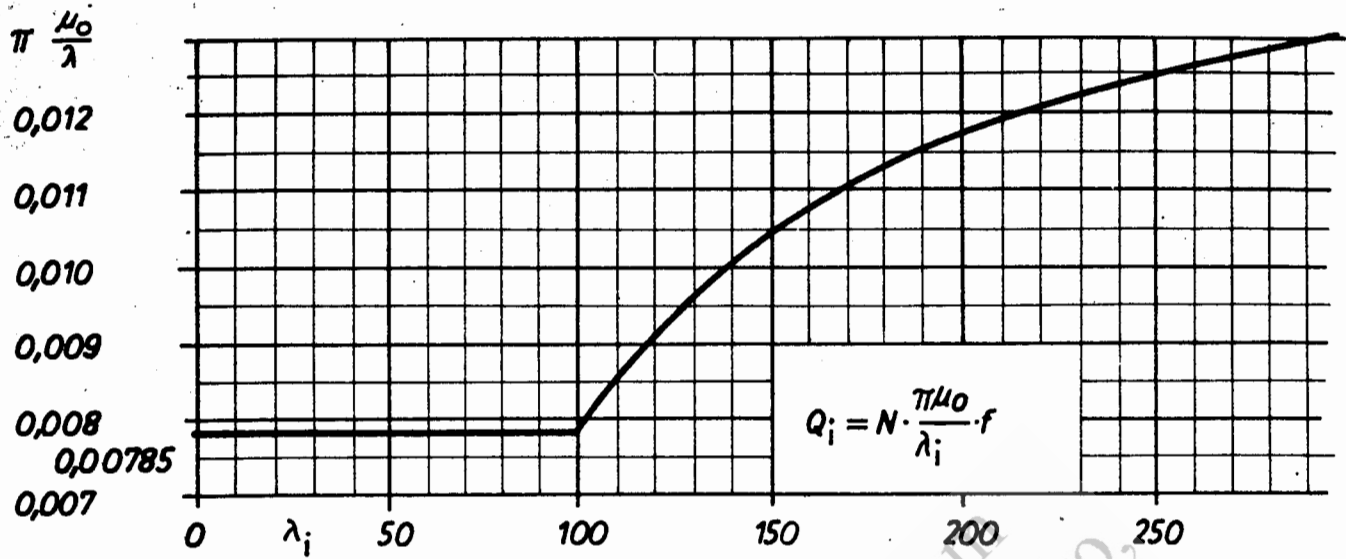


Bild 14a

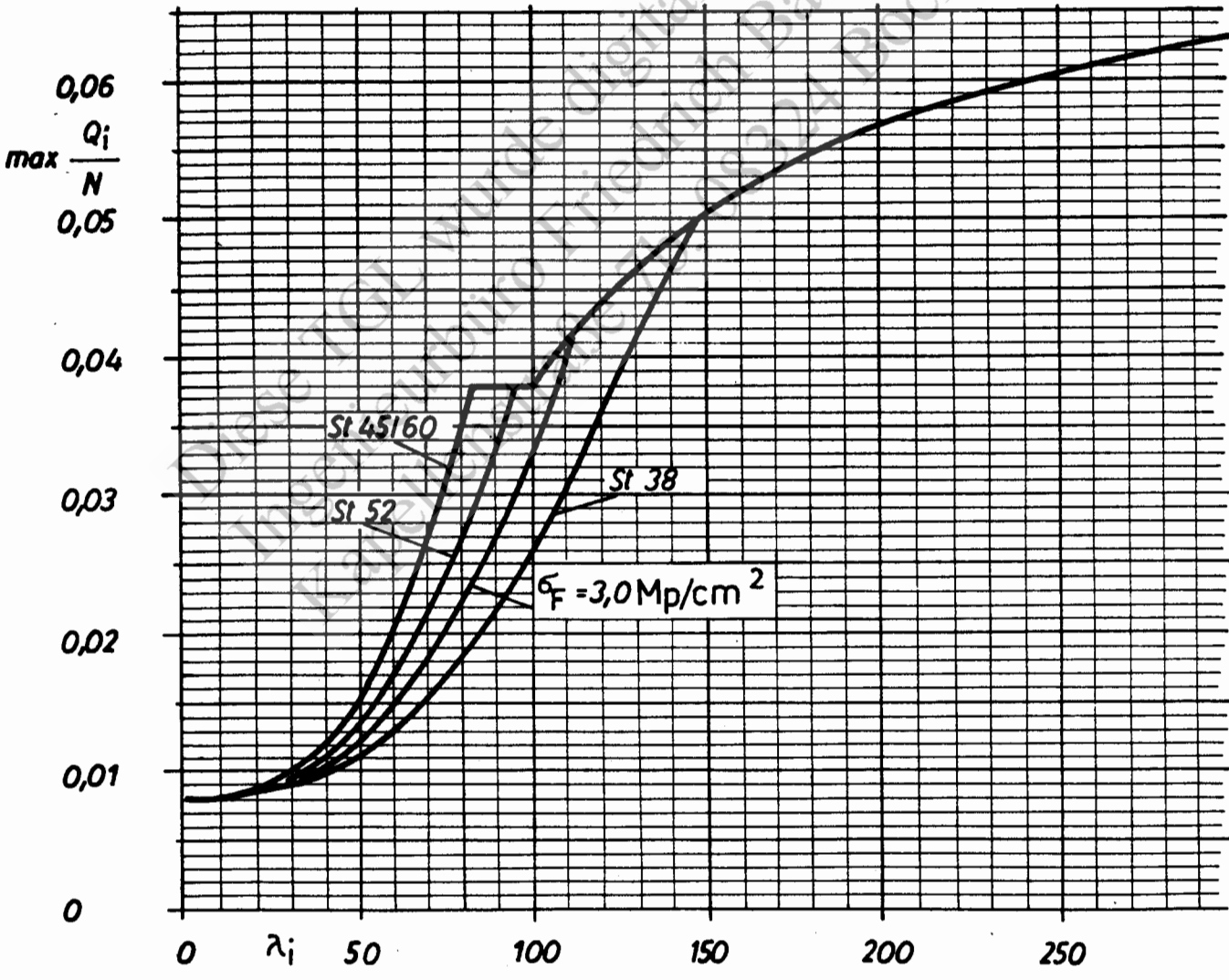


Bild 14b

Erläuterungen zu Abschnitt 10. der TGL 13 503 Bl.1

10.1. Biegedrillknickung planmäßig außermittig gedrückter Stäbe

10.1.1. Werden gerade Stäbe mit dünnwandigen, offenen und gleichbleibenden Querschnitten planmäßig außermittig gedrückt, so besteht die Gefahr der in Abschnitt 3. beschriebenen Biegedrillknickung. Liegt der Kraftangriff auf der Symmetrieachse in der Entfernung $\pm a$ vom Schwerpunkt, so darf die Bemessung von Stäben mit einfach-, punkt- und doppelsymmetrischen Querschnitten nach Abschnitt 7.1. der TGL 13 503 Bl.1 durchgeführt werden, wenn ihnen ein ideeller Schlankheitsgrad (λ_{V1}) zugeordnet wird.

10.1.2. Dieser ideelle Schlankheitsgrad ist zu berechnen nach der Formel:

$$\lambda_{V1} = \frac{\beta \cdot s}{i_y} \sqrt{\frac{c^2 + i_M^2 + a (r_x - 2 y_M)}{2 c^2}}$$

$$\left\{ 1 \pm \sqrt{1 - \frac{4c^2 \left[i_p^2 + a (r_x - a) + 0,093 (\beta^2/\beta_0^2 - 1) (a - y_M)^2 \right]}{\left[c^2 + i_M^2 + a (r_x - 2 y_M) \right]^2}} \right\}$$

Es ist stets das Vorzeichen der zweiten Wurzel zu wählen, das den größeren reellen Wert für λ_{V1} liefert. Die Werte i_M , i_p , y_M , c , s , s_0 , β und β_0 sind den Abschnitten 7.5.2. bis 7.5.2.2. zu entnehmen. Der Querschnittswert r_x hat die Größe:

$$r_x = \int \frac{y (x^2 + y^2) \cdot dF}{J_x}$$

und wird bei punkt- und doppelsymmetrischen Profilen zu Null.

Für Querschnitte nach Bild 9a und 9b wird:

$$r_x = \frac{1}{J_x} \left\{ y_M \cdot J_y + F_1 \cdot e^3 - F_2 (h - e)^3 + \frac{t_3}{4} [e^4 - (h - e)^4] \right\}$$

Für Querschnitte nach Bild 9c wird:

$$r_x = \frac{1}{J_x} \left\{ e (F_3 \cdot e^2 + J_3) + (2e - h) \cdot J_1 + \frac{t_1}{2} [e^4 - (h - e)^4] \right\}$$

Für das aus den Hauptachsen gebildete Koordinatensystem können a , y_M und r_x positiv oder negativ sein.

10.1.3. Für $a = y_M$, das heißt für Kraftangriff im Schubmittelpunkt wird der ideelle Schlankheitsgrad:

$$\lambda_{V1} = \frac{\beta \cdot s}{i_y} \sqrt{\frac{i_M^2 + y_M (r_x - 2 y_M)}{c^2}}$$

$$\text{oder } \lambda v_1 = \frac{\beta \cdot s}{1_y}$$

Der größte Wert ist maßgebend, siehe Abschnitt 3.2.

10.1.4. Wird ein planmäßig außermittig gedrückter Stab seitlich gegen Ausbiegung gehalten, z. B. durch einen gelenkig angeschlossenen Längsverband, der von der Stabachse den Abstand f in Richtung der y -Achse hat, dann ist die mögliche Biegedrillknickung von der Lage des Verbandes abhängig. Für diesen Fall wird der ideelle Schlankheitsgrad:

$$\lambda v_1 = \frac{\beta \cdot s}{1_y} \sqrt{\frac{1_p^2 + f^2 + a (r_x - 2 f)}{c^2 + (f - y_M)^2}}$$

Ist im besonderen

$$a = \frac{1_p^2 + f^2}{2 f - r_x}$$

dann wird $\lambda v_1 = 0$ und das Biegedrillknicken unmöglich.

10.2. Tragsicherheitsnachweis planmäßig außermittig gedrückter Stäbe nach der Theorie II. Ordnung

An Stelle des in Abschnitt 10.1. und 10.2. der TGL 13 503 Bl.1 geforderten Nachweises darf der Tragsicherheitsnachweis nach Theorie II. Ordnung auch in der Form erbracht werden, daß unter ν -facher Belastung und unter Berücksichtigung der Verformungen die größte Spannung die Fließgrenze nicht überschreitet. Die planmäßige und die ungewollte Vorverformung des Tragwerkes ist dabei mit zu berücksichtigen. Die Sicherheitszahlen (ν) sind Abschnitt 10.1. der TGL 13 503 Bl.1 zu entnehmen. Dieser Nachweis setzt voraus, daß nicht die Biegedrillknickung nach Abschnitt 10.1. maßgebend wird. Statt Erreichens der Fließspannung kann auch das Erreichen der Knick- oder Beulspannung eines Einzeltragteiles maßgebend werden, siehe Abschnitt 10.10 der TGL 13 503 Bl.1. Bei geringem Einfluß des Biegemomentes darf mit λy_1 und $\omega_1 = 1$ gerechnet werden, wenn die Bedingungen des Abschnittes 8.2.1.2. oder 8.2.3.1. der TGL 13 503 Bl.1 für $s_1/1_1$ erfüllt sind.

10.3. Querkräfte in mehrteiligen Druckstäben

Der Nachweis nach Abschnitt 10.11. der TGL 13 503 Bl.1 darf auch in der Form geführt werden, daß unter der ν -fachen Belastung mit Berücksichtigung der Verformung die ν -fache zulässige Last der einzelnen Bauteile und Anschlüsse nicht überschritten wird. Die Vorverformung des Tragwerkes (u) ist dabei mit zu berücksichtigen. Für im Fundament eingespannte mehrteilige Stützen ist folgende Näherungsrechnung zulässig:

Unter der gesamten Querlast (Q) müssen die zulässigen Spannungen eingehalten werden.

$$Q = H + \nu P \cdot \frac{2 w}{1}$$

Hierbei bedeuten:

H äußere Querlast

P gesamte Vertikallast

γ nach TGL 13 503 Bl.1

l Stützenlänge

w gesamte waagerechte Verschiebung,
die sich zusammensetzt aus den
Anteilen
aus vertikaler Last P:

$$w_P = \frac{l \cdot \Delta l}{2 b}$$

Δl Verkürzung eines Stieles gegenüber
dem anderen bei ungleicher Belastung
aus horizontaler Last H:

$$w_H = \frac{H \cdot l^3}{3 \cdot EI}$$

Bei Fachwerkstützen darf näherungsweise
 $I = 0,7 F \left(\frac{b}{2}\right)^2$ angenommen werden, wobei F die
Fläche beider Stiele ist.

Aus ungewollter Außermittigkeit (u)

$$u = \mu_0 \frac{l^2}{e}, \quad \mu_0 \approx 1 \approx \frac{b}{2}$$

Für $\lambda \leq 100$ wird $u = 0,25 \frac{s_K}{100} \cdot \frac{l^2}{e} = \frac{s_K}{400} = \frac{1}{200}$

$$w = w_P + w_H + u$$

Die Vergrößerungsfunktion (f) ist bei diesem Näherungsverfahren nicht berücksichtigt, weil sie bei geringer Schlankheit wenig Einfluß hat. Bei schlanken Stützen muß in einem zweiten Iterationsschritt die Verformung w korrigiert werden, indem näherungsweise Q als H angesetzt und w_H neu berechnet wird.

Erläuterungen zu Abschnitt 12. der TGL 13 503 Bl.1

12.1. Näherungsverfahren zur Knickberechnung der Druckgurte offener Brücken (Trogbrücken)

12.1.1. Bei offenen Fachwerkbrücken sind die einzelnen Stäbe des Druckgurtes auf Knicken aus der Hauptträgersebene mit der Knicklänge $s_K = \beta \cdot s$ zu berechnen. Dabei muß $\beta \geq 1,2$ sein, weil sonst das Näherungsverfahren, dem die vereinfachende Annahme stetiger Verteilung gleichgroßen Bettungsdruckes, Rahmenwiderstand (H_1) geteilt durch Feldweite des Hauptträgers, zugrunde liegt, nicht mehr genau genug ist. Als obere Grenze empfiehlt sich aus konstruktiv-wirtschaftlichen Gründen $\beta = 3$. Innerhalb der Grenzen $1,2 \leq \beta \leq 3$ können große Werte β durch steife Gurte und schwache Rahmen, kleine Werte β durch schwache Gurte und steife Rahmen den gleichen Knickwiderstand des Druckgurtes gegen Knicken aus der Fachwerkebene erreichen.

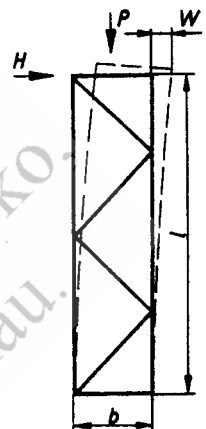


Bild 15

12.1.2. Je nachdem, ob das Näherungsverfahren als Nachrechnung, z. B. einer bestehenden Brücke, oder als Neuberechnung, z. B. des Entwurfes einer Brücke, angewandt wird, sind zwei Wege zu unterscheiden, die sich nochmals unterteilen in den Fall a, bei dem die Endpunkte der Druckgurtungen rechtwinklig zur Hauptträgerene unverrückbar sind und in den Fall b, bei dem auch die Endpunkte der Druckgurtungen rechtwinklig zur Hauptträgerene durch Halbrahmen (Endrahmen) elastisch gestützt sind.

Erster Weg: **N a c h r e c h n u n g d e s D r u c k g u r t e s .**

In diesem Falle sind die Gurtquerschnittsflächen (F), die dazu gehörenden Trägheitsmomente (J_y) und die Druckkräfte (N) der einzelnen Stäbe bekannt. Um eine volle Ausnutzung der zugrunde gelegten zulässigen Spannung ($zul\ \sigma$) zu ermöglichen, sind zunächst der Reihe nach für alle Gurtstäbe die Knickzahlen

$$\omega_y = \frac{F \cdot \overset{N_{100}}{zul\ \sigma}}{N}$$

$$N = \frac{M \cdot S_1}{\lambda_x}$$

Vgl. Förderbau in
DW-Schnellzug

zu berechnen und dann aus den Tabellen 1a bis 4b der TGL 13 503 Bl.1 die zugeordneten Schlankheitsgrade (λ_y) zu ermitteln. Für den größten dieser Schlankheitsgrade (λ_y) und den betreffenden Baustahl liefert Tabelle 1 die maßgebende Knicksicherheitszahl ν_K . Anschließend sind die den einzelnen Gurtstäben zugeordneten Beiwerte aus

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

zu berechnen und dann das arithmetische Mittel β_m dieser Werte zu bilden. Damit sind alle Größen bekannt, die nach der **E n g e ß e r -** Formel zur Berechnung von

$$H_0 = \frac{2,5 \cdot \nu_K}{\beta_m^2} \cdot \frac{\max N}{\min s}$$

nötig sind. Nun werden die Rahmenwiderstände H_1 und erforderlichenfalls H_2 in Mp/cm ermittelt. Sie ergeben sich als Kehrwerte der seitlichen Verschiebung infolge einer Seitenkraft gleich 1 Mp nach Bild 12 der TGL 13 503 Bl.1 und dürfen an Stelle einer genaueren Berechnung zu

$$H = \frac{1}{v} = \frac{E}{\frac{h^3}{3 J_v} + \frac{h^2 b_q}{2 J_q}}$$

berechnet werden, worin für die über ihre Stab- oder Trägerlänge veränderlichen Trägheitsmomente J_v und J_q mittlere Werte einzusetzen sind. Um H in Mp/cm zu erhalten, sind h , h_v , b_q in cm und J_v , J_q in cm^4 einzuführen; für den Elastizitätsmodul gilt

$$E = 2100 \text{ Mp/cm}^2.$$

Fall a) Sind die Endpunkte der Druckgurtungen rechtwinklig zur Haupttr gerebene unverrückbar, so sind $H_2 = c_2 = \infty$, $c_1 = 1$, und es müssen nur die Widerstände H_1 der Zwischenrahmen berechnet werden. Ist keiner dieser Werte H_1 kleiner als der vorher nach der **E n g e   e r** - Formel berechnete Wert H_0 , so genügt die Seitensteifigkeit des Druckgurtes der TGL 13 503 Bl.1.

Fall b) Sind auch die Endpunkte der Druckgurtungen rechtwinklig zur Haupttr gerebene nur elastisch gestützt, so sind außer den Widerständen H_1 für die Zwischenrahmen auch noch die Widerstände H_2 für die Endrahmen zu berechnen. Mit dem kleinsten der Zwischenrahmenwiderst nde $\min H_1$ ergibt sich das Verhältnis

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

mit dessen Hilfe die Beiwerte c_1 und c_2 aus

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

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

berechnet werden können. Die Vorschriften sind erfüllt, wenn für jeden Zwischenrahmen

$$H_1 \cong c_1 \cdot H_0$$

und für die Endrahmen

$$H_2 \cong c_2 \cdot H_0$$

ist.

Zweiter Weg: **N e u b e r e c h n u n g d e s D r u c k g u r t e s .**
In diesem Falle sind die einzelnen Druckgurtst be gegen Knicken in der Haupttr gerebene mit $s_{Kx} = s$ und gegen Knicken rechtwinklig zur Haupttr gerebene mit $s_{Ky} = \beta \cdot s$ zu bemessen, wobei man allen Druckstäben den gleichen Beiwert β zuordnet, der so gewählt werden darf, daß $1,20 \leq \beta \leq 3,00$ ist. Nach der Wahl der Gurtquerschnitte sind für sämtliche Gurtstäbe die Knickzahlen.

$$\omega_y = \frac{F \cdot \text{zul } \sigma}{N}$$

zu berechnen und den Tabellen 1a bis 4b der TGL 13 503 Bl.1 die entsprechenden Schlankheitsgrade (λ_y) zu entnehmen. Für den gr o ten dieser Schlankheitsgrade (λ_y) und den betreffenden Baustahl liefert Tabelle 1 die maßgebende Knicksicherheitszahl γ_K . Anschließend sind die den einzelnen Gurtstäben zugeordneten Beiwerte β aus

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

zu berechnen. Durch geeignete Wahl der Querschnittsgrößen F und J_y ist anzustreben, daß sich die den einzelnen Gurtstäben zugeordneten Beiwerte β nur wenig voneinander unterscheiden.

Als arithmetisches Mittel dieser β -Werte erhält man β_m . Damit sind alle Größen bekannt, die nach der **E n g e l s e r**-Formel zur Berechnung von

$$H_0 = \frac{2,5 \nu_K}{\beta_m^2} \cdot \frac{\max N}{\min s}$$

nötig sind.

Nun werden die Rahmenwiderstände H_1 und erforderlichenfalls H_2 in Mp/cm ermittelt. Sie ergeben sich als Kehrwert der seitlichen Verschiebung infolge einer Seitenkraft gleich 1 Mp nach Bild 12 der TGL 13 503 Bl.1 und dürfen an Stelle einer genaueren Berechnung zu

$$H = \frac{1}{v} = \frac{E}{\frac{h^2}{3 J_v} + \frac{h^2 b_q}{2 J_q}}$$

berechnet werden, worin für die über ihre Stab- oder Trägerlänge veränderlichen Trägheitsmomente J_v und J_q mittlere Werte einzusetzen sind. Um H in Mp/cm zu erhalten, sind h , h_v , b_q in cm und J_v , J_q in cm^4 einzuführen; für den Elastizitätsmodul gilt

$$E = 2100 \text{ Mp/cm}^2.$$

Fall a) Sind die Endpunkte der Druckgurtungen rechtwinklig zur Hauptträgerene unverrückbar, so sind $H_2 = c_2 = \infty$, $c_1 = 1$, und es müssen nur die Widerstände H_1 der Zwischenrahmen berechnet werden. Ist keiner dieser Werte H_1 kleiner als der vorher nach der **E n g e l s e r**-Formel berechnete Wert H_0 , so genügt die Seitensteifigkeit der Druckgurtung.

Fall b) Sind auch die Endpunkte der Druckgurtungen rechtwinklig zur Hauptträgerene nur elastisch gestützt, so sind außer den Widerständen H_1 für die Zwischenrahmen auch noch die Widerstände H_2 für die Endrahmen zu berechnen. Es wird der Beiwert c_1 innerhalb der wirtschaftlich gebotenen Grenzen $1,1 < c_1 < 1,5$ gewählt, mit dem sich der Beiwert c_2 zu

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

ergibt. Die Forderungen sind erfüllt, wenn für jeden Zwischenrahmen

$$H_1 \cong c_1 \cdot H_0$$

und für die Endrahmen

$$H_2 \cong c_2 \cdot H_0$$

ist.

Diese Beziehungen lassen erkennen, daß der Beiwert c_2 bei festgehaltenem β_m um so kleiner ist, je größer c_1 angenommen wird. Demnach können die Endrahmen um so weicher (leichter) sein, je steifer (schwerer) die Zwischen-

rahmen ausgebildet werden und umgekehrt. Die weichsten (leichtesten) Zwischenrahmen erhält man, wenn die Endpunkte der Druckgurtungen rechtwinklig zur Hauptträgerene unverrückbar sind. Je steifer der Druckgurt ausgebildet wird, um so weicher dürfen die Halbrahmen sein.

Ergeben sich für den Widerstand H_2 der Endrahmen zu große Werte, sind also danach die Endrahmen zu schwer, so ist die Rechnung mit einem größeren Beiwert c_1 innerhalb der Grenzen $1,1 < c_1 < 1,5$ zu wiederholen, wodurch die Zwischenrahmen schwerer werden. Ergeben sich sowohl Endrahmen als auch Zwischenrahmen zu schwer, so ist der Beiwert β innerhalb der Grenzen $1,2 \leq \beta \leq 3,0$ größer zu wählen, wodurch der Druckgurt steifer, also J_y größer wird. Ein Wert $c_1 > 1,5$ kommt in Betracht, wenn trotz hohem Wert m , also trotz großer Gurtsteifigkeit, die Zwischenrahmen zu verstärken sind, um leichte Endrahmen zu erhalten.

12.2. Genauere Knickberechnung der Druckgurte offener Brücken

12.2.1. Die genauere Knickberechnung der Druckgurte offener Brücken darf mit Hilfe des in Abschnitt 7.8. geschilderten Verfahrens durchgeführt werden. Die einzelnen Knotenpunkte des Druckgurtes werden, ähnlich wie in Bild 11a, der Reihe nach mit a, b, c ... bezeichnet, und die von Knoten zu Knoten reichenden Gurtstäbe haben der Reihe nach die Längen $s_{ab}, s_{bc} \dots$, die, als **D r u c k k r ä f t e** vorausgesetzt und mit ihren Absolutwerten eingeführt, Normalkräfte N_{ab}, N_{bc}, \dots , die Querschnittsflächen F_{ab}, F_{bc}, \dots , und die, auf die lotrechte Hauptachse bezogenen, Querschnittsträgheitsmomente J_{ab}, J_{bc}, \dots . Die drei jedem Stab zugeordneten Hilfsgrößen $A_{ab}, B_{ab}, C_{ab}, A_{bc}, B_{bc}, C_{bc}, \dots$ sind wieder zu berechnen nach den in Abschnitt 7.8. angeführten Formeln mit Hilfe der Tabelle 4 und der in Abschnitt 7.4. angegebenen Beziehung für die Knickmoduli T_{ab}, T_{bc}, \dots , wobei ν_K die Knicksicherheitszahl des Druckgurtes bedeutet. Die bezogenen Verschiebungen $v_a, v_b \dots$ der den Druckgurt stützenden Querrahmen sind mit Hilfe der in Abschnitt 12.1.2. angegebenen Beziehung zu bestimmen und in der Form $\mu \cdot v_a, \mu \cdot v_b, \dots$ einzuführen, wobei μ die Stützensicherheitszahl ist. Alle Kräfte sind in Mp und alle Längen in cm einzusetzen. Bei T-Gurten ist für das Querschnittsträgheitsmoment der abgeminderte Wert J_y^* nach Abschnitt 12.1. der TGL 13 503 Bl.1 einzuführen.

12.2.2. Die Knicksicherheitszahl ν_K der Druckgurte offener Brücken braucht in der Regel nur für den Grenzlasterfall H nachgewiesen zu werden und muß $\nu_K \geq 2$ betragen.

12.2.3. Die in Abschnitt 7.8.2. erwähnten linearen und homogenen Gleichgewichtsbedingungen sind anzuschreiben und durch den Stabdrehwinkel ψ_{ab} zu dividieren; die Quotienten

$$x = \frac{\varphi_b}{\psi_{ab}}, \quad y = \frac{\varphi_c}{\psi_{ab}}, \quad \xi = \frac{\psi_{bc}}{\psi_{ab}}, \quad \eta = \frac{\psi_{cd}}{\psi_{ab}}$$

$$\dots \text{ und } \bar{y}_d = \frac{y_d}{\psi_{ab}}$$

stellen dann die **n e u e n** Unbekannten dar, siehe Abschnitt 7.8.3. Diese neuen Unbekannten sind der Reihe nach zu eliminieren; die letzte so erhaltene Gleichung erhält nur noch die beiden Parameter ν_K, μ und ist die gesuchte Knickbedingung. Für den Nachweis der Knicksicherheit genügt es, die

Zahl $\nu_K = 2$ in der Knickbedingung einzuführen und die kleinste positive Lösung μ der Knickbedingung aufzusuchen. Ergibt sich $\mu \geq 1$, so ist die geforderte 2fache Knicksicherheit erreicht oder überschritten, als o j e d e n f a l l s g e w ä h r l e i s t e t. Ergibt sich $\mu < 1$, so muß die Biegesteifigkeit der Querrahmen, entweder aller Querrahmen oder nur einzelner Querrahmen, oder die Biegesteifigkeit des Druckgurtes, entweder aller Gurtstäbe oder nur einzelner Gurtstäbe, erhöht werden.

12.2.4. Bei offenen Brücken, die zur Mitte der Stützweite s y m m e t r i s c h sind, kann der Druckgurt symmetrisch oder antimetrisch ausknicken, so daß die Stützensicherheitszahl μ für b e i d e F ä l l e berechnet werden muß; hierbei darf sich die Untersuchung auf eine G u r t - h ä l f t e beschränken.

12.2.5. Die im Abschnitt 12.2.3. erwähnten, in den neuen Unbekannten x , ξ angeschriebenen Gleichungen lauten für den s y m m e t r i s c h e n Knickfall des in Bild 16a dargestellten symmetrischen v i e r f e l d r i - g e n Druckgurtes:

$$\left\{ \begin{array}{l} C_{ab} (x - 1) + [A_{bc} \cdot x - (A_{bc} + B_{bc}) \cdot \xi] = 0, \\ \bar{y}_c + s_{ab} + s_{bc} \cdot \xi - \mu \cdot v_a \cdot \left[\nu_K \cdot N_{ab} + \frac{C_{ab}}{s_{ab}} (x - 1) \right] = 0, \\ \bar{y}_c + s_{bc} \cdot \xi - \mu \cdot v_b \cdot \left[\nu_K \cdot N_{ab} + \frac{C_{ab}}{s_{ab}} (x - 1) - \nu_K \cdot N_{bc} \cdot \xi - \frac{1}{s_{bc}} (A_{bc} + B_{bc}) (x - 2\xi) \right] = 0. \end{array} \right.$$

Hierbei ist:

$$\bar{y}_c = - 2 \mu \cdot v_c \left[\nu_K \cdot N_{bc} \cdot \xi + \frac{1}{s_{bc}} (A_{bc} + B_{bc}) (x - 2\xi) \right]$$

Das dem a n t i m e t r i s c h e n Knickfall zugeordnete Gleichungssystem wird aus dem angeschriebenen gewonnen, indem $y_c = 0$ gesetzt und sowohl in der ersten Zeile an Stelle des in eckigen Klammern stehenden Ausdruckes als auch in der dritten Zeile an Stelle des Ausdruckes $(A_{bc} + B_{bc}) \cdot (x - 2\xi)$ einfach $C_{bc} \cdot (x - \xi)$ eingeführt wird. In beiden Gleichungssystemen sind nach dem Einsetzen der geforderten Knicksicherheitszahl $\nu_K = 2$ und der Berechnung der Hilfsgrößen A, B, C die Unbekannten x und ξ zu eliminieren und aus den so erhaltenen beiden Knickbedingungen je die k l e i n s t e positive Lösung μ aufzusuchen. Ergibt sich für beide Lösungswerte $\mu \geq 1$, so ist die zweifache Knicksicherheit gewährleistet. Sind bei der untersuchten Brücke die Endpunkte a des Druckgurtes seitlich unverschiebbar festgehalten, siehe Bild 16b, so ist in beiden Gleichungssystemen $v_a = 0$ zu setzen.

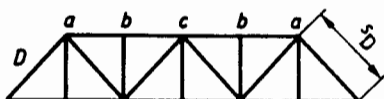


Bild 16a

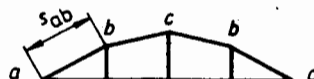


Bild 16b

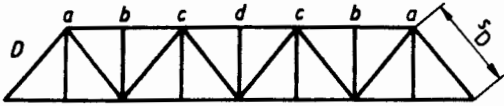


Bild 16c

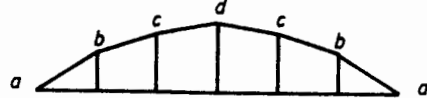


Bild 16d

12.2.6. Die in Abschnitt 12.2.3. erwähnten Gleichungen lauten für den symmetrischen Knickfall des in Bild 16c dargestellten symmetrischen sechsfeldrigen Druckgurtes

$$G_{ab} (x - 1) + A_{bc} \cdot x + B_{bc} \cdot y - (A_{bc} + B_{bc}) \cdot \xi = 0,$$

$$A_{bc} \cdot y + B_{bc} \cdot x - (A_{bc} + B_{bc}) \cdot \xi + \left[A_{cd} \cdot y - (A_{cd} + B_{cd}) \eta \right] = 0,$$

$$(y_d + s_{ab} + s_{bc} \cdot \xi + s_{cd} \cdot \eta) - \mu \cdot v_a \cdot \left[v_K \cdot N_{ab} + \frac{G_{ab}}{s_{ab}} (x - 1) \right] = 0,$$

$$\bar{y}_d + s_{bc} \cdot \xi + s_{cd} \cdot \eta + \mu \cdot v_b \cdot \left[v_K \cdot N_{ab} + \frac{G_{ab}}{s_{ab}} (x - 1) - v_K \cdot N_{bc} \cdot \xi - \frac{1}{s_{bc}} (A_{bc} + B_{bc}) \cdot (x + y - 2\xi) \right] = 0,$$

$$\bar{y}_d + s_{cd} \cdot \eta + \mu \cdot v_c \cdot \left[v_K \cdot N_{bc} \cdot \xi + \frac{1}{s_{bc}} (A_{bc} + B_{bc}) \cdot (x + y - 2\xi) - v_K \cdot N_{cd} \cdot \eta - \frac{1}{s_{cd}} (A_{cd} + B_{cd}) \cdot (y - 2\eta) \right] = 0.$$

Hierbei ist:

$$\bar{y}_d = -2 \mu \cdot v_d \cdot \left[v_K \cdot N_{cd} \cdot \eta + \frac{1}{s_{cd}} (A_{cd} + B_{cd}) \cdot (y - 2\eta) \right]$$

Das dem antimetrischen Knickfall zugeordnete Gleichungssystem wird aus dem angeschriebenen Gleichungssystem gewonnen, indem $\bar{y}_d = 0$ gesetzt und sowohl in der zweiten Zeile an Stelle des in eckigen Klammern stehenden Ausdruckes als auch in der fünften Zeile an Stelle des Ausdruckes $(A_{cd} + B_{cd}) \cdot (y - 2\eta)$ einfach $G_{cd} \cdot (y - \eta)$ eingeführt wird. In beiden Gleichungssystemen sind nach dem Einsetzen der geforderten Knicksicherheitszahl $v_K = 2$ und der Berechnung der Hilfsgrößen A, B, C die Unbekannten x, y, ξ , η der Reihe nach zu eliminieren und aus den so erhaltenen beiden Knickbedingungen je die kleinste positive Lösung μ aufzusuchen. Ergibt sich für beide Lösungswerte $\mu \geq 1$, so ist die zweifache Knicksicherheit gewährleistet. Sind bei der untersuchten Brücke die

Endpunkte a des Druckgurtes seitlich unverschiebbar festgehalten, siehe Bild 16d, so ist in beiden Gleichungssystemen $v_a = 0$ zu setzen.

Erläuterungen zu Abschnitt 13. der TGL 13 503 Bl.1

13.1. Knickung symmetrischer Parabelbogen in der Bogenebene

13.1.1. Bei der Zugrundelegung der Vorschriften 13.1. gleicht der kritische Bogenschub H , unter dem ein symmetrischer Parabelbogen mit gleichbleibendem Querschnitt und lotrecht, gleichmäßig über die Stützweite (1) verteilter Vollbelastung in seiner Ebene ausknickt, der Knicklast eines geraden Stabes, der denselben Querschnitt wie der Bogen hat, die Knicklänge $s_K = \beta_H \cdot s$ aufweist und in Richtung der gleichen Hauptachse wie der Bogen ausknickt; s bedeutet hierbei die halbe Bogenlänge und β_H ist aus der Tabelle 5 zu entnehmen, wobei Zwischenwerte geradlinig eingeschaltet werden dürfen¹⁾.

Tabelle 5 β_H -Werte

	β_H				
	r/l				
	0,05	0,20	0,30	0,40	0,50
Dreigelenkbogen	1,20	1,20	1,22	1,35	1,48
Zweigelenkbogen	1,00	1,10	1,22	1,35	1,48
Eingespannter Bogen	0,70	0,75	0,80	0,85	0,90

Ähnlich wie bei der Knickkraft gedrückter Stäbe, siehe Abschnitt 7., sind auch beim kritischen Bogenschub von Bogenträgern zu unterscheiden ein idealer Wert H_{K1} , ein Engescher Wert H_K und ein, durch die "praktisch unvermeidbaren" Abweichungen von den Voraussetzungen der idealisierten Theorie bedingter, Traglastwert H_{Kr} .

13.1.2. Bogenträger mit veränderlichem Querschnittsträgheitsmoment, jedoch nur wenig veränderlicher Querschnittsfläche (F) unterliegen Abschnitt 13.1.3. der TGL 13 503 Bl.1. Der Mittelwert $J_x = F \cdot i_x^2$ des Querschnittsträgheitsmomentes darf hierbei nach Abschnitt 7.6. berechnet oder aber als das unveränderliche Querschnittsträgheitsmoment jenes geraden Stabes angesehen werden, der die Netz-Länge (s) hat, balkenartig gelagert ist und unter einer in Balkenmitte wirkenden Querlast P , siehe Bild 17, dieselbe Durchbiegung (y) wie der linke Halbbogen erfährt, wenn dieser gerade gestreckt und mit derselben Last P querbelastet ist; bei Drei- und Zwei-

¹⁾ Bedeutet φ den Tangentenneigungswinkel des Bogens im Viertelpunkt, so gilt für den Parabelbogen

$$\cos \varphi = 1 / \sqrt{1 + 4 r^2 / l^2} \text{ und } N_v = H / \cos \varphi, \text{ so daß die in der Tabelle 7 der TGL 13 503 Bl.1 angegebenen Werte } \beta \text{ mit den Werten } \beta_H \text{ durch die Beziehung } \beta = \beta_H \cdot \sqrt{\cos \varphi} \text{ verknüpft werden.}$$

gelenkbogen sind die beiden Stäbe beiderseitig gelenkig zu lagern, bei eingespannten Bogen sind sie links einzuspannen und rechts gelenkig zu lagern.

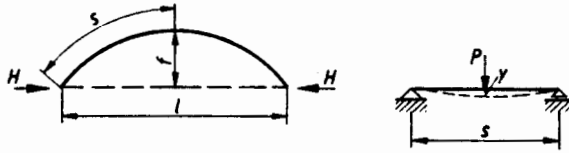


Bild 17

13.1.3. Bei stark veränderlicher Normalkraft ist der durch Abschnitt 13.1.1. der TGL 13 503 Bl.1 festgelegte Ersatzstab nach Abschnitt 7.7. zu berechnen; demgemäß ist seine Länge $\beta \cdot s$ noch mit dem aus Tabelle 3 zu entnehmenden Wurzelwert zu multiplizieren. Bei stark veränderlicher Querschnittsfläche (F) und auch im Fall einer federnden Querstützung des Bogens in der Bogenebene darf die Knickberechnung des Ersatzstabes nach Abschnitt 7.8. durchgeführt werden.

Erläuterungen zu Abschnitt 14. der TGL 13 503 Bl.1

14.1. Knicklänge der Stiele einfeldrig-mehrstöckiger und mehrfeldrig-einstöckiger Rechteckrahmen sowie von Rechteckrahmen mit belasteten Pendelstützen

Im folgenden werden Näherungsformeln für die Knicklänge $s_K = \beta \cdot h$ dieser Rahmen angegeben. Die Formeln beziehen sich auf den Fall der Knickung in der Rahmenebene. Abschnitt 14.2. der TGL 13 503 Bl.1 bleibt hierzu unverändert gültig.

14.1.1. Für freistehende einfeldrig-zweistöckige Rahmen mit fest eingespannten Stielfüßen, siehe Bild 18a, darf gesetzt werden:

$$\beta = \sqrt{\frac{1}{2} (1 + m) \cdot \sqrt{1 + 12,5 \alpha + 0,89 \cdot (1 - \alpha) \cdot c - 0,003 \cdot (1 - \alpha) \cdot c^3}}$$

14.1.2. Für freistehende einfeldrig-mehrstöckige Rahmen mit fest eingespannten Stielfüßen, siehe Bild 18b, darf gesetzt werden:

$$\beta_{0,1} = \frac{\sum_{m=0}^{n-1} d_m + R_n}{\sum_{m=0}^{n-1} k_m}$$

$$\beta_{m, m+1} = \beta_{0,1} \cdot q_m$$

$$d_m = \frac{P_{m, m+1} \cdot h_{m, m+1}}{P_{0,1} \cdot h_{0,1}}$$

$$R_n = - \frac{c}{6} \left[\frac{n}{2} r_m + k_{n-1}^2 \cdot \frac{J_1}{J_n} \right] + 0,6 n (3 n^2 - 1) \alpha$$

$$c = \frac{J_{0,1} \cdot b}{J_1 \cdot h_{0,1}} ; \quad \alpha = \frac{4 \cdot J_{0,1}}{b^2 \cdot P_{0,1}}$$

$$r_m = k_{m-2}^2 (1 + x_{m-1})^2 \frac{J_1}{J_{m-1}}$$

$$k_m = \sqrt{\frac{J_{m, m+1} \cdot P_{m, m+1}}{J_{0,1} \cdot P_{0,1}}} = k_{m-1} \cdot x_m$$

$$x_m = \sqrt{\frac{J_{m, m+1} \cdot P_{m, m+1}}{J_{m-1, m} \cdot P_{m-1, m}}}$$

$$q_m = \frac{h_{0,1}}{h_{m, m+1}} \cdot \sqrt{\frac{J_{m, m+1} \cdot P_{0,1}}{J_{0,1} \cdot P_{m, m+1}}}$$

$$d_0 = x_0 = k_0 = q_0 = 1 ; \quad d_n = x_n = k_n = q_n = 0.$$

Der Wert $\beta_{0,1}$ ist der Reihe nach für n Stockwerke, $n-1$ Stockwerke, das heißt unter Vernachlässigung der Wirkung des obersten, $n-2$, usw. zu ermitteln. Der größte Wert ist maßgebend. Gültigkeitsbereich $\beta_{0,1} \leq 2$.

14.1.3. Für freistehende mehrfeldrig-einstückige Rahmen mit fest eingespannten Stielfüßen darf gesetzt werden:

Bei 2 Feldern, siehe Bild 19a

$$\beta = \frac{1 + 0,4 c_n}{1 + 0,2 c_n} \sqrt{\frac{2 + p}{2 + t}}$$

bei 3 Feldern, siehe Bild 19b

$$\beta = \frac{1 + 0,4 c_n}{1 + 0,2 c_n} \sqrt{\frac{1 + p}{1 + t}}$$

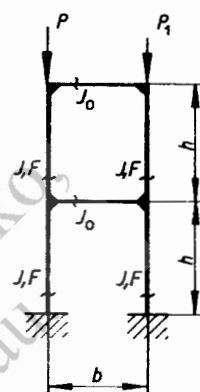


Bild 18a

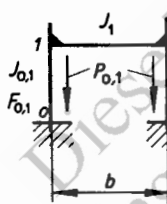
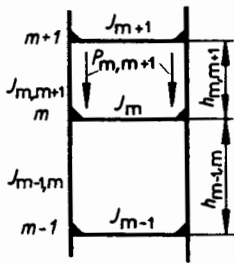
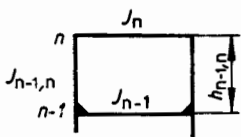


Bild 18b

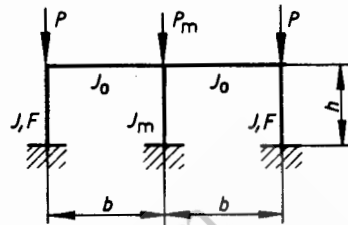


Bild 19a

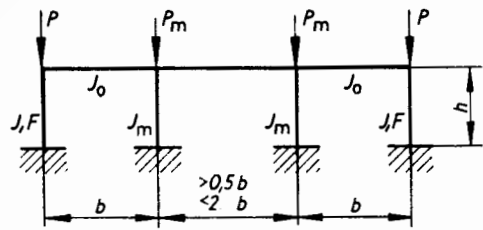


Bild 19b

In beiden Fällen ist

$$c_n = c + \frac{9}{4} \alpha; \quad c = \frac{J \cdot b}{J_0 \cdot h}; \quad p = \frac{P_m}{P};$$

$$t = \frac{J_m}{J}; \quad \beta_m = \beta \sqrt{\frac{t}{p}}; \quad \alpha = \frac{4 \cdot J}{b^2 \cdot F}$$

Gültigkeitsbereich: $\beta \leq 3$.

Bei gelenkiger Lagerung der StielfüÙe tritt an Stelle des Wertes

$$\frac{1 + 0,4 e_n}{1 + 0,2 e_n} \quad \text{der Wert} \quad \frac{6 + 1,2 e_n}{3 + 0,1 e_n}$$

Gultigkeitsbereich: $\beta \leq 6$.

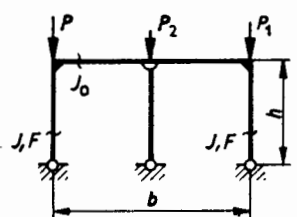


Bild 20a

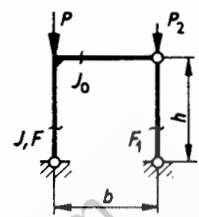


Bild 20b

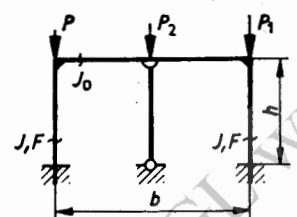


Bild 20c

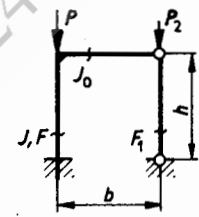


Bild 20d

14.1.4. Wird in einen freistehenden, einstückigen Rechteckrahmen mit gelenkig gelagerten StielfüÙen ausnahmsweise eine Pendelstütze eingebaut, siehe Bild 20a, und wird diese Pendelstütze durch eine lotrechte, während des Ausknickens lotrecht bleibende Kraft $P_2 = n \cdot P$ mit $n \leq 2$ belastet, so muß der nach Abschnitt 14.2.3. der TGL 13 503 Bl.1 berechnete Beiwert β noch mit dem Faktor

$$\sqrt{1 + 0,48 \cdot n}$$

multipliziert werden. Bei einhäufigen Rahmen nach Bild 20b ist der nach Abschnitt 14.2.3. der TGL 13 503 Bl.1 für einhäufige Rahmen berechnete Beiwert β noch mit dem Faktor

$$\sqrt{1 + 0,96 \cdot n}$$

zu vervielfachen.

14.1.5. Wird in einen freistehenden, einstückigen Rechteckrahmen mit eingespannten Stiefüßen ausnahmsweise eine Pendelstütze eingebaut, siehe Bild 20c, und wird diese Pendelstütze durch eine lotrechte, während des Ausknickens lotrecht bleibende Kraft $P_2 = n \cdot P$ mit $n \leq 2$ belastet, so muß der nach Abschnitt 14.2.4, der TGL 13 503 Bl.1 berechnete Beiwert β noch mit dem Faktor

$$\sqrt{1 + 0,43 \cdot n}$$

multipliziert werden. Bei einhüftigen Rahmen nach Bild 20d ist der nach Abschnitt 14.2.4, der TGL 13 503 Bl.1 für einhüftige Rahmen berechnete Beiwert β noch mit dem Faktor

$$\sqrt{1 + 0,86 \cdot n}$$

zu vervielfachen.

14.1.6. 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, der TGL 13 503 Bl.1 zu bemessen. Die Knickzahl (ω) ist hierbei einem Schlankheitsgrad (λ) zuzuordnen, der unter Verwendung der in Abschnitt 14.2.1. bis 14.2.5. der TGL 13 503 Bl.1 angegebenen Beziehungen für die Zahl β berechnet werden darf.

14.2. Knicklänge der Stiele von Dreieckrahmen

Bei dreieckigen Rahmen, die durch lotrechte, schräge oder waagerechte Spitzenkräfte belastet werden, siehe Bild 21, müssen die Stielquerschnitte - um ein Ausknicken des Rahmens in seiner Ebene zu vermeiden - der Bedingung

$$\frac{N_1}{F} \leq \frac{\text{zul } \sigma}{\omega}$$

genügen.

Hierbei bedeutet:

N_1 größte vorhandene Druckkraft
 ω aus Tabelle 1a bis 4b der TGL 13 503 Bl.1 zu entnehmende, dem Schlankheitsgrad

$$\lambda = s_K \cdot \sqrt{\frac{F}{J}} \quad \text{zugeordnete Knickzahl}$$

$s_K = \beta \cdot s$ Knicklänge des Stieles

zul σ die dem untersuchten Belastungsfall und der gewählten Baustahlerte entsprechende zulässige Druckspannung

F und J Fläche und das bei Ausbiegungen in der Rahmenebene wirksame Trägheitsmoment des unverschwächten Stielquerschnittes

β Beiwert, der vom Verhältnis N_2/N_1 der in den beiden Stielen auftretenden Normalkräfte abhängt.

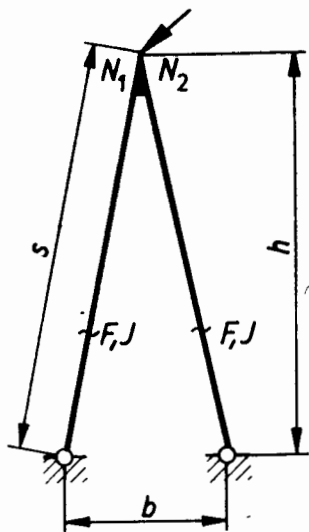


Bild 21a

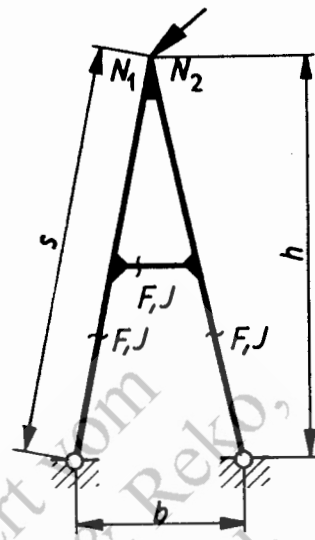


Bild 21b

Bei lotrechter Spitzenlast ist $N_2/N_1 = +1$, bei waagerechter Spitzenlast ist $N_2/N_1 = -1$ und bei schrägen Spitzenlasten liegt N_2/N_1 zwischen $+1$ und -1 . Für Dreieckrahmen mit Fußgelenken, deren Abstand der Bedingung $0,3 \cdot h \leq b \leq 0,5 \cdot h$ genügt, siehe Bild 21a, darf

$$\beta = 0,80 + 0,05 \cdot \left(1 + \frac{N_2}{N_1}\right)^2$$

gesetzt werden. Ist dieser Rahmen durch einen in halber Höhe liegenden Riegel verstärkt, der das gleiche Querschnittsträgheitsmoment wie der Stiel hat, siehe Bild 21b, so darf

$$\beta = 0,44 + 0,12 \cdot \left(1 + \frac{N_2}{N_1}\right) + 0,03 \cdot \left(1 + \frac{N_2}{N_1}\right)^2$$

gesetzt werden.

Erläuterungen zu Abschnitt 15. der TGL 13 503 Bl.1

15.1. Kippung von Trägern mit I-Querschnitt

15.1.1. Wie in Abschnitt 15. der TGL 13 503 Bl.1 festgestellt worden ist, unterliegen vor allem die Träger mit dünnwandigen, offenen Querschnitten der Kippgefahr, wenn der Querschnitt eine Symmetrieachse hat, siehe Bild 22a und 22b, und der Träger in seiner Symmetrieebene auf Biegung beansprucht wird. Dies gilt sowohl für Träger, deren Achse gerade ist, als auch für Träger, deren Achse in der Symmetrieebene gekrümmt ist. Der Widerstand, den der Träger bei gegebenen Lagerungsbedingungen dem Kippen entgegenstellt, ist um so größer, je größer der in cm^4 ausgedrückte Drill-

widerstand (J_D), das in cm^4 ausgedrückt und auf die Symmetrieachse bezogene Trägheitsmoment (J_y) und der in cm^6 ausgedrückt und auf den Schubmittelpunkt (M) bezogene Wölbwiderstand (C_M) des dünnwandigen, offenen Trägerquerschnittes ist.

Die Lösung des Kipp-Problems wird vereinfacht, wenn der Schubmittelpunkt (M) mit dem Schwerpunkt (S) des Trägerquerschnittes zusammenfällt, siehe Bild 22a und 22h, oder wenn $C_M \approx 0$ ist, "wölbfreier" Trägerquerschnitt, Bild 22e bis 22h. Bei der Kippuntersuchung ist der Fall der Kippung mit freier Drehachse, siehe Abschnitt 15.1.3. und 15.1.5., vom Fall der Kippung mit gebundener, durch einen waagerechten Verband erzwungener Drehachse, siehe Abschnitt 15.1.4., zu unterscheiden.



Bild 22a



Bild 22b

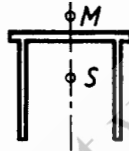


Bild 22c



Bild 22d



Bild 22e



Bild 22f



Bild 22g

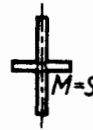


Bild 22h

15.1.2. Bei Berechnung von Trägern nach Bild 24a und 24b ist vorerst die gewöhnliche Spannungsuntersuchung durchzuführen und nach den hierfür maßgebenden Vorschriften nachzuweisen, daß die größten im Träger auftretenden Spannungen die dem untersuchten Belastungsfall entsprechende zulässige Spannung nach TGL 13 500; TGL 13 460 oder Deutsche Reichsbahn, BE nicht überschreiten. Bei der Berechnung der Spannungen sind die Vorschriften über Nietlochschwächung und die dynamischen Kräfte zu berücksichtigen. Anschließend ist die Kippuntersuchung durchzuführen. Es ist die ideale Kippspannung (σ_{K1}), das ist die unter der idealen Kipplast auftretende größte Druckspannung in der Flanschachse des Trägers, unter Benutzung der in Abschnitt 15.1.3. bis 15.1.5. angegebenen Formeln zu berechnen. Hierzu ist aus Tabelle 9 oder aus Bild 21 der TGL 13 503 Bl.1 die "abgeminderte" Kippspannung (σ_K) zu entnehmen, es ist hierbei $\sigma_{VK1} \equiv \sigma_{K1}$ und $\sigma_{VK} \equiv \sigma_K$, und die Kipp-sicherheitszahl

$$\nu_K = \frac{\sigma_K}{\sigma_{\max}} = \frac{\sigma_K \cdot J_x}{e \cdot M_{\max}}$$

zu berechnen.

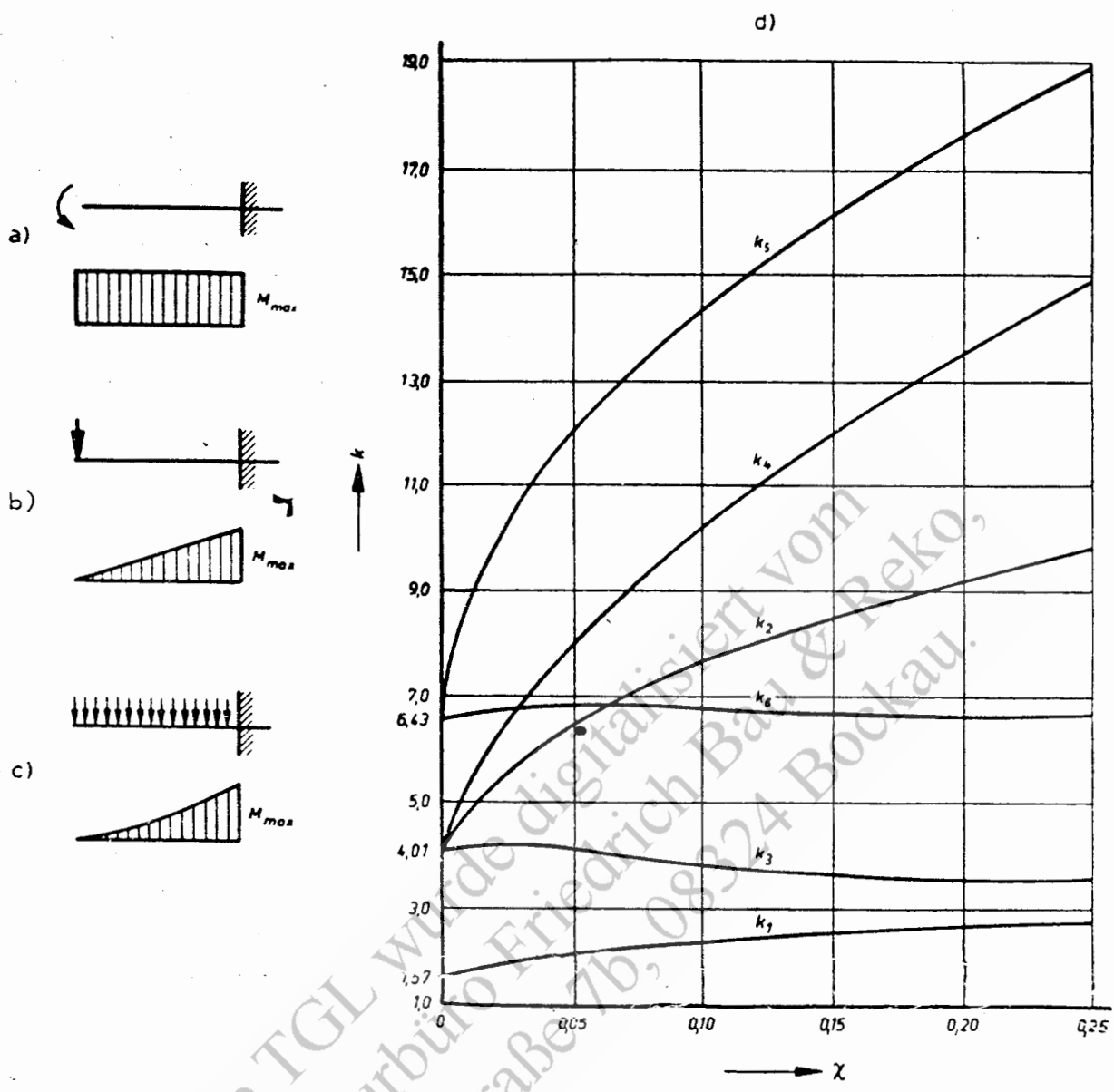


Bild 23

Hierbei bedeutet:

- J_x das auf die Hauptachse $x - x$ bezogene Trägheitsmoment des unverschwächten Träg-quer-schnittes
- e Abstand der Achse des gedrückten Flansches von der Träger-achse, Bild 24a und 24b
- M_{max} das unter der äußeren Belastung entstehende größte Biege-moment des Trägers, das unter Berücksichtigung der dynami-schen Kräfte und Schwingbeiwerte nach den jeweiligen Vor-schriften zu berechnen ist.

Die Kippsicherheitszahl darf nicht kleiner sein als

- $\nu_K = 1,71$ im Grenzlastfall H
- $\nu_K = 1,50$ im Grenzlastfall HZ
- $\nu_K = 1,33$ im Grenzlastfall S

sie braucht jedoch nicht größer zu sein als ν_K nach Abschnitt 7, Tabelle 1 sowie Tabelle 9, der TGL 13 503 Bl.1.

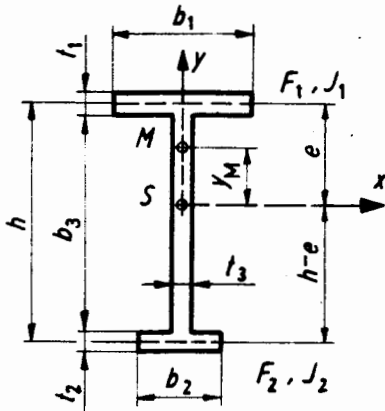


Bild 24a

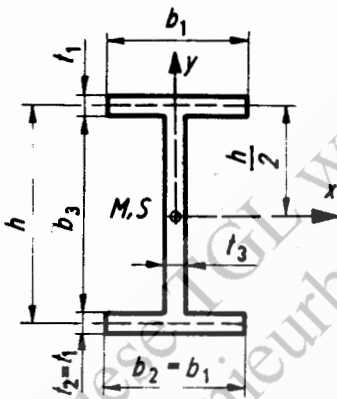


Bild 24b

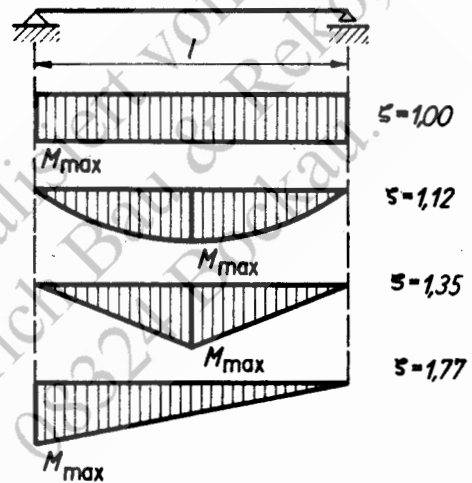


Bild 24c

15.1.3. Bei Freitragern, Krag- oder Konsolträgern mit gleichbleibendem, deppelsymmetrischem I-Querschnitt, siehe Bild 24b, gilt für die ideale Kippspannung die Beziehung

$$\sigma_{K1} = \frac{k \cdot e}{J_x \cdot l} \sqrt{EJ_y \cdot GJ_D}$$

Hierbei bedeutet:

l Trägerlänge in cm

k ein Beiwert, der von der Kennzahl

$$\chi = \frac{EJ_y}{GJ_D} \left(\frac{h}{2l} \right)^2 \text{ abhängt}$$

h der Abstand der beiden Flanschachsen in cm

$$J_y \approx 2 \cdot \frac{t_1 b_1^3}{12} \quad \text{das auf die Stegachse bezogene Trägheitsmoment des Trägerquerschnittes in cm}^4$$

$$J_D = \frac{1}{3} (2 b_1 \cdot t_1^3 + h \cdot t_3^3) \quad \text{der in cm}^4 \text{ ausgedrückte Drillwiderstand des Trägerquerschnittes}$$

$$\underline{E} = 2\,100\,000 \text{ kp/cm}^2 \quad \text{der Elastizitätsmodul}$$

$$\underline{G} = 810\,000 \text{ kp/cm}^2 \quad \text{der Schubmodul}$$

Für die drei in Bild 23a bis 23c angegebenen Belastungsfälle darf der Beiwert k unter der Voraussetzung, daß die Verwölbung der Querschnittsebene an der Einspannstelle verhindert und am freien Trägerende zugelassen wird, aus Bild 23d entnommen werden. Die Kurve k_1 bezieht sich hierbei auf Träger, die am freien Ende durch ein Moment belastet sind, dessen Vektor während des Auskippen waagrecht und in der Querschnittsebene gelegen bleibt, siehe Bild 23a. Die Kurven k_2, k_3, k_4 beziehen sich auf Träger, die am freien Ende durch eine lotrechte, während des Auskippen lotrecht bleibende Einzellast belastet sind, siehe Bild 23b; k_2 gilt für eine Einzellast im Schwerpunkt des Trägerquerschnittes, k_3 und k_4 hingegen für eine Einzellast, die im Schwerpunkt des oberen oder unteren Flanschquerschnittes angreift. Die Kurven k_5, k_6 beziehen sich auf Träger mit lotrechter, während des Auskippen lotrecht bleibender Gleichlast, siehe Bild 23c; k_5 gilt für eine in der Trägerachse angreifende, k_6 für eine in der oberen Flanschachse angreifende Gleichlast. Für Einzel- oder Gleichlasten, die z w i s c h e n der Träger- und der oberen oder unteren Flanschachse angreifen, darf k durch geradlinige Zwischenschaltung zwischen den Kurven k_2, k_3, k_4 oder k_5, k_6 gewonnen werden. Für Träger mit lotrechten, in der Trägerachse wirkenden Belastungen von b e l i e b i g e r Biegemomentenverteilung darf der Beiwert k überschlägig durch Zwischenschaltung zwischen den in Bild 23a bis 23c dargestellten Biegemomentenverteilungen und den dazugehörigen Beiwerten k_1, k_2, k_5 gewonnen werden.

15.1.4. Bei gleichmäßig vollbelasteten Balkenträgern mit gleichbleibendem, doppelsymmetrischem I-Querschnitt, siehe Bild 24b, die eine Gabellagerung nach Abschnitt 7.5.2.2. aufweisen und durch einen waagerechten, gelenkig angeschlossenen Längsverband seitlich festgehalten sind, ist die ideale Kippspannung (σ_{K1}) gleichfalls mit Hilfe der in Abschnitt 15.1.3. angegebenen Beziehung zu berechnen. Für den Beiwert k darf hierbei überschlägig

$$k = \frac{\frac{1}{\sqrt{\chi}} + \pi^2 \sqrt{\chi} \left[1 + \left(\frac{2f}{h} \right)^2 \right]}{0,81 \left(\frac{2v}{h} \right) - 1,74 \left(\frac{2f}{h} \right)}$$

gesetzt werden, wobei χ nach Abschnitt 15.1.3. zu berechnen ist, v den nach oben, auf der Biegedruckseite, positiv gezählten, in cm ausgedrückten Abstand der Angriffspunkte der gleichmäßigen Vollbelastung p von der Trägerachse und f den gleichfalls nach oben, auf der Biegedruckseite, positiv gezählten, in cm ausgedrückten Abstand des Längsverbandes von der Trägerachse bedeuten; für einen Träger, der am Obergurt belastet und am

Untergurt durch einen Längsverband seitlich festgehalten wird, ist daher $v = +h/2$ und $f = -h/2$. Liegt der Längsverband im Abstand $f \cong 0,47 \cdot v$ über der Trägerachse, so ist nach dieser Formel ein Kippen ausgeschlossen. Für Bau- und Umbauzustände, in denen der Längsverband nicht voll wirksam ist, sind besondere Kippuntersuchungen durchzuführen.

15.1.5. Die ideale Kippspannung eines Balkenträgers, der einen gleichbleibenden, einfach-symmetrischen Querschnitt nach Bild 24a hat und an beiden Enden quer zur Stegebene elastisch eingespannt und im gleichen Maße auch wülbbekannt ist, wobei sowohl die Verschiebungen als auch die Verdrehungen in der Querschnittsebene verhindert werden, darf **u b e r s c h l ä g i g** berechnet werden mit Hilfe der Formel

$$\sigma_{K1} \approx \frac{\zeta \cdot N_{K1} \cdot e}{J_x} \left[\sqrt{\left(\frac{5v}{x} + \frac{r_x}{3} - y_M\right)^2 + c^2} - \left(\frac{5v}{x} + \frac{r_x}{3} - y_M\right) \right]$$

Hat der Träger einen doppelsymmetrischen I-Querschnitt nach Bild 24b so gilt

$$r_x = 0, \quad y_M = 0, \quad C_M = J_1 \cdot h^2/2 \approx J_y \cdot h^2/4$$

und daher einfach

$$\sigma_{K1} \approx \frac{\zeta \cdot N_{K1} \cdot h}{2 J_x} \left[\sqrt{\left(\frac{5v}{x}\right)^2 + c^2} - \frac{5v}{x} \right]$$

Hierbei bedeutet:

$$x = \frac{\pi l}{\beta^2}$$

ein vom Grad der elastischen Einspannung quer zur Stegebene abhängiger, zwischen π^2 und $4\pi^2$ liegender und nach Abschnitt 7.5.2.2. zu wählender Beiwert

$$N_{K1} = \frac{x E J_y}{l^2}$$

Knicklast des Trägers bei waagerechter, rechtwinklig zur Stegebene erfolgender Ausknickung unter einer gedachten Druckkraft

l Stützweite des Trägers

v auf der Biegedruckseite positiv gezählter Abstand der Angriffspunkte der Querbelastung von der Trägerachse. Greifen die Querlasten in der Trägerachse an oder sind keine Querlasten vorhanden, so ist $v = 0$; greifen bei doppelsymmetrischen Trägern die Querlasten am oberen oder unteren Trägergurt an, so gilt

$$v = +\frac{h}{2} \quad \text{oder} \quad v = -\frac{h}{2}$$

ζ Beiwert, der von der Verteilung der Biegemomente des Trägers abhängt und unter Beachtung der in Bild 24c angegebenen Werte schätzungsweise anzunehmen ist

r_x nach Abschnitt 10.1.2.

y_M und C aus Abschnitt 7.5.2. bis 7.5.2.2. zu entnehmen.

Erläuterungen zu Abschnitt 17. der TGL 13 503 Bl.1

17.1. Beulung allseitig gedrückter Bleche

17.1.1. Wird ein einspannungsfrei gelagertes, rechteckiges Blech durch die Länge der Seite b gleichmäßig verteilten Druckspannungen σ_x und die Länge der Seite a gleichmäßig verteilten Druckspannungen

$$\sigma_y = \Omega \cdot \sigma_x, \quad 0 \leq \Omega \leq 1$$

belastet, siehe Bild 25, so wird die ideale Beulgrenze erreicht, wenn $\sigma_{xK1} = k_x \cdot \sigma_0$ ist. Die Hilfsgröße σ_0 ist in Abschnitt 17.1. der TGL 13 503 Bl.1 angegeben. Für den Beulwert k_x gelten die folgenden Beziehungen

$$\left. \begin{array}{l} 1,0 \geq \Omega \geq 0,5 \quad \text{für alle } \alpha \\ \\ 0,5 \geq \Omega \geq 0 \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{für } \alpha \leq \frac{1}{\sqrt{1-2\Omega}} \\ \\ \text{für } \alpha > \frac{1}{\sqrt{1-2\Omega}} \end{array} \left. \begin{array}{l} \\ \\ k_x = \frac{\left(\frac{1}{\alpha} + \alpha\right)^2}{1 + \Omega \alpha^2} \\ \\ k_x = 4(1 - \Omega) \end{array} \right\}$$

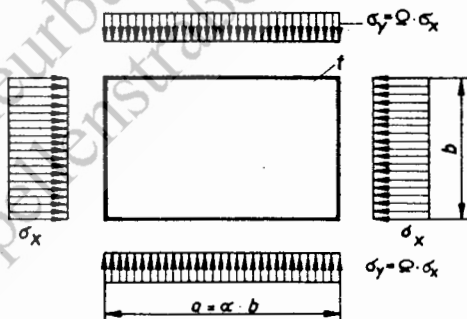


Bild 25

17.1.2. Die ideale Vergleichsspannung beträgt

$$\sigma_{VK1} = \sigma_{xK1} \cdot \sqrt{1 + \Omega^2 - \Omega}$$

und für die Beulsicherheitszahl erhält man

$$\nu_K = \frac{\sigma_{VK}}{\sigma_x \cdot \sqrt{1 + \Omega^2 - \Omega}}$$

Hierbei ist die zum Wert σ_{VK1} gehörige abgeminderte Vergleichsspannung (σ_{VK}) aus der Tabelle 9 der TGL 13 503 Bl.1 zu entnehmen. Zwischenwerte dürfen geradlinig eingeschaltet werden, und für näherungsweise Vorberechnung darf auch das Bild 21 der TGL 13 503 Bl.1 Verwendung finden.

17.1.3. Für die geforderten Mindestwerte der Beulsicherheitszahl gilt Abschnitt 17.4. der TGL 13 503 Bl.1.

17.1.4. Die in Abschnitt 17.1.1. angegebenen Beziehungen dürfen auch zur Berechnung der idealen Beulspannung von rechteckigen Blechen verwendet werden, die nur in der Längsrichtung gleichmäßig gedrückt werden, deren idealisierte Lagerungsbedingungen aber ausnahmsweise vorschreiben, daß der gegenseitige Abstand b der beiden Längsränder keine, auch nicht die kleinste, Änderung erfahren kann. In der Querrichtung tritt dann die Druckspannung $\sigma_y = \mu \cdot \sigma_x$ auf, so daß in die Formeln der Abschnitte 17.1.1. und 17.1.2. der Beiwert $\Omega = \mu$ einzuführen ist, wobei μ die Querdehnungszahl bedeutet.

17.2. Beulwerte für verschiedene Lagerungsbedingungen der Längsränder

17.2.1. Ist ein rechteckiges Blech an den Längsrändern "b" einspannungsfrei, dagegen an den Querrändern "a" nach den in den Bildern 26d bis 26h angegebenen Randbedingungen gelagert, so gelten für die Belastungen nach Bild 26a, 26b und 26c die in der Tabelle 6 angegebenen Beulwerte.

Tabelle 6 Beulwerte k

Beulwerte	Bild 26d		26e		26f		26g		26h
	k	für $\alpha \cong$	k	für $\alpha \cong$	k	für $\alpha \cong$	k	für $\alpha \cong$	k
Bild 26a	4,00	1,00	5,40	0,79	6,97	0,67	1,28	1,63	0,43
26b	7,81	0,98	12,16	0,77	13,56	0,65	6,26	1,58	1,71
26c	7,81	0,98	9,89	0,80	13,56	0,65	1,64	1,67	0,57

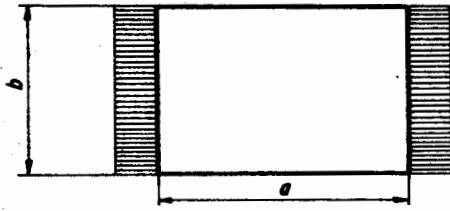


Bild 26a

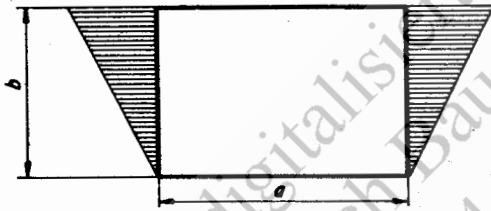


Bild 26b

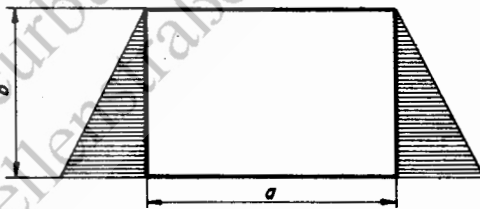


Bild 26c



Bild 26d



Bild 26e



Bild 26f



Bild 26g

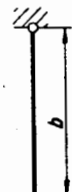


Bild 26h

17.3. Beulen unter örtlicher Last

Für ein durch Gurte und Steifen mit der Mindeststeifigkeit nach Abschnitt 18.1, gelenkig unverschieblich gelagertes Blech unter einseitiger zur Feldmitte symmetrischer Druckspannung beträgt die ideale Beulspannung

$$\sigma_{yK1} = \frac{k_p}{\beta} \cdot \sigma_0 \quad \text{gültig für } \beta \geq 0,25$$

Hierbei bedeutet:

k_p Beulwert nach Bild 27

$\beta = \frac{a}{\lambda}$ bezogene Lasteintragungslänge, siehe Bild 27

σ_0 Bezugsspannung nach Abschnitt 17.1, der TGL 13 503 Bl.1

Mit den Einzelbeulspannungen σ_{1K1} , σ_{yK1} und τ_{K1} , den nach Abschnitten 16.5. und 16.6. der TGL 13 503 Bl.1 ermittelten Spannungen σ_1 , τ und der unter Berücksichtigung der dynamischen Kräfte und Schwingbeiwerte berechneten Spannung

$$\sigma_y = \frac{P}{t \cdot c}$$

ist die ideale Vergleichsspannung zu berechnen:

$$\sigma_{VK1} = \frac{\sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_y^2 - \sigma_1 \sigma_y + 3\tau^2}}{\frac{1+\psi}{4} \cdot \frac{\sigma_1}{\sigma_{1K1}} + \frac{1}{2} \frac{\sigma_y}{\sigma_{yK1}} + \sqrt{\left(\frac{3-\psi}{4} \cdot \frac{\sigma_1}{\sigma_{1K1}} + \frac{1}{2} \frac{\sigma_y}{\sigma_{yK1}}\right)^2 + \left(\frac{\tau}{\tau_{K1}}\right)^2}}$$

Sie beträgt für die Sonderfälle

$$\tau = 0:$$

$$\sigma_{VK1} = \frac{\sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_y^2 - \sigma_1 \sigma_y}}{\frac{\sigma_1}{\sigma_{1K1}} + \frac{\sigma_y}{\sigma_{yK1}}}$$

$$\tau = 0, \quad \sigma_1 = 0, \quad \sigma_{VK1} = \sigma_{yK1}$$

Wenn P eine Einzellast oder $\beta < 0,25$ ist, darf

$$\frac{\sigma_y}{\sigma_{yK1}} = \frac{P}{P_{K1}} \quad \text{gesetzt werden mit } P_{K1} = k_p \cdot \sigma_0 \cdot t \cdot a.$$

Zu dem Wert σ_{VK1} ist aus Tabelle 9 der TGL 13 503 Bl.1 die abgeminderte Vergleichsspannung σ_{VK} zu entnehmen. Die Beulsicherheit

$$\nu_B = \frac{\sigma_{VK}}{\sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_y^2 - \sigma_1 \cdot \sigma_y + 3\tau^2}} \cong \text{erf } \nu_B$$

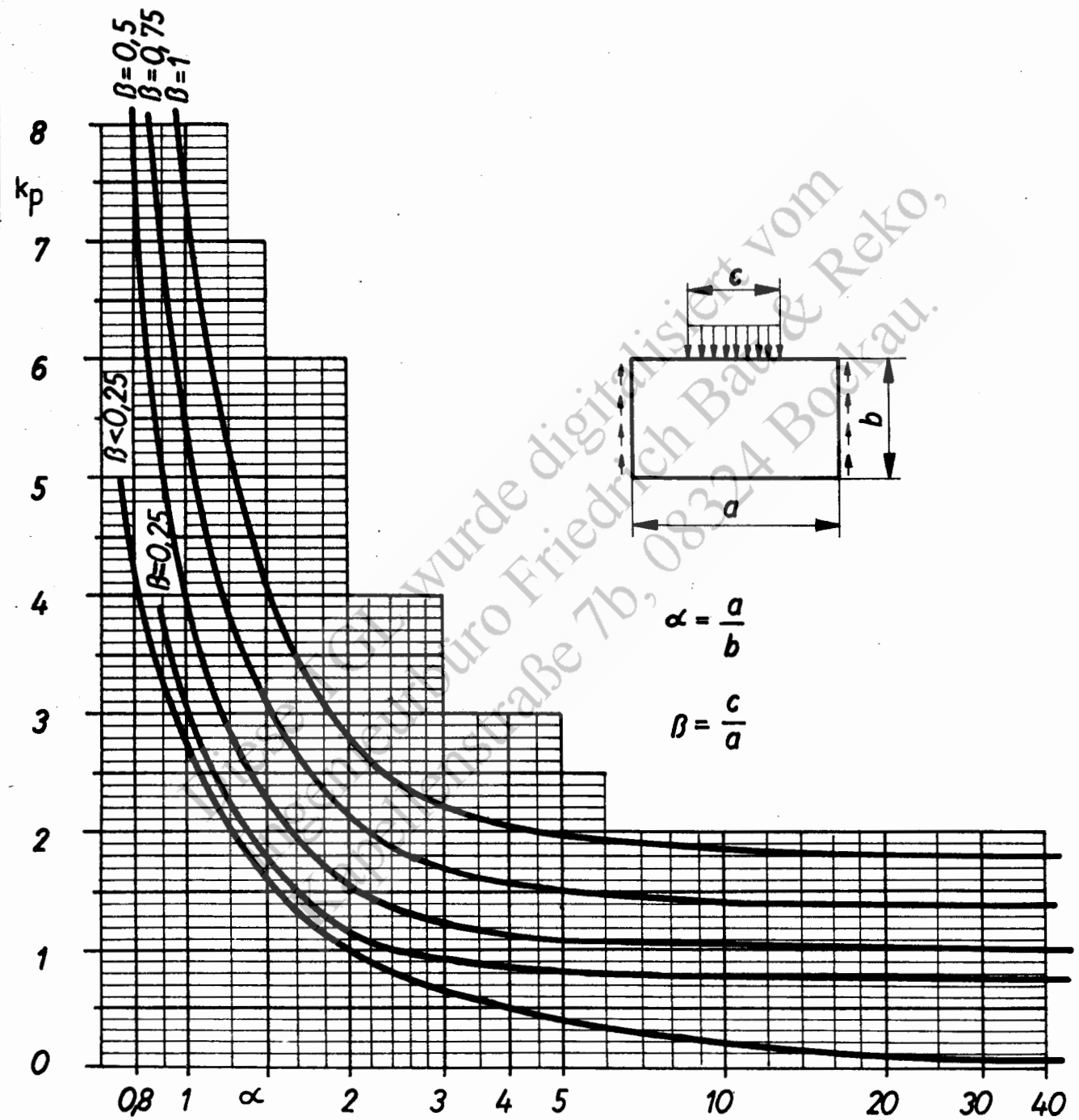
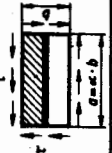








Bild 27

Tabelle 7 Mindeststeifigkeit

Belastung und Steifenanordnung		Gültigkeitsbereich		Mindeststeifigkeit	
Geradlinig über die Feldbreite verteilte Druckspannungen					
1	1 Längssteife in Mitte der Feldbreite		$\alpha < \sqrt{8(1+2\delta)} - 1$	$\gamma^m = 0,53 + 0,47\psi \left\{ \frac{1}{2} [6(1+2\delta) - 2] - \frac{1}{2} + \frac{1+2\delta}{2} \right\}$	
			$\alpha > \sqrt{8(1+2\delta)} - 1$	$\gamma^m = 0,53 + 0,47\psi \left\{ \frac{1}{2} [8(1+2\delta) - 1] + \frac{1+2\delta}{2} \right\}$	
	2 gleiche LängsstEIFEN in den Drittelpunkten der Feldbreite		$\alpha < \sqrt{18(1+3\delta)} - 1$	$\gamma^m = \frac{\alpha^2}{3} \left[36(1+3\delta) - 2 \right] \frac{1+2\delta}{3} + \frac{1+2\delta}{3}$	
			$\alpha > \sqrt{18(1+3\delta)} - 1$	$\gamma^m = \frac{1}{3} [18(1+3\delta) - 1] + \frac{1+2\delta}{3}$	
3	1 Quersteife in Mitte der Feldlänge		$0,4 \leq \alpha \leq 1,4$	$\gamma^m = \frac{\sqrt{\frac{1+2\delta}{3} \left(\frac{1+2\delta}{3} - \frac{1}{12\alpha^2} \right)}}{\frac{1+2\delta}{3} \left(1 - \frac{1}{12\alpha^2} \right)}$	Quersteife praktisch wirkungslos
			$\alpha > 1,4$	$\gamma^m = \frac{(1+\alpha^2)^2 [4(1+2\delta) - 1]}{2(1+9\alpha^2)}$	
4	1 Längssteife in Mitte der Feldbreite und 1 Quersteife in Mitte der Feldlänge 2)		$0,9 \leq \alpha \leq 1,1$	wobei $\eta = \frac{\delta \rho}{\gamma L} = \frac{J_Q}{J_L}$	
Geradlinig über die Feldbreite verteilte Normalspannungen mit gegengleichen Randwerten					
5	1 Längssteife in Mitte der Feldbreite			$\gamma^m = 1,3$	
			$\alpha \leq 0,5$	$\gamma^m = 2,4 + 18,4\delta$	
6	1 Längssteife im Abstand b/4 vom Druckrand		$\alpha > 0,5$	$\gamma^m = (12 + 92\delta) / (\alpha - 0,3)$ jedoch nicht mehr als $\max \gamma^m = 16 + 200\delta$	
			$0,5 \leq \alpha \leq 1,0$	$\gamma^m = (21,3 + 1126\delta) / (\alpha - 0,1)$	
7	1 Längssteife im Abstand b/5 vom Druckrand		$\alpha > 1,0$	$\gamma^m = (32,0 + 168,9\delta) / (\alpha - 0,4)$ jedoch nicht mehr als $\max \gamma^m = 50 + 200\delta$	
			$0,6 \leq \alpha \leq 0,935$	$\gamma^m = 6,2 - 12,7\alpha + 6,5\alpha^2$	
8	1 Quersteife in Mitte der Feldlänge		$\alpha > 0,935$	Quersteife praktisch wirkungslos	

2) Beide Steifen müssen an der Kreuzungsstelle mit unverminderter Biegesteifigkeit durchgeführt oder gleichwertig gestoßen werden

Gleichmäßig verteilte Schubspannungen				
9	1 Längssteife in Mitte der Feldbreite		$0,5 \leq \alpha \leq 2,0$	$\gamma^m = 5,4\alpha^2 / 2\alpha + 2,5\alpha^2 - \alpha^3 - 1$
10	2 gleiche Längssteifen in den Drittelpunkten der Feldbreite		$0,3 \leq \alpha \leq 1,0$	$\gamma^m = 12,1\alpha^2 (4,4\alpha - 1)$
Gleichmäßig verteilte Schubspannungen				
11	1 Längssteife im Viertelpunkt der Feldbreite		$0,5 \leq \alpha \leq 2,0$	$\gamma^m = 7,2\alpha^2 (1 - 3,3\alpha + 3,9\alpha^2 - 1,1\alpha^3)$
12	1 Quersteife in Mitte der Feldlänge		$0,5 \leq \alpha \leq 2,0$	$\gamma^m = \frac{5,4}{\alpha} \left(2 + \frac{2,5}{\alpha} - \frac{1}{\alpha^3} - 1 \right)$
13	2 gleiche Querstreifen in den Drittelpunkten der Feldlänge		$1,0 \leq \alpha \leq 3,3$	$\gamma^m = \frac{12,1}{\alpha} \left(\frac{4,4}{\alpha} - 1 \right)$
14	1 Quersteife im Viertelpunkt der Feldlänge		$0,5 \leq \alpha \leq 2,0$	$\gamma^m = \frac{7,2}{\alpha} \left(1 - \frac{3,3}{\alpha} + \frac{3,9}{\alpha^2} - \frac{1,1}{\alpha^3} \right)$
15	1 Längssteife in Mitte der Feldbreite und 1 Quersteife in Mitte der Feldlänge		$0,5 \leq \alpha \leq 2,0$	$\gamma_0^m = 6,0 \frac{(1+\alpha^2)^2}{1+\alpha^3}$ wobei $\beta = \frac{\gamma_0}{\beta_0} = \frac{J_0}{J_1}$

2) Beide Steifen müssen an der Kreuzungsstelle mit unverminderter Biegefestigkeit durchgehend oder gleichwertig gestoßen werden

ist nachzuweisen, wobei erf ν_B den Abschnitten 17.4. bis 17.6. der TGL 13 503 Bl.1 zu entnehmen ist.

Bei einer nicht in Feldmitte wirkenden Last darf σ_{yK1} wie für eine mittige Last berechnet werden. Wenn mehrere einzelne Lasten wirken, dürfen sie als gleichmäßig verteilte Belastung mit dem Maximalwert von σ_y angenommen werden. Beide Annahmen sind auf der sicheren Seite liegende Näherungen.

Erläuterungen zu Abschnitt 18. der TGL 13 503 Bl.1

18.1. Mindeststeifigkeit von Quer- und Längssteifen, die zur Unterteilung des Stegbleches in einzelne Felder dienen

Änderung Verf. in Mitt. Nr. 10/74 beachten

18.1.1. Zu jeder idealen Beulspannung, siehe Abschnitt 17. der TGL 13 503 Bl.1 gehört eine bestimmte ideale Beulfläche, nach der sich das Blech zu Beginn des Ausbeulens verformt. Die Steifen haben die Aufgabe, dieser Verformung einen Widerstand entgegenzustellen und auf diese Weise die ideale Beulspannung zu erhöhen. Steifen, die an Stellen liegen, an denen beim Ausbeulen des unversteift gedachten Bleches keine Ausbiegung auftritt, Knotenlinien der Beulfläche des unversteiften Bleches, sind demnach wirkungslos.

18.1.2. Die Steifen werden als Quer- oder Längssteifen, ausnahmsweise auch als Schrägsteifen ausgeführt. Bei größeren Stegblechfeldern darf auch ein aus Quer- und Längssteifen zusammengesetzter Steifenrost angeordnet werden.

Die Wirkung der Aussteifung wird erhöht, wenn die Quer- und Längssteifen an ihren Enden biegesteif angeschlossen und an den Kreuzungsstellen nach Art der Trägerroste biegesteif verbunden werden.

18.1.3. Die Steifen dürfen einseitig oder auf beiden Seiten des Bleches angeordnet werden. Liegt der Schwerpunkt des unverschwächten Steifenquerschnittes (F) in der Mittelebene des Bleches, mittige Anordnung, siehe Bild 28a, so ist bei der Berechnung der Biegesteifigkeit der Steife das auf die Schwerachse z - z bezogene Trägheitsmoment $J = J_z$ des unverschwächten Steifenquerschnittes einzuführen. Liegt der Schwerpunkt der Querschnittsfläche (F) in der Entfernung e außerhalb der Mittelebene des Stegbleches, außermittige Anordnung, siehe Bild 28b, so darf bei der Berechnung der Biegesteifigkeit der Steife das Trägheitsmoment

$$J = J_z + F \left(e - \frac{t}{2} \right)^2$$

eingeführt werden.

18.1.4. Bei der Bestimmung des Mindestwertes der Biegesteifigkeit, die eine Quer- oder Längssteife nach Abschnitt 18.1. und 18.2. der TGL 13 503 Bl.1 besitzen muß, um die ideale Beulspannung des Stegblechfeldes bis zur idealen Beulspannung des stärksten beanspruchten, einspannungsfrei gelagert gedachten Teilfeldes zu heben und demgemäß bei der Beuluntersuchung des Stegbleches eine Unterteilung des Feldes in einspannungsfrei gelagerte Teilfelder zuzulassen, so erhält man einen auf Grund idealisierender Voraussetzungen berechneten Mindestwert des Querschnittsträgheitsmomentes

$$J^* = \gamma^* \frac{b t^3}{12 (1 - \mu^2)} = 0,092 \cdot \gamma^* \cdot b \cdot t^3.$$

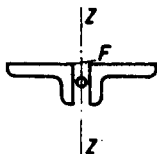
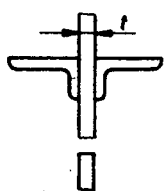


Bild 28a

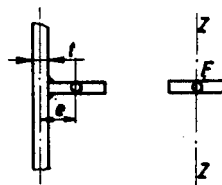


Bild 28b

Das nach Abschnitt 18.1.3. berechnete Trägheitsmoment des Steifenquerschnittes muß demnach in jenen Fällen, in denen die erwähnte Unterteilung des Stegblechfeldes in einspannungsfrei gelagerte Teilfelder durchgeführt wird, der Bedingung $J \cong 0,092 \gamma^* b t^3$ genügen.

Hierbei bedeuten:

- a und b Länge und Breite des gegebenen, durch die Steife zu unterteilenden Stegblechfeldes
- t Dicke des Stegbleches
- $\mu = 0,3$ die Querdehnungszahl des Baustahls
- γ^* Beiwert, der von der Belastung und dem Seitenverhältnis $\alpha = a/b$ des Stegblechfeldes, von der Anordnung der Steife und, bei axial belasteten Steifen, auch von der Hilfsgröße

$$\delta = \frac{F}{b \cdot t} \quad \text{abhängt}$$

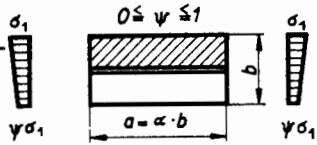
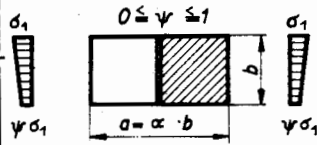
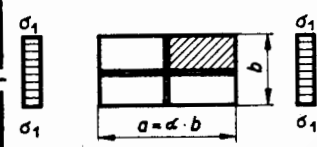
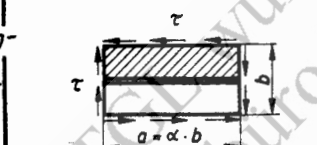
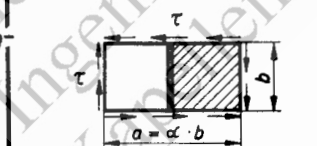
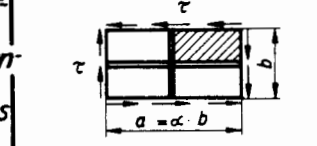
- F die unverschwächte Querschnittsfläche der Steife

18.1.5. Bei Steifen, die planmäßig axial unbelastet sind, Tabelle 7, Reihe 3, 5 und 8 bis 15, oder deren Axialspannung kleiner als σ_1 ist, Tabelle 7, Reihe 1, 6 und 7, führt die Theorie in allen den Fällen, in denen die ideale Vergleichsspannung (σ_{VK1}) des versteiften Bleches die Proportionalitätsgrenze $\sigma_P = 0,8 \sigma_F$ überschreitet, zu einer Senkung des Beiwertes γ^* , die im weiteren unberücksichtigt bleibt; die Sicherheit wird dadurch in den genannten Fällen erhöht.

18.1.6. In Tabelle 7 sind für einfache Belastungsfälle und verschiedene Möglichkeiten der Steifenanordnung Näherungsbeziehungen für den Beiwert γ^* zusammengestellt. Eine Steife, die nach Abschnitt 18.1.3. bis 18.1.5. unter Berücksichtigung dieses Beiwertes bemessen ist, vermag die Baulastspannung des Stegbleches praktisch bis auf jenen Wert zu heben, der dem durch Schraffur gekennzeichneten Teilfeld im Falle einer einspannungsfreien Lagerung aller vier Ränder entspricht.

Besteht für die Teilfelder verschieden große Baulastspannung, so gehört die Schraffur zu dem Teilfeld, für das die Baulastspannung am größten ist.

Tabelle 8 Beulwert K

Belastung und Steifenanordnung	Gültigkeitsbereich	Beulwert k
<p>1 Geradlinig über die Breite b verteilte Druckspannungen. 1 Längssteife in Mitte der Feldbreite</p> 	<p>$\alpha \leq \sqrt[3]{1+2\gamma}$ $\alpha > \sqrt[3]{1+2\gamma}$</p>	<p>$k = \frac{2}{0,95(\psi+1,1)} \cdot \frac{(1+\alpha^2)^2 + 2\gamma}{\alpha^2(1+2\delta)}$ $k = \frac{4}{0,95(\psi+1,1)} \cdot \frac{1+\sqrt{1+2\gamma}}{1+2\delta}$</p>
<p>2 Geradlinig über die Breite b verteilte Druckspannungen. 1 Quersteife in Mitte der Feldlänge</p> 	<p>$0,4 \leq \alpha \leq 10$</p>	<p>$k = \frac{A - \sqrt{A^2 - B}}{1,43\alpha^2(\psi+1,1)}$ $A = 1,5(1+\alpha^2)^2 + 0,167(9+\alpha^2)^2 + 3,33\alpha^3\gamma$ $B = (1+\alpha^2)^2(9+\alpha^2)^2 + 2\alpha^3\gamma[(1+\alpha^2)^2(9+\alpha^2)^2]$</p>
<p>3 Gleichmäßig über die Breite b verteilte Druckspannungen. Mittiges Steifenkreuz²⁾</p> 	<p>$0,9 \leq \alpha \leq 1,1$</p>	<p>$k = \frac{(1+\alpha^2)^2 + 2(\delta_L + \delta_Q\alpha^3)}{\alpha^2(1+2\delta_L)}$</p>
<p>4 Gleichmäßig verteilte Schubspannungen. 1 Längssteife in Mitte der Feldbreite</p> 	<p>$0,5 \leq \alpha \leq 20$</p>	<p>$k = \frac{4,93(1+\alpha^2)}{\alpha^3\sqrt{s}}$ $s = \frac{10,24(1+\alpha^2)^2 + 3,16(1+9\alpha^2)^2 + 4,05\gamma}{(1+\alpha^2)^2(1+9\alpha^2)^2 + 2\gamma(1+\alpha^2)^2 + 2\gamma(1+9\alpha^2)^2} + \frac{10,24(1+\alpha^2)^2 + 0,41(9+\alpha^2)^2 + 13,11\gamma}{(1+\alpha^2)^2(9+\alpha^2)^2 + 2\gamma(9+\alpha^2)^2 + 162\gamma(1+\alpha^2)^2}$</p>
<p>5 Gleichmäßig verteilte Schubspannungen. 1 Quersteife in Mitte der Feldlänge</p> 	<p>$0,5 \leq \alpha \leq 20$</p>	<p>$k = \frac{4,93(1+\alpha^2)}{\alpha^3\sqrt{s}}$ $s = \frac{10,24(1+\alpha^2)^2 + 0,41(1+9\alpha^2)^2 + 13,11\gamma \cdot \alpha^3}{(1+\alpha^2)^2(1+9\alpha^2)^2 + 162\gamma\alpha^3(1+\alpha^2)^2 + 2\gamma\alpha^3(1+9\alpha^2)^2} + \frac{10,24(1+\alpha^2)^2 + 3,16(9+\alpha^2)^2 + 4,05\gamma\alpha^3}{(1+\alpha^2)^2(9+\alpha^2)^2 + 2\gamma\alpha^3(9+\alpha^2)^2 + 2\gamma\alpha^3(1+\alpha^2)^2}$</p>
<p>6 Gleichmäßig verteilte Schubspannungen. Mittiges Steifenkreuz²⁾</p> 	<p>$0,5 \leq \alpha \leq 20$</p>	<p>$k = 2,60 \frac{1+\alpha^2}{\alpha^3} \sqrt{(1+\alpha^2)^2 + 2(\delta_L + \alpha^3\delta_Q)}$ für $\begin{cases} \delta_L = \delta_Q \\ \delta_L = 1/2 \delta_Q \end{cases}$ genauere Werte Bild 31 Bild 32</p>

2) Siehe Seite 72

3) Näherungsweise nach der Energiemethode (mit den Halbwellenzahlen m = 1, u, 3 in der Längsrichtung und n = 1, in der Querrichtung) berechnet.

18.1.7. Wird das Blech gleichzeitig durch geradlinig verteilte Normalspannungen und gleichmäßig verteilte Schubspannungen belastet, so darf überschlägig

$$\gamma^* = \gamma_1^* \frac{\bar{\nu}_{B1}}{\nu_{B1}} + \gamma_2^* \frac{\bar{\nu}_{B2}}{\nu_{B2}}$$

gesetzt werden.

Hierin bedeutet:

- γ_1^* Mindeststeifigkeit bei ausschließlicher Wirkung der Normalspannungen
- γ_2^* Mindeststeifigkeit bei ausschließlicher Wirkung der Schubspannungen
- ν_{B1} oder ν_{B2} nach Abschnitt 17.3. der TGL 13 503 Bl.1 zu berechnende Beulsicherheitszahlen, die gelten würden, wenn das beulgefährdete Teilfeld nur durch die gegebenen Normalspannungen oder nur durch die gegebenen Schubspannungen belastet wäre
- $\bar{\nu}_{B1}$ oder $\bar{\nu}_{B2}$ die Beulsicherheitszahl bei gleichzeitiger Wirkung der gegebenen Normal- und Schubspannungen für dasjenige Teilfeld, das bei der zugehörigen Mindeststeifigkeit γ_1^* bzw. γ_2^* die jeweils größte Beulgefahr aufweist.

18.2. Beulspannung ausgesteifter Stegbleche

18.2.1. Bemisst man die Aussteifungen der Felder nicht nach den in Abschnitt 18.1. angegebenen Mindeststeifigkeiten γ^* , sondern nach dem im Abschnitt 18.2. der TGL 13 503 Bl.1 mitgeteilten zweiten Weg, so ist der Beulwert k für das verastete Feld zu berechnen und die im Abschnitt 17.4. der TGL 13 503 Bl.1 verlangte Beulsicherheit (ν_B) nachzuweisen. Hierbei sind die zu wählenden γ -Werte der Aussteifungen kleiner als deren Mindeststeifigkeiten γ^* . Für einige wichtige Belastungsfälle und Steifenanordnungen sind die Beulwerte k bei einspannungsfrei gelagerten Feldrändern aus der Tabelle 8 zu entnehmen. Die Abhängigkeit des Beulwertes (k) vom Seitenverhältnis α ist für einige Steifigkeiten γ in den Bildern 29 bis 32 dargestellt. Insbesondere darf der Beulwert (k) nach Zeile 6 der Tabelle 8 für die Sonderfälle $\gamma_L = \gamma_Q$ und $\gamma_L = 1/2 \gamma_Q$ genauer aus den Bildern 31 und 32 entnommen werden.

Hierbei bedeutet:

$$\gamma = \frac{J}{0,092 \cdot b \cdot t^3} \quad \text{und} \quad \delta = \frac{F}{b \cdot t}, \quad \text{worin}$$

- $a = \alpha \cdot b$ Länge des Feldes in cm
- b Breite des Feldes in cm
- t Blechdicke in cm
- F unverschwächte Querschnittsfläche der Steife in cm^2
- J nach Abschnitt 18.1.3. berechnetes Trägheitsmoment des unverschwächten Steifenquerschnittes in cm^4

Für alle $\gamma \cong \gamma^*$ ist der Beulwert (k) nach Tabelle 4 der TGL 13 503 Bl.1 für das durch die Zwischensteife gebildete und durch Schraffur gekennzeichnete beulgefährdete Teilfeld zu berechnen.

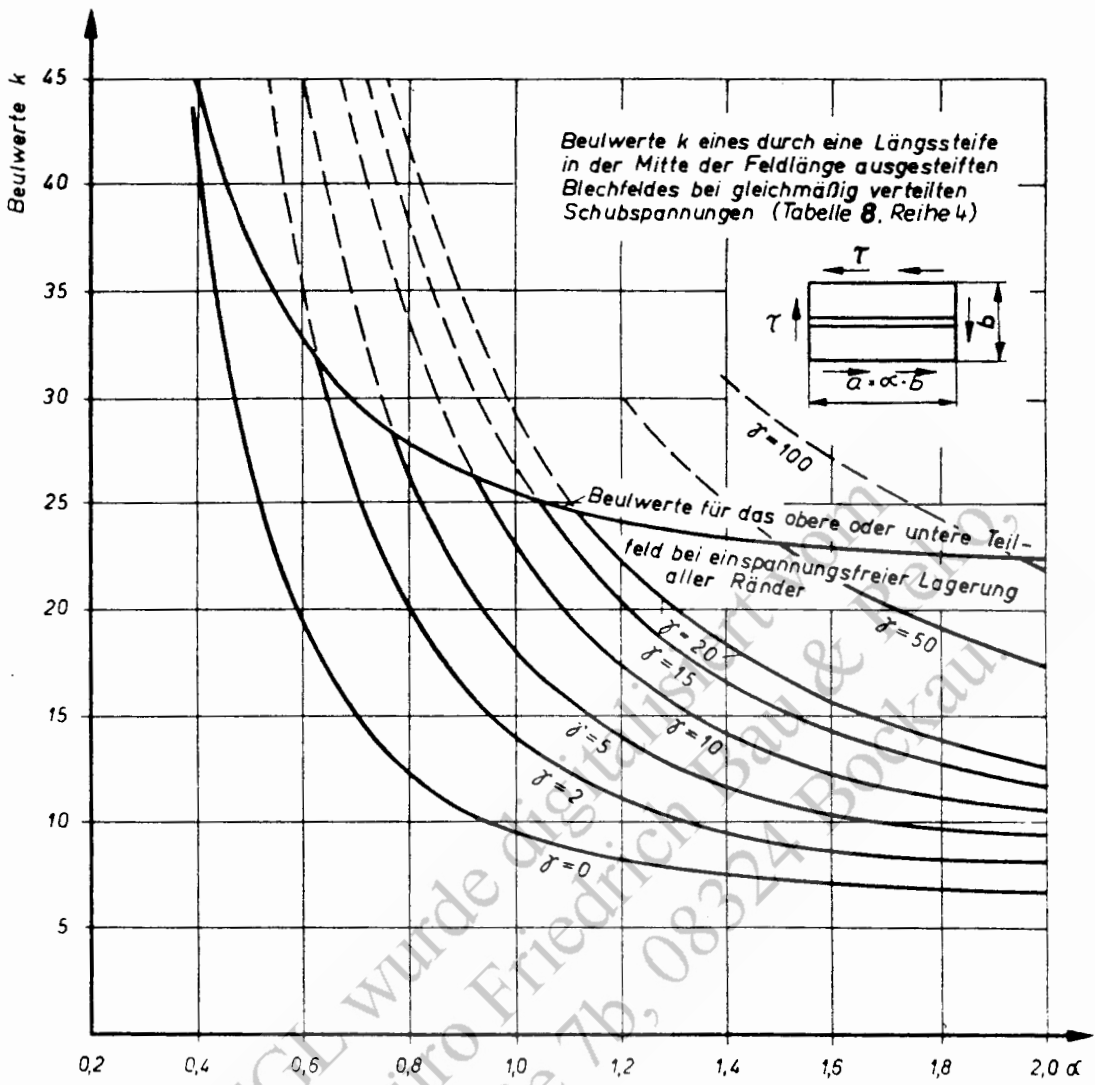


Bild 29

18.2.2. Wird das durch eine elastische Zwischensteife verstärkte Blech nicht nur durch die über die Breite b geradlinig verteilten Druckspannungen mit den Randwerten σ_1 und $\psi \cdot \sigma_1$; $0 \leq \psi \leq 1$, sondern zusätzlich noch durch gleichmäßig verteilte Schubspannungen (τ) belastet, so darf die Beuluntersuchung in erster Annäherung gleichfalls nach Abschnitt 17.1., 17.3. und 17.4. der TGL 13 503 Bl.1 durchgeführt werden. Die Einzelbeulspannungen σ_{1K1} und τ_{K1} sind hierbei für das durch die elastische Zwischensteife verstärkte Blech nach Tabelle 8 zu berechnen.

Ist γ gleich oder größer als der nach Abschnitt 18.1.7. überschlägig bestimmte Wert γ^* , so ist die Beuluntersuchung für das durch die Zwischensteife gebildete, einspannungsfrei gelagert gedachte Teilfeld durchzuführen.

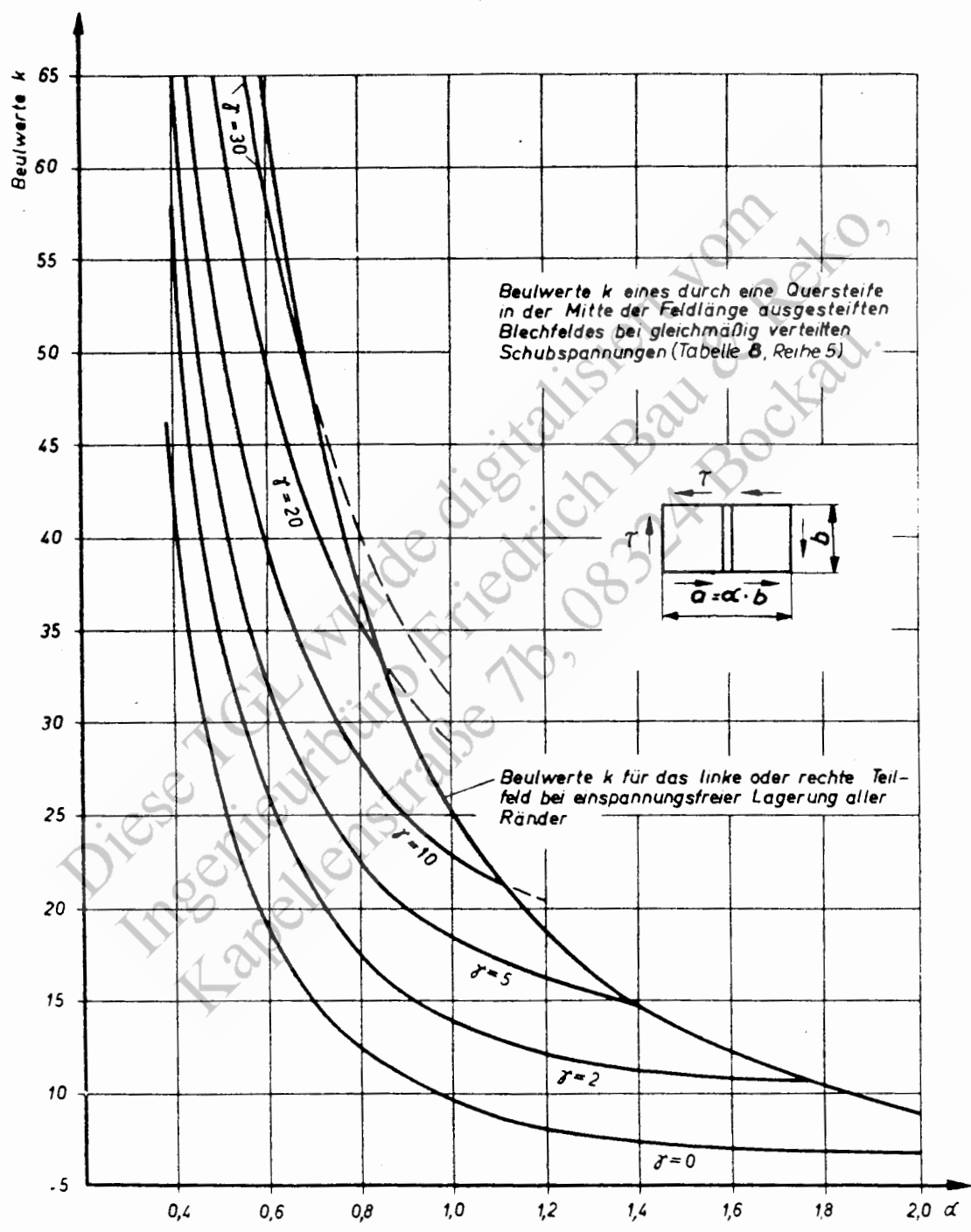


Bild 30

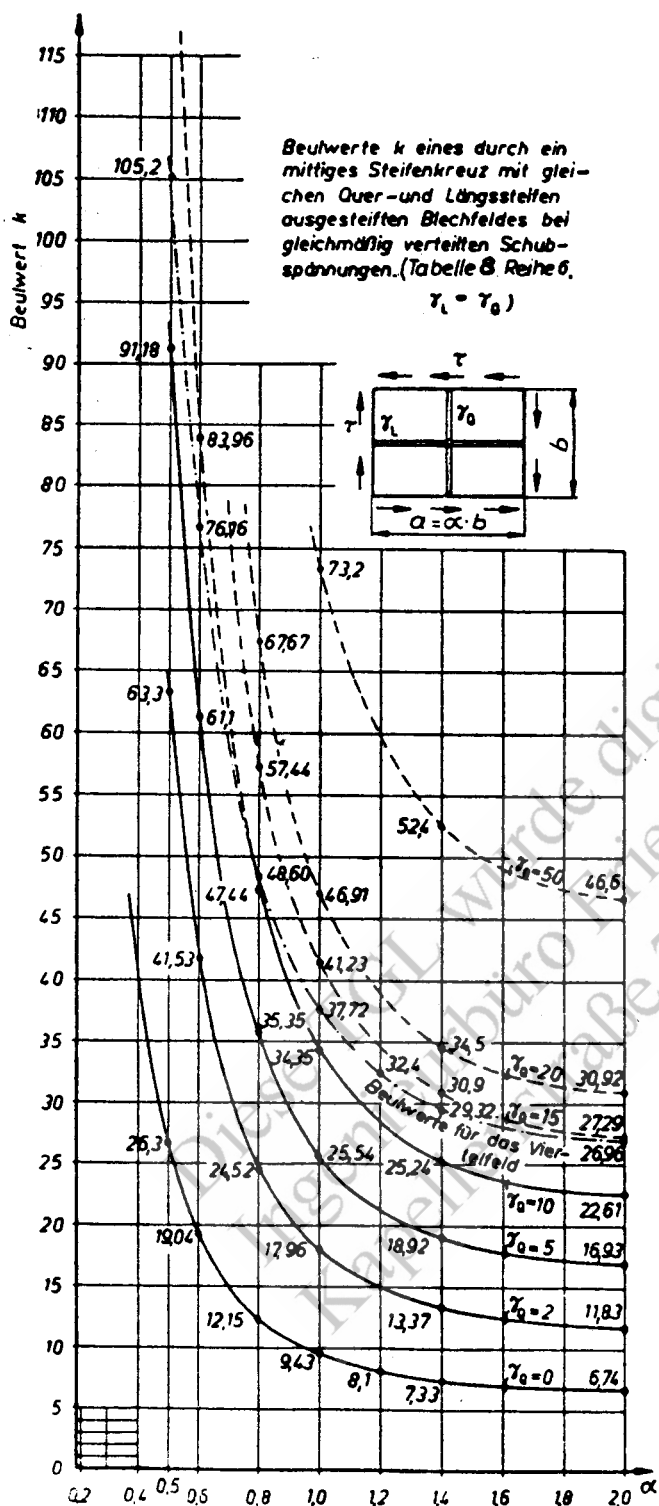


Bild 31

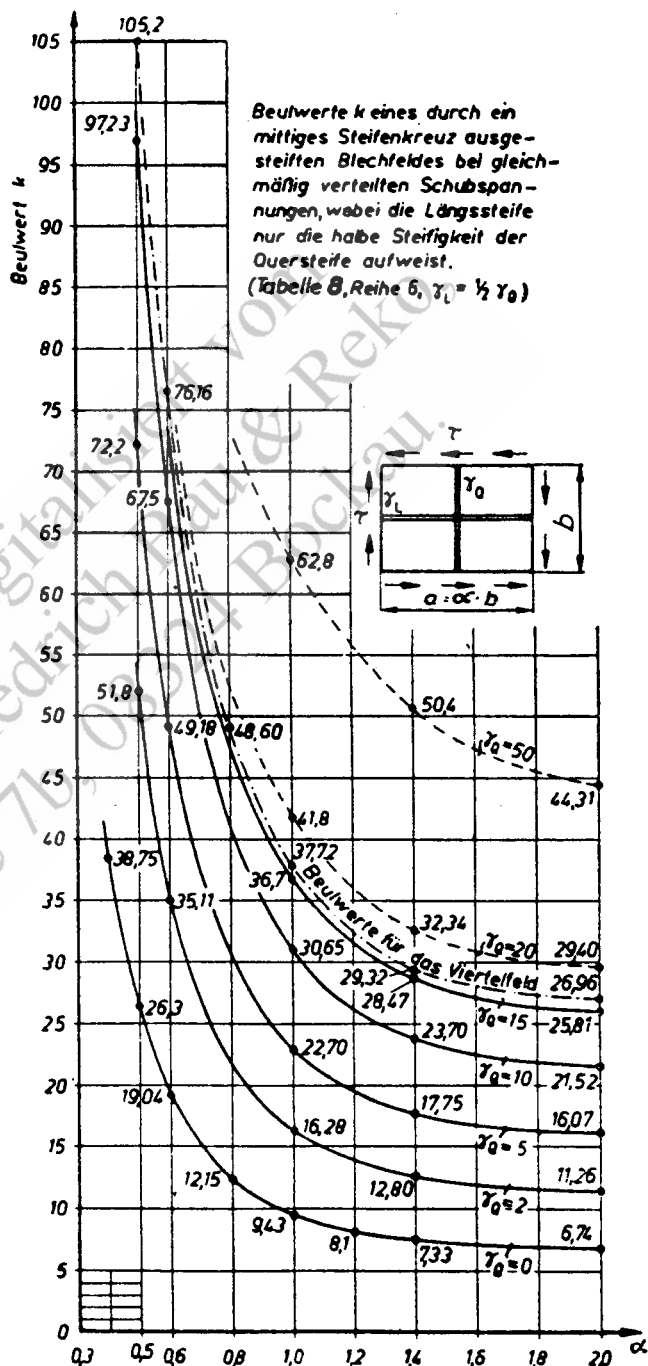


Bild 32

Hinweise

Ersatz für TGL 0-4114 Bl.2 Ausg.9.62

Änderungen gegenüber TGL 0-4114 Bl.2:

Abschnitte:

7.1., 7.2. und 7.3. neu bearbeitet,

8.1. neu aufgenommen

10.2. neu bearbeitet

10.3. und 17.3. neu aufgenommen

redaktionell überarbeitet.

Stahlbau; Stabilitätsfälle;
Berechnung nach zulässigen Spannungen,
Allgemeine Grundlagen

siehe TGL 13 503 Bl.1

Stahlbau; Stahltragwerke;
Berechnung, bauliche Durchbildung

siehe TGL 13 500

Statik und Festigkeitslehre
Formelzeichen, Einheiten

siehe TGL 19 326

Mathematische Zeichen

siehe TGL 0-1302

Allgemeine Formelzeichen

siehe TGL 0-1304

Diese TGL wurde digitalisiert vom
Ingenieurbüro Friedrich Bau & Bekau.
Kapellenstraße 7b, 08324 Bockau.