



# MINISTERIALBLATT

FÜR DAS LAND NORDRHEIN-WESTFALEN

46. Jahrgang

Ausgegeben zu Düsseldorf am 10. Februar 1993

Nummer 10

## Inhalt

### I.

Veröffentlichungen, die in die Sammlung des bereinigten Ministerialblattes  
für das Land Nordrhein-Westfalen (SMBI. NW.) aufgenommen werden.

Glied.-Nr.	Datum	Titel	Seite
232343	18. 12. 1992	RdErl. d. Ministeriums für Bauen und Wohnen DIN 18 800 – Stahlbauten – Teile 1–4	144

### II.

Veröffentlichungen, die nicht in die Sammlung des bereinigten Ministerialblattes  
für das Land Nordrhein-Westfalen (SMBI. NW.) aufgenommen werden.

Datum	Seite
<b>Hinweise</b>	
Inhalt des Justizministerialblattes für das Land Nordrhein-Westfalen	
Nr. 24 v. 15. 12. 1992	283
Nr. 1 v. 1. 1. 1993	284

## I.

232343

**DIN 18 800 – Stahlbauten –  
Teile 1–4**

RdErl. d. Ministeriums für Bauen  
und Wohnen v. 18. 12. 1992 –  
II B 6-480.101-04

## 1 Die Normen

Anlage 1 DIN 18 800 Teil 1 Stahlbauten; Bemessung und Konstruktion,  
Ausgabe November 1990

Anlage 2 DIN 18 800 Teil 2 Stahlbauten; Stabilitätsfälle; Knicken von Stäben und Stabwerken,  
Ausgabe November 1990

Anlage 3 DIN 18 800 Teil 3 Stahlbauten; Stabilitätsfälle; Plattenbeulen,  
Ausgabe November 1990

Anlage 4 DIN 18 800 Teil 4 Stahlbauten; Stabilitätsfälle, Schalenbeulen,  
Ausgabe November 1990

werden hiermit nach § 3 Abs. 3 der Landesbauordnung (BauO NW) als Technische Baubestimmung (TB) bauaufsichtlich eingeführt.

Die Normen sind als Anlage 1–4 abgedruckt.

## 2 Bei Anwendung von DIN 18 800 Teile 1 bis 4, Ausgabe November 1990, gilt folgendes:

Anlage 5 2.1 Die als Anlage abgedruckte Anpassungsrichtlinie ist zu beachten.

2.2 Für den Stahlhochbau (DIN 18 801/09.93) und dünnwandige Rundsilos aus Stahl (DIN 18 914/09.85) dürfen DIN 18 800 Teile 1 bis 4, Ausgabe November 1990, unter Beachtung der ergänzenden Festlegung im Abschnitt 4 der Anpassungsrichtlinie angewendet werden. Dabei muß vollständig nach den Bestimmungen DIN 18 800 Teile 1 bis 4, Ausgabe November 1990, bemessen werden.

Bei Anwendung von anderen Technischen Baubestimmungen, in denen auf DIN 18 800 Teil 1/03.81 oder DIN 1050/06.68 Bezug genommen wird, dürfen DIN 18 800 Teile 1 bis 4, Ausgabe November 1990, sinngemäß angewendet werden.

2.3 Eine Kombination von Stahlbaubestimmungen der Normreihe DIN 18 800, Ausgabe November 1990 (neues Sicherheits- und Bemessungskonzept), mit den Normen DIN 18 800 Teil 1/03.81, DIN 4114 Teil 1/07.52 xx und DIN 4114 Teil 2/02.53 x sowie den DAST-Richtlinien 012/10.78 und 013/07.80 (altes Sicherheits- und Bemessungskonzept) ist nicht zulässig (Mischungsverbot).

Für die Berechnung von Bauwerksteilen, die jeweils statisch ein in sich abgeschlossenes System bilden und nach unterschiedlichen Sicherheits- und Bemessungskonzepten nachgewiesen sind, gilt der Abschnitt 1 der Anpassungsrichtlinie.

2.4 Für die Stahlsorte Fe 510 (St 52-3) muß der Nachweis über die chemische Zusammensetzung nach der Schmelzenanalyse gemäß Sonderregelung A1 beim Verarbeiter vorliegen.

Die Sonderregelung A1 für die Stahlsorte Fe 510 (St 52-3) und die Regelung A3 für die Kennzeichnung der Erzeugnisse nach Anhang A DIN 18 800 Teil 1, Ausgabe November 1990, gelten auch, wenn DIN 18 800 Teil 1/03.81 angewendet wird.

2.5 Versuchsberichte [siehe DIN 18 800 Teil 1, Ausgabe November 1990, Element (207)] dürfen nur anerkannt werden, wenn sie von dafür geeigneten Stellen (Materialprüfungs- bzw. Versuchsanstalten) erstellt wurden. Verzeichnisse von Prüfstellen werden beim Institut für Bautechnik geführt und in den „Mitteilungen des IfBT“ veröffentlicht.

Prüfungen, die von Prüfstellen anderer EG-Mitgliedstaaten erbracht werden, sind ebenfalls anzuerkennen, sofern die Prüfstelle aufgrund ihrer Qualifikation, Integrität, Unparteilichkeit und technischen Ausstattung Gewähr dafür bietet, die Prüfung gleichermaßen sachgerecht und aussagekräftig durchzuführen. Diese Voraussetzungen gelten insbesondere als erfüllt, wenn die Prüfstelle nach Artikel 16 Absatz 2 der Richtlinie 89/106/EWG vom 21. 12. 1988 für diesen Zweck zugelassen worden ist.

3 Der RdErl. v. 27. 8. 1992 (MBI. NW. S. 1378/SMBI. NW. 2323) mit den Verzeichnissen der nach § 3 Abs. 3 BauO NW eingeführten technischen Baubestimmungen erhält in Anlage 1, Abschnitt 5.4, folgende Ergänzungen:

3.1 Spalte 1: DIN 18 800 Teil 1

Spalte 2: November 1990

Spalte 3: Stahlbauten; Bemessung und Konstruktion

Spalte 4: 18. 12. 1992

Spalte 5: MBL. NW. 1993 S. 144

SMBI. NW. 232343

3.2 Spalte 1: DIN 18 800 Teil 2

Spalte 2: November 1990

Spalte 3: Stahlbauten; Stabilitätsfälle; Knicken von Stäben und Stabwerken

Spalte 4: 18. 12. 1992

Spalte 5: MBL. NW. 1993 S. 144

SMBI. NW. 232343

3.3 Spalte 1: DIN 18 800 Teil 3

Spalte 2: November 1990

Spalte 3: Stahlbauten; Stabilitätsfälle; Plattenbeulen

Spalte 4: 18. 12. 1992

Spalte 5: MBL. NW. 1993 S. 144

SMBI. NW. 232343

3.4 Spalte 1: DIN 18 800 Teil 4

Spalte 2: November 1990

Spalte 3: Stahlbauten; Stabilitätsfälle; Schalenbeulen

Spalte 4: 18. 12. 1992

Spalte 5: MBL. NW. 1993 S. 144

SMBI. NW. 232343

DK 693.814.014.2

DEUTSCHE NORM

Anlage 1

November 1990

## Stahlbauten

Bemessung und Konstruktion

DIN

18 800

Teil 1

Steel structures; design and construction

Constructions métalliques; calcul et construction

Ersatz für Ausgabe 03.81

Neben dieser Norm gilt DIN 18800 Teil 1/03.81 noch bis zum Erscheinen einer europäischen (EN)-Norm über die Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten.

Diese Norm wurde im NABau-Fachbereich 08 Stahlbau — Deutscher Ausschuß für Stahlbau e. V. ausgearbeitet.

Mit den vorliegenden neuen Normen der Reihe DIN 18800 wurde erstmals das Sicherheits- und Bemessungskonzept der im Jahre 1981 vom NABau herausgegebenen „Grundlagen zur Festlegung von Sicherheitsanforderungen an bauliche Anlagen“ (GruSiBau) verwirklicht. Darüber hinaus ist auch den laufenden Entwicklungen hinsichtlich der europäischen Vereinheitlichungsbemühungen (Stichwort: EUROCODES) Rechnung getragen worden.

Alle Verweise auf die Normen DIN 18800 Teil 2 und Teil 3 beziehen sich auf die Ausgabe 11.90.

## Inhalt

1 Allgemeine Angaben	7.3.1 Widerstandsgrößen
2 Bautechnische Unterlagen	7.3.2 Beanspruchbarkeiten
3 Begriffe und Formelzeichen	7.4 Nachweisverfahren
3.1 Grundbegriffe	7.5 Verfahren beim Tragsicherheitsnachweis
3.2 Weitere Begriffe	7.5.1 Abgrenzungskriterien und Detailregelungen
3.3 Häufig verwendete Formelzeichen	7.5.2 Nachweis nach dem Verfahren Elastisch-Elastisch
4 Werkstoffe	7.5.3 Nachweis nach dem Verfahren Elastisch-Plastisch
4.1 Walzstahl und Stahlguß	7.5.4 Nachweis nach dem Verfahren Plastisch-Plastisch
4.2 Verbindungsmittel	7.6 Nachweis der Lagesicherheit
4.2.1 Schrauben, Niete, Kopf- und Gewindegelenken	7.7 Nachweis der Dauerhaftigkeit
4.2.2 Schweißzusätze, Schweißhilfsmittel	8 Beanspruchungen und Beanspruchbarkeiten der Verbindungen
4.3 Hochfeste Zugglieder	8.1 Allgemeine Regeln
4.3.1 Drähte von Seilen	8.2 Verbindungen mit Schrauben oder Nieten
4.3.2 End- und Zwischenverankerungen	8.2.1 Nachweise der Tragsicherheit
4.3.3 Zugglieder aus Spannstählen	8.2.2 Nachweis der Gebrauchstauglichkeit
4.3.4 Qualitätskontrolle	8.2.3 Verformungen
4.3.5 Charakteristische Werte für mechanische Eigenschaften von hochfesten Zuggliedern	8.3 Augenstäbe und Bolzen
5 Grundsätze für die Konstruktion	8.4 Verbindungen mit Schweißnähten
5.1 Allgemeine Grundsätze	8.4.1 Verbindungen mit Lichtbogenschweißen
5.2 Verbindungen	8.4.2 Andere Schweißverfahren
5.2.1 Allgemeines	8.5 Zusammenwirken verschiedener Verbindungsmittel
5.2.2 Schrauben- und Nietverbindungen	8.6 Druckübertragung durch Kontakt
5.2.3 Schweißverbindungen	9 Beanspruchbarkeit hochfester Zugglieder beim Nachweis der Tragsicherheit
5.3 Hochfeste Zugglieder	9.1 Allgemeines
5.3.1 Querschnitte	9.2 Hochfeste Zugglieder und ihre Verankerungen
5.3.2 Verankerungen	9.2.1 Tragsicherheitsnachweise
5.3.3 Umlenkklager und Schellen für Spiralseile	9.2.2 Beanspruchbarkeit von hochfesten Zuggliedern
5.3.4 Umlenkklager und Schellen für Zugglieder aus Spannstählen	42
6 Annahmen für die Einwirkungen	9.2.3 Beanspruchbarkeit von Verankerungsköpfen
7 Nachweise	9.3 Umlenkklager, Klemmen und Schellen
7.1 Erforderliche Nachweise	9.3.1 Grenzquerpressung und Teilsicherheitsbeiwert
7.2 Berechnung der Beanspruchungen aus den Einwirkungen	9.3.2 Gleiten
7.2.1 Einwirkungen	Anhang A
7.2.2 Beanspruchungen beim Nachweis der Tragsicherheit	Zitierte Normen und andere Unterlagen
7.2.3 Beanspruchungen beim Nachweis der Gebrauchstauglichkeit	Frühere Ausgaben
7.3 Berechnung der Beanspruchbarkeiten aus den Widerstandsgrößen	Änderungen
	Erläuterungen

Diese Neuauflage von DIN 18800 Teil 1 enthält gegenüber der Erstauflage Druckfehlerberichtigungen, die an den entsprechenden Stellen durch einen Balken am Rand gekennzeichnet sind.

## 1 Allgemeine Angaben

### (101) Anwendungsbereich

Diese Norm ist anzuwenden für die Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten.

### (102) Mitgeltende Normen

Die anderen Grundnormen der Reihe DIN 18 800 sind zu beachten. Für die verschiedenen Anwendungsbereiche sind die entsprechenden Fachnormen zu beachten. In ihnen können zusätzliche oder abweichende Festlegungen getroffen sein.

Anmerkung: Soweit Fachnormen noch nicht an das in dieser Grundnorm verwendete Bemessungskonzept angepaßt sind, kann zur Beurteilung DIN 18 800 Teil 1/03.81 herangezogen werden (vergleiche auch Vorbemerkungen).

### (103) Anforderungen

Stahlbauten müssen standsicher und gebrauchstauglich sein. Ausreichende räumliche Steifigkeit und Stabilität sind sicherzustellen.

Anmerkung: Standsicherheit wird hier als Oberbegriff für Trag- und Lagesicherheit verwendet.

## 2 Bautechnische Unterlagen

### (201) Nutzungsbedingungen

Die bautechnischen Unterlagen müssen Angaben zu den maßgeblichen Nutzungsbedingungen in einer allgemein verständlichen Form enthalten.

### (202) Inhalt

Die bautechnischen Unterlagen müssen den Nachweis ausreichender Standsicherheit und Gebrauchstauglichkeit der baulichen Anlage während des Bau- und Nutzungszeitraumes enthalten.

Anmerkung: Zu den bautechnischen Unterlagen gehören unter anderem die Baubeschreibung, die Statische Berechnung einschließlich der Positionspläne, gegebenenfalls Versuchsberichte zu experimentellen Nachweisen, Zeichnungen mit allen für die Prüfung, Nutzung und Dauerhaftigkeit wesentlichen Angaben, Montage- und Schweißfolgepläne und gegebenenfalls Zulassungsbescheide.

### (203) Baubeschreibung

Alle für die Prüfung der statischen Berechnungen und Zeichnungen wichtigen Angaben sind in die Baubeschreibung aufzunehmen, insbesondere auch solche, die für die Bauausführung wesentlich sind und aus den Nachweisen und Zeichnungen nicht unmittelbar oder nicht vollständig entnommen werden können. Hierzu gehören auch Angaben zum Korrosionsschutz.

### (204) Statische Berechnung

In der statischen Berechnung sind Tragsicherheit und Gebrauchstauglichkeit vollständig, übersichtlich und prüfbar für alle Bauteile und Verbindungen nachzuweisen. Der Nachweis muß in sich geschlossen sein und eindeutige Angaben für die Ausführungszeichnungen enthalten.

### (205) Quellenangaben und Herleitungen

Die Herkunft außergewöhnlicher Gleichungen und Berechnungsverfahren ist anzugeben. Sofern Gleichungen und Berechnungsverfahren nicht veröffentlicht sind, sind Voraussetzungen und Ableitungen soweit anzugeben, daß ihre Eignung geprüft werden kann.

### (206) Elektronische Rechenprogramme

Für die Verwendung von Rechenprogrammen ist die „Richtlinie für das Aufstellen und Prüfen EDV-unterstützter Standsicherheitsnachweise“ zu beachten.

### (207) Versuchsberichte

Versuchsberichte müssen Angaben über das Versuchsziel, die Planung, Einrichtung, Durchführung und Auswertung der Versuche in einer Form enthalten, die eine Beurteilung erlaubt und die eine unabhängige Wiederholung der Versuche ermöglicht.

### (208) Zeichnungen

In den Zeichnungen sind alle für die Prüfung von bautechnischen Unterlagen sowie für die Bauausführung und -abnahme wichtigen Bauteile eindeutig, vollständig und übersichtlich darzustellen.

Anmerkung: Zur eindeutigen und vollständigen Beschreibung der Bauteile gehören unter anderem

- Werkstoffangaben, wie z.B. Stahlsorte von Bauteilen und Festigkeitsklasse von Schrauben,
- Darstellung und Bemaßung der Systeme und Querschnitte,
- Darstellung der Anschlüsse, z.B. durch Angabe der Lage der Schwerachsen von Stäben zueinander, der Anordnung der Verbindungsmittel und der Stoßteile sowie Angaben zum Lochspiel von Verbindungsmitteln,
- Angaben zur Ausführung, z.B. Vorspannung von Schrauben und Nahtvorbereitung von Schweißnähten,
- Angaben über Besonderheiten, die bei der Montage zu beachten sind und
- Angaben zum Korrosionsschutz.

## 3 Begriffe und Formelzeichen

### 3.1 Grundbegriffe

#### (301) Einwirkungen, Einwirkungsgrößen

Einwirkungen sind Ursachen von Kraft- und Verformungsgrößen im Tragwerk.

Einwirkungsgrößen sind die zur Beschreibung der Einwirkungen verwendeten Größen.

Anmerkung: Einwirkungen sind z.B. Schwerkraft, Wind, Verkehrslast, Temperatur und Stützensenkungen. Siehe hierzu auch Abschnitt 7.2.1, Element 706.

#### (302) Widerstand, Widerstandsgrößen

Unter Widerstand wird hier der Widerstand eines Tragwerks, seiner Bauteile und Verbindungen gegen Einwirkungen verstanden.

Widerstandsgrößen sind aus geometrischen Größen und Werkstoffkennwerten abgeleitete Größen; ihre Streuungen sind zu berücksichtigen.

In dieser Norm sind Festigkeiten und Steifigkeiten Widerstandsgrößen.

Anmerkung 1: Vereinfachend werden alle Streuungen des Widerstandes den Festigkeiten und Steifigkeiten zugeordnet, sofern in anderen Normen der Reihe DIN 18 800 nichts anderes geregelt ist.

Anmerkung 2: Werkstoffkennwerte sind z.B. die obere Streckgrenze  $R_{eH}$  und die Zugfestigkeit  $R_m$ .

Anmerkung 3: Festigkeiten und Steifigkeiten beinhalten Werkstoffkennwerte und Querschnittswerte.

Die charakteristischen Werte von Festigkeiten sind auf die Nennwerte der Querschnittswerte bezogene Festigkeiten. Die wichtigsten Festigkeiten

sind die Streckgrenze  $f_y$  und die Zugfestigkeit  $f_u$ , denen die Werkstoffkennwerte obere Streckgrenze  $R_{eH}$  und die Zugfestigkeit  $R_m$  zugeordnet sind.

Ein Beispiel für eine Steifigkeit ist die Biegesteifigkeit ( $E \cdot I$ ). Sie beinhaltet die streuende Werkstoffkenngröße Elastizitätsmodul und die streuende geometrische Größe Flächenmoment 2. Grades.

### (303) Bemessungswerte

Bemessungswerte sind diejenigen Werte der Einwirkungsgrößen und Widerstandsgrößen, die für die Nachweise anzunehmen sind. Sie beschreiben einen Fall ungünstiger Einwirkungen auf Tragwerke mit ungünstigen Eigenschaften. Ungünstigere Fälle sind in der Realität nur mit sehr geringer Wahrscheinlichkeit zu erwarten.

Bemessungswerte werden im allgemeinen durch den Index  $d$  gekennzeichnet.

Anmerkung 1: Die Bemessungswerte dieser Norm sind so festgelegt, daß die Nachweise zu der angestrebten Versagenswahrscheinlichkeit führen.

Anmerkung 2: Für statische Berechnungen ist es wichtig, Bemessungswerte von charakteristischen Werten (siehe Element 304) zu unterscheiden, z.B. durch Verwendung der Indizes  $d$  (Bemessungswerte) und  $k$  (charakteristische Werte).

### (304) Charakteristische Werte

Die charakteristischen Werte für Einwirkungsgrößen und Widerstandsgrößen sind die Bezugsgrößen für die Bemessungswerte der Einwirkungsgrößen und Widerstandsgrößen.

Charakteristische Werte werden durch den Index  $k$  gekennzeichnet.

Anmerkung: Charakteristische Werte der als streuend annehmenden Größen der Einwirkung und des Widerstandes sind nach der dieser Norm zugrundeliegenden Sicherheitstheorie als  $p$ -% -Fraktile der Verteilungsfunktionen dieser Größen festzulegen, z.B. als 5-% -Fraktile. Damit ließe die Sicherheitstheorie die Berechnung der für die angestrebte Versagenswahrscheinlichkeit erforderlichen Teilsicherheitsbeiwerte zu. Da aus praktischen Gründen zuerst Teilsicherheitsbeiwerte vereinbart wurden, ergeben sich unterschiedliche und von [1] abweichende Werte für  $p$ . Aufgrund nicht ausreichender Kenntnisse (Daten) über Einwirkungen und Widerstände sind diese Werte für  $p$  teilweise nur angenähert bekannt. Die Absicherung der Festlegungen dieser Norm stützt sich diesbezüglich auf globale Kalibrierung an der bisherigen Erfahrung.

### (305) Teilsicherheitsbeiwerte

Die Teilsicherheitsbeiwerte  $\gamma_F$  und  $\gamma_M$  sind die Sicherheitselemente, die die Streuung der Einwirkungen  $F$  und Widerstandsgrößen  $M$  berücksichtigen.

Anmerkung 1: Der Teilsicherheitsbeiwert  $\gamma_F$  setzt sich aus folgenden Anteilen zusammen:

$$\gamma_F = \gamma_f \cdot \gamma_{f,sys}$$

$\gamma_f$  bezieht sich ausschließlich auf die Einwirkung und sichert z.B. ihre räumliche und zeitliche Streuung ab.

$\gamma_{f,sys}$  berücksichtigt Unsicherheiten im mechanischen und stochastischen Modell und dient z.B. der Erfassung besonderer Systemempfindlichkeiten.

Angaben zur Bestimmung von  $\gamma_F$  können z.B. [1] entnommen werden.

Anmerkung 2: Der Teilsicherheitsbeiwert  $\gamma_M$  setzt sich aus folgenden Anteilen zusammen:

$$\gamma_M = \gamma_m \cdot \gamma_{m,sys}$$

$\gamma_m$  berücksichtigt die Streuung der jeweiligen Widerstandsgroße.

$\gamma_{m,sys}$  deckt Ungenauigkeiten im mechanischen Modell zur Berechnung der Beanspruchbarkeiten und Systemempfindlichkeiten ab.

Angaben zur Bestimmung von  $\gamma_M$  können z.B. [1] entnommen werden.

### (306) Kombinationsbeiwerte

Die Kombinationsbeiwerte  $\psi$  sind die Sicherheitselemente, die die Wahrscheinlichkeit des gleichzeitigen Auftretens veränderlicher Einwirkungen berücksichtigen.

### (307) Beanspruchungen

Beanspruchungen  $S_d$  sind die von den Bemessungswerten der Einwirkungen  $F_d$  verursachten Zustandsgrößen im Tragwerk. Sie werden auch als vorhandene Größen bezeichnet.

Wenn zur Vermeidung von Verwechslungen Beanspruchungen gekennzeichnet werden müssen, ist dafür der Index  $S,d$  zu verwenden. Hier wird im folgenden auf eine solche Kennzeichnung der Beanspruchungen verzichtet.

Anmerkung: Beanspruchungen sind z.B. Spannungen, Schnittgrößen, Scherkräfte von Schrauben, Dehnungen und Durchbiegungen.

### (308) Grenzzustände

Grenzzustände sind Zustände des Tragwerkes, die den Bereich der Beanspruchung, in dem das Tragwerk tragsicher bzw. gebrauchstauglich ist, begrenzen. Grenzzustände können auch auf Bauteile, Querschnitte, Werkstoffe und Verbindungsmittel bezogen sein.

### (309) Beanspruchbarkeiten

Beanspruchbarkeiten  $R_d$  sind die zu Grenzzuständen gehörenden Zustandsgrößen des Tragwerkes. Sie sind mit den Bemessungswerten der Widerstandsgrößen  $M_d$  zu berechnen und werden auch als Grenzgrößen bezeichnet.

Wenn zur Vermeidung von Verwechslungen Beanspruchbarkeiten zu kennzeichnen sind, ist dafür im allgemeinen der Index  $R,d$  zu verwenden.

Wenn keine Verwechslungen mit Beanspruchungen möglich sind, darf der Index  $R$  entfallen.

Anmerkung: Beanspruchbarkeiten sind z.B. Grenzspannungen, Grenzschnittgrößen, Grenzabscherkräfte von Schrauben und Grenzdehnungen.

## 3.2 Weitere Begriffe

(310) Weitere Begriffe werden im Normtext erläutert.

## 3.3 Häufig verwendete Formelzeichen

(311) Koordinaten, Verschiebungs- und Schnittgrößen, Spannungen sowie Imperfektionen

$x$  Stabachse

$y, z$  Hauptachsen des Querschnitts

Die Zeichen sind bei einteiligen Stäben so gewählt, daß  $I_y \geq I_z$  ist

$u, v, w$  Verschiebungen in Richtung der Achsen  $x, y, z$

$N$  Normalkraft, als Zug positiv

$M_y, M_z$  Biegemomente

$M_x$  Torsionsmoment

$V_y, V_z$  Querkräfte

$\sigma$  Normalspannung

## DIN 18 800 Teil 1

$\tau$	Schubspannung
$\Delta\sigma$	Spannungsschwingbreite
$\varphi_0$	Stabdrehwinkel des vorverformten (imperfekten) Tragwerks im einwirkungsfreien Zustand

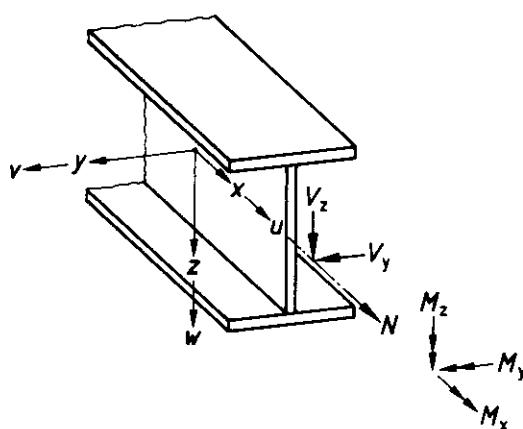


Bild 1. Koordinaten, Verschiebungs- und Schnittgrößen

Anmerkung: Das Formelzeichen  $V$  für Querkraft anstelle von  $Q$  wird in Übereinstimmung mit internationalen Regelwerken, z.B. ISO 3898 : 1987, gewählt.

## (312) Physikalische Kenngrößen, Festigkeiten

$E$	Elastizitätsmodul (E-Modul)
$G$	Schubmodul
$\alpha_T$	lineare Temperaturdehnzahl
$f_y$	Streckgrenze
$f_u$	Zugfestigkeit
$\mu$	Reibungszahl

## (313) Querschnittsgrößen

$t$	Erzeugnisdicke, Blechdicke
$b$	Breite von Querschnittsteilen
$A$	Querschnittsfläche
$A_{\text{Steg}}$	Stegfläche, nach Abschnitt 7.5.2, Element 752
$S$	Statisches Moment
$I$	Flächenmoment 2. Grades (früher: Trägheitsmoment)
$W$	elastisches Widerstandsmoment
$N_{\text{pl}}$	Normalkraft im vollplastischen Zustand
$M_{\text{pl}}$	Biegemoment im vollplastischen Zustand
$M_{\text{el}}$	Biegemoment, bei dem die Spannung $\sigma_x$ an der ungünstigsten Stelle des Querschnitts $f_y$ erreicht

$$\alpha_{\text{pl}} = \frac{M_{\text{pl}}}{M_{\text{el}}} \text{ plastischer Formbeiwert}$$

$V_{\text{pl}}$	Querkraft im vollplastischen Zustand
$d$	Durchmesser
$d_L$	Lochdurchmesser
$d_{\text{Sch}}$	Schaftdurchmesser
$\Delta d$	Nennlochspiel
$a$	rechnerische Schweißnahtdicke

Anmerkung: Die Benennung „vollplastischer Zustand“ bezieht sich auf die volle Ausnutzung der Plastizität. In Sonderfällen (z.B. Winkel-, U-Profilen) können hierbei elastische Restquerschnitte vorhanden sein, vgl. z. B. [7].

## (314) Systemgrößen

$l$  Systemlänge eines Stabes

$N_{\text{Ki}}$  Normalkraft unter der kleinsten Verzweigungslast nach der Elastizitätstheorie, als Druck positiv

$$s_K = \sqrt{\frac{\pi^2 (E \cdot I)}{N_{\text{Ki}}}} \text{ zu } N_{\text{Ki}} \text{ gehörige Knicklänge eines Stabes}$$

## (315) Einwirkungen, Widerstandsgrößen und Sicherheitsfaktoren

$F$  Einwirkung (allgemeines Formelzeichen)

$G$  ständige Einwirkung

$Q$  veränderliche Einwirkung

$F_A$  außergewöhnliche Einwirkung

$F_E$  Erddruck

$M$  Widerstandsgröße (allgemeines Formelzeichen)

$\gamma_F$  Teilsicherheitsbeiwert für die Einwirkungen

$\gamma_M$  Teilsicherheitsbeiwert für die Widerstandsgrößen

$\psi$  Kombinationsbeiwert für Einwirkungen

$S_d$  Beanspruchung (allgemeines Formelzeichen)

$R_d$  Beanspruchbarkeit (allgemeines Formelzeichen)

Anmerkung: Die Formelzeichen sind zum Teil aus der englischen Sprache abgeleitet: z.B. Force, Stress, Resistance, design.

## (316) Nebenzeichen

Index k charakteristischer Wert einer Größe

Index d Bemessungswert einer Größe

Index R,d Beanspruchbarkeit

Index S,d Beanspruchung

Index w Schweißen

Index b Schrauben, Niete, Bolzen

vers vorangestelltes Nebenzeichen zur Kennzeichnung eines Versuchswertes

Anmerkung 1: Nebenzeichen sind zum Teil aus der englischen Sprache abgeleitet: z.B. weld, bolt.

Anmerkung 2: Diese Nebenzeichen sind zu verwenden, wenn die Gefahr von Verwechslungen besteht.

Anmerkung 3: Es ist z.B.  $f_{u,b}$  die Zugfestigkeit eines Schraubenwerkstoffes.

## 4 Werkstoffe

## 4.1 Walzstahl und Stahlguß

## (401) Übliche Stahlsorten

Es sind folgende Stahlsorten zu verwenden:

1. Von den allgemeinen Baustählen nach DIN 17100 die Stahlsorten St 37-2, USt 37-2, RSt 37-2, St 37-3 und St 52-3, entsprechende Stahlsorten für kaltgefertigte geschweißte quadratische und rechteckige Rohre (Hohlprofile) nach DIN 17119 sowie für geschweißte bzw. nahtlose kreisförmige Rohre nach DIN 17120 bzw. DIN 17121.
2. Von den schweißgeeigneten Feinkornbaustählen nach DIN 17102 die Stahlsorten StE 355, WStE 355, TStE 355 und EStE 355, entsprechende Stahlsorten für quadratische und rechteckige Rohre (Hohlprofile) nach DIN 17125 sowie für geschweißte bzw. nahtlose kreisförmige Rohre nach DIN 17123 bzw. DIN 17124.
3. Stahlguß GS-52 nach DIN 1681 und GS-20 Mn 5 nach DIN 17182 sowie Vergütungsstahl C 35 N nach DIN 17200 für stählerne Lager, Gelenke und Sonderbauteile.

**(402) Andere Stahlsorten**

Andere als in Element 401 genannte Stahlsorten dürfen nur verwendet werden, wenn

- die chemische Zusammensetzung, die mechanischen Eigenschaften und die Schweißeignung in den Lieferbedingungen des Stahlherstellers festgelegt sind und diese Eigenschaften einer der in Element 401 genannten Stahlsorten zugeordnet werden können oder
- sie in den Fachnormen vollständig beschrieben und hinsichtlich ihrer Verwendung geregelt sind oder
- ihre Brauchbarkeit auf andere Weise nachgewiesen worden ist.

Anmerkung 1: Die Einschränkungen bei der Wahl des Nachweisverfahrens nach Abschnitt 7.4, Element 726, sind zu beachten.

Anmerkung 2: Die Brauchbarkeit kann z.B. durch eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung oder Zustimmung im Einzelfall nachgewiesen werden.

**(403) Stahlauswahl**

Die Stahlsorten sind entsprechend dem vorgesehenen Verwendungszweck und ihrer Schweißeignung auszuwählen.

Die „Empfehlungen zur Wahl der Stahlgütegruppen für geschweißte Stahlbauten“ (DAST-Richtlinie 009) und „Empfehlungen zum Vermeiden von Terrassenbrüchen in geschweißten Konstruktionen aus Baustahl“ (DAST-Richtlinie 014) dürfen für die Wahl der Werkstoffgüte herangezogen werden.

**(404) Bescheinigungen**

Für die verwendeten Erzeugnisse müssen Bescheinigungen nach DIN 50049 vorliegen.

Für nicht geschweißte Konstruktionen aus Stahl der Sorten St 37-2, USt 37-2, RSt 37-2 und St 37-3 und für unvergütete Bauteile darf hierauf verzichtet werden, wenn die Beanspruchungen nach der Elastizitätstheorie berechnet werden.

Werden die Beanspruchungen nach der Plastizitätstheorie ermittelt, sind die Werkstoffeigenschaften mindestens durch ein Werksprüfzeugnis zu belegen.

Für Blech und Breitflachstahl in geschweißten Bauteilen mit Dicken über 30 mm, die im Bereich der Schweißnähte auf Zug beansprucht werden, muß der Aufschweißbiegeversuch nach SEP 1390 durchgeführt und durch ein Abnahmeprüfzeugnis belegt sein.

Anmerkung: SEP: Stahl-Eisen-Prüfblatt

**(405) Charakteristische Werte für Walzstahl und Stahlguß**

Bei der Ermittlung von Beanspruchungen und Beanspruchbarkeiten sind für Walzstahl und Stahlguß die in Tabelle 1 angegebenen charakteristischen Werte zu verwenden.

Die Veränderung der charakteristischen Werte in Abhängigkeit von der Temperatur ist bei Temperaturen über 100 °C zu berücksichtigen.

Tabelle 1. Als charakteristische Werte für Walzstahl und Stahlguß festgelegte Werte

	1	2	3	4	5	6	7
	Stahl	Erzeugnis-dicke $t^*$ mm	Streck-grenze $f_{y,k}$ N/mm <sup>2</sup>	Zug-festigkeit $f_{u,k}$ N/mm <sup>2</sup>	E-Modul $E$ N/mm <sup>2</sup>	Schub-modul $G$ N/mm <sup>2</sup>	Temperatur-dehnzahl $\alpha_T$ K <sup>-1</sup>
1	Baustahl St 37-2 USt 37-2 R St 37-2 St 37-3	$t \leq 40$	240	360	210 000	81 000	$12 \cdot 10^{-6}$
2		$40 < t \leq 80$	215				
3	Baustahl	$t \leq 40$	360	510			
4	St 52-3	$40 < t \leq 80$	325				
5	Feinkorn-baustahl StE 355 WStE 355 TStE 355 ESTE 355	$t \leq 40$	360	510			
6		$40 < t \leq 80$	325				
7	Stahlguß GS-52		260	520			
8	GS-20 Mn 5	$t \leq 100$	260	500			
9	Vergütungs-stahl C 35 N	$t \leq 16$	300	480			
10		$16 < t \leq 80$	270				

\*) Für die Erzeugnisdicke werden in Normen für Walzprofile auch andere Formelzeichen verwendet, z.B. in den Normen der Reihe DIN 1025 s für den Steg.

Anmerkung: Vergleiche hierzu auch Abschnitt 7.3.1, Element 718.

## 4.2 Verbindungsmitte

### 4.2.1 Schrauben, Niete, Kopf- und Gewindegelenk

#### (406) Schrauben, Muttern, Scheiben

Es sind Schrauben der Festigkeitsklassen 4.6, 5.6, 8.8 und 10.9 nach DIN ISO 898 Teil 1, zugehörige Muttern der Festigkeitsklassen 4, 5, 8 und 10 nach DIN ISO 898 Teil 2 und Scheiben, die mindestens die Festigkeit der Schrauben haben, zu verwenden.

#### (407) Verzinkte Schrauben

Es sind nur komplette Garnituren (Schrauben, Muttern und Scheiben) eines Herstellers zu verwenden.

Feuerverzinkte Schrauben der Festigkeitsklassen 8.8 und 10.9 sowie zugehörige Muttern und Scheiben dürfen nur verwendet werden, wenn sie vom Schraubenhersteller im Eigenbetrieb oder unter seiner Verantwortung im Fremdbetrieb verzinkt wurden.

Andere metallische Korrosionsschutzüberzüge dürfen verwendet werden, wenn

- die Verträglichkeit mit dem Stahl gesichert ist und
- eine wasserstoffinduzierte Versprödung vermieden wird und
- ein adäquates Anziehverhalten nachgewiesen wird.

Anmerkung 1: Ein anderer metallischer Korrosionsschutzüberzug ist z.B. die galvanische Verzinkung.

Anmerkung 2: Zur Vermeidung wasserstoffinduzierter Versprödung siehe auch DIN 267 Teil 9.

#### (408) Charakteristische Werte für Schraubenwerkstoffe

Bei der Ermittlung der Beanspruchbarkeiten von Schraubenverbindungen sind für die Schraubenwerkstoffe die in Tabelle 2 angegebenen charakteristischen Werte zu verwenden.

Tabelle 2. Als charakteristische Werte für Schraubenwerkstoffe festgelegte Werte

	1	2	3
Festigkeitsklasse	Streckgrenze $f_{y,b,k}$ N/mm <sup>2</sup>	Zugfestigkeit $f_{u,b,k}$ N/mm <sup>2</sup>	
1	4.6	240	400
2	5.6	300	500
3	8.8	640	800
4	10.9	900	1000

Anmerkung: Vergleiche hierzu auch Abschnitt 7.3.1, Element 718.

#### (409) Niete

Es sind Niete der Stahlsorten USt 36 und RSt 38 nach DIN 17111 zu verwenden.

#### (410) Charakteristische Werte für Nietwerkstoffe

Bei der Ermittlung der Beanspruchbarkeiten von Nietverbindungen sind für die Nietwerkstoffe die in Tabelle 3 angegebenen charakteristischen Werte zu verwenden.

Tabelle 3. Als charakteristische Werte für Nietwerkstoffe festgelegte Werte

	1	2	3
	Werkstoff	Streckgrenze $f_{y,b,k}$ N/mm <sup>2</sup>	Zugfestigkeit $f_{u,b,k}$ N/mm <sup>2</sup>
1	USt 36	205	330
2	RSt 38	225	370

Anmerkung: Vergleiche hierzu auch Abschnitt 7.3.1, Element 718.

#### (411) Kopf- und Gewindegelenk

Es sind Kopf- und Gewindegelenk nach Tabelle 4 zu verwenden.

Bei der Ermittlung der Beanspruchbarkeiten von Verbindungen mit Kopf- und Gewindegelenk sind für die Bolzenwerkstoffe die in Tabelle 4 angegebenen charakteristischen Werte zu verwenden.

Tabelle 4. Als charakteristische Werte für Werkstoffe von Kopf- und Gewindegelenk festgelegte Werte

	1	2	3	
	Bolzen	Streckgrenze $f_{y,b,k}$ N/mm <sup>2</sup>	Zugfestigkeit $f_{u,b,k}$ N/mm <sup>2</sup>	
1	nach DIN 32500 Teil 1 Festigkeitsklasse 4.8	320	400	
2	nach DIN 32500 Teil 3 mit der chemischen Zusammensetzung des St 37-3 nach DIN 17100	350	450	
3	aus St 37-2, St 37-3 nach DIN 17100	$d \leq 40$ 40 < $d \leq 80$	240 215	360
4	aus St 52-3 nach DIN 17100	$d \leq 40$ 40 < $d \leq 80$	360 325	510

Anmerkung: Vergleiche hierzu auch Abschnitt 7.3.1, Element 718.

#### (412) Bescheinigungen über Schrauben, Niete und Bolzen

Für Schrauben der Festigkeitsklassen 8.8 und 10.9 sowie Muttern der Festigkeitsklassen 8 und 10 muß durch laufende Aufschreibungen des Herstellerwerkes nachzuweisen sein, daß die Anforderungen hinsichtlich der mechanischen Eigenschaften, Oberflächenbeschaffenheit, Maße und Anziehverhalten für diese Schrauben erfüllt sind. Dieses muß unter anderem durch ein Werkszeugnis nach DIN 50049 belegt sein.

Schrauben der anderen Festigkeitsklassen und Niete müssen nach DIN ISO 898 Teil 1 und Teil 2 geprüft sein. Auf die Vorlage einer Bescheinigung hierüber darf verzichtet werden.

Für Kopf- und Gewindegelenken sind die mechanischen Eigenschaften durch eine Bescheinigung nach DIN 50049, mindestens durch ein Werkszeugnis zu belegen.

#### (413) Andere dornartige Verbindungsmittel

Für die Verwendung von Verbindungsmitteln aus anderen als den zuvor genannten Werkstoffen gelten Abschnitt 4.1, Element 402, und Abschnitt 4.2.1, Element 412, sinngemäß.

#### 4.2.2 Schweißzusätze, Schweißhilfsstoffe

(414) Es dürfen nur Schweißzusätze und Schweißhilfsstoffe verwendet werden, die nach den „Rahmenbedingungen für die Zulassung von Schweißzusätzen und Schweißhilfsstoffen für den bauaufsichtlichen Bereich“ zugelassen<sup>1)</sup> sind.

Anmerkung: Schweißhilfsstoffe sind z.B. Schweißpulver und Schutzgase.

### 4.3 Hochfeste Zugglieder

#### 4.3.1 Drähte von Seilen

(415) Für Drähte von Seilen sind Qualitätsstähle nach DIN 17140 Teil 1 oder nichtrostende Stähle nach DIN 17440 zu verwenden.

#### 4.3.2 End- und Zwischenverankerungen

##### (416) Verankerungsköpfe

Für Verankerungsköpfe ist Stahlguß nach DIN 1681, DIN 17182 und SEW 685 oder geschmiedeter Stahl nach DIN 17100, DIN 17103 oder DIN 17200 zu verwenden.

Anmerkung: SEW: Stahl-Eisen-Werkstoffblätter

##### (417) Verankerungen mit Verguß

Für Vergußverankerungen sind

- metallische Vergüsse nach DIN 3092 Teil 1 oder
  - Kunststoffe nach ISO Report TR 7596 oder
  - Kugel-Epoxidharz-Verguß nach Element 418
- zu verwenden.

##### (418) Verankerung mit Kugel-Epoxidharz-Verguß

Die Druckfestigkeit  $f_{D,k}$  und die Biegezugfestigkeit  $f_{B,k}$  des Kugel-Epoxidharz-Vergusses, gemessen an Prismen 4 cm x 4 cm x 16 cm nach DIN 1164 Teil 2, muß nach 48 Stunden sein:

$$f_{D,k} \geq 100 \text{ N/mm}^2 \quad (1)$$

$$f_{B,k} \geq 40 \text{ N/mm}^2 \quad (2)$$

Anmerkung: In DIN 1164 Teil 2 werden die Festigkeiten mit dem Formelzeichen  $\beta$  bezeichnet.

#### (419) Kauschen

Für Kauschen sind die in DIN 3090 und DIN 3091 angegebenen Werkstoffe zu verwenden.

#### (420) Reibschluß-Verankerungen

Für reibschlüssige Verbindungen sind für Seilklemmen und Kabelschellen Werkstoffe nach DIN 1142, DIN 1681, DIN 17100, DIN 17103, DIN 17200 oder SEW 685 sowie für Preßklemmen Aluminium-Knetlegierungen nach DIN 3093 Teil 1 oder Stähle nach DIN 3095 Teil 1 zu verwenden.

#### 4.3.3 Zugglieder aus Spannstählen

(421) Für Spanndrähte, Spannlitzen und Spannstähle sind die in den allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen genannten Werkstoffe zu verwenden.

#### 4.3.4 Qualitätskontrolle

##### (422) Bescheinigung

Die Eigenschaften der verwendeten Werkstoffe sind durch eine Bescheinigung nach DIN 50049, mindestens durch ein Werkszeugnis, zu belegen.

##### (423) Verankerungsköpfe

Jeder Verankerungskopf ist durch Magnetpulverprüfung auf Oberflächenfehler zu prüfen. Für die äußere Beschaffenheit gelten als höchstzulässige Anzeigenmerkmale die Gütestufe DIN 1690 — MS 3 und für eventuell vorhandene Gabelbereiche DIN 1690 — MS 2.

Köpfe aus Stahlguß sind außerdem einer Ultraschallprüfung zu unterziehen. Für die innere Beschaffenheit gilt als höchstzulässiges Anzeigenmerkmal die Gütestufe DIN 1690 — UV 2.

##### Fertigungsschweißungen nach DIN 1690 Teil 1 und Teil 2 sind erlaubt.

##### (424) Zugglieder aus Spannstählen

Für die Qualitätskontrolle gelten die Angaben in den entsprechenden allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen.

#### 4.3.5 Charakteristische Werte für mechanische Eigenschaften von hochfesten Zuggliedern

##### (425) Festigkeiten von Drähten

Als charakteristische Werte der 0,2-Grenze  $f_{0,2}$  und der Zugfestigkeit  $f_u$  sind die Nennwerte nach DIN 3051 Teil 4 zu verwenden.

Der charakteristische Wert  $f_{u,k}$  der Zugfestigkeit soll 1770 N/mm<sup>2</sup> nicht überschreiten. Alle Drähte eines Zuggliedes sollen den gleichen charakteristischen Wert der Zugfestigkeit haben.

##### (426) Dehnsteifigkeit

Die Dehnsteifigkeit von hochfesten Zuggliedern ist im allgemeinen durch Versuche zu bestimmen.

Bei der Bestimmung des Verformungsmoduls von Seilen ist zu beachten, daß sich an kurzen Versuchsseilen — Probenlänge  $\leq 10$ facher Schlaglänge — ein geringeres Kriechmaß als bei langen Seilen ergibt.

Falls keine genaueren Werte bekannt sind, darf dieser Effekt bei der Ablängung von Spiralseilen durch eine zusätzliche Verkürzung von 0,15 mm/m berücksichtigt werden.

Anmerkung 1: Die Dehnsteifigkeit ist das Produkt von Verformungsmodul und metallischem Querschnitt. Anhaltswerte für die Verformungsmoduln von hochfesten Zuggliedern aus Stahl nach DIN 17140 Teil 1 können Bild 2 und Tabelle 5 entnommen werden.

Anmerkung 2: Die in Tabelle 5 angegebenen Verformungsmoduln  $E_Q$  gelten nach mehrmaligem Beladen und Entlasten zwischen 30 % und 40 % der rechnerischen Bruchkraft.

Anmerkung 3: Da nichtvorgereckte Seile bei Erstbelastung außer elastischen auch bleibende Dehnungen haben, kann es vorteilhaft sein, diese Seile vor oder nach dem Einbau bis höchstens 0,45  $f_{u,k}$  zu recken.

<sup>1)</sup> Die amtliche Zulassungsstelle ist das Bundesbahn-Zentralamt Minden. (Die DS 920 01 „Verzeichnis der von der Deutschen Bundesbahn zugelassenen Schweißzusätze, Schweißhilfsstoffe und Hilfsmittel für das Lichtbogen- und Gasschmelzschiessen“ kann bei der Drucksachenzentrale der Deutschen Bundesbahn, Stuttgarter Str. 61 a, 7500 Karlsruhe 1, bezogen werden.)

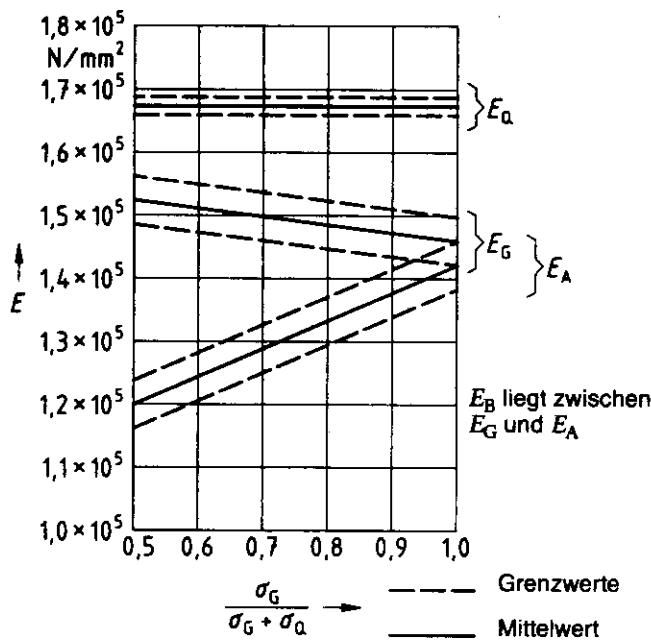


Bild 2. Anhaltswerte für die Verformungsmoduln vollverschlossener, nichtvorgereckter Spiralseile aus Stählen nach DIN 17 140 Teil 1

In Bild 2 bedeuten:

$E_G$  Verformungsmodul nach erstmaliger Belastung bis  $\sigma_G$

$E_Q$  Verformungsmodul im Bereich veränderlicher Einwirkungen

$E_A$  Verformungsmodul maßgebend für das Ablängen

$E_B$  Verformungsmodul während der Bauzustände

$\sigma_G$  Beanspruchung aus ständigen Einwirkungen

$\sigma_Q$  Beanspruchung aus veränderlichen Einwirkungen

Voraussetzung für die Verformungsmoduln nach Bild 2 sind:

- die Schlaglänge ist etwa gleich dem 10fachen Durchmesser der jeweiligen Lage;
- die Grundspannung ist  $40 \text{ N/mm}^2$ .

Die Grundspannung beim Ablängen entspricht der Unterlast in den Ablängversuchen, bei der die Seile keine Weiligkeit mehr aufweisen und der Seilverband praktisch geschlossen ist (untere Grenzlast des elastischen Bereichs).

#### (427) Berechnungsannahme für die Dehnsteifigkeit

Wenn die durch Versuche an dem zum Einbau bestimmten Zugglied festgestellte Dehnsteifigkeit mehr als 10% von dem der Berechnung zugrunde gelegten Wert abweicht, ist dies zu berücksichtigen.

#### (428) Temperaturdehnzahl

Die Temperaturdehnzahl für Zugglieder aus Stählen nach DIN 17 140 Teil 1 ist

$$\alpha_T = 12 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}. \quad (3)$$

Die Werte für nichtrostende Stähle sind DIN 17 440 zu entnehmen.

#### (429) Reibungszahlen

Für die Reibung zwischen vollverschlossenen Spiralseilen untereinander sowie zwischen vollverschlossenen Spiralseilen und Stahl (Seilklemmen, Kabelschellen,

Tabelle 5. Anhaltswerte für den Verformungsmodul  $E_Q$  im Bereich veränderlicher Einwirkungen von hochfesten Zuggliedern

	1	2	3	4
	Hochfestes Zugglied nach Element 523			$E_Q \text{ N/mm}^2$
1	Offene Spiralseile			$0,15 \cdot 10^6$
2	Vollverschlossene Spiralseile			$0,17 \cdot 10^6$
3	Rundlitzenseile mit Stahleinlage			
	Mindestseildurchmesser mm	Anzahl der Außenlitzen	Drahtanzahl je Außenlitze	
	7	6	6 bis 8	$0,12 \cdot 10^6$
	8	8	6 bis 8	$0,11 \cdot 10^6$
	17	6	15 bis 26	$0,11 \cdot 10^6$
	19	8	15 bis 26	$0,10 \cdot 10^6$
	23	6	27 bis 49	$0,10 \cdot 10^6$
	30	8	27 bis 49	$0,09 \cdot 10^6$
4	25	6	50 bis 75	$0,10 \cdot 10^6$
	32	8	50 bis 75	$0,09 \cdot 10^6$
4	Bündel aus parallelen Spanndrähten und -stäben			$0,20 \cdot 10^6$
5	Bündel aus parallelen Spannlitzen			$0,19 \cdot 10^6$

Umlenklager oder ähnlichen Bauteilen) ist eine Reibungszahl  $\mu = 0,1$  anzusetzen, falls nicht durch Versuche ein anderer Wert nachgewiesen wird.

Für alle anderen hochfesten Zugglieder sind die Reibungszahlen durch Versuche zu bestimmen.

## 5 Grundsätze für die Konstruktion

### 5.1 Allgemeine Grundsätze

#### (501) Mindestdicken

Die Mindestdicken sind den Fachnormen zu entnehmen.

#### (502) Verschiedene Stahlsorten

Die Verwendung verschiedener Stahlsorten in einem Tragwerk und in einem Querschnitt ist zulässig.

#### (503) Krafteinleitungen

Es ist zu prüfen, ob im Bereich von Krafteinleitungen oder -umlenkungen, an Knicken, Krümmungen und Ausschnitten konstruktive Maßnahmen erforderlich sind.

Bei geschweißten Profilen und Walzprofilen mit I-förmigem Querschnitt dürfen Kräfte ohne Ausleitungen eingeleitet werden, wenn

- der Betriebsfestigkeitsnachweis nicht maßgebend ist und
- der Trägerquerschnitt gegen Verdrehen und seitliches Ausweichen gesichert ist und
- der Tragsicherheitsnachweis nach Abschnitt 7.5.1, Element 744, geführt wird.

Anmerkung: Ein Beispiel für konstruktive Maßnahmen ist die Anordnung von Steifen.

## 5.2 Verbindungen

### 5.2.1 Allgemeines

#### (504) Stöße und Anschlüsse

Stöße und Anschlüsse sollen gedrungen ausgebildet werden. Unmittelbare und symmetrische Stoßdeckung ist anzustreben.

Die einzelnen Querschnittsteile sollen für sich geschlossen oder gestoßen werden.

**Knotenbleche dürfen zur Stoßdeckung herangezogen werden, wenn ihre Funktion als Stoß- und als Knotenblech berücksichtigt wird.**

Anmerkung: Querschnittsteile sind z.B. Flansche oder Stege.

#### (505) Kontaktstoß

Wenn Kräfte aus druckbeanspruchten Querschnitten oder Querschnittsteilen durch Kontakt übertragen werden, müssen

- die Stoßflächen der in den Kontaktfugen aufeinanderstrebenden Teile eben und zueinander parallel und
- lokale Instabilitäten infolge herstellungsbedingter Imperfektionen ausgeschlossen oder unschädlich sein und
- die gegenseitige Lage der miteinander zu stoßenden Teile nach Abschnitt 8.6, Element 837, gesichert sein.

Bei Kontaktstößen, deren Lage durch Schweißnähte gesichert wird, darf der Luftspalt nicht größer als 0,5 mm sein.

Anmerkung 1: Herstellungsbedingte Imperfektionen können z.B. Versatz oder Unebenheiten sein. Lokale Instabilitäten können insbesondere bei dünnwandigen Bauteilen auftreten, siehe z.B. [2], [3].

Anmerkung 2: Die Anforderung für die Begrenzung des Luftspaltes gilt z.B. für den Anschluß druckbeanspruchter Flansche an Stirnplatten.

### 5.2.2 Schrauben- und Nietverbindungen

#### (506) Schraubenverbindungen

Die Ausführungsformen für Schraubenverbindungen sind nach Tabelle 6 zu unterscheiden.

Für planmäßig vorgespannte Verbindungen sind Schrauben der Festigkeitsklassen 8.8 oder 10.9 zu verwenden.

Gleitfeste Verbindungen mit Schrauben der Festigkeitsklasse 8.8 und 10.9 sind planmäßig vorzuspannen; die Reibflächen sind nach DIN 18800 Teil 7 vorzubehandeln.

Zugbeanspruchte Verbindungen mit Schrauben der Festigkeitsklassen 8.8 oder 10.9 sind planmäßig vorzuspannen.

**Auf planmäßiges Vorspannen darf verzichtet werden, wenn Vertormungen (Klaffungen) beim Tragsicherheitsnachweis berücksichtigt werden und im Gebrauchsstand in Kauf genommen werden können.**

Anmerkung 1: GV-Verbindungen sichern die Formschlüssigkeit der Verbindungen bis zur Grenzgleitkraft, SLP-, SLVP- und GVP-Verbindungen bis zur Grenzabscher- bzw. Grenzlochleistungskraft.

Anmerkung 2: Planmäßiges Vorspannen von zugbeanspruchten Verbindungen (z.B. von biegesteifen Stirnplatten-Verbindungen) verhindert das Klaffen der Verbindung unter den Einwirkungen für den Gebrauchstauglichkeitsnachweis. Dadurch wird auch die Betriebsfestigkeit der Verbindung erhöht.

Anmerkung 3: In der Literatur werden GV- und GVP-Verbindungen auch als gleitfeste vorgespannte Verbindungen bezeichnet, siehe z.B. [4].

**Tabelle 6. Ausführungsformen von Schraubenverbindungen**

	1	2	3	4
	Nennlochspiel $\Delta d = d_L - d_{Sch}$ mm	nicht planmäßig vor- gespannt	planmäßig vorgespannt ohne gleitfeste Reibfläche	mit gleitfester Reibfläche
1	$0,3 < \Delta d \leq 2,0^*)$	SL	SLV	GV
2	$\Delta d \leq 0,3$	SLP	SLVP	GVP
		SL	Scher-Lochleibungsverbindungen	
		SLP	Scher-Lochleibungs-Paßverbindungen	
		SLV	planmäßig vorgespannte Scher-Lochleibungsverbindungen	
		SLVP	planmäßig vorgespannte Scher-Lochleibungs-Paßverbindungen	
		GV	gleitfeste planmäßig vorgespannte Verbindungen	
		GVP	gleitfeste planmäßig vorgespannte Paßverbindungen	

\*) Der Größtwert des Nennlochspiels  $\Delta d$  in Verbindungen mit Senkschrauben beträgt im Bauteil mit dem Senkkopf  $\Delta d = 1,0$  mm.

#### (507) Schrauben, Muttern und Unterlegscheiben

Schrauben nach DIN 7990, Paßschrauben nach DIN 7968 und Senkschrauben nach DIN 7969 sind mit Muttern nach DIN 555 und gegebenenfalls mit Unterlegscheiben nach DIN 7989 oder mit Keilscheiben nach DIN 434 bzw. DIN 435 zu verwenden.

Schrauben nach DIN 6914 und Paßschrauben nach DIN 7999 sind mit Muttern nach DIN 6915 und Unterlegscheiben nach DIN 6916 bis DIN 6918 zu verwenden.

Bei hochfesten Schrauben sind Unterlegscheiben kopf- und mutterseitig anzuordnen.

**Auf die kopfseitige Unterlegscheibe darf bei nicht planmäßig vorgespannten hochfesten Schrauben verzichtet werden, wenn das Nennlochspiel 2 mm beträgt.**

Die Auflageflächen am Bauteil dürfen planmäßig nicht mehr als 2% gegen die Auflageflächen von Schraubenkopf und Mutter geneigt sein.

Anmerkung 1: Als nicht planmäßig vorgespannt gelten Schrauben bzw. Verbindungen, wenn die Schrauben entsprechend der gängigen Montagepraxis ohne Kontrolle des Anziehmomentes angezogen werden.

Anmerkung 2: Größere Neigungen können z.B. durch Keilscheiben ausgeglichen werden.

#### (508) Niete

Für Nietverbindungen sind Halbrundniete nach DIN 124 oder Senkniete nach DIN 302 zu verwenden.

#### (509) Zugkräfte in Nieten

Planmäßige Zugkräfte in Nieten infolge von Einwirkungen sollen vermieden werden.

#### (510) Mittelbare Stoßdeckung

Bei mittelbarer Stoßdeckung über  $m$  Zwischenlagen zwischen der Stoßlasche und dem zu stoßenden Teil ist die Anzahl der Schrauben oder Niete gegenüber der bei unmittelbarer Deckung rechnerisch erforderlichen Anzahl  $n$  auf  $n' = n(1 + 0,3 m)$  zu erhöhen (siehe Bild 3).

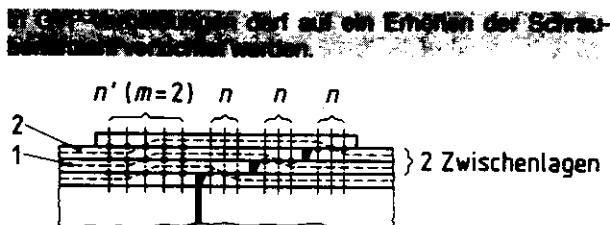


Bild 3. Erhöhung der Anzahl der Verbindungsmittel bei mittelbarer Stoßdeckung

**(511) Endanschlüsse zusätzlicher Gurtplatten mit Schrauben oder Nieten**

Wenn der Einfluß des Schlupfes im Nachweis nicht berücksichtigt wird, darf das Lochspiel geschraubter Endanschlüsse zusätzlicher Gurtplatten von Vollwandträgern höchstens 1 mm betragen.

Die Endanschlüsse sind mit der größten Querkraft zwischen dem Gurtplattenende und dem Querschnitt mit der größten Beanspruchung zu bemessen.

Ist die rechnerisch erforderliche Anschlußlänge größer als dieser Bereich, so ist die Gurtplatte über den rechnerischen Anschlußpunkt hinauszuziehen; ist sie kleiner, so ist die Gurtplatte in dem übrigen Bereich konstruktiv anzuschließen.

**(512) Futter**

Stoßteile dürfen in Verbindungen höchstens um 2 mm verzogen sein.

Futterstücke von mehr als 6 mm Dicke sind als Zwischenlagen nach Element 510 zu behandeln, wenn sie nicht mit mindestens einer Schrauben- bzw. Nietreihe oder durch entsprechende Schweißnähte vorgebunden werden.

**Für GVP-Verbindungen darf auf das Verbinden verzichtet werden.**

**(513) Schrauben- und Nietabstände**

Für die Abstände von Schrauben und Nieten gilt Tabelle 7. Dabei ist  $t$  die Dicke des dünnsten der außenliegenden Teile der Verbindung.

**Bei Anschlüssen mit mehr als 2 Lochreihen in und rechtwinklig zur Kraftrichtung brauchen die größten Lochabstände  $e$  und  $e_3$  nach Tabelle 7, Zeile 5 nur für die äußeren Reihen eingehalten zu werden.**

**Wenn ein freier Rand z.B. durch die Profilform verstift wird, darf der maximale Randabstand 8  $t$  betragen.**

Tabelle 7. Rand- und Lochabstände von Schrauben und Nieten

	1	2	3	4	5	6	
1	Randabstände			Lochabstände			
2	Kleinster Randabstand	In Kraftrichtung $e_1$	$1,2 d_L$	Kleinster Lochabstand	In Kraftrichtung $e$	$2,2 d_L$	
3		Rechtwinklig zur Kraftrichtung $e_2$	$1,2 d_L$		Rechtwinklig zur Kraftrichtung $e_3$	$2,4 d_L$	
4	Größter Randabstand	In und rechtwinklig zur Kraftrichtung $e_1$ bzw. $e_2$	$3 d_L$ oder $6 t$	Größter Lochabstand, $e$ bzw. $e_3$	Zur Sicherung gegen lokales Beulen	$6 d_L$ oder $12 t$	
5					wenn lokale Beulgefahr nicht besteht	$10 d_L$ oder $20 t$	

Bei gestanzten Löchern sind die kleinsten Randabstände  $1,5 d_L$ , die kleinsten Lochabstände  $3,0 d_L$ .

Die Rand- und Lochabstände nach Zeile 5 dürfen vergrößert werden, wenn durch besondere Maßnahmen ein ausreichender Korrosionsschutz sichergestellt ist.

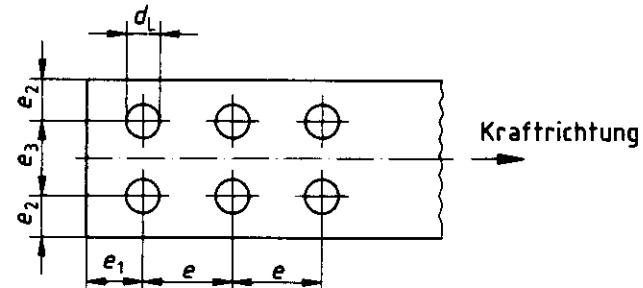


Bild 4. Randabstände  $e_1$  und  $e_2$  und Lochabstände  $e$  und  $e_3$

Anmerkung 1: Die Abstände werden von Lochmitte aus gemessen.

Anmerkung 2: Die Beanspruchbarkeit auf Lochleibung ist von den gewählten Rand- und Lochabständen abhängig. Die größtmögliche, rechnerisch nutzbare Beanspruchbarkeit wird nach Abschnitt 8.2.1.2, Element 805, mit den in Tabelle 8 angegebenen Rand- und Lochabständen erreicht. Für die Mindestabstände nach Tabelle 7 beträgt die Beanspruchbarkeit nur etwa die Hälfte der größtmöglichen Werte.

Tabelle 8. Rand- und Lochabstände, für die die größtmögliche Beanspruchbarkeit auf Lochleibung erreicht wird

Abstand	$e_1$	$e_2$	$e$	$e_3$
	$3,0 \cdot d_L$	$1,5 \cdot d_L$	$3,5 \cdot d_L$	$3,0 \cdot d_L$

Anmerkung 3:

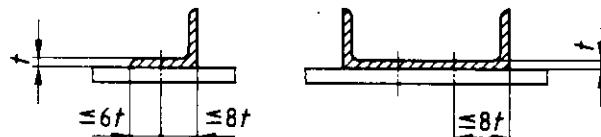


Bild 5. Beispiele für die Versteifung freier Ränder im Bereich von Stößen und Anschlüssen

Anmerkung 4: Ausreichender Korrosionsschutz kann z.B. durch planmäßiges Vorspannen biegesteifer Stirnplattenverbindungen oder durch Abdichten der Fugen erreicht werden.

### 5.2.3 Schweißverbindungen

#### (514) Allgemeine Grundsätze

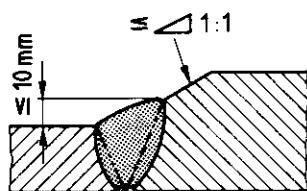
Die Bauteile und ihre Verbindungen müssen schweißgerecht konstruiert werden, Anhäufungen von Schweißnähten sollen vermieden werden.

Anmerkung: Für die Stahlauswahl siehe Abschnitt 4.1, Element 403.

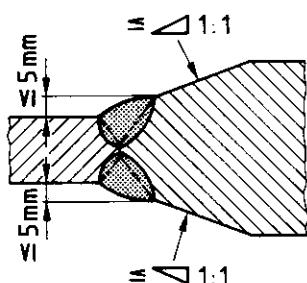
#### (515) Stumpfstoß von Querschnittsteilen verschiedener Dicken

Wechselt an Stumpfstoßen von Querschnittsteilen die Dicke, so sind bei Dickenunterschieden von mehr als 10 mm die vorstehenden Kanten im Verhältnis 1:1 oder flacher zu brechen.

Anmerkung:



a) Einseitig bündiger Stoß



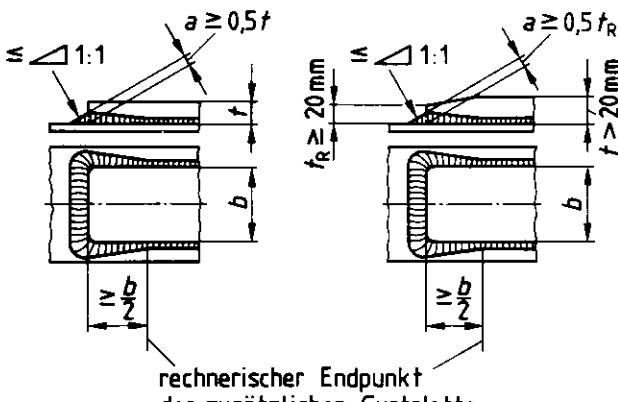
b) Zentrischer Stoß

Bild 6. Beispiele für das Brechen von Kanten bei Stumpfstoßen von Querschnittsteilen mit verschiedenen Dicken

#### (516) Obere Begrenzung von Gurtplattendicken

Gurtplatten, die mit Schweißverbindungen angeschlossen oder gestoßen werden, sollen nicht dicker sein als 50 mm. Gurtplatten von mehr als 50 mm Dicke dürfen verwendet werden, wenn ihre einwandfreie Verarbeitung durch entsprechende Maßnahmen sichergestellt ist.

Anmerkung: Entsprechende Maßnahmen siehe DIN 18800 Teil 7/05.83, Abschnitt 3.4.3.6.



a) b)  
Bild 7. Vorbinden zusätzlicher Gurtplatten

#### (517) Geschweißte Endanschlüsse zusätzlicher Gurtplatten

Sofern kein Nachweis für den Gurtplattenanschluß geführt wird, ist die zusätzliche Gurtplatte nach Bild 7 a) vorzubinden.

Bei Gurtplatten mit  $t > 20$  mm darf der Endanschluß nach Bild 7 b) ausgeführt werden.

#### (518) Gurtplattenstöße

Wenn aufeinanderliegende Gurtplatten an derselben Stelle gestoßen werden, ist der Stoß mit Stirnfugennähten vorzubereiten.

Anmerkung:

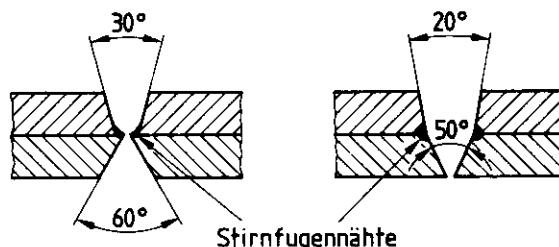


Bild 8. Beispiele für die Nahtvorbereitung eines Stumpfstoßes aufeinanderliegender Gurtplatten

#### (519) Grenzwerte für Kehlnahldicken

Bei Querschnittsteilen mit Dicken  $t \geq 3$  mm sollen folgende Grenzwerte für die Schweißnahtdicke  $a$  von Kehlnähten eingehalten werden:

$$2 \text{ mm} \leq a \leq 0,7 \min t \quad (4)$$

$$a \geq \sqrt{\max t - 0,5} \quad (5)$$

mit  $a$  und  $t$  in mm.

In Abhängigkeit von den gewählten Schweißbedingungen darf auf die Einhaltung von Bedingung (5) verzichtet werden, jedoch sollte für Blechdicken  $t \geq 30$  mm die Schweißnahtdicke mit  $a \geq 5$  mm gewählt werden.

Anmerkung: Der Richtwert nach Bedingung (5) vermeidet ein Mißverhältnis von Nahtquerschnitt und verbundenen Querschnittsteilen, siehe auch [5].

#### (520) Schweißnähte bei besonderer Korrosionsbeanspruchung

Bei besonderer Korrosionsbeanspruchung dürfen unterbrochene Nähte und einseitige nicht durchgeschweißte Nähte nur ausgeführt werden, wenn durch besondere Maßnahmen ein ausreichender Korrosionsschutz sichergestellt ist.

Anmerkung: Besondere Korrosionsbeanspruchung liegt z.B. im Freien vor. Als besondere Maßnahme kann z.B. die Anordnung einer zusätzlichen Beschichtung im Bereich des Spaltes angesehen werden.

#### (521) Schweißnähte in Hohlkehlen von Walzprofilen

In Hohlkehlen von Walzprofilen aus unberuhigt vergossenen Stählen sind Schweißnähte in Längsrichtung nicht zulässig.

#### (522) Schweißen in kaltgeformten Bereichen

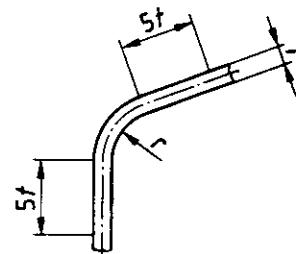
Wenn in kaltgeformten Bereichen einschließlich der angrenzenden Bereiche der Breite  $5 t$  geschweißt wird, sind die Grenzwerte  $\min r/t$  nach Tabelle 9 einzuhalten. Zwischen den Werten der Zeilen 1 bis 5 darf linear interpoliert werden.

Die Werte der Umformgrade nach Tabelle 9 brauchen nicht eingehalten zu werden, wenn kaltgeformte Teile vor dem Schweißen normalgeglüht werden.

Tabelle 9. Grenzwerte min ( $r/t$ ) für das Schweißen in kaltgeformten Bereichen

	1	2	3
	max $t$ mm	min ( $r/t$ )	
1	50	10	
2	24	3	
3	12	2	
4	8	1,5	
5	4*)	1	
6	< 4*)	1	

\*) Für Bauteile aus St 37-3 darf dieser Wert auf 6 mm erhöht werden.



### 5.3 Hochfeste Zugglieder

#### 5.3.1 Querschnitte

##### (523) Einteilung

Folgende hochfeste Zugglieder werden unterschieden:

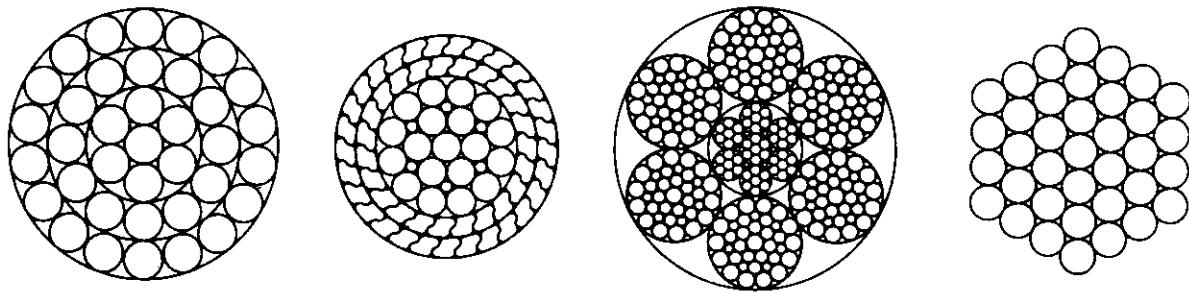
###### a) Seile

- Offene Spiralseile; sie bestehen nur aus Runddrähten.
- Vollverschlossene Spiralseile; sie bestehen in der äußeren Lage oder den äußeren Lagen aus Formdrähten und in den inneren Lagen aus Runddrähten.
- Rundlitzenseile; sie bestehen aus einer oder mehreren Lagen von Litzen.

###### b) Zugglieder aus Spannstählen; Bündel aus parallel zur Bündelachse verlaufenden

- Spanndrähten,
- Spannlitzen,
- Spannstäben.

Anmerkung:



Offenes Spiralseil

Vollverschlossenes  
Spiralseil

Rundlitzenseil

Bündel aus parallelen  
Spanndrähten, -litzen  
oder -stäben

Bild 9. Beispiele für hochfeste Zugglieder

##### (524) Grenzen für Drahtdurchmesser

Der Drahtdurchmesser  $d$  und die Formdrähtenhöhe  $h$  für Drähte von Seilen nach DIN 779 sind zu begrenzen auf

$$0,7 \text{ mm} \leq d \leq 7,0 \text{ mm} \text{ und} \quad (6)$$

$$3,0 \text{ mm} \leq h \leq 7,0 \text{ mm}. \quad (7)$$

Für Zugglieder aus Spannstählen gelten die allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen.

#### 5.3.2 Verankerungen

##### (525) Arten

Seile sind mit Vergußverankerungen, Kauschen und Klemmen oder anderen Verankerungen nach Element 527 anzuschließen.

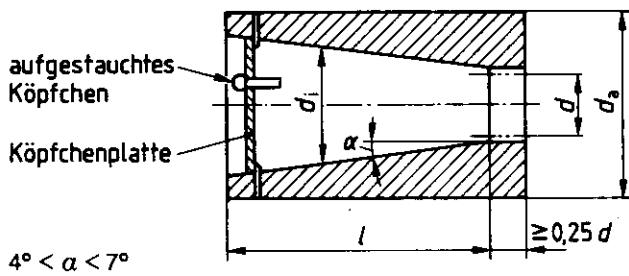
Für die Verankerungen von Zuggliedern aus Spannstählen gelten die allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen.

Anmerkung 1: Die Art der Verankerungen richtet sich nach der Art und dem Durchmesser der gewählten Zugglieder, nach der anschließenden Konstruktion und nach den möglichen Verformungen, z.B. infolge Windschwingungen.

Anmerkung 2: Die äußere Form der Verankerungen kann z.B. durch die Montage- oder die Spannvorrichtungen bestimmt sein, siehe z.B. DIN 83313.

Anmerkung 3: Anhaltswerte für die Abmessungen üblicher Vergußverankerungen sind in Bild 10 angegeben.

## Paralleldrahtbündel und Parallellitzenbündel



d Durchmesser des Bündels ohne Korrosionsschutz

Seile mit  
 $d > 40 \text{ mm}$ 

$5^\circ < \alpha < 9^\circ$

$$d_a = (0,3 \frac{f_{y,D}}{f_y} + 1,9) d$$

$l \quad 5 d \text{ bzw. } 50 d_D < l < 7 d$  bei Drahtseilen mit weniger als 50 Drähten

$d$  Seilnenndurchmesser

$d_D$  größter Drahtdurchmesser  $\leq 7 \text{ mm}$  (bei Formdrähten die Profilhöhe)

$f_{y,D}$  Streckgrenze der Drähte

$f_y$  Streckgrenze der Verankerungsköpfe

Bild 10. Anhaltswerte für die Abmessungen zylindrischer Verankerungsköpfe

## (526) Kauschen und Klemmen

Wenn offene Spiralseile oder Rundlitzenseile mit Kauschen und Klemmen verankert werden sollen, müssen die Seile ausreichend biegsam sein.

Es sind Kauschen nach DIN 3090 oder DIN 3091 zu verwenden.

Das um die Kausche gelegte Seilende muß durch

- flämische Augen mit Stahlpreßklemmen nach DIN 3095 Teil 2 oder
- Preßklemmen aus Aluminium-Knetlegierungen nach DIN 3093 Teil 2 oder
- Drahtseilklemmen nach DIN 1142

befestigt werden.

Bei offenen Spiralseilen sind mindestens 2 Preßklemmen nach DIN 3093 Teil 2 anzubringen, oder es ist die nach DIN 1142/01.82 erforderliche Anzahl der Klemmen um eins zu erhöhen.

Zur Verankerung von vollverschlossenen Spiralseilen dürfen Kauschen und Klemmen nicht verwendet werden.

Preßklemmen und Drahtseilklemmen dürfen für Gleichschlagseile nicht verwendet werden.

## (527) Andere Verankerungen

Die Eignung anderer Verankerungen ist durch Versuche nachzuweisen.

Anmerkung: Andere Verankerungen sind z.B. Preßklemmen aus Stahl, Seilschlösser, Spleißungen, Endlosseile oder Abspannspiralen.

## 5.3.3 Umlenklager und Schellen für Spiralseile

## (528) Umlenklager

Der Radius der Auflagerfläche von Umlenklagern muß mindestens gleich dem 30fachen Seildurchmesser sein.

Wenn eine formtreue Lagerung des Seiles auf einer Breite von mindestens 60% des Seildurchmessers und einer Weichmetalleinlage oder Spritzverzinkung von mindestens 1 mm Dicke vorhanden ist, darf der Radius auf das 20fache des Seildurchmessers verringert werden.

Kleinere Krümmungsradien dürfen verwendet werden, wenn die Umlenklänge  $l_2$  nach Bild 11 ein ganzzahliges Vielfaches der Schlaglänge ist, wenn der Durchmesser bzw. die Höhe des Einzeldrahtes  $\leq 0,005 r$  ist und die Bruchkraft des gekrümmten Seiles durch mindestens einen Versuch einer von der Bauaufsicht anerkannten Prüfstelle mit Prüfstücken, die der Ausführung im Bauwerk entsprechen, nachgewiesen ist.

Die Bogenlänge  $l_1$  des Umlenklagers nach Bild 11 muß  $l_1 \geq 1,06 l_2$  betragen.

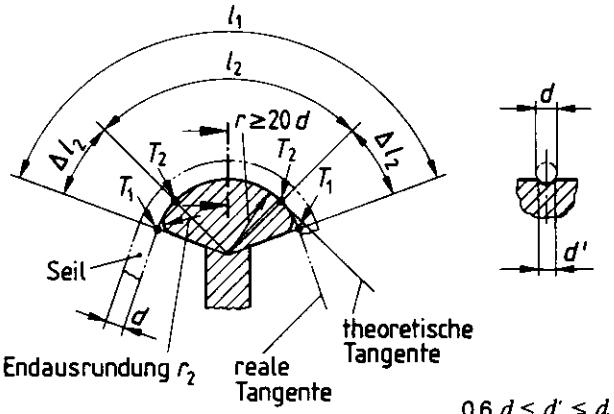


Bild 11. Endausrundung von Umlenklagern

Die Radien  $r_2$  der Endausrundungen der Auflagerfläche, die innerhalb der Bogenlänge  $l_1$  liegen können, müssen mindestens 20 mm betragen.

Die Lage der beiden Punkte  $T_2$  nach Bild 11 ist für die jeweils ungünstigsten Lastfälle zu ermitteln, wobei die Bewegung des Lagers und der Durchhang des vollverschlossenen Spiralseils zu berücksichtigen sind.

Bei Kabeln aus mehreren vollverschlossenen Spiralseilen ist die Auflagerfläche der Querschnittsform anzupassen; wo es erforderlich ist, sind zum Übertragen der Querpres- sungen Formstücke vorzusehen.

Anmerkung 1: Die hier angegebenen geometrischen Verhältnisse stellen sicher, daß die Grenzzugkraft des umgelenkten Seiles um nicht mehr als 3% unter der des geraden Seiles liegt.

Anmerkung 2: Die Verschiebung der Punkte  $T_2$  in Richtung auf  $T_1$  ergibt sich aufgrund der Einschnürung des Spiralseils im Lagerbereich infolge der Querpres- sungen zu  $\Delta l_2 = 0,03 l_2$ . Daraus folgt  $l_1 \geq l_2 + 2 \Delta l_2 = 1,06 l_2$ .

## (529) Schellen

Seil- und Kabelschellen sind im allgemeinen auszufuttern. Für Spreizschellen ist diese Festlegung sinngemäß zu beachten. Die Eignung der gewählten Konstruktion ist durch Versuche nachzuweisen.

## DIN 18 800 Teil 1

Schellen sind so auszubilden, daß die Seile formtreu gepreßt werden, wobei lokale Spannungsspitzen zwischen Schelle und Seil und scharfe Kanten zu vermeiden sind. Trotzdem ist die Querpressung möglichst hoch zu wählen bzw. der Übergangsbereich zur freien Seilstrecke so kurz wie möglich zu halten.

Anmerkung 1: Das Ausfuttern ist im allgemeinen notwendig, um die erforderliche Reibung zwischen Seil oder Kabel und Schelle zu erreichen, damit ein Wandern oder Rutschen vermieden wird.

Anmerkung 2: Spannungsspitzen können den Drahtverband stören, scharfe Kanten die metallische Schutzschicht zerstören und große Biegebeanspruchungen im Draht hervorrufen.

Anmerkung 3: Kurze Schellen werden gefordert, um die Relativbewegungen zwischen Draht und Schelle infolge von Spannungsänderungen kleinzuhalten.

#### 5.3.4 Umlenklager und Schellen für Zugglieder aus Spannstählen

(530) Die Eignung der gewählten konstruktiven Ausbildung von Umlenklagern und Schellen für Zugglieder aus Spannstählen ist durch Versuche nachzuweisen.

### 6 Annahmen für die Einwirkungen

#### (601) Charakteristische Werte

Als charakteristische Werte der Einwirkungen gelten die Werte der einschlägigen Normen über Lastannahmen.

Für Einwirkungen, die nicht oder nicht vollständig in Normen angegeben sind, müssen entsprechende charakteristische Werte festgelegt werden. Diese sind als  $p\%$ -Fraktille der Verteilungen der Einwirkungen für einen vorgesehenen Bezugszeitraum festzulegen. Reichen die dafür erforderlichen statistischen Daten nicht aus, sind Schätzwerte für die Fraktilwerte anzunehmen.

Anmerkung: Zu den festzulegenden charakteristischen Werten von Einwirkungen gehören z.B. die von Lasten in Bauzuständen, z.B. aus Montagegerät.

#### (602) Eigenlast von Seilen und Zuggliedern aus Spannstählen

Der charakteristische Wert der Eigenlast von Seilen und Zuggliedern aus Spannstählen ist

$$g_k = A_m \cdot w \quad (8)$$

mit

$A_m$  metallischer Querschnitt in  $\text{mm}^2$

$w$  Eigenlastfaktor nach Tabelle 10 in  $\text{kN}/(\text{m} \cdot \text{mm}^2)$

$A_m$  darf nach Gleichung (9) berechnet werden.

$$A_m = \frac{\pi d^2}{4} f \quad (9)$$

mit

$f$  Füllfaktor nach Tabelle 10

$d$  Seil- oder Bündeldurchmesser in mm

Anmerkung: Der Eigenlastfaktor  $w$  ist ein Rechenwert, der außer dem Gewichtsanteil der Drähte auch die Gewichtsanteile des Korrosionsschutzes berücksichtigt.

Tabelle 10. Eigenlast- und Füllfaktoren

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Seilarten	Runddrahtkern + 1 Lage Profildrähte	Runddrahtkern + 2 Lagen Profildrähte	Runddrahtkern + mehr als 2 Lagen Profildrähte	Anzahl der um den Kerndraht angeordneten Drahtlagen				Eigenlastfaktor $w \cdot 10^4$ kN $\text{m} \cdot \text{mm}^2$
1	Offene Spiralseile	—	—	—	1	2	3 bis 6	> 6	0,83
2	Vollverschlossene Spiralseile	0,81	0,84	0,88	—	—	—	—	0,83
3	Rundlitzenseile mit Stahleinlage	—	—	—	—	—	0,55	—	0,93
4	Zugglieder aus Spannstählen mit Korrosionsschutz durch Verzinken und Beschichten	—	—	—	0,78	0,76	0,75	0,85	—
5	Zugglieder aus Spannstählen mit Korrosionsschutz mit zementinjiziertem Kunststoffrohr	—	—	—	—	—	0,60	—	1,05

## 7 Nachweise

### 7.1 Erforderliche Nachweise

#### (701) Umfang

Die Trag- und die Lagesicherheit sowie die Gebrauchstauglichkeit für das Tragwerk, seine Teile und Verbindungen sowie seiner Lager sind nachzuweisen.

Anmerkung 1: Mit dem Nachweis der Tragsicherheit wird belegt, daß das Tragwerk und seine Teile während der Errichtung und geplanten Nutzung gegen Ver sagen (Einsturz) ausreichend sicher sind. Dieses setzt voraus, daß während der Nutzung des Bauwerks keine die Standsicherheit beeinträchtigenden Veränderungen, z.B. Korrosion, eintreten können.

Anmerkung 2: Der Nachweis der Lagesicherheit betrifft in der Regel nur Lagerfugen. In vielen Fällen ist von vornherein erkennbar, daß ein solcher Nachweis entbehrlich ist, z.B. für Abheben eines Einfeld-Deckenträgers.

Anmerkung 3: Die Gebrauchstauglichkeit des Bauwerkes kann je nach Anwendungsbereich Beschränkungen, z.B. von Formänderungen oder von Schwingungen, erforderlich machen. Ihr Nachweis kann insbesondere bei Anwendung des Nachweisverfahrens Plastisch-Plastisch bemessungsbestimmend sein.

#### (702) Allgemeine Anforderungen

Es ist nachzuweisen, daß die Beanspruchungen  $S_d$  die Beanspruchbarkeiten  $R_d$  nicht überschreiten:

$$S_d / R_d \leq 1 \quad (10)$$

Die Beanspruchungen  $S_d$  sind mit den Bemessungswerten der Einwirkungen  $F_d$  und gegebenenfalls den Bemessungswerten der Widerstandsgrößen  $M_d$  zu bestimmen. Die Beanspruchbarkeiten  $R_d$  sind mit den Bemessungswerten der Widerstandsgrößen  $M_d$  zu bestimmen.

Anmerkung 1: In Abhängigkeit vom gewählten Nachweisverfahren und den betrachteten Tragwerksteilen können die Nachweise als Spannungsnachweise, Schnittgrößennachweise, Bauteil- oder Tragwerkernachweise geführt werden.

Anmerkung 2: Die Beanspruchungen können auch von Widerstandsgrößen abhängig sein, wie z.B. von den Steifigkeiten bei Zwängungen in statisch unbestimmten Tragwerken.

#### (703) Grenzzustände für den Nachweis der Tragsicherheit

Die Tragsicherheit ist für einen oder mehrere der folgenden, vom gewählten Nachweisverfahren abhängigen Grenzzustände nachzuweisen:

- Beginn des Fließens
- Durchplastizieren eines Querschnittes
- Ausbilden einer Fließgelenkkette
- Bruch

Weitere Grenzzustände sind gegebenenfalls anderen Grundnormen und Fachnormen zu entnehmen.

Anmerkung 1: Ob die Grenzzustände Biegeknicken, Biegedrillknicken, Platten- oder Schalenbeulen sowie Ermüdung maßgebend sein können, ergibt sich aus Abschnitt 7.5, Elemente 739, 740, 741 und den Tabellen 12, 13 und 14.

Anmerkung 2: Die Nachweisverfahren sind im Abschnitt 7.4, Element 726 mit Tabelle 11, angegeben.

Anmerkung 3: Angelehnt an den allgemeinen Sprachgebrauch werden nebeneinander die Begriffe Fließen und Plastizieren verwendet. In der Regel wird in den rechnerischen Nachweisen von Bauteilen von der Verfestigung kein Gebrauch gemacht.

#### (704) Grenzzustände für den Nachweis der Gebrauchstauglichkeit

Grenzzustände für den Nachweis der Gebrauchstauglichkeit sind, soweit sie nicht in anderen Grundnormen oder Fachnormen geregelt sind, zu vereinbaren.

#### (705) Nachweis der Gebrauchstauglichkeit bei Gefährdung von Leib und Leben

Wenn mit dem Verlust der Gebrauchstauglichkeit eine Gefährdung von Leib und Leben verbunden sein kann, gelten für den Nachweis der Gebrauchstauglichkeit die Regeln für den Nachweis der Tragsicherheit.

Anmerkung: Der Nachweis der Gebrauchstauglichkeit, z.B. der Dichtigkeit von Leitungen, ist dann als Tragsicherheitsnachweis zu führen, wenn es sich beim Inhalt der Leitungen z.B. um giftige Gase handelt.

## 7.2 Berechnung der Beanspruchungen aus den Einwirkungen

### 7.2.1 Einwirkungen

#### (706) Einteilung

Die Einwirkungen  $F$  sind nach ihrer zeitlichen Veränderlichkeit einzuteilen in

- ständige Einwirkungen  $G$ ,
- veränderliche Einwirkungen  $Q$  und
- außergewöhnliche Einwirkungen  $F_A$ .

Wahrscheinliche Baugrubbewegungen sind wie ständige Einwirkungen zu behandeln.

Temperaturänderungen sind in der Regel den veränderlichen Einwirkungen zuzuordnen.

Anmerkung: Außergewöhnliche Einwirkungen sind z.B. Lasten aus Anprall von Fahrzeugen.

#### (707) Bemessungswerte

Die Bemessungswerte  $F_d$  der Einwirkungen sind die mit einem Teilsicherheitsbeiwert  $\gamma_F$  und gegebenenfalls mit einem Kombinationsbeiwert  $\psi$  vervielfachten charakteristischen Werte  $F_k$  der Einwirkungen:

$$F_d = \gamma_F \cdot \psi \cdot F_k \quad (11)$$

Anmerkung: Die Zahlenwerte für die Teilsicherheitsbeiwerte  $\gamma_F$  und die Kombinationsbeiwerte  $\psi$  sind für den Nachweis der Tragsicherheit im Abschnitt 7.2.2 und für den Nachweis der Gebrauchstauglichkeit im Abschnitt 7.2.3 geregelt.

#### (708) Charakteristische Werte

Die charakteristischen Werte  $F_k$  der Einwirkungen  $F$  sind nach Abschnitt 6 zu bestimmen.

#### (709) Dynamische Erhöhung der Einwirkung

Dynamische Erhöhungen der Beanspruchungen sind zu berücksichtigen.

Handelt es sich um eine nichtperiodische Einwirkung, darf sie durch Einwirkungsfaktoren erfaßt werden.

Anmerkung 1: Bei veränderlichen Einwirkungen tritt in Abhängigkeit von der Schnelle der Einwirkungen und der dynamischen Reaktion des Bauwerkes eine Erhöhung der Beanspruchung gegenüber dem statischen Wert ein. Beispiele für Einwirkungsfaktoren sind: Stoßfaktor, Schwingfaktor, Böenreaktionsfaktor; sie können z.B. Fachnormen entnommen werden.

Anmerkung 2: Periodische Einwirkungen erfordern im allgemeinen baudynamische Untersuchungen, insbesondere wenn Bauwerksresonanzen entstehen können.

## 7.2.2 Beanspruchungen beim Nachweis der Tragsicherheit

### (710) Grundkombinationen

Für den Nachweis der Tragsicherheit sind Einwirkungskombinationen aus

- den ständigen Einwirkungen  $G$  und allen ungünstig wirkenden veränderlichen Einwirkungen  $Q_i$  und
- den ständigen Einwirkungen  $G$  und jeweils einer der ungünstig wirkenden veränderlichen Einwirkungen  $Q_i$  zu bilden.

Für die Bemessungswerte der ständigen Einwirkungen  $G$  gilt

$$G_d = \gamma_F \cdot G_k \quad (12)$$

mit  $\gamma_F = 1,35$ .

Für die Bemessungswerte der veränderlichen Einwirkungen  $Q$  gilt

- bei Berücksichtigung aller ungünstig wirkenden veränderlichen Einwirkungen  $Q_i$

$$Q_{i,d} = \gamma_F \cdot \psi_i \cdot Q_{i,k} \quad (13)$$

mit  $\gamma_F = 1,5$  und  $\psi_i = 0,9$ ,

- bei Berücksichtigung nur jeweils einer der ungünstig wirkenden veränderlichen Einwirkungen  $Q_i$

$$Q_{i,d} = \gamma_F \cdot Q_{i,k} \quad (14)$$

mit  $\gamma_F = 1,5$ .

Die Definitionen von Einwirkungen  $Q_i$  sind den Fachnormen zu entnehmen.

Für 2 und mehr veränderliche Einwirkungen dürfen in Gleichung (13) auch Kombinationsbeiwerte  $\psi_i < 0,9$  verwendet werden, wenn die Kombinationsbeiwerte zuverlässig ermittelt sind.

Für kontrollierte veränderliche Einwirkungen dürfen in den Gleichungen (13) und (14) kleinere Teilsicherheitsbeiwerte  $\gamma_F$  eingesetzt werden. Sie dürfen jedoch nicht kleiner als 1,35 sein, sofern nicht in Sonderfällen in Fachnormen kleinere Werte angegeben sind.

Anmerkung 1: In den Fachnormen können abweichende Einwirkungskombinationen vereinbart sein.

Anmerkung 2: In den einschlägigen Normen über Lastannahmen werden die Formelzeichen  $G_k$ ,  $Q_k$  und  $F_{E,k}$  zur Zeit noch nicht verwendet.

Anmerkung 3: Einwirkungen  $Q_i$  können aus mehreren Einzeleinwirkungen bestehen; z.B. sind in der Regel alle vertikalen Verkehrslasten nach DIN 1055 Teil 3 eine Einwirkung  $Q_i$ .

Anmerkung 4: Untersuchungen zu den Kombinationsbeiwerten  $\psi_i$  sind in der Fachliteratur zu finden, z.B. in [6].

Anmerkung 5: Kontrollierte veränderliche Einwirkungen sind solche mit geringer Streuung ihrer Extremwerte, wie z.B. Flüssigkeitslasten in offenen Behältern und betriebsbedingte Temperaturänderungen.

### (711) Ständige Einwirkungen, die Beanspruchungen verringern

Wenn ständige Einwirkungen Beanspruchungen aus veränderlichen Einwirkungen verringern, gilt für den Bemessungswert der ständigen Einwirkung

$$G_d = \gamma_F \cdot G_k \quad (15)$$

mit  $\gamma_F = 1,0$ .

Falls die Einwirkung Erddruck die vorhandenen Beanspruchungen verringert, so gilt für den Bemessungswert des Erddruckes

$$F_{E,d} = \gamma_F \cdot F_{E,k} \quad (16)$$

mit  $\gamma_F = 0,6$ .

Anmerkung: Die Regel bezüglich Gleichung (15) gilt z.B. für den Tragsicherheitsnachweis von Dächern bei Windsog oder Unterwind.

### (712) Ständige Einwirkungen, von denen Teile Beanspruchungen verringern

Wenn Teile ständiger Einwirkungen Beanspruchungen aus veränderlichen Einwirkungen verringern, sind zusätzlich zu Element 710 Grundkombinationen zu bilden. In Gleichung (12) ist anstelle von  $\gamma_F = 1,35$  zu setzen

- für die Teile, die diese Beanspruchungen vergrößern

$$\gamma_F = 1,1$$

- für die Teile, die diese Beanspruchungen verringern

$$\gamma_F = 0,9$$

Bei Rahmen und Durchlaufträgern darf auf diese zusätzliche Grundkombination verzichtet werden.

Wenn durch Kontrolle die Unter- bzw. Überschreitung von ständigen Lasten mit hinreichender Zuverlässigkeit ausgeschlossen ist, darf mit  $\gamma_F = 1,05$  bzw. 0,95 gerechnet werden.

Anmerkung: Diese zusätzlichen Grundkombinationen können nur bei Tragwerken vom Typ Waagebalken maßgebend werden. Bei diesen Tragwerken ergibt sich die Beanspruchung aus ständigen Einwirkungen aus der Differenz der sie vergrößernden und verringern Einwirkungen.

### (713) Erhöhung relativ kleiner Beanspruchung

Ergeben sich lokal vergleichsweise geringe Beanspruchungen, muß geprüft werden, ob sich durch kleine Veränderungen des Systems oder Lastbildes größere Beanspruchungen oder solche mit anderen Vorzeichen ergeben. Gegebenenfalls sind additive Zuschläge zu den Beanspruchungen vorzusehen.

Anmerkung: Beispiele sind Biegemomente in Stößen im Bereich von Momentennullpunkten und kleine Normalkräfte in Fachwerkstäben, bei denen eine Vorzeichenenumkehr möglich ist.

### (714) Außergewöhnliche Kombinationen

Die Beanspruchungen  $S_d$  sind mit den Bemessungswerten  $F_d$  der Einwirkungen zu berechnen. Dafür sind Einwirkungskombinationen aus den ständigen Einwirkungen  $G$ , allen ungünstig wirkenden veränderlichen Einwirkungen  $Q_i$  und einer außergewöhnlichen Einwirkung  $F_A$  zu bilden.

Für die Bemessungswerte gelten dabei für

- ständige Einwirkungen  $G$  und veränderliche Einwirkungen  $Q$

die Gleichungen (12) und (13) jedoch

$$\text{mit } \gamma_F = 1,0 \text{ und}$$

- die außergewöhnliche Einwirkung  $F_A$

$$F_{A,d} = \gamma_F \cdot F_{A,k} \quad (17)$$

$$\text{mit } \gamma_F = 1,0.$$

### 7.2.3 Beanspruchungen beim Nachweis der Gebrauchstauglichkeit

#### (715) Vereinbarungen

Teilsicherheitsbeiwerte, Kombinationsbeiwerte und Einwirkungskombinationen für den Nachweis der Gebrauchstauglichkeit sind, soweit sie nicht in anderen Grundnormen oder Fachnormen geregelt sind, zu vereinbaren.

Anmerkung: Der Nachweis der Gebrauchstauglichkeit ist in den meisten Fällen ein Nachweis der Größe der Verformungen. Bei der Verformungsberechnung ist gegebenenfalls auch das plastische Verhalten zu berücksichtigen; dies gilt insbesondere bei Tragwerken, deren Tragsicherheitsnachweis nach dem Verfahren Plastisch-Plastisch (siehe Tabelle 11) geführt wird.

#### (716) Verlust der Gebrauchstauglichkeit verbunden mit der Gefährdung von Leib und Leben

Wenn der Verlust der Gebrauchstauglichkeit mit einer Gefährdung von Leib und Leben verbunden ist, sind die Beanspruchungen nach Abschnitt 7.2.2 zu berechnen.

### 7.3 Berechnung der Beanspruchbarkeiten aus den Widerstandsgrößen

#### 7.3.1 Widerstandsgrößen

##### (717) Bemessungswerte

Die Bemessungswerte  $M_d$  der Widerstandsgrößen sind im allgemeinen (Ausnahmen siehe Abschnitt 7.5.4, Element 759) aus den charakteristischen Größen  $M_k$  der Widerstandsgrößen durch Dividieren durch den Teilsicherheitsbeiwert  $\gamma_M$  zu berechnen.

$$M_d = M_k / \gamma_M \quad (18)$$

Anmerkung: Der Nachweis mit den  $\gamma_M$ fachen Bemessungswerten der Einwirkungen und den charakteristischen Werten der Widerstandsgrößen führt zum gleichen Ergebnis wie der Nachweis mit den Bemessungswerten der Einwirkungen und der Widerstandsgrößen, wenn für alle Widerstandsgrößen derselbe Wert  $\gamma_M$  gilt.

##### (718) Charakteristische Werte der Festigkeiten

Die charakteristischen Werte der Festigkeiten  $f_{y,k}$  und  $f_{u,k}$  sind Abschnitt 4 zu entnehmen oder anderenfalls den 5%-Fraktilen der zugeordneten Werkstoffkennwerte  $R_{eH}$  und  $R_m$  gleichzusetzen.

##### (719) Charakteristische Werte der Steifigkeiten

Die charakteristischen Werte der Steifigkeiten sind aus den Nennwerten der Querschnittswerte und den charakteristischen Werten für den Elastizitäts- oder den Schubmodul zu berechnen.

Für die in Tabelle 1 aufgeführten Werkstoffe dürfen die dort angegebenen Werte als charakteristische Werte verwendet werden.

#### (720) Teilsicherheitsbeiwerte $\gamma_M$ zur Berechnung der Bemessungswerte der Festigkeiten beim Nachweis der Tragsicherheit

Falls in anderen Normen nichts anderes geregelt ist, gilt für den Teilsicherheitsbeiwert

$$\gamma_M = 1,1. \quad (19)$$

#### (721) Teilsicherheitsbeiwerte $\gamma_M$ zur Berechnung der Bemessungswerte der Steifigkeiten beim Nachweis der Tragsicherheit

Falls in anderen Normen nichts anderes geregelt ist, gilt für den Teilsicherheitsbeiwert

$$\gamma_M = 1,1. \quad (20)$$

Falls sich eine abgeminderte Steifigkeit weder erhöhend auf die Beanspruchungen noch ermäßigend auf die Beanspruchbarkeiten auswirkt, darf mit

$$\gamma_M = 1,0 \quad (21)$$

gerechnet werden.

Falls nach Abschnitt 7.5.1, Elemente 739 und 740, keine Nachweise der Biegeknick- oder Biegedrillknicksicherheit erforderlich sind, darf immer mit  $\gamma_M = 1,0$  gerechnet werden.

Anmerkung: Bei der Berechnung von Schnittgrößen aus Zwängungen nach der Elastizitätstheorie würde ein Teilsicherheitsbeiwert  $\gamma_M = 1,1$  bei der Berechnung der Bemessungswerte der Steifigkeit zu einer Ermäßigung der Zwängungsbeanspruchungen führen. Daher gilt in diesem Fall  $\gamma_M = 1,0$ .

#### (722) Teilsicherheitsbeiwerte $\gamma_M$ beim Nachweis der Gebrauchstauglichkeit

Für den Nachweis der Gebrauchstauglichkeit gilt im allgemeinen

$$\gamma_M = 1,0, \quad (22)$$

falls nicht in anderen Grundnormen oder Fachnormen andere Werte festgelegt sind.

#### (723) Verlust der Gebrauchstauglichkeit, verbunden mit der Gefährdung von Leib und Leben

Wenn der Verlust der Gebrauchstauglichkeit mit einer Gefährdung von Leib und Leben verbunden ist, sind die Beanspruchbarkeiten nach Element 720 zu berechnen.

#### 7.3.2 Beanspruchbarkeiten

##### (724) Ermittlung der Beanspruchbarkeiten

Die Beanspruchbarkeiten  $R_d$  sind aus den Bemessungswerten der Widerstandsgrößen  $M_d$  zu berechnen oder durch Versuche zu bestimmen.

Anmerkung: Die Planung, Durchführung und Auswertung von Versuchen setzt besondere Kenntnisse und Erfahrungen voraus, so daß dafür nur qualifizierte und erfahrene Institute in Frage kommen. Vergleiche hierzu auch Abschnitt 2, Element 207.

##### (725) Einwirkungsunempfindliche Systeme

Falls Beanspruchungen gegen Änderungen von Einwirkungen wenig empfindlich sind, sind die Beanspruchungen mit den 0,9fachen Bemessungswerten der Einwirkungen zu berechnen, und der Tragsicherheitsnachweis ist mit dem Teilsicherheitsbeiwert  $\gamma_M = 1,2$  zu führen.

Anmerkung 1: Wenn Änderungen bei den Einwirkungen sich auf die Beanspruchungen wenig auswirken, muß zum Erzielen einer ausreichenden Gesamtsicherheit der Teilsicherheitsbeiwert auf der Widerstandsseite erhöht werden.

Anmerkung 2: In weichen Seilsystemen und in Stabsystemen, die seilähnlich wirken, können die Zugkräfte stark unterlinear mit den Einwirkungen zunehmen. Bei vorwiegend biegebeanspruchten Stäben ist dies nicht der Fall.

### 7.4 Nachweisverfahren

#### (726) Einteilung der Verfahren

Die Nachweise sind nach einem der drei in Tabelle 11 genannten Verfahren zu führen.

Tabelle 11. Nachweisverfahren, Bezeichnungen

	Nachweisverfahren	Berechnung der Beanspruchungen		Geregeft in Abschnitt
		$S_d$	$R_d$	
1	Elastisch-Elastisch	Elastizitätstheorie	Elastizitätstheorie	7.5.2
2	Elastisch-Plastisch	Elastizitätstheorie	Plastizitätstheorie	7.5.3
3	Plastisch-Plastisch	Plastizitätstheorie	Plastizitätstheorie	7.5.4

Die nachfolgenden Regeln für die Nachweisverfahren Elastisch-Plastisch und Plastisch-Plastisch gelten nur für Baustähle, deren Verhältnis von Zugfestigkeit zu Streckgrenze größer als 1,2 ist.

Anmerkung 1: Üblicherweise wird der Nachweis beim Verfahren

- Elastisch-Elastisch mit Spannungen
- Elastisch-Plastisch mit Schnittgrößen und
- Plastisch-Plastisch mit Einwirkungen oder Schnittgrößen

geführt.

Anmerkung 2: Im Stahlbetonbau werden die drei Nachweisverfahren nach Tabelle 11 auch wie folgt bezeichnet:

- Zeile 1 linearelastisch — linearelastisch
- Zeile 2 linearelastisch — nichtlinear
- Zeile 3 bilinear — nichtlinear

Anmerkung 3: Für die in Abschnitt 4.1, Element 401, Nummer 1 und 2 genannten Stähle ist das Verhältnis von Zugfestigkeit zu Streckgrenze größer als 1,2.

### (727) Allgemeine Regeln

Beim Nachweis sind grundsätzlich zu berücksichtigen:

- Tragwerksverformungen (Element 728)
- geometrische Imperfektionen (Elemente 729 ff.)
- Schlupf in Verbindungen (Element 733)
- planmäßige Außermittigkeiten (Element 734)

### (728) Tragwerksverformungen

Tragwerksverformungen sind zu berücksichtigen, wenn sie zur Vergrößerung der Beanspruchungen führen.

Bei der Berechnung sind die Gleichgewichtsbedingungen am verformten System aufzustellen (Theorie II. Ordnung). Der Einfluß der sich nach Theorie II. Ordnung ergebenden Verformungen auf das Gleichgewicht darf vernachlässigt werden, wenn der Zuwachs der maßgebenden Schnittgrößen infolge der nach Theorie I. Ordnung ermittelten Verformungen nicht größer als 10 % ist.

Anmerkung: Verformungen können zu einer Vergrößerung der Beanspruchungen führen, wenn durch sie

- Abtriebskräfte entstehen (Theorie II. Ordnung, siehe DIN 18 800 Teil 2).
- eine Vergrößerung der planmäßigen Lasten eintritt, z.B. bei Bildung von Schnee- oder Wassersäcken auf Flachdächern.

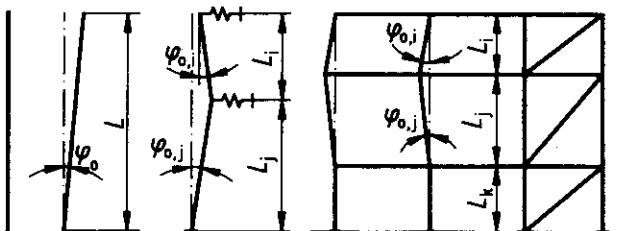
### (729) Geometrische Imperfektionen von Stabwerken

Geometrische Imperfektionen in Form von Vorverdrehungen der Stabachsen gegenüber den planmäßigen Stabachsen sind zu berücksichtigen, wenn sie zur Vergrößerung der Beanspruchung führen.

Vorverdrehungen sind für solche Stäbe und Stabzüge anzunehmen, die am verformten Stabtragwerk Stabdrehwinkel aufweisen können und die durch Druckkräfte beansprucht werden.

Von den möglichen Imperfektionen sind diejenigen anzunehmen, die sich auf die jeweils betrachtete Beanspruchung am ungünstigsten auswirken.

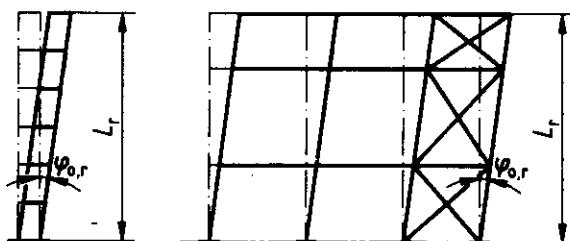
Als für ein bestimmtes Stabwerk mögliche Vorverdrehungen gelten solche, die bei der vorgesehenen Art und Weise von Herstellung und Montage durch Abweichung von planmäßigen Maßen verursacht werden können. Die Imperfektionen brauchen dabei nicht mit den geometrischen Randbedingungen des Systems verträglich zu sein.



a) Systeme von perfekten (unterbrochen dargestellt) und infolge Vorverdrehung von Stäben möglichen imperfekten Stabwerken (ausgezogen dargestellt)

$L_i, L_j, L_k$  Länge der Stäbe i, j, k

$\varphi_{0,i}, \varphi_{0,j}$  Winkel der Vorverdrehung der Stäbe i, j



b) Systeme von perfekten (unterbrochen dargestellt) und infolge Vorverdrehung von Stabzügen möglichen imperfekten Stabwerken (ausgezogen dargestellt)

$L_r$  Länge des Stabzuges r

$\varphi_{0,r}$  Winkel der Vorverdrehung des Stabzuges r

Bild 12. Zu den Begriffen für die geometrischen Imperfektionen von Stabwerken

Anmerkung: Durch den Ansatz von Imperfektionen in Form von Vorverdrehungen nach den Elementen 729 bis 732 sollen mögliche Abweichungen von der planmäßigen Geometrie des Tragwerkes berücksichtigt werden.

DIN 18 800 Teil 2 fordert zusätzlich Imperfektionen in Form von Vorkrümmungen, weil die Ersatzimperfektionen nach DIN 18 800 Teil 2 auch den Ein-

fluß struktureller Imperfektionen, z.B. von Eigenspannungen, und den Einfluß von Unsicherheiten der Rechenmodelle, z.B. die Nichtberücksichtigung teilplastischer Verformungen bei der Fließgelenktheorie, berücksichtigen.

Ursachen für imperfekte Stabwerke können z.B. sein: Abweichungen von den planmäßigen Stablängen, von den planmäßigen Winkeln zwischen Stäben in Verbindungen und von den planmäßigen Lagen von Auflagerpunkten.

Unplanmäßiger Versatz von Stäben in Knoten ist im allgemeinen nicht anzunehmen.

### (730) Art und Größe der Imperfektionen

Für den bzw. die größten Stabdrehwinkel der Vorverformung einer Imperfektionsfigur gilt Gleichung (23).

$$\varphi_0 = \frac{1}{400} \cdot r_1 \cdot r_2 \quad (23)$$

Hierin bedeuten:

$$r_1 = \sqrt{\frac{5}{L}}$$

Reduktionsfaktor für Stäbe oder Stabzüge mit  $L > 5$  m, wobei  $L$  die Länge des vorverdrehten Stabes bzw. Stabzuges in m ist. Maßgebend ist jeweils derjenige Stab oder Stabzug, dessen Vorverdrehung sich auf die betrachtete Beanspruchung am ungünstigsten auswirkt.

$$r_2 = \frac{1}{2} \left( 1 + \sqrt{\frac{1}{n}} \right)$$

Reduktionsfaktor zur Berücksichtigung von  $n$  voneinander unabhängigen Ursachen für Vorverdrehungen von Stäben und Stabzügen.

Bei der Berechnung des Reduktionsfaktors  $r_2$  für Rahmen darf in der Regel für  $n$  die Anzahl der Stiele des Rahmens je Stockwerk in der betrachteten Rahmenebene eingesetzt werden. Stiele mit geringer Normalkraft zählen dabei nicht. Als Stiele mit geringer Normalkraft gelten solche, deren Normalkraft kleiner als 25% der Normalkraft des maximal belasteten Stieles im betrachteten Geschoß und der betrachteten Rahmenebene ist.

Anmerkung 1: Bei der Berechnung der Geschoßquerkraft in einem mehrgeschossigen Stabwerk sind Vorverdrehungen für die Stäbe des betrachteten Geschosses am ungünstigsten. Daher ist in  $r_1$  für sie die Systemlänge  $L$  der Geschoßstiele einzusetzen. In den übrigen Geschossen darf in  $r_1$  für die Systemlänge  $L$  die Gebäudehöhe  $L_r$  gesetzt werden (siehe Bild 13).

Anmerkung 2: Imperfektionen können auch durch den Ansatz gleichwertiger Ersatzlasten berücksichtigt werden (vergleiche hierzu auch DIN 18800 Teil 2, Bild 7).

### (731) Reduktion der Grenzwerte der Stabdrehwinkel

Abweichend von Element 730 dürfen geringere Imperfektionen angesetzt werden, wenn die vorgesehenen Herstellungs- und Montageverfahren dies rechtfertigen und nachgewiesen wird, daß die Annahmen für die Imperfektionen eingehalten sind.

### (732) Stabwerke mit geringen Horizontallasten

Sofern auf das Tragwerk als ganzes oder auf seine stabilisierenden Bauteile nur geringe Horizontallasten einwirken, die in der Summe nicht mehr als 1/400 der das Tragwerk ungünstig beanspruchenden Vertikallasten betragen, sind die Imperfektionen nach Element 730 zu verdoppeln, wenn entsprechend Element 728 nach Theorie I. Ordnung gerechnet werden darf.

Anmerkung: Diese Regelung betrifft z.B. sogenannte „Haus in Haus“-Konstruktionen, die keine Windbelastung erhalten.

### (733) Schlupf in Verbindungen

Der Schlupf in Verbindungen ist zu berücksichtigen, wenn nicht von vornherein erkennbar ist, daß er vernachlässigt wird.

Bei Fachwerkträgern darf der Schlupf im allgemeinen vernachlässigt werden.

Anmerkung 1: Bei Durchlaufträgern, die über der Innensstütze mittels Flanschlaschen gestoßen sind, kann die Durchlaufwirkung durch zur Trägerhöhe relativ großes Lochspiel stark beeinträchtigt werden.

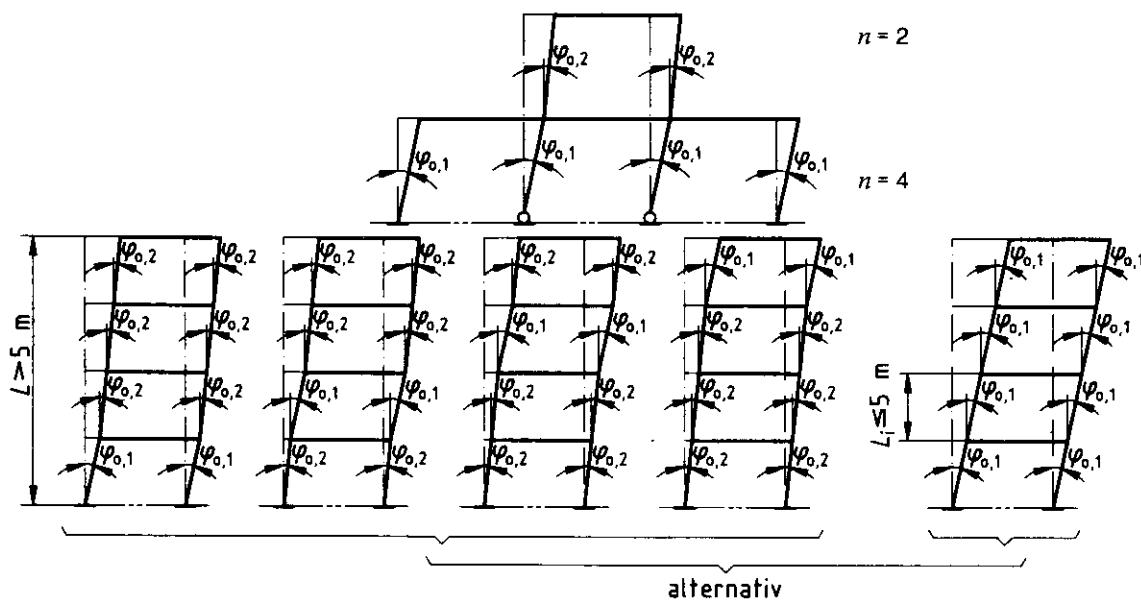


Bild 13. Beispiele für Vorverdrehungen in Stabwerken

Anmerkung 2: Bei Fachwerkträgern, die der Stabilisierung dienen, kann die Vernachlässigung des Schlupfes unzulässig sein, dies gilt z.B. bei kurzen Stäben.

Anmerkung 3: Zur Nachgiebigkeit von Verbindungen im Unterschied zum Schlupf vergleiche Element 737.

#### (734) Planmäßige Außermittigkeiten

Planmäßige Außermittigkeiten sind zu berücksichtigen.

Bei **Gurten von Fachwerken mit einem über die Länge veränderlichen Querschnitt darf in der Regel die Außermittigkeit des Kraftangriffs im Einzelstab unberücksichtigt bleiben, wenn die gemittelte Schwerachse der Einzelquerschnitte in die Systemlinie des Fachwerkgerütes gelegt wird.**

Anmerkung: Planmäßige Außermittigkeiten sind vielfach konstruktionsbedingt, z.B. an Anschluß- oder Stoßstellen.

Beispiel nach Bild 14: Knotenblechfreies Fachwerk, bei dem der Schnittpunkt der Schwerachsen der Diagonalen nicht auf der Schwerachse des Gurtes liegt.

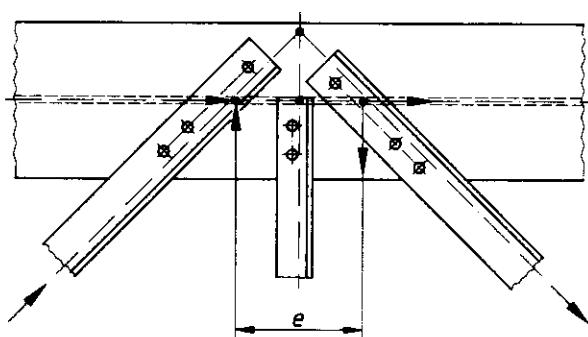


Bild 14. Berücksichtigung planmäßiger Außermittigkeiten in der Bildebene

#### (735) Spannungs-Dehnungs-Beziehungen

Bei der Berechnung nach der Elastizitätstheorie ist linearelastisches Werkstoffverhalten (Hooke'sches Gesetz) anzunehmen, bei der Berechnung nach der Plastizitätstheorie linearelastisch-idealplastisches Werkstoffverhalten.

Die Verfestigung des Werkstoffes darf berücksichtigt werden, wenn sich diese nur auf lokal eng begrenzte Bereiche erstreckt.

Anmerkung: Die Verfestigung wird z.B. in Bereichen von Fließgelenken oder Löchern von Zugstäben ausgenutzt.

#### (736) Kraftgrößen-Weggrößen-Beziehungen für Stabquerschnitte

Für die Kraftgrößen-Weggrößen-Beziehungen dürfen die üblichen vereinfachten Annahmen getroffen werden, so weit ohne weiteres erkennbar ist, daß diese berechtigt sind.

Anmerkung 1: Nicht berechtigt ist z.B. die Annahme des Ebenbleibens der Querschnitte (Bernoulli-Hypothese),

- wenn Stäbe schubweiche Elemente enthalten,
- wenn Träger sehr kurz sind und deshalb die Schubverzerrung nicht vernachlässigt werden darf,
- im Fall der Wölbkrafttorsion.

Anmerkung 2: Für Querschnitte mit plastischen Formbeiwerten  $\alpha_{pl} > 1,25$  ist Abschnitt 7.5.3, Element 755, zu beachten.

#### (737) Kraftgrößen-Weggrößen-Beziehungen für Verbindungen

Die Nachgiebigkeit der Verbindung ist zu berücksichtigen, wenn nicht von vornherein erkennbar ist, daß sie vernachlässigbar ist. Sie ist durch Kraftgrößen-Weggrößen-Beziehungen zu beschreiben.

**Kraftgrößen-Weggrößen-Beziehungen dürfen bereichsweise linearisiert werden.**

Wenn in Verbindungen abhängig von der Einwirkungssituation Schnittgrößen mit wechselndem Vorzeichen auftreten, ist gegebenenfalls der Einfluß von Wechselbewegungen (Schlupf) und Wechselplastizierungen auf die Steifigkeit und Festigkeit zu berücksichtigen.

Anmerkung 1: Damit können z.B. steifenlose Trägerverbindungen in ihrem Einfluß erfaßt werden.

Anmerkung 2: Zum Schlupf in Verbindungen vergleiche Element 733.

#### (738) Einfluß von Eigen-, Neben- und Kerbspannungen

Eigenspannungen aus dem Herstellungsprozeß (wie Walzen, Schweißen, Richten), Nebenspannungen und Kerbspannungen brauchen nicht berücksichtigt zu werden, wenn nicht ein Betriebsfestigkeitsnachweis zu führen ist (siehe Abschnitt 7.5.1, Element 741).

Anmerkung: Es dürfen z.B. die Stabkräfte von Fachwerkträgern unter Annahme reibungsfreier Gelenke in den Knotenpunkten berechnet werden.

### 7.5 Verfahren beim Tragsicherheitsnachweis

#### 7.5.1 Abgrenzungskriterien und Detailregelungen

##### (739) Biegeknicken

Für Stäbe und Stabwerke ist der Nachweis der Biegeknicksicherheit nach DIN 18 800 Teil 2 zu führen.

Der Einfluß der sich nach Theorie II. Ordnung ergebenden Verformungen auf das Gleichgewicht darf vernachlässigt werden, wenn der Zuwachs der maßgebenden Biegemomente infolge der nach Theorie I. Ordnung ermittelten Verformungen nicht größer als 10 % ist:

Diese Bedingung darf als erfüllt angesehen werden, wenn

- a) die Normalkräfte  $N$  des Systems nicht größer als 10 % der zur idealen Knicklast gehörenden Normalkräfte  $N_{Ki,d}$  des Systems sind (bei Anwendung der Fließgelenktheorie ist hierbei das statische System unmittelbar vor Ausbildung des letzten Fließgelenks zugrunde zu legen), oder
- b) die bezogenen Schlankheitsgrade  $\bar{\lambda}_K$  nicht größer als  $0,3 \sqrt{f_{y,d}/\sigma_N}$  sind mit  $\sigma_N = N/A$ ,  $\bar{\lambda}_K = \lambda_K/\lambda_a$ ,  $\lambda_K = s_K/l$ ,  $\lambda_a = \pi \sqrt{E/f_{y,d}}$  oder
- c) die mit den Knicklängenbeiwerten  $\beta = s_K/l$  multiplizierten Stabkennzahlen  $\varepsilon = l \sqrt{N/(E \cdot I)_d}$  aller Stäbe nicht größer als 1,0 sind.

Bei veränderlichen Querschnitten oder Normalkräften sind  $(E \cdot I)$ ,  $N_{Ki}$  und  $s_K$  für die Stelle zu ermitteln, für die der Tragsicherheitsnachweis geführt wird. Im Zweifelsfall sind mehrere Stellen zu untersuchen.

Anmerkung: In den Bedingungen a), b) und c) ist die Normalkraft  $N$  entsprechend den Regelungen in DIN 18 800 Teil 2 als Druckkraft positiv anzusetzen, vergleiche auch Abschnitt 3.3, Element 314.

#### (740) Biegendrillknicken

Für Stäbe und Stabwerke ist der Nachweis der Biegendrillknicksicherheit nach DIN 18 800 Teil 2 zu führen.

**Der Nachweis darf entfallen bei**

- Stäben mit Hohliquerschnitt oder
- Stäben mit I-förmigem Querschnitt bei Biegung um die z-Achse oder
- Stäben mit I-förmigem, zur Stegachse symmetrischem Querschnitt bei Biegung um die y-Achse, wenn der Druckgurt dieser Stäbe in einzelnen Punkten im Abstand  $c$  nach Bedingung (24) seitlich unverschieblich gehalten ist.

$$c \leq 0,5 \lambda_a \cdot i_{z,g} \cdot \frac{M_{pl,y,d}}{M_y} \quad (24)$$

mit

 $M_y$ 

größter Absolutwert des maßgebenden Biegemomentes

 $\lambda_a = \pi \sqrt{E/f_{y,k}}$ 

Bezugsschlankheitsgrad

 $i_{z,g}$ Trägheitsradius um die Stegachse  $z$  der aus Druckgurt und  $\frac{1}{2}$  des Steges gebildeten Querschnittsfläche

Anmerkung: In DIN 18800 Teil 2, Abschnitt 3.3.3, Element 310, ist zusätzlich ein Druckkraftbeiwert  $k_c$  berücksichtigt, der hier aus Vereinfachungsgründen auf der sicheren Seite zu 1 gesetzt worden ist.

**(741) Betriebsfestigkeit**

Ein Betriebsfestigkeitsnachweis ist zu führen.

Der Nachweis darf entfallen, wenn als veränderliche Einwirkungen nur Schnee, Temperatur, Verkehrslasten nach DIN 1055 Teil 3/06.71, Abschnitt 1.4 und Windlasten ohne periodische Anfachung des Bauwerks auftreten.

Weiterhin darf auf einen Betriebsfestigkeitsnachweis verzichtet werden, wenn Bedingung (25) oder (26) erfüllt ist.

$$\Delta\sigma < 26 \text{ N/mm}^2 \quad (25)$$

$$n < 5 \cdot 10^6 (26/\Delta\sigma)^3 \quad (26)$$

mit

$\Delta\sigma = \max \sigma - \min \sigma$  Spannungsschwingbreite in  $\text{N/mm}^2$  unter den Bemessungswerten der veränderlichen Einwirkungen für den Tragsicherheitsnachweis nach Abschnitt 7.2.2

 $n$  Anzahl der Spannungsspiele

Bei der Berechnung von  $\Delta\sigma$  brauchen die im ersten Absatz genannten veränderlichen Einwirkungen nicht berücksichtigt zu werden.

Bei mehreren veränderlichen Einwirkungen darf  $\Delta\sigma$  für die einzelnen Einwirkungen getrennt berechnet werden.

Anmerkung: Die Bedingung (26) ist orientiert am Betriebsfestigkeitsnachweis für den ungünstigsten vorgesehenen Kerbfall und volles Kollektiv. Sie erfaßt den ungünstigen Fall, in dem das für den Kerbfall maßgebende Bauteil für Überwachung und Instandhaltung schlecht zugänglich ist und sein Ermüdungsversagen den katastrophalen Zusammenbruch des Tragsystems zur Folge haben kann. Da in Bedingung (26) — abweichend von den Regelungen für Betriebsfestigkeitsnachweise — die Spannungen  $\sigma$  des Tragsicherheitsnachweises verwendet werden, liegt sie auf der sicheren Seite.

**(742) Lochschwächungen**

Lochschwächungen sind bei der Berechnung der Beanspruchbarkeiten zu berücksichtigen.

Im Druckbereich und bei Schub darf der Lochabzug entfallen, wenn

- bei Schrauben das Lochspiel höchstens 1,0 mm beträgt oder bei größerem Lochspiel die Tragwerksverformungen nicht begrenzt werden müssen oder
- die Löcher mit Nieten ausgefüllt sind.

In zugbeanspruchten Querschnittsteilen darf der Lochabzug entfallen, wenn die Bedingung (27) erfüllt ist.

$$\frac{A_{Brutto}}{A_{Netto}} \leq \begin{cases} 1,2 \text{ für St 37} \\ 1,1 \text{ für St 52} \end{cases} \quad (27)$$

In Querschnitten oder Querschnittsteilen aus anderen Stählen mit gebohrten Löchern darf die Grenzzugkraft  $N_{R,d}$  im Nettoquerschnitt unter Zugrundelegung der Zugfestigkeit des Werkstoffes nach Gleichung (28) berechnet werden.

$$N_{R,d} = A_{Netto} \cdot f_{u,k} / (1,25 \cdot \gamma_M) \quad (28)$$

Wenn in zugbeanspruchten Querschnittsteilen die Beanspruchbarkeiten mit der Streckgrenze berechnet werden oder Bedingung (27) erfüllt ist, darf der durch die Lochschwächung verursachte Versatz der Querschnittsachsen unberücksichtigt bleiben.

Bei der Berechnung der Schnittgrößen und der Formänderungen dürfen Lochabzüge unberücksichtigt bleiben.

Anmerkung: Wenn das Lochspiel größer als 1,0 mm ist, können größere Verformungen z.B. durch Zusammenquetschen im Bereich der Löcher entstehen.

**(743) Unsymmetrische Anschlüsse**

Bei Zugstäben mit unsymmetrischem Anschluß durch nur eine Schraube ist in Gleichung (28) als Nettoquerschnitt der zweifache Wert des kleineren Teils des Nettoquerschnittes einzusetzen, falls kein genauerer Nachweis geführt wird.

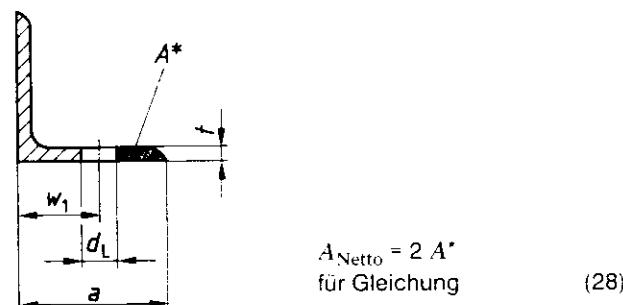


Bild 15. Nettoquerschnitt eines Winkelanschlusses

**(744) Krafteinleitungen**

Werden in Walzprofilen mit I-förmigem Querschnitt Kräfte ohne Aussteifung unter den in Abschnitt 5.1, Element 503, genannten Voraussetzungen eingeleitet, ist die Grenzkraft  $F_{R,d}$  wie folgt zu berechnen:

- für  $\sigma_x$  und  $\sigma_z$  mit unterschiedlichen Vorzeichen und  $|\sigma_x| > 0,5 f_{y,k}$

$$F_{R,d} = \frac{1}{\gamma_M} s \cdot l \cdot f_{y,k} (1,25 - 0,5 |\sigma_x|/f_{y,k}) \quad (29)$$

- für alle anderen Fälle

$$F_{R,d} = \frac{1}{\gamma_M} s \cdot l \cdot f_{y,k} \quad (30)$$

Hierin bedeuten:

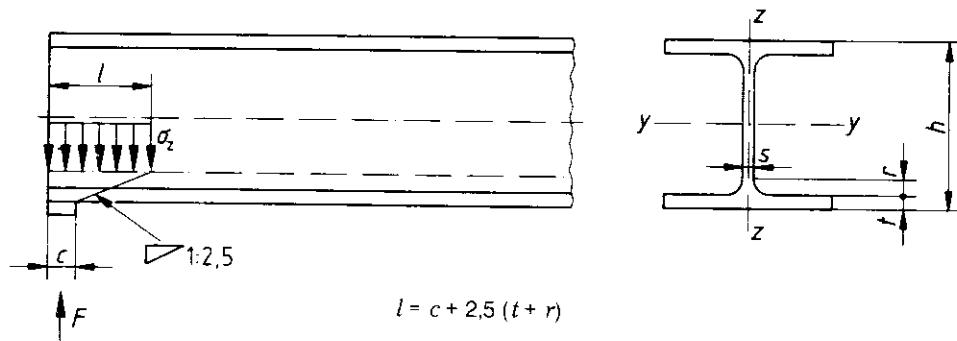
$\sigma_x$  Normalspannung im Träger im maßgebenden Schnitt nach Bild 16

$s$  Stegdicke des Trägers

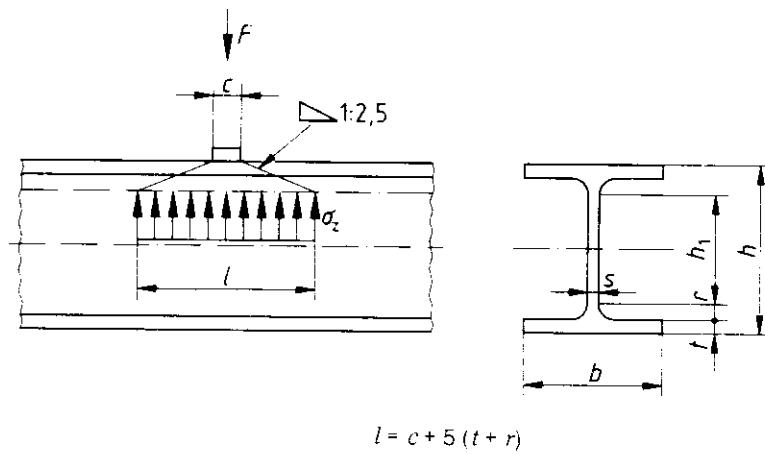
$l$  mittragende Länge nach Bild 16

## DIN 18 800 Teil 1

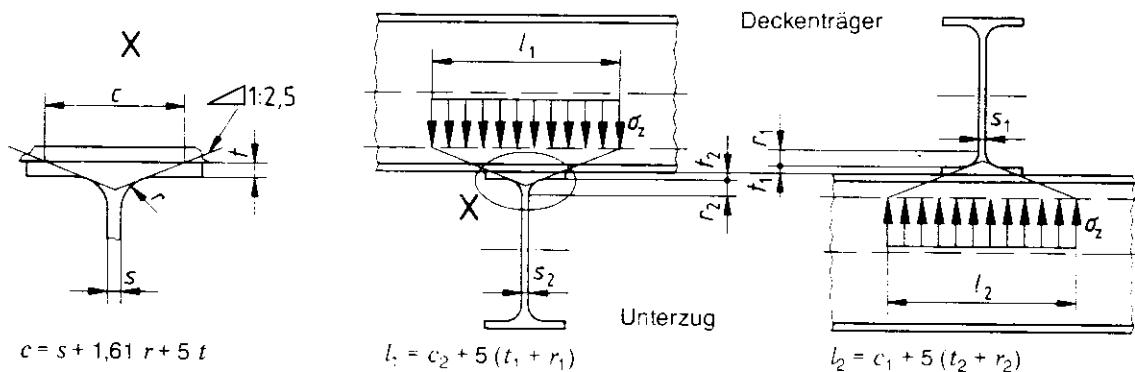
Die Grenzkraft  $F_{R,d}$  darf für geschweißte Profile mit I-förmigem Querschnitt nach den Gleichungen (29) bzw. (30) berechnet werden, wenn die Stegschlankheit  $h/s \leq 60$  ist. Bei Stegschlankheiten  $h/s > 60$  ist zusätzlich ein Beulsicherheitsnachweis für den Steg zu führen. Für die Berechnung von  $c$  und  $l$  ist für geschweißte I-förmige Querschnitte der Wert  $r = a$  (Schweißnahtdicke) zu setzen.



a) Einleitung einer Auflagerkraft am Trägerende



b) Einleitung einer Einzellast im Feld (gleichbedeutend mit Einleitung einer Auflagerkraft an einer Zwischenstütze)



c) Träger auf Träger

Bild 16. Rippenlose Lasteinleitung bei Walz- und geschweißten Profilen mit I-Querschnitt

Anmerkung 1: In den Gleichungen (25) und (30) wird von einer konstanten Spannung  $\sigma_z$  über die Bereiche der Längen  $l$  bzw.  $l_i$  ausgegangen.

Anmerkung 2: Ein Tragsicherheitsnachweis nach Abschnitt 7.5.2, Element 748, ist im Bereich der Krafteinleitungen nicht erforderlich.

Anmerkung 3: In die Bilder 16 a und c sind nicht alle Kraftgrößen, die zum Gleichgewicht gehören, eingetragen.

## 7.5.2 Nachweis nach dem Verfahren Elastisch-Elastisch

### (745) Grundsätze

Die Beanspruchungen und die Beanspruchbarkeiten sind nach der Elastizitätstheorie zu berechnen. Es ist nachzuweisen, daß

1. das System im stabilen Gleichgewicht ist und
2. in allen Querschnitten die nach Abschnitt 7.2 berechneten Beanspruchungen höchstens den Bemessungswert  $f_{y,d}$  der Streckgrenze erreichen und
3. in allen Querschnitten entweder die Grenzwerte  $\text{grenz } (b/t)$  und  $\text{grenz } (d/t)$  nach den Tabellen 12 bis 14 eingehalten sind oder ausreichende Beulsicherheit nach DIN 18800 Teil 3 bzw. DIN 18800 Teil 4 nachgewiesen wird.

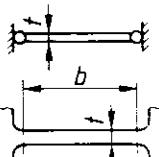
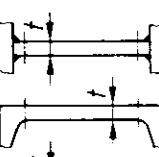
Anmerkung 1: Als Grenzzustand der Tragfähigkeit wird der Beginn des Fließens definiert. Daher werden plastische Querschnitts- und Systemreserven nicht berücksichtigt.

Anmerkung 2: Beim Tragsicherheitsnachweis nach dem Verfahren Elastisch-Elastisch mit Spannungen ist die Forderung, daß die Beanspruchungen höchstens die Streckgrenze erreichen, gleichbedeutend damit, daß die Vergleichsspannung  $\sigma_v \leq f_{y,k} / \gamma_M$  ist.

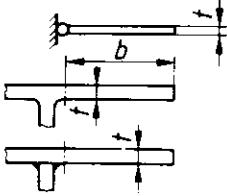
Anmerkung 3: Bei den Grenzwerten  $\text{grenz } (b/t)$  in Tabelle 12 wird die  $\psi$ -abhängige Erhöhung der Abminderungsfaktoren nach DIN 18800 Teil 3, Tabelle 1, Zeile 1 berücksichtigt. Hierauf wird in DIN 18800 Teil 2, Abschnitt 7, verzichtet, um zu einfachen Regeln und zu einer Übereinstimmung mit anderen nationalen und internationalen Regelwerken zu kommen.

Anmerkung 4: Auf den Beulsicherheitsnachweis für Einzelfelder darf unter den in DIN 18800 Teil 3, Abschnitt 2, Element 205 angegebenen Bedingungen verzichtet werden.

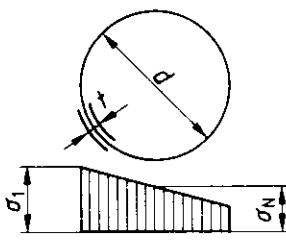
Tabelle 12. Grenzwerte  $(b/t)$  für beidseitig gelagerte Plattenstreifen für volles Mittragen unter Druckspannungen  $\sigma_x$  beim Tragsicherheitsnachweis nach dem Verfahren Elastisch-Elastisch mit zugehörigen Beulwerten  $k_\sigma$   
 $\sigma_1$  = Größtwert der Druckspannungen  $\sigma_x$  in N/mm<sup>2</sup> und  $f_{y,k}$  in N/mm<sup>2</sup>

	1	2	3
1	Lagerung:	  	<p>grenz <math>(b/t)</math> allgemein:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>— Bereich <math>0 &lt; \psi \leq 1</math></li> <li>grenz <math>(b/t) = 420,4 \cdot (1 - 0,278 \psi - 0,025 \psi^2)</math></li> </ul> $\cdot \sqrt{\frac{k_\sigma}{\sigma_1 \cdot \gamma_M}}$ <ul style="list-style-type: none"> <li>— Bereich <math>\psi \leq 0</math></li> <li>grenz <math>(b/t) = 420,4 \cdot \sqrt{\frac{k_\sigma}{\sigma_1 \cdot \gamma_M}}</math></li> </ul>
2	Randspannungsverhältnis $\psi$	Beulwert $k_\sigma$ in Abhängigkeit vom Randspannungsverhältnis $\psi$	grenz $(b/t)$ für Sonderfälle des Randspannungsverhältnisses $\psi$
3	1	4	$37,8 \cdot \sqrt{\frac{240}{\sigma_1 \cdot \gamma_M}}$
4	$1 > \psi > 0$	$\frac{8,2}{\psi + 1,05}$	$27,1 (1 - 0,278 \psi - 0,025 \cdot \psi^2) \cdot \sqrt{\frac{8,2}{\psi + 1,05}} \cdot \sqrt{\frac{240}{\sigma_1 \cdot \gamma_M}}$
5	0	7,81	$75,8 \cdot \sqrt{\frac{240}{\sigma_1 \cdot \gamma_M}}$
6	$0 > \psi > -1$	$7,81 - 6,29 \cdot \psi + 9,78 \cdot \psi^2$	$27,1 \cdot \sqrt{7,81 - 6,29 \cdot \psi + 9,78 \cdot \psi^2} \cdot \sqrt{\frac{240}{\sigma_1 \cdot \gamma_M}}$
7	-1	23,9	$133 \cdot \sqrt{\frac{240}{\sigma_1 \cdot \gamma_M}}$
<p>Für <math>\sigma_1 \cdot \gamma_M = f_{y,k}</math> gilt für St 37 <math>\sqrt{\frac{240}{\sigma_1 \cdot \gamma_M}} = 1</math> und für St 52 <math>\sqrt{\frac{240}{\sigma_1 \cdot \gamma_M}} = \sqrt{\frac{1}{1,5}} = 0,82</math></p>			

**Tabelle 13. Grenzwerte ( $b/t$ ) für einseitig gelagerte Plattenstreifen für volles Mittragen unter Druckspannungen  $\sigma_x$  beim Tragsicherheitsnachweis nach dem Verfahren Elastisch-Elastisch mit zugehörigen Beulwerten  $k_\sigma$**   
 $\sigma_1$  = Größtwert der Druckspannungen  $\sigma_x$  in N/mm<sup>2</sup> und  $f_{y,k}$  in N/mm<sup>2</sup>

	1	2	3
1	Lagerung: 		grenz ( $b/t$ ) allgemein: $305 \cdot \sqrt{\frac{k_\sigma}{\sigma_1 \cdot \gamma_M}}$
2	Randspannungsverhältnis $\psi$	Beulwert $k_\sigma$ in Abhängigkeit vom Randspannungsverhältnis $\psi$	grenz ( $b/t$ ) für Sonderfälle des Randspannungsverhältnisses $\psi$
3	Größte Druckspannung am gelagerten Rand		
4	1	0,43	$12,9 \cdot \sqrt{\frac{240}{\sigma_1 \cdot \gamma_M}}$
5	$1 > \psi > 0$	$\frac{0,578}{\psi + 0,34}$	$19,7 \cdot \sqrt{\frac{0,578}{\psi + 0,34}} \cdot \sqrt{\frac{240}{\sigma_1 \cdot \gamma_M}}$
6	0	1,70	$25,7 \cdot \sqrt{\frac{240}{\sigma_1 \cdot \gamma_M}}$
7	$0 > \psi > -1$	$1,70 - 5 \cdot \psi + 17,1 \cdot \psi^2$	$19,7 \cdot \sqrt{1,70 - 5 \cdot \psi + 17,1 \cdot \psi^2} \cdot \sqrt{\frac{240}{\sigma_1 \cdot \gamma_M}}$
8	-1	23,8	$96,1 \cdot \sqrt{\frac{240}{\sigma_1 \cdot \gamma_M}}$
9	Größte Druckspannung am freien Rand		
10	1	0,43	$12,9 \cdot \sqrt{\frac{240}{\sigma_1 \cdot \gamma_M}}$
11	$0 > \psi > 0$	$0,57 - 0,21 \cdot \psi + 0,07 \cdot \psi^2$	$19,7 \cdot \sqrt{0,57 - 0,21 \cdot \psi + 0,07 \cdot \psi^2} \cdot \sqrt{\frac{240}{\sigma_1 \cdot \gamma_M}}$
12	0	0,57	$14,9 \cdot \sqrt{\frac{240}{\sigma_1 \cdot \gamma_M}}$
13	$0 > \psi > -1$	$0,57 - 0,21 \cdot \psi + 0,07 \cdot \psi^2$	$19,7 \cdot \sqrt{0,57 - 0,21 \cdot \psi + 0,07 \cdot \psi^2} \cdot \sqrt{\frac{240}{\sigma_1 \cdot \gamma_M}}$
14	-1	0,85	$18,2 \cdot \sqrt{\frac{240}{\sigma_1 \cdot \gamma_M}}$
<p>Für <math>\sigma_1 \cdot \gamma_M = f_{y,k}</math> gilt für St 37 <math>\sqrt{\frac{240}{\sigma_1 \cdot \gamma_M}} = 1</math> und für St 52 <math>\sqrt{\frac{240}{\sigma_1 \cdot \gamma_M}} = \sqrt{\frac{1}{1,5}} = 0,82</math></p>			

**Tabelle 14. Grenzwerte  $grenz(d/t)$  für Kreiszylinderquerschnitte für volles Mittragen unter Druckspannungen  $\sigma_x$  beim Tragsicherheitsnachweis nach dem Verfahren Elastisch-Elastisch**  
 $\sigma_1$  = Größtwert der Druckspannungen  $\sigma_x$  in N/mm<sup>2</sup> und  $f_{y,k}$  in N/mm<sup>2</sup>  
 $\sigma_N$  = Druckspannungsanteil aus Normalkraft in N/mm<sup>2</sup>

1	2
<p>Spannungsverteilung:</p> 	$grenz(d/t) = \left( 90 - 20 \frac{\sigma_N}{\sigma_1} \right) \cdot \frac{240}{\sigma_1 \cdot \gamma_M}$
<p>Für <math>\sigma_1 \cdot \gamma_M = f_{y,k}</math> gilt für St 37 <math>\frac{240}{\sigma_1 \cdot \gamma_M} = 1</math>  und für St 52 <math>\frac{240}{\sigma_1 \cdot \gamma_M} = \frac{1}{1,5} = 0,67</math></p>	

#### (746) Grenzspannungen

Für die Grenzspannungen gilt:

– Grenznormalspannung

$$\sigma_{R,d} = f_{y,d} = f_{y,k}/\gamma_M \quad (31)$$

– Grenzschubspannung

$$\tau_{R,d} = f_{y,d}/\sqrt{3} \quad (32)$$

#### (747) Nachweise

Der Nachweis ist mit den Bedingungen (33) bis (35) zu führen:

– für die Normalspannungen  $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$

$$\frac{\sigma}{\sigma_{R,d}} \leq 1 \quad (33)$$

– für die Schubspannungen  $\tau_{xy}, \tau_{xz}, \tau_{yz}$

$$\frac{\tau}{\tau_{R,d}} \leq 1 \quad (34)$$

– für die gleichzeitige Wirkung mehrerer Spannungen

$$\frac{\sigma_v}{\sigma_{R,d}} \leq 1 \quad (35)$$

mit  $\sigma_v$  Vergleichsspannung nach Element 748.

Bedingung (35) gilt für die alleinige Wirkung von  $\sigma_x$  und  $\tau$  oder  $\sigma_y$  und  $\tau$  als erfüllt, wenn  $\sigma/\sigma_{R,d} \leq 0,5$  oder  $\tau/\tau_{R,d} \leq 0,5$  ist.

#### (748) Vergleichsspannung

Die Vergleichsspannung  $\sigma_v$  ist mit Gleichung (36) zu berechnen.

$$\sigma_v = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + \sigma_z^2 - \sigma_x \cdot \sigma_y - \sigma_x \cdot \sigma_z - \sigma_y \cdot \sigma_z + 3 \tau_{xy}^2 + 3 \tau_{xz}^2 + 3 \tau_{yz}^2} \quad (36)$$

#### (749) Erlaubnis örtlich begrenzter Plastizierung, allgemein

In kleinen Bereichen darf die Vergleichsspannung  $\sigma_v$  die Grenzspannung  $\sigma_{R,d}$  um 10% überschreiten.

Für Stäbe mit Normalkraft und Biegung kann ein kleiner Bereich unterstellt werden, wenn gleichzeitig gilt:

$$\left| \frac{N}{A} + \frac{M_y}{I_y} z \right| \leq 0,8 \sigma_{R,d} \quad (37a)$$

$$\left| \frac{N}{A} + \frac{M_z}{I_z} y \right| \leq 0,8 \sigma_{R,d} \quad (37b)$$

Anmerkung: Tragsicherheitsnachweise nach den Elementen 749 und 750 nutzen bereits teilweise die plastische Querschnittstragfähigkeit aus; eine vollständige Ausnutzung ermöglicht das Verfahren Elastisch-Plastisch (siehe Abschnitt 7.5.3).

#### (750) Erlaubnis örtlich begrenzter Plastizierung für Stäbe mit I-Querschnitt

Für Stäbe mit doppelsymmetrischem I-Querschnitt, die die Bedingungen nach Tabelle 15 erfüllen, darf die Normalspannung  $\sigma_x$  nach Gleichung (38) berechnet werden.

$$\sigma_x = \left| \frac{N}{A} \pm \frac{M_y}{\alpha_{pl,y}^* \cdot W_y} \pm \frac{M_z}{\alpha_{pl,z}^* \cdot W_z} \right| \quad (38)$$

In Gleichung (38) ist für  $\alpha_{pl}^*$  der jeweilige plastische Formbeiwert  $\alpha_{pl}$ , jedoch nicht mehr als 1,25 einzusetzen.

Für gewalzte I-förmige Stäbe darf  $\alpha_{pl,y}^* = 1,14$  und  $\alpha_{pl,z}^* = 1,25$  gesetzt werden.

#### (751) Vereinfachung für Stäbe mit Winkelquerschnitt

Werden bei der Berechnung der Beanspruchungen von Stäben mit Winkelquerschnitt schenkelparallele Querschnittsachsen als Bezugssachsen anstelle der Trägheitshauptachsen benutzt, so sind die ermittelten Beanspruchungen um 30% zu erhöhen.

**(752) Vereinfachung für Stäbe mit I-förmigem Querschnitt**

Bei Stäben mit I-förmigem Querschnitt und ausgeprägten Flanschen, bei denen die Wirkungslinie der Querkraft  $V_z$  mit dem Steg zusammenfällt, darf die Schubspannung  $\tau$  im Steg nach Gleichung (39) berechnet werden.

$$\tau = \left| \frac{V_z}{A_{\text{Steg}}} \right| \quad (39)$$

Anmerkung 1: Nach der Theorie der dünnwandigen Querschnitte ist  $A_{\text{Steg}}$  gleich dem Produkt aus dem Abstand der Schwerlinien der Flansche und der Stegdicke.

Anmerkung 2: Von ausgeprägten Flanschen kann bei doppelsymmetrischen I-Querschnitten ausgegangen werden, wenn das Verhältnis  $A_{\text{Gurt}}/A_{\text{Steg}}$  größer als 0,6 ist. Beim doppelsymmetrischen I-Träger ist für  $A_{\text{Gurt}}/A_{\text{Steg}} = 0,6$  die maximale Schubspannung im Steg

$$\max \tau = \frac{1.5 \cdot V_z}{A_{\text{Steg}}} \cdot \frac{4 \cdot A_{\text{Gurt}} + A_{\text{Steg}}}{6 \cdot A_{\text{Gurt}} + A_{\text{Steg}}}$$

rd. 10 % größer als die mittlere Schubspannung.

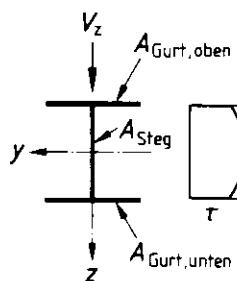


Bild 17. Ersatzweise geradlinig angenommene Verteilung der Schubspannung nach Gleichung (39) für  $A_{\text{Gurt},\text{oben}} = A_{\text{Gurt},\text{unten}}$

**7.5.3 Nachweis nach dem Verfahren Elastisch-Plastisch**

**(753)** Die Beanspruchungen sind nach der Elastizitätstheorie, die Beanspruchbarkeiten unter Ausnutzung plastischer Tragfähigkeiten der Querschnitte zu berechnen. Es ist nachzuweisen, daß

1. das System im stabilen Gleichgewicht ist und
2. in keinem Querschnitt die nach Abschnitt 7.2 berechneten Beanspruchungen unter Beachtung der Interaktion zu einer Überschreitung der Grenzschnittgrößen im plastischen Zustand führen und
3. in allen Querschnitten die Grenzwerte  $g_{\text{grenz}}(b/t)$  und  $g_{\text{grenz}}(d/t)$  nach Tabelle 15 eingehalten sind.

Für die Bereiche des Tragwerkes, in denen die Schnittgrößen nicht größer als die elastischen Grenzschnittgrößen nach Abschnitt 7.5.2, Element 745, Nummer 2 sind, gilt Element 745, Nummer 3.

Anmerkung: Beim Verfahren Elastisch-Plastisch wird bei der Berechnung der Beanspruchungen linearelastisches Werkstoffverhalten, bei der Berechnung der Beanspruchbarkeiten linearelastisch-idealplastisches Werkstoffverhalten angenommen. Damit werden die plastischen Reserven des Querschnitts ausgenutzt, nicht jedoch die des Systems.

**(754) Momentenumlagerung**

Wenn nach Abschnitt 7.5.1, Element 739, Biegeknicken und nach Abschnitt 7.5.1, Element 740, Biegedrillknicken nicht berücksichtigt werden müssen, dürfen die nach der Elastizitätstheorie ermittelten Stützmomente um bis zu 15 % ihrer Maximalwerte vermindert oder vergrößert werden, wenn bei der Bestimmung der zugehörigen Feldmomente die Gleichgewichtsbedingungen eingehalten werden. Zusätzlich sind für die Bemessung der Verbindungen Abschnitt 7.5.4, Element 759, Abschnitt 8.4.1.4, Element 831 und Element 832, zu beachten.

Anmerkung 1: Bei der Momentenumlagerung werden die Formänderungsbedingungen der Elastizitätstheorie nicht erfüllt. Eine Umlagerung erfordert im Tragwerk bereichsweise Plastizierungen.

Anmerkung 2: Der Tragsicherheitsnachweis unter Berücksichtigung der Regelung dieses Elementes nutzt für Sonderfälle bereits teilweise Systemreserven statisch unbestimmter Systeme aus. Eine vollständige Ausnutzung bei statisch unbestimmten Systemen ermöglicht das Nachweisverfahren Plastisch-Plastisch (siehe Abschnitt 7.5.4).

**(755) Grenzschnittgrößen im plastischen Zustand, allgemein**

Für die Berechnung der Grenzschnittgrößen von Stabquerschnitten im plastischen Zustand sind folgende Annahmen zu treffen:

1. Linearelastische-idealplastische Spannungs-Dehnungs-Beziehung für den Werkstoff mit der Streckgrenze  $f_{y,d}$  nach Gleichung (31).
2. Ebenbleiben der Querschnitte.
3. Fließbedingung nach Gleichung (36).

Die Gleichgewichtsbedingungen am differentiellen oder finiten Element (Faser) sind einzuhalten.

Die Dehnungen  $\varepsilon_x$  dürfen beliebig groß angenommen werden, jedoch sind die Grenzbiegemomente im plastischen Zustand auf den 1,25fachen Wert des elastischen Grenzbiegemomentes zu begrenzen.

Auf diese Reduzierung darf bei Einfeldträgern und bei Durchlaufträgern mit über die gesamte Länge gleichbleibendem Querschnitt verzichtet werden.

Anmerkung 1: In der Literatur werden auch Grenzschnittgrößen angegeben, bei denen die Gleichgewichtsbedingungen verletzt werden; sie sind in vielen Fällen dennoch als Näherung berechtigt.

Anmerkung 2: Als plastische Zustände eines Querschnittes werden die Zustände bezeichnet, in denen Querschnittsbereiche plastiziert sind. Als vollplastische Zustände werden diejenigen plastischen Zustände bezeichnet, bei denen eine Vergrößerung der Schnittgrößen nicht möglich ist. Dabei muß der Querschnitt nicht durchplastiziert sein. Dies kann z.B. bei ungleichschenkigen Winkelquerschnitten der Fall sein, die durch Biegemomente  $M_y$  und  $M_z$  beansprucht sind; siehe hierzu z.B. [7].

Grenzschnittgrößen im plastischen Zustand sind gleich den Schnittgrößen im vollplastischen Zustand, berechnet mit dem Bemessungswert der Streckgrenze  $f_{y,d}$  und gegebenenfalls mit dem Faktor 1,25/ $\alpha_{pl}$  reduziert.

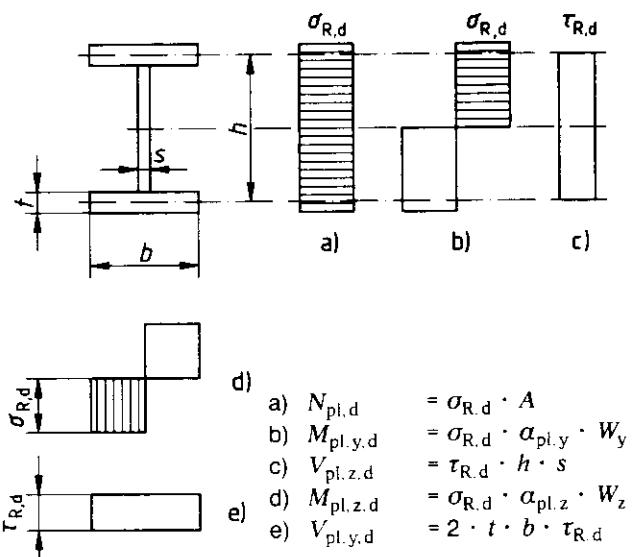
(756) **Schnittgrößen im vollplastischen Zustand für doppelsymmetrische I-Querschnitte**

Die Schnittgrößen im vollplastischen Zustand sind Bild 18 zu entnehmen.

(757) **Interaktion von Grenzschnittgrößen im plastischen Zustand für I-Querschnitte**

Für doppelsymmetrische I-Querschnitte mit konstanter Streckgrenze über den Querschnitt darf

- für einachsige Biegung, Querkraft und Normalkraft mit den Bedingungen in den Tabellen 16 und 17,
- für zweiachsige Biegung und Normalkraft mit den Bedingungen (41) und (42), wenn für die Querkräfte  $V_z \leq 0,33 V_{pl,z,d}$  und  $V_y \leq 0,25 V_{pl,y,d}$  gilt, nachgewiesen werden, daß die Grenzschnittgrößen im plastischen Zustand nicht überschritten sind.



| Bild 18. Spannungsverteilung für doppelsymmetrische I-Querschnitte für Schnittgrößen im vollplastischen Zustand

Tabelle 15. **Grenzwerte grenz ( $b/t$ ) und grenz ( $d/t$ ) für volles Mitwirken von Querschnittsteilen unter Druckspannungen  $\sigma_x$  beim Tragsicherheitsnachweis nach dem Verfahren Elastisch-Plastisch.  $f_{y,k}$  in N/mm<sup>2</sup>**

Beidseitig gelagerter Plattenstreifen		
Lagerung und Breite $b$		
	$\text{grenz } (b/t) = \frac{37}{\alpha} \cdot \sqrt{\frac{240}{f_{y,k}}}$	
Einseitig gelagerter Plattenstreifen		
Lagerung und Breite $b$	Druckspannung $f_{y,k}/\gamma_M$ am gelagerten Rand	Druckspannung $f_{y,k}/\gamma_M$ am freien Rand
	$\text{grenz } (b/t) = \frac{11}{\alpha \cdot a} \cdot \sqrt{\frac{240}{f_{y,k}}}$	$\text{grenz } (b/t) = \frac{11}{a} \cdot \sqrt{\frac{240}{f_{y,k}}}$
Kreiszylinder		
$\text{grenz } (d/t) = 70 \frac{240}{f_{y,k}}$		
Druckspannungen sind durch Schraffur gekennzeichnet.		

Tabelle 16. Vereinfachte Tragsicherheitsnachweise für doppelsymmetrische I-Querschnitte mit  $N, M_y, V$ 

Momente um y-Achse	Gültigkeitsbereich	$\frac{V}{V_{pl,d}} \leq 0,33$	$0,33 < \frac{V}{V_{pl,d}} \leq 0,9$
		$\frac{N}{N_{pl,d}} \leq 0,1$	$0,88 \frac{M}{M_{pl,d}} + 0,37 \frac{V}{V_{pl,d}} \leq 1$
	$0,1 < \frac{N}{N_{pl,d}} \leq 1$	$0,9 \frac{M}{M_{pl,d}} + \frac{N}{N_{pl,d}} \leq 1$	$0,8 \frac{M}{M_{pl,d}} + 0,89 \frac{N}{N_{pl,d}} + 0,33 \frac{V}{V_{pl,d}} \leq 1$

Tabelle 17. Vereinfachte Tragsicherheitsnachweise für doppelsymmetrische I-Querschnitte mit  $N, M_z, V_y$ 

Momente um z-Achse	Gültigkeitsbereich	$\frac{V}{V_{pl,d}} \leq 0,25$	$0,25 < \frac{V}{V_{pl,d}} \leq 0,9$
		$\frac{N}{N_{pl,d}} \leq 0,3$	$0,95 \frac{M}{M_{pl,d}} + 0,82 \left( \frac{V}{V_{pl,d}} \right)^2 \leq 1$
	$0,3 < \frac{N}{N_{pl,d}} \leq 1$	$0,91 \frac{M}{M_{pl,d}} + \left( \frac{N}{N_{pl,d}} \right)^2 \leq 1$	$0,87 \frac{M}{M_{pl,d}} + 0,95 \left( \frac{N}{N_{pl,d}} \right)^2 + 0,75 \left( \frac{V}{V_{pl,d}} \right)^2 \leq 1$

Mit

$$M_y^* = [1 - (N/N_{pl,d})^{1.2}] \cdot M_{pl,y,d} \quad (40)$$

gilt

– für  $M_y \leq M_y^*$ :

$$\frac{M_z}{M_{pl,z,d}} + c_1 + c_2 \left( \frac{M_y}{M_{pl,y,d}} \right)^{2.3} \leq 1 \quad (41)$$

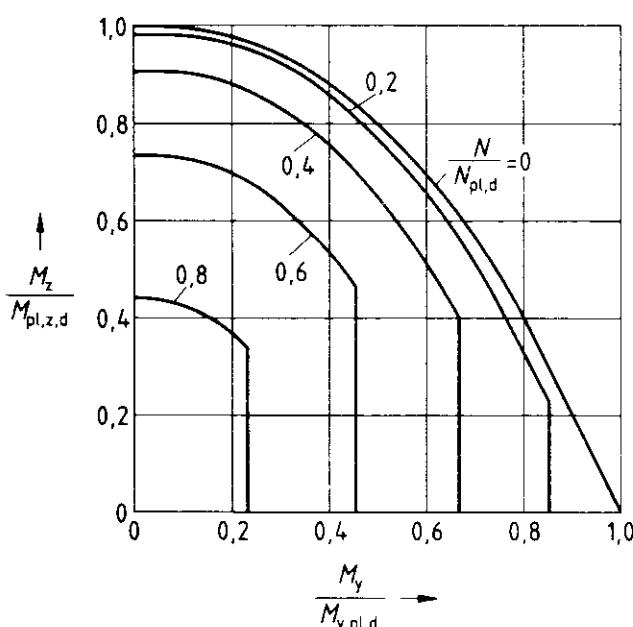
mit

$$c_1 = (N/N_{pl,d})^{2.6}$$

$$c_2 = (1 - c_1) - N_{pl,d}/N$$

– für  $M_y > M_y^*$ :

$$\frac{1}{40} \left( \frac{M_z}{M_{pl,z,d}} - \frac{M_z^*}{M_{pl,z,d}} \right) + \left( \frac{N}{N_{pl,d}} \right)^{1.2} + \frac{M_y}{M_{pl,y,d}} \leq 1 \quad (42)$$

Bild 19. Interaktion für die Normalkraft  $N$  und die Biegemomente  $M_y$  und  $M_z$  nach den Bedingungen (41) und (42)

Anmerkung 1: Andere Interaktionsgleichungen können der Literatur, z.B. [8], entnommen werden.

Anmerkung 2: Vereinfachend sind die Faktoren in den Tabellen 16 und 17 auf 2 Ziffern gerundet. Aus diesem Grunde ergeben sich geringfügig veränderte Zahlenwerte, wenn man in Grenzfällen von den allgemeinen Interaktionsgleichungen mit allen drei Schnittkräften  $M, N, V$  auf die Sonderfälle übergeht.

Anmerkung 3: Querschnitte mit nicht konstanter Streckengrenze sind z.B. solche mit unterschiedlicher Erzeugnisdicke nach Tabelle 1 oder unterschiedlicher Streckengrenze für die Querschnittsteile.

Anmerkung 4: Die Schnittgrößen im vollplastischen Zustand nach Bild 18 können nicht alle als Grenzschnittgrößen im plastischen Zustand verwendet werden; offensichtlich ist dies z.B. für  $V_{pl,y,d}$ .Anmerkung 5:  $M_{pl,d}, N_{pl,d}$  und  $V_{pl,d}$  in Tabelle 16 und 17 sind Grenzschnittgrößen.Es ist  $M_{pl,z,d} = 1,25 \sigma_{R,d} \cdot W_z$ .

#### 7.5.4 Nachweis nach dem Verfahren Plastisch-Plastisch

##### (758) Grundsätze

Die Beanspruchungen sind nach der Fließgelenk- oder Fließzonentheorie, die Beanspruchbarkeiten unter Ausnutzung plastischer Tragfähigkeiten der Querschnitte und des Systems zu berechnen. Es ist nachzuweisen, daß

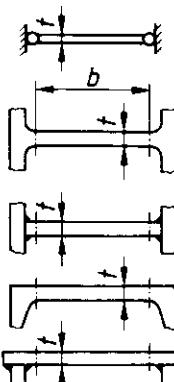
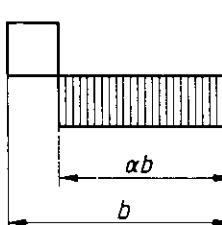
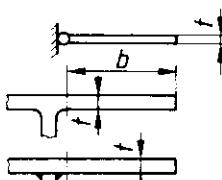
1. das System im stabilen Gleichgewicht ist und
2. in allen Querschnitten die Beanspruchungen unter Beachtung der Interaktion nicht zu einer Überschreitung der Grenzschnittgrößen im plastischen Zustand führen und
3. in den Querschnitten im Bereich der Fließgelenke bzw. Fließzonen die Grenzwerte  $b/t$  und  $d/t$  nach Tabelle 18 eingehalten sind.

Für die Querschnitte in den übrigen Bereichen des Tragwerkes gilt Abschnitt 7.5.3, Element 753, Nummer 3.

Anmerkung 1: Beim Verfahren Plastisch-Plastisch werden plastische Querschnitts- und Systemreserven ausgenutzt.

Anmerkung 2: Zur Berechnung der plastischen Beanspruchbarkeit siehe Abschnitt 7.5.3, Elemente 755 bis 757.

Tabelle 18. Grenzwerte  $grenz(b/t)$  und  $grenz(d/t)$  für volles Mitwirken von Querschnittsteilen unter Druckspannungen  $\sigma_x$  beim Tragsicherheitsnachweis nach dem Verfahren Plastisch-Plastisch.  $f_{y,k}$  in N/mm<sup>2</sup>

Beidseitig gelagerter Plattenstreifen		
Lagerung und Breite $b$		
		
$grenz(b/t) = \frac{32}{a} \cdot \sqrt{\frac{240}{f_{y,k}}}$		
Einseitig gelagerter Plattenstreifen		
Lagerung und Breite $b$		Druckspannung $f_{y,k}/\gamma_M$ am
		gelagerten Rand
		freien Rand
$grenz(b/t) = \frac{9}{a+a} \cdot \sqrt{\frac{240}{f_{y,k}}}$		$grenz(b/t) = \frac{9}{a} \cdot \sqrt{\frac{240}{f_{y,k}}}$
Kreiszylinder		
$grenz(d/t) = 50 \cdot \frac{240}{f_{y,k}}$		
Druckspannungen sind durch Schraffur gekennzeichnet.		

### (759) Berücksichtigung oberer Grenzwerte der Streckgrenze

Wenn für einen Nachweis eine Erhöhung der Streckgrenze zu einer Erhöhung der Beanspruchung führt, die nicht gleichzeitig zu einer proportionalen Erhöhung der zugeordneten Beanspruchbarkeit führt, ist für die Streckgrenze auch ein oberer Grenzwert

$$\sigma_{R,d}^{(oben)} = 1,3 \cdot \sigma_{R,d} \quad (43)$$

anzunehmen.

Bei durch- oder gegengeschweißten Nähten kann die Erhöhung der Beanspruchbarkeit unterstellt werden (vergleiche hierzu auch Abschnitt 8.4.1.4, Element 832).

Bei üblichen Tragwerken darf die Erhöhung von Auflagerkräften infolge der Annahme des oberen Grenzwertes der Streckgrenze unberücksichtigt bleiben.

Auf die Berücksichtigung des oberen Grenzwertes der Streckgrenze darf verzichtet werden, wenn für die Beanspruchungen aller Verbindungen die 1,25fachen Grenzschnittgrößen im plastischen Zustand der durch sie verbundenen Teile angesetzt werden und die Stäbe konstanten Querschnitt über die Stablänge haben.

Anmerkung 1: Beim Zweifeldträger mit über die Länge konstanter Querschnitt unter konstanter Gleichlast erhöht sich die Auflagerkraft an der Innenstütze vom Grenzzustand nach dem Verfahren Plastisch-Plastisch infolge der Annahme des oberen Grenzwertes der Streckgrenze nur um rund 4%.

Anmerkung 2: Bei Anwendung der Fließgelenktheorie werden in den Fließgelenken die Schnittgrößen auf die Grenzschnittgrößen im plastischen Zustand begrenzt. Nimmt die Streckgrenze in der Umgebung eines Fließgelenkes einen höheren Wert an als die Grenznormalspannung  $\sigma_{R,d}$  nach Gleichung (31) (dieser Wert ist ein unterer Grenzwert), dann wird die am Fließgelenk auftretende Schnittgröße (Beanspruchung) größer als die untere Grenzschnittgröße. Für den Stab selbst bedeutet dies keine Gefährdung, da ja auch die Beanspruchbarkeit im selben Maße zunimmt. Für Verbindungen, die sich nicht durch Verformung der zunehmenden Beanspruchung entziehen können, kann die Berücksichtigung der oberen Grenzwerte der Streckgrenzen bemessungsbestimmend werden. Dies ist bei Verbindungen ohne ausreichende Rotationskapazität möglich.

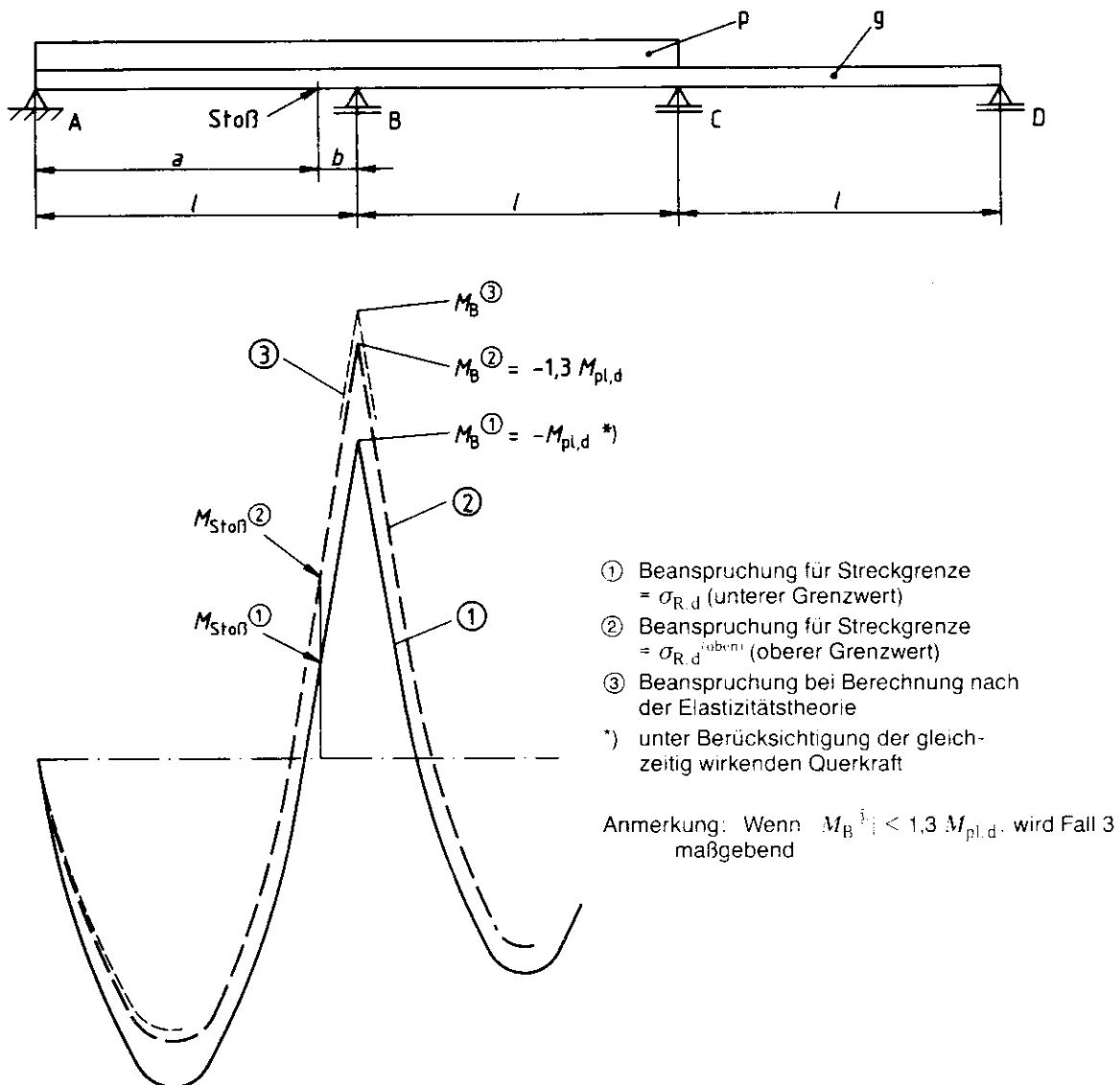


Bild 20. Beispiel zur Berücksichtigung des oberen Grenzwertes der Streckgrenze

### (760) Vereinfachte Berechnung der Beanspruchungen

Für den Tragsicherheitsnachweis nach Element 758 darf bei unverschieblichen Systemen die Lage der Fließgelenke beliebig angenommen werden, wenn die Grenzwerte  $grenz(b/t)$  und  $grenz(d/t)$  nach Tabelle 18 überall eingehalten sind.

## 7.6 Nachweis der Lagesicherheit

**(761) Grundsätze**

Die Sicherheit gegen Gleiten, Abheben und Umkippen von Tragwerken und Tragwerksteilen ist nach den Regeln für den Nachweis der Tragsicherheit nachzuweisen.

Zwischenzustände sind zu berücksichtigen, wenn das Nachweisverfahren Plastisch-Plastisch angewendet wird.

Anmerkung 1: Die Nachweise der Lagesicherheit sind Nachweise der Tragsicherheit, die sich auf unverankerte und verankerte Lagerungen beziehen.

Anmerkung 2: Im allgemeinen genügt es, nur die Zustände unter den Bemessungswerten der Einwirkungen zu betrachten. Für den Nachweis der Lagesicherheit können Zwischenzustände maßgeblich sein.

gebend werden, bei denen alle oder einige Einwirkungen noch nicht ihren Bemessungswert erreicht haben.

## (762) Beanspruchungen

Die Beanspruchungen sind nach Abschnitt 7.2.2 zu berechnen; im allgemeinen gilt Element 711.

Wenn nach Abschnitt 7.4, Element 728, ein Nachweis nach Theorie II. Ordnung notwendig ist, gelten die so ermittelten Schnittkräfte auch für den Lagesicherheitsnachweis.

### (763) Beanspruchbarkeit von Verankerungen

Die Beanspruchbarkeiten von Lagerfugen und deren Verankerungen sind nach den Abschnitten 7.3 und 8 zu berechnen.

(764) Gleiten

Es ist nachzuweisen, daß in der Fugenebene die Gleitkraft nicht größer als die Grenzgleitkraft ist.

Für die Berechnung der Grenzgleitkraft dürfen Reibwiderstand und Scherwiderstand von mechanischen Schubsicherungen als gleichzeitig wirkend angesetzt werden.

Die Sicherheit gegen Gleiten darf nach DIN 4141 Teil 1/09.84, Abschnitt 6, nachgewiesen werden.

#### (765) Abheben

Für unverankerte Lagerfugen ist nachzuweisen, daß die Beanspruchung keine abhebende Kraftkomponente rechtwinklig zur Lagerfuge aufweist.

Für verankerte Lagerfugen ist nachzuweisen, daß die Beanspruchung der Verankerung nicht größer als deren Beanspruchbarkeit ist.

Anmerkung: Charakteristische Werte für Festigkeiten von Verankerungssteilen aus Stahl sind im Abschnitt 4, Grenzwerte im Abschnitt 8 zu finden.

#### (766) Umlippen

Für den Nachweis gegen Umlippen sind die Normaldruckspannungen gleichverteilt über eine Teilfläche der Lagerfugenfläche anzunehmen. Dabei darf die Teilfläche beliebig angenommen werden. Es ist nachzuweisen, daß die Drucknormalspannungen (Pressungen) nicht größer als die Grenzpressungen der angrenzenden Bauteile sind.

Für verankerte Lagerfugen ist außerdem nachzuweisen, daß die Beanspruchung der Verankerung nicht größer als deren Beanspruchbarkeit ist.

Anmerkung 1: Das anzunehmende Tragmodell hat Ähnlichkeit mit dem der Fließgelenktheorie. Die Teilfläche ist eine „Fließfläche“ und entspricht dem Fließgelenk.

Anmerkung 2: Der Nachweis von Kantenpressungen, z.B. für Mauerwerk bei Auflagerung von Stahlträgern, ist hiervon nicht berührt.

#### (767) Grenzwerte für Lagerfugen

Die Grenzpressung für Beton ist  $\beta_R/1,3$  mit  $\beta_R$  nach DIN 1045/07.88.

Falls die Pressung als Teilflächenpressung auftritt, darf der Wert  $\beta_R/1,3$  in Anlehnung an DIN 1045/07.88, Abschnitt 17.3.3, erhöht werden.

Die charakteristischen Werte für die Reibungszahl sind DIN 4141 Teil 1/09.84, Abschnitt 6, zu entnehmen. Der Teilsicherheitsbeiwert ist  $\gamma_M = 1,1$ .

Anmerkung: Werden Reibungszahlen entsprechend Abschnitt 7.3.2, Element 724, durch Versuche ermittelt, sind auch langzeitige Einflüsse zu berücksichtigen.

### 7.7 Nachweis der Dauerhaftigkeit

#### (768) Grundsätze

Die Dauerhaftigkeit erfordert bei der Herstellung der Stahlbauten Maßnahmen gegen Korrosion, die der zu erwartenden Beanspruchung genügen.

Die Erhaltung der Dauerhaftigkeit erfordert eine sachgemäße Instandhaltung der Stahlbauten. Sie ist auf die bei der Herstellung getroffenen Maßnahmen abzustimmen oder bei veränderter Beanspruchung dieser anzupassen.

#### (769) Maßnahmen gegen Korrosion

Stahlbauten müssen gegen Korrosionsschäden geschützt werden. Während der Nutzungsdauer darf keine Beeinträchtigung der erforderlichen Tragsicherheit durch Korrosion eintreten.

Maßnahmen gegen Korrosion müssen neben dem allgemeinen Schutz gegen flächenhafte Korrosion auch den besonderen Schutz gegen lokal erhöhte Korrosion einschließen.

Anstelle von Maßnahmen gegen Korrosion darf die Auswirkung der Korrosion durch Dickenzuschläge berücksichtigt werden, wenn sie auf den Korrosionsabtrag und die Nutzungsdauer abgestimmt sind.

Anmerkung: Maßnahmen gegen Korrosion können sein:

- Beschichtungen und/oder Überzüge nach Normen der Reihe DIN 55928
  - Kathodischer Korrosionsschutz
  - Wahl geeigneter nichtrostender Werkstoffe (nicht geeignet sind diese z.B. in chlorhaltiger und chlorwasserstoffhaltiger Atmosphäre, vergleiche hierzu z.B. die allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen für nichtrostende Stähle)
  - Umhüllung mit geeigneten Baustoffen
- Besondere Maßnahmen gegen Korrosion können erforderlich sein z.B.
- bei hochfesten Zuggliedern,
  - in Fugen und Spalten,
  - an Berührungsflächen mit anderen Baustoffen,
  - an Berührungsflächen mit dem Erdreich und
  - an Stellen möglicher Kontaktkorrosion.

#### (770) Korrosionsschutzgerechte Konstruktion

Die Konstruktion soll so ausgebildet werden, daß Korrosionsschäden weitgehend vermieden, frühzeitig erkannt und Erhaltungsmaßnahmen während der Nutzungsdauer einfach durchgeführt werden können.

Anmerkung: Grundregeln zur korrosionsschutzgerechten Gestaltung sind in DIN 55928 Teil 2 enthalten.

#### (771) Unzugängliche Bauteile

Sind Bauteile zur Kontrolle und Wartung nicht mehr zugänglich und kann ihre Korrosion zu unangekündigtem Versagen mit erheblichen Gefährdungen oder erheblichen wirtschaftlichen Auswirkungen führen, müssen die Maßnahmen gegen Korrosion so getroffen werden, daß keine Instandhaltungsarbeiten während der Nutzungsdauer nötig sind. In diesem Fall ist das Korrosionsschutzsystem Bestandteil des Tragsicherheitsnachweises.

Anmerkung 1: Beispiele solcher Bauteile sind Haltekonstruktionen hinterlüfteter Fassaden, verkleidete Stahlbauteile, Verankerungen und ähnliches.

Anmerkung 2: Sichtbares Auftreten von Korrosionsprodukten kann im allgemeinen als Ankündigung der Möglichkeit eines Versagens gewertet werden.

Anmerkung 3: Nach Bauteil und Nutzungsdauer unterschiedliche Maßnahmen gegen Korrosion werden in den entsprechenden Fachnormen oder bauaufsichtlichen Zulassungen geregelt.

#### (772) Kontaktkorrosion

Zur Vermeidung von Kontaktkorrosion an Berührungsflächen von Stahlteilen mit Bauteilen aus anderen Metallen ist DIN 55928 Teil 2 zu beachten.

#### (773) Hochfeste Zugglieder

Der Korrosionsschutz aus Verfüllung und Beschichtung muß der Konstruktionsart und den Einsatzbedingungen der hochfesten Zugglieder angepaßt sein. Bei der konstruktiven Ausbildung von Klemmen, Schellen und Verankerungen sind Schutzmaßnahmen für die Zugglieder zu berücksichtigen.

#### (774) Überwachung des Korrosionsschutzes

Wird eine besondere Überwachung des Korrosionsschutzes während der Nutzungsdauer des Bauwerkes vorgesehen, so sind in den Entwurfsunterlagen die Zeitabstände und die zu überprüfenden Bauteile festzulegen.

## 8 Beanspruchungen und Beanspruchbarkeiten der Verbindungen

### 8.1 Allgemeine Regeln

(801) Die Beanspruchung der Verbindungen eines Querschnittsteiles soll aus den Schnittgrößenanteilen dieses Querschnittsteiles bestimmt werden.

Es ist zu beachten, daß in Schraubenverbindungen Abstützkräfte entstehen können und dadurch die Beanspruchungen in der Verbindung beeinflußt werden.

In doppelsymmetrischen I-förmigen Biegeträgern mit Schnittgrößen  $N$ ,  $M_y$  und  $V_z$  dürfen die Verbindungen vereinfacht mit folgenden Schnittgrößenanteilen nachgewiesen werden.

$$\text{Zugflansch: } N_z = N/2 + M_y/h_F \quad (44)$$

$$\text{Druckflansch: } N_D = N/2 - M_y/h_F \quad (45)$$

$$\text{Steg: } V_{st} = V_z \quad (46)$$

wobei  $h_F$  der Schwerpunktstabstand der Flansche ist. Vorausgesetzt ist, daß in den Flanschen die Beanspruchungen  $N_z$  und  $N_D$  nicht größer als die Beanspruchbarkeiten nach Abschnitt 7 sind.

Anmerkung 1: Die Regel des ersten Absatzes folgt aus Abschnitt 5.2.1, Element 504, zweiter Absatz.

Anmerkung 2: Ein Beispiel für die Beeinflussung der Beanspruchungen einer Verbindung ist der T-Stoß von Zugstäben: Abhängig von den Abmessungen der Schrauben und der Stirnplatte können im Bereich der Stirnplattenkante Abstützkräfte  $K$  entstehen. Die Abstützkräfte  $K$  und die Zugkraft  $F$  stehen mit den Schraubenzugkräften im Gleichgewicht, siehe z.B. [4].

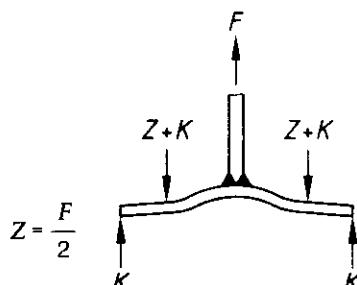


Bild 21. T-Stoß

### 8.2 Verbindungen mit Schrauben oder Nieten

#### 8.2.1 Nachweise der Tragsicherheit

##### 8.2.1.1 Allgemeines

##### (802) Anwendungsbereich

Die in Abschnitt 8.2.1.2, Elemente 804 bis 805, genannten Tragsicherheitsnachweise gelten für alle Ausführungsformen von Schraubenverbindungen nach Tabelle 6 und für Nietverbindungen.

##### (803) Begrenzung der Anzahl von Schrauben und Nieten

Bei unmittelbaren Laschen- und Stabanschlüssen dürfen in Kraftrichtung hintereinanderliegend höchstens 8 Schrauben oder Niete für den Nachweis berücksichtigt werden.

Anmerkung: Bei kontinuierlicher Krafeinleitung ist eine obere Begrenzung nicht erforderlich.

#### 8.2.1.2 Abscheren und Lochleibung

##### (804) Abscheren

Die Grenzabscherkraft ist nach Gleichung (47) zu ermitteln.

$$V_{a,R,d} = A \cdot \tau_{a,R,d} = A \cdot \alpha_a \cdot f_{u,b,k} / \gamma_M \quad (47)$$

mit  $\alpha_a = 0,60$  für Schrauben der Festigkeitsklassen 4,6, 5,6 und 8,8

$\alpha_a = 0,55$  für Schrauben der Festigkeitsklasse 10,9

Als maßgebender Abscherquerschnitt  $A$  ist dabei einzusetzen

- der Schaftquerschnitt  $A_{Sch}$ , wenn der glatte Teil des Schaftes in der Scherfuge liegt, oder
- der Spannungsquerschnitt  $A_{Sp}$ , wenn der Gewinde teil des Schaftes in der Scherfuge liegt.

Es ist mit Bedingung (48) nachzuweisen, daß die vorhandene Abscherkraft  $V_a$  je Scherfuge und je Schraube die Grenzabscherkraft  $V_{a,R,d}$  nicht überschreitet.

$$\frac{V_a}{V_{a,R,d}} \leq 1 \quad (48)$$

Beim Nachweisverfahren Plastisch-Plastisch ist Element 808 zu beachten.

Bei einschnittigen ungestützten Verbindungen ist Element 807 zu beachten.

**Die Grenzabscherkräfte der Schrauben einer Verbindung dürfen innerhalb eines Anschlusses addiert werden.**

Anmerkung 1: Der Faktor  $\alpha_a$  resultiert aus dem Verhältnis Abscherfestigkeit zu Zugfestigkeit.

Anmerkung 2: Die Grenzabscherkraft einer zweischnittigen Schraubenverbindung, bei der in einer Scherfuge der Schaft- und in der anderen der Gewindequerschnitt liegt, ergibt sich beispielsweise als Summe der einzelnen Grenzabscherkräfte in den beiden Scherfugen.

##### (805) Lochleibung

Die Grenzlochleibungskraft ist nach Gleichung (49) zu ermitteln; sie gilt für Blechdicken  $t \geq 3 \text{ mm}$ .

$$V_{l,R,d} = t \cdot d_{Sch} \cdot \sigma_{l,R,d} = t \cdot d_{Sch} \cdot \alpha_l \cdot f_{y,k} / \gamma_M \quad (49)$$

Der Wert  $\alpha_l$  ist nach den Gleichungen (50 a) bis (50 d) zu berechnen. Dabei darf der Randabstand in Kraftrichtung  $e_1$  höchstens mit  $3,0 \cdot d_L$  und der Lochabstand in Kraftrichtung  $e$  höchstens mit  $3,5 \cdot d_L$  in Rechnung gestellt werden.

- Für  $e_2 \geq 1,5 \cdot d_L$  und  $e_3 \geq 3,0 \cdot d_L$  gilt, wenn der Randabstand in Kraftrichtung maßgebend ist,

$$\alpha_l = 1,1 \cdot e_1 / d_L - 0,30 \quad (50 \text{ a})$$

und, wenn der Lochabstand in Kraftrichtung maßgebend ist,

$$\alpha_l = 1,08 \cdot e / d_L - 0,77. \quad (50 \text{ b})$$

- Für  $e_2 = 1,2 \cdot d_L$  und  $e_3 = 2,4 \cdot d_L$  gilt, wenn der Randabstand in Kraftrichtung maßgebend ist,

$$\alpha_l = 0,73 \cdot e_1 / d_L - 0,20' \quad (50 \text{ c})$$

und, wenn der Lochabstand in Kraftrichtung maßgebend ist,

$$\alpha_l = 0,72 \cdot e / d_L - 0,51. \quad (50 \text{ d})$$

Die Bezeichnungen für die Loch- und Randabstände sind Bild 22 zu entnehmen.

Für Zwischenwerte von  $e_2$  und  $e_3$  darf geradlinig interpoliert werden.

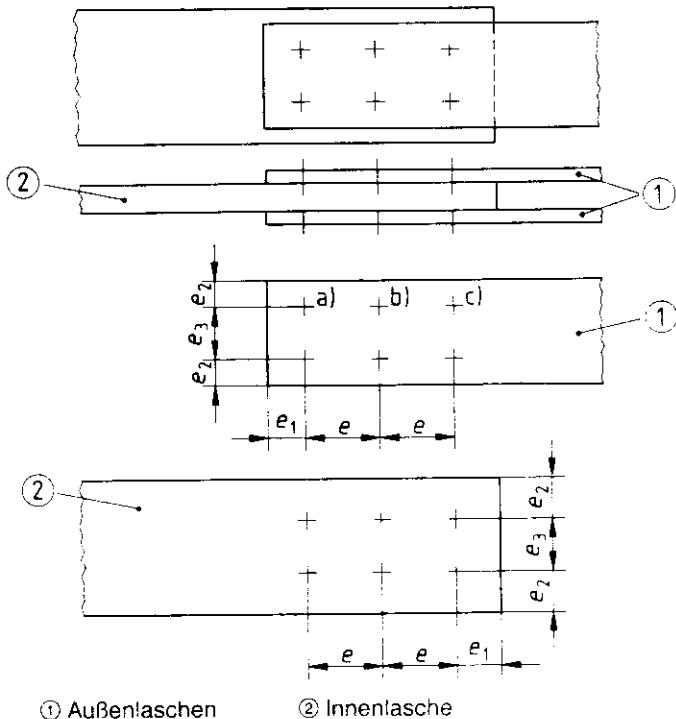


Bild 22. Randabstände  $e_1$  und  $e_2$  und Lochabstände  $e$  und  $e_3$

Die Grenzlochleibungskräfte der Schrauben einer Verbindung dürfen innerhalb eines Anschlusses addiert werden, wenn die einzelnen Schraubenkräfte beim Nachweis auf Abscheren berücksichtigt werden.

Sofern beim Tragsicherheitsnachweis des Nettoquerschnittes die Grenznormalspannung  $\sigma_{R,d}$  des Bauteilwerkstoffes nach Gleichung (31) nicht erreicht wird, darf bei GV- und GVP-Verbindungen eine erhöhte Grenzlochleibungskraft  $V_{I,R,d}$  eingesetzt werden:

$$V_{I,R,d} = \min \begin{cases} (a_1 + 0,5) \cdot t \cdot d_{Sch} \cdot f_{y,k} / \gamma_M \\ 3,0 \cdot t \cdot d_{Sch} \cdot f_{y,k} / \gamma_M \end{cases} \quad (51)$$

Es ist mit Bedingung (52) nachzuweisen, daß die vorhandene Lochleibungskraft  $V_I$  einer Schraube an einer Lochwandung die Grenzlochleibungskraft  $V_{I,R,d}$  nicht überschreitet.

$$\frac{V_I}{V_{I,R,d}} \leq 1 \quad (52)$$

Anmerkung: Für die von einer Schraube auf Lochleibung und Abscheren zu übertragenden Kräfte sind selbstverständlich die Gleichgewichtsbedingungen einzuhalten. Daraus folgt:

Für jede einzelne Schraube sind

- die Summe der Grenzabscherkräfte  $V_{a,R,d}$ , die Summe der für die maßgebenden Rand- und Lochabstände für eine Krafrichtung ermittelten Grenzlochleibungskräfte  $V_{I,R,d}$  und
- die entsprechende Summe für die entgegengesetzte Krafrichtung

zu berechnen. Der Kleinstwert ist die Beanspruchbarkeit der betrachteten Schraube. Die Beanspruchbarkeit der Verbindung ist die Summe der Beanspruchbarkeiten der einzelnen Schrauben.

Für die Schraube a nach Bild 22 z.B. sind die Summe der Grenzabscherkräfte für die beiden

Scherfugen, die Summe der Grenzlochleibungskräfte für die beiden Außenlaschen (1) mit dem Randabstand  $e_1$  sowie die Grenzlochleibungskraft für die Innenlasche (2) mit dem Lochabstand  $e$  zu berechnen. Der kleinste Wert der drei berechneten Größen ist die Beanspruchbarkeit der Schraube a).

Im allgemeinen ergeben sich nicht für alle Schrauben einer Verbindung dieselben Werte für die maßgebenden Grenzkräfte. Dies ist gleichbedeutend mit einer ungleichmäßigen Aufteilung der Scherkraft der Verbindung (Beanspruchung der Verbindung) auf die einzelnen Schrauben. Mit der Annahme gleichmäßiger Aufteilung liegt man jedoch beim Nachweis immer auf der „sicheren Seite“.

#### (806) Senkschrauben und -niete

Bei der Berechnung der Grenzlochleibungskraft für Bauteile, die mit Senkschrauben oder -nieten verbunden sind, ist auf der Seite des Senkkopfes anstelle der Querschnittsteildicke der größere der beiden folgenden Werte einzusetzen:  $0,8 \cdot t$  oder  $t_s$  (Bild 23).

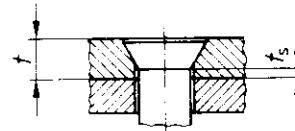


Bild 23. Verbindung mit Senkschraube oder -niet

Anmerkung: Bei Senkschrauben- und Senknietverbindungen treten infolge der Verdrehung des Senkkopfes größere gegenseitige Verschiebungen der Bauteile auf als bei Verbindungen mit Schrauben, Bolzen oder Nieten.

#### (807) Einschnittige ungestützte Verbindungen

Bei einschnittigen ungestützten Verbindungen mit nur einer Schraube in Krafrichtung muß anstelle von Bedingung (52) Bedingung (53) erfüllt sein.

$$V_I / V_{I,R,d} \leq 1 / 1,2 \quad (53)$$

Für die Randabstände gilt:  $e_1 \geq 2,0 \cdot d_L$  und  $e_2 \geq 1,5 \cdot d_L$

Anmerkung: Die Gültigkeit des Nachweises der Verbindung für kleinere als die angegebenen Randabstände  $e_1$  und  $e_2$  ist nicht belegt.



Bild 24. Tragverhalten einschnittiger ungestützter Schraubenverbindungen

#### (808) Zusätzliche Bedingung für das Berechnungsverfahren Plastisch-Plastisch

Wenn

- die Schnittgrößen nach dem Nachweisverfahren Plastisch-Plastisch berechnet und
- Schrauben der Festigkeitsklassen 8.8 oder 10.9 in SL-Verbindungen mit mehr als 1 mm Lochspiel verwendet werden und
- die Beanspruchbarkeit der Verbindung kleiner ist als die der anzuschließenden Querschnitte und

## DIN 18 800 Teil 1

- der Ausnutzungsgrad auf Abscheren  $V_a / V_{a,R,d} > 0,5$  ist,
- muß für alle Schrauben der Verbindung Bedingung (54) erfüllt sein:

$$V_l / V_{l,R,d} \geq V_a / V_{a,R,d} \quad (54)$$

Anmerkung: Durch Bedingung (54) wird abgesichert, daß in den genannten Verbindungen plastische Verformungen durch Ovalisierung der Schraubenlöcher und nicht durch Scheryversatz der Schrauben entstehen, planmäßiges Tragen aller Schrauben erreicht wird und ausreichende Duktilität der Gesamtverbindung vorhanden ist.

### 8.2.1.3 Zug

(809) Die Grenzzugkraft ist nach Gleichung (55) zu ermitteln.

$$N_{R,d} = \min \left\{ \begin{array}{l} A_{Sch} \cdot \sigma_{1,R,d} \\ A_{Sp} \cdot \sigma_{2,R,d} \end{array} \right\} \quad (55)$$

Hierin bedeutet:

$$\sigma_{1,R,d} = f_{y,b,k} / (1,1 \gamma_M) \quad (56 \text{ a})$$

$$\sigma_{2,R,d} = f_{u,b,k} / (1,25 \gamma_M) \quad (56 \text{ b})$$

Für Gewindestangen, Schrauben mit Gewinde bis annähernd zum Kopf und aufgeschweißte Gewindestangen ist in Gleichung (55) anstelle des Schaftrquerschnittes  $A_{Sch}$  der Spannungsquerschnitt  $A_{Sp}$  einzusetzen. Das gleiche gilt für Schrauben, wenn die beim Fließen der Schrauben auftretenden Verformungen nicht zulässig sind.

Es ist mit Bedingung (57) nachzuweisen, daß die in der Schraube vorhandene Zugkraft  $N$  die Grenzzugkraft  $N_{R,d}$  nicht überschreitet.

$$\frac{N}{N_{R,d}} \leq 1 \quad (57)$$

Anmerkung: Die in der Schraube vorhandene Zugkraft ist z.B. die anteilig auf die Schraube entfallende Zugkraft, gegebenenfalls erhöht durch die Abstützkraft  $K$  nach Bild 21.

### 8.2.1.4 Zug und Abscheren

(810) Für Beanspruchung von Schrauben auf Zug und Abscheren in gestützten Verbindungen ist der Tragsicherheitsnachweis nach Abschnitt 8.2.1.3, Element 809 und zusätzlich nach Bedingung (58) zu führen, wobei in Bedingung (58) für  $N_{R,d}$  derjenige Querschnitt zugrunde zu legen ist, der in der Scherfuge liegt.

$$\left( \frac{N}{N_{R,d}} \right)^2 + \left( \frac{V_a}{V_{a,R,d}} \right)^2 \leq 1 \quad (58)$$

Auf den Interaktionsnachweis darf verzichtet werden, wenn  $N/N_{R,d}$  oder  $V_a/V_{a,R,d}$  kleiner als 0,25 ist.

### 8.2.1.5 Betriebsfestigkeit

(811) Für den Betriebsfestigkeitsnachweis zugbeanspruchter Schrauben gilt Abschnitt 7.5.1, Element 741, wobei in den Bedingungen (25) und (26) für  $\Delta\sigma$  die Spannungsschwingbreite im Spannungsquerschnitt einzusetzen ist.

Für Schrauben, die auf Abscheren beansprucht werden, gilt Abschnitt 7.5.1, Element 741, jedoch sind hier an die Stelle der Bedingungen (25) und (26) die Bedingungen (59 a) und (59 b) zu setzen.

$$\Delta\tau_a \leq 46 \text{ N/mm}^2 \quad (59 \text{ a})$$

$$n \leq 10^8 (46 / \Delta\tau_a)^5 \quad (59 \text{ b})$$

mit

$$\Delta\tau_a = \max \tau_a - \min \tau_a \text{ in N/mm}^2$$

Scherspannungs-Schwingbreite im  
Schaftquerschnitt

46 N/mm<sup>2</sup> Dauerfestigkeit bei 10<sup>8</sup> Spannungs-  
spielen

$n$  Anzahl der Spannungsspiele

Bei schwingender Beanspruchung auf Abscheren darf das Gewinde nicht in die zu verbindenden Teile hineinreichen.

Anmerkung 1: Die Spannungsschwingbreite  $\Delta\sigma$  in den Bedingungen (25) und (26) bezieht sich bei planmäßig vorgespannten, zugbeanspruchten Schrauben auf die Schwingbreite der Schraubenkraft und nicht auf die der anteiligen Anschlußkraft.

Anmerkung 2: Die Bedingung (25) ist wegen des sehr geringen Wertes  $\Delta\sigma$  für nichtplanmäßig vorgespannte Schrauben im allgemeinen nicht erfüllbar.

### 8.2.2 Nachweis der Gebrauchstauglichkeit

(812) Für gießfeste planmäßig vorgespannte Verbindungen (GV, GVP) ist mit Bedingung (60) nachzuweisen, daß die im Gebrauchstauglichkeitsnachweis auf eine Schraube in einer Scherfuge entfallende Kraft  $V_g$  die Grenzgleitkraft  $V_{g,R,d}$  nach Gleichung (61) nicht überschreitet.

$$\frac{V_g}{V_{g,R,d}} \leq 1 \quad (60)$$

$$V_{g,R,d} = \mu \cdot F_v (1 - N/F_v) / (1,15 \gamma_M) \quad (61)$$

Hierin bedeuten:

$\mu = 0,5$  Reibungszahl nach Vorbehandlung der Reibflächen nach DIN 18 800 Teil 7/05.83, Abschnitt 3.3.3.1

$F_v$  Vorspannkraft nach Anhang A bzw. DIN 18 800 Teil 7/05.83, Tabelle 1

$N$  die anteilig auf die Schraube entfallende Zugkraft für den Gebrauchstauglichkeitsnachweis

$$\gamma_M = 1,0$$

Es dürfen Reibungszahlen  $\mu > 0,5$  verwendet werden, wenn sie belegt werden.

Anmerkung 1: Für nicht zugbeanspruchte Schrauben folgt:

$$V_{g,R,d} = \mu \cdot F_v / (1,15 \gamma_M)$$

Anmerkung 2: Zugkräfte in vorgespannten Verbindungen reduzieren die Klemmkraft zwischen den Berührungsflächen, so daß die Gleitlasten ebenfalls reduziert werden.

Anmerkung 3: Der Faktor 1,15 ist ein Korrekturfaktor. Die Zugbeanspruchung aus äußerer Belastung wird rechnerisch ausschließlich den Schrauben zugewiesen, das heißt, der tatsächlich eintretende Abbau der Klemmkraft in den Berührungsflächen der zu verbindenden Bauteile sowie die Vergrößerung der Pressung in den Auflageflächen von Schraubenkopf und Mutter werden nicht berücksichtigt.

### 8.2.3 Verformungen

(813) Muß nach Abschnitt 7.4, Element 733, der Schlupf von Schraubenverbindungen bei der Tragwerksverformung berücksichtigt werden, ist er mit dem 1,0fachen Nennlochspiel  $\Delta d$  nach Tabelle 6 anzusetzen. Dabei ist von deckungsgleichen Löchern auszugehen.

### 8.3 Augenstäbe und Bolzen

#### (814) Grenzabmessungen

Falls für Bolzen mit einem Lochspiel  $\Delta d \leq 0,1 d_L$ , höchstens jedoch 3 mm, auf einen genaueren Tragsicherheitsnachweis verzichtet wird, müssen die Grenzabmessungen (Mindestwerte) der Augenstäbe nach Form A oder Form B eingehalten werden.

Form A nach Bild 25:

$$\text{grenz } a = \frac{F}{2 t \cdot f_{y,k}/\gamma_M} + \frac{2}{3} d_L \quad (62)$$

$$\text{grenz } c = \frac{F}{2 t \cdot f_{y,k}/\gamma_M} + \frac{1}{3} d_L \quad (63)$$

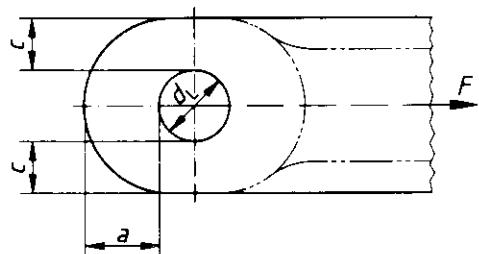


Bild 25. Augenstababmessungen Form A

Form B nach Bild 26:

$$\text{grenz } t = 0,7 \sqrt{\frac{F}{f_{y,k}/\gamma_M}} \quad (64)$$

$$\text{grenz } d_L = 2,5 \text{ grenz } t \quad (65)$$

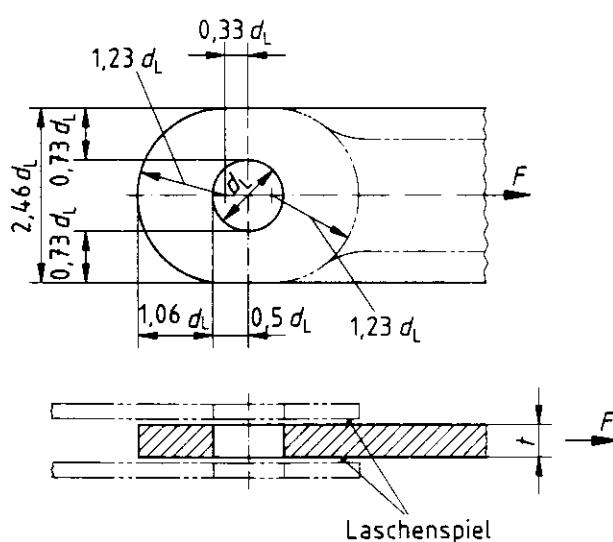


Bild 26. Augenstababmessungen Form B

#### (815) Grenzscherkraft

Der Nachweis auf Abscheren ist nach Abschnitt 8.2.1.2, Element 804, zu führen.

#### (816) Grenzlochleibungskraft

Falls auf eine genauere Berechnung verzichtet wird, ist der Nachweis mit Bedingung (52) zu führen.

Für Bolzen mit einem Lochspiel  $\Delta d \leq 0,1 d_L$ , höchstens jedoch 3 mm, ist dabei die Grenzlochleibungskraft wie folgt zu ermitteln:

$$V_{1,R,d} = t \cdot d_{Sch} \cdot 1,5 f_{y,k}/\gamma_M \quad (66)$$

#### (817) Grenzbiegemoment

Für Bolzen mit einem Lochspiel  $\Delta d \leq 0,1 d_L$ , höchstens jedoch 3 mm, ist das Grenzbiegemoment wie folgt zu ermitteln:

$$M_{R,d} = W_{Sch} \cdot \frac{f_{y,b,k}}{1,25 \cdot \gamma_M} \quad (67)$$

mit  $W_{Sch}$  = Widerstandsmoment des Bolzenschaftes

Falls auf eine genauere Berechnung verzichtet wird, ist mit Bedingung (68) nachzuweisen, daß das vorhandene Biegemoment  $M$  das Grenzbiegemoment  $M_{R,d}$  nicht überschreitet.

$$\frac{M}{M_{R,d}} \leq 1 \quad (68)$$

Anmerkung: Ein auf der sicheren Seite liegendes Beispiel für die Ermittlung des Biegemomentes in einem Bolzen ist in Bild 27 dargestellt.

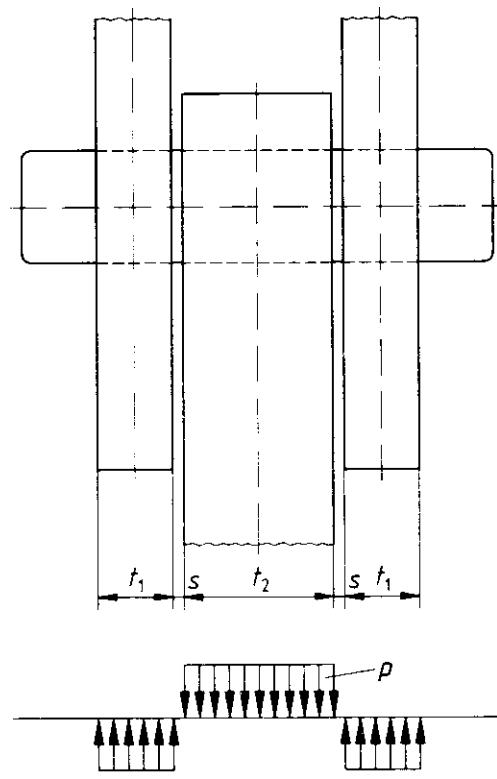


Bild 27. Ermittlung des Biegemomentes in einem Bolzen

#### (818) Biegung und Abscheren

Es ist nachzuweisen, daß in den maßgebenden Schnitten Bedingung (69) eingehalten ist.

$$\left( \frac{M}{M_{R,d}} \right)^2 + \left( \frac{V_a}{V_{a,R,d}} \right)^2 \leq 1 \quad (69)$$

Auf den Interaktionsnachweis darf verzichtet werden, wenn  $M/M_{R,d}$  oder  $V_a/V_{a,R,d}$  kleiner als 0,25 ist.

## 8.4 Verbindungen mit Schweißnähten

### 8.4.1 Verbindungen mit Lichtbogenschweißen

#### 8.4.1.1 Maße und Querschnittswerte

##### (819) Rechnerische Schweißnahtdicke $a$

Die rechnerische Schweißnahtdicke  $a$  für verschiedene Nahtarten ist Tabelle 19 zu entnehmen. Andere als die dort aufgeführten Nahtarten sind sinngemäß einzurichten.

##### (820) Rechnerische Schweißnahtlänge $l$

Die rechnerische Schweißnahtlänge  $l$  einer Naht ist ihre geometrische Länge. Für Kehlnähte ist sie die Länge der Wurzellinie. Kehlnähte dürfen beim Nachweis nur berücksichtigt werden, wenn  $l \geq 6,0 a$ , mindestens jedoch 30 mm, ist.

Anmerkung: Größte Nahtlänge siehe Element 823.

##### (821) Rechnerische Schweißnahtfläche $A_w$

Die rechnerische Schweißnahtfläche  $A_w$  ist

$$A_w = \sum a \cdot l \quad (70)$$

Beim Nachweis sind nur die Flächen derjenigen Schweißnähte anzusetzen, die aufgrund ihrer Lage vorzugsweise imstande sind, die vorhandenen Schnittgrößen in der Verbindung zu übertragen.

##### (822) Rechnerische Schweißnahtlage

Für Kehlnähte ist die Schweißnahtfläche konzentriert in der Wurzellinie anzunehmen.

##### (823) Unmittelbarer Stabanschluß

In unmittelbaren Laschen- und Stabanschlüssen darf als rechnerische Schweißnahtlänge  $l$  der einzelnen Flankenkehlnähte maximal 150  $a$  angesetzt werden.

Wenn die rechnerische Schweißnahtlänge nach Tabelle 20 bestimmt wird, dürfen die Momente aus den Außermittigkeiten des Schweißnahtschwerpunktes zur Stabachse unberücksichtigt bleiben. Das gilt auch dann, wenn andere als Winkelprofile angeschlossen werden.

Anmerkung 1: Mindestnahtlänge siehe Element 820.

Anmerkung 2: Bei kontinuierlicher Krafeinleitung über die Schweißnaht ist eine obere Begrenzung nicht erforderlich.

##### (824) Mittelbarer Anschluß

Bei zusammengesetzten Querschnitten ist auch die Schweißverbindung zwischen mittelbar und unmittelbar angeschlossenen Querschnittsteilen nachzuweisen.

Wenn Teile von Querschnitten im Anschlußbereich von Stäben zur Aufnahme von Schnittgrößen nicht erforderlich sind, brauchen deren Anschlüsse in der Regel nicht nachgewiesen zu werden.

Anmerkung: Ein Beispiel für eine Schweißverbindung zwischen dem unmittelbar (Flansch) und dem mittelbar angeschlossenen Querschnittsteil (Steg) ist in Bild 28 dargestellt. Diese Schweißverbindung wird in diesem Fall mittelbarer Anschluß genannt. Als rechnerische Nahtlänge des mittelbaren Anschlusses gilt die Nahtlänge  $l$  vom Beginn des unmittelbaren Anschlusses bis zum Ende des mittelbaren Anschlusses.

##### 8.4.1.2 Schweißnahtspannungen

##### (825) Nachweis für Stumpf- und Kehlnähte

Für Schweißnähte nach Tabelle 19 ist mit Bedingung (71) nachzuweisen, daß der Vergleichswert  $\sigma_{w,v}$  der vorhandenen Schweißnahtspannungen nach Bild 29 die Grenzschweißnahtspannung  $\sigma_{w,R,d}$  nicht überschreitet.

$$\frac{\sigma_{w,v}}{\sigma_{w,R,d}} \leq 1 \quad (71)$$

$$\text{mit } \sigma_{w,v} = \sqrt{\sigma_x^2 + \tau_x^2 + \tau_y^2} \quad (72)$$

und  $\sigma_{w,R,d}$  nach Abschnitt 8.4.1.3, Elemente 829 und 830.

Die Schweißnahtspannung  $\sigma_1$  in Richtung der Schweißnaht braucht nicht berücksichtigt zu werden.

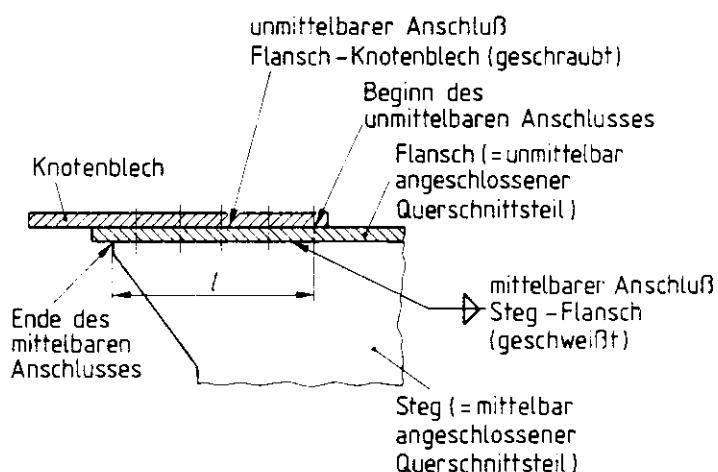
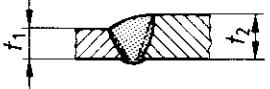
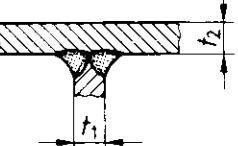
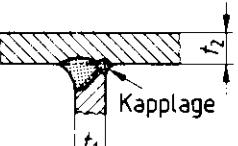
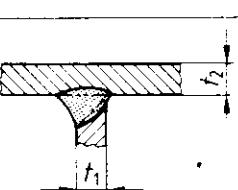
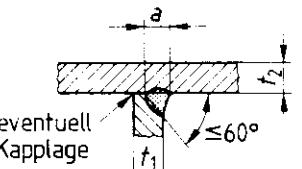
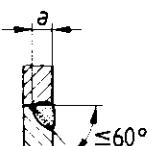
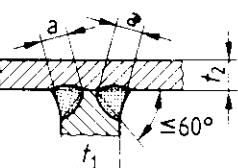
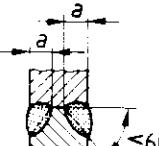
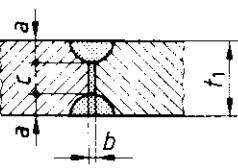


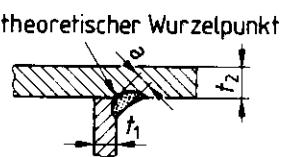
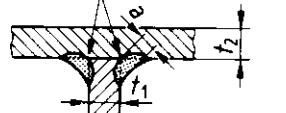
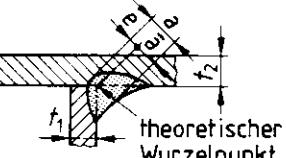
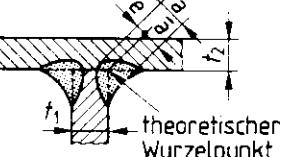
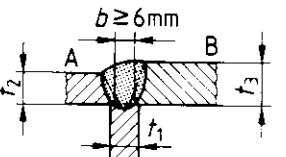
Bild 28. Mittelbarer Anschluß bei zusammengesetzten Querschnitten

Tabelle 19. Rechnerische Schweißnahtdicken a

	1 Nahtart <sup>1)</sup>	2 Bild	3 Rechnerische Nahtdicke a
1	Durch- oder gegenge- schweißte Nähte	Stumpfnaht	
2		D(oppel)HV-Naht (K-Naht)	
3		Kapplage gegenge- schweißt	
4		HV-Naht	
5		HY-Naht mit Kehl- naht <sup>2)</sup>	
6		HY-Naht <sup>2)</sup>	
7		D(oppel)HY-Naht mit Doppelkehlnaht <sup>2)</sup>	
8		D(oppel)HY-Naht <sup>2)</sup>	
9		Doppel I-Naht ohne Nahtvor- bereitung (Vollmech. Naht)	
Fußnoten siehe Seite 38			

## DIN 18 800 Teil 1

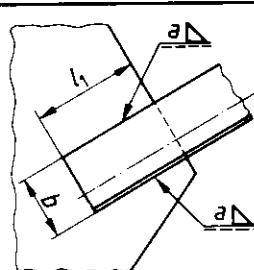
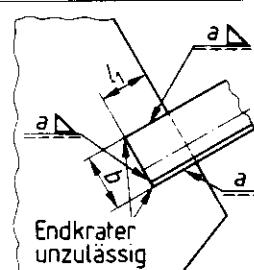
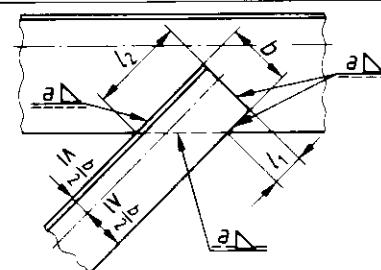
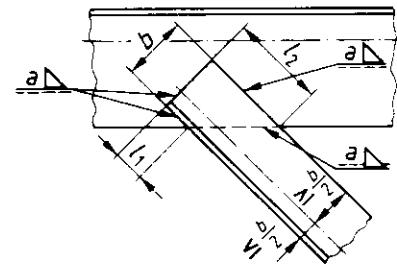
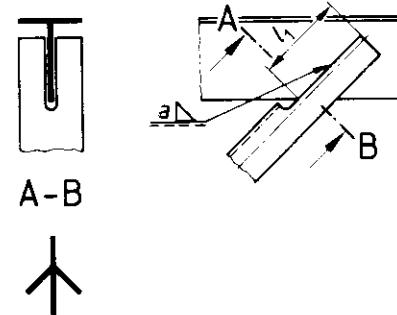
Tabelle 19. (Fortsetzung)

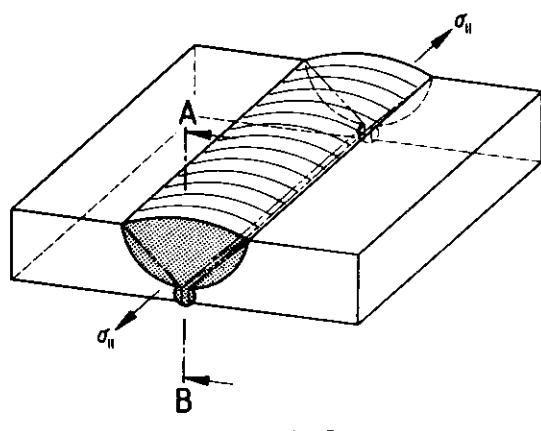
	1	2	3
			Rechnerische Nahtdicke a
Kehlnähte	10 Kehlnaht		<p>Nahtdicke ist gleich der bis zum theoretischen Wurzelpunkt gemessenen Höhe des einschreibbaren gleichschenkligen Dreiecks</p>
	11 Doppelkehlnaht		
	12 Kehlnaht mit tiefem Einbrand		$a = \bar{a} + e$ $\bar{a}$ : entspricht Nahtdicke a nach Zeile 10 und 11 e: mit Verfahrensprüfung festlegen (siehe DIN 18 800 Teil 7/05.83, Abschnitt 3.4.3.2 a)
	13 Doppelkehlnaht		
Dreiblechnaht Steifflankennaht	14		Von A nach B $a = t_2$ für $t_2 < t_3$
	15		Von C nach A und B $a = b$

<sup>1)</sup> Ausführung nach DIN 18 800 Teil 7/05.83, Abschnitt 3.4.3.

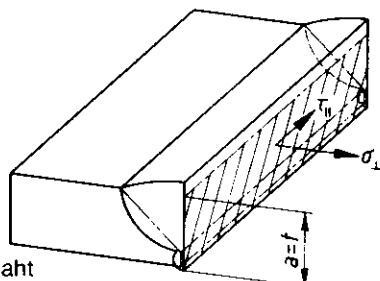
<sup>2)</sup> Bei Nähten nach Zeilen 5 bis 8 mit einem Öffnungswinkel  $< 45^\circ$  ist das rechnerische a-Maß um 2 mm zu vermindern oder durch eine Verfahrensprüfung festzulegen. Ausgenommen hiervon sind Nähte, die in Position w (Wannenposition) und h (Horizontalposition) mit Schutzgasschweißung ausgeführt werden.

Tabelle 20. Rechnerische Schweißnahtlängen  $\Sigma l$  bei unmittelbaren Stabanschlüssen

	1	2	3
	Nahtart	Bild	Rechnerische Nahtlänge $\Sigma l$
1	Flankenkehlnähte		$\Sigma l = 2 l_1$
2	Stirn- und Flankenkehlnähte		$\Sigma l = b + 2 l_1$
3	Ringsumlaufende Kehlnaht – Schwerachse näher zur längeren Naht		$\Sigma l = l_1 + l_2 + 2 b$
4	Ringsumlaufende Kehlnaht – Schwerachse näher zur kürzeren Naht		$\Sigma l = 2 l_1 + 2 b$
5	Kehlnaht oder HV-Naht bei geschlitztem Winkelprofil		$\Sigma l = 2 l_1$

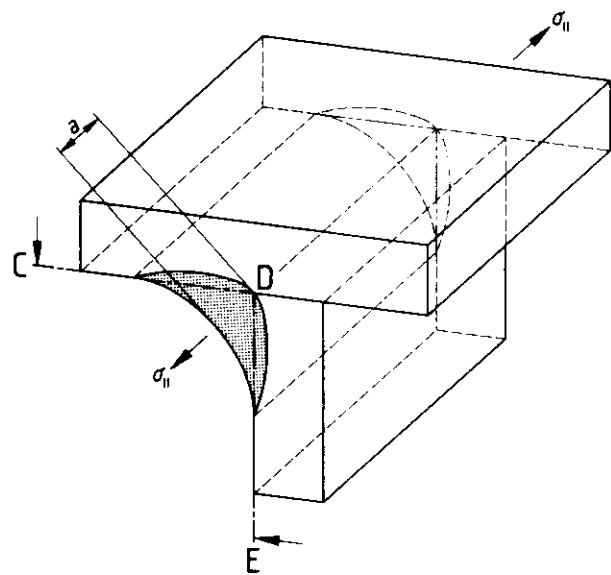


A-B

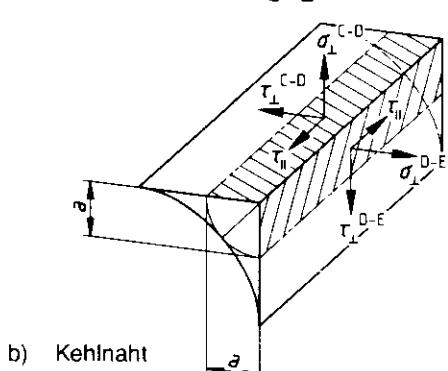


a) Stumpfnaht

Bild 29 a. Schweißnahtspannungen in Stumpfnähten



C-E



b) Kehlnaht

Bild 29 b. Schweißnahtspannungen in Kehlnähten

### (826) Schweißnahtschubspannungen bei Biegeträgern

Die Schweißnahtschubspannung  $\tau_1$  in Längsnähten von Biegeträgern ist nach Gleichung (73) zu berechnen.

$$\tau_1 = \frac{V \cdot S}{I \cdot \Sigma a} \quad (73)$$

Bei unterbrochenen Nähten nach Bild 30 ist sie mit dem Faktor  $(e + l)/l$  zu erhöhen.



Bild 30. Zur Berechnung von Schweißnahtschubspannungen  $\tau_1$  in unterbrochenen Längsnähten

Anmerkung: Regelungen für unterbrochene Nähte zur Verbindung gedrückter Bauteile enthalten DIN 18 800 Teil 2 und Teil 3.

### (827) Exzentrisch beanspruchte Nähte

Bei exzentrisch beanspruchten Nähten ist die Exzentrizität rechnerisch zu berücksichtigen, wenn die angeschlossenen Teile ungestützt sind.

### (828) Nichttragende Schweißnähte

Nähte, die – z.B. wegen erschwerter Zugänglichkeit – nicht einwandfrei ausgeführt werden können, dürfen bei der Berechnung nicht berücksichtigt werden.

#### 8.4.1.3 Grenzschweißnahtspannungen

##### (829) $\sigma_{w,R,d}$ für alle Nähte

Die Grenzschweißnahtspannung  $\sigma_{w,R,d}$  ist mit  $f_{y,k}$  nach Tabelle 1, Zeile 1, 3 oder 5 und  $\alpha_w$  nach Tabelle 21 mit Gleichung (74) zu ermitteln.

$$\sigma_{w,R,d} = \alpha_w \cdot f_{y,k} / \gamma_M \quad (74)$$

Für Schweißnähte in Bauteilen mit Erzeugnisdicken über 40 mm gilt hier jeweils als charakteristischer Wert der Streckgrenze  $f_{y,k}$  der Wert für Erzeugnisdicken bis 40 mm.

### (830) Stumpfstöße von Formstählen

Für Stumpfstöße von Formstählen aus St 37-2 und USt 37-2 mit einer Erzeugnisdicke  $t > 16$  mm ist bei Zugbeanspruchung die Grenzschweißnahtspannung nach Gleichung (75) zu ermitteln.

$$\sigma_{w,R,d} = 0,55 \cdot f_{y,k} / \gamma_M \quad (75)$$

#### 8.4.1.4 Sonderregelungen für Tragsicherheitsnachweise nach den Verfahren Elastisch-Plastisch und Plastisch-Plastisch

### (831) Nicht erlaubte Schweißnähte

Werden die Schnittgrößen nach dem Nachweisverfahren Elastisch-Plastisch mit Umlagerung von Momenten nach Abschnitt 7.5.3, Element 754, oder dem Nachweisverfahren Plastisch-Plastisch ermittelt, so dürfen die Schweißnähte nach Tabelle 19, Zeilen 5, 6, 10, 12 und 15, in Bereichen von Fließgelenken nicht verwendet werden, wenn sie durch Spannungen  $\sigma_L$  oder  $\tau_1$  beansprucht werden. Dies gilt auch für Nähte nach Zeile 4, wenn diese Nähte nicht prüfbar sind, es sei denn, daß durch eine entsprechende Überhöhung (Kehlnaht) das mögliche Defizit ausgeglichen ist.

Tabelle 21.  $\alpha_w$ -Werte für Grenzschweißnahtspannungen

	1	2	3	4	5
	Nähte nach Tabelle 19	Nahtgüte	Beanspruchungsart	St 37-2 USt 37-2, RSt 37-2	St 52-3 StE 355, WStE 355 TStE 355, EStE 355
1	Zeile 1 — 4	alle Nahtgüten	Druck	1,0 <sup>1)</sup>	1,0 <sup>1)</sup>
2		Nahtgüte nachgewiesen	Zug		
3		Nahtgüte nicht nachgewiesen	0,95	0,80	
4	Zeile 5 — 15	alle Nahtgüten	Druck, Zug		
5	Zeile 1 — 15		Schub		

<sup>1)</sup> Diese Nähte brauchen im allgemeinen rechnerisch nicht nachgewiesen zu werden, da der Bauteilwiderstand maßgebend ist.

### (832) Schweißnähte mit Nachweis der Nahtgüte

Werden die Schnittgrößen nach dem Nachweisverfahren Elastisch-Plastisch mit Umlagerung von Momenten nach Abschnitt 7.5.3, Element 754, oder dem Nachweisverfahren Plastisch-Plastisch ermittelt, so darf bei Schweißnähten nach Tabelle 19, Zeilen 1 bis 4, der Tragsicherheitsnachweis nach Abschnitt 7.5.4, Element 759, entfallen, sofern bei Zugbeanspruchung die Nahtgüte nachgewiesen wird.

### (833) Anschluß oder Querstoß von Walzträgern mit I-Querschnitt und I-Trägern mit ähnlichen Abmessungen

Der Anschluß oder Querstoß eines Walzträgers mit I-Querschnitt oder eines I-Trägers mit ähnlichen Abmessungen darf ohne weiteren Tragsicherheitsnachweis nach Bild 31 und Tabelle 22 ausgeführt werden.

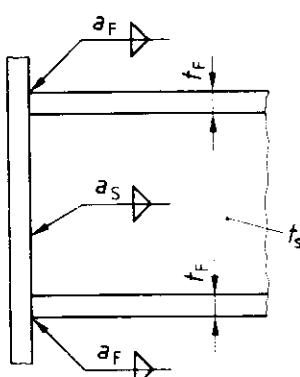


Bild 31. Trägeranschluß oder -querstoß ohne weiteren Tragsicherheitsnachweis

Für die Stahlauswahl ist Abschnitt 4.1, Element 403, zu beachten.

Anmerkung 1: Diese Regelung gilt für alle Nachweisverfahren nach Tabelle 11.

Anmerkung 2: Walzträger sind hier warmgewalzte Träger mit I-Querschnitt nach den Normen der Reihe DIN 1025; I-Träger mit ähnlichen Abmessungen

sind geschweißte Träger, die in ihrer Form und in ihren Abmessungen nur unwesentlich von den Walzträgern nach den Normen der Reihe DIN 1025 abweichen.

Tabelle 22. Nahtdicken beim Anschluß nach Bild 31

Werkstoff	Nahtdicken
St 37	$a_F \geq 0,5 t_F$ $a_S \geq 0,5 t_S$
St 52 StE 355	$a_F = 0,7 t_F$ $a_S = 0,7 t_S$

### 8.4.2 Andere Schweißverfahren

#### (834) Widerstandsabbrennstumpfschweißen, Reibschweißen

Bei Anwendung des Widerstandsabbrennstumpfschweißens oder des Reibschweißens ist ein Gutachten einer anerkannten Stelle<sup>2)</sup> vorzulegen. Darin ist die Beanspruchbarkeit der Schweißverbindung anzugeben.

#### (835) Bolzenschweißen

Für Kopf- und Gewindegelenken, die durch Stumpfschweißen mit Stahlbauteilen verbunden sind, gelten die Grenzspannungen nach den Gleichungen (76) und (77) sowohl für die Schweißnaht als auch für den Bolzen.

$$\sigma_{b,R,d} = f_{y,b,k} / \gamma_M \quad (76)$$

$$\tau_{b,R,d} = 0,7 f_{y,b,k} / \gamma_M \quad (77)$$

mit  $f_{y,b,k}$  nach Tabelle 4.

Die Bezugsfläche ist bei Kopfbolzen der Schaftquerschnitt und bei Gewindegelenken der Spannungsquerschnitt.

<sup>2)</sup> Anerkannte Stellen siehe z.B. Mitteilungen des Instituts für Bautechnik, 1987, Heft 1, Seite 19.

## 8.5 Zusammenwirken verschiedener Verbindungsmitte

(836) Werden verschiedene Verbindungsmitte in einem Anschluß oder Stoß verwendet, ist auf die Verträglichkeit der Formänderungen zu achten.

Gemeinsame Kraftübertragung darf angenommen werden bei

- Nieten und Paßschrauben oder
- GVP-Verbindungen und Schweißnähten oder
- Schweißnähten in einem oder in beiden Gurten und Niete oder Paßschrauben in allen übrigen Querschnittsteilen bei vorwiegender Beanspruchung durch Biegemomente  $M_y$

Die Grenzschnittgrößen ergeben sich in diesen Fällen durch Addition der Grenzschnittgrößen der einzelnen Verbindungsmitte.

SL- und SLV-Verbindungen dürfen nicht mit SLP-, SLVP-, GVP- und Schweißnahtverbindungen zur gemeinsamen Kraftübertragung herangezogen werden.

## 8.6 Druckübertragung durch Kontakt

(837) Druckkräfte normal zur Kontaktfuge dürfen vollständig durch Kontakt übertragen werden, wenn seitliches Ausweichen der Bauteile am Kontaktstoß ausgeschlossen ist.

Die Grenzdruckspannungen in der Kontaktfuge sind gleich denen des Werkstoffes der gestoßenen Bauteile.

Beim Nachweis der zu stoßenden Bauteile müssen Verformungen, Toleranzen und eventuelles Bilden einer klapfenden Fuge berücksichtigt werden.

Die ausreichende Sicherung der gegenseitigen Lage der Bauteile ist nachzuweisen. Dabei dürfen Reibungskräfte nicht berücksichtigt werden.

Anmerkung 1: Verformungen können hierbei Vorverformungen, elastische Verformungen und lokale plastische Verformungen sein.

Anmerkung 2: Toleranzen können einen Versatz in der Schwerlinie von Querschnittsteilen bewirken.

Anmerkung 3: Hinweise können der Literatur entnommen werden, z.B. [2] und [3].

## 9 Beanspruchbarkeit hochfester Zugglieder beim Nachweis der Tragsicherheit

### 9.1 Allgemeines

(901) Beanspruchbarkeiten von Zuggliedern, Verankerungen, Umlenklagern, Klemmen und Scheiben sind durch Versuche zu ermitteln, wenn im folgenden keine anderen Regeln gegeben sind.

Die Prüfkörper müssen mit der Ausführung im Bauwerk übereinstimmen.

Anmerkung: Auch scheinbar geringe konstruktive Unterschiede können die Beanspruchbarkeit nachhaltig beeinflussen.

### 9.2 Hochfeste Zugglieder und ihre Verankerungen

#### 9.2.1 Tragsicherheitsnachweise

(902) Es ist mit Bedingung (78) nachzuweisen, daß die vorhandene Zugkraft  $Z$  die Grenzzugkraft  $Z_{R,d}$  nicht überschreitet.

$$\frac{Z}{Z_{R,d}} \leq 1 \quad (78)$$

#### 9.2.2 Beanspruchbarkeit von hochfesten Zuggliedern

##### (903) Grenzzugkraft

Die Grenzzugkraft hochfester Zugglieder ist mit Gleichung (79) zu ermitteln.

$$Z_{R,d} = \min \begin{cases} Z_{B,k} / (1,5 \gamma_M) \\ Z_{D,k} / (1,0 \gamma_M) \end{cases} \quad (79)$$

mit

$Z_{B,k}$  Bruchkraft nach Element 904 oder 905

$Z_{D,k}$  Dehnkraft nach Element 906

Anmerkung: Bei hochfesten Zuggliedern wird im allgemeinen gegenüber der Bruchkraft  $Z_{B,k}$  abgesichert. Bei Seilen kann aber auch der Nachweis gegen Fließen maßgebend werden.

#### (904) Durch Versuch bestimmte Bruchkraft

Wird die Bruchkraft von hochfesten Zuggliedern durch Versuche bestimmt (wirkliche Bruchkraft), ist eine ausreichende Zahl von Eignungs- oder Überwachungsversuchen zwischen den am Bau Beteiligten zu vereinbaren. Die Versuche sind von oder unter Aufsicht einer anerkannten Prüfstelle durchzuführen oder zu überwachen und zu bescheinigen. Die Probestücke müssen derjenigen Lieferung entnommen werden, die für das Bauwerk, für das der Nachweis erbracht wird, bestimmt ist. Sie müssen mindestens an einem Ende mit der für das Bauwerk vorgesehenen Verankerung und Lagerung versehen sein.

Bei Eignungsversuchen ist als charakteristischer Wert der wirklichen Bruchkraft vers  $Z_{B,k}$  die 5%-Fraktile der Versuchswerte zu verwenden.

Bei Überwachungsversuchen muß mindestens die durch Rechnung ermittelte Bruchkraft nach Element 905 erreicht werden.

Anmerkung: Der Versuchswert vers  $Z_{B,k}$  wird in DIN 3051 Teil 3 wirkliche Bruchkraft genannt. Bei der Ermittlung der 5%-Fraktile dürfen Vorinformationen zwecks Reduzierung des Versuchsumfangs benutzt werden (vergleiche z.B. [9]).

#### (905) Durch Rechnung ermittelte Bruchkraft

Die Bruchkraft hochfester Zugglieder darf nach Gleichung (80) ermittelt werden, wenn

- die Ausführung des Zuggliedes mit seiner Endausbildung den einschlägigen DIN-Normen entspricht und die rechnerischen Bruchkräfte cal  $Z_{B,k}$  daraus entnommen werden können oder
- Versuchsergebnisse für eine vergleichbare Ausführung mit etwa gleichen Abmessungen bereits vorliegen.

$$\text{cal } Z_{B,k} = A_m \cdot f_{u,k} \cdot k_s \cdot k_e \quad (80)$$

mit

$A_m$  metallischer Querschnitt

$f_{u,k}$  charakteristischer Wert der Zugfestigkeit der Drähte bzw. Spanndrähte oder Spannstäbe

$k_s$  Verseilfaktor nach Tabelle 23

$k_e$  Verlustfaktor nach Tabelle 24

Tabelle 23. **Verseilfaktoren  $k_s$** 

	1	2	3	4
			Verseilfaktor $k_s$	
			Anzahl der um den Kerndraht angeordneten Drahtlagen	
		1	2	$\geq 3$
1	Offene Spiralseile		0,90	0,88
2	Vollverschlossene Spiralseile		—	0,95
3	Rundlitzenseile mit Stahleinlage			
	Höchstseil-durchmesser in mm	Anzahl der Außenlizen	Drahtanzahl je Außenlitz	
	7	6	6 bis 8	0,84
	8	8	6 bis 8	0,78
	17	6	15 bis 26	0,80
	19	8	15 bis 26	0,75
	23	6	27 bis 49	0,77
	30	8	27 bis 49	0,73
	25	6	50 bis 75	0,72
	32	8	50 bis 75	0,70
4	Zugglieder aus Spannstählen		1,00	

Tabelle 24. **Verlustfaktor  $k_e$** 

	1	2	3
	Art der Verankerung	nach Norm	Verlustfaktor $k_e$
1	Metallischer Verguß	DIN 3092 Teil 1	1,00
2	Kunststoff oder Kugel-Epoxidharz-Verguß	— *)	1,00
3	Flämische Augen mit Stahlpreßklemmen	DIN 3095 Teil 2	1,00
4	Preßklemme aus Aluminium-Knetlegierungen	DIN 3093 Teil 2	0,90
5	Drahtseilklemme	DIN 1142	0,85
Für hier nicht aufgeführte Verankerungen sind die Werte $k_e$ durch Versuche zu ermitteln.			
*) Siehe Abschnitt 4.3.2, Element 418.			

Anmerkung 1: Einschlägige DIN-Normen sind z.B. die Normen der Reihe DIN 3051 und DIN 83313.

Anmerkung 2: Der metallische Querschnitt  $A_m$  ist die Summe der Querschnitte aller Drähte bzw. Spanndrähte oder Spannstäbe.

$$A_m = f \frac{d^2 \cdot \pi}{4} \quad (81)$$

Hierin ist  $d$  der Nenndurchmesser des umschreibenden Kreises und der Füllfaktor  $f$  das Verhältnis des metallischen Querschnittes zum Flächeninhalt des umschreibenden Kreises, siehe Tabelle 10.

Anmerkung 3: Der charakteristische Wert der Zugfestigkeit der Drähte wird in den einschlägigen Seilenormen auch als Nennfestigkeit bezeichnet.

Anmerkung 4: Der Verseilfaktor  $k_s$  berücksichtigt den Einfluß des Verseilens auf die Bruchkraft ohne den Einfluß der Verankerung.

Anmerkung 5: Der Verlustfaktor  $k_e$  berücksichtigt den Einfluß der Verankerung auf die Bruchkraft.

#### (906) Dehnkraft von Seilen

Die Dehnkraft (0,2%-Dehngrenze) von Seilen ist durch Versuche unter Beachtung der Belastungsgeschichte und des eventuellen Vorreckens zu bestimmen. Als charakteristischer Wert vers  $Z_{D,k}$  der Dehnkraft ist die 5%-Fraktile der Versuchswerte vers  $Z_D$  zu verwenden.

Abschnitt 4.3.5, Element 426, ist zu beachten.

Anmerkung: Die Dehnkraft ist kein Maß für die Sicherheit des Seiles selbst. Die Forderung ausreichender Sicherheit gegen die 0,2%-Dehngrenze bedeutet lediglich, daß sich das Seil auch unter — kurzzeitig wirkend gedachter —  $\gamma_F$ -facher Belastung elastisch verhält und sich somit keine Lastumlagerung auf andere Bauteile ergibt. Bei vollverschlossenen Spiralseilen ist die Dehnkraft  $\geq 0,66 \cdot$  Bruchkraft und deshalb für den Nachweis nicht maßgebend.

### 9.2.3 Beanspruchbarkeit von Verankerungsköpfen

#### (907) Allgemeines

Die Beanspruchbarkeit von Verankerungsköpfen ist durch Versuch oder Berechnung zu bestimmen.

#### (908) Berechnung der Grenzfließkraft

Bei der Berechnung der Grenzfließkraft sind Verankerungsköpfe als dickwandige Rohre mit Innendruck anzunehmen. Es ist mit den Bedingungen (82) und (83) nachzuweisen, daß die vorhandene Längsspannung  $\sigma_l$  und die vorhandene Ringzugspannung  $\sigma_{r,i}$  die Grenzspannung  $\sigma_{R,d}$  nach Gleichung (84) nicht überschreiten.

$$\frac{\sigma_l}{\sigma_{R,d}} \leq 1 \quad (82)$$

$$\frac{\sigma_{r,i}}{\sigma_{R,d}} \leq 1 \quad (83)$$

$$\sigma_{R,d} = f_y \cdot k / \gamma_M \quad (84)$$

Vereinfachend darf für zylindrische Verankerungsköpfe, die auf der Austrittsfläche ringförmig und zentrisch gelagert sind, angenommen werden, daß

— die größte Längsspannung

$$\sigma_l = \frac{1,5 Z}{A} \quad (85)$$

ist,

— die Ringzugkraft

$$P_r = \frac{Z}{2 \pi \cdot \tan(\varrho + \alpha)} \quad (86)$$

ist und sich entsprechend Bild 32 über die Länge des Verankerungskopfes verteilt und

— die größte Ringzugspannung auf der Innenseite des Verankerungskopfes

$$\sigma_{r,i} = 1,5 \frac{\max p_r}{(d_a - d_i)/2} \quad (87)$$

ist.

Hierin bedeuten:

**Z** vorhandene Zugkraft

**A** Aufstandfläche des Verankerungskopfes

**$\alpha$**  Neigungswinkel des Verankerungskonus (siehe Bild 10)

**$l$**  Hülsenlänge (siehe Bild 10)

**$\varrho$**  Wandreibungswinkel. Für Kugel-Epoxidharzverguß ist  $\varrho = 22^\circ$ , und für Metallvergüsse mit Legierung Z 610 ist  $\varrho = 17^\circ$  zu setzen

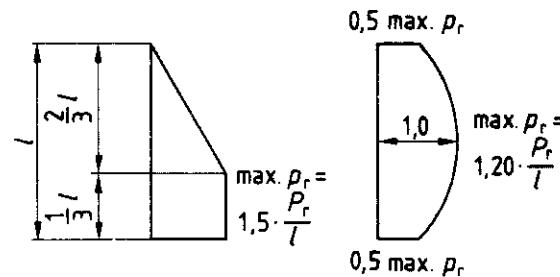
**$d_a, d_i$**  Außen- bzw. Innendurchmesser des Verankerungskopfes

$$\max p_r = 1,2 \frac{P_r}{l} \text{ für Kugel-Epoxidharzverguß}$$

$$\max p_r = 1,5 \frac{P_r}{l} \text{ für Metallverguß}$$

Anmerkung 1: Die angegebenen Gleichungen und die Zahlenwerte für den Wandreibungswinkel beruhen auf der Auswertung zahlreicher Zerreißversuche.

Anmerkung 2: Der Faktor 1,5 bei der Ermittlung der Längsspannung  $\sigma_l$  berücksichtigt das Einspannmoment infolge Innendruck.



Metallverguß

Kugel-Epoxidharzverguß

Bild 32. Verteilung der Ringzugkraft über die Länge des Verankerungskopfes

Anmerkung 3: Der Faktor 1,5 bei der Ermittlung der Ringzugspannung  $\sigma_{r,i}$  berücksichtigt die ungleichförmige Spannungsverteilung über die Wanddicke.

### 9.3 Umlenklager, Klemmen und Schellen

#### 9.3.1 Grenzquerpressung und Teilsicherheitsbeiwert

##### (909) Nachweis

Es ist mit Bedingung (88) nachzuweisen, daß die vorhandene mittlere Querpressung  $q$  aus Klemmen- oder Schellendruck die Grenzquerpressung  $q_{R,d}$  nicht überschreitet.

$$\frac{q}{q_{R,d}} \leq 1 \quad (88)$$

mit

$$q = D/d' \quad (89)$$

**D** Klemmen- oder Schellendruck (Kraft je Längeneinheit)

**$d'$**  Auflagerungsbreite nach Bild 11;  $0,6 d \leq d' \leq d$

**d** Seildurchmesser

Anmerkung: Bei der Berechnung der Querpressung braucht der Umlenkrädruck nicht berücksichtigt zu werden, da dieser über die Begrenzung des Umlenkradius nach Abschnitt 5.3.3, Element 528, begrenzt ist.

#### (910) Grenzquerpressung

Die Grenzquerpressung  $q_{R,d}$  von vollverschlossenen Sparsäulen ist für

— Lagerung auf Stahl

$$q_{R,d} = \frac{40}{\gamma_M} \text{ N/mm}^2 \quad (90)$$

— Lagerung auf Weichmetalleinlage oder Spritzverzinkung mit einer Dicke von mindestens 1 mm

$$q_{R,d} = \frac{100}{\gamma_M} \text{ N/mm}^2 \quad (91)$$

— den Runddrahtkern

$$q_{R,d} = \frac{200}{\gamma_M} \text{ N/mm}^2 \quad (92)$$

Für andere hochfeste Zugglieder ist die Grenzquerpressung durch Versuche zu bestimmen.

Anmerkung: Bei der angegebenen Grenzquerpressung ist die Bruchlast des Seils auf dem Umlenklager gegenüber der Bruchlast des freien Seiles ohne Querpressung um nicht mehr als 3% abgemindert.

### 9.3.2 Gleiten

#### (911) Nachweis

Für das Gleiten von hochfesten Zuggliedern auf Sattellagern sowie von Klemmen und Schellen auf hochfesten Zuggliedern ist mit Bedingung (93) nachzuweisen, daß die vorhandene Gleitkraft  $G$  die Grenzgleitkraft  $G_{R,d}$  nicht überschreitet.

$$\frac{G}{G_{R,d}} \leq 1 \quad (93)$$

#### (912) Grenzgleitkraft von Seilen

Die Grenzgleitkraft  $G_{R,d}$  von Seilen auf Sattellagern und von Klemmen und Schellen auf Seilen ist

$$G_{R,d} = \mu (U \cdot \alpha_u + K \cdot \alpha_k) / \gamma_M \quad (94)$$

mit

$U$  Summe der Umlenkkräfte

$K$  Summe der Klemmkräfte

$\alpha_u$  Umlenkkraftbeiwert

$\alpha_k$  Klemmkraftbeiwert

$\mu$  Reibungszahl nach Abschnitt 4.3.5, Element 429

Der Abbau der Klemmkräfte durch elastische und plastische Seileinschnürung ist zu berücksichtigen. Die Dicke der Klemmen und Schellen im Scheitelpunkt ist so zu begrenzen, daß dieser Abbau möglichst gering ist.

Bei der Berechnung der Grenzgleitkraft ist

$\gamma_M = 1,65$  für Gleiten auf Sattellagern

$\gamma_M = 1,1$  für Gleiten von Klemmen und Schellen

zu setzen.

Anmerkung: Die Beiwerte  $\alpha_u$  und  $\alpha_k$  berücksichtigen, daß durch die entsprechende Formgebung der Sattellager, Klemmen und Schellen die Umlenkbzw. Klemmkräfte mehrfach aktiviert werden können.

#### (913) Grenzgleitkraft für andere hochfeste Zugglieder

Die Grenzgleitkraft für andere hochfeste Zugglieder ist durch Versuche zu bestimmen.

## Anhang A

Dieser Anhang enthält Regelungen, die ihrem Sachinhalt entsprechend eigentlich anderen Normen zuzuordnen sind. Sie können, sobald sie dort enthalten und damit zitierfähig sind, hier entfallen.

### Sonderregelung für die Stahlsorte St 52-3

**A1** — Für Erzeugnisse aus Stahlsorte St 52-3 sind bei Einhaltung der Festlegungen in DIN 17100/01.80, Abschnitt 8.3.1, für die Elemente C, Si, Mn, P, S, Al, B, Cr, Cu, Mo, Ni, Nb, Ti und V die Gehalte der chemischen Zusammensetzung nach der Schmelzenanalyse zu prüfen und bekanntzugeben (siehe Element 404). An Stelle der Angabe der tatsächlichen Gehalte der Elemente Nb, Ti und V genügen auch Prüfung und Bestätigung, daß in der Schmelzenanalyse folgende Höchstwerte eingehalten werden:

Nb: 0,02%

Ti: 0,02%

V: 0,03%.

**Stähle in den Grenzen der chemischen Zusammensetzung und in Übereinstimmung mit allen weiteren Festlegungen für die Stahlsorte St 52-3 nach DIN 17100 mit Höchstgehalten an Niob von 0,05%, an Titan von 0,05% und an Vanadin von 0,10% dürfen verwendet werden, wenn der Kohlenstoffgehalt für Nenndicken bis 30 mm 0,18% nicht überschreitet. Die Begrenzung des Kohlenstoffgehaltes gilt, wenn auch nur eines der genannten Elemente den unteren Grenzwert überschreitet.**

Bei geschweißten Bauteilen müssen für Erzeugnisse aus der Stahlsorte St 52-3 im Abnahmeprüfzeugnis Angaben zu den oben aufgeführten Elementen enthalten sein.

Anmerkung: DIN 17100 wird überarbeitet und künftig diese Regelung für den St 52-3 ersetzen.

### Bescheinigungen

**A2** — Für Deckenträger, Pfetten und Unterzüge, die nach DIN 18801/06.83, Abschnitt 6.1.2.3 bemessen werden, ist ein Werkszeugnis ausreichend.

Anmerkung: Element A2 soll in DIN 18801 übernommen werden; erst wenn es dort enthalten ist, kann es hier entfallen.

### Kennzeichnung der Erzeugnisse

**A3** — Die zu verwendenden Stahlerzeugnisse müssen gegen Verwechslung gekennzeichnet sein. Vor der Trennung ist die Kennzeichnung auf die Einzelteile zu übertragen.

Anmerkung: Element A3 soll in DIN 18800 Teil 7 übernommen werden; erst wenn es dort enthalten ist, kann es hier entfallen.

### Verankerung von hochfesten Zuggliedern

**A4** — Bis zur Fertigstellung von DIN 3092 Teil 2 sind bei Kugel-Exoxidharz-Verguß Stahlkugeln mit einem Durchmesser von 1 bis 2 mm und einer mittleren HV1 = 3500 N/mm<sup>2</sup> sowie Epoxidharz mit einer Aushärttemperatur von ca 100° zu verwenden.

Anmerkung: Der Kugel-Exoxidharz-Verguß besteht aus

- harten Stahlkugelchen als Traggerüst.
- Epoxidharz als Bindemittel und
- Füllern, z.B. Zinkstaub.

### Einwirkungen

**A5** — Die kombinierten Einwirkungen Schnee und Wind

$$\left| s + \frac{w}{2} \right| \text{ und } \left| w + \frac{s}{2} \right|$$

im Sinn von DIN 1055 Teil 5/06.75, Abschnitt 5, gelten als **eine** veränderliche Einwirkung.

Anmerkung: Element A5 ist eine Behelfsregelung, da noch keine korrekten Kombinationsbeiwerte für diesen Lastfall vorhanden sind.

## Ausführungen

**A6** — Sollen Berührungsflächen von Stahlteilen untereinander sowie mit anderen Baustoffen ungeschützt bleiben, sind die Spalten gegen das Eindringen von Feuchtigkeit abzusichern.

Anmerkung: Element A6 soll in DIN 18800 Teil 7 übernommen werden; erst wenn es dort enthalten ist, kann es hier entfallen.

Befund muß die Freiheit von Rissen, Binde- und Wurzelfehlern und Einschlüssen, ausgenommen vereinzelte und unbedeutende Schlackeneinschlüsse und Poren, mit einer Dokumentation nachgewiesen sein.

Anmerkung: Element A7 soll in DIN 18800 Teil 7 übernommen werden; erst wenn es dort enthalten ist, kann es hier entfallen.

## Nachweis der Nahtgüte

**A7** — Der Nachweis der Nahtgüte gilt als erbracht, wenn bei der Durchstrahlungs- oder Ultraschalluntersuchung von mindestens 10 % der Nähte ein einwandfreier Befund festgestellt wird. Dabei ist die Arbeit aller beteiligter Schweißer gleichmäßig zu erfassen. Beim einwandfreien

## Fertigungsbeschichtungen

**A8** — Beim Überschweißen von Fertigungsbeschichtungen ist die DAST-Richtlinie 006 — „Überschweißen von Fertigungsbeschichtungen (FB) im Stahlbau“ zu beachten.

Anmerkung: Element A8 soll in DIN 18800 Teil 7 übernommen werden; erst wenn es dort enthalten ist, kann es hier entfallen.

## Zitierte Normen und andere Unterlagen

DIN 124	Halbrundniete, Nenndurchmesser 10 bis 36 mm
DIN 267 Teil 9	Mechanische Verbindungselemente; Technische Lieferbedingungen; Teile mit galvanischen Überzügen
DIN 302	Senkniete, Nenndurchmesser 10 bis 36 mm
DIN 434	Scheiben, vierkant, keilförmig für U-Träger
DIN 435	Scheiben, vierkant, keilförmig für I-Träger
DIN 555	Sechskantmuttern; Gewinde M 5 bis M 100 × 6; Produktklasse C
DIN 779	Formstahldrähte für vollverschlossene Spiralseile; Maße und Technische Lieferbedingungen
DIN 1025 Teil 1	Formstahl; Warmgewalzte I-Träger; Schmale I-Träger, I-Reihe, Maße, Gewichte, zulässige Abweichungen, statische Werte
DIN 1025 Teil 2	Formstahl; Warmgewalzte I-Träger; Breite I-Träger, IPB- und IB-Reihe, Maße, Gewichte, zulässige Abweichungen, statische Werte
DIN 1025 Teil 3	Formstahl; Warmgewalzte I-Träger; Breite I-Träger, leichte Ausführung, IPBI-Reihe, Maße, Gewichte, zulässige Abweichungen, statische Werte
DIN 1025 Teil 4	Formstahl; Warmgewalzte I-Träger; Breite I-Träger, verstärkte Ausführung, IPBv-Reihe, Maße, Gewichte, zulässige Abweichungen, statische Werte
DIN 1025 Teil 5	Formstahl; Warmgewalzte I-Träger; Mittelbreite I-Träger, IPE-Reihe, Maße, Gewichte, zulässige Abweichungen, statische Werte
DIN 1045	Beton und Stahlbeton; Bemessung und Ausführung
DIN 1055 Teil 3	Lastannahmen für Bauten; Verkehrslasten
DIN 1055 Teil 5	Lastannahmen für Bauten; Verkehrslasten, Schneelast und Eislast
DIN 1142	Drahtseilklemmen für Seil-Endverbindungen bei sicherheitstechnischen Anforderungen
DIN 1164 Teil 2	Portland-, Eisenportland-, Hochofen- und Traßzement; Überwachung (Güteüberwachung)
DIN 1681	Stahlguß für allgemeine Verwendungszwecke; Technische Lieferbedingungen
DIN 1690 Teil 1	Technische Lieferbedingungen für Gußstücke aus metallischen Werkstoffen; Allgemeine Bedingungen
DIN 1690 Teil 2	Technische Lieferbedingungen für Gußstücke aus metallischen Werkstoffen; Stahlgußstücke; Einteilung nach Gütestufen aufgrund zerstörungsfreier Prüfungen
DIN 3051 Teil 1	Drahtseile aus Stahldrähten; Grundlagen; Übersicht
DIN 3051 Teil 2	Drahtseile aus Stahldrähten; Grundlagen; Seilarten, Begriffe
DIN 3051 Teil 3	Drahtseile aus Stahldrähten; Grundlagen; Berechnung, Faktoren
DIN 3051 Teil 4	Drahtseile aus Stahldrähten; Grundlagen; Technische Lieferbedingungen
DIN 3090	Kauschen; Formstahlkauschen für Drahtseile
DIN 3091	Kauschen; Vollkauschen für Drahtseile
DIN 3092 Teil 1	Drahtseil-Vergüsse in Seihülsen; Metallische Vergüsse; Sicherheitstechnische Anforderungen und Prüfung
DIN 3093 Teil 1	Preßklemmen aus Aluminium-Knetlegierungen; Rohlinge aus Flachovalrohren mit gleichbleibender Wanddicke, Technische Lieferbedingungen
DIN 3093 Teil 2	Preßklemmen aus Aluminium-Knetlegierungen; Preßverbindungen; Sicherheitstechnische Anforderungen
DIN 3095 Teil 1	Flämische Augen mit Stahlpreßklemmen; Stahlpreßklemmen; Sicherheitstechnische Anforderungen, Prüfung
DIN 3095 Teil 2	Flämische Augen mit Stahlpreßklemmen; Formen, Sicherheitstechnische Anforderungen, Prüfung

DIN 4141 Teil 1	Lager im Bauwesen; Allgemeine Regelungen
DIN 6914	Sechskantschrauben mit großen Schlüsselweiten, HV-Schrauben in Stahlkonstruktionen
DIN 6915	Sechskantmuttern mit großen Schlüsselweiten, für Verbindungen mit HV-Schrauben in Stahlkonstruktionen
DIN 6916	Scheiben, rund, für HV-Schrauben in Stahlkonstruktionen
DIN 6917	Scheiben, vierkant, keilförmig, für HV-Schrauben an I-Profilen in Stahlkonstruktionen
DIN 6918	Scheiben, vierkant, keilförmig, für HV-Schrauben an U-Profilen in Stahlkonstruktionen
DIN 7968	Sechskant-Paßschrauben, ohne Mutter oder mit Sechskantmutter für Stahlkonstruktionen
DIN 7969	Senkschrauben mit Schlitz, ohne Mutter oder mit Sechskantmutter, für Stahlkonstruktionen
DIN 7989	Scheiben für Stahlkonstruktionen
DIN 7990	Sechskantschrauben mit Sechskantmuttern für Stahlkonstruktionen
DIN 7999	Sechskant-Paßschrauben, hochfest, mit großen Schlüsselweiten für Stahlkonstruktionen
DIN 17100	Allgemeine Baustähle; Gütenorm
DIN 17102	Schweißgeeignete Feinkornbaustähle, normalgeglüht; Technische Lieferbedingungen für Blech, Band, Breitflach-, Form- und Stabstahl
DIN 17103	Schmiedestücke aus schweißgeeigneten Feinkornbaustählen; Technische Lieferbedingungen
DIN 17111	Kohlenstoffarme unlegierte Stähle für Schrauben, Muttern und Niete; Technische Lieferbedingungen
DIN 17119	Kaltgefertigte geschweißte quadratische und rechteckige Stahlrohre (Hohlprofile) für den Stahlbau; Technische Lieferbedingungen
DIN 17120	Geschweißte kreisförmige Rohre aus allgemeinen Baustählen für den Stahlbau; Technische Lieferbedingungen
DIN 17121	Nahtlose kreisförmige Rohre aus allgemeinen Baustählen für den Stahlbau; Technische Lieferbedingungen
DIN 17123	Geschweißte kreisförmige Rohre aus Feinkornbaustählen für den Stahlbau; Technische Lieferbedingungen
DIN 17124	Nahtlose kreisförmige Rohre aus Feinkornbaustählen für den Stahlbau; Technische Lieferbedingungen
DIN 17125	Quadratische und rechteckige Rohre (Hohlprofile) aus Feinkornbaustählen für den Stahlbau; Technische Lieferbedingungen
DIN 17140 Teil 1	Walzdraht zum Kaltziehen; Technische Lieferbedingungen für Grundstahl und unlegierte Qualitätsstähle
DIN 17182	Stahlgußsorten mit verbesserter Schweißeignung und Zähigkeit für allgemeine Verwendungszwecke
DIN 17200	Vergütungsstähle; Technische Lieferbedingungen
DIN 17440	Nichtrostende Stähle, Technische Lieferbedingungen für Blech, Warmband, Walzdraht, gezogenen Draht, Stabstahl, Schmiedestücke und Halbzeug
DIN 18800 Teil 2	Stahlbauten; Stabilitätsfälle, Knicken von Stäben und Stabwerken
DIN 18800 Teil 3	Stahlbauten; Stabilitätsfälle, Plattenbeulen
DIN 18800 Teil 4	Stahlbauten; Stabilitätsfälle, Schalenbeulen
DIN 18800 Teil 6	(z.Z. Entwurf) Stahlbauten: Bemessung und Konstruktion bei häufig wiederholten Beanspruchungen
DIN 18800 Teil 7	Stahlbauten; Herstellen, Eignungsnachweise zum Schweißen
DIN 18801	Stahlhochbau: Bemessung, Konstruktion, Herstellung
DIN 32500 Teil 1	Bolzen für Bolzenschweißen mit Hubzündung; Gewindegelenkbolzen
DIN 32500 Teil 3	Bolzen für Bolzenschweißen mit Hubzündung; Betonanker und Kopfbolzen
DIN 50049	Bescheinigungen über Materialprüfungen
DIN 55928 Teil 1	Korrosionsschutz von Stahlbauten durch Beschichtungen und Überzüge; Allgemeines
DIN 55928 Teil 2	Korrosionsschutz von Stahlbauten durch Beschichtungen und Überzüge; Korrosionsgerechte Gestaltung
DIN 55928 Teil 3	Korrosionsschutz von Stahlbauten durch Beschichtungen und Überzüge; Planung der Korrosionsschutzarbeiten
DIN 55928 Teil 4	Korrosionsschutz von Stahlbauten durch Beschichtungen und Überzüge; Vorbereitung und Prüfung der Oberflächen
DIN 55928 Teil 5	Korrosionsschutz von Stahlbauten durch Beschichtungen und Überzüge; Beschichtungsstoffe und Schutzsysteme
DIN 55928 Teil 6	Korrosionsschutz von Stahlbauten durch Beschichtungen und Überzüge; Ausführung und Überwachung der Korrosionsschutzarbeiten
DIN 55928 Teil 7	Korrosionsschutz von Stahlbauten durch Beschichtungen und Überzüge; Technische Regeln für Kontrollflächen
DIN 55928 Teil 8	Korrosionsschutz von Stahlbauten durch Beschichtungen und Überzüge; Korrosionsschutz von tragenden dünnwandigen Bauteilen (Stahlleichtbau)
DIN 55928 Teil 9	Korrosionsschutz von Stahlbauten durch Beschichtungen und Überzüge; Bindemittel und Pigmente für Beschichtungsstoffe
DIN 83313	Seilhülsen

## DIN 18800 Teil 1

- DIN ISO 898 Teil 1 Mechanische Eigenschaften von Verbindungselementen; Schrauben, identisch mit ISO 898-1: 1988
- DIN ISO 898 Teil 2 Mechanische Eigenschaften von Verbindungselementen; Muttern mit festgelegten Prüfkräften
- DAS-St-Richtlinie 006 Überschweißen von Fertigungsbeschichtungen (FB) im Stahlbau<sup>3)</sup>
- DAS-St-Richtlinie 009 Empfehlungen zur Wahl der Stahlgütegruppen für geschweißte Stahlbauten<sup>3)</sup>
- DAS-St-Richtlinie 014 Empfehlungen zum Vermeiden von Terrassenbrüchen in geschweißten Konstruktionen aus Bau-Stahl<sup>3)</sup>
- ISO 3898 : 1987 Bases for design of structures; Notations; General symbols (Berechnungsgrundlagen für Bauten; Begriffe, Allgemeine Symbole)
- ISO Report TR 7596 Socketing procedures for wire ropes — Resin socketing
- SEP 1390 Aufschweißbiegeversuch<sup>4)</sup>
- SEW 685 Kaltzäher Stahlguß; Gütevorschriften<sup>4)</sup>
- Mitteilungen des Instituts für Bautechnik, 1987, Heft 1<sup>5)</sup>
- Richtlinie für das Aufstellen und Prüfen EDV-unterstützter Standsicherheitsnachweise<sup>6)</sup>
- [1] DIN: Grundlagen zur Festlegung von Sicherheitsanforderungen für bauliche Anlagen. Berlin, Köln: Beuth Verlag, 1981.
- [2] Scheer, J., Peil U. und Scheibe, H.-J.: Zur Übertragung von Kräften durch Kontakt im Stahlbau. Bauingenieur **62** (1987), S. 419—424.
- [3] Lindner, J. und Gietzelt, R.: Kontaktstöße in Druckstäben. Stahlbau **57** (1988), S. 39—50, S. 384.
- [4] Valtinat, G.: Schraubenverbindungen. Stahlbau Handbuch Band 1. Köln: Stahlbau-Verlag 1982, dort S. 402—425.
- [5] Fischer, M. und Wenk, P.: Zur Frage der Abhängigkeit der Kehlnahtdicke von der Blechdicke beim Verschweißen von Baustählen. Stahlbau **54** (1985), S. 239—242.
- [6] SIA 160 Einwirkungen auf Tragwerke. Zürich: Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein 1970.
- [7] Scheer, J. und Bahr, G.: Interaktionsdiagramme für die Querschnittstraglasten außermittig längsbelasteter, dünnwandiger Winkelprofile. Bauingenieur **56** (1981), S. 459—466.
- [8] Rubin, H.: Interaktionsbeziehungen ... Stahlbau **47** (1978), S. 76—85, S. 145—151, S. 174—281.
- [9] Grundlagen zur Beurteilung von Baustoffen, Bauteilen und Bauarten im Prüf- und Zulassungsverfahren. Berlin: Institut für Bautechnik, 1986.

## Frühere Ausgaben

DIN 18800 Teil 1: 03.81

## Änderungen

Gegenüber der Ausgabe März 1981 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- Inhalt dem Stand der Technik angepaßt und unter Berücksichtigung der vom NABau herausgegebenen „Grundlagen zur Festlegung von Sicherheitsanforderungen an baulichen Anlagen“ (GruSiBau) vollständig überarbeitet.

<sup>3)</sup> Zu beziehen bei: Deutscher Ausschuß für Stahlbau, Ebertplatz 1, 5000 Köln 1

<sup>4)</sup> Zu beziehen bei: Verlag Stahleisen mbH, Postfach 82 29, 4000 Düsseldorf 1

<sup>5)</sup> Zu beziehen bei: Verlag Ernst & Sohn, Hohenzollerndamm 170, 1000 Berlin 31

<sup>6)</sup> Zu beziehen bei: Bundesvereinigung der Prüfingenieure für Baustatik, Teckstraße 44, 7000 Stuttgart 1

## Erläuterungen

Neben der inhaltlichen Neugestaltung der Normen der Reihe DIN 18800 wurde auch versucht, ihnen äußerlich ein anderes Erscheinungsbild zu geben und damit zu einer leichteren, einfacheren Handhabung der Norm beizutragen. Damit folgten der NABau-Fachbereich 08 und seine für die Erarbeitung dieser Normen zuständigen Arbeitsausschüsse einem Beschuß des NABau-Beirats aus dem Jahre 1981, eine solche neue Struktur probeweise anzuwenden. Im folgenden wird dieses Konzept erläutert und dem Anwender damit gewissermaßen eine Art „Gebrauchsanweisung“ an die Hand gegeben.

Grundgedanken dieser neuen Struktur sind die — im Rahmen der Normenerstellung eigentlich schon immer erhöhen — Forderungen nach

- Eindeutigkeit, Überschaubarkeit und Transparenz der verschiedenen Aussagen.
- leichter Ansprechbarkeit, Adressierbarkeit und Austauschbarkeit der einzelnen Inhaltsteile.
- einfacher, widerspruchsfreier Fortschreibung der Einzelregelungen.
- einfacher Anwendung.

Um dies zu erreichen, wurde ausgehend von und aufbauend auf dem Anforderungsprofil der Deutschen Bundesbahn für die Erstellung ihrer bautechnischen Regelwerke sowie in Übereinstimmung mit dem nach den Regeln von DIN 820 „Machbarem“ das hiermit nunmehr vorliegende Erscheinungsbild gefunden.

Im Rahmen der üblichen, allgemein bekannten Gliederung in Abschnitte und Unterabschnitte nach dem Dezimalsystem ist darüber hinaus der gesamte Text in überschaubare, (abschnittsweise) durchgehend nummerierte, sogenannte „Elemente“ gegliedert, deren jedes eine in sich geschlossene Aussage enthält und damit auch bei Übernahme in eine andere Norm verständlich bleibt. Zu jedem Element gehört eine Überschrift, welche den wesentlichen Inhalt in Kurzform erkennen läßt.

Die Aussagewertigkeit der Regelungen wird unterschieden nach

- **verbindlichen Regelungen** in Form von Geboten, Verboten, Grundsätzen (Regeln).
- **nicht verbindlichen Regelungen** in Form von Empfehlungen sowie Erlaubnissen unter konkret beschriebenen Bedingungen.
- **Erläuterungen** in Form von Beispielen, Hinweisen, Skizzen und Bildern.

Die eindeutige Formulierung des jeweiligen Verbindlichkeitsgrades jeder Regelung ergibt sich aus der konsequenten Anwendung der modalen Hilfsverben nach DIN 820 Teil 23. Zur Verbesserung der Übersicht wird der Verbindlichkeitsgrad jedoch nicht nur verbal beschrieben, sondern auch durch ein entsprechendes Druckbild optisch unterschieden. Danach sind die „nicht verbindlichen Regelungen“ mit einem Raster unterlegt, und die „Erläuterungen“ stehen eingerückt als Anmerkung unmittelbar hinter dem jeweiligen Element.

## Internationale Patentklassifikation

G 04 B 1/24  
G 01 L 5/00  
G 01 N 3/00

	<b>Stahlbauten</b> <b>Stabilitätsfälle, Knicken von Stäben und Stabwerken</b>	<b>DIN</b> <b>18 800</b> Teil 2
--	--	---------------------------------------

Steel structures; stability; buckling of bars and skeletal structures

Constructions métalliques; stabilité; flambement des barres et des structures à barres

Mit DIN 18 800 T 3/11.90

Ersatz für

DIN 4114 T 1/07.52 xx und

DIN 4114 T 2/02.53 x

Neben dieser Norm gelten DIN 4114 Teil 1/07.52 xx und DIN 4114 Teil 2/02.53 x noch bis zum Erscheinen einer europäischen (EN-)Norm über das Knicken von Stäben und Stabwerken von Stahlbauten.

Diese Norm wurde im NABau-Fachbereich 08 Stahlbau — Deutscher Ausschuß für Stahlbau e.V. ausgearbeitet.

Mit den vorliegenden neuen Normen der Reihe DIN 18 800 wurde erstmals das Sicherheits- und Bemessungskonzept der im Jahre 1981 vom NABau herausgegebenen „Grundlagen zur Festlegung von Sicherheitsanforderungen an bauliche Anlagen“ (GruSiBau) verwirklicht. Darüber hinaus ist auch den laufenden Entwicklungen hinsichtlich der europäischen Vereinheitlichungsbemühungen (Stichwort: EUROCODES) Rechnung getragen worden.

Alle Verweise auf die Normen DIN 18 800 Teil 1 und Teil 3 beziehen sich auf deren Ausgabe November 1990.

## Inhalt

### 1 Allgemeine Angaben

- 1.1 Anwendungsbereich
- 1.2 Begriffe
- 1.3 Häufig verwendete Formelzeichen
- 1.4 Grundsätzliches zum Tragsicherheitsnachweis
  - 1.4.1 Allgemeines
  - 1.4.2 Tragsicherheitsnachweis bei Berechnung der Schnittgrößen nach der Elastizitätstheorie
  - 1.4.3 Tragsicherheitsnachweis bei Berechnung der Schnittgrößen nach der Fließgelenktheorie

### 2 Imperfektionen für Stäbe und für Stabwerke aus planmäßig geraden Stäben

- 2.1 Allgemeines
- 2.2 Vorkrümmung
- 2.3 Vorverdrehung
- 2.4 Gleichzeitiger Ansatz von Vorkrümmung und Vorverdrehung

### 3 Einteilige Stäbe

- 3.1 Allgemeines
- 3.2 Planmäßig mittiger Druck
  - 3.2.1 Biegeknicken
  - 3.2.2 Biegedrillknicken
- 3.3 Einachsige Biegung ohne Normalkraft
  - 3.3.1 Allgemeines
  - 3.3.2 Behinderung der Verformung
  - 3.3.3 Nachweis des Druckgurtes als Druckstab
  - 3.3.4 Biegedrillknicken
- 3.4 Einachsige Biegung mit Normalkraft
  - 3.4.1 Stäbe mit geringer Normalkraft
  - 3.4.2 Biegeknicken
  - 3.4.3 Biegedrillknicken
- 3.5 Zweiachsige Biegung mit oder ohne Normalkraft
  - 3.5.1 Biegeknicken
  - 3.5.2 Biegedrillknicken

### 4 Mehrteilige, einfeldrige Stäbe

- 4.1 Allgemeines
- 4.2 Häufig verwendete Formelzeichen
- 4.3 Ausweichen rechtwinklig zur stofffreien Achse
  - 4.3.1 Schnittgrößenermittlung am Gesamtstab
  - 4.3.2 Nachweis der Einzelstäbe
  - 4.3.3 Nachweis der Einzelfelder von Rahmenstäben
- 4.4 Mehrteilige Rahmenstäbe mit geringer Spreizung
- 4.5 Konstruktive Forderungen

### 5 Stabwerke

- 5.1 Fachwerke
  - 5.1.1 Allgemeines
  - 5.1.2 Knicklängen planmäßig mittig gedrückter Fachwerkstäbe
- 5.2 Rahmen und Durchlaufträger mit unverschieblichen Knotenpunkten
  - 5.2.1 Vernachlässigbarkeit von Normalkraftverformungen
  - 5.2.2 Definition der Unverschieblichkeit von Rahmen
  - 5.2.3 Berechnung der Aussteifungselemente
  - 5.2.4 Berechnung von Rahmen und Durchlaufträgern
- 5.3 Rahmen und Durchlaufträger mit verschieblichen Knotenpunkten
  - 5.3.1 Vernachlässigbarkeit von Normalkraftverformungen
  - 5.3.2 Verschiebliche ebene Rahmen
  - 5.3.3 Elastisch gelagerte Durchlaufträger

### 6 Bogenträger

- 6.1 Mittiger Druck (Stützlinienbogen)
  - 6.1.1 Ausweichen in der Bogenebene
  - 6.1.2 Ausweichen rechtwinklig zur Bogenebene
- 6.2 Einachsige Biegung in Bogenebene mit Normalkraft
  - 6.2.1 Ausweichen in der Bogenebene
  - 6.2.2 Ausweichen rechtwinklig zur Bogenebene
- 6.3 Planmäßig räumliche Belastung

### 7 Planmäßig gerade Stäbe mit ebenen dünnwandigen Querschnittsteilen

- 7.1 Allgemeines
- 7.2 Berechnungsgrundlagen
- 7.3 Wirksame Breite beim Verfahren Elastisch-Elastisch
- 7.4 Wirksame Breite beim Verfahren Elastisch-Plastisch
- 7.5 Biegeknicken
  - 7.5.1 Spannungsnachweis beim Verfahren Elastisch-Elastisch
  - 7.5.2 Vereinfachte Nachweise
- 7.6 Biegedrillknicken
  - 7.6.1 Nachweis
  - 7.6.2 Planmäßig mittiger Druck
  - 7.6.3 Einachsige Biegung ohne Normalkraft
  - 7.6.4 Einachsige Biegung mit Normalkraft
  - 7.6.5 Zweiachsige Biegung mit oder ohne Normalkraft

### Zitierte Normen und andere Unterlagen

#### Erläuterungen

**Diese Neuauflage von DIN 18 800 Teil 2 enthält gegenüber der Erstauflage Druckfehlerberichtigungen, die an den entsprechenden Stellen durch einen Balken am Rand gekennzeichnet sind.**

## 1 Allgemeine Angaben

### 1.1 Anwendungsbereich

#### (101) Tragsicherheitsnachweis

Diese Norm regelt die Tragsicherheitsnachweise für stabilisitätsgefährdete Stäbe und Stabwerke aus Stahl.

Diese Norm gilt stets in Verbindung mit DIN 18800 Teil 1.

#### (102) Gebrauchstauglichkeitsnachweis

Gebrauchstauglichkeitsnachweise sind nur dann zu führen, wenn sie in den Fachnormen gefordert werden.

Anmerkung: Vergleiche dazu DIN 18800 Teil 1, Abschnitte 7.2.3 und 7.3.1, Element 723.

## 1.2 Begriffe

### (103) Knicken

Beim Versagen infolge Knicken treten Verschiebungen  $v$  oder  $w$  oder Verdrehungen  $\vartheta$  um die Stabachse auf, oder diese Verformungen kommen gleichzeitig vor.

Man unterscheidet Biegeknicken und Biegedrillknicken.

### (104) Biegeknicken

Beim Biegeknicken treten nur Verschiebungen  $v$  oder  $w$  oder beide auf, oder die Verdrehungen  $\vartheta$  um die Stabachse dürfen vernachlässigt werden.

### (105) Biegedrillknicken

Beim Biegedrillknicken treten Verschiebungen  $v$ ,  $w$  und gleichzeitig Verdrehungen  $\vartheta$  um die Stabachse auf, wobei diese Verdrehungen berücksichtigt werden müssen.

Anmerkung 1: In älterer Literatur und in früheren Regelwerken (z.B. DIN 4114 Teil 1 und Teil 2) wird das Biegedrillknicken bei Beanspruchung durch Biegemomente und Querlasten als Kippen bezeichnet.

Anmerkung 2: Das Drillknicken, bei dem die Verschiebungen  $v$  und  $w$  gleich Null sind, stellt einen Sonderfall des Biegedrillknickens dar.

## 1.3 Häufig verwendete Formelzeichen

### (106) Koordinaten, Verschiebungs- und Schnittgrößen sowie Imperfektionen

$x$  Stabachse

$y, z$  Hauptachsen des Querschnitts  
(die Zeichen sind bei einteiligen Stäben so gewählt, daß  $I_y > I_z$  ist)

$u, v, w$  Verschiebung in Richtung der Achsen  $x, y, z$

$\vartheta$  Verdrehung um die  $x$ -Achse

$v_0, w_0$  Stich einer Vorkrümmung im spannungslosen (unbelasteten) Zustand

$\varphi_0$  Stabdrehwinkel des vorverformten (imperfekten) Tragwerks im spannungslosen (unbelasteten) Zustand

$N$  Normalkraft, als Druck positiv

$M_y, M_z$  Biegemomente

$V_y, V_z$  Querkräfte

### (107) Nebenzeichen

Index  $k$  charakteristischer Wert einer Größe

Index  $d$  Bemessungswert einer Größe

Anmerkung: Die Begriffe „charakteristischer Wert“ und „Bemessungswert“ sind in DIN 18800 Teil 1, Abschnitt 3.1 definiert.

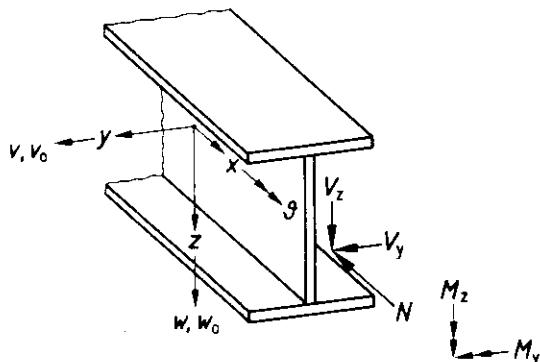


Bild 1. Koordinaten, Verschiebungs- und Schnittgrößen

### (108) Physikalische Kenngrößen, Festigkeiten

$E$  Elastizitätsmodul

$G$  Schubmodul

$f_y$  Streckgrenze

Anmerkung: Für die Zahlenwerte von  $E$ ,  $G$  und  $f_{y,k}$  siehe DIN 18800 Teil 1, Tabelle 1.

### (109) Querschnittsgrößen

$A$  Querschnittsfläche

$I$  Flächenmoment 2. Grades  
(früher: Trägheitsmoment)

$$i = \sqrt{\frac{I}{A}} \quad \text{Trägheitsradius}$$

$I_T$  Torsionsflächenmoment 2. Grades  
(St. Venantscher Torsionswiderstand)

$I_\varphi$  Wölbfächenmoment 2. Grades  
(Wölbwiderstand)

$W$  elastisches Widerstandsmoment

$N_{pl}$  Normalkraft im vollplastischen Zustand

$M_{pl}$  Biegemoment im vollplastischen Zustand

$M_{el}$  Biegemoment, bei dem an der ungünstigsten Stelle des Querschnitts die Streckgrenze  $f_y$  erreicht wird

$$\alpha_{pl} = \frac{M_{pl}}{M_{el}} \quad \text{plastischer Formbeiwert}$$

Anmerkung: Die Bezeichnung „vollplastischer Zustand“ bezieht sich auf die volle Ausnutzung der Plastizität. In Sonderfällen (z.B. Winkel, U-Profilen) können hierbei elastische Restquerschnitte vorhanden sein. Bei veränderlichen Querschnitten oder Schnittgrößen sind  $N_{pl}$ ,  $M_{pl}$ ,  $M_{el}$  für die maßgebende Stelle zu ermitteln.

### (110) Systemgrößen

$l$  Systemlänge eines Stabes

$N_{Ki}$  Normalkraft unter der kleinsten Verzweigungslast nach der Elastizitätstheorie

$$s_K = \sqrt{\frac{\pi^2 (E \cdot I)}{N_{Ki}}} \quad \text{zu } N_{Ki} \text{ gehörende Knicklänge eines Stabes}$$

$$\lambda_K = \frac{s_K}{i} \quad \text{Schlankheitsgrad}$$

$$\lambda_a = \pi \sqrt{\frac{E}{f_{y,k}}} \quad \text{Bezugsschlankheitsgrad}$$

$$\lambda_K = \frac{\lambda_K}{\lambda_a} = \sqrt{\frac{N_{pl}}{N_{Ki}}}$$

$\kappa$  bezogener Schlankheitsgrad bei Druckbeanspruchung

 $\varepsilon = l \sqrt{\frac{N}{(E \cdot I)_d}}$  Abminderungsfaktor nach den Europäischen Knickspannungslinien Stabkennzahl

$$\eta_{Ki} = \frac{N_{Ki,d}}{N}$$
 Verzweigungslastfaktor des Systems

$$M_{Ki,y}$$
 Biegedrillknickmoment nach der Elastizitätstheorie bei Wirkung von Momenten  $M_y$  ohne Normalkraft

$$\lambda_M = \sqrt{\frac{M_{pl,y}}{M_{Ki,y}}}$$
 bezogener Schlankheitsgrad bei Biegemomentenbeanspruchung

$$\kappa_M$$
 Abminderungsfaktor für das Biegedrillknicken

Anmerkung 1: Bei veränderlichen Querschnitten oder Normalkräften sind  $(E \cdot I)$ ,  $N_{Ki}$  und  $\kappa$  für die Stelle zu ermitteln, für die der Tragsicherheitsnachweis geführt wird. Im Zweifelsfall sind mehrere Stellen zu untersuchen (siehe auch Abschnitt 3.4.2.2, Element 316).

Anmerkung 2: Der Bezugsschlankheitsgrad beträgt für Erzeugnisdicken  $t \leq 40$  mm:

$$\lambda_a = 92.9 \text{ für St 37 mit } f_{y,k} = 240 \text{ N/mm}^2$$

$$\lambda_a = 75.9 \text{ für St 52 mit } f_{y,k} = 360 \text{ N/mm}^2$$

Anmerkung 3: Bei der Ermittlung bezogener Schlankeitsgrade ist für  $f_y$ ,  $(E \cdot I)$ ,  $N_{Ki}$  und  $M_{Ki}$  entsprechend Abschnitt 1.4.1, Elemente 116 und 117, einheitlich entweder mit deren charakteristischen Werten oder mit deren Bemessungswerten zu rechnen.

Anmerkung 4:  $\eta_{Ki}$  ist für alle Stäbe eines biegesteifen Stabwerkes gleich groß.

Anmerkung 5: Das Moment  $M_{Ki,y}$  wird in der Literatur häufig als Kippmoment bezeichnet. Bei veränderlichen Querschnitten oder Schnittgrößen ist  $M_{Ki}$  für die Stelle zu ermitteln, für die der Tragsicherheitsnachweis geführt wird. Im Zweifelsfall sind mehrere Stellen zu untersuchen.

### (111) Teilsicherheitsbeiwerte

$\gamma_F$  Teilsicherheitsbeiwert für die Einwirkungen

$\gamma_M$  Teilsicherheitsbeiwert für den Widerstand

Anmerkung: Die Werte  $\gamma_F$ ,  $\gamma_M$  sind DIN 18800 Teil 1, Abschnitt 7 zu entnehmen. Damit gilt in den zu führenden Tragsicherheitsnachweisen sowohl für die Streckgrenze als auch für die Steifigkeiten (z.B.  $E \cdot I$ ,  $E \cdot A$ ,  $G \cdot A_S$ ,  $S$ ) stets der Teilsicherheitsbeiwert:  $\gamma_M = 1.1$ .

## 1.4 Grundsätzliches zum Tragsicherheitsnachweis

### 1.4.1 Allgemeines

#### (112) Berechnungsverfahren und Grundlagen

Ausreichende Tragsicherheit ist wahlweise nach einem der in Tabelle 1 angegebenen Verfahren nachzuweisen. Dabei sind folgende Grundlagen zu beachten:

- Werkstoffgesetz (Element 113)
- Imperfektionen (Element 114 und Abschnitt 2)
- Schnittgrößen (Elemente 115 und 116)
- Einfluß der Verformungen (Element 116)
- Schlupf (Element 118)
- Querschnittsmitwirkung (Element 119)
- Lochschwächungen (Element 120)

Tabelle 1. Nachweisverfahren

	Nachweisverfahren	Berechnung der Schnittgrößen infolge der Einwirkungen nach	
		Beanspruchbarkeiten	
1	Elastisch-Elastisch	Elastizitätstheorie	Elastizitätstheorie
2	Elastisch-Plastisch	Elastizitätstheorie	Plastizitätstheorie
3	Plastisch-Plastisch	Fließgelenktheorie	Plastizitätstheorie

Zur Vereinfachung dürfen Biegeknicken und Biegedrillknicken getrennt untersucht werden. Dabei ist nach dem Nachweis des Biegeknickens der Biegedrillknicknachweis für die aus dem Gesamtsystem herausgelöst gedachten Einzelstäbe zu führen, die durch die am Gesamtsystem ermittelten Stabendschnittgrößen und durch die Einwirkungen auf den betrachteten Einzelstab beansprucht werden.

Hinweise auf die erforderliche Anwendung der Theorie I. oder II. Ordnung finden sich bei den entsprechenden Nachweisen.

Anstelle der in Tabelle 1 angegebenen Verfahren dürfen auch vereinfachte Nachweise nach den Abschnitten 3 bis 7 geführt werden.

Anmerkung 1: Ergänzende Angaben zur Fließzonentheorie, deren Anwendung grundsätzlich erlaubt ist, sind in dieser Norm nicht enthalten, siehe hierzu z.B. [1].

Anmerkung 2: In DIN 18800 Teil 1, Tabelle 11, wird statt „Schnittgrößen infolge der Einwirkungen“ der Oberbegriff „Beanspruchungen“ verwendet.

Anmerkung 3: Die beim gedanklichen Herauslösen des Einzelstabes angenommenen Randbedingungen und Schnittgrößen sind beim Nachweis des Biegedrillknickens zu beachten.

Anmerkung 4: Vereinfachte Tragsicherheitsnachweise der Abschnitte 3 und 4 für Stäbe sind in der Tabelle 2 aufgeführt.

### (113) Werkstoffgesetz

Der Werkstoff muß ein ausreichendes Plastizierungsvermögen haben. Anstatt des tatsächlichen Werkstoffverhaltens darf eine linearelastisch-idealplastische Spannungs-Dehnungs-Beziehung zugrunde gelegt werden.

Anmerkung: Die in DIN 18800 Teil 1, Abschnitt 4.1, Element 401, Nummer 1 und 2 genannten Stahlsorten besitzen ein ausreichendes Plastizierungsvermögen.

Tabelle 2. Zusammenstellung vereinfachter Tragsicherheitsnachweise

	Schnittgrößen	Versagensart	Vereinfachte Nachweise nach	
			Abschnitt	Gleichung
1	<b>Einteilige Stäbe</b> $N$	Biegeknicken	3.2.1	3
2	$N$	Biegedrillknicken	3.2.2	3
3	$M_y$	Biegedrillknicken	3.3.2, 3.3.3, 3.3.4	7, 8, 12, 14, 16, 21
4	$N + M_y$	Biegeknicken	3.4.2	24
5	$N + M_z$	Biegeknicken	3.4.2	24
6	$N + M_y$	Biegedrillknicken	3.4.3	27
7	$N + M_y + M_z$	Biegeknicken	3.5.1	28, 29
8	$N + M_y + M_z$	Biegedrillknicken	3.5.2	30
9	<b>Mehrteilige Stäbe</b> $N$	Biegeknicken	4.3	31 bis 38
10	$N + M_z$	Biegeknicken	4.3	

**(114) Imperfektionen**

Zur Berücksichtigung des Einflusses geometrischer und struktureller Imperfektionen müssen sinnvolle Annahmen, z.B. nach Abschnitt 2, getroffen werden.

Anmerkung: Geometrische Imperfektionen sind z.B. unplanmäßige Außermittigkeiten des Lastangriffs und Abweichungen von der planmäßigen Geometrie. Strukturelle Imperfektionen sind z.B. Eigenspannungen.

**(115) Schnittgrößen**

Die Schnittgrößen sind mit den Bemessungswerten der Einwirkungen für die maßgebenden Nachweistellen zu ermitteln.

Auf die Kennzeichnung der Schnittgrößen mit dem Index  $d$  wird aus Vereinfachungsgründen verzichtet.

Anmerkung: Die Regeln zur Berechnung der Bemessungswerte der Einwirkungen enthält DIN 18800 Teil 1, Abschnitte 7.2.1 und 7.2.2.

**(116) Einfluß der Verformungen**

Bei der Berechnung der Schnittgrößen ist in der Regel der Einfluß der Verformungen auf das Gleichgewicht (Theorie II. Ordnung) zu berücksichtigen. Hierfür sind als Bemessungswerte der Steifigkeiten die aus den Nennwerten der Querschnittsabmessungen und den charakteristischen Werten der Elastizitäts- und Schubmoduln berechneten charakteristischen Werte der Steifigkeiten, dividiert durch den Teilsicherheitsbeiwert  $\gamma_M = 1,1$ , zu verwenden.

**Der Einfluß von Verformungen aus Querkraftschubspannungen darf in der Regel vernachlässigt werden.**

Anmerkung 1: Bei der Berechnung der Schnittgrößen nach Theorie II. Ordnung ist beispielsweise bei der Ermittlung der Stabkennzahl  $\varepsilon$  und des Verzweigungslastfaktors  $\eta_{K1}$  als Steifigkeit deren Bemessungswert  $(E \cdot I)_d$  einzusetzen.

Anmerkung 2: Die Entscheidung, ob nach Theorie II. Ordnung gerechnet werden muß, richtet sich nach den in DIN 18800 Teil 1, Abschnitt 7.5.1, Element 739 angegebenen Abgrenzungskriterien.

Anmerkung 3: Verformungen können auch aus Nachgiebigkeiten von Anschlüssen resultieren.

Anmerkung 4: Bei mehrteiligen Druckstäben werden die Verformungen aus Querkraft nach Abschnitt 4 berücksichtigt.

**(117) Nachweis mit  $\gamma_M$ -fachen Bemessungswerten der Einwirkungen**

Abweichend von Abschnitt 1.4.1, Elemente 115 und 116 dürfen die Schnittgrößen und Verformungen auch mit den  $\gamma_M (= 1,1)$ -fachen Bemessungswerten der Einwirkungen berechnet werden. In diesem Fall sind bei den Tragsicherheitsnachweisen die charakteristischen Werte der Festigkeiten und Steifigkeiten zu verwenden. In den Gleichungen der Abschnitte 3 bis 7 müssen dann statt der Bemessungswerte des Widerstandes, ausgedrückt durch den Index  $d$ , jeweils die charakteristischen Werte, ausgedrückt durch den Index  $k$ , verwendet werden.

Anmerkung 1: Hierbei ist beispielsweise bei der Ermittlung der Stabkennzahl  $\varepsilon$  und des Verzweigungslastfaktors  $\eta_{K1}$  als Steifigkeit deren charakteristischer Wert  $(E \cdot I)_k$  einzusetzen.

Anmerkung 2: Diese alternative Nachweismöglichkeit besteht insbesondere bei den allgemeinen Tragsicherheitsnachweisen der Abschnitte 5, 6 und 7, ist aber sinngemäß auch in den Abschnitten 3 und 4 anwendbar. Sie führt zu denselben Ergebnissen wie die Berücksichtigung von  $\gamma_M$  auf der Widerstandsseite. Ihre Anwendung ist in der statischen Berechnung kenntlich zu machen, falls Verwechslungen nicht auszuschließen sind.

Anmerkung 3: Hinweise zu den Widerstandsgrößen siehe DIN 18800 Teil 1, Abschnitt 7.3.1.

**(118) Schlupf**

Der Schlupf in SL- oder SLV-Verbindungen ist bei stabilitiesgefährdeten Stäben und Stabwerken zu berücksichtigen.

**Hierbei dürfen die in DIN 18800 Teil 1, Abschnitt 8.2.3, Element 813 angegebenen Werte angesetzt werden.**

Anmerkung: Die Berücksichtigung des Schlupfes ist dann erforderlich, wenn durch den Schlupf die Stabilitätsgefährdung deutlich vergrößert wird.

**(119) Querschnittsmitwirkung****(Grenzwerte grenz (b/t) und grenz (d/t))**

Wird bei druckbeanspruchten Querschnittsteilen die volle Fläche in Rechnung gestellt, so dürfen die Grenzwerte grenz (b/t) und grenz(d/t) nach DIN 18800 Teil 1 nicht überschritten werden.

Wenn diese Grenzwerte grenz (b/t) und grenz (d/t) nicht eingehalten sind, sind für diese dünnwandigen Querschnitte die Nachweise unter Berücksichtigung des Zusammenwirkens von Biegeknicken und Beulen bzw. von Biegedrillknicken und Beulen nach Abschnitt 7 oder nach DIN 18800 Teil 3 bzw. DIN 18800 Teil 4 zu führen.

Anmerkung 1: Die Grenzwerte grenz (b/t) sind vom angewandten Nachweisverfahren gemäß Tabelle 1 abhängig. Nähere Angaben über grenz (b/t) für ebene Querschnittsteile enthält DIN 18800 Teil 1, Tabellen 12, 13, 15 und 18.

Anmerkung 2: Nähere Angaben über grenz (d/t) von Rohren enthält DIN 18800 Teil 1, Tabellen 14, 15 und 18. Möglichkeiten des Nachweises bei Überschreiten dieser Grenzwerte sind im Rahmen dieser Norm nicht angegeben.

**(120) Lochschwächungen**

Lochschwächungen dürfen bei der Ermittlung der Schnittgrößen und Verformungen vernachlässigt werden, wenn sichergestellt ist, daß die Lochschwächungen zu keinem vorzeitigen, örtlichen Versagen führen.

**1.4.2 Tragsicherheitsnachweis bei Berechnung der Schnittgrößen nach der Elastizitätstheorie****(121) Nachweis**

Die Tragsicherheit ist ausreichend, wenn bei der Berechnung der Schnittgrößen nach der Elastizitätstheorie das System im stabilen Gleichgewicht ist und

– entweder die Vergleichsspannung unter diesen Schnittgrößen höchstens den Bemessungswert der Streckgrenze  $f_{y,d}$  erreicht (Verfahren Elastisch-Elastisch nach Tabelle 1, Zeile 1), wobei sinngemäß auch Abschnitt 1.4.1, Element 117, anwendbar ist.

In kleinen Bereichen darf die Vergleichsspannung die Grenzspannung  $f_{y,d}$  um 10 % überschreiten (vergleiche DIN 18800 Teil 1, Abschnitt 7.5.2, Element 749).

– oder die Schnittgrößen unter Beachtung der Interaktion nicht zu einer Überschreitung der Grenzschnittgrößen im vollplastischen Zustand führen (Nachweisverfahren Elastisch-Plastisch nach Tabelle 1, Zeile 2).

Anmerkung 1: Der Wert  $f_{y,d}$  ist in DIN 18800 Teil 1, Abschnitt 7.5.2, Element 746 angegeben.

Anmerkung 2: Beim Verfahren Elastisch-Plastisch werden Querschnittsplastizierungen zugelassen, wobei im Grenzfall an einer oder mehreren Stellen Fließgelenke auftreten können. In diesem Zustand dürfen sich jedoch noch keine Verdrehungen der Fließgelenke einstellen. Damit werden die plastischen Reserven der Querschnitte ausgenutzt, nicht jedoch die des Systems.

Anmerkung 3: Die Querschnittstragfähigkeit wird mit Hilfe von Interaktionsbedingungen (siehe z.B. DIN 18800 Teil 1, Tabellen 16 und 17) ermittelt.

**(122) Schnittgrößen bei zweiachsiger Biegung**

Bei zweiachsiger Biegung mit oder ohne Normalkraft ohne planmäßige Torsion dürfen die Schnittgrößen (Momente und Querkräfte) durch Superposition der Schnittgrößen für Einwirkungen, die zu Biegemomenten  $M_y$  und Querkräften  $V_z$ , und denen, die zu Biegemomenten  $M_z$  und Querkräften  $V_y$  führen, bestimmt werden. Dabei müssen jedoch für beide Berechnungen die Stabkennzahlen  $\varepsilon$  für die Summe der Normalkräfte aus allen Einwirkungen berechnet werden.

**(123) Begrenzung des plastischen Formbeiwertes  $\alpha_{pl}$** 

Wenn der zur betreffenden Biegeachse gehörende Formbeiwert  $\alpha_{pl} > 1,25$  ist und nicht nach Theorie I. Ordnung gerechnet werden darf, muß das unter gleichzeitig wirkender Normal- und Querkraft im vollplastizierten Stabquerschnitt aufnehmbare Biegemoment mit dem Faktor  $1,25/\alpha_{pl}$  abgemindert werden.

Sinngemäß ist bei zweiachsiger Biegung für jedes der beiden Biegemomente zu verfahren, wenn  $\alpha_{pl,y} > 1,25$  oder  $\alpha_{pl,z} > 1,25$  ist.

Anmerkung: Anstelle der Abminderung des aufnehmbaren Momentes kann das vorhandene (nachzuweisende) Moment mit dem Faktor  $\alpha_{pl}/1,25$  erhöht werden.

**1.4.3 Tragsicherheitsnachweis bei Berechnung der Schnittgrößen nach der Fließgelenktheorie**

(124) Die Tragsicherheit ist ausreichend, wenn bei der Berechnung nach der Fließgelenktheorie die Schnittgrößen unter Beachtung der Interaktion nicht zu einer Überschreitung der Grenzschnittgrößen im vollplastischen Zustand führen (Verfahren Plastisch-Plastisch nach Tabelle 1, Zeile 3). Das System muß im stabilen Gleichgewicht sein.

Für die Begrenzung des plastischen Formbeiwertes  $\alpha_{pl}$  gilt Abschnitt 1.4.2, Element 123.

Anmerkung: Interaktionsbedingungen sind z.B. in DIN 18800 Teil 1, Tabellen 16 und 17, angegeben.

**2 Imperfektionen für Stäbe und für Stabwerke aus planmäßig geraden Stäben****2.1 Allgemeines****(201) Berücksichtigung der Imperfektionen**

Der Einfluß von geometrischen und strukturellen Imperfektionen ist zu berücksichtigen, wenn sie zu einer Vergrößerung der Beanspruchung führen.

Zur Erfassung beider Imperfektionen dürfen geometrische Ersatzimperfektionen angenommen werden. Man unterscheidet zwischen Vorkrümmungen (siehe Abschnitt 2.2) und Vorverdrehungen (siehe Abschnitt 2.3).

Anmerkung 1: Ersatzimperfektionen können auch durch den Ansatz gleichwertiger Ersatzlasten berücksichtigt werden.

Anmerkung 2: Ersatzimperfektionen decken neben den geometrischen Imperfektionen auch den Einfluß von Eigenspannungen infolge Walzens, Schweißens und von Richtarbeiten, Werkstoffinhomogenitäten sowie der Ausbreitung der Fließzonen auf die Traglast im Mittel ab. Weitere in Einzelfällen denkbare Einflüsse auf die Traglast wie Nachgiebigkeiten von Verbindungsmitteln, Rahmenecken und Gründungen sowie Schubverformungen sind damit nicht abgedeckt.

Bei Anwendung des Nachweisverfahrens Elastisch-Elastisch nach Tabelle 1, Zeile 1 brauchen nur  $\frac{2}{3}$  der Werte der Ersatzimperfektionen nach den Abschnitten 2.2 und 2.3 angesetzt zu werden. Bei Tragsicherheitsnachweisen für mehrteilige Stäbe nach Abschnitt 4.3 ist die Ersatzimperfektion nach Tabelle 3, Zeile 5, dagegen stets unvermindert anzusetzen.

Anmerkung 1: Der Faktor  $\frac{2}{3}$  trägt dem Umstand Rechnung, daß die plastische Querschnittsreserve nicht ausgenutzt wird. Es wird angestrebt, daß sich bei Anwendung von Tabelle 1, Zeilen 1 oder 2, im Mittel gleiche Traglasten ergeben.

Anmerkung 2: Die Nachweise nach Abschnitt 4.3 beruhen auf Vergleichen von experimentellen und rechnerischen Traglasten, die die Ersatzimperfektionen nach Tabelle 3, Zeile 5, belegen (siehe auch Anmerkung zu Abschnitt 4.1, Element 402).

In den vereinfachten Tragsicherheitsnachweisen nach Abschnitt 3 und 7 sind die Ersatzimperfektionen bereits berücksichtigt.

#### (202) Ansatz der Ersatzimperfektionen

Die geometrischen Ersatzimperfektionen sind so anzusetzen, daß sie sich der zum niedrigsten KnickEigenwert gehörenden Verformungsfigur möglichst gut anpassen. Sie sind in ungünstiger Richtung anzusetzen.

Die Ersatzimperfektionen brauchen mit den geometrischen Randbedingungen des Systems nicht verträglich zu sein.

Beim Biegeknicken infolge einachsiger Biegung mit Normalkraft brauchen Vorkrümmungen nur mit dem Stich  $v_0$  oder  $w_0$  in der jeweils untersuchten Ausweichrichtung angesetzt zu werden.

Beim Biegeknicken infolge zweiachsiger Biegung mit Normalkraft brauchen nur diejenigen Ersatzimperfektionen angesetzt zu werden, die zur Ausweichrichtung bei planmäßig mittiger Druckbeanspruchung gehören.

Beim Biegendrillknicken genügt es, lediglich eine Vorkrümmung gemäß Abschnitt 2.2 mit dem Stich  $0,5 v_0$  anzusetzen.

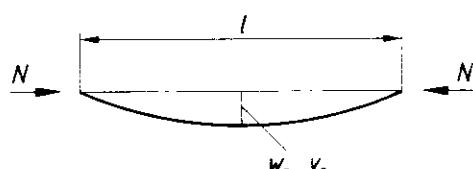
#### (203) Imperfektionen für Sonderfälle

Soweit für Sonderfälle in einzelnen Fachnormen abweichende (bauartabhängige) Angaben über die Imperfektionen enthalten sind, müssen diese der Schnittgrößenermittlung zugrunde gelegt werden.

Anmerkung: Solche Imperfektionen für Sonderfälle sind mit den Regelungen in den Abschnitten 3 bis 7 nicht erfaßt.

## 2.2 Vorkrümmung

(204) Für Einzelstäbe, für Stäbe von Stabwerken mit unverschieblichen Knotenpunkten und für Stäbe nach Abschnitt 2.4, Element 207, sind in der Regel die Vorkrümmungen nach Bild 2 und Tabelle 3 anzusetzen.



quadratische Parabel  
oder sin-Halbwelle

Bild 2. Vorkrümmung eines Stabes

Wenn die Abgrenzungskriterien nach DIN 18800 Teil 1, Abschnitt 7.5.1, Element 739, für die Anwendung der Theorie I. Ordnung erfüllt sind, darf ohne Ansatz von Vorkrümmungen gerechnet werden.

Tabelle 3. Stich der Vorkrümmung

	Stabart	Stich $w_0, v_0$ der Vorkrümmung
1	Einteilige Stäbe mit Querschnitten, denen nach Tabelle 5 folgende Knickspannungslinie zugeordnet ist.	$l/300$
2	b	$l/250$
3	c	$l/200$
4	d	$l/150$
5	Mehrteilige Stäbe, wenn der Nachweis nach Abschnitt 4.3 erfolgt	$l/500$

Anmerkung: Ersatzimperfektionen für Bogenträger enthält Tabelle 23.

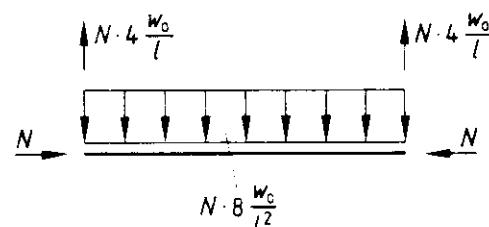


Bild 3. Ersatzbelastung bei quadratischer Parabel (Gleichgewichtsgruppe)

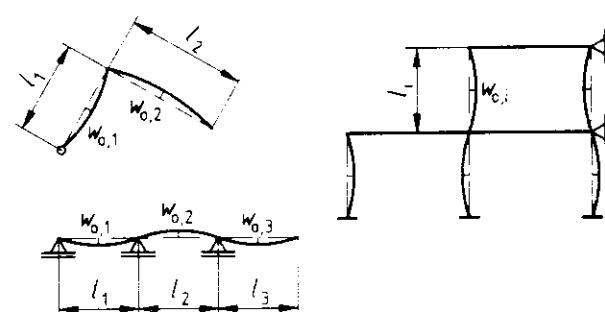


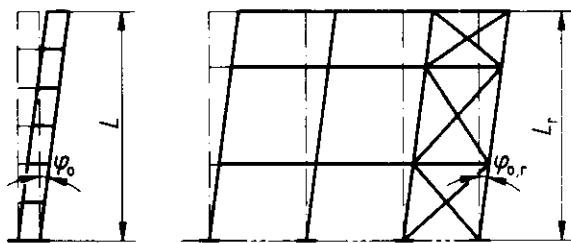
Bild 4. Beispiele für den Ansatz von Vorkrümmungen

## 2.3 Vorverdrehung

#### (205) Ansatz von Vorverdrehungen

Vorverdrehungen sind nach Bild 5 für solche Stäbe und Stabzüge anzunehmen, die am verformten Stabwerk Stabdrehwinkel aufweisen können und die durch Normalkräfte beansprucht werden.

Wenn die Abgrenzungskriterien nach DIN 18800 Teil 1, Abschnitt 7.5.1, Element 739, für die Anwendung der Theorie I. Ordnung erfüllt sind, darf mit verminderteren Vorverdrehungen gerechnet werden.



$L, L_r$  Länge des Stabes bzw. Stabzuges  $r$   
 $\varphi_0, \varphi_{0,r}$  Winkel der Vorverdrehung eines Stabes bzw. Stabzuges  $r$

Bild 5. System eines perfekten (unterbrochen dargestellt) und infolge Vorverdrehung möglichen imperfekten (ausgezogen dargestellt) Stabes bzw. Stabwerkes

Die Vorverdrehung beträgt in der Regel

– für einteilige Stäbe:

$$\varphi_0 = \frac{1}{200} r_1 \cdot r_2 \quad (1)$$

– für mehrteilige Stäbe nach den Bildern 20 und 21 sowie Abschnitt 4.3

$$\varphi_0 = \frac{1}{400} r_1 \cdot r_2 \quad (2)$$

Es bedeuten:

$$r_1 = \sqrt{\frac{5}{l}}$$

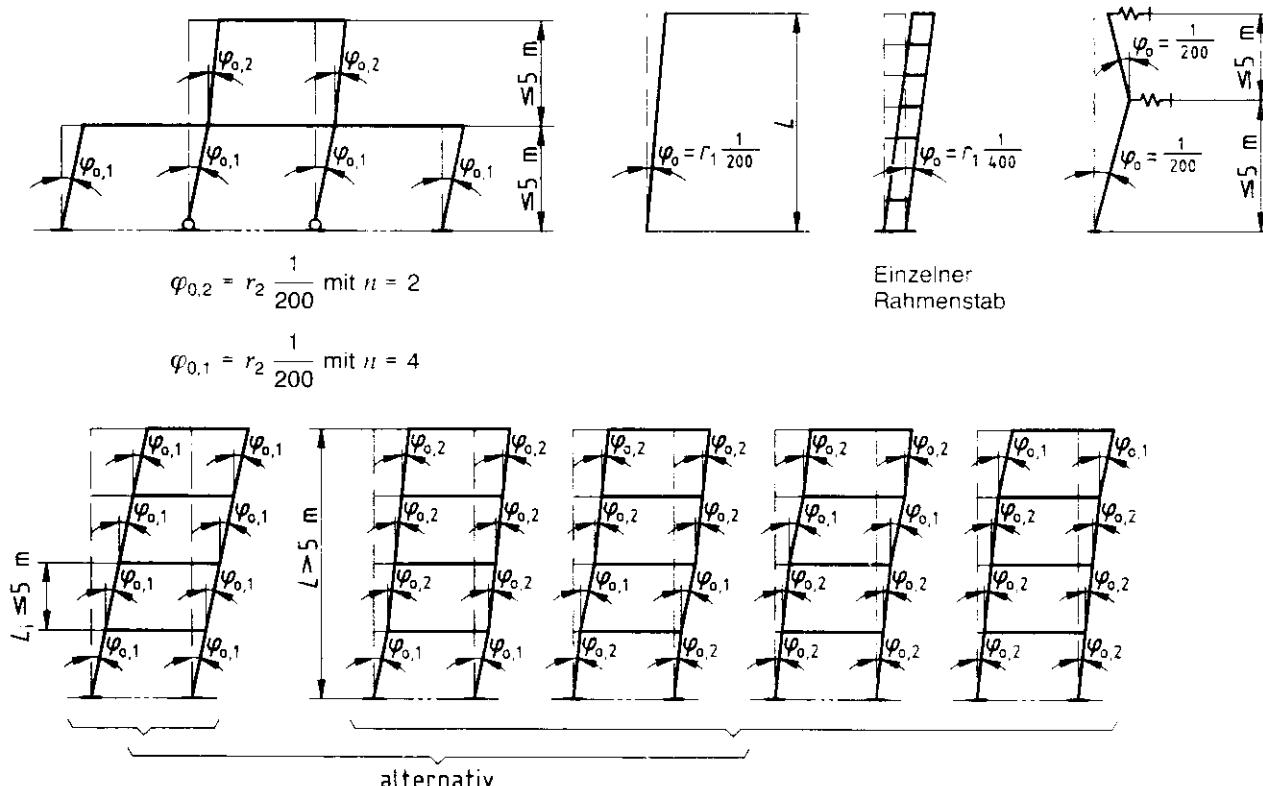
Reduktionsfaktor für Stäbe oder Stabzüge mit  $l > 5$  m, wobei  $l$  die Systemlänge des vorverdrehten Stabes  $L$  bzw. Stabzuges  $L_r$  in m ist. Maßgebend ist jeweils derjenige Stab oder Stabzug, dessen Vorverdrehung sich auf die betrachtete Beanspruchung am ungünstigsten auswirkt.

$$r_2 = \frac{1}{2} \left( 1 + \sqrt{\frac{1}{n}} \right)$$

Reduktionsfaktor zur Berücksichtigung von  $n$  voneinander unabhängigen Ursachen für Vorverdrehungen von Stäben und Stabzügen.

Bei der Berechnung des Reduktionsfaktors  $r_2$  für Rahmen darf in der Regel für  $n$  die Anzahl der Stiele des Rahmens je Stockwerk in der betrachteten Rahmenebene eingesetzt werden. Stiele mit geringer Normalkraft zählen dabei nicht. Als Stiele mit geringer Normalkraft gelten solche, deren Normalkraft kleiner als 25 % der Normalkraft des maximal belasteten Stieles im betrachteten Geschoss und der betrachteten Rahmenebene ist.

Anmerkung 1: Bei der Berechnung der Geschoßquerkraft in einem mehrgeschossigen Stabwerk sind Vorverdrehungen für die Stäbe des betrachteten Geschosses am ungünstigsten. Daher ist in  $r_1$  die Systemlänge  $L$  der Geschoßstiele einzusetzen. In den übrigen Geschossen darf in  $r_1$  für  $l$  die Gebäudehöhe  $L_r$  gesetzt werden (Bild 6).



$$\varphi_{0,1} = r_2 \frac{1}{200} \quad \varphi_{0,2} = r_2 \frac{1}{200} \quad r_1 \quad n = 2$$

Bild 6. Beispiele für Vorverdrehungen in Stabwerken und Rahmen

## DIN 18800 Teil 2

Anmerkung 2: Imperfektionen können auch durch den Ansatz gleichwertiger Ersatzlasten berücksichtigt werden.

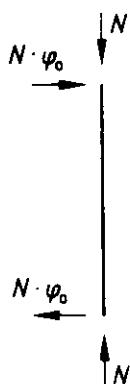


Bild 7. Ersatzbelastung für eine Vorverdrehung  $\varphi_0$

Anmerkung 3: Vorverdrehungen aus Schraubenschlupf sind gegebenenfalls zusätzlich zu berücksichtigen; vergleiche Abschnitt 1.4.1, Element 118.

Anmerkung 4: Die verminderten Vorverdrehungen sind in DIN 18800 Teil 1, Abschnitt 7.4, Element 730, angegeben; auch hier sind gegebenenfalls Vorverdrehungen aus Schraubenschlupf zusätzlich zu berücksichtigen.

Anmerkung 5: Der Reduktionsfaktor  $r_2$  kann sinngemäß auch bei Dachverbänden, die Träger stabilisieren, angewendet werden.

#### (206) Vorverdrehungen bei Aussteifungskonstruktionen

Für die Stiele von Aussteifungskonstruktionen sind die Vorverdrehungen wie für die Stiele von verschieblichen Stockwerkkrahmen anzusetzen. Das gleiche gilt gegebenenfalls für weitere, angehängte Stiele, die mit der Aussteifungskonstruktion verbunden sind und durch diese stabilisiert werden.

Anmerkung: Aussteifungskonstruktionen sind z.B. Verbände.

#### 2.4 Gleichzeitiger Ansatz von Vorkrümmung und Vorverdrehung

(207) Für Stäbe, die am verformten Stabwerk Stabdrehwinkel aufweisen können und eine Stabkennzahl  $\varepsilon > 1,6$  haben, ist zusätzlich zu den Vorverdrehungen (nach Abschnitt 2.3) auch die Vorkrümmung (nach Abschnitt 2.2) in ungünstiger Richtung anzusetzen.

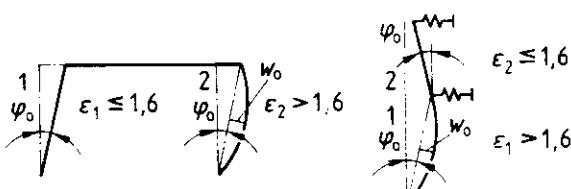


Bild 8. Beispiele für die gleichzeitige Berücksichtigung von Vorkrümmung und Vorverdrehung

### 3 Einteilige Stäbe

#### 3.1 Allgemeines

##### (301) Geltungsbereich

Die in den Abschnitten 3.2 bis 3.5 angegebenen Nachweise gelten für Einzelstäbe und für Stäbe von Stabwerken, die für den Nachweis aus dem Stabwerk gedanklich herausgelöst werden. Biegeknicken und Biegedrillknicken werden dabei getrennt untersucht.

Anmerkung: Wenn Stäbe für die Rechnung gedanklich aus einem Stabwerk herausgelöst werden, sind die realen Randbedingungen des betreffenden Stabes zu beachten.

##### (302) Biegeknicken

In den Biegeknickuntersuchungen der Abschnitte 3.2 bis 3.5 ist neben dem Ansatz von Imperfektionen (siehe Abschnitt 2, Elemente 201 ff.) auch der Einfluß aus Theorie II. Ordnung bereits berücksichtigt. Daher sind in den Abschnitten 3.2 bis 3.5 die Schnittgrößen nach Theorie I. Ordnung einzusetzen.

Anmerkung 1: Die Anwendung der Bedingungen (3), (24), (28) und (29) wird in der Literatur als Ersatzstabverfahren bezeichnet, wobei die zu den entsprechenden Stabwerken gehörenden Knicklängen benutzt werden.

Anmerkung 2: Wenn Stäbe aus einem Stabwerk herausgelöst werden, sind bei Anwendung des Ersatzstabverfahrens die Abschnitte 3.4.2.2, 3.5.1 und 5.3.2.3 zu beachten.

##### (303) Biegedrillknicken

Die Biegedrillknickuntersuchung ist für die aus dem Stabwerk herausgelöst gedachten Stäbe durchzuführen. Dabei sind die Stabendmomente erforderlichenfalls nach Theorie II. Ordnung zu bestimmen. Die Feldmomente dürfen mit diesen Stabendmomenten nach Theorie I. Ordnung berechnet werden.

Die Biegedrillknickuntersuchung ist nicht erforderlich für

- Stäbe mit Hohlquerschnitten
- Stäbe, deren Verdrehung  $\vartheta$  oder seitliche Verschiebung  $v$  ausreichend behindert ist
- Stäbe mit planmäßiger Biegung, wenn deren bezogener Schlankheitsgrad

$$\bar{\lambda}_M \leq 0,4$$

ist.

Anmerkung: Zum Nachweis ausreichender Behinderung der Verformungen siehe Abschnitt 3.3.2

#### 3.2 Planmäßig mittiger Druck

##### 3.2.1 Biegeknicken

##### (304) Nachweisformat

Der Tragsicherheitsnachweis ist für die maßgebende Ausweichrichtung mit Bedingung (3) zu führen.

$$\frac{N}{\kappa \cdot N_{pl,d}} \leq 1 \quad (3)$$

Der Abminderungsfaktor  $\kappa$  ( $= \kappa_1$  bzw.  $\kappa_2$ ) ist in Abhängigkeit von dem bezogenen Schlankheitsgrad  $\bar{\lambda}_K$  und der dem jeweiligen Querschnitt nach Tabelle 5 zugeordneten Knickspannungslinie mit den Gleichungen (4 a) bis (4 c) zu ermitteln.

$$\bar{\lambda}_K \leq 0,2 : \kappa = 1$$

(4 a)

$$\bar{\lambda}_K > 0,2 : \kappa = \frac{1}{k + \sqrt{k^2 - \bar{\lambda}_K^2}}$$

(4 b)

$$k = 0,5 [1 + \alpha (\bar{\lambda}_K - 0,2) + \bar{\lambda}_K^2]$$

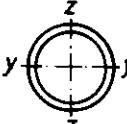
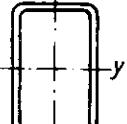
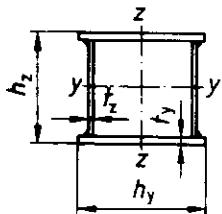
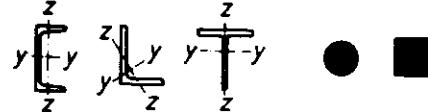
vereinfachend für  $\bar{\lambda}_K > 3,0$ :

$$\kappa = \frac{1}{\bar{\lambda}_K (\bar{\lambda}_K + \alpha)} \quad (4 c)$$

mit  $\alpha$  nach Tabelle 4.Tabelle 4. Parameter  $\alpha$  zur Berechnung des Abminderungsfaktors  $\kappa$ 

Knickspannungslinie	a	b	c	d
$\alpha$	0,21	0,34	0,49	0,76

Tabelle 5. Zuordnung der Querschnitte zu den Knickspannungslinien

	1	2	3
	Querschnitt	Ausweichen rechtwinklig zur Achse	Knickspan- nungslinie
1	Hohlprofile	warm gefertigt	y – y z – z
	 	kalt gefertigt	y – y z – z
2	geschweißte Kastenquerschnitte		y – y z – z
		dicke Schweißnaht und $h_y/t_y < 30$ $h_z/t_z < 30$	y – y z – z
3	gewalzte I-Profile	$h/b > 1,2; t \leq 40 \text{ mm}$	y – y z – z
		$h/b > 1,2; 40 < t \leq 80 \text{ mm}$	y – y z – z
		$h/b \leq 1,2; t \leq 80 \text{ mm}$	y – y z – z
		$t > 80 \text{ mm}$	y – y z – z
4	geschweißte I-Querschnitte	$t_i \leq 40 \text{ mm}$	y – y z – z
		$t_i > 40 \text{ mm}$	y – y z – z
			c
			d
5	U-, L-, T- und Vollquerschnitte 	und mehrteilige Stäbe nach Abschnitt 4.4	y – y z – z
6	Hier nicht aufgeführte Profile sind sinngemäß einzuordnen. Die Einordnung soll dabei nach den möglichen Eigenspannungen und Blechdicken erfolgen.		

Anmerkung: Als dicke Schweißnähte sind solche mit einer vorhandenen Nahtdicke  $a \geq \min t$  zu verstehen.

## DIN 18800 Teil 2

Anmerkung 1: Die zur Berechnung von  $\bar{\lambda}_K$  benötigte Knicklänge kann der Literatur entnommen werden. Vier einfache Fälle sind in Bild 9 angegeben, weitere Fälle können mit Hilfe der Bilder 27 und 29 behandelt werden. Behält in Sonderfällen die am Stab angreifende Last ihre Richtung beim Ausweichen des Stabes nicht bei, so ist dies bei der Ermittlung der Knicklänge  $s_K$  zu berücksichtigen, z.B. mit Hilfe der Bilder 36 bis 38.

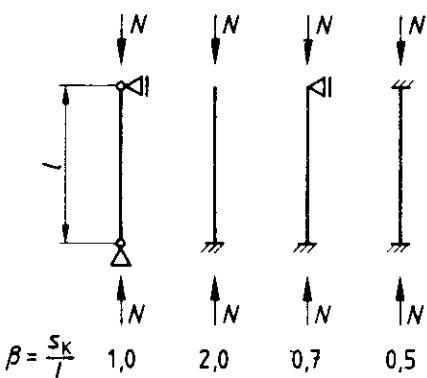


Bild 9. Beispiele für Knicklängen einfacher Stäbe mit konstantem Querschnitt

Anmerkung 2: Die zahlenmäßige Auswertung der Gleichungen (4a) bis (4c) kann der Literatur entnommen werden, z.B. [2].

**(305) Zusatzbedingungen bei veränderlichen Querschnitten und Normalkräften**

Bei Anwendung von Bedingung (3) auf Stäbe mit veränderlichen Querschnitten und/oder Normalkräften muß der Nachweis mit Bedingung (3) für alle maßgebenden Querschnitte mit den jeweils zugehörigen Schnittgrößen.

Querschnittswerten und der zugehörigen Normalkraft  $N_{Ki}$  an der betreffenden Stelle geführt werden. Zusätzlich müssen folgende Bedingungen eingehalten werden:

$$\eta_{Ki} \geq 1,2 \quad (5)$$

$$\text{und} \quad \min M_{pl} \geq 0,05 \max M_{pl} \quad (6)$$

**3.2.2 Biegendrillknicken**

**(306)** Für Stäbe mit beliebiger, aber unverschieblicher Lagerung der Enden, mit unveränderlichem Querschnitt und konstanter Normalkraft ist ein Tragsicherheitsnachweis nach Abschnitt 3.2.1 zu führen. Bei der Berechnung des bezogenen Schlankheitsgrades  $\bar{\lambda}_K$  ist dabei für  $N_{Ki}$  die Normalkraft unter der kleinsten Verzweigungslast für Biegendrillknicken anzusetzen. Der Abminderungsfaktor  $\kappa$  ist dabei für das Ausweichen rechtwinklig zur z-Achse zu ermitteln.

Für Walzträger mit I-Querschnitt und für I-Träger mit ähnlichen Abmessungen braucht ein Tragsicherheitsnachweis für das Biegendrillknicken nicht geführt zu werden.

Anmerkung: Das Drillknicken wird hier als Sonderfall des Biegendrillknickens betrachtet.

**3.3 Einachsige Biegung ohne Normalkraft**

**3.3.1 Allgemeines**

**(307)** Es ist ein Tragsicherheitsnachweis nach Abschnitt 3.3.4 zu führen.

Dieser Nachweis darf

- bei Biegung um die z-Achse oder
- wenn jeweils die Bedingungen der Abschnitte 3.3.2 oder 3.3.3 eingehalten werden

entfallen.

Anmerkung: Der hier behandelte Stabilitätsfall wurde in DIN 4114 Teil 1/07.52 und meistens in der Literatur als „Kippen“ bezeichnet.

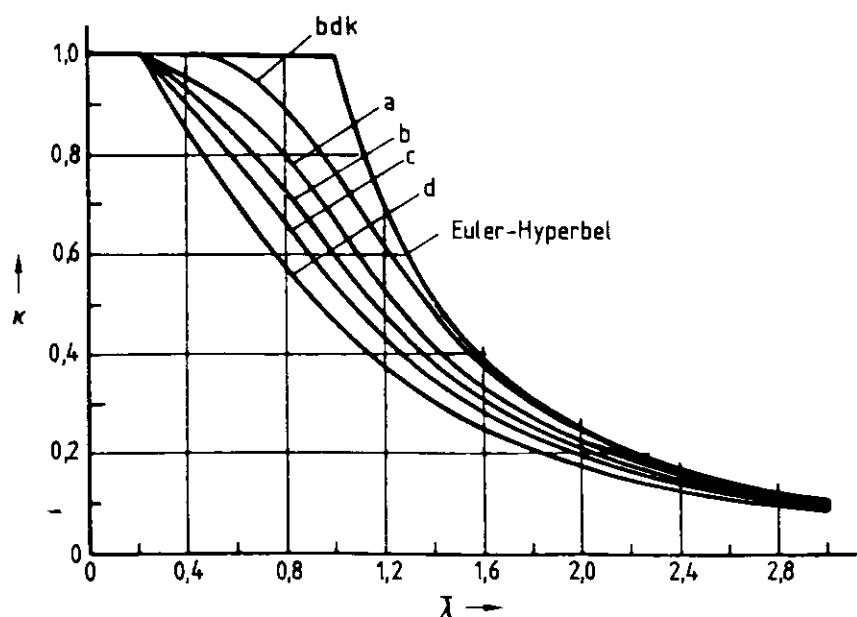


Bild 10. Abminderungsfaktoren  $\kappa$  für Biegeknicken (Knickspannungslinien a, b, c, d) und  $\kappa_M$  für Biegendrillknicken (bdk) nach Gleichung (18) mit  $n = 2,5$

### 3.3.2 Behinderung der Verformung

#### (308) Behinderung der seitlichen Verschiebung

Ausreichende Behinderung der seitlichen Verschiebung ist vorhanden bei Stäben, die durch ständig am Druckgurt anschließendes Mauerwerk ausgesteift sind, dessen Dicke nicht geringer ist als die 0,3fache Querschnittshöhe des Stabes.

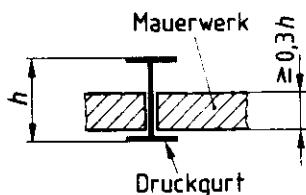


Bild 11. Aussteifung durch Mauerwerk

Wenn an Träger Trapezprofile nach DIN 18807 angeschlossen sind und Bedingung (7) erfüllt ist, dann darf die Anschlußstelle als in Trapezblechebene unverschieblich gehalten angesehen werden.

$$S \geq \left( EI_{\omega} \frac{\pi^2}{l^2} + GI_T + EI_z \frac{\pi^2}{l^2} 0,25 h^2 \right) \frac{70}{h^2} \quad (7)$$

Hierin bedeutet:

$S$  der auf den untersuchten Träger entfallende Anteil der Schubsteifigkeit der Trapezblechscheiben nach DIN 18807 Teil 1 bei Befestigung in jeder Profilrippe.

Wenn die Befestigung der Trapezprofile nur in jeder zweiten Profilrippe erfolgt, ist der Wert  $S$  durch  $0,2 \cdot S$  zu ersetzen.

Anmerkung: Bedingung (7) zur Bestimmung der seitlichen Unverschieblichkeit eines Trägergurtes (gebundene Drehachse) kann bei entsprechender Ausbildung der Anschlußstellen auch für andere Bekleidungen als Trapezbleche angewandt werden.

#### (309) Behinderung der Verdrehung durch Nachweis ausreichender Drehbettung

Bei Trägern mit doppeltsymmetrischem, I-förmigem Querschnitt, deren Abmessungsverhältnisse denen von Walzprofilen nach den Normen der Reihe DIN 1025 entsprechen, ist eine ausreichende Drehbettung vorhanden, wenn Bedingung (8) erfüllt ist.

$$c_{\delta,k} \geq \frac{M_{pl,k}^2}{EI_{z,k}} k_{\delta} \cdot k_v \quad (8)$$

mit

$k_v = 1,0$  bei Anwendung der Nachweisverfahren Elastisch-Plastisch und Plastisch-Plastisch (Tabelle 1, Zeilen 2 und 3)

$k_v = 0,35$  bei Anwendung des Nachweisverfahrens Elastisch-Elastisch (Tabelle 1, Zeile 1)

$k_{\delta}$  - nach Tabelle 6, Spalte 2, wenn sich der Träger ungehindert seitlich verschieben kann

- nach Tabelle 6, Spalte 3, wenn der Träger am Obergurt seitlich unverschieblich gehalten ist (gebundene Drehachse)

Tabelle 6. Beiwerte  $k_{\delta}$

	1	2	3
	Momentenverlauf	freie Drehachse	gebundene Drehachse
1		4,0	0
2a		3,5	0,12
2b			0,23
3		2,8	0
4		1,6	1,0
5		1,0	0,70

Anmerkung 1: Aus Vereinfachungsgründen ist Bedingung (8) im Gegensatz zu anderen Nachweisen mit den charakteristischen Werten formuliert.

Anmerkung 2: Bei der Ermittlung der wirksamen, vorhandenen Drehbettung  $c_{\delta,k}$  sind gegebenenfalls Verformungen des Anschlußbereiches zwischen dem gestützten Träger und dem abstützenden Bauteil zu berücksichtigen. Dies kann z.B. nach Gleichung (9) geschehen.

$$\frac{1}{c_{\delta,k}} = \frac{1}{c_{\delta M,k}} + \frac{1}{c_{\delta A,k}} + \frac{1}{c_{\delta P,k}} \quad (9)$$

Hierin bedeuten:

$c_{\delta,k}$  wirksame vorhandene Drehbettung

$c_{\delta M,k}$  theoretische Drehbettung nach Gleichung (10) aus der Biegesteifigkeit des abstützenden Bauteils „a“ bei Annahme einer starren Verbindung

$$c_{\delta M,k} = k \frac{(E \cdot I_a)_k}{a} \quad (10)$$

mit

$k = 2$  für Ein- und Zweifeldträger

$k = 4$  für Durchlaufträger mit 3 oder mehr Feldern

$(E \cdot I_a)_k$  Biegesteifigkeit des abstützenden Bauteils

$a$  Stützweite des abstützenden Bauteils

$c_{\delta A,k}$  Drehbettung aus der Verformung des Anschlusses, für Trapezprofile mit den Werten  $\bar{c}_{\delta A,k}$  nach Tabelle 7 aus Gleichung (11 a) bzw. (11 b) zu ermitteln

$$c_{\delta A,k} = \bar{c}_{\delta A,k} \left| \frac{\text{vorh } b}{100} \right|^2 \quad (11 \text{ a})$$

für  $\frac{\text{vorh } b}{100} \leq 1,25$

## DIN 18800 Teil 2

Tabelle 7. Charakteristische Werte für Anschlußsteifigkeiten  $\bar{c}_{\delta A,k}$  von Trapezprofilen aus Stahl, bezogen auf eine Gurtbreite  $b = 100$  mm

Zeile	Trapezprofilage		Schrauben im		Schraubenabstand		Scheiben-durchmesser mm	$\bar{c}_{\delta A,k}$ kNm/m	max $b_t^3)$ mm
	positiv	negativ	Untergurt	Obergurt	$b_r^1)$	$2 b_r^1)$			
<b>Auflast</b>									
1	x			x		x	22	5,2	40
2	x			x			x	22	3,1
3		x		x	x		Ka <sup>2)</sup>	10,0	40
4		x		x		x	Ka <sup>2)</sup>	5,2	40
5		x	x		x		22	3,1	120
6		x	x			x	22	2,0	120
<b>Sog</b>									
7	x			x		x	16	2,6	40
8	x			x			x	16	1,7

<sup>1)</sup>  $b_r$  Rippenabstand<sup>2)</sup> Ka Abdeckkappen aus Stahl mit  $t \geq 0,75$  mm<sup>3)</sup>  $b_t$  Breite des angeschlossenen Gurtes des Trapezprofils

Die angegebenen Werte gelten für Schrauben mit dem Durchmesser  $d \geq 6,3$  mm, die nach Bild 13 angegeben sind, sowie für Unterlegscheiben aus Stahl mit der Dicke  $d \geq 1,0$  mm und aufvulkanisierter Neoprendichtung.

$$c_{\delta A,k} = \bar{c}_{\delta A,k} \left| \frac{\text{vorh } b}{100} \right| 1,25 \quad (11b)$$

$$\text{für } 1,25 \leq \frac{\text{vorh } b}{100} \leq 2,0$$

vorh  $b$  vorhandene Breite des Gurtes des gestützten Trägers (in mm)

Weitere Angaben, auch für andere Dachdeckungen, siehe z.B. [3].

$c_{\delta P,k}$  Drehbettung aus der Profilverformung des gestützten Trägers; [4]

Anmerkung 3: Anstelle des Nachweises mit Bedingung (8) kann die wirksame vorhandene Drehbettung  $c_{\delta,k}$  auch bei der Ermittlung des idealen Biegedrillknickmomentes  $M_{K,i,y}$  berücksichtigt werden. Der Nachweis wird dann nach Abschnitt 3.3.4 geführt.

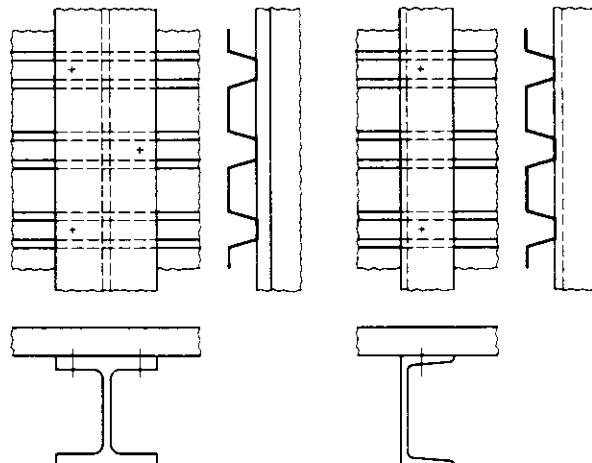


Bild 13. Beispiel für die Schraubenanordnung beim Trapezprofilanschluß

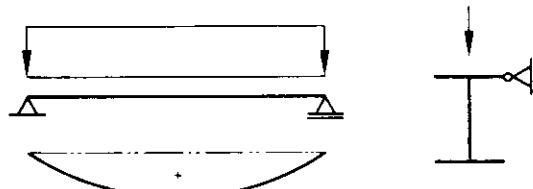


Bild 12. Beispiel für die Lage einer gebundenen Drehachse

## 3.3.3 Nachweis des Druckgurtes als Druckstab

(310) Bei I-Trägern mit zur Stegachse symmetrischem Querschnitt, deren Druckgurt in einzelnen Punkten im Abstand  $c$  seitlich unverschieblich gehalten ist, ist eine genauere Biegedrillknickuntersuchung nicht erforderlich, wenn Bedingung (12) erfüllt ist.

$$\bar{\lambda} \leq 0,5 \frac{M_{\text{ply},d}}{M_y} \quad (12)$$

Hierin ist

$$\bar{\lambda} = \frac{c \cdot k_c}{i_{z,g} \cdot \lambda_a} \quad (13)$$

mit  $i_{z,g}$  Trägheitsradius um die Stegachse  $z$  der aus Druckgurt und  $\frac{1}{s}$  des Steges gebildeten Querschnittsfläche

$k_c$  Beiwert für den Verlauf der Druckkraft im Druckgurt, nach Tabelle 8

Tabelle 8. Druckkraftbeiwerte  $k_c$

	Normalkraftverlauf	$k_c$
1		1,00
2		0,94
3		0,86
4		$1,33 - 0,33 \psi$

Ist Bedingung (12) nicht erfüllt, darf ein vereinfachter Nachweis mit Bedingung (14) geführt werden.

$$\frac{0,843 M_y}{\kappa \cdot M_{pl,y,d}} \leq 1 \quad (14)$$

Hierin ist

$M_y$  größter Absolutwert des Biegemomentes

$\kappa$  Abminderungsfaktor der Knickspannungslinie  $c$  oder  $d$  nach Gleichung (4) für  $\bar{\lambda}$  aus Gleichung (13)

- Knickspannungslinie  $d$  ist zu wählen für Träger, die keine gewalzten Träger nach Zeile 1 der Tabelle 9 sind und durch Querbelastung am Obergurt beansprucht werden. Hierbei ist zusätzlich Bedingung (15) einzuhalten.

$$\frac{h}{t} \leq 44 \sqrt{240/f_{y,d}} \quad (15)$$

mit den Trägerabmessungen

$h$  größte Gesamthöhe

$t$  Dicke des Druckgurtes

- Knickspannungslinie  $c$  darf in den übrigen Fällen gewählt werden.

Anmerkung: Vereinfachend kann statt mit  $i_{z,g}$  auch mit dem Trägheitsradius  $i_z$  des Gesamtprofils gerechnet werden.

### 3.3.4 Biegedrillknicken

(311) Für I-Träger sowie U- und C-Profilen, bei denen keine planmäßige Torsion auftritt, ist der Tragsicherheitsnachweis mit Bedingung (16) zu führen.

$$\frac{M_y}{\kappa_M \cdot M_{pl,y,d}} \leq 1 \quad (16)$$

Hierin bedeuten:

$M_y$  größter Absolutwert des Biegemomentes nach Abschnitt 3.1, Element 303

$\kappa_M$  Abminderungsfaktor für Biegemomente in Abhängigkeit vom bezogenen Schlankheitsgrad  $\bar{\lambda}_M$

$$\kappa_M = 1 \quad \text{für } \bar{\lambda}_M \leq 0,4 \quad (17)$$

$$\kappa_M = \left( \frac{1}{1 + \bar{\lambda}_M^{2n}} \right)^{1/n} \quad \text{für } \bar{\lambda}_M > 0,4 \quad (18)$$

mit

$n$  Trägerbeiwert nach Tabelle 9.

Falls Biegemomente  $M_y$  mit einem Momentenverhältnis  $\psi > 0,5$  nach Bild 14 vorhanden sind, so ist der Trägerbeiwert  $n$  mit einem Faktor  $k_n$  nach Bild 14 zu multiplizieren.

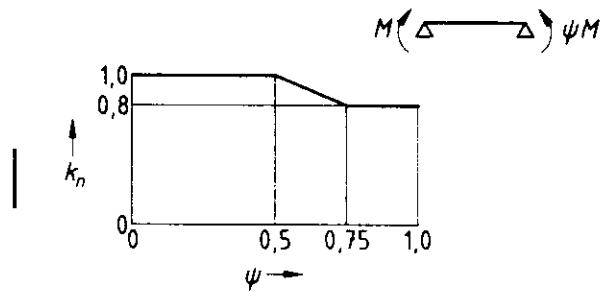


Bild 14. Faktor  $k_n$  für den Trägerbeiwert

Tabelle 9. Trägerbeiwert  $n$

	Profil	$n$
1	gewalzte Träger	2,5
2	geschweißte Träger	2,0
3	Wabenträger	1,5
4	Ausgeklinkte Träger	2,0
5	Voutenträger*)	$0,7 + 1,8 \frac{\min h}{\max h}$

\*) Wenn die Flansche an den Steg geschweißt sind, ist der Trägerbeiwert  $n$  zusätzlich mit 0,8 zu multiplizieren.

## DIN 18800 Teil 2

Anmerkung 1: Zur Berechnung von  $\bar{\lambda}_M$  muß das ideale Biegedrillknickmoment  $M_{Ki,y}$  bekannt sein. Dazu können Angaben der Literatur entnommen werden, z.B. [5], [6]. Bei gleichbleibendem, doppelt-symmetrischem Querschnitt darf Gleichung (19) oder (20) angewendet werden.

$$M_{Ki,y} = \zeta \cdot N_{Ki,z} \left( \sqrt{c^2 + 0,25 z_p^2} + 0,5 z_p \right) \quad (19)$$

mit

$\zeta$  Momentenbeiwert für Gabellagerung an den Enden, nach Tabelle 10

$$N_{Ki,z} = \pi^2 \cdot E \cdot I_z / l^2$$

$$c^2 = \frac{I_\omega + 0,039 l^2 \cdot I_T}{I_z}$$

$z_p$  Abstand des Angriffspunktes der Querbelastung vom Schwerpunkt, auf der Biegezugseite positiv

Tabelle 10. Momentenbeiwerte  $\zeta$

Zeile	Momentenverlauf	$\zeta$
1		1,00
2		1,12
3		1,35
4		$1,77 - 0,77 \psi$

Vereinfachend kann bei Trägerhöhen  $h \leq 60$  cm Gleichung (19) auch durch Gleichung (20) ersetzt werden.

$$M_{Ki,y} = \frac{1,32 b \cdot t (E \cdot I_y)}{l \cdot h^2} \quad (20)$$

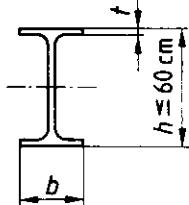


Bild 15. Abmessungen für die vereinfachten Nachweise nach Gleichung (20) oder (21)

Anmerkung 2:  $\kappa_M$  kann auch dem Bild 10 entnommen werden, wenn der Trägerbeiwert  $n = 2,5$  ist; die Kurve ist dort mit bdk bezeichnet.

Anmerkung 3: Der Wert  $\kappa_M = 1$  darf bei Trägerhöhen  $h \leq 60$  cm (siehe Bild 15) und gleichbleibendem Querschnitt angenommen werden, wenn die Bedingung (21) erfüllt ist.

$$l \leq \frac{b \cdot t}{h} 200 \frac{240}{f_{y,k}} \quad (21)$$

mit  $f_{y,k}$  in  $\text{N/mm}^2$

Anmerkung 4: Der Trägerbeiwert  $n$  (in der Literatur [5], [6] als Systemfaktor bezeichnet) deckt Einflüsse aus Eigenspannungen und Vorverformungen auf die Traglast ab, nicht jedoch Einflüsse von Lagerbedingungen, die über  $M_{Ki,y}$  erfaßt werden.

### 3.4 Einachsige Biegung mit Normalkraft

#### 3.4.1 Stäbe mit geringer Normalkraft

(312) Stäbe mit geringer Normalkraft, die die Bedingung (22) erfüllen, dürfen unter Vernachlässigung dieser Normalkraft nach Abschnitt 3.3 nachgewiesen werden.

$$\frac{N}{\kappa \cdot N_{pl,d}} < 0,1 \quad (22)$$

#### 3.4.2 Biegeknicken

##### 3.4.2.1 Vereinfachter Nachweis für Sonderfälle

(313) Für den beidseitig gelenkig gelagerten Stab mit einer Querbelastung in Form einer Strecken- oder Einzellast und dem maximalen Moment  $M$  nach Theorie I. Ordnung darf Bedingung (3) angewendet werden, wobei jedoch in Gleichung (4 b)  $k$  nach Gleichung (23) einzusetzen ist.

$$k = 0,5 \left[ 1 + \alpha (\bar{\lambda}_K - 0,2) + \bar{\lambda}_K^2 + \frac{M/M_{pl,d}}{N/N_{pl,d}} \right] \quad (23)$$

Es ist Abschnitt 3.2.1, Element 305, zu beachten.

#### 3.4.2.2 Ersatzstabverfahren

##### 314 Nachweisformat

Der Tragsicherheitsnachweis ist mit Bedingung (24) unter Verwendung der Knickspannungslinien nach Abschnitt 3.2.1 zu führen

$$\frac{N}{\kappa \cdot N_{pl,d}} + \frac{\beta_m \cdot M}{M_{pl,d}} + \Delta n \leq 1 \quad (24)$$

mit

$\kappa$  Abminderungsfaktor nach Gleichung (4) in Abhängigkeit von  $\bar{\lambda}_K$  für die maßgebende Knickspannungslinie (siehe Tabelle 5) für Ausweichen in der Momentenebene

$\beta_m$  Momentenbeiwert für Biegeknicken nach Tabelle 11, Spalte 2

Momentenbeiwerte  $\beta_m < 1$  sind nur bei Stäben mit unverschieblicher Lagerung der Stabenden und gleichbleibendem Querschnitt unter konstanter Druckkraft ohne Querlasten zulässig.

$M$  Größter Absolutwert des Biegemomentes nach Elastizitätstheorie I. Ordnung ohne Ansatz von Imperfektionen

$$\Delta n = \frac{N}{\kappa \cdot N_{pl,d}} \left[ 1 - \frac{N}{\kappa \cdot N_{pl,d}} \right] \cdot \kappa^2 \cdot \bar{\lambda}_K^2$$

jedoch  $\Delta n \leq 0,1$

Bei der Berechnung von  $M_{pl,d}$  ist Abschnitt 1.4.2, Element 123, zu beachten.

Bei doppelsymmetrischen Querschnitten, die mindestens einen Stegflächenanteil von 18% haben, darf in Bedingung (24)  $M_{pl,d}$  durch  $1,1 M_{pl,d}$  ersetzt werden, wenn

$$\frac{N}{N_{pl,d}} > 0,2 \quad (25)$$

ist.

Anmerkung 1: Für den Sonderfall  $M = 0$  geht Bedingung (24) im Traglastzustand in die Bedingung (3) über.

Anmerkung 2: Vereinfachend darf für  $\Delta n$  auch entweder  $0,25 \kappa^2 \cdot \bar{\lambda}_K^2$  oder 0,1 gesetzt werden.

### (315) Einfluß von Querkräften

Der Einfluß der Querkräfte auf die Tragfähigkeit des Querschnitts ist zu berücksichtigen.

Anmerkung: Dies kann durch Reduktion der vollplastischen Schnittgrößen berücksichtigt werden, z.B. nach DIN 18800 Teil 1, Tabellen 16 und 17.

### (316) Veränderliche Querschnitte und Normalkräfte

Bei veränderlichen Querschnitten und/oder Normalkräften muß der Nachweis mit Bedingung (24) für alle maßgebenden Querschnitte mit den jeweils zugehörigen Schnittgrößen, Querschnittswerten und der zugehörigen Normalkraft  $N_{Ki}$  an der betreffenden Stelle geführt werden. Zusätzlich müssen die Bedingungen (5) und (6) nach Abschnitt 3.2.1, Element 305, eingehalten werden.

### (317) Biegesteife Verbindungen

Bei der Bemessung von biegesteifen Verbindungen ist statt des vorhandenen Biegemomentes  $M$  das vollplastische Biegemoment  $M_{pl,d}$  zu berücksichtigen, sofern kein genauerer Nachweis geführt wird.

Anmerkung: Bei einem genaueren Nachweis wird bei der Bemessung der Verbindungen das Biegemoment nach Theorie II. Ordnung unter Berücksichtigung von Ersatzimperfektionen zugrunde gelegt.

### (318) Stababschnitte ohne Druckkräfte

Stababschnitte ohne Druckkräfte, die aufgrund der Verbindung mit druckkraftbeanspruchten Stäben Biegemomente aufnehmen, sind mit Bedingung (26) nachzuweisen. Die Streckgrenze der druckkraftfreien Querschnitte darf dabei nicht kleiner sein als die der druckkraftbeanspruchten.

$$\frac{M}{\frac{M_{pl,d}}{1 - \frac{1,15}{\eta_{Ki}}}} \leq 1 \quad (26)$$

mit  $\eta_{Ki} > 1,15$

Anmerkung: Stababschnitte ohne Druckkräfte können z.B. Rahmenriegel sein, die an druckbeanspruchten Stützen angeschlossen sind.

### (319) Einwirkungsfälle Lagerbewegung und Temperatur

Bei der Bestimmung des Biegemomentes  $M$  sind gegebenenfalls auch Einflüsse von Verformungen infolge der Einwirkungsfälle Lagerbewegung oder Temperatur zu berücksichtigen.

Anmerkung: Angaben hierzu sind der Literatur zu entnehmen (z.B. [7]).

#### 3.4.3 Biegedrillknicken

(320) Für Stäbe, bei denen keine planmäßige Torsion auftritt, mit konstanter Normalkraft und doppelt- oder einfachsymmetrischem, I-förmigem Querschnitt, deren Abmessungsverhältnisse denen der Walzprofile entsprechen, sowie für U- und C-Profile ist der Tragsicherheitsnachweis mit Bedingung (27) zu führen.

$$\frac{N}{\kappa_z \cdot N_{pl,d}} + \frac{M_y}{\kappa_M \cdot M_{pl,y,d}} \cdot k_y \leq 1 \quad (27)$$

Außer den im Abschnitt 3.3.4 erläuterten Größen bedeuten:

$\kappa_z$  Abminderungsfaktor nach Gleichung (4) mit  $\bar{\lambda}_{K,z}$  für das Ausweichen rechtwinklig zur z-Achse

$$\bar{\lambda}_{K,z} = \sqrt{\frac{N_{pl}}{N_{Ki}}} \quad \text{bezogener Schlankheitsgrad für Normalkraftbeanspruchung}$$

$N_{Ki}$  Normalkraft unter der kleinsten Verzweigungslast für das Ausweichen rechtwinklig zur z-Achse oder Drillknicklast

$\beta_{M,y}$  Momentenbeiwert  $\beta_M$  für Biegedrillknicken nach Tabelle 11, Spalte 3 zur Erfassung der Form des Biegemomentes  $M_y$

$k_y$  Beiwert zur Berücksichtigung des Momentenverlaufs  $M_y$  und des bezogenen Schlankheitsgrades  $\bar{\lambda}_{K,z}$

$$k_y = 1 - \frac{N}{\kappa_z \cdot N_{pl,d}} \cdot a_y, \quad \text{jedoch } k_y \leq 1$$

$$a_y = 0,15 \cdot \bar{\lambda}_{K,z} \cdot \beta_{M,y} - 0,15, \quad \text{jedoch } a_y \leq 0,9$$

Anmerkung 1: Insbesondere bei U- und C-Profilen ist zu beachten, daß planmäßige Torsion mit diesem Nachweis nicht erfaßt ist.

Anmerkung 2: T-Querschnitte sind durch die Regelungen dieses Abschnitts nicht erfaßt.

Anmerkung 3: Eine Näherung auf der sicheren Seite ist mit  $k_y = 1$  gegeben.

Anmerkung 4: Die Drillknicklast wird z.B. bei einem Stab mit gebundener Drehachse maßgebend.

## 3.5 Zweiachsige Biegung mit oder ohne Normalkraft

### 3.5.1 Biegeknicken

#### (321) Nachweismethode 1

Bei Anwendung der Nachweismethode 1 ist der Tragsicherheitsnachweis mit Bedingung (28) zu führen.

$$\frac{N}{\kappa \cdot N_{pl,d}} + \frac{M_y}{M_{pl,y,d}} \cdot k_y + \frac{M_z}{M_{pl,z,d}} \cdot k_z \leq 1 \quad (28)$$

mit

$\kappa = \min(\kappa_y, \kappa_z)$  Abminderungsfaktor der maßgebenden Knickspannungslinie nach Gleichung (4)

$M_y, M_z$  größter Absolutwert der Biegemomente nach Theorie I. Ordnung ohne Ansatz von Imperfektionen

$\beta_{M,y}, \beta_{M,z}$  Momentenbeiwerte  $\beta_M$  nach Tabelle 11, Spalte 3 zur Erfassung der Form der Biegemomente  $M_y, M_z$

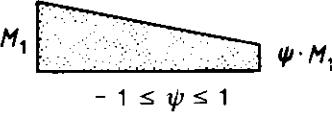
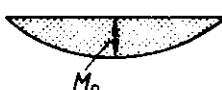
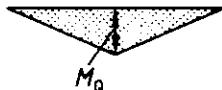
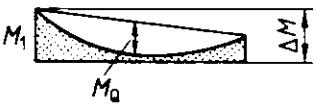
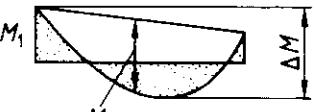
$\alpha_{pl,y}, \alpha_{pl,z}$  plastische Formbeiwerte für Biegemomente  $M_y$  bzw.  $M_z$ . Abschnitt 1.4.2, Element 123, ist hierbei nicht anzuwenden.

$k_y$  Beiwert zur Berücksichtigung des Momentenverlaufs  $M_y$  und des bezogenen Schlankheitsgrades  $\bar{\lambda}_{K,y}$

$$k_y = 1 - \frac{N}{\kappa_y \cdot N_{pl,d}} \cdot a_y, \quad \text{jedoch } k_y \leq 1,5$$

$$a_y = \bar{\lambda}_{K,y} (2 \beta_{M,y} - 4) + (\alpha_{pl,y} - 1) \quad \text{jedoch } a_y \leq 0,8$$

Tabelle 11. Momentenbeiwerte

	1	2	3
	Momentenverlauf	Momentenbeiwerte $\beta_m$ für Biegeknicken	Momentenbeiwerte $\beta_M$ für Biegendrillknicken
1	Stabendmomente  $-1 \leq \psi \leq 1$	$\beta_{m,\psi} = 0,66 + 0,44 \psi$ jedoch $\beta_{m,\psi} \geq 1 - \frac{1}{\eta_{K1}}$ und $\beta_{m,\psi} \geq 0,44$	$\beta_{M,\psi} = 1,8 - 0,7 \psi$
2	Momente aus Querlast  	$\beta_{m,Q} = 1,0$	$\beta_{M,Q} = 1,3$ $\beta_{M,Q} = 1,4$
3	Momente aus Querlasten mit Stabendmomenten   	$\psi \leq 0,77:$ $\beta_m = 1,0$ $\psi > 0,77:$ $\beta_m = \frac{M_Q + M_1 \cdot \beta_{m,\psi}}{M_Q + M_1}$	$\beta_M = \beta_{M,\psi} + \frac{M_Q}{\Delta M} (\beta_{M,Q} - \beta_{M,\psi})$  $M_Q =  \max M $ nur aus Querlast  $\Delta M = \begin{cases}  \max M  & \text{bei nicht-} \\ & \text{durch-} \\ & \text{schlagendem} \\ & \text{Momenten-} \\ & \text{verlauf} \\  \max M  +  \min M  & \text{bei durch-} \\ & \text{schlagendem} \\ & \text{Momenten-} \\ & \text{verlauf} \end{cases}$

$k_z$  Beiwert zur Berücksichtigung des Momentenverlaufs  $M_z$  und des bezogenen Schlankheitsgrades  $\bar{\lambda}_{K,z}$

$$k_z = 1 - \frac{N}{\kappa_z \cdot N_{pl,d}} a_z \quad \text{jedoch } k_z \leq 1,5$$

$$a_z = \bar{\lambda}_{K,z} (2 \beta_{M,z} - 4) + (a_{pl,z} - 1) \quad \text{jedoch } a_z \leq 0,8$$

$M_{pl,z,d}$  Bemessungswert des Biegemomentes  $M_z$  im vollplastischen Zustand ohne Berücksichtigung von Abschnitt 1.4.2, Element 123.

Abschnitt 3.2.1, Element 305, ist zu beachten.

Anmerkung 1: Wenn Bedingung (28) für den Fall der einachsigen Biegung mit Normalkraft angewendet wird, ist für  $\kappa$  der Abminderungsfaktor für die betrachtete Biegeebene einzusetzen.

Anmerkung 2: Die tatsächlich vorhandene Vergrößerung der Schnittgrößen nach Theorie II. Ordnung wird dadurch erfaßt, daß die bezogenen Schlankheitsgrade  $\bar{\lambda}_{K,y}$  und  $\bar{\lambda}_{K,z}$  über die Knicklängen am Gesamtsystem ermittelt werden, siehe [8].

### (322) Nachweismethode 2

Bei Anwendung der Nachweismethode 2 ist der Tragsicherheitsnachweis mit Bedingung (29) zu führen.

$$\frac{N}{\kappa \cdot N_{pl,d}} + \frac{\beta_{m,y} \cdot M_y}{M_{pl,y,d}} k_y + \frac{\beta_{m,z} \cdot M_z}{M_{pl,z,d}} k_z + \Delta n \leq 1 \quad (29)$$

mit

$\kappa = \min(\kappa_y, \kappa_z)$  Abminderungsfaktor der maßgebenden Knickspannungslinie nach Gleichung (4)

$M_y, M_z$  Größter Absolutwert der Biegemomente nach Theorie I. Ordnung ohne Ansatz von Imperfektionen

$\beta_{m,y}, \beta_{m,z}$  Momentenbeiwert  $\beta_m$  für Biegeknicken nach Tabelle 11, Spalte 2 zur Erfassung der Form des Biegemomentes  $M_y$  bzw.  $M_z$

$k_y = 1, k_z = c_z$  für  $\kappa_y < \kappa_z$   
 $k_y = 1, k_z = 1$  für  $\kappa_y = \kappa_z$   
 $k_y = c_y, k_z = 1$  für  $\kappa_z < \kappa_y$

$$c_z = \frac{1}{c_y} = \frac{1 - \frac{N}{N_{pl,d}} \bar{\lambda}_{K,y}^2}{1 - \frac{N}{N_{pl,d}} \bar{\lambda}_{K,z}^2}$$

Für  $\Delta n$  siehe Abschnitt 3.4.2.2, Element 314, wobei  $\bar{\lambda}_K$  zugehörig zu  $\kappa$  einzusetzen ist; die übrigen Elemente dieses Abschnitts sind sinngemäß anzuwenden.

Anmerkung: Falls nur ein Biegemoment vorhanden ist, geht Bedingung (29) in Bedingung (24) über, wenn für  $\kappa$  der Abminderungsfaktor für die betrachtete Biegeebene eingesetzt wird.

### 3.5.2 Biegedrillknicken

(323) Für Stäbe mit konstanter Normalkraft und mit doppelt- oder einfachsymmetrischem I-förmigem Querschnitt, deren Abmessungsverhältnisse denen der Walzprofile entsprechen, ist der Tragsicherheitsnachweis mit Bedingung (30) zu führen.

$$\frac{N}{k_z \cdot N_{pl,d}} + \frac{M_y}{\kappa_M \cdot M_{pl,y,d}} k_y + \frac{M_z}{M_{pl,z,d}} k_z \leq 1 \quad (30)$$

mit

$k_y$  nach Abschnitt 3.4.3, Element 320  
 $k_z$  nach Abschnitt 3.5.1, Element 321

Die übrigen Größen sind in den Abschnitten 3.3.4, 3.4.3 und 3.5.1 erläutert.

Anmerkung 1: Planmäßige Torsion ist in diesem Nachweis nicht erfaßt.

Anmerkung 2: T-Querschnitte sind durch die Regelungen dieses Abschnitts nicht erfaßt.

Anmerkung 3: Eine Näherung auf der sicheren Seite ist mit  $k_y = 1$  und  $k_z = 1.5$  gegeben.

## 4 Mehrteilige, einfeldrige Stäbe

### 4.1 Allgemeines

#### (401) Ausweichen rechtwinklig zur Stoffachse

Mehrteilige Stäbe, deren Querschnitte eine Stoffachse haben, sind für das Ausweichen rechtwinklig zu dieser Stoffachse wie einteilige Stäbe nach Abschnitt 3 zu berechnen. Für Druck und planmäßige Biegung  $M_y$  gilt das nur, wenn kein planmäßiges Biegemoment  $M_z$  vorhanden ist.

#### (402) Ausweichen rechtwinklig zur stofffreien Achse

Für das Ausweichen rechtwinklig zur stofffreien Achse dürfen mehrteilige Stäbe mit unveränderlichem Querschnitt ersatzweise wie einteilige Stäbe berechnet werden, wobei neben den Momenten- auch die Querkraftverformungen zu berücksichtigen sind. Dabei sind die Einzelglieder für ihre Schnittgrößen zu bemessen, die sich aus den Gesamtschnittgrößen ergeben (siehe Abschnitte 4.3.2 und 4.3.3).

Anmerkung: Es kann auch ein Stabwerk unter Berücksichtigung aller Einzelstäbe berechnet werden. Für die ersatzweise Berechnung als Vollstab werden Angaben für Rahmenstäbe mit 2 Gurten gemacht. Angaben für mehr als 2 Gurte können der Literatur entnommen werden. [9]

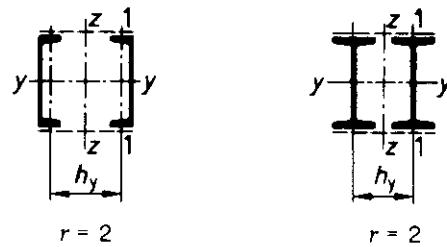


Bild 16. Beispiele für mehrteilige Stäbe, deren Querschnitte eine Stoffachse haben

#### (403) Querschnitte mit zwei stofffreien Achsen

Bei Querschnitten mit zwei stofffreien Achsen gelten die folgenden Abschnitte sinngemäß für beide Achsen.

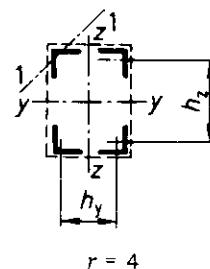


Bild 17. Beispiel für einen mehrteiligen Stab, dessen Querschnitt zwei stofffreie Achsen hat

### 4.2 Häufig verwendete Formelzeichen

#### (404)

$l$	Systemlänge des mehrteiligen Stabes
$r$	Anzahl der einzelnen Gurte
$h_y, h_z$	Spreizung der Gurtstäbe, von deren Schwerlinien aus gerechnet
$a$	Länge des Gurtstabes zwischen 2 Knotenpunkten
$A_G$	ungeschwächte Querschnittsfläche eines Gurtes
$A = \sum A_G$	ungeschwächte Querschnittsfläche des mehrteiligen Stabes
$A_D$	ungeschwächte Querschnittsfläche eines Diagonalstabes aus dem Fachwerkverband
$i_1$	kleinster Trägheitsradius des Querschnittes eines einzelnen Gurtes
$I_{z,G}$	Flächenmoment 2. Grades (Trägheitsmoment) eines Gurtquerschnittes um seine zur stofffreien z-Achse parallele Schwerachse

## DIN 18800 Teil 2

$y_s$  Schwerpunktabstand des einzelnen Gurtquerschnittes von der z-Achse

$I_z = \sum (A_G \cdot y_s^2 + I_{z,G})$  Flächenmoment 2. Grades (Trägheitsmoment) des Gesamtquerschnittes um die stofffreie z-Achse unter der Annahme schubstarrer Verbindung der Gurte

$s_{K,z}$  Knicklänge des Ersatzstabes ohne Berücksichtigung seiner Querkraftverformung

$\lambda_{K,z} = \frac{s_{K,z}}{\sqrt{\frac{I_z}{A}}}$  Schlankheitsgrad des Ersatzstabes bei Rahmenstäben ohne Berücksichtigung der Querkraftverformungen

$\eta$  Korrekturwert nach Tabelle 12 für Rahmenstäbe

$I_z^* = \sum (A_G \cdot y_s^2 + \eta \cdot I_{z,G})$  Rechenwert für das Flächenmoment 2. Grades (Trägheitsmoment) des Gesamtquerschnittes bei Rahmenstäben

$I_z^* = \sum (A_G \cdot y_s^2)$  Rechenwert für das Flächenmoment 2. Grades (Trägheitsmoment) des Gesamtquerschnittes bei Gitterstäben

$W_z^* = \frac{I_z^*}{y_s}$  Widerstandsmoment des Gesamtquerschnittes, bezogen auf die Schwerachse des äußersten Gurtes

$S_{z,d}^*$  Bemessungswert der Schubsteifigkeit des Ersatzstabes

Anmerkung 1: Die Schubsteifigkeit entspricht derjenigen Querkraft, die den Schubwinkel  $\gamma = 1$  hervorruft.

Anmerkung 2: Beispiele für die Schubsteifigkeit von Rahmen- und Gitterstäben sind in Tabelle 13 enthalten.

Anmerkung 3: Bei Rahmenstäben ist die Schubsteifigkeit mit dem Faktor  $\pi^2/12$  multipliziert, um ein reines Schubversagen des Einzelfeldes auszuschließen (Tabelle 13).

### 4.3 Ausweichen rechtwinklig zur stofffreien Achse

#### 4.3.1 Schnittgrößenermittlung am Gesamtstab

(405) Die Schnittgrößen des Gesamtstabes sind unter Beachtung der jeweils vorliegenden Randbedingungen zu ermitteln. Für den planmäßig mittig gedrückten Stab mit gelenkiger, unverschieblicher Lagerung der Enden betragen die Schnittgrößen des Gesamtstabes

$$- \text{ in Stabmitte: } M_z = \frac{N \cdot v_0}{1 - \frac{N}{N_{K,z,d}}} \quad (31)$$

mit

$$N_{K,z,d} = \frac{1}{\frac{l^2}{\pi^2 \cdot (E \cdot I_z^*)_d} + \frac{1}{S_{z,d}^*}} \quad (32)$$

$$- \text{ am Stabende: } \max V_y = \frac{\pi \cdot M_z}{l} \quad (33)$$

Anmerkung 1: Schnittgrößen für Druck und planmäßige Biegung können der Literatur entnommen werden, z.B. [10].

Anmerkung 2: Die Bezeichnung  $V$  anstelle von  $Q$  für die Querkraft wird in Übereinstimmung mit internationalem Regelwerken verwendet.

#### 4.3.2 Nachweis der Einzelstäbe

##### 4.3.2.1 Gurte von Gitterstäben und Rahmenstäben

(406) Mit den Schnittgrößen des schubweichen Gesamtstabes ergibt sich die Normalkraft des meistbeanspruchten Gurtes zu

$$N_G = \frac{N}{r} \pm \frac{M_z}{W_z^*} A_G \quad (34)$$

Mit der Normalkraft  $N_G$  ist der Gurtabschnitt nach Abschnitt 3.2 unter der Annahme beidseitig gelenkiger Lagerung nachzuweisen. Für den Schlankheitsgrad  $\lambda_{K,1}$  gilt

$$\lambda_{K,1} = \frac{s_{K,1}}{i_1} \quad (35)$$

mit

$s_{K,1}$  Knicklänge des Gurtabschnittes. Hierfür darf in der Regel die Gurtlänge  $a$  zwischen den Knotenpunkten eingesetzt werden. Die Knicklänge für Gurtabschnitte von vierteiligen Gitterstäben aus Winkelprofilen muß nach Tabelle 13 angesetzt werden.

Anmerkung: Für Gitterstäbe nach Tabelle 13, Spalten 4 und 5 mit Querlasten innerhalb der Gurtlänge  $a$  kann der Nachweis nach Abschnitt 3.4 geführt werden.

Tabelle 12. Korrekturwerte  $\eta$  für Rahmenstäbe

$\lambda_{K,z}$	$\eta$
$\leq 75$	1
$75 < \lambda_{K,z} \leq 150$	$2 - \frac{\lambda_{K,z}}{75}$
$> 150$	0

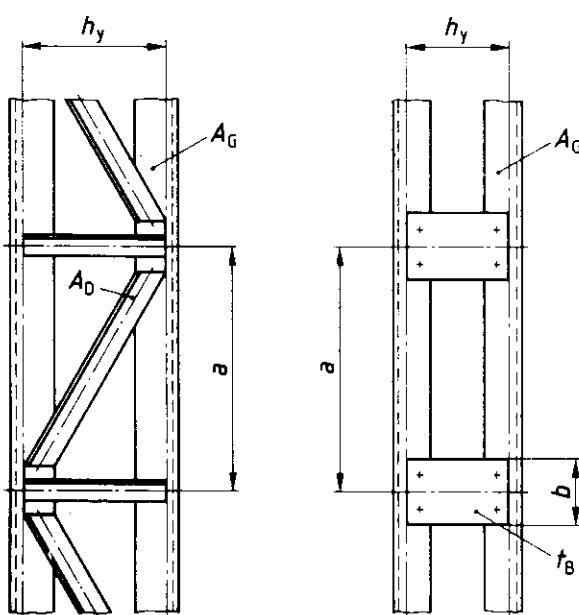


Bild 18. Mehrteilige Stäbe, Beispiele für Gitterstab und Rahmenstab

Tabelle 13. Knicklängen  $s_{K,1}$  und Ersatzschubsteifigkeiten  $S_{z,d}^*$  von Gitter- und Rahmenstäben

	1	2	3	4	5	6
1			Gitterstäbe			Rahmenstäbe
2						
3	$s_{K,1}$	1,52 a	1,28 a	a	a	a
4	$S_{z,d}^*$	$S_{z,d}^* = m \cdot (E \cdot A_D)_d \cdot \cos \alpha \cdot \sin^2 \alpha$ $m$ Anzahl der zur stofffreien Achse rechtwinkligen Verbände			$S_{z,d}^*$	$= \frac{2 \pi^2 \cdot (E \cdot I_{z,G})_d}{a^2}$

Die Knicklängen  $s_{K,1}$  nach Spalte 1 und 2 gelten nur für Gurte aus Winkelstählen, wobei der Schlankheitsgrad  $\lambda_1$  mit dem kleinsten Trägheitsradius  $i_1$  gebildet wird.

Werden ausnahmsweise Verbindungsmittel mit Schlupf verwendet, so darf dies durch eine entsprechende Erhöhung der geometrischen Ersatzimperfektion berücksichtigt werden.

Die Angaben für  $S_{z,d}^*$  gelten nicht für den Gerüstbau. Dort sind in der Regel sehr nachgiebige Verbindungsmittel vorhanden, deren Einfluß dann zu berücksichtigen ist.

Anmerkung: Weitere Angaben zur Nachgiebigkeit und zum Schlupf der Verbindungsmittel sowie zur Erfassung von Anschlußexzentrizitäten der Füllstäbe in Gitterstäben können der Literatur entnommen werden, z.B. [9].

#### 4.3.2.2 Füllstäbe von Gitterstäben

(407) Die Normalkräfte der Füllstäbe ergeben sich aus den Querkräften  $V_y$  des Gesamtstabes. Die Füllstäbe sind nach Abschnitt 3.2 unter der Annahme beidseitig gelenkiger Lagerung nachzuweisen. Die Knicklänge ist Abschnitt 5.1.2 zu entnehmen.

Anmerkung: Für den planmäßig mittig gedrückten Stab ergibt sich die Querkraft  $V_y$  des Gesamtstabes nach Gleichung (33).

#### 4.3.3 Nachweis der Einzelfelder von Rahmenstäben

##### (408) Einzelfeld zwischen zwei Bindeblechen

Für das zwischen zwei Bindeblechen liegende Einzelfeld, das die maximale Querkraft  $\max V_y$  aus der Berechnung des Gesamtsystems erhält, ist nachzuweisen, daß für einen Gurt mit

$$\text{dem Stabendmoment } M_G = \frac{\max V_y}{r} \frac{a}{2} \quad (36)$$

$$\text{der Querkraft } V_G = \frac{\max V_y}{r} \quad (37)$$

der Normalkraft

$$N_G = \frac{N}{r} \pm \frac{M_z(x_B)}{W_z^*} A_G \quad (38)$$

mit  $x_B$  Längskoordinate an der Stelle des Bindebleches

die Tragfähigkeit ausreichend ist.

Bei einfachsymmetrischen Gurtquerschnitten darf das aufnehmbare Moment  $M$  an den Enden des Gurtabschnittes aus dem Mittelwert der aus der Interaktionsbedingung zu entnehmenden Momente  $\pm M_{pl,N_G}$  gebildet werden.

Anmerkung 1: Die plastische Tragfähigkeit des Gurtquerschnitts nach den Interaktionsbedingungen darf in Anspruch genommen werden, [9], [10]. Dabei ist die Querkraft  $V_G$  in der Regel vernachlässigbar.

Anmerkung 2: Die aufnehmbaren Momente  $M_{pl,N_G}$  der Gurte am Bindeblechanschluß sind wegen der unterschiedlichen Drehrichtung verschieden groß. Das Rahmenfeld versagt erst bei Ausnutzung aller  $M_{pl,N_G}$ -Werte, [9].

## DIN 18800 Teil 2

Anmerkung 3: Auch bei Gurten aus Winkelprofilen sind die Momentenachsen hier parallel zur stofffreien Achse anzunehmen.

(409) **Bindebleche**

Die Bindebleche sind mit ihren Anschlüssen für die Schubkraft  $T$  und den entsprechenden Momentenverlauf zu bemessen (vergleiche z.B. Tabelle 14).

Das gilt auch für mehrteilige Rahmenstäbe mit geringer Spreizung nach den Bildern 19, 20 und 21. Zu berücksichtigen sind die Momente in den Schwerpunkten der Bindeblechanschlüsse.

**Bei Anordnung von Flachstahlfutterstücken als Querverbindung in Rahmenstäben nach den Bildern 19 und 21 genügt eine Bemessung des Anschlusses für die vorhandene Schubkraft  $T$ .**

Tabelle 14. Schnittgrößenverteilung in den Bindeblechen von Rahmenstäben

	1	2
1	Querschnitt mehrteiliger Rahmenstäbe	
2	Statisches Modell	
3	Biegemomentenverteilung in der Querverbindung unter den Schubkräften $T$	
4	Schubkraft $T$ in der Querverbindung	$T = \frac{V \cdot a}{h_y}$

#### 4.4 Mehrteilige Rahmenstäbe mit geringer Spreizung

(410) **Querschnitte mit einer stofffreien Achse**

Stäbe mit Querschnitten nach Bild 19 dürfen auch für das Ausweichen rechtwinklig zur stofffreien Achse wie einheitliche Druckstäbe nach Abschnitt 3 berechnet werden, wenn

- die Abstände der nach Abschnitt 4.5 angeordneten Bindebleche oder Flachstahlfutterstücke nicht mehr als  $15 i_1$  betragen

oder

- zur Verbindung ein durchgehendes Flachstahlfutter verwendet wird, das in Abständen kleiner als  $15 i_1$  angeschlossen ist.

Ein durchgehendes Futter darf bei der Ermittlung des Trägheitsmomentes berücksichtigt werden. Bei der Ermittlung der Querschnittsfläche  $A$  gilt dies nur, wenn es am Knotenblech ausreichend angeschlossen ist.

Die Schubkraft  $T$  in den Bindeblechen, Anschlüssen der Futterstücke oder Futter darf in diesem Falle für eine Querkraft  $V$  berechnet werden, die  $2,5\%$  der Druckkraft im Rahmenstab beträgt.

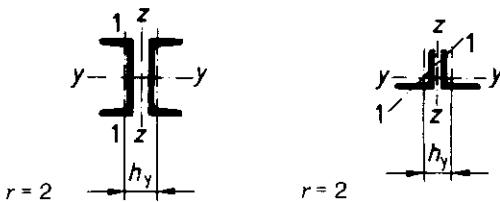


Bild 19. Mehrteilige Stäbe, deren Querschnitte eine Stoffachse haben und bei denen der lichte Abstand der Einzelstäbe nicht oder nur wenig größer ist als die Dicke des Knotenbleches

(411) **Querschnitte aus zwei übereck gestellten Winkelprofilen**

Stäbe mit Querschnitten aus zwei übereck gestellten Winkelprofilen (Bild 20) brauchen nur für das Ausweichen rechtwinklig zur Stoffachse mit

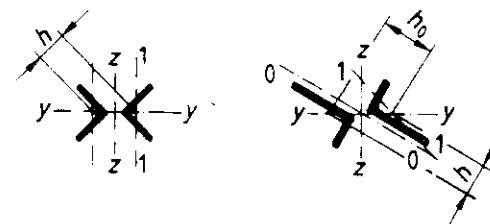
$$\lambda_{K,y} = \frac{s_{K,y}}{i_y} \quad (39)$$

nachgewiesen zu werden, wobei im Falle zweier verschiedener Knicklängen für  $s_{K,y}$  das arithmetische Mittel der beiden Knicklängen eingesetzt wird.

Bei Winkelprofilen mit dem im Bild 20 b dargestellten Querschnitt darf

$$i_y = \frac{i_0}{1.15} \quad (40)$$

eingesetzt werden, wobei sich der Trägheitsradius  $i_0$  des Gesamtquerschnittes auf die zum langen Winkelschenkel parallele Schwerachse bezieht.



a)  $r = 2$

b)  $r = 2$

Bild 20. Mehrteilige Stäbe, deren Querschnitt aus zwei übereck gestellten Winkelprofilen besteht

Aufeinanderfolgende Bindebleche dürfen versetzt oder gleichgerichtet angeordnet werden. Die Schubkraft  $T$  darf wie in Element 410 angegeben ermittelt werden.

Anmerkung: Die Knicklängen von Stäben oder Pfosten in Fachwerken sind nach Abschnitt 5.1.2.1, Element 503, für das Ausweichen in oder aus der Fachwerkebene verschieden groß. Hier stellt sich eine mittlere Ausweichrichtung ein.

**(412) Querschnitte mit zwei stofffreien Achsen**

Für mehrteilige Stäbe nach Bild 21, bei denen der lichte Abstand der Einzelstäbe nicht oder nur wenig größer als die Dicke des Knotenblechs ist, sind die für mehrteilige Stäbe nach Bild 19 angegebenen Regelungen sinngemäß auf die beiden stofffreien Achsen anzuwenden.

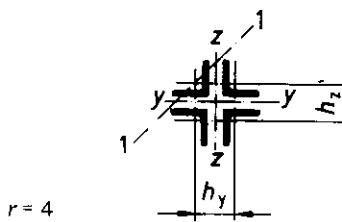


Bild 21. Mehrteiliger Stab mit geringer Spreizung, dessen Querschnitt zwei stofffreie Achsen hat

**4.5 Konstruktive Anforderungen****(413) Erhaltung der Querschnittsform**

Bei Stäben, deren Querschnitt zwei stofffreie Achsen hat, muß die Erhaltung der rechteckigen Querschnittsform durch Querschotter gesichert werden.

Anmerkung: Querschotter sind z.B. Verbände, Bleche oder Rahmen.

**(414) Anordnung der Bindebbleche und Flachstahlfutterstücke**

Rahmenstäbe müssen an den Enden Bindebbleche erhalten. Für Gitterstäbe gilt dies ebenfalls, wenn kein Endverband mit gekreuzten Diagonalen angeordnet wird.

Werden mehrteilige Stäbe an ein gemeinsames Knotenblech angeschlossen, so ist beim Knotenblech die Wirkung als Endbindebblech oder Endfutterblech zu berücksichtigen.

Die übrigen Bindebbleche sind so aufzuteilen, daß die lichten Abstände gleich oder angenähert gleich groß werden. An ihrer Stelle dürfen bei Stäben nach den Bildern 19 und 21 Flachstahlfutterstücke verwendet werden. Die Felderzahl muß  $n \geq 3$  sein. Es ist Bedingung (41) einzuhalten.

$$\frac{a}{i_1} \leq 70 \quad (41)$$

**5 Stabwerke****5.1 Fachwerke****5.1.1 Allgemeines****(501) Berechnung der Stabkräfte**

Die Stabkräfte eines Fachwerkes dürfen unter Annahme gelenkiger Knotenpunktausbildung berechnet werden. Nebenspannungen infolge der Knotenausbildung brauchen nicht berücksichtigt zu werden.

Bei Druckgurten mit einem über die Länge veränderlichen Querschnitt darf in der Regel die Außermittigkeit des Kraftangriffes im Einzelstab unberücksichtigt bleiben, wenn die gemittelte Schwerachse der Einzelquerschnitte in die Systemlinie des Druckgurtes gelegt wird.

**(502) Nachweis für druckbeanspruchte Stäbe**

Druckbeanspruchte Stäbe dürfen nach Abschnitt 3, 4 bzw. 7 nachgewiesen werden.

**5.1.2 Knicklängen planmäßig mittig gedrückter Fachwerkstäbe****5.1.2.1 Allgemeines****(503) Stäbe mit unverschieblich gehaltenen Enden**

Für Streben und Pfosten, deren Knoten gegen Ausweichen aus der Fachwerkebene unverschieblich gehalten sind und die durch Schweißen oder mit mindestens zwei Schrauben angeschlossen sind, gilt für das Ausweichen, sofern kein genauerer Nachweis geführt wird

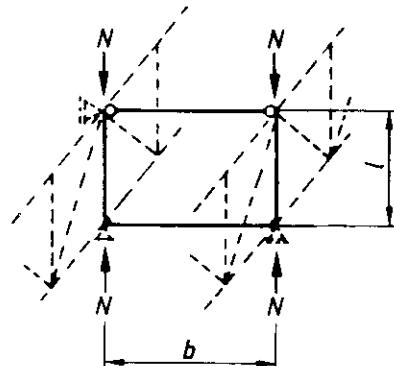
in der Fachwerkebene:  $s_K = 0,9 l$  (42)

rechtwinklig zur Fachwerkebene:  $s_K = l$  (43)

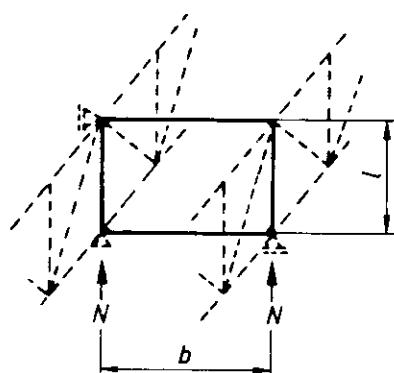
**(504) Stäbe mit elastisch gehaltenen Enden**

Für Streben und Pfosten, die rechtwinklig zur Fachwerkebene an den Knotenpunkten durch Querträger oder Querriegel horizontal gehalten und elastisch eingespannt sind, hängt die Knicklänge für das Ausweichen rechtwinklig zur Fachwerkebene von der konstruktiven Ausbildung ab.

Anmerkung: Die Knicklänge  $s_{K,y}$  der Fachwerkstäbe nach Bild 22 für das Ausweichen rechtwinklig zur Fachwerkebene kann mit Bild 27 bestimmt werden.



Rechtwinklig zur Fachwerkebene horizontal gehaltene, einseitig elastisch eingespannte Pfosten



Rechtwinklig zur Fachwerkebene horizontal gehaltene, beidseitig elastisch eingespannte Pfosten

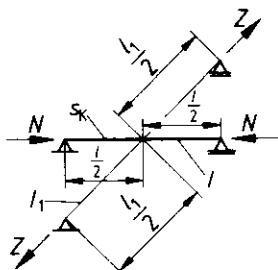
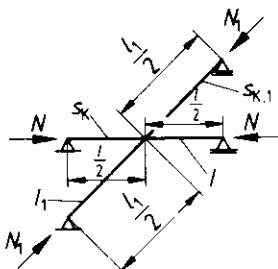
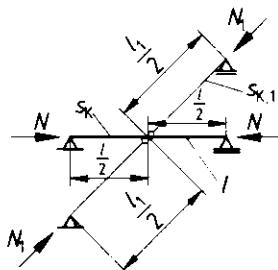
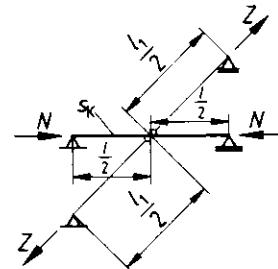
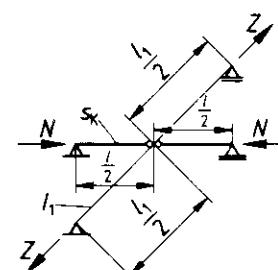
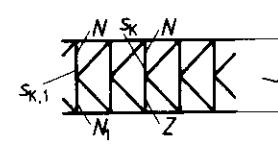
Bild 22. Fachwerkstäbe mit drehelastisch gehaltenen Enden für das Ausweichen rechtwinklig zur Fachwerkebene

**(505) Stäbe mit einem verschieblichen und einem oder zwei drehelastisch gehaltenen Enden**

Für Streben oder Pfosten in Fachwerkhaupträgern, die zugleich Stiele verschieblicher Querrahmen (Portalrahmen) sind, darf bei rechtwinklig zur Fachwerkebene gehaltenen Fachwerkuntergurten die Knicklänge rechtwinklig zur Fachwerkebene wie für nicht richtungstreue Druckkräfte bestimmt werden.

## DIN 18800 Teil 2

Tabelle 15. Knicklängen von Fachwerkstäben mit konstanten Querschnitten für das Ausweichen rechtwinklig zur Fachwerkebene

	1	2	3
1		$s_K = l \sqrt{\frac{1 - \frac{3}{4} \frac{Z \cdot l}{N \cdot l_1}}{1 + \frac{I_1 \cdot l^3}{I \cdot l_1^3}}}$ <p>jedoch <math>s_K \geq 0,5 l</math></p>	
2		$s_K = l \sqrt{\frac{1 + \frac{N_1 \cdot l}{N \cdot l_1}}{1 + \frac{I_1 \cdot l^3}{I \cdot l_1^3}}}$ <p>jedoch <math>s_K \geq 0,5 l</math></p>	$s_{K,1} = l_1 \sqrt{\frac{1 + \frac{N \cdot l_1}{N_1 \cdot l}}{1 + \frac{I \cdot l_1^3}{I_1 \cdot l_1^3}}}$ <p>jedoch <math>s_{K,1} \geq 0,5 l_1</math></p>
3		<p>durchlaufender Druckstab</p> $s_K = l \sqrt{1 + \frac{\pi^2}{12} \cdot \frac{N_1 \cdot l}{N \cdot l_1}}$	<p>gelenkig angeschlossener Druckstab</p> $s_{K,1} = 0,5 l_1$ <p>wenn</p> $(E \cdot I)_d \geq \frac{N_1 \cdot l^3}{\pi^2 \cdot l_1} + \frac{\pi^2}{12} + \frac{N \cdot l_1}{N_1 \cdot l}$
4		$s_K = l \sqrt{1 - 0,75 \frac{Z \cdot l}{N \cdot l_1}}$ <p>jedoch <math>s_K \geq 0,5 l</math></p>	
5		$s_K = 0,5 l$ <p>wenn <math>\frac{N \cdot l_1}{Z \cdot l} \leq 1</math></p> <p>oder wenn gilt</p> $(E \cdot I_1)_d \geq \frac{3 Z \cdot l_1^2}{4 \pi^2} \left( \frac{N \cdot l_1}{Z \cdot l} - 1 \right)$	
6		$s_K = l \left( 0,75 - 0,25 \left  \frac{Z}{N} \right  \right)$ <p>jedoch <math>s_K \geq 0,5 l</math></p>	$s_{K,1} = l \left( 0,75 + 0,25 \frac{N_1}{N} \right)$ <p><math>N_1 &lt; N</math></p>

Anmerkung 1: Rechtwinklig zur Fachwerkebene können Gurte z.B. durch die Fahrbahn gehalten werden.

Anmerkung 2: Die Knicklänge kann mit Hilfe der Bilder 36 bis 38 bestimmt werden.

**5.1.2.2** Fachwerkstäbe, die durch einen anderen Fachwerkstab gestützt werden

**(506) Verbindung an der Kreuzungsstelle**

An der Kreuzungsstelle müssen beide Stäbe unmittelbar oder über ein Knotenblech miteinander verbunden werden.

Wenn beide Stäbe durchlaufen, ist deren Verbindung für eine Kraft, rechtwinklig zur Fachwerkebene wirkend, von 10% der größeren Druckkraft zu bemessen.

**(507) Knicklänge in der Fachwerkebene**

Für das Ausweichen in der Fachwerkebene ist als Knicklänge die Netzlänge bis zum Knotenpunkt der sich kreuzenden Stäbe anzunehmen.

**(508) Knicklänge rechtwinklig zur Fachwerkebene**

Die Knicklängen für das Ausweichen rechtwinklig zur Fachwerkebene dürfen in Abhängigkeit von der konstruktiven Ausbildung aus Tabelle 15 entnommen werden.

**5.1.2.3** Fachwerk-Füllstäbe, die in ihrer Mitte federnd gestützt sind

**(509)** Für das Ausweichen rechtwinklig zur Fachwerkebene dürfen die Knicklängen in Abhängigkeit von der Rahmensteifigkeit mit Gleichung (44) bestimmt werden.

$$s_K = l \sqrt{1 - \frac{3}{16} \frac{C \cdot l}{N}} \quad (44)$$

Hierin bedeuten:

$l$  Systemlänge des Stabes

$N$  größte Druckkraft des Stabes ( $N_1$  oder  $N_2$ )

$C_d$  Rahmensteifigkeit (Kraft pro Längeneinheit) bezüglich der Verschiebung der Anschlußstellen von Füllstäben und Pfosten des Halbrahmens rechtwinklig zur Fachwerkebene, jedoch  $C_d \leq 4 N/L$

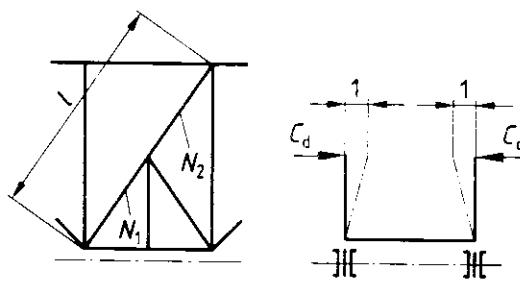


Bild 23. Fachwerkfüllstab und Rahmensteifigkeit

**5.1.2.4** Fachwerk-Füllstäbe aus einem einteiligen Winkelprofil

**(510)** Bei Winkelprofilen, die gelenkig, z.B. mit nur einer Schraube angeschlossen sind, ist der Einfluß der Exzentrizität zu berücksichtigen.

Wenn einer der beiden Winkelschenkel im Knoten biegesteif angeschlossen ist, darf der Einfluß der Exzentrizität vernachlässigt und die Biegeknickuntersuchung nach Abschnitt 3.2.1 mit dem bezogenen Schlankheitsgrad  $\lambda'_K$  aus Tabelle 16 geführt werden.

Tabelle 16. **Bezogener Schlankheitsgrad  $\lambda'_K$**

	1	2
1	$0 < \bar{\lambda}_K \leq \sqrt{2}$	$\bar{\lambda}'_K = 0,35 + 0,753 \bar{\lambda}_K$
2	$\sqrt{2} < \bar{\lambda}_K \leq 3,0$	$\bar{\lambda}'_K = 0,50 + 0,646 \bar{\lambda}_K$
3	$\bar{\lambda}_K = \frac{l}{i_1 \cdot \lambda_a}$	bezogener Schlankheitsgrad des Füllstabes $l$ Systemlänge des Füllstabes $i_1$ kleinster Trägheitsradius des Winkelquerschnittes

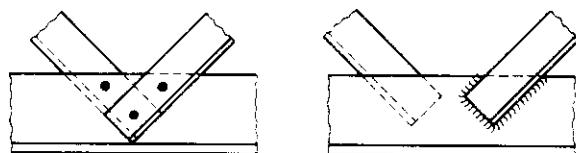


Bild 24. Beispiele für biegesteif angeschlossene Winkelprofile

**5.2 Rahmen und Durchlaufträger mit unverschieblichen Knotenpunkten**

**5.2.1 Vernachlässigbarkeit von Normalkraftverformungen**

**(511)** Die im Abschnitt 5.2 angegebenen Kriterien und Formeln setzen voraus, daß die Normalkraftverformungen der Stiele von Rahmen und Aussteifungselementen vernachlässigbar sind. Diese Voraussetzung ist erfüllt, wenn die Bedingung (45) eingehalten ist.

$$E \cdot I \geq 2,5 S \cdot L^2 \quad (45)$$

Darin sind

$E \cdot I$  die Biegesteifigkeit.

$S$  die Stockwerksteifigkeit und

$L$  die Gesamthöhe (siehe Bild 25)

der Aussteifungskonstruktion bzw. des Stockwerkrahmens.

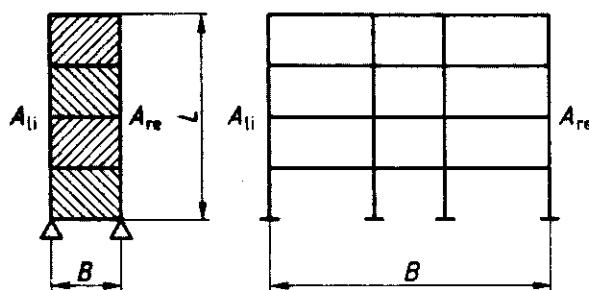
Ist  $E \cdot I$  oder  $S$  über die Stockwerke veränderlich, dürfen Mittelwerte eingesetzt werden.

$I$  darf näherungsweise mit Gleichung (46) berechnet werden.

$$I = \frac{B^2}{\frac{1}{A_{li}} + \frac{1}{A_{re}}} \quad (46)$$

worin die Breite  $B$  und die Querschnittsflächen  $A_{li}$ ,  $A_{re}$  der Stiele gemäß Bild 25 definiert sind.

## Aussteifungskonstruktion Stockwerkrahmen

Bild 25. Festlegungen zur Berechnung von  $I$  gemäß Gleichung (46)

Bei allen Beziehungen, die Rahmen betreffen, wird vorausgesetzt, daß für die Riegel die Stabkennzahl  $\varepsilon \leq 1$  ist.

Anmerkung 1: Die Bedingung (45) beinhaltet, daß für einen biege- und schubelastischen Kragstab mit  $E \cdot I$  und  $S = \text{const}$  unter einer Gleichlast die Verschiebung am freien Ende aus der Querkraft mindestens 10mal so groß ist wie die aus dem Biegemoment.

Anmerkung 2: Formeln für  $S$  von Aussteifungselementen sind in Tabelle 17, von Stockwerkrahmen in Abschnitt 5.3.2.1 angegeben.

### 5.2.2 Definition der Unverschieblichkeit von Rahmen

(512) **Unverschieblichkeit ausgesteifter Rahmen**

Wirken bei der Aufnahme von horizontalen Lasten in Stabwerkebene der Rahmen und die aussteifenden Bauteile zusammen, so ist der Rahmen als unverschieblich anzusehen, wenn die Steifigkeit der Aussteifungselemente mindestens 5mal so groß ist wie die Steifigkeit des Rahmens im betrachteten Stockwerk.

$$S_{\text{Ausst}} \geq 5 S_{\text{Ra}} \quad (47)$$

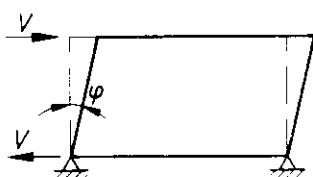
Bedingung (47) braucht vereinfachend nur auf das unterste Stockwerk angewendet zu werden, wenn dessen Steifigkeitsverhältnisse nicht wesentlich von denen der weiteren Stockwerke abweichen.

Anmerkung: Aussteifende Bauteile sind z.B. Wandscheiben und Verbände. Ihre Steifigkeiten können z.B. Tabelle 17 entnommen werden.

(513) **Stockwerksteifigkeit**

Die Stockwerksteifigkeit  $S$  eines Rahmens oder eines aussteifenden Bauteils ist durch Gleichung (48) und Bild 26 definiert:

$$S = V/\varphi \quad (48)$$

Bild 26. Definition der Stockwerksteifigkeit  $S$ 

$S_{\text{Ra}}$  darf vereinfachend nach Abschnitt 5.3.2.1, Element 519 mit  $S_{\text{Ausst}} = 0$  berechnet werden.

Tabelle 17. Steifigkeit  $S_{\text{Ausst}}$  einzelner Aussteifungselemente

	1	2
	Aussteifungselement	$S_{\text{Ausst}}$
1	Wandscheibe (z.B. Mauerwerk)	$G \cdot t \cdot l$
2	Verband (eine Diagonale wirksam)	$E \cdot A \cdot \sin \alpha \cdot \cos^2 \alpha$ doppelter Wert bei ausreichender Vorspannung des Verbandes

### 5.2.3 Berechnung der Aussteifungselemente

(514) **Grundforderung**

Die Aussteifungselemente sind nach Theorie II. Ordnung unter Ansatz aller horizontalen Lasten sowie der Abtriebskräfte aus Imperfektionen für Aussteifungssystem und Rahmen zu berechnen.

(515) **Imperfektionen**

Als geometrische Ersatzimperfektion ist die Schrägstellung  $\varphi_0$  aller Stiele von Rahmen und Aussteifung nach Abschnitt 2.3 anzusetzen.

(516) **Berechnung nach Theorie I. Ordnung**

Werden die Schnittgrößen nach der Elastizitätstheorie ermittelt, so darf nach Theorie I. Ordnung gerechnet werden, wenn für jedes Stockwerk Bedingung (49) erfüllt ist.

$$\frac{S_{\text{Ausst},d}}{N} \geq 10 \quad (49)$$

mit

$S_{\text{Ausst},d}$  Summe der Steifigkeiten aller den Rahmen aussteifenden Elemente des betrachteten Stockwerks

$N$  Summe aller in dem betrachteten Stockwerk übertragenen Vertikallasten

Ist Bedingung (49) nicht erfüllt, so ist die aus der Berechnung nach Theorie II. Ordnung resultierende Querkraft bei der Bemessung der aussteifenden Elemente zu berücksichtigen.

Vereinfachend darf dies dadurch erfolgen, daß die Querkraft nach Theorie I. Ordnung einschließlich der Abtriebskraft  $N \cdot \varphi_0$  mit dem Vergrößerungsfaktor  $\alpha$  nach Gleichung (50) multipliziert wird.

$$\alpha = \frac{1}{1 - (N S_{\text{Ausst},d})} \quad (50)$$

Anmerkung: Für ein Aussteifungselement gilt allgemein:

$$N_{\text{Kl},d} = S_{\text{Ausst},d}$$

## 5.2.4 Berechnung von Rahmen und Durchlaufträgern

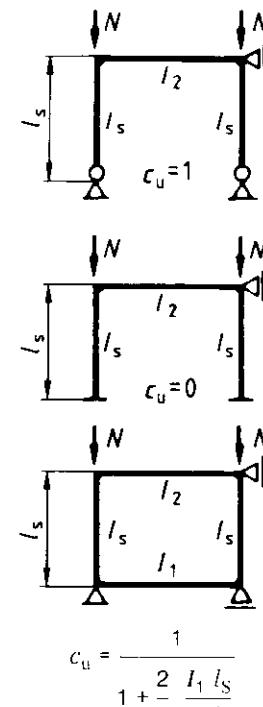
(517) Der Tragsicherheitsnachweis darf durch den Nachweis der einzelnen Stäbe des Systems nach Abschnitt 3 geführt werden.

Bei der Biegeknickuntersuchung für unverschiebbliche Rahmen nach Abschnitt 3.4.2.2 darf für Momentenanteile aus Querlasten auf Riegel beim Nachweis der Stiele der Momentenbeiwert  $\beta_m$  für Biegeknicken nach Tabelle 11, Spalte 2, verwendet werden.

Beim Nachweis der Riegel nach Bedingung (26) darf das maximale Biegemoment mit dem Faktor  $(1 - 0,8/\eta_{K3})$  abgemindert werden, sofern im Riegel keine oder nur geringe Druckkräfte vorhanden sind.

Anmerkung: Die für einen solchen Nachweis benötigten Knicklängen können Bild 27 entnommen werden; Anwendungsbeispiele siehe [11].

## Sonderfälle



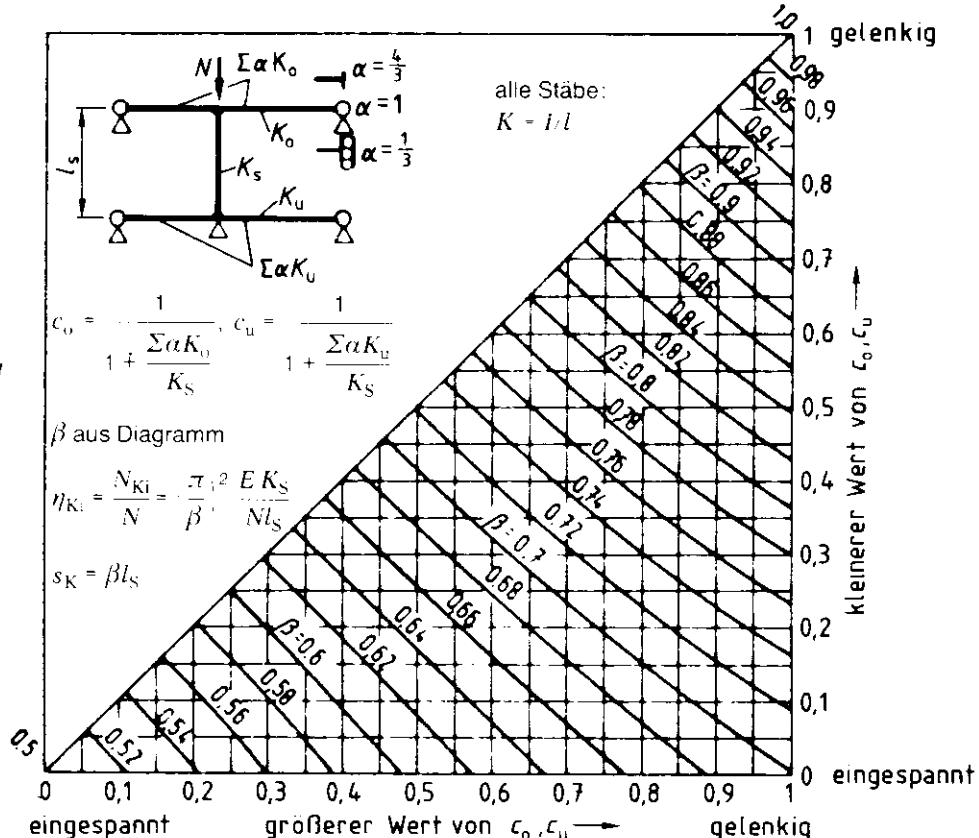
$$c_u = \frac{1}{1 + \frac{2}{3} \frac{l_1 l_s}{I_s l_2}}$$

für alle drei Fälle

$$c_u = \frac{1}{1 + \frac{2}{3} \frac{l_2 l_s}{I_s l_2}}$$

$$s_K = \beta l_s$$

$$\eta_{K3} = \frac{\frac{\pi}{\beta l_s}^2 E I_s}{N}$$



Zerlegung eines unverschieblichen Rahmens in einstielige Teilrahmen, für die das Diagramm angewendet werden kann

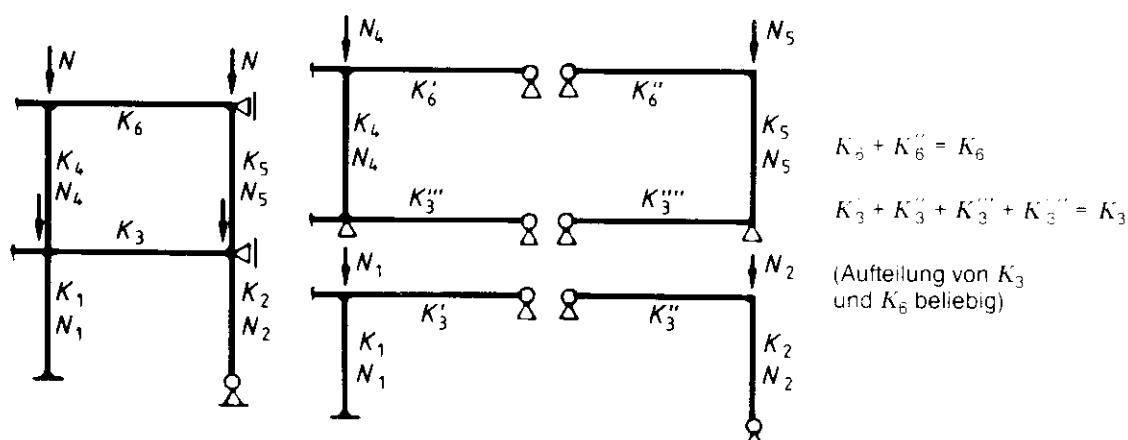


Bild 27. Diagramm zur Bestimmung des Verzweigungslastfaktors  $\eta_{K3}$  und der Knicklängen  $s_K$  für Stiele unverschieblicher Rahmen mit  $\epsilon_{Riegel} \leq 0,3$

### 5.3 Rahmen und Durchlaufträger mit verschieblichen Knotenpunkten

#### 5.3.1 Vernachlässigbarkeit von Normalkraftverformungen

(518) Es gilt Element 511.

#### 5.3.2 Verschiebliche ebene Rahmen

Anmerkung: Bei der Verwendung steifenloser Riegel-Stützen-Verbindungen in geschweißter oder geschraubter Ausführung sollte das Trag- und Verformungsverhalten der Verbindungen beachtet werden. Dies betrifft die plastische Tragfähigkeit in Verbindung mit der Rotationsfähigkeit sowie die Verformungen unter Gebrauchslasten.

##### 5.3.2.1 Berechnung nach Elastizitätstheorie I. Ordnung

(519) Für Stockwerkkrahmen mit beliebiger Stockwerks- und Felderzahl, mit gelenkig gelagerten oder starr eingespannten Fußpunkten, mit innerhalb eines Stockwerks gleich langen Stielen sowie mit ausschließlich horizontal verschieblichen Knoten, darf für die Ermittlung der Schnittgrößen die Theorie I. Ordnung angewendet werden, wenn in jedem Stockwerk  $r$  Bedingung (51) erfüllt ist.

$$\eta_{Ki,r} \geq 10 \quad (51)$$

mit

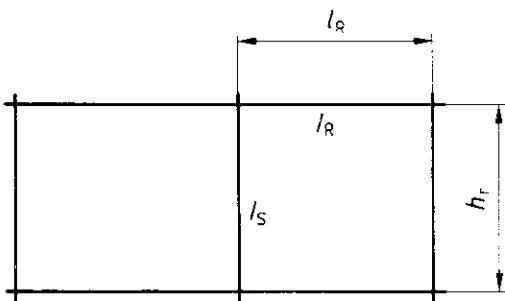
$$\eta_{Ki,r} = \frac{S_{r,d}}{1,2 \cdot N_r}$$

$N_r$  Summe aller im Stockwerk  $r$  übertragenen Vertikallasten

Dabei ist die Stockwerkssteifigkeit  $S_r$  nach den Gleichungen (52) bis (54) mit den Bezeichnungen nach Bild 28 zu bestimmen.

Für das 1. Stockwerk ( $r = 1$ ) ist bei starrer Einspannung der Stielfußpunkte

$$S_{1,d} = \frac{6(6 + k_1)}{3 + 2k_1} \cdot \frac{(E \cdot C_1)_d}{h_1} + S_{1,Ausst,d} \quad (52)$$



bei gelenkiger Lagerung der Stielfußpunkte

$$S_{1,d} = \frac{6}{2 + k_1} \cdot \frac{(E \cdot C_1)_d}{h_1} + S_{1,Ausst,d} \quad (53)$$

Für die weiteren Stockwerke  $r$  ist

$$S_{r,d} = \frac{6(6 + k_r + k_{r-1})}{(2 + k_r)(2 + k_{r-1}) - 1} \cdot \frac{(E \cdot C_r)_d}{h_r} + S_{r,Ausst,d} \quad (54)$$

mit

$S_{r,Ausst,d}$  Steifigkeit der gegebenenfalls vorhandenen Aussteifungselemente im Stockwerk  $r$

Wenn eine Berechnung nach Theorie I. Ordnung für die äußeren Horizontalkräfte bereits durchgeführt ist, kann  $\eta_{Ki,r}$  auch aus Gleichung (55) berechnet werden.

$$\eta_{Ki,r} = \frac{V_r^H}{\varphi_r \cdot N_r} \quad (55)$$

mit

$V_r^H$  Querkraft im Stockwerk  $r$  aus äußeren Horizontallasten

$\varphi_r$  zugehöriger Drehwinkel im Stockwerk  $r$ , berechnet nach Theorie I. Ordnung

Anmerkung 1: Bei Anwendung der Theorie I. Ordnung sind die nach DIN 18800 Teil 1, Abschnitt 7.4, Elemente 729 und 730 reduzierten Vorverdrehungen  $\varphi_0$  zu berücksichtigen.

Anmerkung 2:  $\eta_{Ki,r}$  kann alternativ mit Hilfe von Bild 29 ermittelt werden.

$$N_{Ki,r,d} = \frac{S_{r,d}}{1,2} \text{ stellt eine auf der sicheren Seite liegende Abschätzung des Bemessungswertes der Verzweigungslast dar; Anwendungsbeispiele siehe [11].}$$

Stockwerk  $r+1$   $C_{r+1} = \dots$

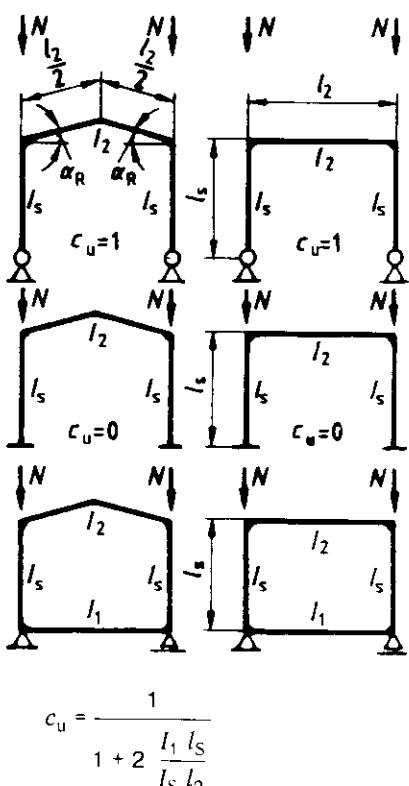
$$\text{Riegel } r \quad B_r = 2 \sum \frac{l_R}{l_R} \quad k_r = \frac{C_r + C_{r+1}}{B_r}$$

$$\text{Stockwerk } r \quad C_r = \frac{1}{h_r} \sum l_S$$

$$\text{Riegel } r-1 \quad k_{r-1} = \dots$$

Bild 28. Bezeichnungen und Hilfswerte zur Berechnung von  $S_{r,d}$

## Sonderfälle



$$c_u = \frac{1}{1 + 2 \frac{I_1 l_s}{l_s l_2}}$$

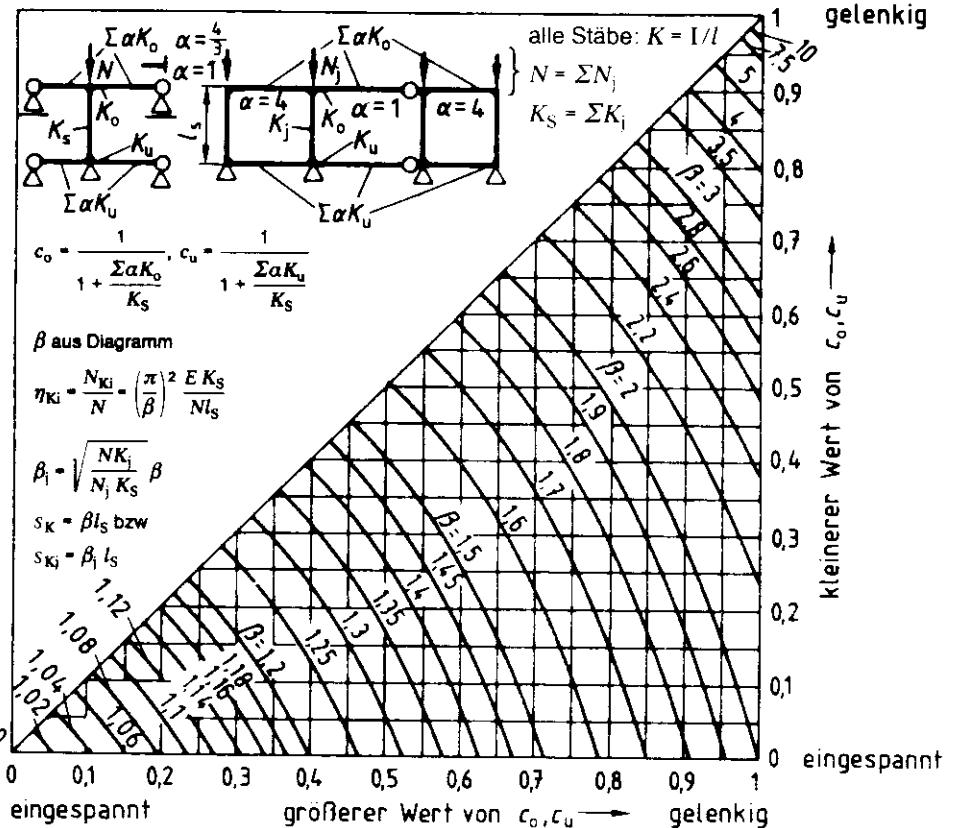
für alle sechs Fälle

$$c_o = \frac{1}{1 + 2 \frac{I_2 l_s}{l_s l_2}}$$

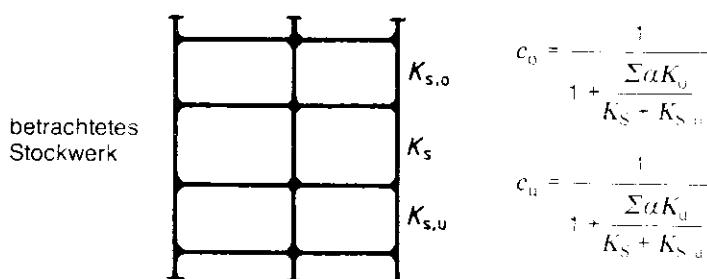
$$s_K = \beta l_s$$

$$\eta_{Ki} = \frac{N_{Ki}}{N} = \frac{\left(\frac{\pi}{\beta l_s}\right)^2 EI_s}{N}$$

unabhängig von  $\alpha_R$



Mehrgeschossiger Rahmen: die Formeln für  $C_o$ ,  $C_u$  sind zu ersetzen durch



$$c_o = \frac{1}{1 + \frac{\sum \alpha K_o}{K_s + K_{s,o}}}$$

$$c_u = \frac{1}{1 + \frac{\sum \alpha K_u}{K_s + K_{s,u}}}$$

Bild 29. Diagramm zur Bestimmung des Verzweigungslastfaktors  $\eta_{Ki}$  und der Knicklänge  $s_K$  für Stiele verschieblicher Rahmen mit  $\varepsilon_{Riegel} \leq 0,3$

### 5.3.2.2 Vereinfachte Berechnung nach Elastizitätstheorie II. Ordnung

#### (520) Rechengang

Unter Ansatz einer vergrößerten Stockwerksquerkraft nach den Elementen 521 oder 522 ist die Berechnung wie nach Theorie I. Ordnung durchzuführen.

#### (521) Stockwerksquerkraft

Für Stockwerkräume mit Stabkennzahlen  $\varepsilon < 1,6$  darf mit vergrößerten Stockwerksquerkräften  $V_r$  nach Gleichung (56) gerechnet werden.

$$V_r = V_r^H + q_{r,0} \cdot N_r + 1,2 q_r \cdot N_r \quad (56)$$

## DIN 18800 Teil 2

Hierin bedeuten:

- $V_r^H$  Stockwerksquerkraft nur aus äußeren Horizontallasten  
 $N_r$  Summe aller im Stockwerk  $r$  übertragenen Vertikallasten  
 $\varphi_0$  Vorverdrehung nach Abschnitt 2.3  
 $\varphi_r$  Drehwinkel der Stiele im Stockwerk  $r$  (berechnet nach der vereinfachten Theorie II. Ordnung dieses Abschnittes)

Anmerkung: Bei Anwendung eines Verschiebungsgroßverfahrens (Drehwinkelverfahrens), bei dem die Stielrehwinkel  $\varphi_r$  als Unbekannte auftreten, ergibt sich im Vergleich zu Theorie I. Ordnung aus dem Zusatzterm  $1,2 \varphi_r \cdot N_r$  lediglich eine Verkleinerung der Hauptdiagonalglieder in den Gleichgewichtsbedingungen der Stockwerke und aus dem Zusatzterm  $\varphi_0 \cdot N_r$  eine Vergrößerung der Lastglieder dieser Gleichungen. Der Rechenaufwand ist damit nur unwesentlich größer als nach Theorie I. Ordnung.

#### (522) Näherungsweise Berechnung der Stockwerksquerkraft

Wenn in allen Stockwerken Bedingung (57) erfüllt ist, darf  $V_r$  statt nach Gleichung (56) näherungsweise auch aus Gleichung (58) bestimmt werden:

$$\eta_{Ki,r} = \frac{S_{r,d}}{1,2 N_r} \geq 4 \quad (57)$$

$$V_r = \frac{1}{1 - \frac{1}{\eta_{Ki,r}}} (V_r^H + \varphi_0 \cdot N_r) \quad (58)$$

#### 5.3.2.3 Nachweis nach dem Ersatzstabverfahren

##### (523) Allgemeiner Nachweis

Der Tragsicherheitsnachweis für verschiebbliche Stabwerke darf durch den Nachweis der einzelnen Stäbe des Systems nach Abschnitt 3 erbracht werden, wobei die Knicklängen  $s_K$  für das Gesamtsystem zu ermitteln ist.

Behalten in Sonderfällen die am Rahmen angreifenden Druckkräfte ihre Richtung während des Ausknickens nicht bei, so ist dies bei der Berechnung der Knicklängen der Stäbe zu berücksichtigen.

Anmerkung: Die Knicklängen  $s_K$  können z.B. nach Bild 29 bestimmt werden, bei nicht richtungstreuen Druckkräften nach den Bildern 36 bis 38.

#### (524) Querschnitte ohne Druckkräfte

Der Nachweis mit Bedingung (26) für Querschnitte ohne Druckkräfte braucht bei Riegeln in verschiebblichen Rahmen nur geführt zu werden, wenn  $M_{pl}$  des Riegels kleiner ist als die Summe der  $M_{pl}$  der an einen Knoten angrenzenden Stiele.

#### (525) Systeme mit Pendelstützen

Bei verschiebblichen Systemen mit angeschlossenen Pendelstützen muß eine zusätzliche Ersatzbelastung  $V_0$  nach Gleichung (59) und Bild 30 zur Berücksichtigung der Vorverdrehungen der Pendelstützen bei der Ermittlung der Schnittgrößen nach Theorie I. Ordnung ange-setzt werden.

$$V_0 = \sum (P_i \cdot \varphi_{0,i}) \quad (59)$$

mit

$\varphi_{0,i}$  nach Abschnitt 2.3, Element 205

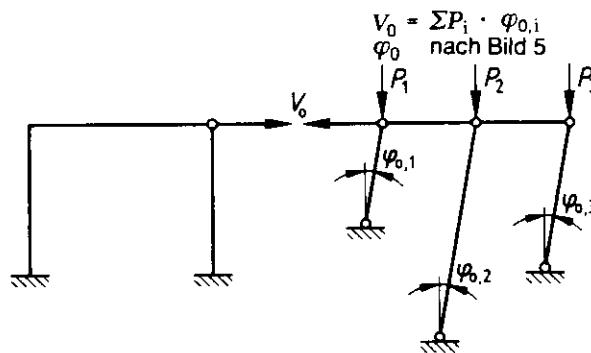


Bild 30. Zusätzliche Stockwerksquerkraft  $V_0$  für Systeme mit Pendelstützen

Anmerkung: Neben der Ersatzbelastung  $V_0$  brauchen die Vorverdrehungen nach DIN 18800 Teil 1, Abschnitt 7.4, Elemente 729 und 730, nicht ange-setzt zu werden.

#### 5.3.2.4 Berechnung nach Fließgelenktheorie I. Ordnung

##### (526) Stockwerkrahmen

Stockwerkrahmen nach Abschnitt 5.3.2.1, deren Stiele keine oder nur an den Enden Fließgelenke aufweisen, dürfen nach Fließgelenktheorie I. Ordnung, jedoch unter Ansatz von Vorverdrehungen  $\varphi_0$  nach Abschnitt 2.3, berechnet werden, wenn nach Abschluß der Berechnung für jedes Stockwerk  $r$  die Bedingung (60) eingehalten ist.

$$\varphi_r \leq \frac{V_r}{10 N_r} \quad (60)$$

mit

$$V_r = V_r^H + \varphi_0 \cdot N_r \quad (61)$$

$V_r^H$  Stockwerksquerkraft nur aus äußeren Horizontallasten

$N_r$  Summe aller im Stockwerk  $r$  übertragenen Vertikallasten

$\varphi_r$  Drehwinkel der Stiele im Stockwerk  $r$  nach der Fließgelenktheorie I. Ordnung.

Anmerkung: Für einstöckige Rahmen sind in der Literatur Formeln zur Ermittlung von  $\varphi_r$  angegeben (siehe z.B. [12]).

#### (527) Einstöckige Rahmen

Für Rahmen nach Bild 31 darf nach Fließgelenktheorie I. Ordnung gerechnet werden, wenn in den Stielen keine oder nur an den Enden Fließgelenke auftreten und wenn die Bedingung (62) erfüllt ist,

$$\frac{\alpha}{1 + \frac{I_s \cdot l}{I_R \cdot h}} \cdot \frac{(E \cdot I_s)_d}{N \cdot h^2} \geq 10 \quad (62)$$

mit

$\alpha = 3$  für gelenkige Lagerung der Fußpunkte

$\alpha = 6$  für eingespannte Lagerung der Fußpunkte

$N$  Summe aller Vertikallasten

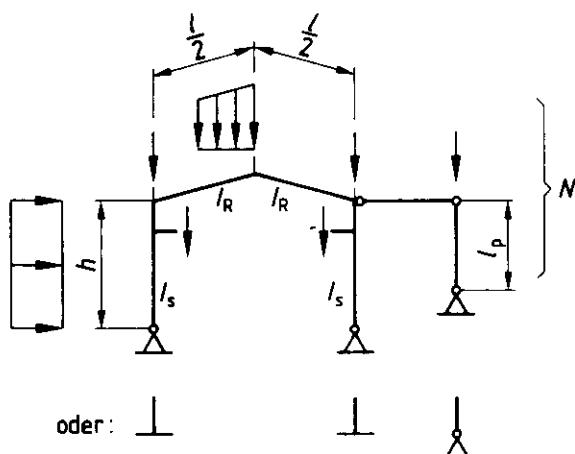


Bild 31. Festlegungen für Bedingung (62)

Sind die Längen  $l_p$  der Pendelstiele nicht gleich der Länge  $h$  der Rahmenstiele, so sind für die Berechnung von  $N$  die Vertikallasten der Pendelstiele mit dem Faktor  $h/l_p$  zu multiplizieren.

Anmerkung: Da dieses Kriterium alle möglichen Fließgelenkkonstellationen erfassen muß, kann es im einzelnen Anwendungsfall weit auf der sicheren Seite liegen.

### 5.3.2.5 Vereinfachte Berechnung nach Fließgelenktheorie II. Ordnung

(528) Für Stockwerkrahmen darf die im Abschnitt 5.3.2.2 genannte vereinfachte Berechnung nach Elastizitätstheorie II. Ordnung unter Ansatz der Stockwerksquerkräfte  $V_r$ , berechnet nach Gleichung (56), unverändert auch bei der Fließgelenktheorie angewendet werden, wenn zusätzlich sichergestellt ist, daß die Stiele keine oder nur an den Enden Fließgelenke aufweisen. Für  $\varphi_r$  ist in Gleichung (56) der Stieldrehwinkel nach der hier beschriebenen vereinfachten Fließgelenktheorie II. Ordnung einzusetzen.

### 5.3.3 Elastisch gelagerte Durchlaufträger

#### 5.3.3.1 Allgemeines

(529) Elastisch gelagerte Durchlaufträger dürfen analog Abschnitt 3.4.2 berechnet werden.

#### 5.3.3.2 Druckgurte mit federnder Querstützung

##### (530) Fachwerk- und Vollwandträger

Druckgurte von Fachwerk- oder Vollwandträgern dürfen für das Ausweichen aus ihrer Ebene als planmäßig mittig gedrückte, elastisch gelagerte Durchlaufträger angesehen werden.

Anmerkung: Bei Brücken wird im allgemeinen die elastische Stützung durch Halbrahmen gebildet.

##### (531) Mittelung der Druckkraft

Bei Vollwandträgern darf für die Längskraft des gedrückten Gurtes zwischen zwei Halbrahmen ein konstanter, gemittelter Wert eingesetzt werden; zum Querschnitt des Druckgurtes sind die Gurtflächen und  $\frac{1}{2}$  der Stegfläche zu zählen.

Tabelle 18. Beispiel für die Federsteifigkeit  $C_d$  des Halbrahmen bei Trogbrücken

Fachwerke und vollwandige Hauptträger mit rechtwinklig zur Hauptträgerebene angeordneten Halbrahmen	
	$C_d = \frac{(E \cdot I_v)_d}{\frac{h_v^3}{3} + \frac{h^2 \cdot b_q \cdot I_q}{2 I_v}}$

## 6 Bogenträger

### 6.1 Mittiger Druck (Stützlinienbogen)

#### 6.1.1 Ausweichen in der Bogenebene

##### 6.1.1.1 Gleichbleibender Querschnitt

##### (601) Nachweis

Der Tragsicherheitsnachweis darf mit der Bedingung (3) geführt werden. Für  $N$  ist dabei der Wert am Kämpfer einzusetzen.

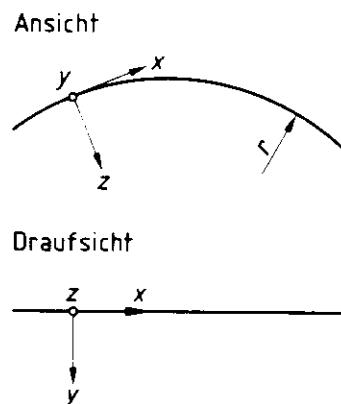


Bild 32. Achsbezeichnungen am Bogen

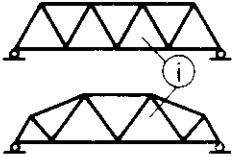
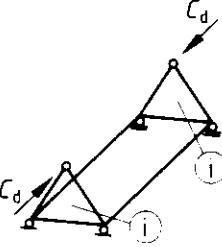
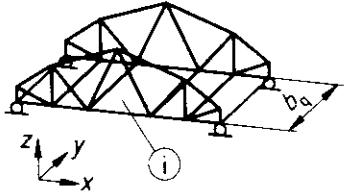
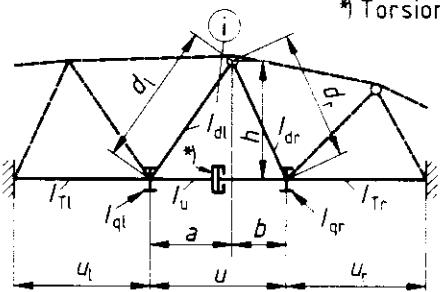
Anmerkung: Für symmetrische Bögen sind in Bild 33 für verschiedene System- und Lagerungsfälle Knicklängenbewerte

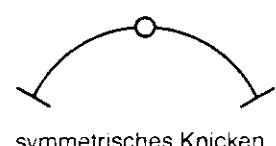
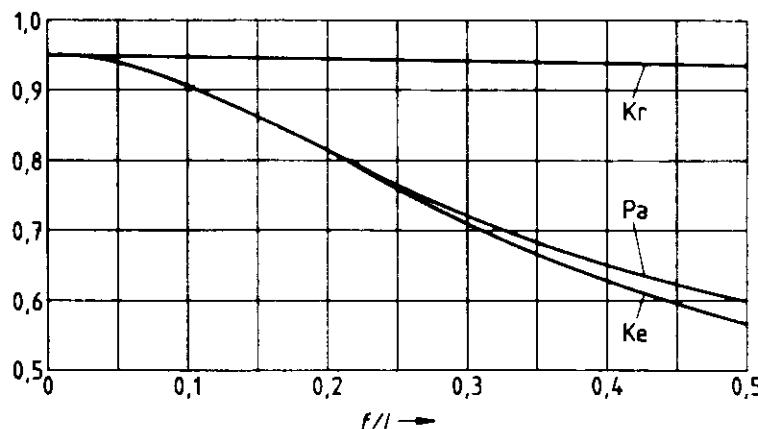
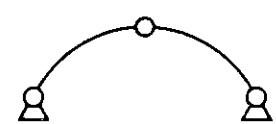
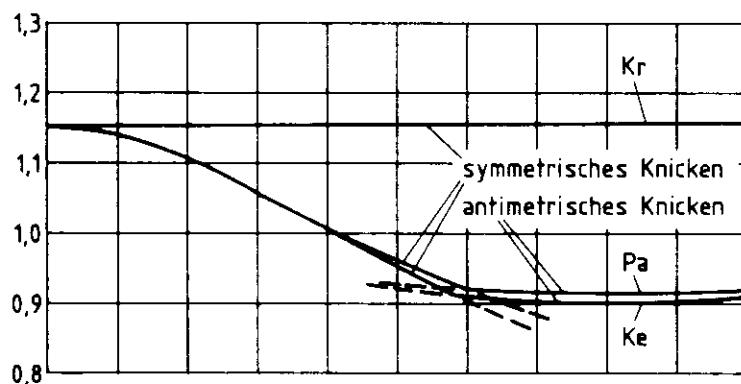
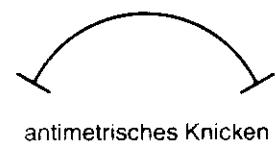
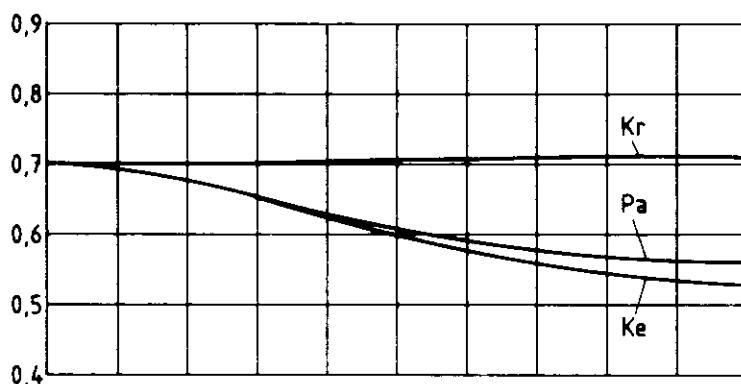
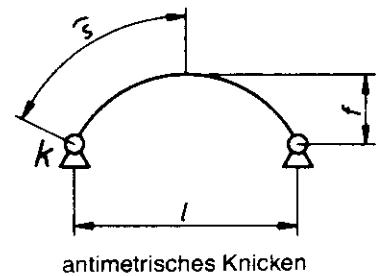
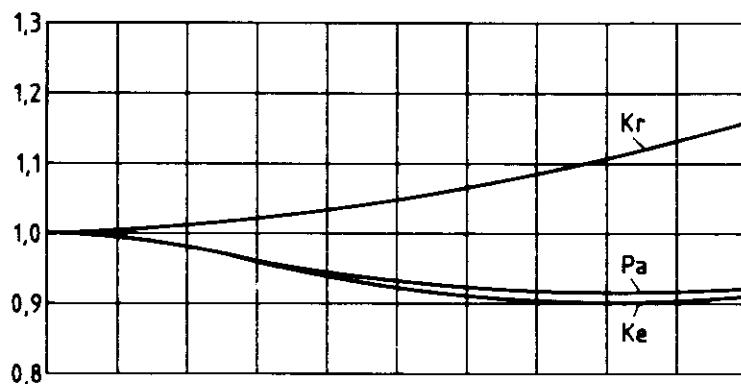
$$\beta = \frac{s_K}{s} \quad (63)$$

unter der Voraussetzung vernachlässigbarer Normalkraftverformungen angegeben ( $s_K$  Knicklänge,  $s$  halbe Bogenlänge). Daraus ergibt sich die Normalkraft am Kämpfer  $K$  unter der kleinsten Verzweigungslast aus Gleichung (64).

$$N_{K1} = \left| \frac{\pi}{\beta \cdot s} \right|^2 E \cdot I_y \quad (64)$$

Tabelle 19. Federsteifigkeit  $C_d$  pfostenloser Strebenfachwerke

	1	2
1	 <p>Beispiele pfostenloser Strebenfachwerkbrücken</p>	 <p>Halbrahmen bei pfostenlosen Strebenfachwerkbrücken</p>
2	 <p>Der Rechnung zugrunde liegendes Trogbrückensystem</p>	 <p>Das der Berechnung zugrunde gelegte System. Untergurtstab des Feldes nur biegestift. benachbarte Untergurtstäbe nur torsionsstift.</p>
3	<p>Federsteifigkeit: <math>C_d = \frac{A + B - 2D}{A \cdot B - D^2} (E \cdot I_u)_d</math></p>	
4	$A = \frac{h^2 \cdot I_u}{n_l} + \frac{d_l^3 \cdot I_u}{3 I_{dl}} + \frac{a^2 \cdot u}{3}$ $B = \frac{h^2 \cdot I_u}{n_r} + \frac{d_r^3 \cdot I_u}{3 I_{dr}} + \frac{b^2 \cdot u}{3}$ $D = \frac{1}{6} a \cdot b \cdot u$ <p>Die Längen <math>d_l</math>, <math>d_r</math>, <math>a</math>, <math>b</math>, <math>u</math> und <math>b_q</math> können gegebenenfalls um biegestarre, <math>u_l</math> und <math>u_r</math> um torsionsstarre Bereiche an den Stabenden verringert werden.</p> <p> <math>I_{dl}</math>, <math>I_{dr}</math>, <math>I_u</math> = Trägheitsmomente der Diagonalen und des Untergurts des Feldes bezüglich Biegung rechtwinklig zur Hauptträgerebene  <math>I_{ql}</math>, <math>I_{qr}</math> = Trägheitsmomente des linken und rechten Querträgers des Feldes bezüglich der Fahrbahndurchbiegung  <math>I_{Tl}</math>, <math>I_{Tr}</math> = St. Venantscher Torsionswiderstand der benachbarten Untergurtstäbe     </p> <p>Falls die Halbwellenzahl <math>m</math> der Knickbiegelinie des Obergurts kleiner als die halbe Felderzahl ist, sind die Federsteifigkeiten abzumindern, indem die Trägheitsmomente <math>I_q</math> aller innenliegenden Querträger nur mit ihren halben Werten angesetzt werden.</p>	

Knicklängenbeiwerte  $\beta$  für Knicken in der Bogenebene

Pa: Parabel, Ke: Kettenlinie, Kr: Kreis

Für den Parabel- und Kettenlinienbogen wird richtungstreue, für den Kreisbogen normalentreue Last (z.B. hydrostatischer Druck) vorausgesetzt.

Bild 33. Knicklängenbeiwerte  $\beta$  für Ausweichen in der Bogenebene (Normalkraftverformungen sind vernachlässigt) unter Stützlinienbelastung

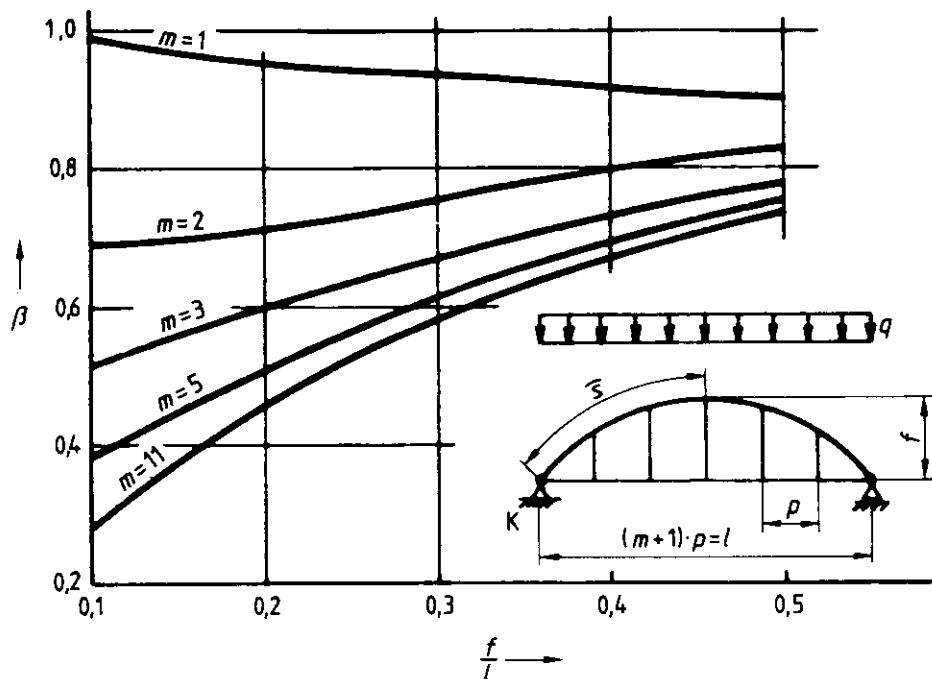


Bild 34. Knicklängenbeiwert  $\beta$  für das Ausweichen des Parabelbogens mit  $m$  Hängern in der Bogenebene (Bezug: Normalkraft am Kämpfer  $K$ )

#### (602) Bogen mit Zugband

Auch beim Bogen mit Zugband, das durch Hänger mit dem Bogen verbunden ist, ist der Tragsicherheitsnachweis mit der Knicklänge für den gesamten Bogen zu führen. Der Nachweis für den Bogenabschnitt zwischen zwei benachbarten Hängern genügt in der Regel nicht.

Anmerkung: Weitere Angaben hierzu können der Literatur entnommen werden, z.B. [13], [14].

#### (603) Durchschlagen von Bögen

Bei flachen Bögen tritt kein Durchschlagen auf, wenn Bedingung (65) eingehalten ist.

$$l \sqrt{\frac{E \cdot A}{12 E \cdot I_y}} > k \quad (65)$$

mit

$E \cdot A$  Dehnsteifigkeit

$E \cdot I_y$  Biegesteifigkeit in der Bogenebene

$k$  Hilfswert nach Tabelle 20

Anmerkung: Durchschlaglasten für Bögen können nach dieser Norm nicht ermittelt werden. Bei ihrer Berechnung ist die nichtlineare Theorie großer Verformungen anzuwenden.

#### 6.1.1.2 Veränderlicher Querschnitt

(604) Der Tragsicherheitsnachweis ist nach Theorie II. Ordnung mit geometrischen Ersatzimperfektionen nach Abschnitt 6.2.1 zu führen

#### 6.1.2 Ausweichen rechtwinklig zur Bogenebene

6.1.2.1 Bogenträger ohne seitliche Stützung zwischen den Kämpfern

(605) Der Tragsicherheitsnachweis darf mit Bedingung (3) geführt werden. Dabei ist der bezogene Schlankheitsgrad  $\bar{\lambda}_K$  aus Gleichung (66) bzw. (67) zu ermitteln.

Beim Parabelbogen gilt

$$\bar{\lambda}_K = \frac{\beta_1 \cdot \beta_2 \cdot l}{l_z \cdot \lambda_a} \quad (66)$$

Tabelle 20. Hilfswert  $k$

	1	2	3	4	5	6	7
1		$f/l$	0,05	0,075	0,10	0,15	0,20
2	Zweigelenkbogen	$k$	35	23	17	10	8
3	Starr eingespannter Bogen		319	97	42	13	6

Tabelle 21. Knicklängenbeiwert  $\beta_1$ 

	1	2	3	4	5	6	7
1	$f/l$	0,05	0,1	0,2	0,3	0,4	
2	$I_z$ konstant	0,50	0,54	0,65	0,82	1,07	
3	$I_z$ veränderlich mit $I_z(\alpha_B) = \frac{I_{z,0}}{\cos \alpha_B}$	0,50	0,52	0,59	0,71	0,86	

Tabelle 22. Knicklängenbeiwert  $\beta_2$ 

	Belastung	$\beta_2$	Erläuterung
1	richtungstreu	1	$q$ Gesamtlast $q_H$ Lastanteil, durch Hänger übertragen $q_{St}$ Lastanteil, durch Ständer übertragen
2	über Hänger	$1 - 0,35 \frac{q_H}{q}$	
3	über Ständer <sup>1)</sup>	$1 + 0,45 \frac{q_{St}}{q}$	

<sup>1)</sup> Die Fahrbahn ist mit dem Bogenscheitel seitlich fest verbunden

$i_z$  Trägheitsradius bezüglich der z-Achse im Bogen-  
scheitel

$\beta_1$  Knicklängenbeiwert nach Tabelle 21 (unter Annahme  
richtungstreuer Belastung) bei vertikaler gleichmäßig  
verteilter Vollast und starrer Einspannung beider  
Bogenenden quer zur Bogenebene

$\beta_2$  Knicklängenbeiwert nach Tabelle 22 zur Berücksich-  
tigung der Lastrichtungsänderung beim seitlichen  
Ausweichen

Beim Kreisbogen gilt

$$\bar{\lambda}_K = \sqrt{\frac{N_{pl}}{N_{Ki.Kr}}} \quad (67)$$

mit

$$N_{Ki.Kr} = \frac{E \cdot I_z}{r^2} \cdot \frac{(\pi^2 - \alpha^2)^2}{\alpha^2 (\pi^2 + \alpha^2 \cdot k)} \quad (68)$$

Hierin bedeuten:

$N_{Ki.Kr}$  Normalkraft unter der kleinsten Verzweigungslast  
eines gabelgelagerten Kreisbogens mit unver-  
änderlichem, doppelsymmetrischem Querschnitt  
und konstanter, radialgerichteter, richtungstreuer  
Belastung

$r$  Radius des Kreisbogens

$\alpha$  Öffnungswinkel des Kreisbogens.  $0 < \alpha < \pi$

$$k = \frac{E \cdot I_z}{G \cdot I_T}$$

#### 6.1.2.2 Bögen mit Windverband und Endportalen

(606) Für das Ausweichen rechtwinklig zur Bogen-  
ebene darf näherungsweise allein das Knicken der Portal-  
rahmen als maßgebend angesehen werden.

Der Tragsicherheitsnachweis für die Portalstiele darf mit  
der Bedingung (3) geführt werden, wobei  $\bar{\lambda}_K$  aus Glei-  
chung (69) zu ermitteln ist.

Bei Querlasten (z.B. aus Wind) ist zusätzlich ein Nach-  
weis unter Berücksichtigung der Biegemomente nach  
Element 314 zu führen.

$$\bar{\lambda}_K = \frac{\beta \cdot h}{i_z \cdot \lambda_a} \quad (69)$$

$\beta$  Knicklängenbeiwert

$h$  Stielhöhe des Portalrahmens in der Rahmenebene

$i_z$  Trägheitsradius bezüglich der z-Achse des Stiels  
des Portalrahmens

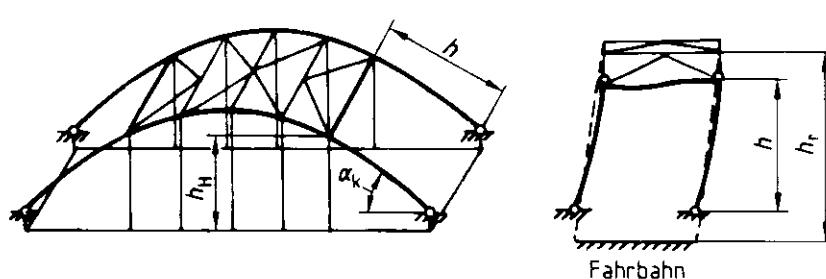


Bild 35. Bögen mit Windverband, Endportalen und angehängter Fahrbahn

## DIN 18800 Teil 2

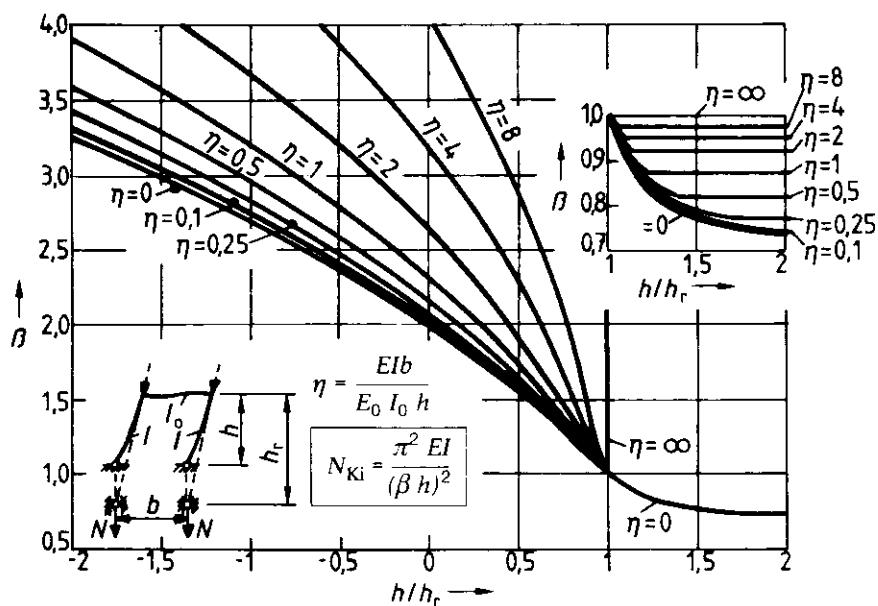


Bild 36.  
Knicklängenbeiwerte für den  
an den Stieffüßen gelenkig  
gelagerten Portalrahmen

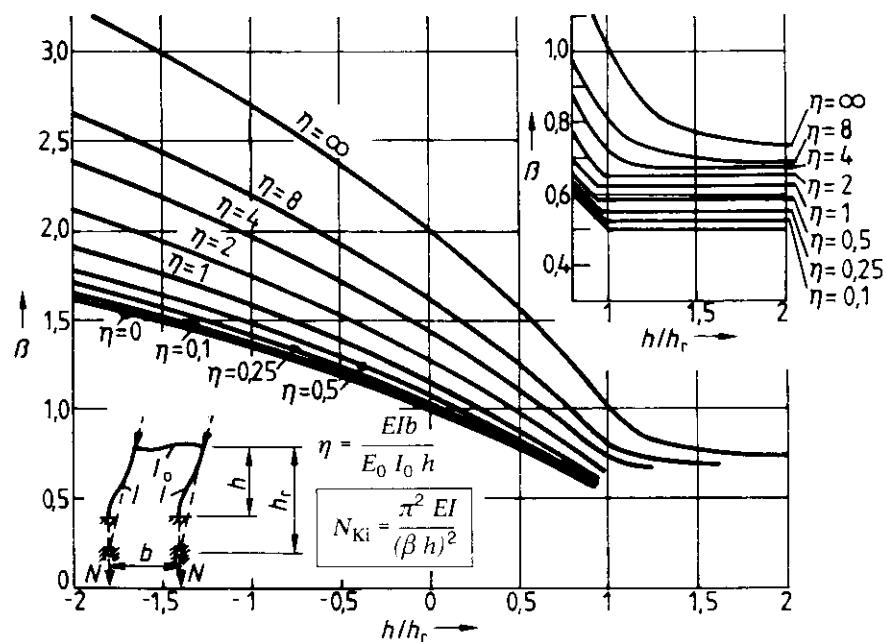


Bild 37.  
Knicklängenbeiwerte für den  
an den Stieffüßen einge-  
spannten Portalrahmen

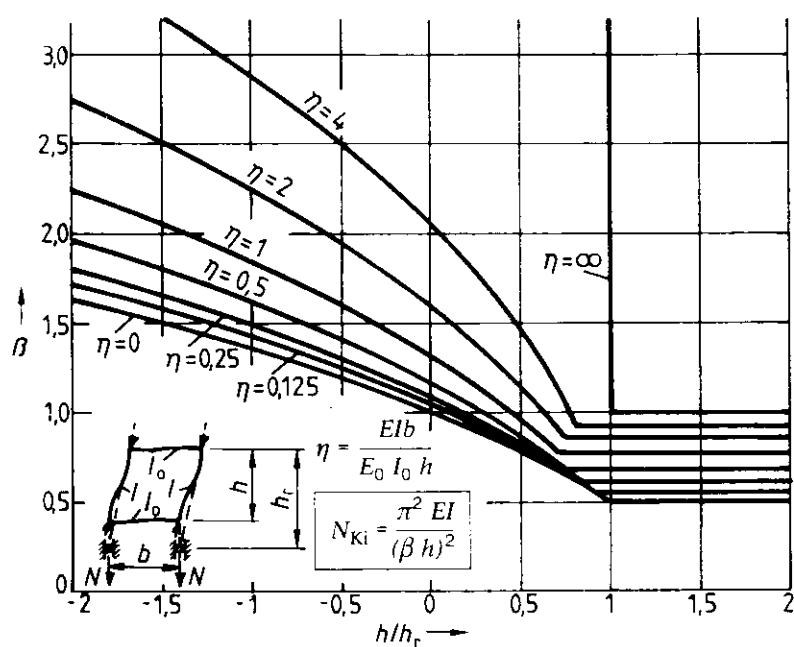


Bild 38.  
Knicklängenbeiwerte für den  
Portalrahmen mit zwei Riegeln  
gleicher Steifigkeit

Anmerkung 1: Knicklängenbeiwerte können der Literatur [15] und den Bildern 36 bis 38 entnommen werden. Mit den hier angegebenen Diagrammen wird der Fall der nicht richtungstreuen Belastung behandelt. Ihre Anwendung ist nicht auf Portalrahmen von Bögen beschränkt.

Anmerkung 2: Für  $h_r$  nach den Bildern 36 bis 38 ist die gemittelte Hängerlänge  $h_H$  vergrößert mit dem Faktor  $1/\sin \alpha_k$  einzusetzen, wobei  $\alpha_k$  der Winkel zwischen den schrägliegenden Portalstielen und der Waagerechten ist. Bei aufgeständerter Fahrbahn ist  $h_r$  negativ einzusetzen.

## 6.2 Einachsige Biegung in Bogenebene mit Normalkraft

### 6.2.1 Ausweichen in der Bogenebene

(607) Für Tragsicherheitsnachweise nach einem der in Tabelle 1 genannten Verfahren sind geometrische Ersatzimperfektionen nach Tabelle 23 in ungünstiger Richtung anzusetzen.

**Bögen mit gleichbleibendem Querschnitt, die die Bedingung (70) erfüllen, dürfen ohne Ersatzimperfektionen nach Theorie I. Ordnung berechnet werden.**

$$s_K \sqrt{\frac{N}{(E \cdot I_y)_d}} \leq 1 \quad (70)$$

mit

$s_K$  Knicklänge des Bogens für das Ausweichen in der Bogenebene

Anmerkung 1: Angaben für  $s_K$  können aus Gleichung (63) mit Hilfe von Bild 33 entnommen werden.

Anmerkung 2: Von der Erleichterung für das Verfahren Elastisch-Elastisch nach Abschnitt 2.1, Element 201 kann Gebrauch gemacht werden.

### 6.2.2 Ausweichen rechtwinklig zur Bogenebene

#### 6.2.2.1 Allgemeines

(608) Der Tragsicherheitsnachweis darf nach Abschnitt 6.1.2 geführt werden.

**6.2.2.2 In der Sehne gedrückte oder gezogene kreisförmige Bögen mit unveränderlichem, rechteckigem oder I-förmigem Querschnitt**

(609) Für rechtwinklig zur Bogenebene starr eingespannte Bögen mit dem in Bild 39 angegebenen System darf näherungsweise Bedingung (3) angewendet werden, jedoch mit dem bezogenen Schlankheitsgrad nach Gleichung (71).

$$\bar{\lambda}_K = \frac{\beta \cdot s}{i_z \cdot \lambda_a} \quad (71)$$

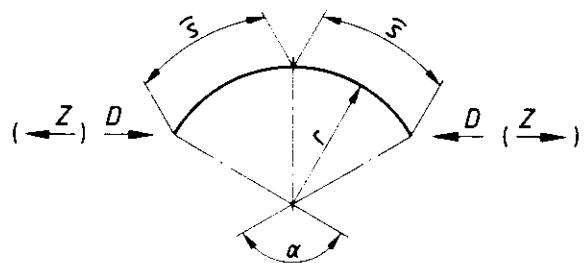


Bild 39. Definitionen

Hierin bedeuten:

$$\alpha = \frac{2s}{r} \quad \text{Öffnungswinkel des Kreisbogens mit } 0 \leq \alpha \leq \pi$$

$$\beta = \frac{\pi}{|K_1|} \quad \text{Knicklängenbeiwert} \quad (72)$$

Für gedrückte Bögen gilt:

$$K_1 = 2,47 - (3 + 0,21 k) \frac{\alpha}{100} + (700 - 6 k + 0,08 k^2) \left| \frac{\alpha}{100} \right|^2 \quad (73)$$

Tabelle 23. Geometrische Ersatzimperfektionen in der Bogenebene

1		2	3			
		Verlauf der geometrischen Ersatzimperfektion (sinus- oder parabelförmig)	$w_0$ für Querschnitte der Knickspannungslinie (vgl. Tabelle 5)			
			a	b	c	d
1	Dreigelenkbogen bei symmetrischem Ausweichen		$\frac{s}{300}$	$\frac{s}{250}$	$\frac{s}{200}$	$\frac{s}{150}$
2	Zweigelenkbogen, eingespannter Bogen. Dreigelenkbogen bei antimetrischem Ausweichen		$\frac{l}{600}$	$\frac{l}{500}$	$\frac{l}{400}$	$\frac{l}{300}$

## DIN 18800 Teil 2

Für gezogene Bögen gilt:

$$K_1 = -0,036 + \frac{9,58}{10+k} + \frac{7,58}{(10+k)^2} + \left( 0,134 - \frac{36,2}{5+k} - \frac{62,5}{(5+k)^2} \right) \frac{1}{a} - \left( 0,226 + \frac{13,4}{k} + \frac{1,94}{k^2} \right) \left( \frac{1}{a} \right)^2 \quad (74)$$

mit

$$k = \frac{E \cdot I_z}{G \cdot I_T}$$

### 6.2.2.3 Gabelgelagerte Kreisbogenabschnitte mit gleichbleibendem, I-förmigem Querschnitt

(610) Der Tragsicherheitsnachweis darf näherungsweise mit Bedingung (27) geführt werden. Dabei ist der bezogene Schlangheitsgrad  $\bar{\lambda}_K$  aus Gleichung (75) zu ermitteln

$$\bar{\lambda}_K = \frac{\beta \cdot s}{i_z \cdot \lambda_a} \quad (75)$$

Hierin bedeuten:

$$\alpha = \frac{2s}{r} \quad \text{Öffnungswinkel des Kreisbogens mit } 0 \leq \alpha \leq \pi$$

$$\beta = \frac{2\pi}{\sqrt{K_1}} \quad \text{Knicklängenbeiwert} \quad (76)$$

$$K_1 = \frac{(\pi^2 - \alpha^2)^2}{\pi^2 + \alpha^2 \cdot k} \quad (77)$$

mit

$$k = \frac{E \cdot I_z}{G \cdot I_T}$$

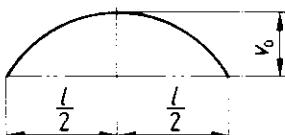
Für die Berechnung des Abminderungsfaktors  $\kappa_M$  aus Gleichung (18) mit  $\bar{\lambda}_M$  nach Abschnitt 1.3, Element 110 ist  $M_{K1,y}$  aus Gleichung (78) zu bestimmen.

$$M_{K1,y} = -\frac{E \cdot I_z + \bar{C}}{2r} \mp \sqrt{\left( \frac{E \cdot I_z - \bar{C}}{2r} \right)^2 + \frac{E \cdot I_z \cdot \bar{C} \cdot \pi^2}{r^2 \cdot \alpha^2}} \quad (78)$$

mit

$$\bar{C} = \frac{E \cdot I_w \cdot \pi^2}{r^2 \cdot \alpha^2} + G \cdot I_T$$

Tabelle 24. Geometrische Ersatzimperfektionen rechtwinklig zur Bogenebene

	Verlauf der geometrischen Ersatzimperfektionen in horizontaler Richtung (sinus- oder parabelförmig)	$v_0$ für Querschnitte der Knickspannungslinie (vgl. Tabelle 5)				
		a	b	c	d	
Dreigelenkbogen Zweigelenkbogen eingespannter Bogen		$l \leq 20 \text{ m}$	$\frac{l}{300}$	$\frac{l}{250}$	$\frac{l}{200}$	$\frac{l}{150}$
		$l \geq 20 \text{ m}$	$\frac{l_1}{300}$	$\frac{l_1}{250}$	$\frac{l_1}{200}$	$\frac{l_1}{150}$

In Gleichung (78) gilt vor der Wurzel das Pluszeichen, wenn  $M_y$  auf der Bogeninnenseite Zug erzeugt.

Anmerkung: Gleichung (78) setzt Gabellagerung rechtwinklig zur Bogenebene voraus.

### 6.3 Planmäßig räumliche Belastung

(611) Der Tragsicherheitsnachweis ist in der Regel nach Elastizitätstheorie II. Ordnung zu führen (Tabelle 1, Zeile 1, Verfahren Elastisch-Elastisch). Dabei sind sinnvolle geometrische Ersatzimperfektionen zusätzlich zu den planmäßigen Lasten anzusetzen. Bei seitlich zwischen den Kämpfern nicht gehaltenen Bögen dürfen die Ersatzimperfektionen nach den Tabellen 23 oder 24 gewählt werden.

Es genügt, die Imperfektionen nur in einer, nämlich der ungünstigsten Richtung anzunehmen (in Bogenebene oder rechtwinklig dazu).

Bei Bögen mit Lasteinleitung über Hänger oder Ständer ist anzunehmen, daß diese im Vorverformungszustand ihre planmäßige Richtung haben.

Anmerkung: Der Fall der planmäßig räumlichen Belastung liegt insbesondere bei Bogentragwerken im Freien wegen der möglichen Windwirkung quer zur Bogenebene vor. In diesem Falle sind die Voraussetzungen der Abschnitte 6.1 und 6.2 nicht erfüllt.

## 7 Planmäßig gerade Stäbe mit ebenen dünnwandigen Querschnittsteilen

### 7.1 Allgemeines

#### (701) Anwendungsbereich

Abschnitt 7 ist zu beachten, wenn die Grenzwerte  $\text{grenz } (b/t)$  einzelner Querschnittsteile überschritten sind. Dann ist der Einfluß des Beulens einzelner Querschnittsteile auf das Knicken zu berücksichtigen. Dies betrifft sowohl die Berechnung der Schnittgrößen als auch die der Beanspruchbarkeiten.

Anmerkung 1: Die Grenzwerte  $\text{grenz } (b/t)$  sind DIN 18800 Teil 1, Tabellen 12, 13 und 15 zu entnehmen.

Anmerkung 2: Der Einfluß des Beulens einzelner Querschnittsteile auf das Knicken besteht im wesentlichen darin, daß die Stabsteifigkeit durch das Ausbeulen herabgesetzt wird und daß sich Spannungen innerhalb des Querschnitts auf steifere oder weniger beanspruchte Querschnittsteile umlagern.

### (702) Nachweisverfahren

Der Tragsicherheitsnachweis ist nach dem Verfahren Elastisch-Elastisch oder Elastisch-Plastisch (siehe Tabelle 1, Zeilen 1 und 2) zu führen.

Dazu dürfen vereinfachend die Nachweise nach den Abschnitten 7.2 bis 7.6 angewendet werden.

Anmerkung 1: Die Anwendung der Fließgelenktheorie ist zunächst ausgeschlossen, da darüber bisher keine Bestätigung durch Versuche vorliegt.

Anmerkung 2: In den Abschnitten 7.2 bis 7.6 ist der Einfluß des Beulens der einzelnen Querschnittsteile auf das Knicken berücksichtigt.

### (703) Einfluß von Schubspannungen

Bei Anwendung der Abschnitte 7.2 bis 7.6 müssen Schubspannungen hinsichtlich des Beulens der dünnwandigen Querschnittsteile vernachlässigbar sein. Dies gilt als erfüllt, wenn die Bedingungen (79) und (80) erfüllt sind.

$$\tau \leq 0,2 f_{y,d} \quad (79)$$

$$\tau \leq 0,3 \tau_{p1,d} \quad (80)$$

Sind die Bedingungen (79) und (80) nicht erfüllt, so darf der zusätzliche Einfluß der Schubspannungen nach DIN 18800 Teil 3 berücksichtigt werden. Unabhängig davon ist auch dann die Steifigkeitsverminderung des Gesamtstabes zu beachten.

$\tau_{p1,d}$  ist die ideale Plattenbeulspannung bei alleiniger Wirkung von Randspannungen  $\tau$ . Sie ist nach DIN 18800 Teil 3 zu ermitteln.

### (704) Zulässige Profilformen

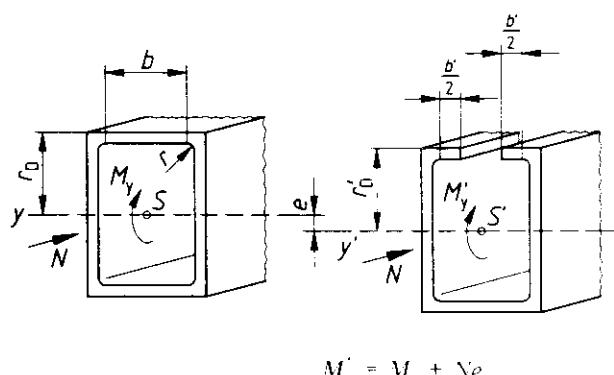
Die Abschnitte 7.2 bis 7.6 dürfen nur für Stäbe konstanten Querschnitts mit folgenden Profilformen angewendet werden: rechteckige Hohlprofile, doppelt- oder einfachsymmetrische I-Profile, U-Profile, C-Profile, Z-Profile, Hutprofile, Trapezhohlrippen.

Anmerkung: Als rechteckig gelten Hohlprofile, solange  $b/r \geq 5$  ist. Kreisförmige Rohre und T-Profile sind nicht erfaßt.

## 7.2 Berechnungsgrundlagen

### (705) Modell des wirksamen Querschnitts

Bei dem hier verwendeten Modell wird die geometrische Breite  $b$  des dünnwandigen Teils ersetzt durch eine wirksame Breite  $b'$  (Bild 40) bzw.  $b''$ . Der sich so ergebende wirksame Querschnitt ist der Berechnung zugrunde zu legen.



a) Querschnitt

b) durch Obergurtbeulen  
reduzierter wirksamer  
Querschnitt

Bild 40. Beispiel für wirksame Querschnitte

Anmerkung 1: Es sind also alle Querschnittswerte für den wirksamen Querschnitt zu bestimmen.

Anmerkung 2: Die Berechnung der wirksamen Breiten  $b'$  bzw.  $b''$  ist in den Abschnitten 7.3 (Verfahren Elastisch-Elastisch) bzw. 7.4 (Verfahren Elastisch-Plastisch) geregelt. Entsprechend sind Querschnittswerte  $A'$ ,  $I'$  usw. den wirksamen Breiten  $b'$  und  $A''$ ,  $I''$  usw. den wirksamen Breiten  $b''$  zugeordnet. In Bild 40 b ist der reduzierte Querschnitt entsprechend dem Verfahren Elastisch-Elastisch dargestellt. Für das Verfahren Elastisch-Plastisch gilt das Bild sinngemäß.

Anmerkung 3: Die in den Abschnitten 3.2 bis 3.5 angegebenen Nachweismöglichkeiten gelten prinzipiell auch für Stäbe mit wirksamen Querschnitten, wobei die in den Abschnitten 7.5 und 7.6 angegebenen Modifikationen zu beachten sind.

### (706) Näherungsverfahren

Der wirksame Querschnitt ergibt sich aus der Reduktion des Biegedruckbereiches. Ist der Querschnitt bezüglich der Biegeachse nicht symmetrisch und treten Biegemomente mit verschiedenen Vorzeichen auf, so ist jene Richtung des Biegemomentes maßgebend, die das kleinere wirksame Trägheitsmoment liefert. Das wirksame Flächenmoment 2. Grades (Trägheitsmoment) ist dabei über die Stablänge konstant anzunehmen.

Anmerkung 1: Bei der Reduktion des Biegedruckbereiches kann vereinfachend und auf der sicheren Seite liegend als Druckspannung  $\sigma_D = f_{y,k}/\gamma_M$  angenommen werden. Um eine Iteration zu vermeiden, kann für das Randspannungsverhältnis  $\psi$  ebenfalls eine auf der sicheren Seite liegende Vereinfachung getroffen werden.

Anmerkung 2: Der Biegezugbereich wird bei diesen Näherungsverfahren nicht reduziert, auch wenn dort resultierend Druckspannungen vorhanden sind. Dieses Näherungsverfahren ist durch Beispiele in der Literatur [16] näher erläutert.

### (707) Querschnittsnachweis

Die Nachweise werden für den wirksamen Querschnitt geführt. Die Reduktion des Querschnitts ist stets in Übereinstimmung mit dem Drehsinn des vorhandenen Biegemomentes auf der Momentendruckseite des verformten Stabes vorzunehmen.

Anmerkung: Sofern kein planmäßiges Biegemoment vorliegt, ist das Biegemoment infolge Vorkrümmung einzusetzen. Bei einfachsymmetrischen Querschnitten kann es erforderlich sein, beide Ausweichrichtungen zu untersuchen.

### (708) Schwerpunktsverschiebung infolge Querschnittsreduktion

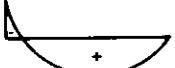
Der Einfluß der Verschiebung  $e$  des Schwerpunktes beim Übergang vom vollen auf den wirksamen Querschnitt muß berücksichtigt werden.

Dies darf vereinfachend nach Abschnitt 7.2, Elemente 709 und 710 erfolgen.

### (709) Vergrößerung des Stiches der Vorkrümmung

Bei Stäben, für die eine Vorkrümmung mit dem Stich  $w_0$  anzunehmen ist, muß  $w_0$  um  $\Delta w_0$  nach Tabelle 25 erhöht werden.

Tabelle 25. Vergrößerung  $\Delta w_0$  des Stichs der Vorkrümmung

	1	2	3
Momentenverlauf			
$\Delta w_0$	$e_p$	$e_p + \frac{1}{2} e_n$	$e_p + e_n$

$e_p$  Schwerpunktverschiebung infolge eines positiven Momentes  
 $e_n$  Schwerpunktverschiebung infolge eines negativen Momentes

Bei zur Biegeachse symmetrischem Querschnitt und der Annahme, daß  $\sigma_D$  infolge des positiven und negativen Momentes gleich groß ist, ergibt sich  $e_p = e_n = e$ .

Anmerkung: Der Momentenverlauf in Tabelle 25 ist beispielhaft dargestellt. Wesentlich ist das Auftreten von positiven und negativen Momenten.

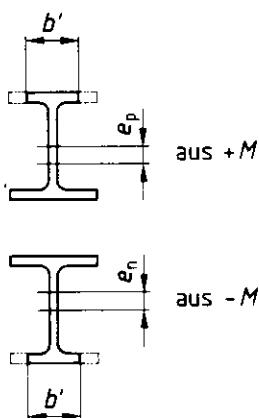


Bild 41. Beispiele für Schwerpunktverschiebung

#### (710) Vergrößerung der Vorverdrehung

Bei Stäben, für die eine Vorverdrehung  $\varphi_0$  anzunehmen ist, muß  $\varphi_0$  um  $\Delta\varphi_0 = (e_p + e_n)/l$  erhöht werden, wenn beide Stabenden eingespannt sind und dort Momente verschiedener Vorzeichen auftreten können. Ist ein Stabende gelenkig gelagert, so ist dort  $e_p = 0$  bzw.  $e_n = 0$ . Die Schwerpunktsverschiebungen  $e_p$  und  $e_n$  sind in Abschnitt 7.2, Element 709, definiert.

Anmerkung: Dies führt bei Anwendung des Ersatzstabverfahrens zum Ansatz einer zusätzlichen Imperfektion.

### 7.3 Wirksame Breite beim Verfahren Elastisch-Elastisch

#### (711) Spannungsverteilung

Die Spannungen sind mit der Annahme einer linearen Spannungsverteilung im wirksamen Querschnitt zu berechnen.

Anmerkung: Tatsächlich sind die Spannungen im Querschnitt nichtlinear verteilt.

#### (712) Größe der wirksamen Breite

Die wirksame Breite ist bei beidseitiger Lagerung der Plattenränder und konstanter Druckbeanspruchung aus Gleichung (81), bei einseitiger Lagerung der Plattenränder aus Gleichung (82) zu bestimmen. Die Annahme

beidseitiger Lagerung setzt ausreichende Steifigkeit der Unterstützung voraus.

$$b' = b \quad (81 \text{ a})$$

für  $\bar{\lambda}_{p\sigma} \leq 0,673$

$$b' = \frac{(1 - 0,22/\bar{\lambda}_{p\sigma})}{\bar{\lambda}_{p\sigma}} \cdot b \quad (81 \text{ b})$$

für  $\bar{\lambda}_{p\sigma} > 0,673$

$$b' = \frac{0,7}{\bar{\lambda}_{p\sigma}} \cdot b \quad \text{jedoch } b' \leq b \quad (82)$$

mit

$b$  Breite des dünnwandigen Querschnittsteils gemäß Tabelle 26

$\bar{\lambda}_{p\sigma}$  bezogener Schlankheitsgrad für das Beulen des Bleches nach Gleichung (83)

$$\bar{\lambda}_{p\sigma} = \sqrt{\frac{\sigma}{k \cdot \sigma_c / \gamma_M}} \quad (83)$$

$$\sigma_c = 189\,800 \frac{t^2}{b} \text{ N/mm}^2$$

$t$  Dicke des dünnwandigen Querschnittsteils

$k$  Beulwert nach Tabelle 26, wobei das Verhältnis  $t'$  der Randspannungen aus dem am wirksamen Querschnitt vorhandenen Spannungszustand zu bestimmen ist. Für beidseitige Lagerung darf das Randspannungsverhältnis unter der Annahme des vollen, nicht reduzierten Querschnittes der betrachteten Teilfläche bestimmt werden.

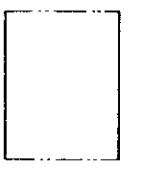
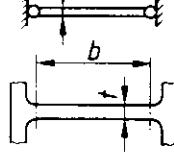
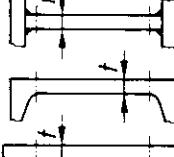
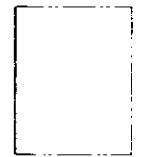
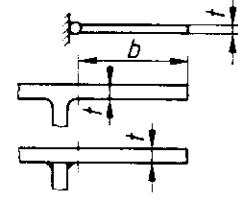
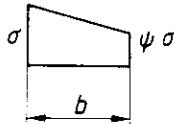
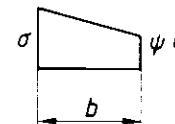
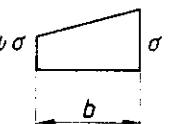
Der Spannungszustand ist aus der gemeinsamen Wirkung aller Schnittgrößen zu ermitteln.

$\sigma$  in N/mm<sup>2</sup>. Die unter Zugrundelegung des wirksamen Querschnittes berechnete maximale Druckspannung nach Theorie II. Ordnung am Längsrand des dünnwandigen Querschnittsteils. Dabei wird unter Längsrand ein Rand des vorhandenen, nicht reduzierten Querschnittsteils verstanden.

Falls in Gleichung (83)  $\sigma < f_{y,d}$  angenommen wird, ist bei Nachweisen nach Abschnitt 7.5.2.1 bis 7.5.2.3 jeweils  $f_{y,d}$  durch  $\sigma$  zu ersetzen.

Anmerkung 1: Ausreichende Steifigkeiten der Unterstützung von Plattenrändern für Kaltprofile können z.B. der DAST-Richtlinie 016 „Bemessung und konstruktive Gestaltung von Tragwerken aus dünnwandigen kaltgeformten Bauteilen“, Abschnitt 310.2, entnommen werden.

Tabelle 26. Beulwerte  $k$ 

		1	2
1	Lagerung	beidseitig    	einseitig  
2	Spannungsverlauf		 
3	$\psi = 1$	4	0,43
4	$1 > \psi > 0$	$\frac{8,2}{\psi + 1,05}$	$\frac{0,578}{\psi + 0,34}$
5	$\psi = 0$	7,81	1,70
6	$0 > \psi > -1$	$7,81 - 6,29 \psi + 9,78 \psi^2$	$1,70 - 5 \psi + 17,1 \psi^2$
7	$\psi = -1$	23,9	23,8

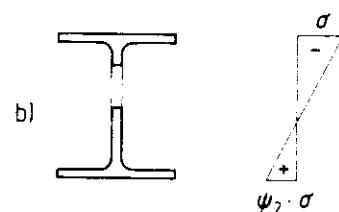
Anmerkung 2: Für den Grenzfall  $\sigma = f_{y,d}$  geht  $\bar{\lambda}_{p,\sigma}$  in  $\bar{\lambda}_p$  nach DIN 18800 Teil 3, Tabelle 1, über.

Anmerkung 3:  $\sigma_e$  ergibt sich aus

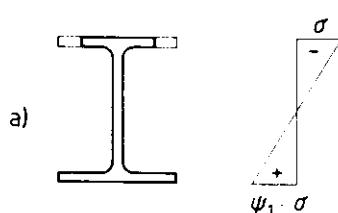
$$\sigma_e = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot t^2}{12 b^2 (1 - \mu^2)}$$

mit der Querdehnungszahl

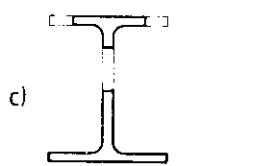
$$\mu = 0,3$$



Ermittlung der wirksamen Stegbreite mit  $\sigma$  und  $\psi = \psi_2 \geq \psi_1$



Ermittlung der wirksamen Flanschbreite mit  $\sigma$  und  $\psi_1 = -1,0$ .



Wirksamer Querschnitt

Bild 42. Ermittlung des wirksamen Querschnittes eines I-Trägers unter einachsiger Biegung

## DIN 18800 Teil 2

## (713) Aufteilung der wirksamen Breite

Die wirksame Breite ist nach Tabelle 27 aufzuteilen.

Tabelle 27. Aufteilung der wirksamen Breite  $b'$ 

1	Beidseitige Lagerung A	
		mit $Q = \frac{1}{\lambda_{P\sigma}} [(0,97 + 0,03\psi) - (0,16 + 0,06\psi)/\lambda_{P\sigma}]$ $k_1 = -0,04\psi^2 + 0,12\psi + 0,42$ $k_2 = +0,04\psi^2 - 0,12\psi + 0,58$
2		
3	Einseitige Lagerung B	
4		

Anmerkung 1: Im Unterschied zu DIN 18800 Teil 3, Tabelle 1, Zeile 3 und DIN 18800 Teil 1, Tabelle 12, wird bei Randspannungsverhältnissen  $0 \leq \psi \leq 1$  der Faktor  $c$  hier nicht berücksichtigt, um zu einfachen Regeln und zu einer Übereinstimmung mit anderen nationalen und internationalen Regelwerken zu kommen.

Anmerkung 2: Die Werte  $Q$ ,  $k_1$ ,  $k_2$  sind so ermittelt, daß vereinfachend der Beulwert  $k$  entsprechend Element 712 bestimmt werden kann.

## 7.4 Wirksame Breite beim Verfahren Elastisch-Plastisch

(714) Die Größe der wirksamen Breite ist den Gleichungen (85) bis (87) zu entnehmen. Die Beiwerte  $k$  und die Aufteilung der wirksamen Breite sind aus Tabelle 28 zu bestimmen. Dabei ist die Gleichgewichtsbedingung

$$\sum N_i = N$$

zu erfüllen und

$$b'' = \sum b''_i, \quad \text{jedoch } b'' \leq b \quad (84)$$

einzuhalten ( $i = 1$  bis 3).

$$b''_1 = k_1 \cdot t \sqrt{240/f_{y,k}} \quad (85)$$

$$b''_2 = k_2 \cdot t \sqrt{240/f_{y,k}} \quad (86)$$

$$b''_3 = \frac{\psi_\varepsilon}{\psi_\varepsilon - 1} \cdot b \quad (\psi_\varepsilon < 0) \quad (87)$$

Anmerkung: Im allgemeinen ist zur Bestimmung der wirksamen Breite eine Iteration erforderlich.

## 7.5 Biegeknicken

## 7.5.1 Spannungsnachweis beim Verfahren Elastisch-Elastisch

(715) Der Tragsicherheitsnachweis ist mit Bedingung (88) zu führen.

$$\sigma_D \leq f_y,d \quad (88)$$

Dabei ist  $\sigma_D$  die unter Zugrundelegung des wirksamen Querschnitts berechnete, maximale Druckspannung am Längsrand des dünnwandigen Querschnittsteils. Unter Längsrand wird ein Rand des vorhandenen, nicht reduzierten Querschnittsteils verstanden.

Es darf Abschnitt 7.2, Element 706, angewendet werden.

## 7.5.2 Vereinfachte Nachweise

## 7.5.2.1 Planmäßig mittiger Druck

(716) Es wird der durch Einführung wirksamer Breiten für den Biegedruckgurt und gegebenenfalls Steg erhaltenen wirksame Querschnitt zugrunde gelegt. Hierbei ist für den Steg eine Spannungsverteilung zu schätzen. Der Biegezuggurt wird nicht reduziert. Der Tragsicherheitsnachweis ist mit Bedingung (89) zu führen.

$$\frac{N}{k' \cdot A' \cdot f_{y,d}} \leq 1 \quad (89)$$

mit

$$k' = \frac{1}{k' + \sqrt{k'^2 - \lambda_K^2}}, \quad \text{jedoch } k' \leq 1 \quad (90)$$

$$k' = \frac{1}{2} \cdot [1 + \alpha (\bar{\lambda}_K - 0,2) + \bar{\lambda}_K^2 + \frac{\Delta w_0 \cdot r_D}{i^2}] \quad (91)$$

$$\alpha' = \alpha \frac{i \cdot r_D}{i' \cdot r_D} \quad (92)$$

$$\bar{\lambda}_K = \frac{s_K}{i \cdot \lambda_a} \quad (93)$$

$$i' = \sqrt{I/A} \quad (94)$$

$I$ ,  $A'$  Flächenmoment 2. Grades (Trägheitsmoment), Querschnittsfläche des wirksamen Querschnitts

$\Delta w_0$  Schwerpunktverschiebung durch Querschnittsreduzierung, entsprechend den Angaben in Abschnitt 7.2, Element 709, zu berechnen

$r_D, r'_D$  Abstand des Biegedruckrandes von der Schwerachse des vollen bzw. wirksamen Querschnittes (Bild 40)

$\alpha$  Parameter nach Tabelle 4

$i$  Trägheitsradius des vollen Querschnitts

$s_K$  Knicklänge, berechnet unter Berücksichtigung des wirksamen Flächenmomentes 2. Grades  $I'$

Anmerkung 1: Der Nachweis entspricht im Prinzip demjenigen nach Abschnitt 3.2.1, Element 304. Ähnlich wie in Abschnitt 3.4.2.1, Element 313, ist der Einfluß der zusätzlichen Exzentrizität  $\Delta w_0$  durch ein Zusatzglied bei  $k'$  berücksichtigt.

Anmerkung 2: Eine andere Nachweismöglichkeit ist auch durch Abschnitt 7.5.2.2 gegeben, wobei dort der Einfluß aus  $\Delta w_0$  durch ein planmäßiges Biegemoment  $M_y = N \cdot \Delta w_0$  zu berücksichtigen ist. In diesem Falle ist dann in  $k'$  der Anteil mit  $\Delta w_0$  zu streichen.

(717) Zusätzlich zum Nachweis nach Abschnitt 7.5.2.1, Element 716, ist ein Nachweis mit Bedingung (95) mit einer anderen wirksamen Fläche  $A'$  zu führen. Diese wirksame Fläche  $A'$  wird unter der Annahme bestimmt, daß der gesamte wirksame Querschnitt eine konstante Druckspannung aufweist.

$$\frac{N}{A' \cdot f_{y,d}} \leq 1 \quad (95)$$

### 7.5.2.2 Einachsige Biegung mit Normalkraft

#### (718) Nachweis

Der Tragsicherheitsnachweis darf mit Bedingung (24) geführt werden. Bei der Ermittlung des bezogenen Schlankheitsgrades  $\bar{\lambda}_K$  ist das wirksame Flächenmoment 2. Grades  $I'$  (Element 719) bzw.  $I''$  (Element 720) zu berücksichtigen.

Anmerkung: Eine andere Nachweismöglichkeit ist durch die Literatur [19] gegeben.

#### (719) Verfahren Elastisch-Elastisch

In Bedingung (24) sind

$N_{pl,d}$  durch  $N'_{pl,d}$

$M_{pl,d}$  durch  $M'_{pl,d}$

$\kappa$  durch  $\kappa'$

$\bar{\lambda}_K$  durch  $\bar{\lambda}'_K$

zu ersetzen, mit

$$N'_{pl,d} = A' \cdot f_{y,d} \quad (96)$$

$$M'_{pl,d} = \frac{I'}{r'_D} \cdot f_{y,d} \quad (97)$$

$\kappa', \bar{\lambda}'_K$  nach Abschnitt 7.5.2.1, Element 716.

#### (720) Verfahren Elastisch-Plastisch

In Bedingung (24) sind

$N_{pl,d}$  durch  $N''_{pl,d}$

$M_{pl,d}$  durch  $M''_{pl,d}$

$\kappa$  durch  $\kappa''$

$\bar{\lambda}_K$  durch  $\bar{\lambda}''_K$

zu ersetzen. Diese Werte ergeben sich analog zu den Gleichungen (96), (97) nach Abschnitt 7.5.2.1, Element 716, an dem mit  $b''$  reduzierten Querschnitt.

Anmerkung: Beispiele für diese Reduktion von  $b''$  sind in Tabelle 28 angegeben.

Tabelle 28. Größe und Aufteilung der wirksamen Breite  $b''$

1	Beidseitige Lagerung		$\epsilon_1 = \psi_\epsilon \cdot \epsilon_a$ $\epsilon_a = \psi_\epsilon \cdot \epsilon_0$ $k_1 = 18,5$ $k_2 = 18,5$
			$\epsilon_1 = \psi_\epsilon \cdot \epsilon_a$ $\epsilon_a = \psi_\epsilon \cdot \epsilon_0$ $k_1 = 0$ $k_2 = 11$
3	Einseitige Lagerung		$\epsilon_1 = \psi_\epsilon \cdot \epsilon_a$ $\epsilon_a = \psi_\epsilon \cdot \epsilon_0$ $k_1 = 0$ $k_2 = 11$
			$\epsilon_1 = \psi_\epsilon \cdot \epsilon_a$ $\epsilon_a = \psi_\epsilon \cdot \epsilon_0$ $k_1 = \begin{cases} 0 & 1 \geq \psi_\epsilon \geq 0 \\ 4.56 \cdot \psi_\epsilon & 0 \geq \psi_\epsilon \geq -1 \end{cases}$ $k_2 = 11$

## DIN 18800 Teil 2

## 7.5.2.3 Zweiachsige Biegung mit oder ohne Normalkraft

(721) Der Tragsicherheitsnachweis darf nach Abschnitt 3.5.1 geführt werden. Abschnitt 7.5.2.2 ist sinngemäß anzuwenden.

## 7.6 Biegedrillknicken

## 7.6.1 Nachweis

(722) Der Tragsicherheitsnachweis darf nach Abschnitt 3 geführt werden. Dabei sind jedoch in den dort aufgeführten Bedingungen die nachfolgenden Änderungen durch die Abschnitte 7.6.2 und 7.6.3 (Elemente 723 bis 727) zu beachten.

## 7.6.2 Planmäßig mittiger Druck

(723) Die Berechnung erfolgt analog zu Abschnitt 3.2.2 wie beim Biegeknicken nach Abschnitt 7.5. Bei der Ermittlung des bezogenen Schlankheitsgrades  $\lambda_K$  sind bei der Berechnung der Normalkraft  $N_{Ki}$  unter der kleinsten Verzweigungslast für das Biegedrillknicken nach der Elastizitätstheorie die reduzierten Querschnittswerte zu berücksichtigen.

## 7.6.3 Einachsige Biegung ohne Normalkraft

## 7.6.3.1 Nachweis des Druckgurtes als Druckstab

(724) Die Berechnung erfolgt nach Abschnitt 3.3.3. Dabei ist jedoch in Gleichung (13)  $k_c = 1$  zu setzen,  $i_{z,g}$  nach Gleichung (98) zu bestimmen und in Bedingung (14)  $M_{pl,y,d}$  durch  $M_{pl,d}$  zu ersetzen.

$$i_{z,g} = \sqrt{\frac{I_{z,g}}{A_g' + A_s/5}} \quad (98)$$

mit

$I_{z,g}$  reduziertes Flächenmoment 2. Grades des Druckgurtes um die z-Achse

$A_g'$  reduzierte Fläche des Druckgurtes

$A_s$  nichtreduzierte Stegfläche

Anmerkung: Falls das Verfahren Elastisch-Plastisch nach Tabelle 1, Zeile 3 angewendet wird, sind die Werte  $I_{z,g}'$ ,  $A_g'$  und  $M_{pl,d}$  durch  $I_{z,g}''$ ,  $A_g''$  und  $M_{pl,d}''$  zu ersetzen.

## 7.6.3.2 Allgemeiner Nachweis

## (725) Biegedrillknickmoment nach Elastizitätstheorie

Das Moment  $M_{Ki,y}$  ist durch  $\text{red } M_{Ki}$  zu ersetzen, das näherungsweise aus der Gleichung (99) berechnet werden darf.

$$\text{red } M_{Ki} = M_{Ki,y} \sqrt{\frac{1}{1 + \left(\frac{M_{Ki,y}}{M_{Ki,P}}\right)^2}} \quad (99)$$

mit

$$M_{Ki,P} = k \cdot \sigma_e \cdot W \quad (100)$$

ideales Biegemoment für das Plattenbeulen des Querschnitts oder maßgebenden Querschnittsteils

$k$  Beulwert (z.B. nach Tabelle 26)

$\sigma_e$  nach Abschnitt 7.3, Element 712

$W$  maßgebendes Widerstandsmoment des vollen Querschnitts

Anmerkung 1: Bei einer genaueren Berechnung wird  $\text{red } M_{Ki}$  direkt unter Beachtung des Beulens der Einzelteile des Querschnittes ermittelt.

Anmerkung 2: Beulwerte für Gesamtprofile können zum Teil der Literatur entnommen werden, z.B. [17], [18].

## (726) Nachweis beim Verfahren Elastisch-Elastisch

Bei der Berechnung des bezogenen Schlankheitsgrades  $\lambda_M$  nach Abschnitt 1.3, Element 110 ist  $M_{pl,y}$  durch  $M_{pl}$  zu ersetzen. Im Nachweis nach Bedingung (16) ist  $M_{pl,y,d}$  durch  $M_{pl,d}$  zu ersetzen. Der Wert  $M_{pl,d}''$  ergibt sich aus Gleichung (97).

## (727) Nachweis beim Verfahren Elastisch-Plastisch

Bei der Berechnung des bezogenen Schlankheitsgrades  $\lambda_M$  nach Abschnitt 1.3, Element 110 ist  $M_{pl,y}$  durch  $M_{pl}''$  zu ersetzen. Im Nachweis nach Bedingung (16) ist  $M_{pl,y,d}$  durch  $M_{pl,d}''$  zu ersetzen.  $M_{pl}''$  ist am wirksamen Querschnitt mit den Breiten  $b''$  analog zu Gleichung (97) zu ermitteln.

## 7.6.4 Einachsige Biegung mit Normalkraft

(728) Der Tragsicherheitsnachweis ist mit Bedingung (27) zu führen. Dabei sind die aufnehmbare Normalkraft nach Abschnitt 7.5.2.1, das aufnehmbare Biegemoment nach Abschnitt 7.6.3, Element 726 (bei Anwendung des Verfahrens Elastisch-Elastisch) bzw. 727 (bei Anwendung des Verfahrens Elastisch-Plastisch) zu berechnen.

## 7.6.5 Zweiachsige Biegung mit oder ohne Normalkraft

(729) Der Tragsicherheitsnachweis darf mit Bedingung (30) geführt werden. Abschnitt 7.6.4 ist sinngemäß anzuwenden.

## Zitierte Normen und andere Unterlagen

DIN 1025 Teil 1	Formstahl; Warmgewalzte I-Träger, Schmale I-Träger, I-Reihe, Maße, Gewichte, zulässige Abweichungen, statische Werte
DIN 1025 Teil 2	Formstahl; Warmgewalzte I-Träger, Breite I-Träger, IPB- und IB-Reihe, Maße, Gewichte, zulässige Abweichungen, statische Werte
DIN 1025 Teil 3	Formstahl; Warmgewalzte I-Träger, Breite I-Träger, leichte Ausführung, IPBI-Reihe, Maße, Gewichte, zulässige Abweichungen, statische Werte
DIN 1025 Teil 4	Formstahl; Warmgewalzte I-Träger, Breite I-Träger, verstärkte Ausführung, IPBv-Reihe, Maße, Gewichte, zulässige Abweichungen, statische Werte
DIN 1025 Teil 5	Formstahl; Warmgewalzte I-Träger, Mittelbreite I-Träger, IPE-Reihe, Maße, Gewichte, zulässige Abweichungen, statische Werte
DIN 4114 Teil 1	Stahlbau; Stabilitätsfälle (Knickung, Kippung, Beulung), Berechnungsgrundlagen, Vorschriften
DIN 4114 Teil 2	Stahlbau; Stabilitätsfälle (Knickung, Kippung, Beulung), Berechnungsgrundlagen, Richtlinien
DIN 18800 Teil 1	Stahlbauten; Bemessung und Konstruktion
DIN 18800 Teil 3	Stahlbauten; Stabilitätsfälle, Plattenbeulen
DIN 18800 Teil 4	Stahlbauten; Stabilitätsfälle, Schalenbeulen
DIN 18807 Teil 1	Trapezprofile im Hochbau; Stahltrapezprofile; Allgemeine Anforderungen, Ermittlung der Tragfähigkeitswerte durch Berechnung
DIN 18807 Teil 2	Trapezprofile im Hochbau; Stahltrapezprofile; Durchführung und Auswertung von Tragfähigkeitsversuchen
DIN 18807 Teil 3	Trapezprofile im Hochbau; Stahltrapezprofile; Festigkeitsnachweis und konstruktive Ausbildung
DAS-Richtlinie 016	Bemessung und konstruktive Gestaltung von Tragwerken aus dünnwandigen kaltgeformten Bau- teilen <sup>1)</sup> )

## Literatur

- [1] ECCS-CECM-EKS, Publication No. 33: Ultimate Limit State Calculation of Sway Frames with Rigid Joints. Brüssel, 1984
- [2] Stahl im Hochbau, 14. Auflage, Band I/ Teil 2, Verlag Stahleisen mbH. Düsseldorf, 1986
- [3] Lindner, J. und Gregull, T.: Drehbettungswerte für Dachdeckungen mit untergelegter Wärmedämmung, Stahlbau **58** (1989), S. 173–179
- [4] Lindner, J.: Stabilisierung von Biegeträgern durch Drehbettung — eine Klarstellung, Stahlbau **56** (1987), S. 365–373
- [5] Roik, K., Carl, J. und Lindner, J.: Biegetorsionsprobleme gerader dünnwandiger Stäbe. Berlin, München. Düsseldorf: Ernst & Sohn 1972
- [6] Petersen, Chr.: Statik und Stabilität der Baukonstruktionen. Braunschweig, Wiesbaden: Friedr. Vieweg und Sohn, 2. Auflage 1982
- [7] Roik, K. und Kindmann, R.: Das Ersatzstabverfahren — Tragsicherheitsnachweise für Stabwerke bei einachsiger Biegung und Normalkraft, Stahlbau **51** (1982), S. 137–145
- [8] Lindner, J. und Gietzelt, G.: Zweiachsige Biegung und Längskraft — ein ergänzender Bemessungsvorschlag, Stahlbau **54** (1985), S. 265–271
- [9] Ramm, W. und Uhlmann, W.: Zur Anpassung des Stabilitätsnachweises für mehrteilige Druckstäbe an das europäische Nachweiskonzept, Stahlbau **50** (1981), S. 161–172
- [10] Vogel, U. und Rubin, H.: Baustatik ebener Stabwerke. In: Stahlbau-Handbuch Band 1. Stahlbau-Verlags-GmbH. Köln, 1982
- [11] Rubin, H.: Näherungsweise Bestimmung der Knicklängen und Knicklasten von Rahmen nach E-DIN 18800 Teil 2, Stahlbau **58** (1989), S. 103–109
- [12] Rubin, H.: Das Drehverschiebungsverfahren zur vereinfachten Berechnung unverschieblicher Stockwerkrahmen nach Theorie I. und II. Ordnung, Bauingenieur **59** (1984) S. 467–475
- [13] Palkowski, S.: Stabilität von Zweigelenkbögen mit Hängern und Zugband, Stahlbau **56** (1987), S. 169–172
- [14] Palkowski, S.: Statik und Stabilität von Zweigelenkbögen mit schrägen Hängern und Zugband, Stahlbau **56** (1987), S. 246–250
- [15] Dabrowski, R.: Knicksicherheit des Portalrahmens, Bauingenieur **35** (1960), S. 178–182
- [16] Rubin, H.: Beul-Knick-Problem eines Stabes unter Druck und Biegung, Stahlbau **55** (1986), S. 79–86.
- [17] Schardt, R. und Schrade, W.: Bemessung von Dachplatten und Wandriegeln aus Kaltprofilen, Forschungsbericht des Ministers für Landes- und Stadtentwicklung des Landes Nordrhein-Westfalen. TH Darmstadt. 1981
- [18] Bulson, P. S.: The Stability of Flat Plates. Chatto and Windus Ltd., London. 1970
- [19] Grube, R. und Priebe, J.: Zur Methode der wirksamen Querschnitte bei einachsiger Biegung mit Normalkraft, Stahlbau **59** (1990), S. 141–148.

<sup>1)</sup> Zu beziehen bei: Deutscher Ausschuß für Stahlbau, Ebertplatz 1, 5000 Köln 1

DIN 18800 Teil 2

## Frühere Ausgaben

DIN 4114 Teil 1: 07.52 xx

DIN 4114 Teil 2: 02.53 x

## Änderungen

Gegenüber DIN 4114 T 1/07.52 xx und DIN 4114 T 2/02.53 x wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- Norm-Nummer und Titel im Rahmen der Neuordnung des Stahlbau-Normenwerks geändert.
- Inhalt den verschiedenartigen Stabilitätsfällen (Knicken, Beulen) entsprechend neu gegliedert.
- Inhalt dem Stand der Technik angepaßt und unter Berücksichtigung der vom NABau herausgegebenen „Grundlagen zur Festlegung von Sicherheitsanforderungen an baulichen Anlagen“ (GruSiBau) vollständig überarbeitet.

## Erläuterungen

Neben der inhaltlichen Neugestaltung der Normen der Reihe DIN 18 800 wurde auch versucht, ihnen äußerlich ein anderes Erscheinungsbild zu geben und damit zu einer leichteren, einfacheren Handhabung der Norm beizutragen. Damit folgten der NABau-Fachbereich 08 und seine für die Erarbeitung dieser Normen zuständigen Arbeitsausschüsse einem Beschuß des NABau-Beirats aus dem Jahre 1981, eine solche neue Struktur probeweise anzuwenden. Im folgenden wird dieses Konzept erläutert und dem Anwender damit gewissermaßen eine Art „Gebrauchsanweisung“ an die Hand gegeben.

Grundgedanken dieser neuen Struktur sind die — im Rahmen der Normenerstellung eigentlich schon immer erhobenen — Forderungen nach

- Eindeutigkeit, Überschaubarkeit und Transparenz der verschiedenen Aussagen,
- leichter Ansprechbarkeit, Adressierbarkeit und Austauschbarkeit der einzelnen Inhaltsteile,
- einfacher, widerspruchsfreier Fortschreibung der Einzelregelungen,
- einfacher Anwendung.

Um dies zu erreichen, wurde ausgehend von und aufbauend auf dem Anforderungsprofil der Deutschen Bundesbahn für die Erstellung ihrer bautechnischen Regelwerke sowie in Übereinstimmung mit dem nach den Regeln von DIN 820 „Machbarem“ das hiermit nunmehr vorliegende Erscheinungsbild gefunden.

Im Rahmen der üblichen, allgemein bekannten Gliederung in Abschnitte und Unterabschnitte nach dem Dezimalsystem ist darüber hinaus der gesamte Text in überschaubare, (abschnittsweise) durchgehend benummerte, sogenannte „Elemente“ gegliedert, deren jedes eine in sich geschlossene Aussage enthält und damit auch bei Übernahme in eine andere Norm verständlich bleibt. Zu jedem Element gehört eine Überschrift, welche den wesentlichen Inhalt in Kurzform erkennen läßt.

Die Aussagewertigkeit der Regelungen wird unterschieden nach

- **verbindlichen Regelungen** in Form von Geboten, Verboten, Grundsätzen (Regeln),
- **nicht verbindlichen Regelungen** in Form von Empfehlungen sowie Erlaubnissen unter konkret beschriebenen Bedingungen,
- **Erläuterungen** in Form von Beispielen, Hinweisen, Skizzen und Bildern.

Die eindeutige Formulierung des jeweiligen Verbindlichkeitsgrades jeder Regelung ergibt sich aus der konsequenten Anwendung der modalen Hilfsverben nach DIN 820 Teil 23. Zur Verbesserung der Übersicht wird der Verbindlichkeitsgrad jedoch nicht nur verbal beschrieben, sondern auch durch ein entsprechendes Druckbild optisch unterschieden. Danach sind die „nicht verbindlichen Regelungen“ mit einem Raster unterlegt, und die „Erläuterungen“ stehen eingerückt als Anmerkung unmittelbar hinter dem jeweiligen Element.

## Internationale Patentklassifikation

E 04 B 1/19

E 04 B 1/24

G 01 B 21/00

G 01 N 3/00

# Stahlbauten

## Stabilitätsfälle, Plattenbeulen

**DIN**  
**18 800**  
Teil 3

Steel structures; stability; buckling of plates  
Constructions métalliques; stabilité; voilements des plaques

Mit DIN 18 800 T 2/11.90  
Ersatz für  
DIN 4114 T 1/07.52xx  
und DIN 4114 T 2/02.53x

Neben dieser Norm gelten DIN 4114 Teil 1/07.52xx und DIN 4114 Teil 2/02.53x einschließlich aller diese ergänzenden Erlasse, Rundschreiben und technischen Regelwerke noch bis zum Erscheinen einer europäischen (EN-)Norm über das Plattenbeulen von Stahlbauten.

Diese Norm wurde im NABau-Fachbereich 08 Stahlbau — Deutscher Ausschuß für Stahlbau e.V. — ausgearbeitet.

Mit den vorliegenden neuen Normen der Reihe DIN 18 800 wurde erstmals das Sicherheits- und Bemessungskonzept der im Jahre 1981 vom NABau herausgegebenen „Grundlagen zur Festlegung von Sicherheitsanforderungen an bauliche Anlagen“ (GruSiBau) verwirklicht. Darüber hinaus ist auch den laufenden Entwicklungen hinsichtlich der europäischen Vereinheitlichungsbemühungen (Stichwort: EUROCODES) Rechnung getragen worden.

Alle Verweise auf die Normen DIN 18 800 Teil 1 und Teil 2 beziehen sich auf deren Ausgabe November 1990.

### Inhalt

#### 1 Allgemeine Angaben

- 1.1 Anwendungsbereich
- 1.2 Begriffe
- 1.3 Randbedingungen
- 1.4 Formelzeichen

#### 2 Bauteile ohne oder mit vereinfachtem Nachweis

#### 3 Beulsteifen

#### 4 Spannungen infolge Einwirkungen

#### 5 Nachweise

#### 6 Abminderungsfaktoren

#### 7 Nachweis der Quersteifen

#### 8 Einzelregelungen

#### 9 Höchstwerte $f$ für unvermeidbare Herstellungsungenauigkeiten

#### 10 Konstruktive Forderungen und Hinweise

#### Zitierte Normen und andere Unterlagen

#### Frühere Ausgaben

#### Änderungen

#### Erläuterungen

### 1 Allgemeine Angaben

#### 1.1 Anwendungsbereich

##### (101) Tragsicherheitsnachweis

Diese Norm regelt den Tragsicherheitsnachweis von stabilitätsgefährdeten, plattenartigen Bauteilen aus Stahl. Dabei sind die Beanspruchungen (Schnittgrößen und Spannungen) aus den Bemessungswerten der Einwirkungen nach der Elastizitätstheorie zu ermitteln.

Diese Norm gilt stets in Verbindung mit DIN 18 800 Teil 1.

Die Regeln dieser Norm gelten für versteifte und unversteifte Rechteckplatten, die in ihrer Ebene durch Normal- und Schubspannungen beansprucht werden.

Platten, deren Form vom Rechteck abweicht, dürfen entsprechend nachgewiesen werden.

Anmerkung 1: Der Nachweis nach dieser Norm entspricht dem Nachweisverfahren Elastisch-Elastisch in DIN 18 800 Teil 1, Abschnitt 7.4.

Querschnitts- oder Systemreserven durch plastischen Ausgleich werden rechnerisch nicht in Anspruch genommen.

Anmerkung 2: Die Erfassung des Einflusses des Beulens auf das Knicken von Stäben mit unversteiften Querschnittsteilen ist in DIN 18 800 Teil 2, Abschnitt 7, und von Stäben mit versteiften Querschnittsteilen in DIN 18 800 Teil 3, Abschnitt 5, geregelt.

##### (102) Gebrauchstauglichkeitsnachweis

Gebrauchstauglichkeitsnachweise sind nur dann zu führen, wenn sie in Fachnormen gefordert werden.

Anmerkung: Vergleiche dazu DIN 18 800 Teil 1, Abschnitte 7.2.3 und 7.3.1, Element 723.

**Diese Neuauflage von DIN 18 800 Teil 3 enthält gegenüber der Erstaufgabe Druckfehlerberichtigungen, die an den entsprechenden Stellen durch einen Balken am Rand gekennzeichnet sind.**

## DIN 18 800 Teil 3

## 1.2 Begriffe

## (103) Beulen

Beim Versagen einer Platte infolge Beulen treten Verschiebungen rechtwinklig zu ihrer Ebene auf.

## (104) Beulfelder

Beulfährdete Rechteckplatten in Bauteilen werden Beulfelder genannt. Ihre Längsränder sind in Richtung der Längsachse des Bauteils orientiert.

Beulfelder können durch Steifen verstiftet werden. Steifen in Richtung der Längsränder werden Längssteifen, solche in Richtung der Querränder Quersteifen genannt.

Es werden Gesamtfelder, Teilfelder und Einzelfelder unterschieden (Bild 1).

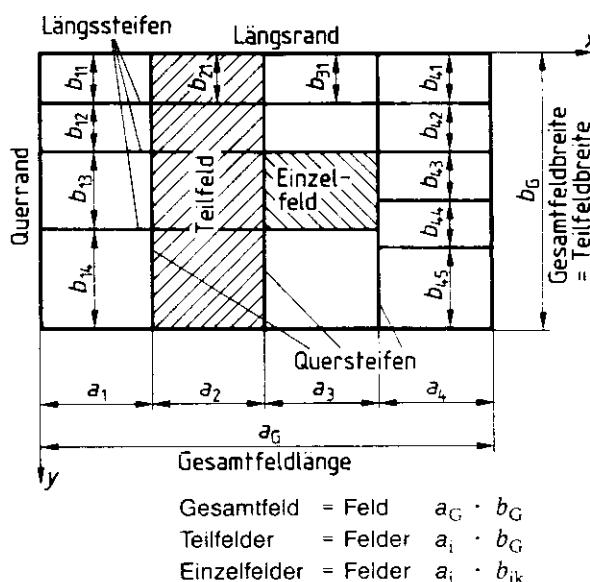


Bild 1. Beulfelder

## (105) Gesamtfelder

Gesamtfelder sind versteifte oder unversteifte Platten, die in der Regel an ihren Längs- und Querrändern unverschieblich gelagert sind (Bild 2).

Ränder können auch elastisch gestützt, Längsränder können auch frei sein.

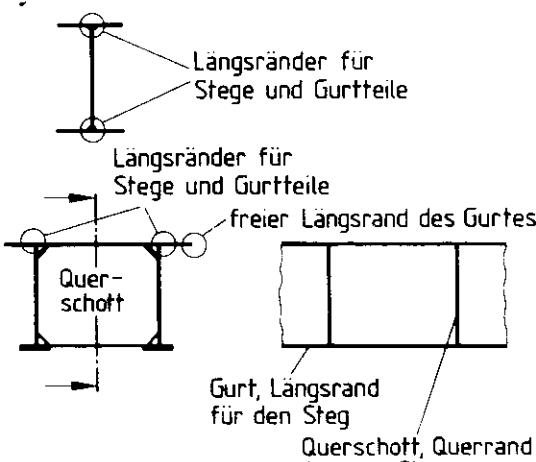


Bild 2. Beispiele für Plattenränder von Stegen und Gurtteilen

## (106) Teilfelder

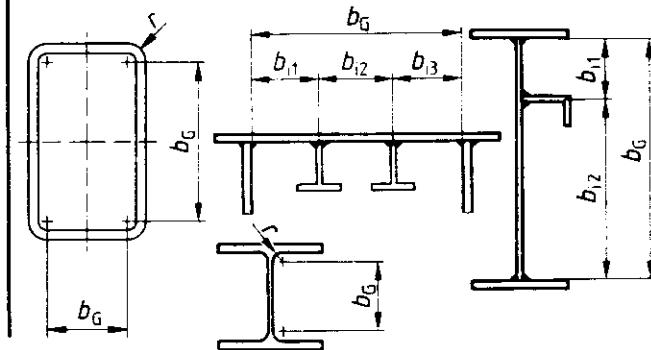
Teilfelder sind längsversteifte oder unversteifte Platten, die zwischen benachbarten Quersteifen oder zwischen einem Querrand und einer benachbarten Quersteife und den Längsrändern des Gesamtfeldes liegen.

## (107) Einzelfelder

Einzelfelder sind unversteifte Platten, die zwischen Steifen oder zwischen Steifen und Rändern längsversteifter Teilfelder liegen. Querschnittsteile von Steifen sind ebenfalls Einzelfelder.

## (108) Maßgebende Beulfeldbreite

Die maßgebenden Beulfeldbreiten  $b_G$  für Gesamt- und Teilfelder und  $b_{ik}$  für Einzelfelder sind in Bild 3 festgelegt.

Bild 3. Maßgebende Beulfeldbreite  $b_G$  oder  $b_{ik}$ 

Die Beulfeldbreiten  $b_G$  und  $b_{ik}$  dürfen in Übereinstimmung mit DIN 18 800 Teil 1, Tabellen 12 und 13, als Abstände der Schweißnahrränder festgelegt werden.

## 1.3 Randbedingungen

(109) Für rechtwinklig zur Platte unverschieblich gelagerte Plattenränder ist in der Regel eine gelenkige Lagerung anzunehmen.

Anmerkung: Beim Nachweis der Quersteifen ist Abschnitt 7 zu beachten.

Für Ränder von Einzelfeldern, die durch Steifen gebildet werden, darf beim Nachweis der Einzelfelder unverschiebliche, gelenkige Lagerung angenommen werden. Für die Querränder von Teilfeldern, die durch Quersteifen gebildet werden, darf beim Nachweis der Teilfelder unverschiebliche Lagerung angenommen werden.

An Randsteifen, die einen Längsrand elastisch unterstützen, darf unverschiebliche Lagerung angenommen werden, wenn für die Steife ein Stabilitätsnachweis nach DIN 18 800 Teil 2 geführt wird.

Stützende und einspannende Wirkungen benachbarter Bauteile dürfen berücksichtigt werden, wenn die Gesamtstabilität der zusammenwirkenden Teile berücksichtigt wird.

Anmerkung: Die Randsteife muß den Anteil der Normalkraft des angrenzenden Teil- oder Gesamtfeldes (einschließlich der gegebenenfalls vorhandenen Längssteifen) übertragen, der nicht vom Teil- oder Gesamtfeld unter der Annahme eines freien Längsrandes übertragen werden kann. Hierbei ist das Randspannungsverhältnis  $\psi$  zu beachten. Ist für die Längssteifen des Teilfeldes ein Knicknachweis erbringbar, so braucht allein der Normalkraftanteil des angrenzenden Einzelfeldes berücksichtigt zu werden.

Die wirksame Gurtbreite der Randsteife folgt aus Abschnitt 3, Element 302. Sie liegt dann auf der sicheren Seite, wenn der Normalkraftanteil aus dem Teilfeld, der der Randsteife zugewiesen wurde, größer als der aus dem angrenzenden Einzelfeld ist.

## 1.4 Formelzeichen

### (110) Koordinaten, Spannungen (Bild 4)

$x$	Achse in Plattenlängsrichtung
$y$	Achse in Plattenquerrichtung
$\sigma_x, \sigma_y$	Normalspannung in Richtung der Achsen $x$ und $y$ (Druck positiv)
$\tau$	Schubspannung
$\psi$	Randspannungsverhältnis im untersuchten Beulfeld, bezogen auf die größte Druckspannung

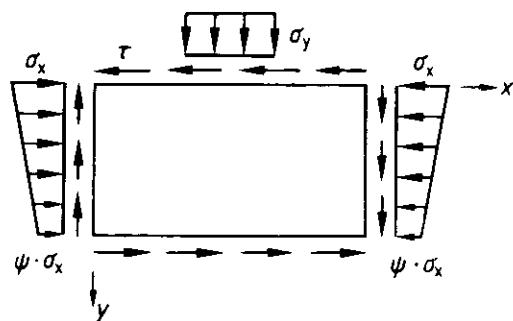


Bild 4. Spannungen

### (111) Physikalische Kenngrößen, Festigkeiten

$E$	Elastizitätsmodul
$f_y$	Streckgrenze

Anmerkung: Für die Zahlenwerte von  $E$  und  $f_{y,k}$  siehe DIN 18800 Teil 1, Tabelle 1.

### (112) Nebenzeichen

Index k	charakteristischer Wert einer Größe
Index d	Bemessungswert einer Größe

### (113) Systemgrößen

$a$	Länge des untersuchten Beulfeldes
$b$	Breite des untersuchten Beulfeldes
$\alpha = a/b$	Seitenverhältnis
$t$	Plattendicke
$\sigma_e = \frac{\pi^2 \cdot E}{12(1-\mu^2)} \left( \frac{t}{b} \right)^2$	Bezugsspannung
$k_{\sigma_x}, k_{\sigma_y}, k_{\tau}$	Beulwerte des untersuchten Beulfeldes bei alleiniger Wirkung von Randspannungen $\sigma_x, \sigma_y$ oder $\tau$
$\sigma_{xPi} = k_{\sigma_x} \cdot \sigma_e$	Ideale Beulspannung bei alleiniger Wirkung von Randspannungen $\sigma_x$
$\sigma_{yPi} = k_{\sigma_y} \cdot \sigma_e$	Ideale Beulspannung bei alleiniger Wirkung von Randspannungen $\sigma_y$
$\tau_{Pi} = k_{\tau} \cdot \sigma_e$	Ideale Beulspannung bei alleiniger Wirkung von Randspannungen $\tau$
$\lambda_a = \pi \cdot \sqrt{\frac{E}{f_{y,k}}}$	Bezugsschlankheitsgrad

$$\lambda_p = \pi \cdot \sqrt{\frac{E}{\sigma_{Pi}}} \text{ bzw.}$$

$$\lambda_p = \pi \cdot \sqrt{\frac{E}{t_{Pi} \cdot 1/3}}$$

$$\bar{\lambda}_p = \lambda_p / \lambda_a$$

$$\kappa_x, \kappa_y, \kappa_{\tau}$$

$$\kappa_K$$

$$\sigma_{xP.R.d}, \sigma_{yP.R.d}$$

$$\sigma_{PK.R.d}$$

Plattenschlankheitsgrad

bezogener Plattenschlankheitsgrad nach Tabelle 1, Spalte 4  
Abminderungsfaktoren für das Plattenbeulen (bezogene Tragbeulspannungen)

Abminderungsfaktor  $\kappa$  für das Stabknicken nach DIN 18800 Teil 2, Abschnitt 3.2.1, Element 304

Grenzbeulspannungen

Grenzbeulspannung bei knickstabähnlichem Verhalten

Anmerkung 1: Die Indizes x und y können bei  $\sigma_{xPi}, \sigma_{yPi}, k_{\sigma_x}, k_{\sigma_y}, \kappa_x$  und  $\kappa_y$  entfallen, wenn keine Verwechslungen in bezug auf die Achsrichtungen x und y möglich sind.

Anmerkung 2: Die Bezugsspannung  $\sigma_e$  ist gleich der Eulerschen Knickspannung eines an beiden Enden einspannungsfrei gelagerten Plattenstreifens der Länge  $b$  und der Dicke  $t$ , dessen Biegesteifigkeit durch die Plattensteifigkeit ersetzt wird. Mit den Zahlenwerten  $E = 210\,000 \text{ N/mm}^2$  und  $\mu = 0,3$  ist

$$\sigma_e = 189\,800 \left( \frac{t}{b} \right)^2 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}.$$

Anmerkung 3: Bei der Berechnung der idealen Beulspannungen gelten die Voraussetzungen:

- unbeschränkte Gültigkeit des Hookeschen Gesetzes,
- ideal isotroper Werkstoff,
- ideal ebenes Blech,
- ideal mittige Lasteinleitung,
- keine Eigenspannungen,
- in den Gleichgewichtsbedingungen werden nur lineare Glieder der Verschiebungen berücksichtigt.

Die lineare Beultheorie wird lediglich herangezogen, um einen bezogenen Plattenschlankheitsgrad  $\lambda_p$  zu bestimmen, von dem die für den Beulsicherheitsnachweis erforderlichen Abminderungsfaktoren  $\kappa$  abhängig sind.

Der Index P kennzeichnet das Plattenbeulen.

Anmerkung 4: Der Bezugsschlankheitsgrad  $\lambda_a$  wird mit den charakteristischen Werkstoffkennwerten berechnet. Er beträgt

$$\lambda_a = 92,9 \text{ für St 37 mit } f_{y,k} = 240 \text{ N/mm}^2.$$

$$\lambda_a = 75,9 \text{ für St 52 mit } f_{y,k} = 360 \text{ N/mm}^2.$$

### (114) Querschnitts- und Systemgrößen für Steifen

$I$  Flächenmoment 2. Grades (früher Trägheitsmoment), berechnet mit den wirksamen Gurtbreiten  $b'$

$A$  Querschnittsfläche ohne wirksame Plattenanteile

$$\gamma = 12 \cdot (1 - \mu^2) \frac{I}{b_G \cdot t^3} \text{ Bezigenes Flächenmoment 2. Grades (Steifigkeit)}$$

$$\delta = \frac{A}{b_G \cdot t} \text{ Bezigene Querschnittsfläche}$$

## DIN 18 800 Teil 3

Anmerkung: Mit dem Zahlenwert  $\mu = 0,3$  ist

$$\gamma = 10,92 \frac{l}{b_G \cdot t^3}$$

Nach allgemeinem Sprachgebrauch wird die Benennung Steifigkeit anstelle bezogener Steifigkeit benutzt.

(115) **Teilsicherheitsbeiwerte**

$\gamma_F$  Teilsicherheitsbeiwert für die Einwirkungen

$\gamma_M$  Teilsicherheitsbeiwert für den Widerstand

Anmerkung: Die Zahlenwerte für  $\gamma_F$  und  $\gamma_M$  sind DIN 18 800 Teil 1, Abschnitt 7, zu entnehmen.

## 2 Bauteile ohne oder mit vereinfachtem Nachweis

(201) **Beulsicherung durch angrenzende Bauteile**

Beulsicherheitsnachweise nach dieser Norm sind nicht erforderlich für Platten, deren Ausbeulen durch angrenzende Bauteile verhindert wird.

Anmerkung: Dies kann z.B. für Gurtplatten von Verbundträgern zutreffen.

Tragsicherheitsnachweise nach DIN 18 800 Teil 1 sind jedoch zu führen.

(202) **Walzprofile (I, U, HE-A, HE-B, HE-M und IPE)**

Beulsicherheitsnachweise nach dieser Norm sind nicht erforderlich für Stege, die nur durch Spannungen  $\sigma_x$  und  $\tau$  und keine oder vernachlässigbare Spannungen  $\sigma_y$  beansprucht werden.

— von Walzprofilen nach den Normen DIN 1025 Teil 1 (I) und DIN 1026 (U) mit der Streckgrenze  $f_{y,k} = 240 \text{ N/mm}^2$  oder  $360 \text{ N/mm}^2$  und beliebigem Randspannungsverhältnis  $\psi$ :

— von Walzprofilen nach den Normen DIN 1025 Teil 2 bis Teil 5 (HE-A, HE-B, HE-M, IPE) mit der Streckgrenze  $f_{y,k} = 240 \text{ N/mm}^2$  und dem Randspannungsverhältnis  $\psi \leq 0,7$ ,

— von Walzprofilen nach den Normen DIN 1025 Teil 2 bis Teil 5 (HE-A, HE-B, HE-M, IPE) mit der Streckgrenze  $f_{y,k} = 360 \text{ N/mm}^2$  und dem Randspannungsverhältnis  $\psi \leq 0,4$ .

Anmerkung 1: Bei Ermittlung der Nachweisgrenzen wurde die Randeinspannung der Stege in die Gurte berücksichtigt.

Anmerkung 2: Tragsicherheitsnachweise nach DIN 18 800 Teil 1 sind jedoch zu führen.

(203) **Platten mit gedrungenen Querschnitten**

Beulsicherheitsnachweise nach dieser Norm sind nicht erforderlich für unversteifte Teil- und Gesamtfelder mit unverschieblich gelagerten Längsrändern, die durch Spannungen  $\sigma_x$  und  $\tau$  beansprucht werden, wenn das Breiten-Dicken-Verhältnis

$$b/t \leq 0,64 \sqrt{h_{rx} \cdot E/f_{y,k}} \quad (1)$$

ist.

(204) **Nachweis durch Einhalten von  $b/t$ -Werten**

Anstelle eines Nachweises nach Abschnitt 5 kann für unversteifte Querschnittsteile auch ein Nachweis nach Bedingung (2) geführt werden.

$$b/t \leq \text{grenz } (b/t) \quad (2)$$

Anmerkung: Für unversteifte allseitig gelagerte Teil- und Gesamtfelder bei gleichzeitiger Wirkung von Randspannungen  $\sigma_x$  und  $\tau$  können die Werte  $\text{grenz } (b/t)$  den Bildern 5 und 6 entnommen werden. Für Einzelfelder und bei kleinen Seitenverhältnissen  $\alpha$  können die Werte  $\text{grenz } (b/t)$  größer sein. Weitere Auswertungen für  $\psi < 1$  können [1] entnommen werden.

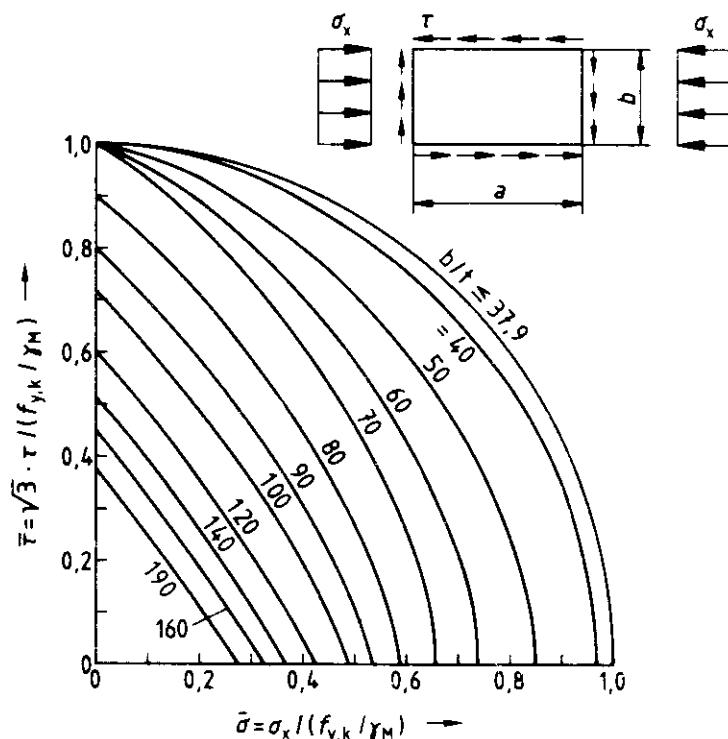
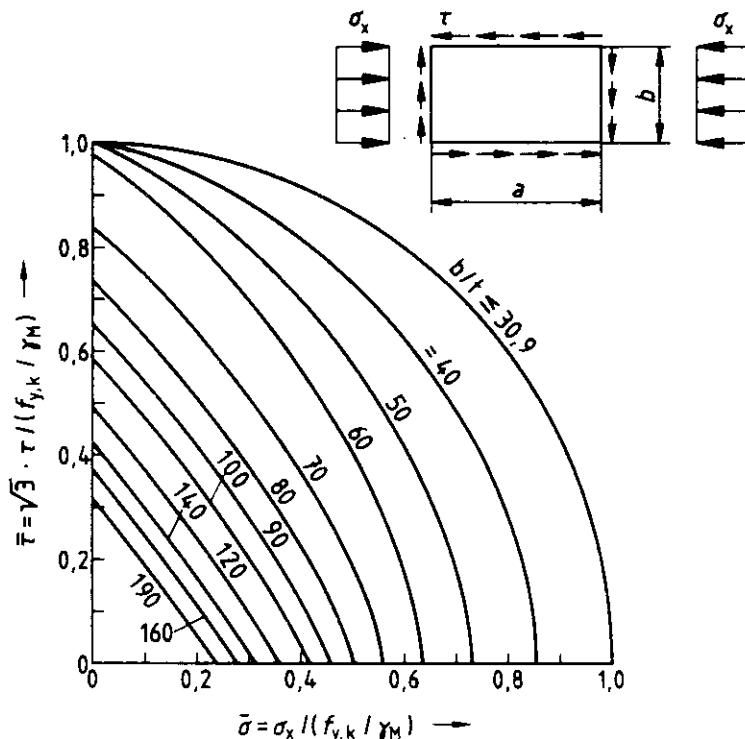


Bild 5.  $\text{grenz } (b/t)$  für St 37,  $\psi = 1$

Bild 6. grenz (b/t) für St 52,  $\psi = 1$ 

Bei den Werten (b/t) in Bild 6 wird die  $\psi$ -abhängige Erhöhung der Abminderungsfaktoren  $\kappa$  nach Tabelle 1, Zeile 1, genauso wie in DIN 18 800 Teil 2, Abschnitt 7, nicht berücksichtigt, um zu einfachen Regeln sowie zu einer Übereinstimmung mit anderen nationalen und internationalen Regelwerken zu kommen. In die Grenzwerte grenz (b/t) in DIN 18 800 Teil 1, Tabelle 12, geht diese Erhöhung ein.

#### (205) Einzelfelder

Bei längsversteiften Platten, die durch Normalspannungen  $\sigma_x$  und geringe Schubspannungen  $\tau \leq 0,3 \tau_{P.R.d}$  beansprucht sind, darf der Nachweis der Einzelfeldern entfallen, wenn

- die im versteiften Teil- oder Gesamtfeld auftretenden Spannungen mit dem wirksamen Querschnitt der untersuchten längsversteiften Platte ermittelt wurden und gleichzeitig
- bei den Einzelfeldern das Breiten-Dicken-Verhältnis  $b_{ik}/t \leq 1,31 \cdot k_{\sigma} \cdot E/f_{y,k}$  ist.

Dabei ist  $\tau_{P.R.d}$  die Grenzbeulspannung des Teil- oder Gesamtfeldes bei Schubbeanspruchung. Der wirksame Querschnitt ist unter Berücksichtigung der wirksamen Breiten von Gurt und Steifen entsprechend Abschnitt 3, Elemente 301 bis 304, zu berechnen.

Bei der Ermittlung der wirksamen Breite nach den Gleichungen (4) und (6) darf anstelle von  $\lambda_a$  der Wert

$$\lambda_{P\sigma} = \pi \sqrt{\frac{E}{f_{y,k} \cdot \kappa_{PK}}}$$

eingesetzt werden, wobei  $\kappa_{PK}$  der Abminderungsfaktor des untersuchten Teil- oder Gesamtfeldes ist.

Der Nachweis ist unter Berücksichtigung des wirksamen Querschnittes nach Gleichung (9) zu führen.

Anmerkung: Bei dieser Nachweisart wird von den Bedingungen des Elementes 402 abgewichen.

### 3 Beulsteifen

#### (301) Gurtbreite gedrückter Längssteifen

Bei gedrückten Längssteifen mit Ausnahme von Randsteifen nach Element 302 ist die einem Steifensteg zugeordnete wirksame Gurtbreite  $b'$  nach Bild 7 und Gleichung (3) zu ermitteln.

$$b' = \frac{b'_{ik}}{2} + \frac{b'_{i,k+1}}{2} \quad (3)$$

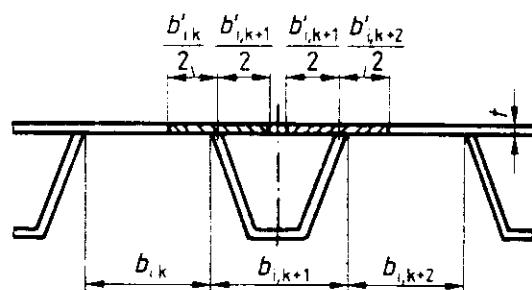
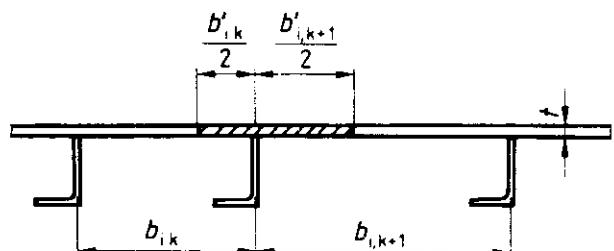


Bild 7. Wirksame Gurtbreiten von gedrückten Längssteifen

## DIN 18 800 Teil 3

Die wirksame Breite  $b'_{ik}$  ist mit Gleichung (4) zu ermitteln.

$$b'_{ik} = 0,605 \cdot t \cdot \lambda_a \left( 1 - 0,133 \frac{t \cdot \lambda_a}{b'_{ik}} \right) \quad (4)$$

jedoch  $b'_{ik} \leq b_{ik}$  und  $b'_{ik} \leq a_i/3$ .

Anmerkung: Die wirksame Gurtbreite gedrückter Längssteifen ist wegen des Ausbeulens der an einen Steifensteg angrenzenden Einzelfelder in der Regel kleiner als die geometrische Gurtbreite.

### (302) Gurtbreite gedrückter Randsteifen

Bei gedrückten Randsteifen, die einen Längsrand eines Gesamtfeldes elastisch unterstützen, ist die wirksame Gurtbreite  $b'$  nach Bild 8 und Gleichung (5) zu ermitteln.

$$b' = b'_{i0} + \frac{b'_{i1}}{2} \quad (5)$$

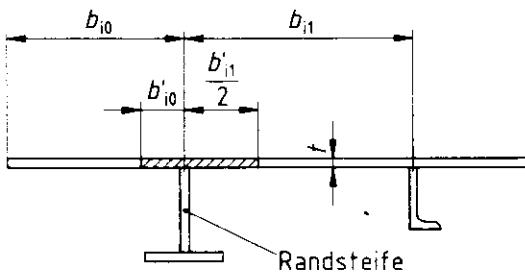


Bild 8. Wirksame Gurtbreiten von gedrückten Randsteifen

Die wirksame Breite  $b'_{i0}$  gedrückter Randsteifen ist mit Gleichung (6 a) oder (6 b) zu ermitteln.

$$b'_{i0} = 0,138 \cdot t \cdot \lambda_a \quad (6 \text{ a})$$

$$b'_{i0} = \frac{0,7}{\lambda_p} \cdot b_{i0} \quad (6 \text{ b})$$

jedoch  $b'_{i0} \leq b_{i0}$  und  $b'_{i0} \leq a_i/6$

Anmerkung: Die Gleichungen (6 a) und (6 b) lassen sich ineinander überführen.

### (303) Gurtbreite nicht gedrückter Längs- und Randsteifen

Sind Längs- oder Randsteifen nicht gedrückt, gilt für die Berechnung der wirksamen Gurtbreite

$$b'_{ik} = b_{ik} \text{ jedoch } b'_{ik} \leq a_i/3 \quad (7)$$

$$b'_{i0} = b_{i0} \text{ jedoch } b'_{i0} \leq a_i/6 \quad (8)$$

### (304) Gurtbreite von Quersteifen

Die wirksame Gurtbreite von Quersteifen ist sinngemäß wie in den Elementen 301 bis 303 zu berechnen, wobei die entsprechenden Breiten- und Längenbezeichnungen auszutauschen sind.

### (305) Wirksame Breite anderer Steifenteile

Die wirksame Breite anderer Steifenteile und ihre Aufteilung ist nach DIN 18 800 Teil 2, Abschnitt 7.3 zu ermitteln.

Anmerkung: Andere Steifenteile sind z.B. die Wände von Trapezsteifen.

### (306) Flächenmoment 2. Grades

Das Flächenmoment 2. Grades ist unter Berücksichtigung der wirksamen Breiten zu ermitteln.

Bei Quersteifen mit Ausschnitten ist Abschnitt 10, Element 1006 zu beachten.

## 4 Spannungen infolge Einwirkungen

### (401) Spannungsberechnung

Spannungen sind mit den Bemessungswerten der Einwirkungen und mit den geometrisch vorhandenen Querschnittsflächen zu ermitteln, sofern die Schnittgrößen nach Theorie I. Ordnung bestimmt werden dürfen. Letzteres gilt nicht für den Nachweis nach Abschnitt 2, Element 205.

Anmerkung 1: Die Regeln zur Berechnung der Bemessungswerte der Einwirkungen stehen in DIN 18 800 Teil 1, Abschnitte 7.2.1 und 7.2.2.

Anmerkung 2: Bei gegeneinander versetzt angeordneten oder bei endenden Längssteifen ist Abschnitt 10, Element 1003, zu beachten.

### (402) Verformungen

Müssen Schnittgrößen nach Theorie II. Ordnung ermittelt werden, dürfen die Verformungen und Spannungen ebenfalls mit den geometrisch vorhandenen Querschnittsflächen berechnet werden, wenn nachgewiesen wird, daß alle Querschnittsteile voll wirksam sind. Diese Bedingung ist erfüllt, wenn für alle Querschnitte  $\lambda_p \leq 0,673$  ist. Andernfalls ist mit wirksamen Querschnittsflächen zu rechnen.

Anmerkung: Kriterien für die Notwendigkeit, Nachweise nach Theorie II. Ordnung zu führen, stehen in DIN 18 800 Teil 1, Abschnitt 7, Elemente 728 und 739.

### (403) Schubspannungen

Schubspannungen, die über die Breite  $b$  des Beulfeldes veränderlich sind, sind mit dem größeren der beiden Werte

- Mittelwert von  $\tau$
  - $0,5 \max \tau$
- zu berücksichtigen.

### (404) Über die Beulfeldlänge veränderliche Spannungen

Sind bei gleichbleibenden Plattenkennwerten die Spannungen  $\sigma_x$  oder  $\tau$  über die Beulfeldlänge  $a$  veränderlich, sind in der Regel Nachweise mit den einander zugeordneten Spannungen sowohl im Querschnitt mit der größten Druckspannung  $\sigma_x$  als auch in dem mit der größten Schubspannung  $\tau$  zu führen. Diese Spannungszustände sind in der Regel konstant über die Beulfeldlänge anzunehmen.

Treten die größten Werte der Spannungen an Querrändern auf, dürfen anstelle der größten Werte die Spannungen in Beulfeldmitte benutzt werden, jedoch nicht weniger als die Spannungswerte im Abstand  $b/2$  vom Querrand mit dem jeweiligen größten Wert und nicht weniger als der Mittelwert der über die Beulfeldlänge vorhandenen Spannungen.

Anmerkung: Plattenkennwerte sind hier:

- Plattendicke.
- Steifenlage.
- Steifenquerschnitte.
- Streckgrenzen für Platte und Steifen.

### (405) Über die Beulfeldlänge veränderliche Plattenkennwerte

Bei über die Beulfeldlänge veränderlichen Plattenkennwerten sind gegenüber Element 404 zusätzliche Nachweise zu führen. In der Regel sind diese Nachweise mit den Plattenkennwerten und den Spannungen an den Querrändern und an den Stellen der Veränderungen zu führen.

## 5 Nachweise

### (501) Nachweis bei alleiniger Wirkung von Randspannungen $\sigma_x$ , $\sigma_y$ oder $\tau$

Es ist für Einzel-, Teil- und Gesamtfeldern durch Einhaltung der Bedingungen (9) und (10) nachzuweisen, daß die Spannungen aus den Einwirkungen die Grenzbeulspannungen nicht überschreiten.

$$\frac{\sigma}{\sigma_{P.R.d}} \leq 1 \quad (9)$$

$$\frac{\tau}{\tau_{P.R.d}} \leq 1 \quad (10)$$

Anmerkung 1: Der Nachweis eines Gesamtfeldes oder Teilstehes enthält den der zugehörigen Einzelfeldern, wenn

- für die Berechnung der Beulwerte des Gesamtfeldes die Struktur der Steifen nicht verschmiert worden ist oder
- wenn im Falle des Verschmierens der Steifigkeit keine Beulwerte für das Gesamtfeld benutzt werden, zu denen höhere ideale Beulspannungen gehören als zum ungünstigsten Einzelfeld.

Der Nachweis eines Gesamtfeldes enthält unter den gleichen Bedingungen auch den der zugehörigen Teilstehes.

Anmerkung 2: Gegebenenfalls sind zusätzliche Nachweise für Längsstiegen nach Abschnitt 8, Element 801, und für Querstiegen nach Abschnitt 7, Element 703, erforderlich.

Anmerkung 3: Bei knickstabähnlichem Verhalten ist Abschnitt 6, Element 603, zu beachten.

### (502) Grenzbeulspannungen ohne Knickeinfluß

Die Grenzbeulspannungen sind nach den Gleichungen (11) und (12) zu ermitteln:

$$\sigma_{P.R.d} = \kappa \cdot f_{y,k} / \gamma_M \quad (11)$$

$$\tau_{P.R.d} = \kappa_\tau \cdot f_{y,k} / (\sqrt{3} \cdot \gamma_M) \quad (12)$$

mit  $\kappa$ ,  $\kappa_\tau$  Abminderungsfaktoren für das Plattenbeulen nach Tabelle 1

### (503) Grenzbeulspannungen mit Knickeinfluß

Falls für das Bauteil, in dem das zu untersuchende Beulfeld liegt, der Nachweis des Biegeknickens erforderlich ist und dies nach DIN 18 800 Teil 2 mit Hilfe der europäischen Knickspannungslinien erfolgt, ist die Grenzbeulspannung nach Gleichung (13) zu ermitteln.

$$\sigma_{xP.R.d} = \kappa_K \cdot \kappa_x \cdot f_{y,k} / \gamma_M \quad (13)$$

mit  $\kappa_K$  Abminderungsfaktor für das Knicken nach DIN 18 800 Teil 2, Abschnitt 3, Element 304

Anmerkung: Die Abminderung nach Gleichung (13) liegt dann unter Umständen weit auf der sicheren Seite, wenn die Spannung  $\sigma_x$  mehr aus Biegemomenten als aus Normalkraft stammt und gleichzeitig der Abminderungsfaktor  $\kappa_K$  wegen eines großen bezogenen Schlankheitsgrades  $\bar{\lambda}_K$  relativ klein ist. Es empfiehlt sich dann ein anderer Nachweis, z.B. für Stäbe mit nicht versteiften Querschnittsteilen nach DIN 18 800 Teil 2, Abschnitt 7.

### (504) Nachweis bei gleichzeitiger Wirkung von Randspannungen $\sigma_x$ , $\sigma_y$ , $\tau$

Es ist nachzuweisen, daß die Interaktionsbedingung (14) erfüllt ist.

$$\left( \frac{|\sigma_x|}{\sigma_{xP.R.d}} \right)^{e_1} + \left( \frac{|\sigma_y|}{\sigma_{yP.R.d}} \right)^{e_2} - V \left( \frac{|\sigma_x| \cdot |\sigma_y|}{\sigma_{xP.R.d} \cdot \sigma_{yP.R.d}} \right) + \left( \frac{\tau}{\tau_{P.R.d}} \right)^{e_3} \leq 1 \quad (14)$$

Hierin bedeuten:

$$e_1 = 1 + \kappa_x^4 \quad (15)$$

$$e_2 = 1 + \kappa_y^4 \quad (16)$$

$$e_3 = 1 + \kappa_x \cdot \kappa_y \cdot \kappa_\tau^2 \quad (17)$$

$V$  ist nach Gleichung (18) zu bestimmen, wenn beide Normalspannungen  $\sigma_x$  und  $\sigma_y$  Druckspannungen sind. Andernfalls gilt für  $V$  Gleichung (19).

$$V = (\kappa_x \cdot \kappa_y)^6 \quad (18)$$

$$V = \frac{\sigma_x \cdot \sigma_y}{|\sigma_x \cdot \sigma_y|} \quad (19)$$

Die in den Gleichungen (14) bis (18) verwendeten Abminderungsfaktoren und Grenzbeulspannungen gelten für alleinige Wirkung der entsprechenden Spannungen: sie sind nach Tabelle 1 zu ermitteln.

Sofern einzelne Spannungen nicht vorhanden sind, sind die zugehörigen Abminderungsfaktoren  $\kappa = 1$  zu setzen. Wenn die Normalspannungen  $\sigma_x$  oder  $\sigma_y$  Zugspannungen sind, sind die entsprechenden Abminderungsfaktoren  $\kappa_x = 1$  oder  $\kappa_y = 1$  zu setzen.

Anmerkung: Bei knickstabähnlichem Verhalten ist Abschnitt 6, Element 603, zu beachten.

## 6 Abminderungsfaktoren

### (601) Beulen ohne knickstabähnliches Verhalten

Die Abminderungsfaktoren  $\kappa$  sind in Abhängigkeit vom bezogenen Schlankheitsgrad  $\bar{\lambda}_P$  des untersuchten Beulfeldes und gegebenenfalls vom vorhandenen Randspannungsverhältnis  $\psi$  nach Tabelle 1 zu bestimmen.

Anmerkung 1: Zur Berechnung von  $\bar{\lambda}_P$  werden entsprechend Element 113 Beulwerte  $k_\sigma$ ,  $k_\tau$  benötigt. Diese können für die meisten Fälle der Literatur entnommen werden, siehe z.B. [2], [3]. Für unausgesteifte Platten sind Beulwerte  $k_\sigma$  für wichtige Fälle in DIN 18 800 Teil 2, Abschnitt 7.3 enthalten, siehe auch Erläuterungen.

Für ausgesteifte Platten, bei denen die Steifigkeit der Längsstiegen  $\gamma^L$  größer ist als die Mindeststeifigkeit  $\gamma^{L*}$ , können Beulwerte  $k_\sigma$  nach Gleichung (20) ermittelt werden.

$$k_\sigma = k_\sigma^* \cdot \left[ 1 + \frac{\sigma_{K1}^*}{\sigma_{Pi}^*} \cdot \left( \frac{1 + \sum \gamma^L}{1 + \sum \gamma^{L*}} - 1 \right) \right] \quad (20)$$

jedoch  $k_\sigma \leq 3 k_\sigma^*$

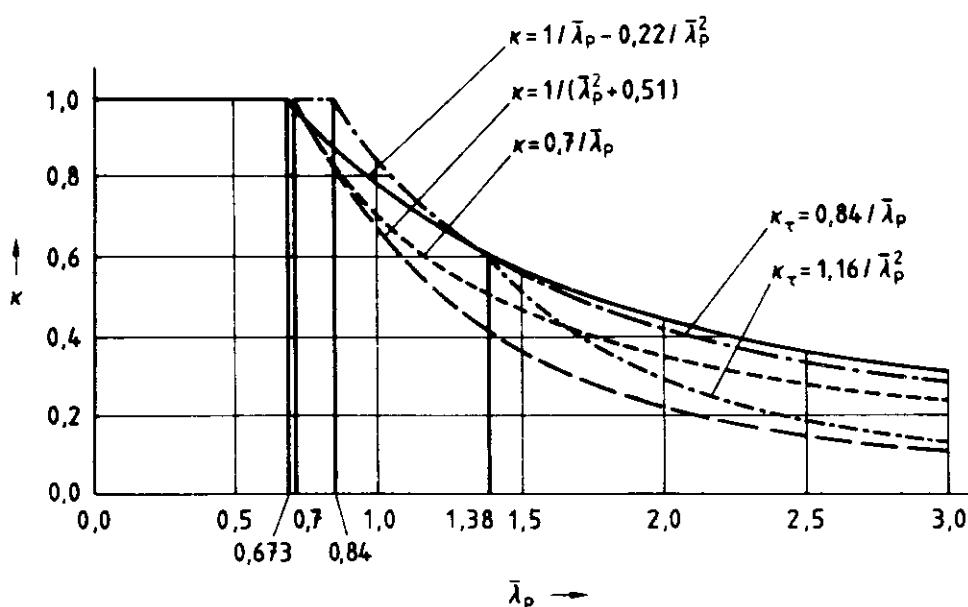
Darin sind  $k_\sigma^*$ ,  $\sigma_{K1}^*$ ,  $\sigma_{Pi}^*$  die zu  $\sum \gamma^L$  und  $\sum \gamma^{L*}$  gehörenden Werte. Die Eulersche Knickspannung  $\sigma_{K1}$  ist die des Beulfeldes mit frei angenommenen Längsrändern.

Die Mindeststeifigkeit  $\gamma^{L*}$  einer Längsstiefe ist diejenige bezogene Steifigkeit der Längsstiefe, die die ideale Beulspannung des Teil- oder Gesamtfeldes auf die des maßgebenden Einzelfeldes anhebt.

Tabelle 1. Abminderungsfaktoren  $\kappa$  (= bezogene Tragbeulspannungen) bei alleiniger Wirkung von  $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$  oder  $\tau$ 

	1	2	3	4	5
	Beulfeld	Lagerung	Beanspruchung	Bezogener Schlankheitsgrad	Abminderungsfaktor
1	Einzelfeld	allseitig gelagert	Normalspannungen $\sigma$ mit dem Randspannungsverhältnis $\psi_T \leq 1$ *)	$\bar{\lambda}_P = \sqrt{\frac{f_{y,k}}{\sigma_{Pi}}}$	$\kappa = c \left( \frac{1}{\bar{\lambda}_P} - \frac{0,22}{\bar{\lambda}_P^2} \right) \leq 1$ mit $c = 1,25 - 0,12 \psi_T \leq 1,25$
2		allseitig gelagert	Schubspannungen $\tau$	$\bar{\lambda}_P = \sqrt{\frac{f_{y,k}}{\tau_{Pi} \cdot 1,3}}$	$\kappa_\tau = \frac{0,84}{\bar{\lambda}_P} \leq 1$
3	Teil- und Gesamtfeld	allseitig gelagert	Normalspannungen $\sigma$ mit dem Randspannungsverhältnis $\psi \leq 1$	$\bar{\lambda}_P = \sqrt{\frac{f_{y,k}}{\sigma_{Pi}}}$	$\kappa = c \left( \frac{1}{\bar{\lambda}_P} - \frac{0,22}{\bar{\lambda}_P^2} \right) \leq 1$ mit $c = 1,25 - 0,25 \psi \leq 1,25$
4		dreiseitig gelagert	Normalspannungen $\sigma$	$\bar{\lambda}_P = \sqrt{\frac{f_{y,k}}{\sigma_{Pi}}}^{**})$	$\kappa = \frac{1}{\bar{\lambda}_P^2 + 0,51} \leq 1$
5		dreiseitig gelagert	konstante Randverschiebung $u$	$\bar{\lambda}_P = \sqrt{\frac{f_{y,k}}{\sigma_{Pi}}}^{**})$	$\kappa = \frac{0,7}{\bar{\lambda}_P} \leq 1$
6		allseitig gelagert, ohne Längsstiften	Schubspannungen $\tau$	$\bar{\lambda}_P = \sqrt{\frac{f_{y,k}}{\tau_{Pi} \cdot 1,3}}$	$\kappa_\tau = \frac{0,84}{\bar{\lambda}_P} \leq 1$
7		allseitig gelagert, mit Längsstiften	Schubspannungen $\tau$	$\bar{\lambda}_P = \sqrt{\frac{f_{y,k}}{\tau_{Pi} \cdot 1,3}}$	$\kappa_\tau = \frac{0,84}{\bar{\lambda}_P} \leq 1 \quad \text{für } \bar{\lambda}_P \leq 1,38$ $\kappa_\tau = \frac{1,16}{\bar{\lambda}_P^2} \quad \text{für } \bar{\lambda}_P > 1,38$

\*) Bei Einzelfeldern ist  $\psi_T$  das Randspannungsverhältnis des Teilfeldes, in dem das Einzelfeld liegt.  
\*\*) Zur Ermittlung von  $\sigma_{Pi}$  ist der Beulfaktor  $\min k_\sigma(\alpha)$  für  $\psi = 1$  einzusetzen.

Bild 9. Abminderungsfaktoren  $\kappa$  (= bezogene Tragbeulspannungen) in Abhängigkeit vom bezogenen Schlankheitsgrad  $\bar{\lambda}_P$

| Anmerkung 2: Die Beulwerte  $k_{\alpha x}$ ,  $k_{\alpha y}$  und  $k_t$  hängen von folgenden Parametern ab:

- von der Spannungsverteilung (z.B. vom Randspannungsverhältnis  $\psi$ ),
- vom Seitenverhältnis  $\alpha$ ,
- von der Lagerung,
- von der Versteifung (vergleiche Element 113).

| Anmerkung 3: Bei I-Profilen mit Biegung um die  $y$ -Achse werden beim Beulen der halben Flansche (= dreiseitig gelagerte Platten) wegen der Symmetrie alle Fasern des gedrückten Flansches um das gleiche Maß verkürzt. Daher können überkritische Reserven der Flansche geweckt werden. Sie stammen vorwiegend aus den Querschnittsfasern, die dicht an der Stützung des Flansches durch den Steg liegen. Die Lage der resultierenden Druckkraft  $R$  wird im überkritischen Zustand nicht verlagert. Für diesen Fall ist somit Tabelle 1, Zeile 5, anzuwenden.

Dagegen kann bei Flanschen, die bei Biegung um die  $y$ -Achse nicht symmetrisch zur  $z$ -Achse sind, wie z.B. bei U-Profilen, eine Stauchung der Randfasern eines Flansches eintreten, ohne daß gleichzeitig die stegnahen Fasern im gleichen Maß gestaucht werden. Es tritt

- entweder eine Flanschkrümmung auf, und die Lage der resultierenden Druckkraft  $R$  wird im überkritischen Zustand verlagert,
- oder die Lage der resultierenden Druckkraft  $R$  muß aus Gleichgewichtsgründen erhalten bleiben, womit wegen gleicher Stauchung aller Fasern überkritische Reserven nicht oder nur wenig mobilisiert werden können.

In diesem Fall darf also nur Tabelle 1, Zeile 4, angewendet werden.

Durch Verhinderung der Krümmung kann auch bei nicht symmetrisch angeordneten Flanschen konstante Stauchung vorliegen.

#### (602) Beulen mit knickstabähnlichem Verhalten

Im Fall von Spannungen  $\sigma_x$  ist der Einfluß des knickstabähnlichen Verhaltens auf das Beulverhalten nach Element 603 zu berücksichtigen, wenn die Bedingung (21) für den Wichtungsfaktor  $\varrho$  erfüllt ist.

$$\varrho = \frac{A - \sigma_{Pi}/\sigma_{Ki}}{A - 1} \geq 0 \quad (21)$$

mit

$$A = \bar{\lambda}_p^2 + 0,5, \text{ jedoch } 2 \leq A \leq 4 \quad (22)$$

$\sigma_{Ki}$  Eulersche Knickspannung des untersuchten Beulfeldes, jedoch mit frei angenommenen Längsrändern

Für den Regelfall gleichbleibender Spannungen in Beanspruchungsrichtung gilt Gleichung (23)

$$\frac{\sigma_{Pi}}{\sigma_{Ki}} = k_{\sigma} \cdot a^2 \cdot \frac{1 + \sum \delta^L}{1 + \sum \gamma^L} \quad (23)$$

doch  $\sigma_{Pi}/\sigma_{Ki} \geq 1$

Wird die Änderung der Spannungen in Beanspruchungsrichtung bei der Ermittlung von  $\sigma_{Pi}$  berücksichtigt, so ist dies auch bei  $\sigma_{Ki}$  zu tun.

Im Fall von Spannungen  $\sigma_y$  ist sinngemäß zu verfahren.

Anmerkung 1: Ist die Beulfläche einer Platte weitgehend abwickelbar (das ist gleichbedeutend mit vorwiegend in einer Richtung gekrümmt), verhält sich die Platte beim Ausbeulen Knickstäben ähnlich. Dies ist der Fall, wenn

- bei Spannungen  $\sigma_x$  Platten ein kleines Seitenverhältnis  $\alpha$  oder eine kräftige Längsversteifung oder beides oder
- bei Spannungen  $\sigma_y$  Platten ein großes Seitenverhältnis  $\alpha$  oder eine kräftige Querversteifung oder beides haben.

| Anmerkung 2: Zu  $\sigma_{Pi}$  vergleiche auch Element 113.

| Anmerkung 3: Zur Ermittlung von  $\gamma^L$  und  $\delta^L$  siehe Element 114.

Anmerkung 4: Für die Ermittlung des Verhältnisses  $\sigma_{Pi}/\sigma_{Ki}$  in Gleichung (21) sind für  $\gamma^L$  und  $k_{\sigma}$  immer die einander zugeordneten Werte einzusetzen. Folglich sind  $k_{\sigma}(\gamma^L)$  und  $\gamma^L$  einzusetzen, falls  $k_{\sigma}(\gamma^L)$  für  $\gamma^L > \gamma^L$  nicht bekannt ist.

Anmerkung 5: Im Fall von Spannungen  $\sigma_y$  sind die Koordinatenrichtungen und die Begriffe „längs“ und „quer“ zu vertauschen.

#### (603) Abminderungsfaktor bei knickstabähnlichem Verhalten

Im Fall knickstabähnlichen Verhaltens ist für die Ermittlung der Grenzbeulspannung ein Abminderungsfaktor  $\kappa_{PK}$  nach Gleichung (24) zu ermitteln.

$$\kappa_{PK} = (1 - \varrho^2) \kappa + \varrho^2 \cdot \kappa_K \quad (24)$$

mit

$\varrho$  Wichtungsfaktor nach Gleichung (21),

$\kappa$  Abminderungsfaktor nach Tabelle 1,

$\kappa_K$  Abminderungsfaktor nach Knickspannungslinie b in DIN 18800 Teil 2 für einen gedachten Stab mit dem bezogenen Plattenschlankheitsgrad  $\bar{\lambda}_p$

Anmerkung 1: Der Index K steht hier für Knickstab, P kennzeichnet das Plattenbeulen.

Anmerkung 2: Nach DIN 18800 Teil 2, Abschnitt 3.2.1, Gleichung (4), ergibt sich  $\kappa_K$  zu:

Für  $\bar{\lambda}_p \leq 0,2$ :  $\kappa_K = 1$

$$\bar{\lambda}_p > 0,2 \cdot \kappa_K = \frac{1}{k + 1/k^2 - \bar{\lambda}_p^2}$$

mit

$$k = 0,5 [1 + 0,34 (\bar{\lambda}_p - 0,2) + \bar{\lambda}_p^2]$$

## 7 Nachweis der Quersteifen

#### (701) Schubspannung $\tau$

Der Steifigkeitsnachweis der Quersteifen für Schubspannungen  $\tau$  ist entweder durch einen Gesamtfeldnachweis oder durch den Nachweis der Mindeststeifigkeiten  $\gamma^0 \geq \gamma^*$  zu erbringen.

Beim Gesamtfeldnachweis dürfen die Beulwerte von gedachten, ringsum starr gestützten Gesamtfeldern verwendet werden. Diese Gesamtfelder bestehen

- aus zwei benachbarten Teilfeldern mit einer elastischen Quersteife und
- aus drei benachbarten Teilfeldern mit zwei elastischen Quersteifen.

Von den drei Beulwerten für das Teilfeld und die beiden gedachten Gesamtfelder ist für den Nachweis der kleinste Beulwert zu verwenden.

Anmerkung 1: Quersteifen mit der Mindeststeifigkeit  $\gamma^{0*}$  haben die ideale Beulspannung des querversteiften Gesamtfeldes auf die kleinste ideale Beulspannung der durch die Quersteifen erzeugten Teilfelder an.

## DIN 18 800 Teil 3

Anmerkung 2: Falls Längssteifen an einer Quersteife nicht oder versetzt angeschlossen werden, ist Abschnitt 10, Element 1003 zu beachten.

**(702) Normalspannung  $\sigma_x$  bei einem Wichtungsfaktor  $\varrho \leq 0,7$  der angrenzenden Teilfelder**

Der Steifigkeitsnachweis der Quersteifen für Normalspannungen  $\sigma_x$  ist analog zu Element 701 zu führen.

**Der Nachweis darf auch nach Element 703 geführt werden.**  
Anmerkung: Der Wichtungsfaktor  $\varrho$  ist in Abschnitt 6, Element 602 definiert.

**(703) Normalspannung  $\sigma_x$  bei einem Wichtungsfaktor  $\varrho > 0,7$  der angrenzenden Teilfelder**

Die Quersteifen sind unter der alleinigen Wirkung von Spannungen  $\sigma_x$  mit dem Verfahren Elastisch-Elastisch nach Theorie I. Ordnung und mit folgenden Annahmen nachzuweisen:

- Die betrachtete Quersteife (Bild 10) hat eine sinusförmige Vorkrümmung mit dem Stich  $w_0 = b_G/300$ , jedoch nicht größer als  $\min a_i/300$  ( $\min a_i$  = kleinere Länge der angrenzenden Teilfelder) und nicht größer als 10 mm.
- Die beiden benachbarten Quersteifen haben keine Vorverformung, sind starr und die Teilfelder an ihnen gelenkig gelagert.
- Die Teilfelder werden in der Regel an der betrachteten Quersteife gelenkig gelagert.
- Werden die Teilfelder an der betrachteten Quersteife als biegesteif durchlaufend angenommen, so ist ihre Beanspruchung infolge des Zusammenwirkens mit der Quersteife zu berücksichtigen.
- Die Abtragung von Abtriebstasten zu den Längsrändern der Teilfelder darf berücksichtigt werden.
- Für die Quersteife ist zusätzlich zum Spannungsnachweis der Nachweis zu erbringen, daß ihre elastische Durchbiegung nicht größer als  $b_G/300$  ist.

Der geforderte Nachweis ist für beidseitig gelenkig gelagerte Quersteifen erbracht, wenn ihr Flächenmoment 2. Grades der Bedingung (25) entspricht.

$$I_Q \geq \frac{\sigma_m}{E} \cdot \left( \frac{b_G}{\pi} \right)^4 \cdot \left( 1 + w_0 \cdot \frac{300}{b_G} \cdot v \right) \quad (25)$$

Hierin bedeuten:

$$\sigma_m = \frac{\sigma_{Ki}}{\sigma_{Pi}} \cdot 0,5 \sigma_x \cdot (1 + \psi) \cdot t \cdot [1 + (n^L + 1) \cdot \delta^L] \cdot \left( \frac{1}{a_1} + \frac{1}{a_2} \right)$$

$\sigma_x$  größte Randspannung der angrenzenden Teilfelder

$\sigma_{Ki}/\sigma_{Pi}$  Kehrwert von Gleichung (23)

$\psi$  Randspannungsverhältnis, jedoch  $\psi \geq 0$

$n^L$  Anzahl der Längssteifen

$a_1$  und  $a_2$  Längen der angrenzenden Teilfelder

$$v = \gamma_M \cdot \lambda_a^2 \cdot \frac{\max e}{300 b_G} \geq 1$$

$\lambda_a$  Bezugsschlankheitsgrad der Quersteife.

$\max e$  der für eine Spannungsermittlung maßgebende Randabstand des Quersteifenquerschnittes

Für Quersteifen mit beliebigen Randbedingungen kann der Nachweis auch vereinfacht mit dem Verfahren Elastisch-Elastisch nach Theorie I. Ordnung, mit einer auf der Länge  $b_G$  konstanten Querlast nach Gleichung (26) geführt werden.

$$q = \frac{\pi}{4} \sigma_m \cdot (w_0 + w_{el}) \quad (26)$$

Die elastische Durchbiegung  $w_{el}$  kann entweder iterativ ermittelt oder mit dem zulässigen Größtwert  $b_G/300$  berücksichtigt werden.

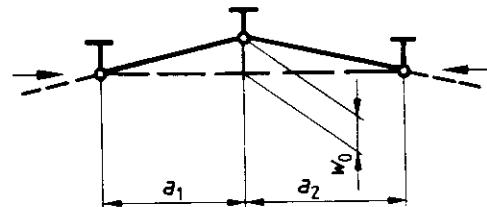


Bild 10. Beispiel für die Annahmen beim Nachweis von Quersteifen nach Element 703

**(704) Planmäßige Quersteifenbelastungen**

Im Falle eines Wichtungsfaktors  $\varrho > 0,7$  der angrenzenden Teilfelder sind zusätzlich zum Nachweis nach Element 703 in einem weiteren Nachweis die Wirkungen aus  $\sigma_x$  und der planmäßigen Quersteifenbelastung gemeinsam zu berücksichtigen. Dabei ist die elastische Durchbiegung nicht auf  $b_G/300$  beschränkt.

Anmerkung: Wie zu Element 703 erläutert, können die Abtriebskräfte aus  $\sigma_x$  und gegebenenfalls planmäßigen Normalkräften durch Vorgabe einer elastischen Durchbiegung bei einem Nachweis nach Theorie I. Ordnung berücksichtigt werden, wenn die Einhaltung der vorgegebenen Durchbiegung nachgewiesen wird.

**(705) Endquersteifen**

Quersteifen an den Enden von Vollwand- und Kastenträgern müssen eine in der Stegebene liegende Gleichstreckenlast mit der parallel zur Trägerachse wirkenden Resultierenden  $H$  übertragen, falls die Querkraft  $V$  die ideale Beulquerkraft  $V_{Pi}$  nach Gleichung (27) überschreitet:

$$V_{Pi} = b_G \cdot t \cdot \tau_{Pi} \quad (27)$$

Die Überschreitung ist möglich, da die einzuhaltenden Abminderungsfaktoren  $\kappa_t$  über dem zur idealen Beulquerkraft  $V_{Pi}$  gehörenden Abminderungsfaktor

$$\kappa_{t1} = \frac{1}{\lambda_F^2} \text{ liegen können.}$$

Die Gleichstreckenlast ist entweder über die volle Gesamtfeldbreite  $b_G$  (Stützweite der Endquersteife) mit der Resultierenden

$$H = \frac{V^2}{V_{Pi}/\gamma_M} - \frac{V_{Pi}}{\gamma_M} \quad (28)$$

oder über die Breite

$$c_s = b_G - a_1 \cdot \tan \left( \frac{\varphi_d}{2} \right) \quad (29)$$

mit der Resultierenden

$$H = \frac{V - V_{Pi}/\gamma_M}{\tan (\varphi_d/2)} \quad (30)$$

anzusetzen. Der Ansatz mit der kleineren Resultierenden  $H$  ist maßgebend.

Hierin bedeuten:

$V$  Querkraft am Trägerende

$a_1$  Quersteifenabstand

$\varphi_d$  Winkel zwischen Gesamtfelddiagonale und Trägerachse

Bei diesen Nachweisen sind der Querschnitt der Endquersteifen einschließlich Stegblechüberstand und im Falle doppelter Endquersteifen deren Querschnitte und der zwischen ihnen liegende Stegblechstreifen heranzuziehen.

Anmerkung: Nach Überschreiten der idealen Beulschubspannung bildet sich im Stegblech ein Zugfeld aus. Davon wird bei den Abminderungsfaktoren  $\kappa_t$  teilweise Gebrauch gemacht. Die zugehörige Längzugkraft  $H$  im Stegblech ergibt sich mit genügender Genauigkeit im Falle langer Stegblechfelder (Vollwandträger ohne Zwischenquersteifen) nach der Theorie des vollständigen Zugfeldes [4] und im Falle von Stegblechen mit Zwischenquersteifen mit Hilfe von Zugfeldmodellen, hier dem von Basler [5].

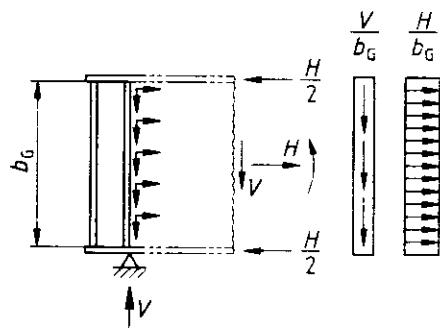


Bild 11. Belastung der Endquersteifen bei Überschreitung der idealen Beulschubspannung im Falle langer Stegblechendfelder

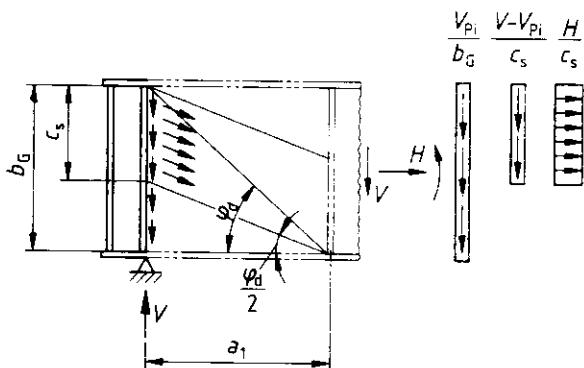


Bild 12. Belastung der Endquersteifen bei Überschreitung der idealen Beulschubspannung im Falle von Stegblechen mit Zwischenquersteifen

## 8 Einzelregelungen

**(801) Zusätzlicher Nachweis bei Platten mit quergerichteten Druckspannungen**

Bei längsversteiften Platten mit quergerichteten Druckspannungen  $\sigma_y$  sind die Längssteifen zusätzlich zum Beulsicherheitsnachweis mit dem Verfahren Elastisch-Elastisch nach Theorie II. Ordnung und mit folgenden Annahmen nachzuweisen:

- Die betrachtete Längssteife (siehe Bild 13) hat eine sinusförmige Vorkrümmung mit dem Stich

$$w_0 = \min b_{ik}/250,$$

wobei  $\min b_{ik}$  die kleinere Breite der an die Längssteife angrenzenden Einzelfelder ist.

- Die benachbarten Längsränder der angrenzenden Einzelfelder sind gerade, gelenkig gelagert und senkrecht zur Platte unverschieblich.
  - Die Einzelfelder werden in der Regel an der betrachteten Längssteife gelenkig gelagert.

Werden die Einzelfelder an der betrachteten Längssteife als biegesteif durchlaufend angenommen, so ist ihre Beanspruchung infolge des Zusammenwirkens mit der Längssteife zu berücksichtigen.

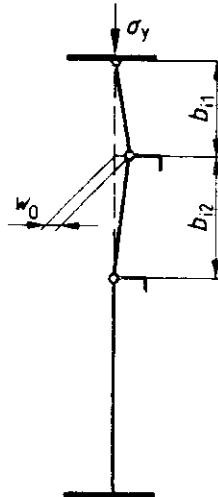


Bild 13. Beispiel für die Annahmen beim Nachweis von Längsseiten

**(802) Platten mit Lasten  
rechtwinklig zur Plattenebene**

Planmäßig ebene Platten, die außer den Belastungen in ihrer Ebene Lasten rechtwinklig zu ihrer Ebene erhalten, sind unter Vernachlässigung der Plattenbiegemomente nachzuweisen.

Zusätzlich ist nachzuweisen — gegebenenfalls nach Theorie II. Ordnung —, daß unter allen Einwirkungen die Grenzspannungen nach DIN 18800 Teil 1 eingehalten sind.

Anmerkung: Lasten rechtwinklig zur Plattenebene können z.B. Windlasten oder Wasserdruck sein.

**(803) Planmäßig schwach gekrümmte Platten**

Planmäßig schwach gekrümmte abwickelbare Platten ohne Querlasten dürfen wie ebene Platten mit Beibehaltung der Lagerungsbedingungen für die Schnittgrößen der gekrümmten Platte nachgewiesen werden.

**(804) Unversteifte Platten  
in planmäßig gekrümmten**

Unversteifte, allseitig gelagerte abwickelbare Platten in planmäßig gekrümmten Trägern dürfen wie ebene Platten nachgewiesen werden, wenn für den Krümmungsradius  $r$  die Bedingung (31) erfüllt ist

$$r \geq b^2/4 \quad (31)$$

**(805) Längsversteifte Platten  
in planmäßig gekrümmten Trägern**

Für die Einzelfelder von längsversteiften Platten in planmäßig gekrümmten Trägern gilt Element 804, wobei für  $b$  die Einzelfeldbreite einzusetzen ist.

Die Längssteifen sind als Stäbe unter Normalkraft und planmäßiger Biegung nach DIN 18800 Teil 2 nachzuweisen. Hierbei darf die stützende Wirkung der Platte durch die Annahme biegesteif durchlaufender Einzelfelder berücksichtigt werden.

## 9 Höchstwerte $f$ für unvermeidbare Herstellungsungenauigkeiten

### (901) Regelforderung

Die unvermeidbaren Herstellungsungenauigkeiten sind, sofern sie für das Beulen von Bedeutung sind, durch Stichproben zu überprüfen.

Die im unbelasteten Zustand vorhandenen Abweichungen von der Sollform sollen die Höchstwerte  $f$  nach Tabelle 2 nicht überschreiten.

Anmerkung: Die Regelforderung kann als erfüllt angesehen werden, wenn von den Meßwerten einer größeren Zahl gleichartiger Beulfelder nicht mehr als 10% größer als der Höchstwert  $f$  sind und kein Einzelwert größer als das 1,5fache des Höchstwertes  $f$  ist.

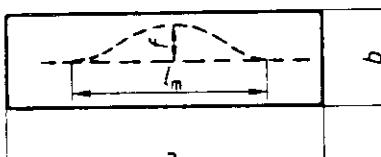
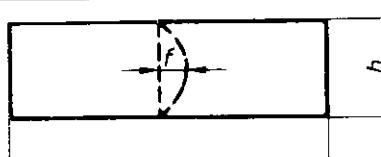
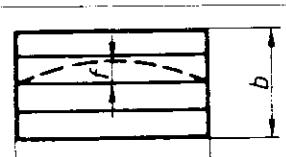
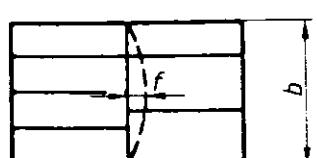
### (902) Sonderforderung

In Beulfeldern mit knickstabähnlichem Verhalten und voller Ausnutzung der Tragfähigkeit dürfen die für das knickstabähnliche Verhalten maßgebenden Abweichungen von der Sollform im unbelasteten Zustand die Höchstwerte  $f$  nach Tabelle 2 nicht überschreiten.

Anmerkung: Beispielsweise ist für das knickstabähnliche Verhalten eines unversteiften Beulfeldes mit  $\alpha \geq 1$  unter Druckbeanspruchung in Querrichtung der Höchstwert  $f$  nach Zeile 2 der Tabelle 2 maßgebend.

Für das knickstabähnliche Verhalten eines längsversteiften Teilstücks ist der Höchstwert  $f$  nach Zeile 3, nicht aber der Höchstwert  $f$  nach Zeile 1 maßgebend.

Tabelle 2. Höchstwerte  $f$  für Platten und Steifen

	1	2	3	4
1	allgemein			$f = \frac{l_m}{250}$ $l_m = a, \text{ wenn } a \leq 2b$ $l_m = 2b, \text{ wenn } a > 2b$
2	unversteifte Beulfelder	mit Druckbeanspruchung in Querrichtung		$f = \frac{l_m}{250}$ $l_m = b, \text{ wenn } b \leq 2a$ $l_m = 2a, \text{ wenn } b > 2a$
3	Längssteifen in längsversteiften Beulfeldern			$f = \frac{a}{400}$
4	Quersteifen in längs- und querversteiften Beulfeldern			$f = \frac{a}{400}$ $f = \frac{b}{400}$

Das Maß  $f$  ist senkrecht zur Plattenebene gerichtet.

$l_m$  Meßlänge

### (903) Maßnahmen bei Überschreitung der Höchstwerte $f$ für Herstellungsungenauigkeiten

Sind die Forderungen nach Element 901 oder 902 nicht eingehalten, so ist im Einzelfall zu entscheiden, ob Richtarbeiten oder andere Maßnahmen erforderlich sind.

Anmerkung: Vor der Entscheidung für Richtarbeiten sollte stets bedacht werden, daß dabei zusätzliche Eigenspannungen entstehen können. Es sollte auch der Ausnutzungsgrad in Betracht gezogen werden. In Zweifelsfällen ist es empfehlenswert, den Aufsteller der statischen Berechnung hinzuziehen.

## 10 Konstruktive Forderungen und Hinweise

### (1001) Verbindungen von Steifen und zu versteifender Platte

Längssteifen sind immer, Quersteifen in der Regel mit der zu versteifenden Platte zu verbinden. Dabei darf die Schweißnaht unterbrochen ausgeführt werden. Die Länge der Unterbrechung ist wie bei Ausschnitten nach Element 1005 bzw 1006 zu begrenzen.

### (1002) Stöße von Längssteifen

Wenn Längssteifen bei der Spannungsermittlung zum tragenden Querschnitt hinzugerechnet werden, sind ihre Stöße entsprechend ihren Beanspruchungen zu bemessen.

### (1003) Versetzt angeordnete oder endende Längssteifen

Versetzt angeordnete oder endende Längssteifen gelten in dem Querschnitt, in dem sie versetzt sind oder enden, bei der Ermittlung der vorhandenen Spannungen als nicht mittragend.

Auch wenn Längssteifen nicht zum tragenden Querschnitt hinzugerechnet werden, sind sie an den Quersteifen anzuschließen, wenn die Bedingungen (32) und (33) erfüllt sind.

$$\delta \geq 0,05 \quad (32)$$

$$\sigma > 0,6 \sigma_{xP,R,d} \quad (33)$$

mit

$\delta$  bezogene Querschnittsfläche einer Längssteife

$\sigma$  Spannung der Platte am Steifenende

Bei Gesamtfeldern mit nur einer Längssteife darf der Faktor 0,6 in Bedingung (33) auf 0,8 erhöht werden.

Ist die Bedingung (33) nicht erfüllt, darf die lichte Weite zwischen Längssteifenende und Quersteife nicht größer sein als das Zweifache der Dicke der versteiften Platte.

Falls Längssteifen an einer Quersteife nicht oder versetzt angeschlossen werden, ist folgendes zu beachten:

Entweder muß die Biegesteifigkeit der Quersteife so groß gewählt werden, daß sie eine Knotenlinie im Gesamtfeld erzeugt, oder die nicht angeschlossenen sowie die versetzten Längssteifen müssen beim Beulsicherheitsnachweis für das Gesamtfeld außer Ansatz bleiben.

### (1004) Mindestdrillknicksteifigkeit gedrückter Steifen

Gedrückte Steifen mit offener Querschnittsform und ohne oder mit geringer Wölbsteifigkeit müssen im Falle

$$\frac{I_T}{I_P} \leq \frac{5,3 \cdot f_{y,k}}{E} \quad (34)$$

der Bedingung (35) genügen.

$$\frac{I_T}{I_P} \geq 11,0 \cdot (t/b_{ik})^2 \quad (35)$$

Hierin bedeuten:

$f_{y,k}$  charakteristischer Wert der Streckgrenze der Steife

$I_T$  Torsionsflächenmoment 2. Grades (Saint-Venant'scher Torsionswiderstand)

$I_P$  polares Flächenmoment 2. Grades des Steifenquerschnitts bezüglich der Plattenmitte

$b_{ik}$  kleinere Breite der an die Steife anschließenden Einzelfeldern

Bei nicht voll ausgenutzten Einzelfeldern darf für  $b_{ik}$  die zulässige Breite eingesetzt werden.

Anmerkung 1: Durch die Bedingung (35) soll erreicht werden, daß Steifen mit geringer Wölbsteifigkeit, z.B. Flachstahlsteifen, nicht vor den angrenzenden Einzelfeldern durch Drillknicken versagen. Für Beulsteifen, z.B. mit Winkelquerschnitt, deren Wölbsteifigkeit nicht zu vernachlässigen ist, liegt Bedingung (35) auf der sicheren Seite.

Anmerkung 2: Die Bedingung (35) kann für Flachstahlsteifen mit dem Querschnitt  $b_{St} \cdot t_{St}$  im Falle

$$\frac{b_{St}}{t_{St}} \geq 0,434 \cdot \sqrt{E/f_{y,k}} \quad (36)$$

in der Form der Bedingung (37) geschrieben werden.

$$\frac{b_{St}}{t_{St}} \leq 0,3 \frac{b_{ik}}{t} \quad (37)$$

### (1005) Ausschnitte in Längssteifen

Ausschnitte in Längssteifenstegen sollen nicht größer sein als in Bild 12 angegeben. Für die Ausschnittslänge  $l$  sollen die Werte

$l \leq 6 \min t$  bei gedrückten Flachstahlsteifen,

$l \leq 8 \min t$  bei anderen gedrückten Steifen,

$l \leq 15 \min t$  bei nicht gedrückten Steifen

eingehalten werden. Hierbei ist  $\min t$  die kleinere Dicke der am Ausschnitt zusammentreffenden Platten.

Bei örtlichen Nachweisen ist die Querschnittsschwächung zu berücksichtigen.

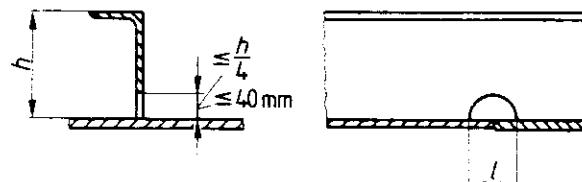


Bild 14. Ausschnitt in Längssteifen

Wenn in der versteiften Platte am Ort der Steife  $\sigma_x < \sigma_{xP,R,d}$  ist, darf  $l$  mit dem Faktor

$$\sqrt{\frac{\sigma_{xP,R,d}}{\sigma}}$$

vergrößert werden. Die maximale Ausschnittslänge ist jedoch auf  $l = 15 \min t$  zu beschränken.

### (1006) Ausschnitte in Quersteifen

Für Quersteifen mit Stegausschnitten, z.B. an Kreuzungspunkten mit durchlaufenden Längssteifen, sind Beulsicherheitsnachweise mit dem Nettoträgheitsmoment  $I_{\text{netto}}$  der Quersteifen zu führen.

Außerdem muß an der Stelle des Stegausschnittes die Querkraft

$$V = \frac{I_{\text{netto}}}{\max e} \cdot f_{y,d} \cdot \frac{\pi}{b_G} \quad (38)$$

übertragen werden. Hierin bedeuten

$\max e$  der größere Randabstand vom Schwerpunkt des Quersteifen-Nettoquerschnitts

$b_G$  die Breite des Beulfeldes (Stützweite der Quersteife)

Der Ausschnitt soll nicht größer sein als 60% der Quersteifenhöhe  $h$ .

Anmerkung: Für die Berechnung von  $I_{\text{netto}}$  gilt Element 306 sinngemäß.

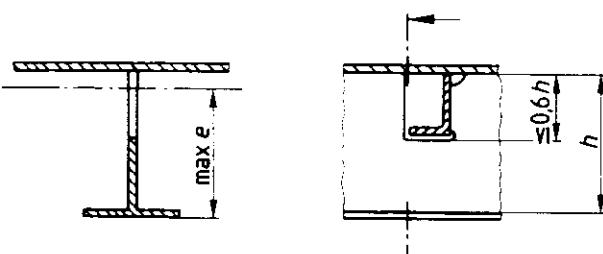


Bild 15. Ausschnitt in Quersteifen

### (1007) Querstoß in längsgedrückten Platten bei unterschiedlicher Plattendicke

Werden längsgedrückte Platten mit unterschiedlicher Dicke exzentrisch (z.B. einseitig bündig) quer gestoßen, soll der Stoß in der Nähe einer Quersteife liegen.

## DIN 18 800 Teil 3

Die Exzentrizität braucht rechnerisch nicht erfaßt zu werden, wenn die Stoßstelle nicht weiter als  $0,5 \text{ min } b_{ik}$  von derjenigen Quersteife entfernt ist, die die dünneren Platten verstift. Für  $\text{min } b_{ik}$  ist die kleinste Breite der Einzelfelder mit der Dickenänderung einzusetzen. Bei nur teilweiser Ausnutzung des Einzelfeldes darf die rechnerisch zulässige Einzelfeldbreite eingesetzt werden.

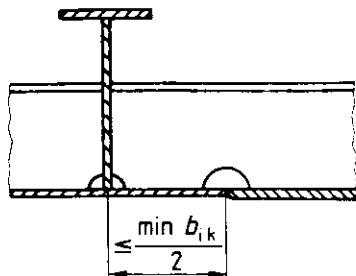


Bild 16. Lage eines Querstoßes von Platten mit unterschiedlicher Dicke

**(1008) Kreuzungspunkte von Steifen und Stoßlaschen**

An Kreuzungspunkten von Steifen und Stoßlaschen von Platten müssen die Steifen mit den Stoßlaschen verbunden werden und ohne nennenswerte Verringerung der Biegesteifigkeit durchgehen.

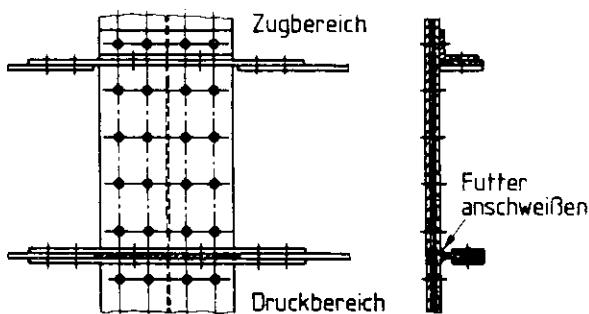


Bild 17. Beispiele für Kreuzungspunkte von Steifen und Stoßlaschen sowie für Längssteifenstöße

**(1009) Stoß von Flachstahlsteifen**

Stöße von Flachstahlsteifen sind im Druckbereich mit möglichst geringer Exzentrizität auszuführen. Andernfalls sind planmäßige Exzentrizitäten rechnerisch zu verfolgen. Anmerkung: Exzentrizitäten können z.B. durch beidseitige Anordnung von Stoßlaschen vermieden werden.

**(1010) Steifen mit niedrigerer Streckgrenze als die der zu verstiften Platte**

Für Beulsteifen dürfen Stähle mit niedrigerer Streckgrenze als für die Platte verwendet werden, wenn für die Spannung  $\sigma$  am Ort der Steife Bedingung (39) erfüllt ist.

$$\sigma \leq \frac{f_y \text{ Steife}}{f_y \text{ Platte}} \cdot \sigma_{P.R.d} \quad (39)$$

**(1011) Stege von Vollwand- und Kastenträgern an Auflagerpunkten**

In der Regel sind Stege an Auflagerpunkten mit mindestens einer Quersteife in voller Beulfeldbreite (Trägerhöhe) auszusteifen. Falls die Schubspannung  $\tau$  größer als die ideale Schubbeulspannung  $\tau_{Pi}$  ist, sind die Regeln für die Bemessung der Quersteifen nach Abschnitt 7, Element 705, zu beachten.

Auf die Anordnung von Quersteifen darf in Stegen nur dann verzichtet werden, wenn die Bedingungen für Krafteinleitungen ohne Steifen nach DIN 18800 Teil 1, Abschnitt 7.5.1, Element 744, eingehalten sind.

## Zitierte Normen und andere Unterlagen

- DIN 1025 Teil 1 Formstahl; Warmgewalzte I-Träger, Schnale I-Träger, I-Reihe, Maße, Gewichte, zulässige Abweichungen, statische Werte
- DIN 1025 Teil 2 Formstahl; Warmgewalzte I-Träger, Breite I-Träger, IPB- und IB-Reihe, Maße, Gewichte, zulässige Abweichungen, statische Werte
- DIN 1025 Teil 3 Formstahl; Warmgewalzte I-Träger, Breite I-Träger, leichte Ausführung, IPBI-Reihe, Maße, Gewichte, zulässige Abweichungen, statische Werte
- DIN 1025 Teil 4 Formstahl; Warmgewalzte I-Träger, Breite I-Träger, verstärkte Ausführung, IPBv-Reihe, Maße, Gewichte, zulässige Abweichungen, statische Werte
- DIN 1025 Teil 5 Formstahl; Warmgewalzte I-Träger, Mittelbreite I-Träger, IPE-Reihe, Maße, Gewichte, zulässige Abweichungen, statische Werte
- DIN 1026 Stabstahl, Formstahl; Warmgewalzter, rundkantiger U-Stahl, Maße, Gewichte, zulässige Abweichungen, statische Werte
- DIN 18 800 Teil 1 Stahlbauten; Bemessung und Konstruktion
- DIN 18 800 Teil 2 Stahlbauten; Stabilitätsfälle, Knicken von Stäben und Stabwerken
- [1] Lindner, J. und Habermann, W.: Zur Weiterentwicklung des Beulnachweises für Platten bei mehrachsiger Beanspruchung. *Stahlbau* **57** (1988), S. 333 – 339, **58** (1989), S. 349 – 351.
- [2] Klöppel, K. und Scheer, J.: Beulwerte ausgesteifter Rechteckplatten. Berlin, Ernst und Sohn, 1960.
- [3] Klöppel, K. und Möller, K. H.: Beulwerte ausgesteifter Rechteckplatten, II. Band, Berlin, Ernst und Sohn, 1968.
- [4] Nölke, H.: Leichte Vollwandträger ohne Zwischensteifen. In *Stahlbau Handbuch* Teil 1. Köln: Stahlbau-Verlag 1982, dort S. 523 – 530.
- [5] Dubas, P. und Gehri, E. (Editors): Behaviour and Design of Steel Plated Structures. Bericht des Technical Committee 8. Working Group 8.3 der EKS. Herausgegeben vom EKS-Generalsekretariat. Brüssel/Zürich 1986.

## Frühere Ausgaben

- DIN 4114 Teil 1: 07.52 xx
- DIN 4114 Teil 2: 02.53 x

## Änderungen

Gegenüber DIN 4114 T 1/07.52 xx und DIN 4114 T 2/02.53 x wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- Norm-Nummer und Titel im Rahmen der Neuordnung des Stahlbau-Normenwerks geändert.
- Inhalt den verschiedenartigen Stabilitätsfällen (Knicken, Beulen) entsprechend neu gegliedert.
- Inhalt dem Stand der Technik angepaßt und unter Berücksichtigung der vom NABau herausgegebenen „Grundlagen zur Festlegung von Sicherheitsanforderungen an baulichen Anlagen“ (GruSiBau) vollständig überarbeitet.

## Erläuterungen

Neben der inhaltlichen Neugestaltung der Normen der Reihe DIN 18 800 wurde auch versucht, ihnen äußerlich ein anderes Erscheinungsbild zu geben und damit zu einer leichteren, einfacheren Handhabung der Norm beizutragen. Damit folgten der NABau-Fachbereich 08 und seine für die Erarbeitung dieser Normen zuständigen Arbeitsausschüsse einem Beschuß des NABau-Beirats aus dem Jahre 1981, eine solche neue Struktur probeweise anzuwenden. Im folgenden wird dieses Konzept erläutert und dem Anwender damit gewissermaßen eine Art „Gebrauchsanweisung“ an die Hand gegeben.

Grundgedanken dieser neuen Struktur sind die — im Rahmen der Normenerstellung eigentlich schon immer erhöhen — Forderungen nach

- Eindeutigkeit, Überschaubarkeit und Transparenz der verschiedenen Aussagen,
- leichter Ansprechbarkeit, Adressierbarkeit und Austauschbarkeit der einzelnen Inhaltsteile,
- einfacher, widerspruchsfreier Fortschreibung der Einzelregelungen,
- einfacher Anwendung.

Um dies zu erreichen, wurde ausgehend von und aufbauend auf dem Anforderungsprofil der Deutschen Bundesbahn für die Erstellung ihrer bautechnischen Regelwerke sowie in Übereinstimmung mit dem nach den Regeln von DIN 820 „Machbarem“ das hiermit nunmehr vorliegende Erscheinungsbild gefunden.

Im Rahmen der üblichen, allgemein bekannten Gliederung in Abschnitte und Unterabschnitte nach dem Dezimalsystem ist darüber hinaus der gesamte Text in überschaubare, (abschnittsweise) durchgehend benummerte, sogenannte „Elemente“ gegliedert, deren jedes eine in sich geschlossene Aussage enthält und damit auch bei Übernahme in eine andere Norm verständlich bleibt. Zu jedem Element gehört eine Überschrift, welche den wesentlichen Inhalt in Kurzform erkennen läßt.

Die Aussagewertigkeit der Regelungen wird unterschieden nach

- **verbindlichen Regelungen** in Form von Geboten, Verboten, Grundsätzen (Regeln),
- **nicht verbindlichen Regelungen** in Form von Empfehlungen sowie Erlaubnissen unter konkret beschriebenen Bedingungen,
- **Erläuterungen** in Form von Beispielen, Hinweisen, Skizzen und Bildern.

Die eindeutige Formulierung des jeweiligen Verbindlichkeitsgrades jeder Regelung ergibt sich aus der konsequenten Anwendung der modalen Hilfsverben nach DIN 820 Teil 23. Zur Verbesserung der Übersicht wird der Verbindlichkeitsgrad jedoch nicht nur verbal beschrieben, sondern auch durch ein entsprechendes Druckbild optisch unterschieden. Danach sind die „nicht verbindlichen Regelungen“ mit einem Raster unterlegt, und die „Erläuterungen“ stehen eingerückt als Anmerkung unmittelbar hinter dem jeweiligen Element.

## Internationale Patentklassifikation

E 04 B 1/08  
G 01 B 21/00  
G 01 N 3/00

## Stahlbauten

## Stabilitätsfälle, Schalenbeulen

**DIN**  
**18 800**  
Teil 4

Steel structures; stability; buckling of shells

Constructions métalliques; stabilité; voilement des coques

Diese Norm wurde im NABau-Fachbereich 08 Stahlbau — Deutscher Ausschuß für Stahlbau e.V. — ausgearbeitet.

Mit den vorliegenden neuen Normen der Reihe DIN 18 800 wurde erstmals das Sicherheits- und Bemessungskonzept der im Jahre 1981 vom NABau herausgegebenen „Grundlagen zur Festlegung von Sicherheitsanforderungen an bauliche Anlagen“ (GruSiBau) verwirklicht. Darüber hinaus ist auch den laufenden Entwicklungen hinsichtlich der europäischen Vereinheitlichungsbemühungen (Stichwort: EUROCODES) Rechnung getragen worden.

Alle Verweise auf die Normen DIN 18 800 Teil 1, Teil 2 und Teil 3 beziehen sich auf deren Ausgabe November 1990.

## Inhalt

**1 Allgemeine Angaben**

- 1.1 Anwendungsbereich
- 1.2 Begriffe
- 1.3 Häufig verwendete Formelzeichen
- 1.4 Grundsätzliches zum Beulsicherheitsnachweis

**2 Vorgehen beim Beulsicherheitsnachweis****3 Herstellungsungenauigkeiten**

- 4 Kreiszylinderschalen mit konstanter Wanddicke**
  - 4.1 Formelzeichen, Randbedingungen
  - 4.2 Ideale Beulspannung
  - 4.2.1 Druckbeanspruchung in Axialrichtung
  - 4.2.2 Druckbeanspruchung in Umfangsrichtung
  - 4.2.3 Schubbeanspruchung
  - 4.3 Reale Beulspannung
  - 4.4 Spannungen infolge Einwirkungen
  - 4.5 Kombinierte Beanspruchung
  - 4.5.1 Druck in Axialrichtung, Druck in Umfangsrichtung und Schub
  - 4.5.2 Druck in Axialrichtung und Zug in Umfangsrichtung aus innerem Manteldruck

**5 Kreiszylinderschalen mit abgestufter Wanddicke**

- 5.1 Formelzeichen, Randbedingungen
- 5.2 Planmäßiger Versatz
- 5.3 Ideale Beulspannung
- 5.3.1 Druckbeanspruchung in Axialrichtung
- 5.3.2 Druckbeanspruchung in Umfangsrichtung

## 5.4 Reale Beulspannung

- 5.5 Spannungen infolge Einwirkungen
- 5.6 Kombinierte Beanspruchung
  - 5.6.1 Druck in Axialrichtung und Druck in Umfangsrichtung
  - 5.6.2 Druck in Axialrichtung und Zug in Umfangsrichtung aus innerem Manteldruck

**6 Kegelschalen mit konstanter Wanddicke**

- 6.1 Formelzeichen, Randbedingungen
- 6.2 Ideale Beulspannung
  - 6.2.1 Ersatz-Kreiszylinder
  - 6.2.2 Druckbeanspruchung in Meridianrichtung
  - 6.2.3 Druckbeanspruchung in Umfangsrichtung
  - 6.2.4 Schubbeanspruchung
  - 6.3 Reale Beulspannung
  - 6.4 Spannungen infolge Einwirkungen
  - 6.5 Kombinierte Beanspruchung
  - 6.5.1 Druck in Meridianrichtung, Druck in Umfangsrichtung und Schub
  - 6.5.2 Druck in Meridianrichtung und Zug in Umfangsrichtung aus innerem Manteldruck

**7 Kugelschalen mit konstanter Wanddicke**

- 7.1 Formelzeichen, Randbedingungen
- 7.2 Ideale Beulspannung
- 7.3 Reale Beulspannung
- 7.4 Spannungen infolge Einwirkungen
- 7.5 Kombinierte Beanspruchung

**Zitierte Normen und andere Unterlagen****Erläuterungen**

**Diese Neuauflage von DIN 18 800 Teil 4 enthält gegenüber der Erstaufgabe Druckfehlerberichtigungen, die an den entsprechenden Stellen durch einen Balken am Rand gekennzeichnet sind.**

## 1 Allgemeine Angaben

### 1.1 Anwendungsbereich

#### (101) Geltungsbereich

Diese Norm gilt für Schalenkonstruktionen aus Stahl. Sie ist stets zusammen mit DIN 18 800 Teil 1 anzuwenden.

Anmerkung: Bei Berücksichtigung der entsprechenden Zahlenwerte für die Werkstoffkenngrößen können die Regelungen dieser Norm auch für Stahl bei anderen als in DIN 18 800 Teil 1 angegebenen Temperaturen und für Schalen aus anderen Metallen verwendet werden. Dabei ist gegebenenfalls zu berücksichtigen, daß in dieser Norm in den Gleichungen für die ideale Beulspannung die Querkontraktionszahl mit  $\mu = 0.3$  eingesetzt wurde.

#### (102) Tragsicherheitsnachweis

Diese Norm regelt den Tragsicherheitsnachweis für den Grenzzustand Instabilität von unversteiften Kreiszylinder-, Kegel- und Kugelschalen bei vorwiegend ruhender Belastung. Dieser Nachweis wird als Beulsicherheitsnachweis bezeichnet.

Diese Norm darf bei entsprechender Berücksichtigung der Randbedingungen auch für kreiszylindrische, kegelförmige oder kugelförmige Schalenteile, Teilsteller versteifter Schalen und Abschnitte zusammengesetzter Schalen angewendet werden.

Anmerkung 1: Unter „entsprechender Berücksichtigung der Randbedingungen“ ist beispielsweise für kreiszylindrische Schalenteile, Teilsteller oder Schalenabschnitte bei Verwendung der in dieser Norm angegebenen Gleichungen für die ideale Beulspannung zu verstehen, daß ihre in Umfangsrichtung verlaufenden Ränder (Querränder) hinreichend genau als radial unverschieblich eingestuft werden können.

Anmerkung 2: Für den Beulsicherheitsnachweis versteifter Schalen gegen globales Beulen, d.h. für den Tragsicherheitsnachweis ihrer Steifen, werden z.B. in [1] Hinweise gegeben.

### 1.2 Begriffe

#### (103) Ideale Beullast

Die ideale Beullast ist die unter den idealisierenden Voraussetzungen

- perfekte Geometrie,
  - perfekte Lasteinbringung und Lagerung,
  - unbeschränkte Gültigkeit des Hookeschen Gesetzes,
  - ideal isotroper Werkstoff,
  - keine Eigenspannungen,
- nach der Elastizitätstheorie ermittelte kleinste Verzweigungslast.

#### (104) Ideale Beulspannung

Die ideale Beulspannung ist die zur idealen Beullast gehörende Membranspannung.

#### (105) Reale Beulspannung

Die reale Beulspannung ist die zur Erfassung der baupraktisch unvermeidbaren Einflüsse

- geometrische Imperfektionen,
  - strukturelle Imperfektionen,
- sowie des

— nichtelastischen Werkstoffverhaltens

gegenüber der idealen Beulspannung abgeminderte Membranspannung. Sie entspricht dem charakteristischen Wert des Widerstandes im Grenzzustand Instabilität im Sinne von DIN 18 800 Teil 1.

Anmerkung 1: Geometrische Imperfektionen sind herstellungsbedingte Abweichungen von der geometrischen Sollform (z.B. Vorbeulen, Unrundheiten, Schrumpfknicke an Schweißnähten, Exzentrizitäten an Stoßstellen).

Anmerkung 2: Strukturelle Imperfektionen sind z.B. Walz- und Schweißeigenspannungen sowie die Inhomogenität und Anisotropie von Werkstoffeigenschaften.

Anmerkung 3: Nichtelastisches Werkstoffverhalten kann entweder ähnlich einer ideal-plastischen Spannungsdehnungslinie (ausgeprägte Streckgrenze vorhanden) oder einer verfestigend-plastischen Spannungsdehnungslinie (0,2%-Dehngrenze als Streckgrenze) vorliegen. Es hat in der Regel keinen signifikanten Einfluß auf die reale Beulspannung, wenn diese kleiner als 40% der Streckgrenze ist.

#### (106) Grenzbeulspannung

Die Grenzbeulspannung ist der Bemessungswert der realen Beulspannung. Man erhält sie durch Abminderung der realen Beulspannung mit dem Teilsicherheitsbeiwert des Widerstandes.

### 1.3 Häufig verwendete Formelzeichen

#### (107) Geometrische Größen

$t$	Wanddicke
$r$	Breitenkreisradius der Schalenmittelfläche
$d = 2r$	Breitenkreisdurchmesser der Schalenmittelfläche
$R$	Radius der Kugelmittelfläche
$e_v$	planmäßiger Versatz der Schalenmittelflächen
$l_{mk}, l_{mv}, l_{mq}$	Meßlängen zur Ermittlung von Herstellungsungenauigkeiten
$t_v$	Tiefe von Vorbeulen (Vorbeultiefe)
$U$	Unrundheit
$e$	unplanmäßige Exzentrizität
$x, \varphi$	Koordinaten in der Schalenmittelfläche in Meridianrichtung (Richtung der Erzeugenden, bei Kreiszylindern identisch mit Axialrichtung) und in Umfangsrichtung
$z$	Koordinate rechtwinklig zur Schalenmittelfläche
$u, v, w$	Verschiebungen in den Koordinatenrichtungen $x, \varphi, z$

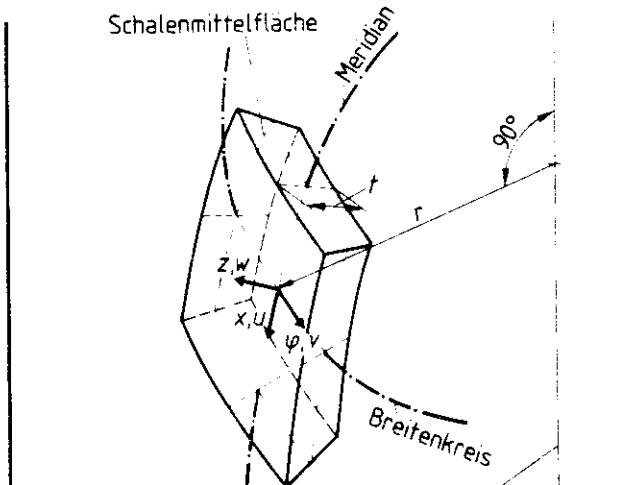


Bild 1. Geometrische Größen Rotationsachse

Anmerkung: Weitere Formelzeichen, die jeweils den speziellen Schalentyp betreffen, stehen am Beginn der Abschnitte 4 bis 7.

**(108) Physikalische Kenngrößen, Festigkeiten** $E$  Elastizitätsmodul $f_y$  StreckgrenzeAnmerkung: Für die Zahlenwerte von  $E$  und  $f_y$  siehe DIN 18 800 Teil 1, Tabelle 1.**(109) Nebenzeichen**

Index R Widerstandsgröße

Index k charakteristischer Wert einer Größe

Index d Bemessungswert einer Größe

Anmerkung: Die Begriffe „Widerstand“, „charakteristischer Wert“ und „Bemessungswert“ sind in DIN 18 800 Teil 1, Abschnitt 3.1, definiert.

**(110) Lastgrößen, Beanspruchungsgrößen** $q$  Flächenlast rechtwinklig zur Schalenmittelfläche, als Druck von außen oder Sog von innen positiv $p$  Linienlast oder Flächenlast in Schalenmittelfläche in Axial- oder Meridianrichtung $s$  Linienlast in Schalenmittelfläche in Umfangsrichtung $H_x, H_q, H_{xq}$  Membranschnittkräfte $\sigma_x, \sigma_q$  Membrannormalspannungen, als Druck positiv $\tau$  Membranschubspannungen**(111) Systemwerte** $\sigma_{xSi}, \sigma_{qSi}, \tau_{Si}$  Ideale Beulspannungen $\sigma_{xS, R, k}, \sigma_{qS, R, k}, \tau_{S, R, k}$  Reale Beulspannungen $\bar{\lambda}_S$  bezogener Schalenschlankheitsgrad $\kappa$  Abminderungsfaktor  
(bezogene reale Beulspannung) $= \frac{\text{Reale Beulspannung}}{\text{Streckgrenze}}$ 

Anmerkung: Der Index S kennzeichnet hier (im Gegensatz zu DIN 18 800 Teil 1) das Schalenbeulen.

**(112) Teilsicherheitsbeiwerte** $\gamma_M$  Teilsicherheitsbeiwert für den Widerstand $\gamma_F$  Teilsicherheitsbeiwert für die EinwirkungenAnmerkung 1: Die Zahlenwerte von  $\gamma_M$  sind Abschnitt 2, Element 206, zu entnehmen.Anmerkung 2: Die Zahlenwerte für  $\gamma_F$  sind DIN 18 800 Teil 1 zu entnehmen.**1.4 Grundsätzliches zum Beulsicherheitsnachweis****(113) Erforderlicher Nachweis**

Für Schalenkonstruktionen aus Stahl ist außer den Nachweisen nach DIN 18 800 Teil 1 ein Beulsicherheitsnachweis nach dieser Norm zu führen. Es ist nachzuweisen, daß die mit den Bemessungswerten der Einwirkungen ermittelte maßgebende Membranspannung die entsprechende Grenzbeulspannung nicht überschreitet.

Anmerkung 1: Die Regeln zur Berechnung der Bemessungswerte der Einwirkungen stehen in DIN 18 800 Teil 1, Abschnitte 7.2.1 und 7.2.2.

Anmerkung 2: DIN 18 800 Teil 1 enthält keine speziellen Angaben für den Tragsicherheitsnachweis in Schalenkonstruktionen. Inwieweit im Vergleichsspannungsnachweis nach DIN 18 800 Teil 1, Abschnitt 7.5.2, Element 747, neben den in jedem

Falle zu berücksichtigenden Membranspannungen auch Biegespannungen berücksichtigt werden müssen, hängt davon ab, ob sie für das Gleichgewicht erforderlich oder nicht erforderlich sind und ob sie einmalig oder wiederholt auftreten. Die einschlägigen Fachnormen enthalten zum Teil Hinweise hierzu. Hinweise zu sogenannten „Spannungskategorien“ werden z.B. in der KTA-Regel 3401.2, Fassung 6/85, gegeben.

**(114) Ermittlung der realen Beulspannung**

Die reale Beulspannung ist nach den Regeln der folgenden Abschnitte zu ermitteln. Dies setzt voraus, daß die für die einzelnen Schalenformen angegebenen Randbedingungen vorliegen und die Toleranzwerte für die Herstellungsungenauigkeiten nach Abschnitt 3 eingehalten werden. Der beullastabmindernde Einfluß von baupraktisch unvermeidlichen Unebenheiten der Auflagerung ist erfaßt, der von ungleichmäßigen Nachgiebigkeiten der Auflagerung oder Bodensetzungen dagegen im allgemeinen noch nicht.

**(115) Ebene Platten als Näherung**

Der Beulsicherheitsnachweis für Schalenkonstruktionen darf vereinfachend wie für ebene Platten unter Vernachlässigung der Krümmung, aber mit Beibehaltung der Lagerungsbedingungen und der für die Schale berechneten Membranschnittkräften, geführt werden.

**2 Vorgehen beim Beulsicherheitsnachweis****(201) Ideale Beulspannungen**Es sind die idealen Beulspannungen  $\sigma_{xSi}$ ,  $\sigma_{qSi}$  und  $\tau_{Si}$  mit den in den Abschnitten 4 bis 7 angegebenen Gleichungen zu ermitteln.

Die idealen Beulspannungen dürfen auch durch geeignete Berechnungsverfahren (z.B. Finite-Element-Methode) ermittelt werden, sofern sichergestellt ist, daß diese die kritischen Beulmuster (das heißt die zum niedrigsten Eigenwert führenden Eigenformen) zuverlässig auffinden.

Anmerkung: Die in den Abschnitten 4 bis 7 angegebenen Gleichungen für die idealen Beulspannungen wurden überwiegend mit der klassischen linearen Beultheorie ermittelt. Berechnungen, die den zur Gleichgewichtsverzweigung führenden Beanspruchungszustand der perfekten Schale (Vorbeulzustand) genauer erfassen, können auch kleinere ideale Beulspannungen liefern. Diese brauchen nicht angesetzt zu werden, da die Differenz zu den mit den Gleichungen der Norm ermittelten idealen Beulspannungen mit den Abminderungsfaktoren nach Element 204 abgedeckt ist.

**(202) Bezogene Schalenschlankheitsgrade**Mit den idealen Beulspannungen sind die bezogenen Schalenschlankheitsgrade  $\bar{\lambda}_S$  mit den Gleichungen (1) bis (3) zu bestimmen.

$$\bar{\lambda}_{Sx} = \sqrt{\frac{f_y k}{\sigma_{xSi}}} \quad (1)$$

$$\bar{\lambda}_{Sq} = \sqrt{\frac{f_y k}{\sigma_{qSi}}} \quad (2)$$

$$\bar{\lambda}_{St} = \sqrt{\frac{f_y k}{3 \cdot \tau_{Si}}} \quad (3)$$

## DIN 18 800 Teil 4

Anmerkung: Der bezogene Schalenschlankheitsgrad  $\bar{\lambda}_S$  in dieser Norm entspricht stabilitätstheoretisch den bezogenen Stabschlankheitsgraden  $\bar{\lambda}_K$  und  $\bar{\lambda}_M$  in DIN 18 800 Teil 2 und dem bezogenen Platten schlankheitsgrad  $\bar{\lambda}_P$  in DIN 18 800 Teil 3. Er ist nicht identisch mit dem bezogenen Schlankheitsgrad  $\bar{\lambda}_S$  in der früheren DAST-Richtlinie 013.

## (203) Reale Beulspannungen

In Abhängigkeit von den bezogenen Schalenschlankheitsgraden  $\bar{\lambda}_S$  sind Abminderungsfaktoren  $\kappa$  zu bestimmen. Die realen Beulspannungen  $\sigma_{xS,R,k}$ ,  $\sigma_{qS,R,k}$  und  $\tau_{S,R,k}$  ergeben sich durch Multiplikation der Abminderungsfaktoren mit dem charakteristischen Wert der Streckgrenze nach den Gleichungen (4) bis (6).

$$\sigma_{xS,R,k} = \kappa \cdot f_{y,k} \quad (4)$$

mit  $\kappa = f(\bar{\lambda}_S)$

$$\sigma_{qS,R,k} = \kappa \cdot f_{y,k} \quad (5)$$

mit  $\kappa = f(\bar{\lambda}_{Sq})$

$$\tau_{S,R,k} = \kappa \frac{f_{y,k}}{\sqrt{3}} \quad (6)$$

mit  $\kappa = f(\bar{\lambda}_{St})$

Anmerkung: Die Vorgehensweise mit Abminderungsfaktoren, die auf die Streckgrenze bezogen sind und in Abhängigkeit von bezogenen Schlankheitsgraden bestimmt werden, stimmt mit der Vorgehensweise bei anderen Stabilitätsfällen in Stahlbauten überein (siehe DIN 18 800 Teile 2 und 3).

## (204) Abminderungsfaktoren

Die Abminderungsfaktoren  $\kappa$  ergeben sich je nach Schalenart und Beanspruchungsfall aus den Gleichungen (7) oder (8). Die Zuordnung erfolgt in den Abschnitten 4.3, 5.4, 6.3 und 7.3.

Normal imperfektionsempfindliche Schalenbeulfälle:

$$\bar{\lambda}_S \leq 0,4: \kappa_1 = 1 \quad (7a)$$

$$0,4 < \bar{\lambda}_S < 1,2: \kappa_1 = 1,274 - 0,686 \bar{\lambda}_S \quad (7b)$$

$$1,2 \leq \bar{\lambda}_S: \kappa_1 = 0,65/\bar{\lambda}_S^2 \quad (7c)$$

Sehr imperfektionsempfindliche Schalenbeulfälle:

$$\bar{\lambda}_S \leq 0,25: \kappa_2 = 1 \quad (8a)$$

$$0,25 < \bar{\lambda}_S \leq 1,0: \kappa_2 = 1,233 - 0,933 \bar{\lambda}_S \quad (8b)$$

$$1,0 < \bar{\lambda}_S \leq 1,5: \kappa_2 = 0,3/\bar{\lambda}_S^3 \quad (8c)$$

$$1,5 < \bar{\lambda}_S: \kappa_2 = 0,2/\bar{\lambda}_S^2 \quad (8d)$$

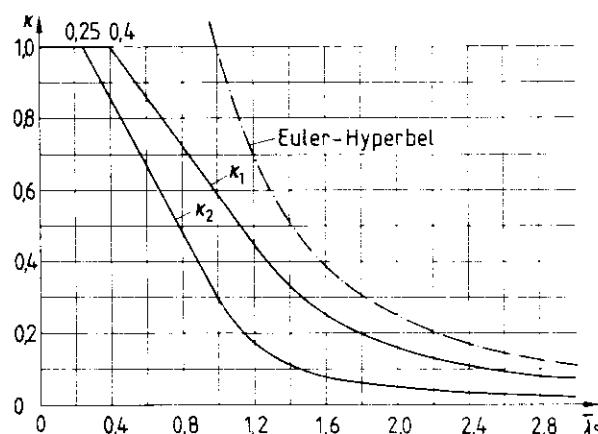


Bild 2. Abminderungsfaktoren  $\kappa$  (bezogene reale Beulspannungen) für Schalenbeulen (Grundbeulkurven)

Anmerkung: Die Abminderungsfaktoren  $\kappa$  erfassen den Einfluß der geometrischen und strukturellen Imperfektionen sowie des nichtelastischen Werkstoffverhaltens (vergleiche hierzu Anmerkungen zu Abschnitt 1, Element 105). Dabei wird die unterschiedliche Imperfektionsempfindlichkeit verschiedener Schalenarten und Beanspruchungsfälle durch die beiden unterschiedlich großen Abminderungsfaktoren  $\kappa_1$  und  $\kappa_2$  (Grundbeulkurven) berücksichtigt.

## (205) Grenzbeulspannungen

Die Grenzbeulspannungen sind nach den Gleichungen (9) bis (11) zu ermitteln:

$$\sigma_{xS,R,d} = \sigma_{xS,R,k}/\gamma_M \quad (9)$$

$$\sigma_{qS,R,d} = \sigma_{qS,R,k}/\gamma_M \quad (10)$$

$$\tau_{S,R,d} = \tau_{S,R,k}/\gamma_M \quad (11)$$

mit  $\gamma_M$  nach Element 206.

## (206) Teilsicherheitsbeiwerte für den Widerstand

Die Teilsicherheitsbeiwerte  $\gamma_M$  ergeben sich je nach Schalenart und Beanspruchungsfall aus den Gleichungen (12) oder (13).

Normal imperfektionsempfindliche Schalenbeulfälle, bei denen die reale Beulspannung mit  $\kappa_1$  ermittelt wurde:

$$\gamma_{M1} = 1,1 \quad (12)$$

Sehr imperfektionsempfindliche Schalenbeulfälle, bei denen die reale Beulspannung mit  $\kappa_2$  ermittelt wurde:

$$\bar{\lambda}_S \leq 0,25: \gamma_{M2} = 1,1 \quad (13a)$$

$$0,25 < \bar{\lambda}_S < 2,00: \gamma_{M2} = 1,1 \left( 1 + 0,318 \frac{\bar{\lambda}_S - 0,25}{1,75} \right) \quad (13b)$$

$$2,00 \leq \bar{\lambda}_S: \gamma_{M2} = 1,45 \quad (13c)$$

Anmerkung: Der erhöhte Teilsicherheitsbeiwert  $\gamma_{M2}$  berücksichtigt die besonders große Streuung der experimentellen Beullasten von mittellangen dünnwandigen Kreiszylinder- und Kegelschalen unter konstanter Druckbeanspruchung in Axial- bzw. Meridianrichtung und von dünnwandigen Kugelschalen unter konstantem Außendruck, die der Festlegung der Grundbeulkurve  $\kappa_2$  zugrundegelegt wurden. Die besonders große Streuung der experimentellen Beullasten hat ihre Ursache im ungünstigen Nachbeulverhalten dieser Schalentypen und ihrer daraus resultierenden extremen Imperfektionsanfälligkeit.

Für Sonderfälle, bei denen sich das ungünstige Nachbeulverhalten und die extreme Imperfektionsanfälligkeit nicht einstellen können (z.B. schmale Teilfelder längsversteifter Kreiszylinder oder kurze Kreiszylinder unter Axialdruckbeanspruchung), kann auch ein geringerer  $\gamma_M$ -Wert gerechtfertigt sein.

## (207) Einzelnachweise

Es sind je nach Beanspruchungsfall einer oder mehrere der folgenden Einzelnachweise zu führen:

$$\frac{\sigma_x}{\sigma_{xS,R,d}} \leq 1 \quad (14)$$

$$\frac{\sigma_q}{\sigma_{qS,R,d}} \leq 1 \quad (15)$$

$$\frac{\tau}{\tau_{S,R,d}} \leq 1 \quad (16)$$

Hierin bedeuten:

$\sigma_x, \sigma_\varphi, \tau$  maßgebende Membrandruck- und -schubspannungen infolge der Bemessungswerte der Einwirkungen, berechnet nach der Elastizitätstheorie

### (208) Nachweis bei kombinierter Beanspruchung

Bei Vorhandensein von mehr als einer der drei beulauslösenden Membranspannungen (Druck in Axial- bzw. Meridianrichtung, Druck in Umfangsrichtung, Schub) ist außer den Einzelnachweisen ein Nachweis unter kombinierter Beanspruchung mit den jeweils angegebenen maßgebenden Membranspannungen und Interaktionsbedingungen zu führen (siehe Abschnitte 4.5, 5.6, 6.5, 7.5).

## 3 Herstellungsungenauigkeiten

### (301) Toleranzwerte

Die in dieser Norm angegebenen realen Beulspannungen gelten nur, wenn die unvermeidbaren Herstellungsungenauigkeiten die in den Elementen 302 bis 304 angegebenen Toleranzwerte nicht überschreiten. Sie sind durch Stichproben zu überprüfen.

Anmerkung 1: Angaben zum Vorgehen bei Überschreitung der Toleranzwerte sind in Element 305 gemacht.

Anmerkung 2: Die Toleranzwerte sind im allgemeinen nicht geeignet, als Grundlage für Imperfektions- Rechenannahmen zu dienen.

### (302) Vorbeulen

Die Tiefe  $t_v$  von Vorbeulen (Vorbeultiefe) soll den Wert von 1% der Meßlänge nicht überschreiten. Die Meßlänge (siehe Bild 3) beträgt

— bei Kugelschalen in beliebiger Richtung

$$l_{mK} = 4 + R \cdot t \quad (17)$$

— bei Kreiszylinder- und Kegelschalen in Meridianrichtung

$$l_{mx} = 4 + r \cdot t \quad (18)$$

— bei Kreiszylinder- und Kegelschalen in Umfangsrichtung

$$l_{m\varphi} = \frac{2,3 \cdot r}{\sqrt{\frac{r}{l} + \frac{r}{t}}} \quad (19 \text{ a})$$

jedoch

$$l_{m\varphi} \leq r \quad (19 \text{ b})$$

Die Meßlänge darf in allen drei Fällen auf 2000 mm begrenzt werden.

Im Bereich von Schweißnähten beträgt die Meßlänge höchstens 500 mm.

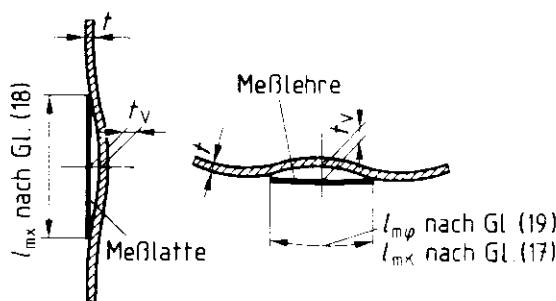


Bild 3. Meßlängen und Vorbeultiefen

Anmerkung 1: Die Meßlängen entsprechen in ihrer Größenordnung den Abmessungen einer Beule des kritischen Nachbeulmusters der Kugel unter Außendruck ( $l_{mK}$ ), des Kreiszylinders unter Axialdruck ( $l_{mx}$ ) bzw. des Kreiszylinders unter Außen- druck ( $l_{m\varphi}$ ).

Anmerkung 2: Bei Kugelschalen wird für die Messung in Umfangsrichtung die Meßlehre in der Ebene des Breitenkreises angesetzt. Die Messung der Vorbeultiefe  $t_v$  darf aber normal zum Meridian erfolgen (siehe Bild 4):

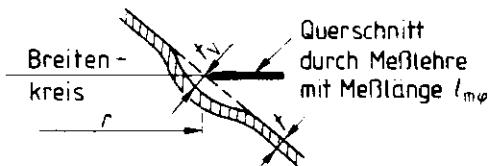


Bild 4. Messung der Vorbeulen in Umfangsrichtung bei Kugelschalen

### (303) Unrundheit

Die Unrundheit  $U$  soll Bedingung (20) einhalten.

$$U = 2 \cdot \frac{\max d - \min d}{\max d + \min d} \cdot 100 \leq \text{zul } U \quad (20)$$

Hierin sind  $\max d$  und  $\min d$  der jeweils größte und kleinste gemessene Durchmesser (siehe Bild 5) und  $\text{zul } U$  die zulässige Unrundheit nach Gleichung (21).

$$\text{zul } U = 2,0\% \quad (21 \text{ a})$$

für  $d \leq 500 \text{ mm}$ ,

$$\text{zul } U = 0,5\% \quad (21 \text{ b})$$

für  $d \geq 1250 \text{ mm}$ .

Zwischen  $d = 500 \text{ mm}$  und  $d = 1250 \text{ mm}$  ist linear zu interpolieren.

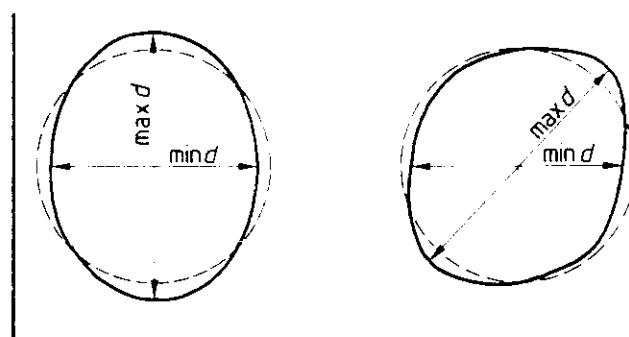
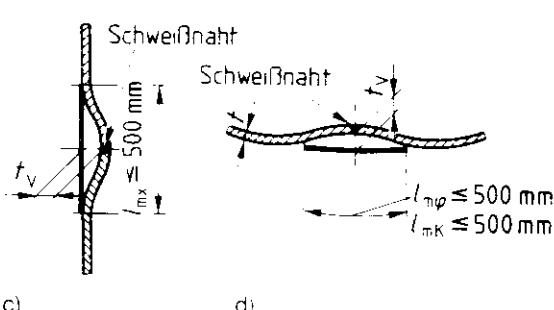


Bild 5. Unrundheit



**(304) Exzentrizitäten**

Unplanmäßige Exzentrizitäten  $e$  an Stoßstellen der Schalenwand rechtwinklig zur Druckbeanspruchungsrichtung sollen Bedingung (22) einhalten.

$$e \leq 0,2 t \quad (22 \text{ a})$$

jedoch

$$e \leq 3 \text{ mm} \quad (22 \text{ b})$$

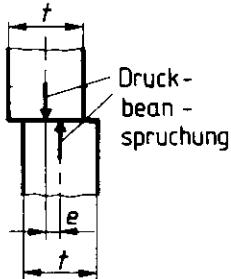


Bild 6. Exzentrizität

**(305) Überschreitung der Toleranzwerte**

Werden die Toleranzwerte nach den Elementen 302 bis 304 überschritten, so ist im Einzelfall zu entscheiden, ob Richtarbeiten oder andere Maßnahmen erforderlich sind.

Der Zustand darf ohne besondere Maßnahmen belassen werden, wenn die Toleranzwerte nicht mehr als bis zu ihrem doppelten Wert überschritten werden und der Beulsicherheitsnachweis mit einem reduzierten Abminderungsfaktor nach Gleichung (23) geführt wird.

$$\text{red } \kappa = \kappa \left[ 1 - \frac{\bar{\lambda}_S}{3} \left( \frac{\text{vorh } a}{\text{zul } a} - 1 \right) \right] \quad (23 \text{ a})$$

für  $\bar{\lambda}_S < 1,5$

bzw.

$$\text{red } \kappa = \kappa \left( 1,5 - 0,5 \frac{\text{vorh } a}{\text{zul } a} \right) \quad (23 \text{ b})$$

für  $\bar{\lambda}_S \geq 1,5$

Hierin bedeuten:

$\kappa$  Abminderungsfaktor nach den Gleichungen (7) bzw. (8)

$\text{zul } a$  zulässige Vorbeultiefe  $\text{zul } t_v$  nach Element 302 oder zulässige Unrundheit  $\text{zul } U$  nach Element 303 oder zulässige Exzentrizität  $\text{zul } e$  nach Element 304

$\text{vorh } a$  vorhandene Vorbeultiefe  $\text{vorh } t_v$  oder vorhandene Unrundheit  $\text{vorh } U$  oder vorhandene Exzentrizität  $\text{vorh } e$  ( $\text{zul } a \leq \text{vorh } a \leq 2 \text{ zul } a$ )

Werden die Toleranzwerte mehrerer Arten von Herstellungen genauigkeit gleichzeitig überschritten, so genügt es, die ungünstigste Einzelüberschreitung  $\text{vorh } a/\text{zul } a$  in Gleichung (23) einzusetzen.

Anmerkung 1: Vor der Entscheidung für Richtarbeiten sollte stets bedacht werden, daß dabei zusätzliche Eigenspannungen entstehen können. Es sollte auch der Ausnutzungsgrad in Betracht gezogen werden. In Zweifelsfällen ist es empfehlenswert, den Aufsteller der statischen Berechnung hinzuzuziehen.

Anmerkung 2: Gleichung (23) stellt eine auf der sicheren Seite liegende Abschätzung des von den zu großen geometrischen Imperfektionen zusätzlich verursachten Abfalls der realen Beulspannungen dar.

**(306) Unterschreitung der Nenndicke**

Bei Wanddicken  $t < 5 \text{ mm}$  ist der Beulsicherheitsnachweis statt mit  $t$  mit der effektiven Wanddicke  $t_{\text{eff}}$  nach Gleichung (24) zu führen.

$$t_{\text{eff}} = t - 0,5 \Delta t \quad (24)$$

Hierin bedeutet:

$\Delta t$  zulässige Unterschreitung der Nenndicke nach jeweiliger Liefernorm

Bei Blechen mit bestellter Mindestwanddicke und entsprechenden Abnahmeprüfzeugnissen 3.1 A, B oder C oder Abnahmeprüfprotokollen 3.2 A oder C nach DIN 50049 darf der Beulsicherheitsnachweis mit der bescheinigten Mindestwanddicke geführt werden.

**4 Kreiszylinderschalen mit konstanter Wanddicke****4.1 Formelzeichen, Randbedingungen****(401) Geometrische Größen**

$l$  Zylinderlänge

$r$  Radius der Zylindermittelfläche

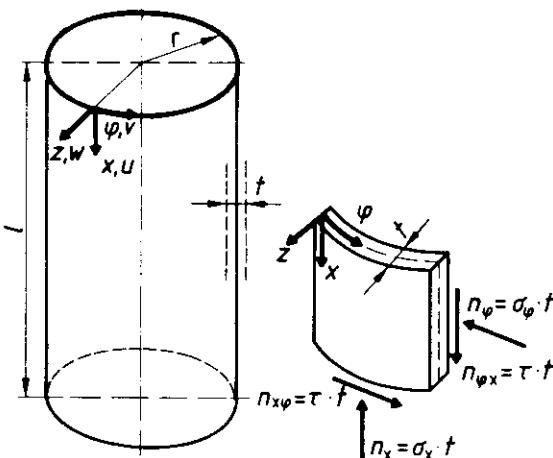


Bild 7. Geometrie und Membranschnittkräfte des Kreiszylinders

Anmerkung: Zusätzlich zur Konstanz der Wanddicke wird in diesem Abschnitt vorausgesetzt, daß an keiner Stelle (beispielsweise an Stößen) ein planmäßiger Versatz vorhanden ist. Angaben zur näherungsweisen Behandlung „überlappter“ Kreiszylinderschalen sind in Abschnitt 5.4, Element 514 gemacht.

**(402) Beanspruchungsgrößen, Beulspannungen****a) Druckbeanspruchung in Axialrichtung**

$\sigma_x$  Axialdruckspannung

$\sigma_{xSi}$  ideale Axialbeulspannung

$\sigma_{xS,R,k}$  reale Axialbeulspannung

**b) Druckbeanspruchung in Umfangsrichtung**

$\sigma_q$  Umfangsdruckspannung

$\sigma_{qSi}$  ideale Umfangsbeulspannung

$\sigma_{qS,R,k}$  reale Umfangsbeulspannung

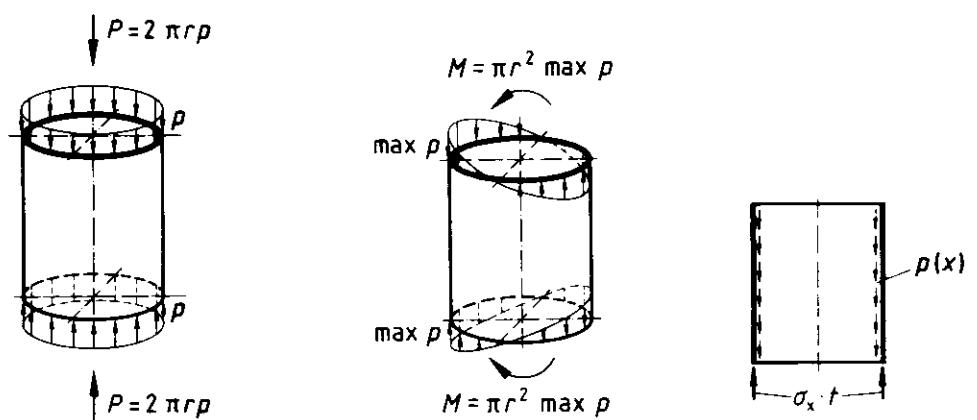
**c) Schubbeanspruchung**

$\tau$  Schubspannung

$\tau_{Si}$  ideale Schubbeulspannung

$\tau_{S,R,k}$  reale Schubbeulspannung

Anmerkung: Beispiele für die verschiedenen Beanspruchungen sind in den Bildern 8 bis 10 angegeben.



$$\sigma_x = \frac{P}{2\pi \cdot r \cdot t}$$

- a) konstante Axiallast  
(z. B. aus Deckeldruck  
bei allseitigem Außendruck)

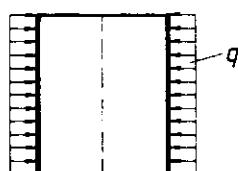
$$\max \sigma_x = \frac{M}{\pi \cdot r^2 \cdot t}$$

- b) In Umfangsrichtung  
sirusförmig veränderliche  
Axiallast aus Rohrbiegung

$$\sigma_x = \frac{1}{t} \int p(x) dx$$

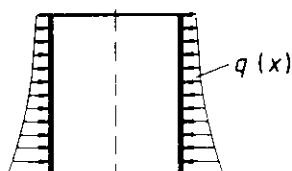
- c) In Längsrichtung  
veränderliche Axiallast  
(z. B. Silobelastung)

Bild 8. Beispiele für Druckbeanspruchung in Axialrichtung



$$\sigma_\phi = q \cdot r/t$$

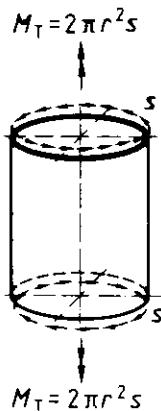
- a) Konstanter rotationssymmetrischer  
Manteldruck (z. B. aus allseitigem  
Außendruck oder innerem Unterdruck)



$$\sigma_\phi = q(x) \cdot r/t$$

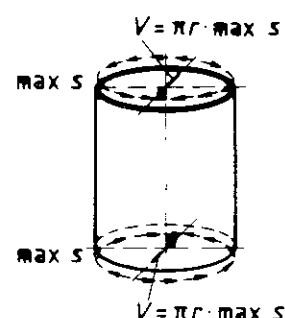
- b) In Längsrichtung veränderlicher rotations-  
symmetrischer Manteldruck

Bild 9. Beispiele für Druckbeanspruchung in Umfangsrichtung



$$\tau = \frac{M_T}{2\pi \cdot r^2 \cdot t}$$

- a) Konstante Schubbeanspruchung  
aus Torsion



$$\max \tau = \frac{V}{\pi \cdot r \cdot t}$$

- b) In Umfangsrichtung sinusförmig veränder-  
liche Schubbeanspruchung aus Querkraft.  
(Die aus Gleichgewichtsgründen am Rand  
in Axialrichtung angreifende Membran-  
normalspannung aus Rohrbiegung ist aus  
Gründen der Übersichtlichkeit nicht einge-  
zeichnet.)

Bild 10. Beispiele für Schubbeanspruchung

## DIN 18 800 Teil 4

## (403) Randbedingungen

Es werden die folgenden Randbedingungen (RB) unterschieden:

- RB 1: radial unverschieblicher, axial unverschieblicher (wölbbehinderter), bei kurzen Kreiszylinderschalen zusätzlich eingespannter Rand
- RB 2: radial unverschieblicher, axial verschieblicher (wölbfreier), gelenkiger Rand
- RB 3: freier Rand

Anmerkung 1: Die Begriffe „verschieblich“ und „unverschieblich“ beziehen sich auf relative Verschiebungen des Schalenrandes bezüglich des Randkreises (radial) bzw. der Randkreisebene (axial), nicht auf Starrkörperverschiebungen des gesamten Randkreises.

Anmerkung 2: Radiale Unverschieblichkeit kann beispielsweise für Behälter bei Aussteifung durch Bodenbleche oder Dachschalen bzw. Dachgespärre angenommen werden (siehe Bild 11 a bis d). Beim Teilstoffnachweis ringversteifter Schalen ist sie an den Ringsteifen, welche Knotenlinien der Beulfigur bilden (siehe Bild 11 f), ebenfalls gegeben. Die Stabilität der Ringsteifen ist gesondert nachzuweisen; Hinweise dazu werden z.B. in [1] gegeben.

Anmerkung 3: Axiale Unverschieblichkeit liegt bei Verankerung der Ränder oder deren Einbindung in steife Endplatten vor.

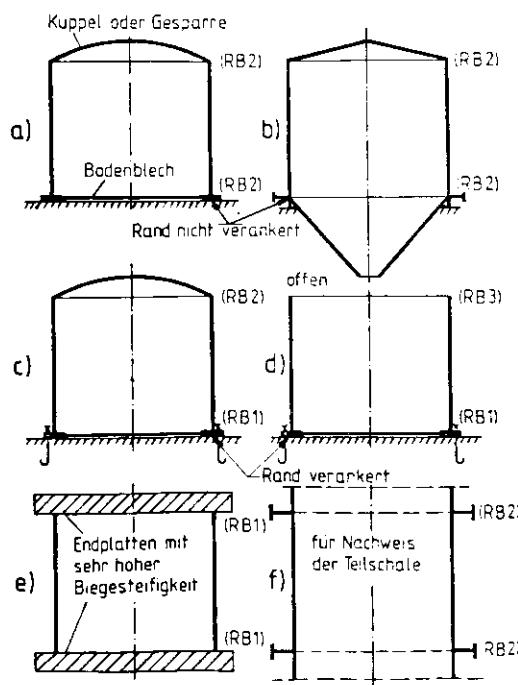


Bild 11. Konstruktive Erläuterungen und Beispiele zu den Randbedingungen

## 4.2 Ideale Beulspannung

## 4.2.1 Druckbeanspruchung in Axialrichtung

## (404) Voraussetzung

Die folgenden Gleichungen für die ideale Beulspannung gelten nur für radial unverschiebliche Ränder (RB 1 oder RB 2).

## (405) Kein Nachweis erforderlich

Für Kreiszylinder nach Gleichung (25) braucht kein Beulsicherheitsnachweis geführt zu werden.

$$\frac{r}{t} \leq \frac{E}{25 f_{y,k}} \quad (25)$$

Anmerkung: Der nach DIN 18 800 Teil 2 zu führende Nachweis der Biegeknicksicherheit bleibt hiervon unberührt.

## (406) Kreiszylinder allgemein

Für Kreiszylinder mit Druckbeanspruchung in Axialrichtung ist die ideale Beulspannung  $\sigma_{xSi}$  mit Gleichung (26) zu bestimmen.

$$\sigma_{xSi} = 0.605 C_x \cdot E \frac{t}{r} \quad (26)$$

Der Beiwert  $C_x$  ist in Abhängigkeit von der Schalenlänge nach den Elementen 407 oder 408 zu bestimmen.

Anmerkung: Gleichung (26) ergibt sich auf der Basis der klassischen linearen Beultheorie für die Kreiszylinderschale unter konstanter Axiallast (siehe Bild 8 a).

## (407) Mittellange und kurze Kreiszylinder

Für mittellange und kurze Kreiszylinder nach Bedingung (27) gilt  $C_x$  nach Gleichung (28).

$$\frac{l}{r} \leq 0.5 \quad \left| \frac{r}{t} \right| \quad (27)$$

$$C_x = 1 + 1.5 \left( \frac{r}{l} \right)^2 \frac{t}{r} \quad (28)$$

$C_x$  darf auch gleich 1 gesetzt werden.

Anmerkung: Der Beiwert  $C_x$  nach Gleichung (28) erfaßt den asymptotischen Übergang der idealen Axialbeulspannung der kurzen Kreiszylinderschale unter konstanter Axiallast mit RB 2 nach Abschnitt 4.1, Element 403, in die ideale Beulspannung der gelenkig gelagerten, breiten Rechteckplatte (knickstabähnliches Plattenbeulen, siehe Bild 12).

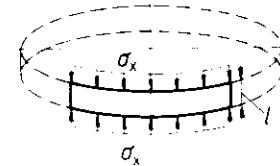


Bild 12. Plattenbeulen als Grenzfall der kurzen Kreiszylinderschale mit Druckbeanspruchung in Axialrichtung

## (408) Lange Kreiszylinder

Für lange Kreiszylinder nach Bedingung (29) ist der Beiwert  $C_x$  in Abhängigkeit von den Randbedingungen mit  $\eta$  nach Tabelle 1 mit Gleichung (30) zu bestimmen.

$$\frac{l}{r} > 0.5 \quad \left| \frac{r}{t} \right| \quad (29)$$

$$C_x = 1 - \frac{0.4 \frac{l}{r} \left| \frac{t}{r} \right| - 0.2}{\eta} \quad (30)$$

jedoch  $C_x \geq 0.6$ .

Tabelle 1. **Beiwerthe  $\eta$  zur Ermittlung der idealen Axialbeulspannungen bei langen Kreiszylindern**

Fall	Kombination der Randbedingungen nach Abschnitt 4.1, Element 403	Beiwert $\eta$
1	RB 1 RB 1	6
2	RB 2 RB 1	3
3	RB 2 RB 2	1

Anmerkung: Der Beiwert  $\eta$  nach Gleichung (30) erfaßt näherungsweise den Abfall der auf der Basis der klassischen linearen Beultheorie ermittelten idealen Beulspannung im Übergangsbereich vom mittellangen Kreiszylinder zum Knickstab.

#### (409) Knicken von langen Kreiszylindern

Für lange Kreiszylinder nach Bedingung (29) ist außer dem Beulsicherheitsnachweis nach dieser Norm der Nachweis der Biegeknicksicherheit nach DIN 18 800 Teil 2 zu führen. Eine Interaktion mit dem Schalenbeulen braucht dabei nicht berücksichtigt zu werden.

Anmerkung: Implizit wird eine gewisse Interaktion dadurch berücksichtigt, daß die in den Beulsicherheitsnachweis nach Gleichung (14) einzuführende größte Membranspannung  $\sigma_x$  bei langen Kreiszylindern (rohrförmigen Stäben), die die Abgrenzungskriterien in DIN 18 800 Teil 1, Abschnitt 7.5.1, Element 739, nicht einhalten, sowieso aus Schnittgrößen nach Theorie II. Ordnung zu ermitteln ist.

#### (410) Sehr lange Kreiszylinder

Außer bei Einhaltung von Bedingung (25) braucht auch für sehr lange Kreiszylinder (rohrförmige Stäbe) nach Bedingung (31) unter planmäßig mittigem Druck kein Beulsicherheitsnachweis geführt zu werden.

$$\frac{s_K}{r} \geq 10 \sqrt{\frac{r}{t}} \quad (31)$$

mit  $s_K$  Knicklänge nach DIN 18 800 Teil 2

Anmerkung 1: Der nach DIN 18 800 Teil 2 zu führende Nachweis der Biegeknicksicherheit bleibt hiervon unberührt.

Anmerkung 2: Gleichung (31) ergibt sich näherungsweise aus dem Gleichsetzen der Beanspruchbarkeiten des planmäßig mittig gedrückten rohrförmigen Stabes nach DIN 18 800 Teil 2 (Knickspannungslinie a) und der langen Kreiszylinderschale unter Axialdruckbeanspruchung (Abminderungsfaktor  $\kappa_2$  nach Gleichung (8) mit  $C_x = 0,6$  nach Gleichung (30)).

#### 4.2.2 Druckbeanspruchung in Umfangsrichtung

##### (411) Kein Nachweis erforderlich

Für Kreiszylinder nach Bedingung (32) braucht kein Beulsicherheitsnachweis geführt zu werden.

$$\frac{r}{t} \leq \sqrt{\frac{E}{23 f_{y,k}}} \quad (32)$$

##### (412) Mittellange und kurze Kreiszylinder

Für mittellange und kurze Kreiszylinder nach Bedingung (33) ist die ideale Beulspannung  $\sigma_{q,si}$  mit Gleichung (34) zu bestimmen, wobei der Beiwert  $C_q$  in Abhängigkeit von den Randbedingungen Tabelle 2 zu entnehmen ist.

$$\frac{l}{r} \leq 1,63 C_q \sqrt{\frac{r}{t}} \quad (33)$$

$$\sigma_{q,si} = 0,92 C_q \cdot E \frac{r}{l} \left( \frac{t}{r} \right)^{1,5} \quad (34)$$

In Gleichung (34) darf anstelle des Beiwertes  $C_q$  auch der Beiwert  $C_q^*$  nach Tabelle 2 eingesetzt werden.

Tabelle 2. **Beiwerthe  $C_q$  und  $C_q^*$** 

Fall	Kombination der Randbedingungen nach Abschnitt 4.1, Element 403	Beiwert $C_q$	Beiwert $C_q^*$
1	RB 1 RB 1	1,5	$1,5 + \frac{10,0}{l^2} - \frac{5,0}{l^3}$
2	RB 2 RB 1	1,25	$1,25 + \frac{8,0}{l^2} - \frac{4,0}{l^3}$
3	RB 2 RB 2	1,0	$1,0 + \frac{3,0}{l^{1,35}}$
4	RB 3 RB 1	0,6	$0,6 + \frac{1,0}{l^2} - \frac{0,3}{l^3}$
5	RB 3 RB 2		In diesen Fällen darf $\sigma_{q,si}$ unabhängig von der Zylinderlänge mit Gleichung (36) und $C_q = 0$ bestimmt werden.
6	RB 3 RB 3		

$$\bar{l} = \frac{l}{r} \sqrt{\frac{r}{t}}$$

Anmerkung 1: Gleichung (34) ergibt sich auf der Basis der klassischen linearen Beultheorie für eine Kreiszylinderschale unter konstantem Manteldruck.

Anmerkung 2: Der Beiwert  $C_q^*$  nach Tabelle 2 erfaßt den asymptotischen Übergang der idealen Umfangsbeulspannung der kurzen Kreiszylinderschale unter konstantem Manteldruck in die ideale Beulspannung der langen Rechteckplatte (siehe Bild 13).



Bild 13. Plattenbeulen als Grenzfall der kurzen Kreiszylinderschale mit Druckbeanspruchung in Umfangsrichtung

##### (413) Lange Kreiszylinder

Für lange Kreiszylinder nach Bedingung (35) ist die ideale Beulspannung  $\sigma_{q,si}$  mit Gleichung (36) zu bestimmen, wobei  $C_q$  aus Tabelle 2 zu entnehmen ist.

$$\frac{l}{r} > 1,63 C_q \sqrt{\frac{r}{t}} \quad (35)$$

$$\sigma_{q,si} = E \left( \frac{t}{r} \right)^2 \left[ 0,275 + 2,03 \left( \frac{C_q}{l \sqrt{\frac{t}{r}}} \right)^4 \right] \quad (36)$$

## DIN 18 800 Teil 4

Anmerkung: Gleichung (36) erfaßt auf der Basis der klassischen linearen Beultheorie den Übergang zum unter Radialbelastung ausknickenden Kreisring als dem Grenzfall der langen Kreiszylinderschale unter konstantem Manteldruck.

#### 4.2.3 Schubbeanspruchung

##### (414) Voraussetzung

Die folgenden Gleichungen für die ideale Beulspannung gelten nur für radial unverschiebbliche Ränder (RB 1 oder RB 2).

##### (415) Kein Nachweis erforderlich

Für Kreiszylinder nach Bedingung (37) braucht kein Beulsicherheitsnachweis geführt zu werden.

$$\frac{r}{t} \leq \left( \frac{E}{15 f_{y,k}} \right)^{0,67} \quad (37)$$

##### (416) Mittellange und kurze Kreiszylinder

Für mittellange und kurze Kreiszylinder nach Bedingung (38) ist die ideale Beulspannung  $\tau_{Si}$  nach Gleichung (39) mit  $C_\tau = 1$  zu bestimmen.

$$\frac{l}{r} \leq 8,7 \sqrt{r/t} \quad (38)$$

$$\tau_{Si} = 0,75 C_\tau \cdot E \left( \frac{t}{r} \right)^{1,25} \cdot \left( \frac{r}{l} \right)^{0,5} \quad (39)$$

In Gleichung (39) darf auch  $C_\tau$  nach Gleichung (40) eingesetzt werden.

$$C_\tau = \left[ 1 + 42 \left( \frac{r}{l} \right)^3 \cdot \left( \frac{t}{r} \right)^{1,5} \right]^{0,5} \quad (40)$$

Anmerkung 1: Gleichung (39) ergibt sich auf der Basis der klassischen linearen Beultheorie für die Kreiszylinderschale unter konstanter Torsionsbeanspruchung (siehe Bild 10 a).

Anmerkung 2: Der Beiwert  $C_\tau$  nach Gleichung (40) erfaßt den asymptotischen Übergang der idealen Schubbeulspannung der kurzen Kreiszylinderschale unter konstanter Torsionsbeanspruchung mit RB 2 nach Abschnitt 4.1, Element 403, in die ideale Beulspannung der schubbeanspruchten, gelenkig gelagerten, breiten Rechteckplatte (siehe Bild 14).

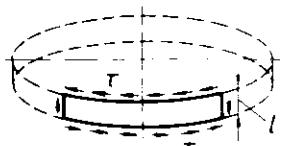


Bild 14. Plattenbeulen als Grenzfall der kurzen Kreiszylinderschale mit Schubbeanspruchung

##### (417) Lange Kreiszylinder

Für lange Kreiszylinder nach Bedingung (41) ist die ideale Beulspannung  $\tau_{Si}$  nach Gleichung (42) zu bestimmen.

$$\frac{l}{r} > 8,7 \sqrt{r/t} \quad (41)$$

$$\tau_{Si} = 0,25 E \left( \frac{t}{r} \right)^{1,5} \quad (42)$$

#### 4.3 Reale Beulspannung

##### (418) Gültigkeitsgrenzen

Die in Abschnitt 4.3 in den Elementen 419 bis 421 angegebenen Gleichungen für reale Beulspannungen gelten nur für Kreiszylinderschalen mit  $r/t \leq 2500$ .

Anmerkung: Für Radius/Dicken-Verhältnisse  $r/t > 2500$  wird der Erfahrungsbereich hinsichtlich der Abminderungsfaktoren  $\kappa$  verlassen.

##### (419) Druckbeanspruchung in Axialrichtung

Die reale Beulspannung  $\sigma_{xS,R,k}$  für Druckbeanspruchung in Axialrichtung beträgt

$$\sigma_{xS,R,k} = \kappa_2 \cdot f_{y,k} \quad (43)$$

mit  $\kappa_2$  nach Gleichung (8), ermittelt mit  $\bar{\lambda}_{Sx}$  nach Gleichung (1).

##### (420) Druckbeanspruchung in Umfangsrichtung

Die reale Beulspannung  $\sigma_{\varphi S,R,k}$  für Druckbeanspruchung in Umfangsrichtung beträgt

$$\sigma_{\varphi S,R,k} = \kappa_1 \cdot f_{y,k} \quad (44)$$

mit  $\kappa_1$  nach Gleichung (7), ermittelt mit  $\bar{\lambda}_{S\varphi}$  nach Gleichung (2).

##### (421) Schubbeanspruchung

Die reale Beulspannung  $\tau_{S,R,k}$  für Schubbeanspruchung beträgt

$$\tau_{S,R,k} = \kappa_1 \frac{f_{y,k}}{\sqrt{3}} \quad (45)$$

mit  $\kappa_1$  nach Gleichung (7), ermittelt mit  $\bar{\lambda}_{S\tau}$  nach Gleichung (3).

##### (422) Kurze Kreiszylinder

Der Beulsicherheitsnachweis darf auch dann im Sinne von Abschnitt 1.4, Element 115 wie für eine ebene Platte nach DIN 18 800 Teil 3 geführt werden, wenn sich für kurze Kreiszylinder damit günstigere Ergebnisse ergeben als nach dieser Norm.

#### 4.4 Spannungen infolge Einwirkungen

##### (423) Maßgebende Membranspannungen

Der Beulsicherheitsnachweis nach Abschnitt 2, Element 207, ist stets mit den Größtwerten der Membranspannungen  $\sigma_x$ ,  $\sigma_\varphi$  und  $\tau$  zu führen.

Anmerkung: Die Membranspannungen sind nach DIN 18 800 Teil 1 stets mit den Bemessungswerten der Einwirkungen zu ermitteln.

##### (424) Ersatz-Windbelastung für die Ermittlung der Umfangsdruckspannung

Die äußere Windbelastung von Kreiszylinderschalen mit den Randbedingungen nach Tabelle 2 beim Beulsicherheitsnachweis darf für die Ermittlung von  $\sigma_\varphi$  durch einen konstanten rotationssymmetrischen Manteldruck nach Gleichung (46) ersetzt werden.

$$q = \delta \cdot \max q_w \quad (46)$$

Hierin bedeuten:

$\max q_w$  größter Druckwert im Staupunkt

$$\delta = 0,46 \left( 1 + 0,1 \sqrt{C_\varphi \frac{r}{l} \sqrt{\frac{r}{t}}} \right) \leq 1 \quad (47)$$

mit  $C_\varphi$  nach Tabelle 2 je nach Randbedingung.

Bei offenen oder belüfteten Kreiszylindern ist zusätzlich zur Ersatz-Windbelastung nach Gleichung (46) ein konstanter rotationssymmetrischer Manteldruck von  $0,6 \max q_w$  zur Berücksichtigung des Windsogs im Zylinderinnern anzunehmen.

Anmerkung: Der Beiwert  $\delta$  in Gleichung (46) berücksichtigt, daß die ideale Umfangsbeulspannung nach Gleichung (34) für konstanten Manteldruck ermittelt wurde und die veränderliche Umfangsdruckverteilung unter äußerer Windbelastung nach Bild 15 ein günstigeres Beuverhalten bewirkt.

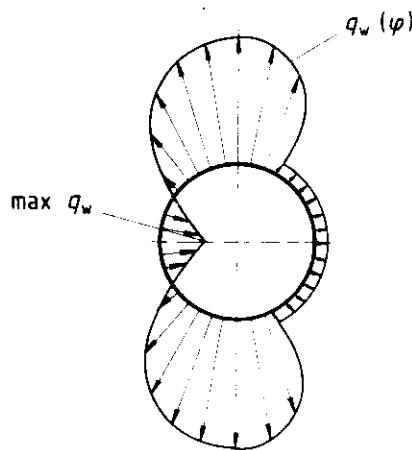


Bild 15. Beispiel für äußere Windbelastung

**(425) Manteldruck bei sehr kurzen Kreiszylindern**

Bei sehr kurzen Kreiszylinderschalen nach Gleichung (48) bzw. sehr kurzen Teilfeldern von ringversteiften Kreiszylindern darf  $\sigma_\varphi$  nach Gleichung (49) ermittelt werden:

$$\frac{l}{r} \leq \frac{3.12}{1 + r/t} \quad (48)$$

$$\sigma_\varphi = \psi \frac{q \cdot r}{t} \quad (49)$$

Der Beiwert  $\psi$  ist Tabelle 3 zu entnehmen.

Anmerkung: Der Beiwert  $\psi$  in Gleichung (49) berücksichtigt, daß bei sehr kurzen Kreiszylinderschalen ein Teil des Manteldrucks unmittelbar von den Rändern bzw. von den Ringsteifen aufgenommen wird.

**4.5 Kombinierte Beanspruchung****4.5.1 Druck in Axialrichtung, Druck in Umfangsrichtung und Schub****(426) Interaktionsbedingung**

Bei gleichzeitiger Wirkung von Axialdruckspannungen  $\sigma_x$ , Umfangsdruckspannungen  $\sigma_\varphi$  und Schubspannungen  $\tau$

ist außer den Einzelnachweisen nach Abschnitt 2, Element 207, und Abschnitt 4.4, Element 423, ein Nachweis nach folgender Interaktionsbedingung zu führen:

$$\left( \frac{\sigma_x}{\sigma_{xS,R,d}} \right)^{1.25} + \left( \frac{\sigma_\varphi}{\sigma_{\varphi S,R,d}} \right)^{1.25} + \left( \frac{\tau}{\tau_{S,R,d}} \right)^2 \leq 1 \quad (50)$$

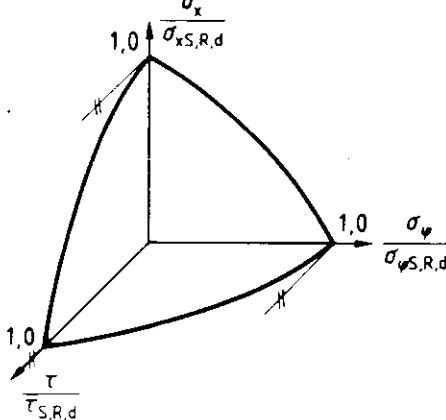


Bild 16. Interaktionsbedingung (50)

Anmerkung: Beim Nachweis nach Bedingung (50) ist ein aus aliseitigem Außendruck bei geschlossenen Zylindern entstehender Deckeldruck als Axialdruck anzusetzen.

**(427) Zu kombinierende Membranspannungen**

In die Interaktionsbedingung (50) sind die Größtwerte der Membranspannungen  $\sigma_x$ ,  $\sigma_\varphi$  und  $\tau$  einzusetzen, auch wenn diese nicht an derselben Stelle auftreten.

Treten Größtwerte innerhalb der randnahen Bereiche der Länge  $l_R$  nach Gleichung (51) auf, so dürfen an ihrer Stelle in die Interaktionsbedingung (50) als maßgebende Membranspannungen die in der verbleibenden freien Länge  $(l - 2 l_R)$  auftretenden Größtwerte eingesetzt werden.

$$l_R = 0.10 l \quad (51 \text{ a})$$

jedoch

$$l_R \leq 0.16 C_\varphi r \sqrt{r/t} \quad (51 \text{ b})$$

mit  $C_\varphi$  nach Tabelle 2.

Tabelle 3. Beiwerte  $\psi$ 

	$l/r$	$\psi$	
		$\leq \frac{1.56}{1 + r/t}$	$1 - \frac{0.85}{1 + t \cdot l_R / A_R}$
	$\geq \frac{1.56}{1 + r/t}$	$1 - \frac{0.85 [2 - l (1.56 + r \cdot t)]}{1 + (b + 1.56 + r \cdot t) t / A_R}$	
	$\geq \frac{3.12}{1 + r/t}$		1

$A_R$  Querschnittsfläche der Steife (ohne mitwirkende Schalenfläche)  
Bei radial unverschieblichen Rändern gilt  $A_R = \infty$

## DIN 18 800 Teil 4

Bei langen Kreiszylindern nach Bedingung (35) dürfen darüber hinaus in der Interaktionsbedingung (50) solche Größtwerte kombiniert werden, die innerhalb der freien Länge ( $l - 2l_R$ ) in einem Zylinderabschnitt der Länge  $l'$  nach Gleichung (52) auftreten.

$$l' = 1,30 C_\varphi r \sqrt{r/t} \quad (52)$$

Anmerkung: Die Interaktionsbedingung (50) sichert gegen das beulfördernde Zusammenwirken von Spannungsfeldern, nicht von Einzellspannungen ab. Das wird auf der sicheren Seite durch Kombinieren der Membranspannungsgrößtwerte erfaßt. Liegen die absolut größten Membranspannungswerte aber bei starker Veränderlichkeit in unmittelbarer Nähe der Ränder bzw. bei langen Kreiszylindern darüber hinaus weit voneinander entfernt, so wäre eine Kombination dieser Größtwerte beulmechanisch nicht begründet und zu konservativ.

Die Regelung für die Einzelnachweise nach Abschnitt 4.4, Element 423, bleibt hiervon unberührt.

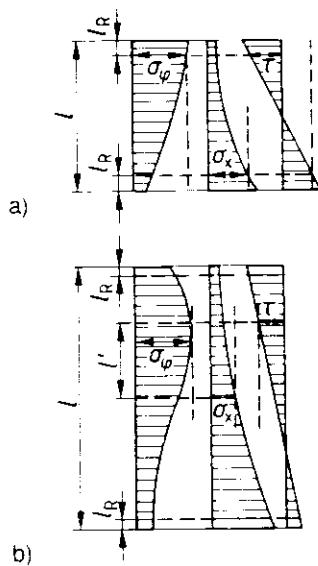


Bild 17. Beispiele für zu kombinierende Membranspannungen bei mittellangen und kurzen Kreiszylindern (a) und langen Kreiszylindern (b)

#### 4.5.2 Druck in Axialrichtung und Zug in Umfangsrichtung aus innerem Manteldruck

##### (428) Voraussetzung

Die beullasterhöhende Wirkung nach Element 429 darf nur dann in Rechnung gestellt werden, wenn der innere Manteldruck und damit die Umfangszugspannungen zweifelsfrei gleichzeitig mit der Druckbeanspruchung in Axialrichtung vorhanden sind.

Anmerkung: Besondere Vorsicht ist z. B. geboten bei Lasten aus Schüttgütern, die zur Brückenebildung neigen.

##### (429) Beullasterhöhende Wirkung des inneren Manteldruckes

Für mittellange und kurze Kreiszylinder nach Bedingung (27), deren bezogener Schlankheitsgrad nach Gleichung (1) größer als 0,7 ist, darf die beullasterhöhende Wirkung der Umfangszugspannungen infolge eines inneren Manteldruckes  $q_i$  dadurch berücksichtigt werden, daß die reale Beulspannung  $\sigma_{AS,R,k}$  gemäß Gleichung (43) statt mit  $\kappa_2$  mit  $\kappa_{2q}$  nach Gleichung (53) berechnet wird.

$$\bar{\lambda}_{Sx} \leq 0,7:$$

$$\kappa_{2q} = \kappa_2 \quad (53a)$$

$$0,7 < \bar{\lambda}_{Sx} < 1,0:$$

$$\kappa_{2q} = \kappa_2 \left\langle 1 + 1,2 \bar{\lambda}_{Sx} \left[ \frac{q_i}{E} \left( \frac{r}{t} \right)^2 \right]^{0,38} \frac{\bar{\lambda}_{Sx} - 0,7}{0,3} \right\rangle \quad (53b)$$

$$1,0 \leq \bar{\lambda}_{Sx}:$$

$$\kappa_{2q} = \kappa_2 \left\langle 1 + 1,2 \bar{\lambda}_{Sx} \left[ \frac{q_i}{E} \left( \frac{r}{t} \right)^2 \right]^{0,38} \right\rangle \quad (53c)$$

Bei kurzen Kreiszylindern darf  $\kappa_{2q}$  nicht angesetzt werden, wenn die ideale Axialbeulspannung mit  $C_x$  nach Gleichung (28) ermittelt wurde oder wenn der Beulsicherheitsnachweis wie für eine ebene Platte gemäß Abschnitt 4.3, Element 422, geführt wird.

Für lange Kreiszylinder nach Bedingung (29) darf keine beullasterhöhende Wirkung des inneren Manteldrucks in Rechnung gestellt werden.

Anmerkung 1: Innerer Manteldruck  $q_i$  entsteht z. B. aus hydrostatischem Druck bei Flüssigkeitsfüllung oder aus Innendruck in einem geschlossenen Behälter oder aus Silogut.  $q_i$  wirkt entgegengesetzt der sonst in dieser Norm als positiv definierten Manteldruckrichtung.

Anmerkung 2: Gleichung (53c) erfaßt für rautenförmig elastisch beulende Kreiszylinder den beulglättenden Einfluß der Umfangszugspannungen, durch den die Imperfektionsempfindlichkeit gemildert wird. Dieser beullasterhöhende Effekt ist bei ringwulstartig elastisch-plastisch beulenden Kreiszylindern nicht gegeben.

Anmerkung 3: Auf den bei Schalen neben dem Beulsicherheitsnachweis nach dieser Norm stets parallel zu führenden Vergleichsspannungsnachweis nach DIN 18 800 Teil 1 wird hingewiesen (vergleiche Abschnitt 1.4, Element 113).

#### (430) Anzusetzende Axialdruckspannung

Die bei geschlossenen Kreiszylindern unter Innendruck infolge des Deckeldruckes entstehende Axialzugspannung darf bei der Ermittlung der maßgebenden Membranspannung  $\sigma_x$  für den Beulsicherheitsnachweis berücksichtigt werden.

#### (431) Knicken von langen Kreiszylindern unter innerem Manteldruck

Bei durch Innendruck beanspruchten Rohren, bei denen wegen fehlender Deckel keine vom Innendruck  $q_i$  herührende Axialzugkraft entsteht, ist ein Stabilitätsnachweis als Stab nach Abschnitt 4.2.1, Element 409, mit einer fiktiven Axialdruckkraft  $q_i \cdot r^2 \cdot \pi$  zu führen. Diese fiktive Axialdruckkraft ist gegebenenfalls planmäßig vorhandenen Axialkräften zu überlagern.

Anmerkung: Ein innendruckbeanspruchtes Rohr ohne Deckel stellt einen Stabilitätsfall dar. Sein kritischer Innendruck ist identisch mit demjenigen gedachten äußeren Deckeldruck, der das Rohr als Knickstab instabil werden ließe. Dieser Fall liegt z. B. bei Druckrohrleitungen in aufgelöster Bauweise mit Dehnstücken (Kompensatoren, Stopfbuchsen) vor. Erst die bei vorhandenen Deckeln auftretende Axialzugkraft kompensiert die Stabilitätsgefährdung.

## 5 Kreiszylinderschalen mit abgestufter Wanddicke

### 5.1 Formelzeichen, Randbedingungen

#### (501) Geometrische Größen

Es gelten sinngemäß die Bezeichnungen nach Abschnitt 4.1, Element 401, sowie folgende zusätzliche Bezeichnungen (siehe Bild 19 a):

$l$  Länge eines Zylinderschusses mit konstanter Wanddicke

$t$  konstante Wanddicke eines Zylinderschusses

Dabei wird vorausgesetzt, daß die Wanddicke von einem Zylinderende zum anderen schußweise zunimmt.

Bei planmäßiger Versatz nach Abschnitt 5.2, Element 504, darf einheitlich mit einem mittleren Zylinderadius  $r$  gerechnet werden.

#### (502) Beanspruchungsgrößen, Beulspannungen

Es gelten sinngemäß die Bezeichnungen nach Abschnitt 4.1, Element 402, für

a) Druckbeanspruchung in Axialrichtung,

b) Druckbeanspruchung in Umfangsrichtung.

Anmerkung: Schubbeanspruchung von Kreiszylinderschalen mit abgestufter Wanddicke ist in dieser Norm nicht geregelt.

#### (503) Randbedingungen

Die folgenden Regeln gelten nur für radial unverschiebbliche Ränder (RB 1 und RB 2 nach Abschnitt 4.1, Element 403). Es wird nicht zwischen RB 1 und RB 2 unterschieden.

Anmerkung: Kreiszylinderschalen mit abgestufter Wanddicke und mit freiem Rand sind in dieser Norm nicht geregelt. Im übrigen gelten die Anmerkungen für Kreiszylinderschalen mit konstanter Wanddicke (zu Abschnitt 4.1, Element 403) hier sinngemäß.

### 5.2 Planmäßiger Versatz

(504) Die folgenden Regeln gelten nur, wenn der planmäßig vorgesehene Versatz  $e_V$  zwischen Blechen benachbarter Zylinderschüsse (siehe Bild 18) die in Tabelle 4 angegebenen Werte zul  $e_V$  nicht überschreitet.

Tabelle 4. Zulässige planmäßige Versatzmaße

		zul $e_V$
Druck in Umfangsrichtung		1,1 min $t$
Druck in Axialrichtung	ohne Innendruck bzw. mit Innendruck, wenn dessen beullasterhörende Wirkung nicht angesetzt wird	0,5 (max $t$ – min $t$ ) oder 0,5 min $t$ *)
	mit Innendruck, wenn dessen beullasterhörende Wirkung nach Gleichung (53) angesetzt wird	0,5 (max $t$ – min $t$ ) oder 0,2 min $t$ *)

\*) Der kleinere Wert ist maßgebend.

Anmerkung: Für Druck in Axialrichtung sind Abweichungen vom planmäßigen Versatzmaß unplanmäßige Exzentrizitäten (Herstellungsungenauigkeiten), für die der Toleranzwert nach Abschnitt 3, Element 304, einzuhalten ist. Abschnitt 3, Element 305, gilt sinngemäß. Überlappte Kreiszylinderschalen unter Druckbeanspruchung in Axialrichtung siehe Abschnitt 5.4, Element 514.

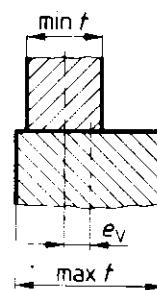


Bild 18. Planmäßiger Versatz zwischen Blechen benachbarter Zylinderschüsse

### 5.3 Ideale Beulspannung

#### 5.3.1 Druckbeanspruchung in Axialrichtung

#### (505) Ersatz-Kreiszylinder mit konstanter Wanddicke

Die idealen Axialbeulspannungen sind für jeden Zylinderschuss an einem gedachten Ersatz-Kreiszylinder mit der Gesamtlänge  $l$  und der konstanten Wanddicke  $t = t_1$  nach Abschnitt 4.2.1 zu ermitteln.

#### (506) Kurze Kreiszylinder

Beim Nachweis als Platte im Sinne von Abschnitt 4.3, Element 422, ist die abgestufte Wanddicke zu berücksichtigen.

#### (507) Lange Kreiszylinder

In Gleichung (30) ist stets der Beiwert  $\gamma = 1$  einzusetzen.

#### (508) Knicken von langen Kreiszylindern

Beim Nachweis als Stab nach Abschnitt 4.2.1, Element 409, ist die abgestufte Wanddicke zu berücksichtigen.

#### 5.3.2 Druckbeanspruchung in Umfangsrichtung

#### (509) Dreischüssiger Ersatz-Kreiszylinder

Es ist ein gedachter dreischüssiger Ersatz-Kreiszylinder zu bilden (Bild 19 b). Seine fiktive obere Schuflänge  $l_0$  erstreckt sich bis zum oberen Rand jenes Schusses, dessen Wanddicke die 1,5fache kleinste Wanddicke  $t_1$  überschreitet, maximal bis  $l/2$ . Die beiden anderen fiktiven Schuflängen ergeben sich aus Gleichung (54).

$$l_m = l_0, l_u = l - 2 l_0, \text{ wenn } l_0 \leq \frac{l}{3} \quad (54 \text{ a})$$

$$l_m = l_u = 0,5 (l - l_0), \text{ wenn } \frac{l}{3} < l_0 \leq \frac{l}{2} \quad (54 \text{ b})$$

Die fiktiven Wanddicken  $t_0$ ,  $t_m$ ,  $t_u$  werden durch Mittelung über die fiktiven Schuflängen bestimmt.

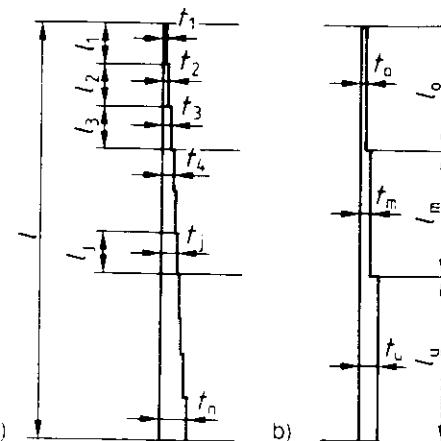


Bild 19. Kreiszylinder mit abgestufter Wanddicke (a) und dreischüssiger Ersatz-Kreiszylinder (b)

## DIN 18 800 Teil 4

Anmerkung: Beispielsweise ergibt sich für den Kreiszylinder nach Bild 19 a mit  $t_4 > 1,5$   $t_1 > t_3$ :

$$l_0 = l_1 + l_2 + l_3$$

$$t_0 = (t_1 \cdot l_1 + t_2 \cdot l_2 + t_3 \cdot l_3) / l_0$$

## (510) Mittellange und kurze Kreiszylinder

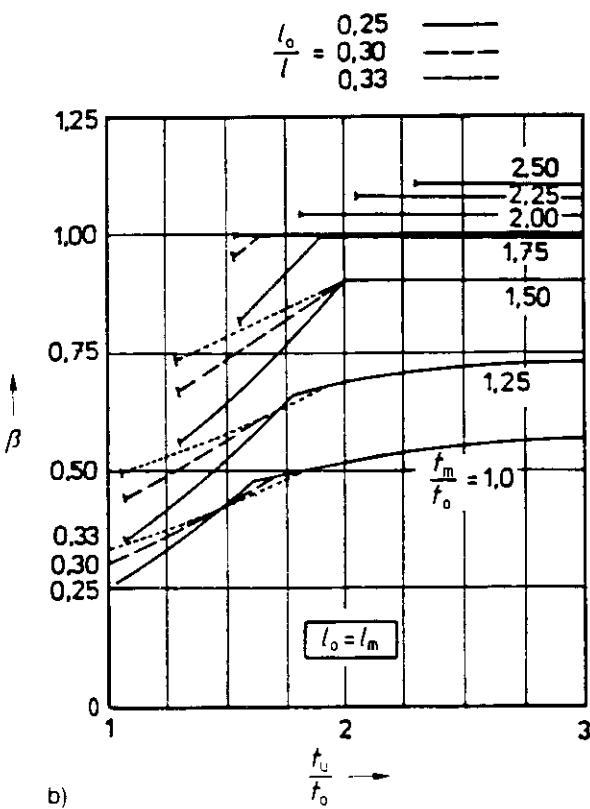
Für mittellange und kurze Kreiszylinder mit abgestufter Wanddicke nach Bedingung (55) ist die ideale Umfangsbeulspannung für jeden Schuß mit Gleichung (56) zu bestimmen.

$$\frac{l_0/\beta}{r} \leq 1,63 \sqrt{\frac{r}{t_0}} \quad (55)$$

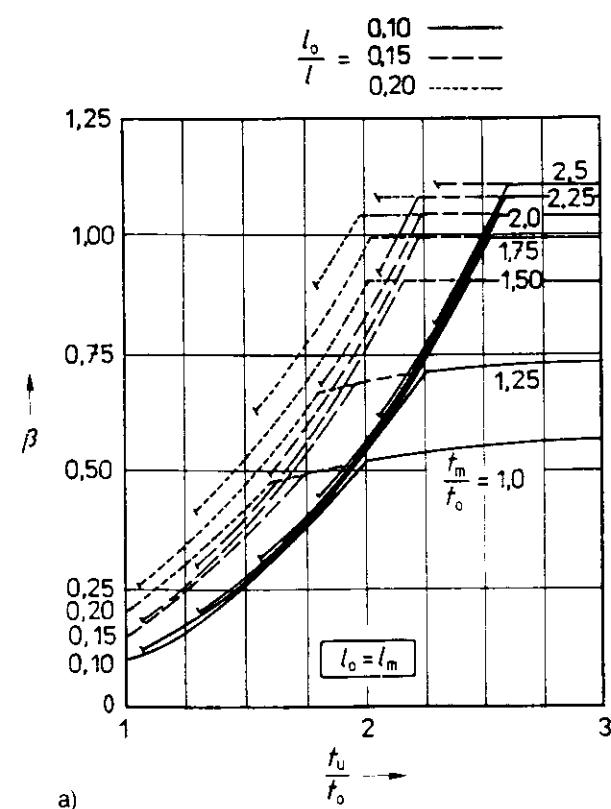
$$\sigma_{\varphi Si} = \frac{t_0}{t_1} \cdot 0,92 \cdot E \cdot \frac{r}{l_0/\beta} \left( \frac{t_0}{r} \right)^{1,5} \quad (56)$$

Der Beiwert  $\beta$  ist mit Bild 20 aus den fiktiven Abmessungen des dreischüssigen Ersatz-Kreiszylinders zu bestimmen.

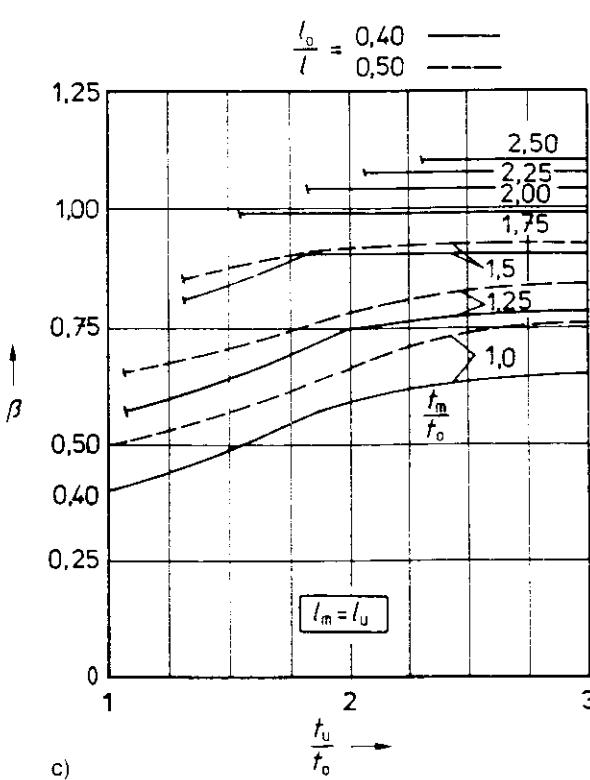
Anmerkung: Gleichung (56) beschreibt den Umfangsdruckspannungszustand im Kreiszylinder mit abgestufter Wanddicke unter seinem idealen konstanten Mantelbeuldruck  $q_{Ki}$ . Letzterer wurde auf der Basis der klassischen linearen Beultheorie für den dreischüssigen Ersatz-Kreiszylinder ermittelt und kann gedeutet werden als idealer Mantelbeuldruck eines gedachten Kreiszylinders konstanter Wanddicke mit der rechnerischen Länge  $l^* = l_0/\beta$ , der rechnerischen Wanddicke  $t^* = t_0$  und gelenkiger Randlagerung.



b)



a)



c)

Bild 20. Beiwert  $\beta$  zur Ermittlung der idealen Umfangsbeulspannung eines abgestuften Kreiszylinders

**(511) Lange Kreiszylinder**

Für lange Kreiszylinder mit abgestufter Wanddicke nach Bedingung (57) ist die ideale Umfangsbeulspannung für jeden Schuß mit Gleichung (58) zu bestimmen.

$$\frac{l_0/\beta}{r} > 1,63 \sqrt{\frac{r}{t_0}} \quad (57)$$

$$\sigma_{\varphi Si} = \frac{t_0}{t_j} E \left( \frac{t_0}{r} \right)^2 \left[ 0,275 + 2,03 \left( \frac{1}{\frac{l_0}{r} \sqrt{\frac{t_0}{r}}} \right)^4 \right] \quad (58)$$

**(512) Lange Einzelschüsse**

Für lange Einzelschüsse nach Bedingung (59) ist zusätzlich  $\sigma_{\varphi Si}$  nach Gleichung (60) zu bestimmen.

$$\frac{l_0}{r} > 1,63 \sqrt{\frac{r}{t_j}} \quad (59)$$

$$\sigma_{\varphi Si} = E \left( \frac{t_j}{r} \right)^2 \left[ 0,275 + 2,03 \left( \frac{1}{\frac{l_0}{r} \sqrt{\frac{t_j}{r}}} \right)^4 \right] \quad (60)$$

**5.4 Reale Beulspannung****(513) Regelfälle**

Die realen Beulspannungen sind entsprechend Abschnitt 4.3 zu bestimmen.

**(514) Überlappte Kreiszylinderschalen unter Druckbeanspruchung in Axialrichtung**

Für Kreiszylinderschalen, die aus geringfügig konischen Einzelschüssen unter Einhaltung der Bedingung (61) überlappt zusammengeschweißt oder -geschraubt werden, darf der Beulsicherheitsnachweis für Druckbeanspruchung in Axialrichtung mit red  $\kappa_2$  nach Gleichung (62) geführt werden.

$$\min t / \max t \geq 0,833 \quad (61)$$

$$\text{red } \kappa_2 = \kappa_2 (1 - \bar{\lambda}_{Sx}/3) \min t / \max t \quad (62 \text{ a})$$

für  $\bar{\lambda}_{Sx} < 1,5$

$$\text{red } \kappa_2 = \kappa_2 \cdot 0,5 \cdot \min t / \max t \quad (62 \text{ b})$$

für  $\bar{\lambda}_{Sx} \geq 1,5$

Sind infolge eines inneren Manteldruckes  $q$ , Umfangszugspannungen vorhanden, so darf unter Einhaltung der Regelungen in Abschnitt 4.5.2 in Gleichung (62)  $\kappa_{2q}$  statt  $\kappa_2$  eingesetzt werden.

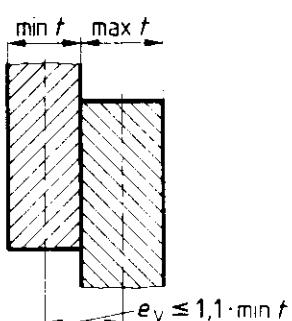


Bild 21. Überlappte Kreiszylinderschalen

Anmerkung: Eine Überlappung stellt zwar auch bei Einhaltung von Bedingung (61) einen großen planmäßigen Versatz mit  $e_V = 1,0 \min t$  bis  $1,1 \min t$  dar und überschreitet damit die Summe aus zulässigem planmäßigen Versatzmaß zul  $e_V$  für Druck in

Axialrichtung nach Tabelle 4 und doppeltem Exzentrizitäts-Toleranzwert nach Abschnitt 3, Element 304. Jedoch wird die beulfördernde Störung des Spannungszustandes durch die beulversteifende Wirkung der Überlappung soweit kompensiert, daß das Beulverhalten nicht schlechter ist, als das eines Kreiszylinders mit konstanter Wanddicke bei doppelter Überschreitung des Exzentrizitäts-Toleranzwertes im Sinne von Abschnitt 3, Element 305.

**5.5 Spannungen infolge Einwirkungen****(515) Maßgebende Membranspannung in Axialrichtung**

Für Druckbeanspruchung in Axialrichtung ist der Beulsicherheitsnachweis nach Abschnitt 2, Element 207, für jeden Schuß mit seinem Größtwert der Membranspannung  $\sigma_x$  zu führen.

**(516) Maßgebende Membranspannung in Umfangsrichtung**

Für Druckbeanspruchung in Umfangsrichtung ist der Beulsicherheitsnachweis nach Abschnitt 2, Element 207, für jeden Schuß mit seiner Membranspannung  $\sigma_q^*$  nach Gleichung (63) zu führen.

$$\sigma_q^* = \frac{1}{t} \cdot \max [t_i \cdot \sigma_{\varphi i}] \quad (63)$$

Hierin bedeuten:

$\max [t_i \cdot \sigma_{\varphi i}]$  Größtes im gesamten Zylinder vorhandene Produkt aus Umfangsdruckspannung und Wanddicke

$t$  Wanddicke im betrachteten Schuß

Anmerkung: Gleichung (63) bedeutet bei in Axialrichtung veränderlicher Umfangsdruckkraft  $n_{\varphi i} = t_i \cdot \sigma_{\varphi i}$ , daß der Nachweis für einen gedachten einhüllenden konstanten Manteldruck  $q^* = \max n_{\varphi i} / r$  (siehe Bild 22) geführt wird. Dieses Vorgehen liegt um so mehr auf der sicheren Seite, je veränderlicher die Umfangsdruckkraft ist, insbesondere, wenn ihr Größtwert im dickeren Bereich des Zylinders auftritt. Es sei in diesem Zusammenhang auf Abschnitt 2, Element 201, 2. Absatz, hingewiesen.

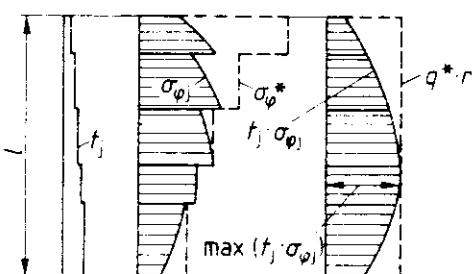


Bild 22. Einhüllender konstanter Manteldruck bei Kreiszylindern mit abgestufter Wanddicke unter Druckbeanspruchung in Umfangsrichtung

**(517) Ersatzwindbelastung für die Ermittlung der Umfangsdruckspannung**

Abschnitt 4.4, Element 424, gilt sinngemäß, wenn in Gleichung (46) anstelle von  $\delta$  nach Gleichung (47)  $\delta^*$  nach Gleichung (64) eingesetzt wird.

$$\delta^* = 0,46 (1 + 0,037 m_B) \quad (64)$$

## DIN 18 800 Teil 4

Hierin ist  $m_B$  nach Gleichung (65) zu bestimmen:

Für  $\frac{t_u}{t_0} \leq 0,4 \left( \frac{t_m}{t_0} + \frac{0,2}{l_0/l} + 2 \right)$ :

$$m_B = 2,74 \sqrt{\frac{r}{l}} \sqrt{\frac{r}{t_m^*}} \quad (65 \text{ a})$$

mit  $t_m^* = (t_0 \cdot l_0 + t_m \cdot l_m + t_u \cdot l_u) / l$

Für  $\frac{t_u}{t_0} > 0,4 \left( \frac{t_m}{t_0} + \frac{0,2}{l_0/l} + 2 \right)$ :

$$m_B = 2,74 \cdot \beta \left( 0,92 + \frac{0,38}{(t_m/t_0)^6} \right) \sqrt{\frac{r}{l_0}} \sqrt{\frac{r}{t_0}} \quad (65 \text{ b})$$

mit  $\beta$  nach Bild 20.

Anmerkung: Der Wert  $m_B$  gibt näherungsweise die Umfangsbeulwellenzahl der Kreiszylinder mit abgestufter Wanddicke unter konstantem Manteldruck an.

#### (518) Manteldruck bei sehr kurzen Kreiszylindern

Abschnitt 4.4, Element 425, gilt hier nicht.

### 5.6 Kombinierte Beanspruchung

#### 5.6.1 Druck in Axialrichtung und Druck in Umfangsrichtung

#### (519) Interaktionsbedingung

Bei gleichzeitiger Wirkung von Axialdruckspannungen  $\sigma_x$  und Umfangsdruckspannungen  $\sigma_\varphi$  ist außer den Einzelnachweisen nach Abschnitt 2, Element 207, bzw. Abschnitt 5.5, Elemente 515 und 516, für jeden Schuß ein Nachweis nach der Interaktionsbedingung (50) zu führen

#### (520) Zu kombinierende Membranspannungen

In die Interaktionsbedingung (50) sind für jeden Schuß sein Größtwert der Membranspannung  $\sigma_x$  und sein Wert der Membranspannung  $\sigma_\varphi^*$  einzusetzen.

Treten Größtwerte  $\sigma_x$  oder das für die Ermittlung von  $\sigma_\varphi^*$  nach Gleichung (63) maßgebende größte Produkt  $\max[t_1 \cdot \sigma_{\varphi 1}]$  innerhalb eines der beiden randnahen Bereiche der Längen  $l_{R1}$  nach Gleichung (66) und  $l_{Rn}$  nach Gleichung (67) auf, so dürfen an ihrer Stelle in die Interaktionsbedingung (50) als maßgebende Membranspannungen die in der verbleibenden freien Länge ( $l - l_{R1} - l_{Rn}$ ) sinngemäß ermittelten Spannungswerte  $\sigma_x$  und  $\sigma_\varphi^*$  eingesetzt werden.

**Randnäher Bereich am Rand mit der kleinsten Wanddicke:**

$$l_{R1} = 0,10 l_0 / \beta \quad (66 \text{ a})$$

je doch

$$l_{R1} \leq 0,16 r \sqrt{r/t_0} \quad (66 \text{ b})$$

**Randnäher Bereich am Rand mit der größten Wanddicke:**

$$l_{Rn} = 0,10 l \quad (67 \text{ a})$$

je doch

$$l_{Rn} \leq 0,16 r \sqrt{r/t_n} \quad (67 \text{ b})$$

Anmerkung: Es gelten sinngemäß die Anmerkungen zu Abschnitt 4.5.1, Element 427. Eine zusätzliche Erleichterung für die zu kombinierenden Membranspannungen bei langen Kreiszylindern mit abgestufter Wanddicke ähnlich Gleichung (52) lässt sich wegen der Vielfalt der möglichen Schuß-Kombinationen hier nicht angeben.

#### 5.6.2 Druck in Axialrichtung und Zug in Umfangsrichtung aus innerem Manteldruck

(521) Abschnitt 4.5.2 gilt sinngemäß.

### 6 Kegelschalen mit konstanter Wanddicke

#### 6.1 Formelzeichen, Randbedingungen

##### (601) Geometrische Größen

$h$	Kegelhöhe
$l$	Kegelmantellänge
$r = r(x)$ , $r_1$ , $r_2$	Breitenkreisradien der Kegelmittelfläche
$\vartheta$	halber Öffnungswinkel

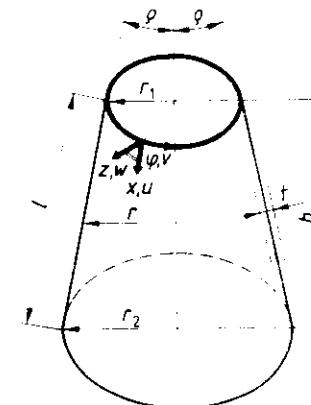


Bild 23. Geometrie und Schnittkräfte der Kegelschale

Anmerkung: Kegelschalen mit abgestufter Wanddicke sind in dieser Norm nicht geregt.

##### (602) Beanspruchungsgrößen, Beulspannungen

###### a) Druckbeanspruchung in Meridianrichtung

$\sigma_x$	Meridiandruckspannung
$\sigma_{x,Si}$	ideale Meridianbeulspannung
$\sigma_{x,S,R,k}$	reale Meridianbeulspannung

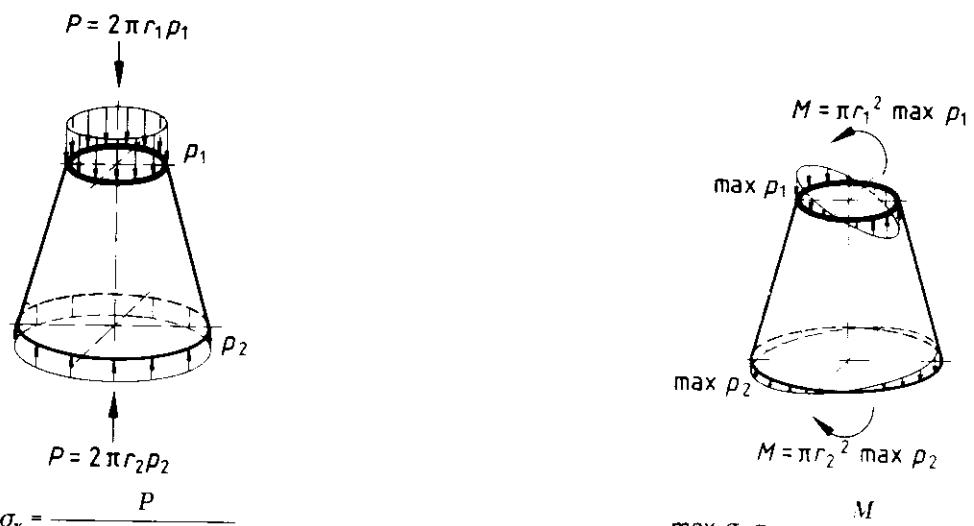
###### b) Druckbeanspruchung in Umfangsrichtung

$\sigma_\varphi$	Umfangsdruckspannung
$\sigma_{\varphi,Si}$	ideale Umfangsbeulspannung
$\sigma_{\varphi,S,R,k}$	reale Umfangsbeulspannung

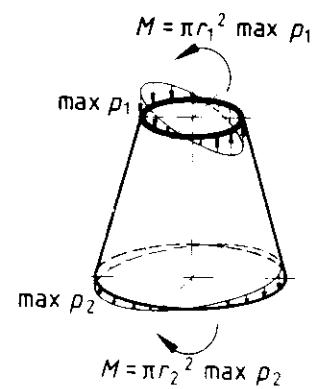
###### c) Schubbeanspruchung

$\tau$	Schubspannung
$\tau_{Si}$	ideale Schubbeulspannung
$\tau_{S,R,k}$	reale Schubbeulspannung

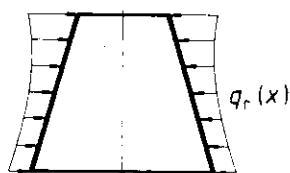
Anmerkung: Beispiele für die verschiedenen Beanspruchungen sind in den Bildern 24 und 25 angegeben.



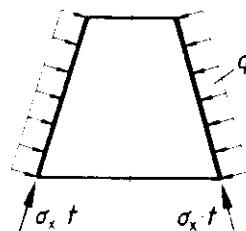
a) Konstante Axiallast



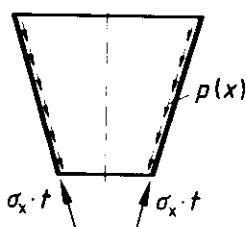
b) In Umfangsrichtung sinusförmig veränderliche Axiallast aus Biegung



c) In Meridianrichtung veränderliche rotationssymmetrische Radiallast



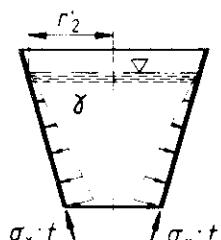
d) Konstanter rotationssymmetrischer Manteldruck (z. B. aus allseitigem Außendruck oder innerem Unterdruck)



$$\sigma_x = \frac{1}{\left(x + \frac{r_1}{\sin \varrho}\right) t} \int p(x) \left(x + \frac{r_1}{\sin \varrho}\right) dx$$

$$\sigma_\varphi = 0$$

e) In Meridianrichtung veränderliche Wandreibungslast (z. B. aus Silobelastung)



$$\sigma_x = \frac{\gamma \cdot r}{t \cdot \sin \varrho} \left\{ \frac{r_2'}{2} \left[ \frac{1}{3} \left( \frac{r_2'}{r} \right)^2 - 1 \right] + \frac{r}{3} \right\}$$

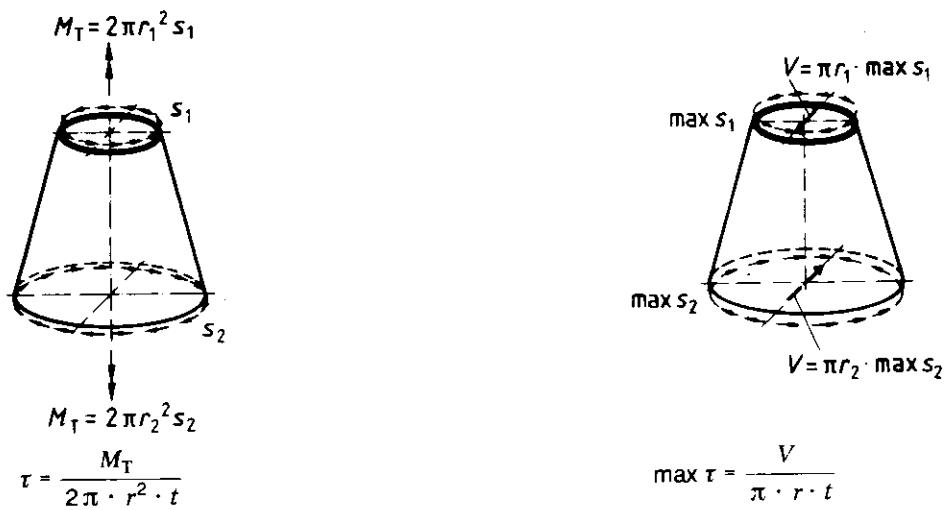
$$\sigma_\varphi = - \frac{\gamma \cdot r}{t \cdot \sin \varrho} (r_2' - r)$$

(Zug)

f) Flüssigkeitsfüllung mit  $\gamma$  = Wichte der Flüssigkeit

Bild 24. Beispiele für Druckbeanspruchung in Meridian- und Umfangsrichtung

## DIN 18 800 Teil 4



- a) In Umfangsrichtung konstante Schubbeanspruchung aus Torsion

- b) In Umfangsrichtung sinusförmig veränderliche Schubbeanspruchung aus Querkraft. (Die aus Gleichgewichtsgründen am Rand in Meridianrichtung angreifende Membrannormalspannung aus Rohrbiegung ist aus Gründen der Übersichtlichkeit nicht eingezeichnet.)

Bild 25. Beispiele für Schubbeanspruchung

## (603) Randbedingungen

Für Kegel werden nur die folgenden Randbedingungen (RB) unterschieden:

RB 1: radial unverschieblicher, axial unverschieblicher (wölbbehinderter), bei kurzen Schalen zusätzlich eingespannter Rand

RB 2: radial unverschieblicher, axial verschieblicher (wölbfreier), gelenkiger Rand

Anmerkung 1: Kegelschalen mit freiem Rand sind in dieser Norm nicht geregelt. Im übrigen gelten die Anmerkungen für Kreiszylinderschalen (zu Abschnitt 4.1, Element 403) hier sinngemäß.

Anmerkung 2: Kegelschalen, die am kleineren Rand aufgelagert sind (siehe z. B. Bild 24 e und f), sind hinsichtlich ihrer Druckbeanspruchung in Meridianrichtung empfindlich gegen Lastexzentritäten.

## 6.2 Ideale Beulspannung

## 6.2.1 Ersatz-Kreiszylinder

(604) Die idealen Beulspannungen für Kegelschalen mit  $\varrho \leq 60^\circ$  sind wie für gedachte Ersatz-Kreiszylinder mit der rechnerischen Länge  $l^*$  und dem rechnerischen Radius  $r^*$  ihrer Mittelfläche zu bestimmen. Die Längen  $l^*$  und Radien  $r^*$  sind von der Beanspruchungsart abhängig.

Anmerkung: Für Kegel mit  $\varrho > 60^\circ$  wird der Gültigkeitsbereich der nachfolgenden Näherungsformeln für die idealen Beulspannungen verlassen. Mit der Einführung rechnerischer Längen  $l^*$  und rechnerischer Radien  $r^*$  für Kegelschalen wird erreicht, daß der Beulsicherheitsnachweis für Kegelschalen formal wie für Kreiszylinderschalen geführt werden kann. Das bedeutet, daß in den Regelungen des Abschnittes 4 jeweils  $l^*$  an die Stelle von  $l$  und  $r^*$  an die Stelle von  $r$  tritt. Die in den Elementen 605, 608 und 610 angegebenen Gleichungen für  $l^*$  und  $r^*$  wurden aus der linearen Beultheorie der Kegelschale hergeleitet.

## 6.2.2 Druckbeanspruchung in Meridianrichtung

(605) Rechnerische Maße  $l^*$  und  $r^*$ 

Bei Druckbeanspruchung in Meridianrichtung beträgt die rechnerische Länge

$$l^* = l \quad (68)$$

und der rechnerische Radius

$$r^* = \frac{r}{\cos \varrho} \quad (69)$$

Anmerkung:  $r^*$  nach Gleichung (69) wird in die Gleichungen (25) bis (30) an Stelle von  $r$  eingesetzt.

## (606) Knicken von langen Kegeln

Für lange Kegel braucht außer dem Beulsicherheitsnachweis nur dann ein Nachweis als Stab nach DIN 18 800 Teil 2 im Sinne von Abschnitt 4.2.1, Element 409, geführt zu werden, wenn Bedingung (70) erfüllt ist.

$$\frac{l^*}{r_1 + r_2} \cdot 2 \cos \varrho > 0,5 \sqrt{\frac{r_1 + r_2}{2 t \cdot \cos \varrho}} \quad (70)$$

## (607) Sehr lange Kegel

Abschnitt 4.2.1, Element 410, darf für sehr lange Kegel nicht angewendet werden.

## 6.2.3 Druckbeanspruchung in Umfangsrichtung

(608) Rechnerische Maße  $l^*$  und  $r^*$ 

Bei Druckbeanspruchung in Umfangsrichtung beträgt die rechnerische Länge

$$l^* = l \quad (71 \text{ a})$$

jedoch

$$l^* \leq \frac{r_2}{\sin \varrho} \left( 0,53 + 0,125 \frac{\varrho}{180} \cdot \pi \right) \quad (71 \text{ b})$$

Der rechnerische Radius beträgt

$$r^* = \frac{r_2 - 0,55 l^* \sin \varrho}{\cos \varrho} \quad (72)$$

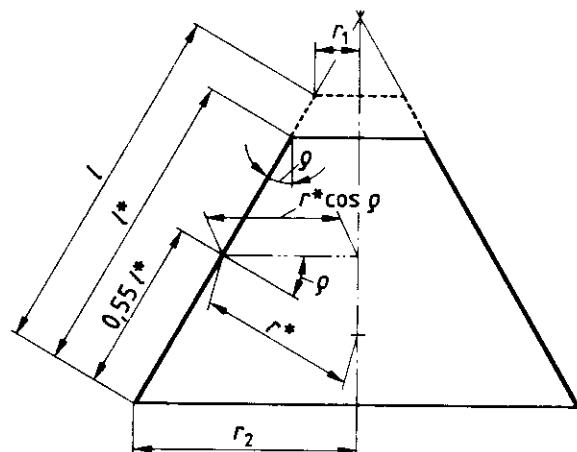


Bild 26. Zur Bestimmung von  $r^*$  bei Druckbeanspruchung in Umfangsrichtung

Anmerkung:  $l^*$  nach Gleichung (71) und  $r^*$  nach Gleichung (72) werden in die Gleichungen (32) bis (36) und in Tabelle 2 an Stelle von  $l$  und  $r$  eingesetzt.

#### (609) Kombination der Randbedingungen

Beim Nachweis nach Abschnitt 4.2.2 dürfen nur die Fälle 1 (RB 1 – RB 1) und 3 (RB 2 – RB 2) der Tabelle 2 angewendet werden.

#### 6.2.4 Schubbeanspruchung

(610) Bei Schubbeanspruchung von Kegelschalen nach Bedingung (75) beträgt die rechnerische Länge

$$l^* = l \quad (73)$$

und der rechnerische Radius

$$r^* = 0,5 (r_1 + r_2) \frac{1}{\cos \varphi} \left[ 1 - \left( \frac{l}{r_2} \sin \varphi \right)^{2,5} \right]^{0,4} \quad (74)$$

$$\frac{l \cdot \sin \varphi}{r_2} \leq 0,8 \quad (75)$$

Anmerkung 1:  $l^*$  nach Gleichung (73) und  $r^*$  nach Gleichung (74) werden in die Gleichungen (37) bis (42) an Stelle von  $l$  und  $r$  eingesetzt.

Anmerkung 2: Für Kegelschalen, die Bedingung (75) nicht erfüllen (z.B. Kegelschalen mit geschlossener Spitze), gilt Gleichung (74) nicht.

#### 6.3 Reale Beulspannung

(611) Die realen Beulspannungen sind nach Abschnitt 4.3 zu bestimmen. Dabei ist die Gültigkeitsgrenze  $r_2/t \leq 2500$ .

Anmerkung: Für Radius-Dicken-Verhältnisse  $r_2/t > 2500$  wird der Erfahrungsbereich hinsichtlich der Abminderungsfaktoren  $\kappa$  verlassen.

#### 6.4 Spannungen infolge Einwirkungen

##### (612) Maßgebende Membranspannung in Meridianrichtung

Für Druckbeanspruchung in Meridianrichtung ist der Beulsicherheitsnachweis nach Abschnitt 2, Element 207 an den maßgebenden Stellen mit dem jeweiligen Größtwert der Membranspannung  $\sigma_x$  zu führen.

**Dabei darf ein gegebenenfalls aus konstantem Manteldruck resultierender Anteil der Meridiandruckspannung unberücksichtigt bleiben.**

Anmerkung 1: Die maßgebenden Membranspannungen sind nach DIN 18 800 Teil 1 und Abschnitt 1.4, Element 113, stets mit den Bemessungswerten der Einwirkungen zu ermitteln.

Anmerkung 2: Bei in Meridianrichtung einsinnig stetig veränderlichen Meridiandruckspannungen (siehe z.B. Bild 24 a) reicht es in der Regel aus, den Nachweis mit  $r_1$  und  $r_2$  an den beiden Rändern zu führen.

Anmerkung 3: Die aus konstantem Manteldruck bei Auflagerung am größeren Rand resultierende Meridiandruckspannung (siehe Bild 24 d) ist bereits in der Herleitung der Gleichung (72) für den rechnerischen Zylinderradius enthalten. Dagegen muß die bei einem geschlossenen Kegel unter allseitigem Außendruck infolge des Deckeldruckes  $qr_1^2 \pi$  entstehende Meridiandruckspannung angesetzt werden.

##### (613) Maßgebende Membranspannung in Umfangsrichtung

Für Druckbeanspruchung in Umfangsrichtung ist der Nachweis mit der Membranspannung  $\sigma_\varphi^*$  nach Gleichung (76) zu führen.

$$\sigma_\varphi^* = r^* \cos \varphi \cdot \max [\sigma_\varphi(x)/r(x)] \quad (76)$$

Hierin bedeuten:

$\max [\sigma_\varphi(x)/r(x)]$  Größter im gesamten Kegel vorhandener Quotient aus Umfangsdruckspannung und Breitenkreisradius

$r^*$  rechnerischer Radius nach Gleichung (72)

Anmerkung:  $\sigma_\varphi^*$  nach Gleichung (76) stellt die Umfangsdruckspannung an der Stelle des rechnerischen Zylinderradius  $r^*$  nach Gleichung (72) dar, welche sich aus einem gedachten, die tatsächliche Umfangsdruckbeanspruchung einhüllenden, konstanten Manteldruck ergibt (Bild 27). Dieses Vorgehen liegt um so mehr auf der sicheren Seite, je stärker die Veränderlichkeit der Umfangsdruckspannung in Meridianrichtung von derjenigen unter konstantem Manteldruck abweicht.

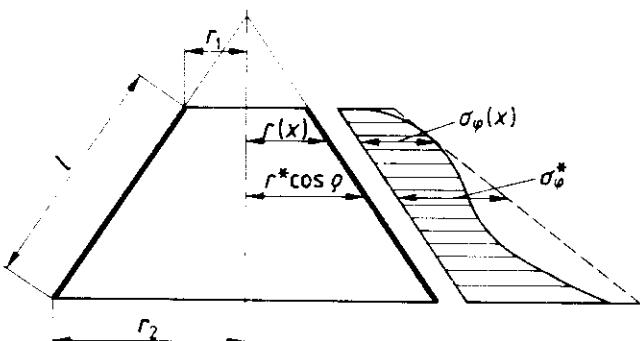


Bild 27. Einhüllender konstanter Manteldruck bei Kegeln unter Druckbeanspruchung in Umfangsrichtung

##### (614) Maßgebende Membranschubspannung

Für Schubbeanspruchung ist der Nachweis mit der Membranspannung  $\tau^*$  nach Gleichung (77) zu führen.

$$\tau^* = \frac{1}{(r^* \cdot \cos \varphi)^2} \max [\tau(x) \cdot r(x)^2] \quad (77)$$

Hierin bedeuten:

$\max [\tau(x) \cdot r(x)^2]$  Größtes im gesamten Kegel vorhandenes Produkt aus Schubspannung und Quadrat des Breitenkreisradius

$r^*$  rechnerischer Radius nach Gleichung (74)

## DIN 18 800 Teil 4

Anmerkung:  $\tau^*$  nach Gleichung (77) stellt die Schubspannung an der Stelle des rechnerischen Zylinderradius  $r^*$  nach Gleichung (74) dar, welche sich aus einem gedachten, die tatsächliche Schubbeanspruchung einhüllenden, konstanten Torsionsmoment ergibt (Bild 28). Dieses Vorgehen liegt um so mehr auf der sicheren Seite, je stärker die Veränderlichkeit der Schubspannung in Meridianrichtung von derjenigen unter konstantem Torsionsmoment abweicht.

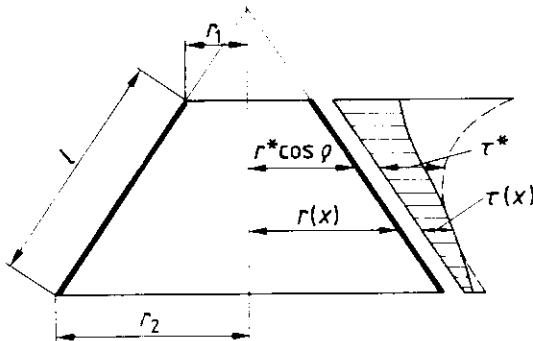


Bild 28. Einhüllendes konstantes Torsionsmoment bei Kegeln unter Schubbeanspruchung

**(615) Ersatz-Windbelastung für die Ermittlung der Umfangsdruckspannung**

Für Kegelschalen mit  $\varrho \leq 10^\circ$  gilt Abschnitt 4.4, Element 424, sinngemäß mit  $l^*$  und  $r^*$  nach Gleichung (71) und (72) anstelle von  $l$  und  $r$ .

Anmerkung: Für Kegelschalen mit  $\varrho > 10^\circ$  ist die Windbelastung komplexer, so daß für den Beulsicherheitsnachweis keine vereinfachte rotationssymmetrische Ersatz-Windbelastung angegeben werden kann.

**6.5 Kombinierte Beanspruchung**

**6.5.1 Druck in Meridianrichtung, Druck in Umfangsrichtung und Schub**

**(616) Interaktionsbedingung**

Bei gleichzeitiger Wirkung von Meridiandruckspannungen  $\sigma_x$ , Umfangsdruckspannungen  $\sigma_\varphi$  und Schubspannungen  $\tau$  ist außer den Einelnachweisen nach Abschnitt 2, Element 207, bzw. Abschnitt 6.4, Elemente 612 bis 614, ein Nachweis nach der Interaktionsbedingung (50) zu führen.

**(617) Zu kombinierende Membranspannungen**

In die Interaktionsbedingung (50) sind der Größtwert des Membranspannungsquotienten  $\sigma_x/\sigma_{xS,R,d}$  sowie die Membranspannungen  $\sigma_\varphi^*$  und  $\tau^*$  einzusetzen.

Treten Größtwerte  $\sigma_x^*/\sigma_{xS,R,d}$  oder die für die Ermittlung von  $\sigma_\varphi^*$  und  $\tau^*$  nach Gleichung (76) und (77) maßgebenden größten Kenngrößen  $\max[\sigma_\varphi(x)/r(x)]$  und  $\max[\tau(x) \cdot r(x)^2]$  innerhalb eines der beiden randnahen Bereiche der Längen  $l_{R1}$  nach Gleichung (78) und  $l_{R2}$  nach Gleichung (79) auf, so dürfen an ihrer Stelle in die Interaktionsbedingung (50) als maßgebende Membranspannungen die in der verbleibenden freien Länge  $(l - l_{R1} - l_{R2})$  sinngemäß ermittelten Spannungswerte  $\sigma_x/\sigma_{xS,R,d}$ ,  $\sigma_\varphi^*$  und  $\tau^*$  eingesetzt werden.

Randnäher Bereich am kleineren Rand:

$$l_{R1} = 0,10 l \quad (78a)$$

jedoch

$$l_{R1} \leq 0,16 C_\varphi r^* \sqrt{r^*/t} \quad (78b)$$

Randnäher Bereich am größeren Rand:

$$l_{R2} = 0,10 l^* \quad (79a)$$

jedoch

$$l_{R2} \leq 0,16 C_\varphi r^* \sqrt{r^*/t} \quad (79b)$$

mit  $l^*$  und  $r^*$  nach Gleichung (71) und (72)

Anmerkung 1: Es gelten sinngemäß die Anmerkungen zu Abschnitt 4.5.1, Element 427. Eine zusätzliche Erleichterung für die zu kombinierenden Membranspannungen bei langen Kegeln ähnlich Gleichung (52) läßt sich wegen der Vielfalt der möglichen Parameterkombinationen hier nicht angeben.

Anmerkung 2: Es wird auf den bei Schalen neben dem Beulsicherheitsnachweis nach dieser Norm stets parallel zu führenden Vergleichsspannungsnachweis hingewiesen (vergleiche Abschnitt 1.4, Element 113). Dieser ist bei Kegelschalen wegen der in Meridianrichtung komplexeren Spannungsverläufe besonders wichtig.

**6.5.2 Druck in Meridianrichtung und Zug in Umfangsrichtung aus innerem Manteldruck**

(618) Abschnitt 4.5.2 gilt sinngemäß, jedoch nicht für Kegelschalen mit  $r_1/r_2 < 0,2$ , die am kleineren Rand aufgelagert sind.

Anmerkung: Beispiele hierfür sind die Bilder 24 e und f.

**7 Kugelschalen mit konstanter Wanddicke**

**7.1 Formelzeichen, Randbedingungen**

**(701) Geometrische Größen**

$R$  Radius der Kugelmittelfläche

$r = r(x)$  Breitenkreisradius der Kugelmittelfläche

$\alpha$  Winkelkoordinate in der Meridianebebene

$r_0$  Grundkreisradius der Kugelkalotte

$\alpha_0$  halber Öffnungswinkel der Kugelkalotte

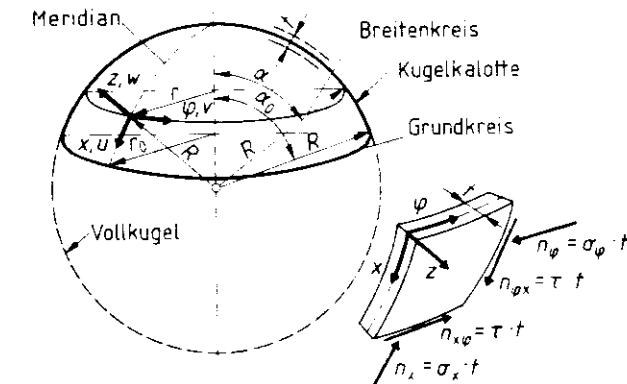


Bild 29. Geometrie und Schnittkräfte der Kugelschale

Anmerkung: Kugelschalen mit abgestufter Wanddicke sind in dieser Norm nicht geregelt.

**(702) Beanspruchungsgrößen, Beulspannungen**

a) Druckbeanspruchung in Meridianrichtung

$\sigma_x$  Meridiandruckspannung

$\sigma_{xSi}$  ideale Meridianbeulspannung

$\sigma_{xS,R,k}$  reale Meridianbeulspannung

b) Druckbeanspruchung in Umfangsrichtung

$\sigma_\varphi$  Umfangsdruckspannung

$\sigma_{\varphi Si}$  ideale Umfangsbeulspannung

$\sigma_{\varphi S,R,k}$  reale Umfangsbeulspannung

Anmerkung: Beispiele für die verschiedenen Beanspruchungen enthält Bild 30.

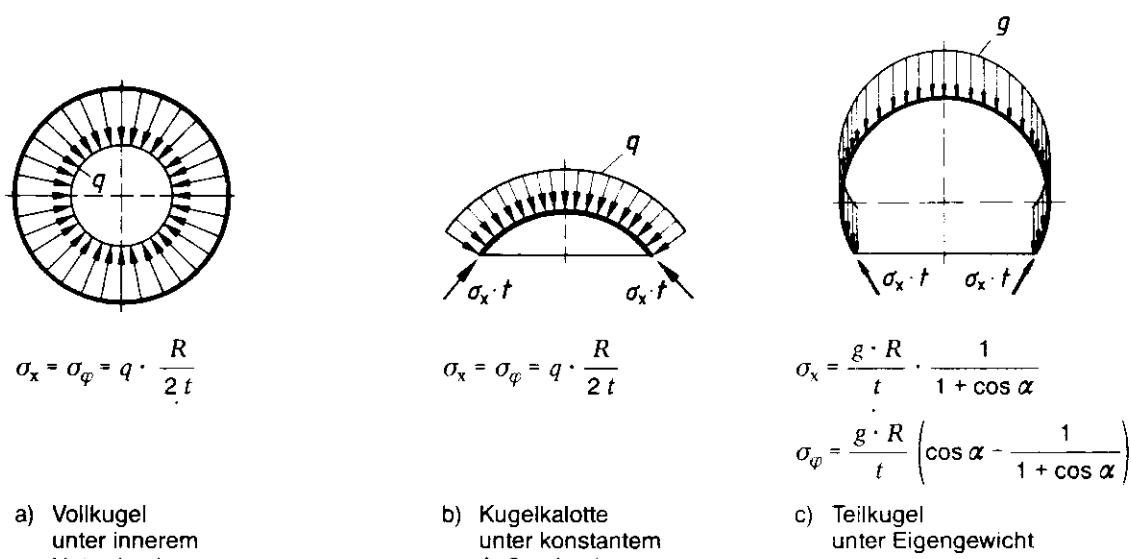


Bild 30. Beispiele für Druckbeanspruchung in Kugelschalen

### (703) Randbedingungen

Es werden die folgenden Randbedingungen (RB) unterschieden:

- RB 1: Vollkugel, nicht oder ringförmig tangential gelagert (Membranlagerung)
- RB 2: Kugelkalotte, eingespannt unverschieblicher Rand
- RB 3: Kugelkalotte, gelenkig unverschieblicher Rand
- RB 4: Kugelkalotte, normal zur Kugelmittelfläche radial verschieblicher Rand (Membranlagerung)
- RB 5: Kugelkalotte, in Grundkreisebene radial verschieblicher Rand

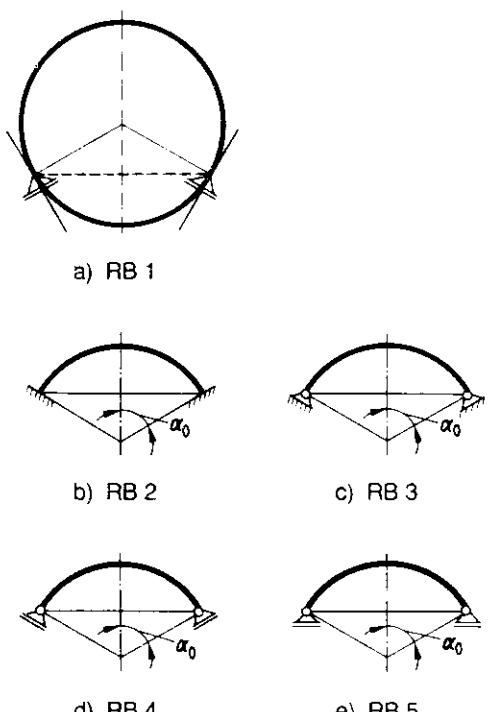


Bild 31. Erfasste Randbedingungen

### 7.2 Ideale Beulspannung

#### (704) Kein Nachweis erforderlich

Für Kugelschalen nach Bedingung (80) und Kugelkalotten nach Bedingung (81) braucht kein Beulsicherheitsnachweis geführt zu werden.

$$\frac{R}{t} \leq \frac{E}{25 f_{y,k}} C_K \quad (80)$$

mit  $C_K$  nach Tabelle 5

$$\frac{r_0}{R} \leq \frac{1,1}{\sqrt{R/t}} \quad (81)$$

### (705) Ideale Beulspannung

Die ideale Beulspannung ist mit Gleichung (82) bzw. (83) zu bestimmen, wobei der Beiwert  $C_K$  in Abhängigkeit von den Randbedingungen Tabelle 5 zu entnehmen ist.

$$\sigma_{x,si} = 0,605 C_K \cdot E \frac{t}{R} \quad (82)$$

$$\sigma_{\varphi,si} = 0,605 C_K \cdot E \frac{t}{R} \quad (83)$$

Tabelle 5. Beiwerte  $C_K$ 

RB	1	2	3	4	5
$C_K$	1,0	0,8	0,7	0,4	0,2
Gültigkeitsbereich	—	$\alpha_0 \leq 135^\circ$			

Anmerkung: Gleichung (82) bzw. (83) entspricht mit  $C_K = 1,0$  dem auf der Basis der klassischen linearen Beultheorie ermittelten idealen Beuldruck  $q_{si}$  einer Vollkugel unter konstantem Außendruck („Zoelly-Formel“). Der Beiwert  $C_K$  erfaßt den durch die Biegestörungen bzw. Verschieblichkeiten an den Rändern von Kugelkalotten verursachten Abfall des idealen Beuldruckes. Dieser ist bei einer in Grundkreisebene verschieblich gelagerten Kugelkalotte besonders stark.

### 7.3 Reale Beulspannung

(706) Die reale Beulspannung beträgt für Kugelschalen mit  $R/t \leq 3000$

$$\sigma_{xs,R,k} = \kappa_2 \cdot f_{y,k} \quad (84)$$

$$\sigma_{\varphi s,R,k} = \kappa_2 \cdot f_{y,k} \quad (85)$$

mit  $\kappa_2$  nach Gleichung (8), ermittelt mit  $\bar{\lambda}_{sx}$  nach Gleichung (1) bzw.  $\bar{\lambda}_{s\varphi}$  nach Gleichung (2).

Anmerkung: Bei einem Radius/Dicken-Verhältnis  $R/t > 3000$  wird der Erfahrungsbereich hinsichtlich des Abminde rungsfaktors  $\kappa_2$  verlassen.

### 7.4 Spannungen infolge Einwirkungen

(707) Der Beulsicherheitsnachweis nach Abschnitt 2, Element 207, für konstante oder stetig veränderliche Flächenlasten ist mit den Größtwerten der daraus berechneten Membranspannungen  $\sigma_x$  und  $\sigma_\varphi$  zu führen.

Anmerkung 1: Linien- oder punktförmig konzentrierte Belastungen auf Kugelschalen sind in dieser Norm nicht geregelt.

Anmerkung 2: In der Regel reicht es für den Beulsicherheitsnachweis aus, die Membranspannungen unter Vernachlässigung der tatsächlichen Randbedingungen (siehe Abschnitt 7.1, Element 703) nach der Membrantheorie zu berechnen. Dies gilt jedoch nicht unbedingt auch für den Vergleichsspannungsnachweis.

### 7.5 Kombinierte Beanspruchung

(708) Druck in Meridianrichtung und Druck in Umfangsrichtung

Ein Interaktionsnachweis braucht nicht geführt zu werden.

Anmerkung: Das beulfördernde Zusammenwirken der beiden Druckspannungen ist bereits dadurch in ungünstiger Weise berücksichtigt, daß den Einzelnachweisen die Beulspannungen für konstanten Außendruck mit in beiden Richtungen gleich großen Membranspannungskomponenten zugrunde gelegt werden.

(709) Druck in Meridianrichtung und Zug in Umfangsrichtung

Eine Berücksichtigung der beullasterhöhenden Wirkung von Umfangszugspannungen mit Hilfe des Abminde rungsfaktors  $\kappa_{2q}$  nach Abschnitt 4.5.2, Element 429, ist nicht zulässig.

Anmerkung: Einfache Regeln für die Erfassung der möglichen beullasterhöhenden Wirkung von Umfangszugspannungen lassen sich für Kugelschalen nicht angeben. Auf den parallel zum Beulsicherheitsnachweis nach dieser Norm stets zu führenden Vergleichsspannungsnachweis nach DIN 18 800 Teil 1 wird besonders hingewiesen (vergleiche Abschnitt 1.4, Element 113).

### Zitierte Normen und andere Unterlagen

DIN 18 800 Teil 1	Stahlbauten; Bemessung und Konstruktion
DIN 18 800 Teil 2	Stahlbauten; Stabilitätsfälle, Knicken von Stäben und Stabwerken
DIN 18 800 Teil 3	Stahlbauten; Stabilitätsfälle, Plattenbeulen
DIN 50 049	Bescheinigungen über Materialprüfungen
KTA 3401.2 <sup>1)</sup>	Reaktorsicherheitsbehälter aus Stahl; Teil 2: Auslegung, Konstruktion und Berechnung

### Literatur

[1] ECCS — Techn. Working Group 8.4: Buckling of Steel Shells, European Recommendations, 4th edition (1988)<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> Zu beziehen bei: Carl Heymanns Verlag KG, Gereonstraße 18–32, 5000 Köln 1; Gutenbergstraße 3, 1000 Berlin 10

<sup>2)</sup> Zu beziehen bei: CECM, ECCS, EKS, Avenue des Ombrages 32/36, Bte 20, B-1200 Brüssel (Belgien)

## Erläuterungen

Neben der inhaltlichen Neugestaltung der Normen der Reihe DIN 18 800 wurde auch versucht, ihnen äußerlich ein anderes Erscheinungsbild zu geben und damit zu einer leichteren, einfacheren Handhabung der Norm beizutragen. Damit folgten der NABau-Fachbereich 08 und seine für die Erarbeitung dieser Normen zuständigen Arbeitsausschüsse einem Beschuß des NABau-Beirats aus dem Jahre 1981, eine solche neue Struktur probeweise anzuwenden. Im folgenden wird dieses Konzept erläutert und dem Anwender damit gewissermaßen eine Art „Gebrauchsanweisung“ an die Hand gegeben.

Grundgedanken dieser neuen Struktur sind die — im Rahmen der Normenerstellung eigentlich schon immer erhobenen — Forderungen nach

- Eindeutigkeit, Überschaubarkeit und Transparenz der verschiedenen Aussagen.
- leichter Ansprechbarkeit, Adressierbarkeit und Austauschbarkeit der einzelnen Inhaltsteile.
- einfacher, widerspruchsfreier Fortschreibung der Einzelregelungen.
- einfacher Anwendung.

Um dies zu erreichen, wurde ausgehend von und aufbauend auf dem Anforderungsprofil der Deutschen Bundesbahn für die Erstellung ihrer bautechnischen Regelwerke sowie in Übereinstimmung mit dem nach den Regeln von DIN 820 „Machbarem“ das hiermit nunmehr vorliegende Erscheinungsbild gefunden.

Im Rahmen der üblichen, allgemein bekannten Gliederung in Abschnitte und Unterabschnitte nach dem Dezimalsystem ist darüber hinaus der gesamte Text in überschaubare, (abschnittsweise) durchgehend nummerierte, sogenannte „Elemente“ gegliedert, deren jedes eine in sich geschlossene Aussage enthält und damit auch bei Übernahme in eine andere Norm verständlich bleibt. Zu jedem Element gehört eine Überschrift, welche den wesentlichen Inhalt in Kurzform erkennen läßt.

Die Aussagewertigkeit der Regelungen wird unterschieden nach

- **verbindlichen Regelungen** in Form von Geboten, Verboten, Grundsätzen (Regeln).
- **nicht verbindlichen Regelungen** in Form von Empfehlungen sowie Erlaubnissen unter konkret beschriebenen Bedingungen,
- **Erläuterungen** in Form von Beispielen, Hinweisen, Skizzen und Bildern.

Die eindeutige Formulierung des jeweiligen Verbindlichkeitsgrades jeder Regelung ergibt sich aus der konsequenten Anwendung der modalen Hilfsverben nach DIN 820 Teil 23. Zur Verbesserung der Übersicht wird der Verbindlichkeitsgrad jedoch nicht nur verbal beschrieben, sondern auch durch ein entsprechendes Druckbild optisch unterschieden. Danach sind die „nicht verbindlichen Regelungen“ mit einem Raster unterlegt, und die „Erläuterungen“ stehen eingerückt als Anmerkung unmittelbar hinter dem jeweiligen Element.

## Internationale Patentklassifikation

E 04 B 1/08

E 04 B 1/32

G 01 B 21/00

G 01 L 1/00

G 01 N 3/00

## Anpassungsrichtlinie zu DIN 18 800 - Stahlbauten - Teil 1 bis 4

- Ausgabe November 1990 -

### 1 Berechnungen von Bauwerksteilen nach unterschiedlichem Sicherheitskonzept

An der Schnittstelle zwischen Bauwerksteilen, die nach Teil 1 bis 4/11.90 und solchen, die nach einer noch nicht auf das neue Sicherheitskonzept umgestellten Norm berechnet wurden, sind die Schnitt- und Auflagergrößen auf der Grundlage des jeweils geltenden Sicherheitskonzepts neu zu berechnen.

Vereinfachend darf aber auch wie folgt verfahren werden:

**Fall A:** Übergang von Bauwerksteilen nach „neuem“ Sicherheitskonzept auf Bauwerksteile nach „altem“ Sicherheitskonzept

Unter der Voraussetzung, daß alle Werte  $\gamma_F \cdot \psi \geq 1,35$  eingesetzt wurden, gilt:

Aus Grundkombinationen (Element (710) Teil 1/11.90) berechnete Schnitt- und Auflagergrößen dürfen für die Berechnung und Bemessung von Bauwerksteilen nach „altem“ Sicherheitskonzept durch 1,35 dividiert werden.

Ist das Verhältnis der Schnittgrößen aus den Nennwerten der Einwirkungen zu den Schnittgrößen aus Lastfallkombination mit  $\gamma_F$ -fachen bzw.  $\gamma_F \cdot \psi$ -fachen Einwirkungen (Elemente (710) bis (714) Teil 1/11.90) unter Berücksichtigung ansetzbarer Imperfektionen (Elemente (729) bis (732) Teil 1/11.90) abschätzbar, so darf nach diesem Verhältnis umgerechnet werden.

**Fall B:** Übergang von Bauwerksteilen nach „altem“ Sicherheitskonzept auf Bauwerksteile nach „neuem“ Sicherheitskonzept

Nach „altem“ Sicherheitskonzept berechnete Schnitt- und Auflagergrößen dürfen für die Berechnung und Bemessung von Stahlbauteilen nach „neuem“ Sicherheitskonzept für die Grundkombination mit den 1,5fachen Werten berücksichtigt werden. Dort, wo geometrische Imperfektionen zu einer nicht vernachlässigbaren Vergrößerung der Beanspruchung führen (Elemente (729) bis (732) Teil 1/11.90), sind sie durch entsprechende Zuschläge zu berücksichtigen.

Ist das Verhältnis von Schnittgrößen aus Lastfallkombinationen mit  $\gamma_F$ -fachen bzw.  $\gamma_F \cdot \psi$ -fachen Einwirkungen (Elemente

(710) bis (714) Teil 1/11.90) unter Berücksichtigung ansetzbarer Imperfektionen (Elemente (729) bis (732) Teil 1/11.90) zu Schnittgrößen aus den Nennwerten der Einwirkungen abschätzbar, so darf nach diesem Verhältnis umgerechnet werden.

### 2 Beanspruchungen nach der Plastizitätstheorie

Regelungen, die sich auf die Ermittlung der Beanspruchungen nach der Plastizitätstheorie beziehen (Nachweisverfahren 3 nach Teil 1, Tabelle 11 bzw. Teil 2, Tabelle 1), betreffen die speziellen Plastizitätstheorien „Fließzonentheorie“ und „Fließgelenktheorie“, siehe DIN 18 800 Teil 1, Element (758).

## 3 Festlegungen zu einzelnen Elementen und Tabellen:

## 3.1 Teil 1/11.90

Element	Regelungsinhalt	Festlegungen
(305)	Teilsicherheitsbeiwerte	<p>Für die Regelfälle sind <math>\gamma_F</math> und <math>\gamma_M</math> in dieser Norm festgelegt (Elemente (710) bis (725))</p> <p>Der Hinweis auf die Literaturstelle [1] betrifft nur Sonderfälle für nicht geregelte Einwirkungen – z. B. Schüttgüter, die in DIN 1055 nicht genannt sind – und Widerstandsrößen, die durch Auswertung von Meßreihen ermittelt werden müssen, weil eine Herleitung aus genormten Festigkeitswerten nicht möglich ist.</p>
(401) – (404) in Verbindung mit Anhang A 1 A 3	Stahlsorten, Stahlauswahl, Bescheinigungen	<p>Wird anstelle von DIN 17 100/01.80 Stahl nach DIN EN 10 025/01.91 verwendet, so gilt folgendes:</p> <p>Tabelle 1 des Anhangs enthält die Umschlüsselung der Stahlsorten entsprechend Tabellen 2 bis 5 in DIN EN 10 025.</p> <p>Der zulässige CEV-Höchstwert (s. Abschnitt 7.3.3.2 in DIN EN 10 025) für Fe 510 (St 52-3) beträgt 0,43 %, für Fe 360 (St 37) – sofern gefordert – 0,40 %.</p> <p>Bei der Wahl der Stahlgütegruppen ist die DAST-Ri 009/04.73 zu beachten. Dabei ist anstelle der Tafel 2 der DAST-Ri 009 die Tabelle 2 im Anhang dieser Anpassungsrichtlinie zu verwenden.</p> <p>Die Prüfung und Bekanntgabe der Schmelzenanalyse gilt für alle Gütegruppen.</p> <p>Für Werkstoffe geschweißter Konstruktionen ist der Lieferzustand im Werkstoffnachweis anzugeben.</p> <p>Thermomechanisch behandelte Stähle dürfen keiner Wärmebehandlung unterzogen werden; evtl. Festigkeitseinbußen durch Flammrichten sind zu berücksichtigen.</p> <p>Die Kennzeichnung hat beim Hersteller des Erzeugnisses zu erfolgen.</p> <p>Bei einer Werkstofftrennung muß eine sachgerechte Umstempelung vorgenommen werden.</p>
(412)	Bescheinigung für Schrauben	Die „Durf-Bestimmung“ (grau angelegt) gilt nur beim Nachweisverfahren 1 nach Tabelle 11.
(415)	Drähte von Seilen	Sofern die zur Anwendung vorgesehene Legierung nach DIN 17 440/07.85 nicht Bestandteil einer allgemeinen bauaufsichtlichen/baurechtlichen Zulassung ist, bedarf die Verwendung im Einzelfall der Zustimmung seitens der obersten Bauaufsichtsbehörden.
(507)	Schrauben, Muttern und Unterlegscheiben	In diesem Element sind nur Abmessungsnormen für Schrauben der Festigkeitsklassen 4.6, 5.6 und 10.9 aufgeführt. Für die nach Element (406) außerdem zulässigen Schrauben der Festigkeitsklasse 8.8 dürfen auch die Abmessungsnormen DIN 931 und DIN 933 verwendet werden (s. Festlegung zu Element (812)).
(601), (708)	charakteristische Werte der Einwirkungen	Es gelten die Werte der Normen über Lastannahmen DIN 1055 Teile 1 bis 6.
(706), (711)	Baugrubenbewegungen als Einwirkung	Einwirkungen aus wahrscheinlichen Baugrubenbewegungen, die Beanspruchungen verringern, dürfen bei der Berechnung nicht berücksichtigt werden.
(718)	charakteristische Werte der Festigkeiten	Sind weder in Abschnitt 4 noch in Fachnormen charakteristische Werte für die Festigkeiten (z. B. bei großen Blechdicken, bei Temperaturen > 100 °C usw.) angegeben, so sind diese durch Auswertung von repräsentativen Stichproben, durchgeführt von einer dafür geeigneten Stelle, als 5 %-Fraktile bei 75 % Aussagewahrscheinlichkeit zu ermitteln. Sofern in Stoffnormen Kennwerte ( $R_{eH}$ , $R_m$ ) festgelegt und durch ein Abnahmeprüfzeugnis A nach DIN 50 049/08.86 bescheinigt werden, dürfen sie als charakteristische Werte genommen werden.

Element	Regelungs- inhalt	Festlegungen
(744)	Krafteinleitung in Walzprofile	Sofern ein Beulsicherheitsnachweis erforderlich ist, so ist dieser nach DIN 18 800 Teil 3 Element (504) zu führen. Auf die richtige Achsbezeichnung des Koordinatensystems ist dabei zu achten.
(764), (767)	Nachweis der Gleitsicherheit	Die Grenzgleitkraft $V_{R,d}$ ist wie folgt zu ermitteln: $V_{R,d} = \frac{\mu_d N_{z,d}}{1,5} + V_{a,R,d}$ <p><math>\mu_d</math> ist der Bemessungswert für die Reibungszahl in der untersuchten Fuge  - für Stahl/Stahl 0,20  - für Stahl/Beton 0,50</p> <p>Weitere Voraussetzungen bzw. Einschränkungen hinsichtlich der Oberflächenqualität siehe DIN 4141 Teil 1/09.84, Abschnitt 6.</p>
(804)	Abscheren bei Schrauben	Mit diesem (neuen) Nachweis entfällt die Einschränkung in DIN 18 800 Teil 7/05.83, Abschnitt 3.3.1.3. $\alpha_s = 0,6$ gilt auch für Nietwerkstoffe gem. Tabelle 3 und für Bolzen aus Werkstoffen gem. Tabelle 4. Lieg bei Schrauben der Festigkeitsklasse 10.9 der Gewindeteil des Schafes in der Scherfuge, so ist die Grenzabscherkraft um 20 % abzumindern. Es ist dann mit einem Beiwert $\alpha_s = 0,44$ zu rechnen. Bei einschnittigen ungestützten Verbindungen ist $\gamma_M = 1,25$ anzunehmen.
(812)	Gleitfeste Verbindungen	Die Vorspannkräfte $F_v$ nach Tabelle 1 DIN 18 800 Teil 7/05.83 gelten nur für Schrauben der Festigkeitsklasse 10.9 mit großer Schlüsselweite (DIN 6914 und DIN 7999). Die Vorspannkräfte $F_v$ für Schrauben der Festigkeitsklasse 8.8 in den Abmessungen nach DIN 931 und DIN 933 sind auf 70 % dieser Werte zu ermäßigen.
(834)	Widerstandsabbrenn- stumpfschweißen, Reibschweißen	Bei der Ermittlung der Beanspruchbarkeit gelten die Elemente (724) mit (207) und ggf. (304).

### 3.2 Teil 2/11.90

Element	Regelungs- inhalt	Festlegungen
(308)	Behinderung der seitlichen Verschiebung	Die Aussteifung nach Bild 11 setzt voraus, daß es sich um Mauerwerk nach DIN 1053 handelt.
(309) in Verbindung mit Anmerkung 2 und Tab. 7	Behinderung der Verdrehung	Tabelle 7 ist anzuwenden, wenn kein genauerer Nachweis geführt wird. Voraussetzung ist, daß Stahltrapezprofile nach DIN 18 807 verwendet werden.
(512) in Verbindung mit Tab. 17	Unverschieblichkeit ausgesteifter Rahmen	Bei Mauerwerk nach DIN 1053 ist für den Schubmodul $G$ ein Drittel des nach der Norm anzusetzenden Elastizitätsmoduls $E$ anzunehmen.

## 3.3 Teil 3/11.90

Element	Regelungs- inhalt	Festlegungen
(101)	Tragsicherheitsnachweis	Wenn sich eine plastische Umlagerung beim Beulen einstellen kann (Zugfeldwirkung), darf ein Nachweis nach DAST-Richtlinie 015/07.90 - Träger mit schlanken Stegen - geführt werden.
(903)	Herstellungs- ungenauigkeiten	Richtarbeiten sind z. B. dann nicht erforderlich, wenn nach den Regeln in DAST-Ri 015/07.90 nachgewiesen werden kann, daß die Tragsicherheit vorhanden ist.

## 3.4 Teil 4/11.90

Element	Regelungs- inhalt	Festlegungen
(115)	Ebene Platten als Näherung	Die entsprechenden Nachweise enthält Teil 3/11.90.

## 4 Festlegungen zu Abschnitt 2.2 des Einführungserlasses

Bei Anwendung von DIN 18 800 Teile 1 bis 4/11.90 gilt folgendes:

## 4.1 Zu DIN 18 801/09.83 - Stahlhochbau; Bemessung, Konstruktion, Herstellung -

Bei Anwendung dieser Norm ist zu beachten:

Abschnitt	Regelungs- inhalt	Festlegungen
2	Allgemeines	DIN 18 800 Teil 1/03.81 ist durch DIN 18 800 Teile 1 bis 4/11.90 zu ersetzen.
3.1	Mitwirkende Plattenbreite	Diese Vereinfachung gilt nur für Nachweise nach dem Verfahren „Elastisch-Elastisch“ nach Teil 1/11.90 Tabelle 11. Der Begriff „allgemeiner Spannungsnachweis“ ist hier durch „Nachweis der Tragsicherheit“ gemäß Teil 1, Abschnitt 7, zu ersetzen.
4.1	Allgemeines	Der Hinweis auf die Formänderungen betrifft den Nachweis der Gebrauchstauglichkeit gemäß Teil 1, Abschnitt 7.
4.2 und 4.3	Einteilung der Lasten, Lastfälle	Dieser Abschnitt ist nicht anzuwenden. Es gilt Teil 1/11.90, Abschnitt 6.
		Diese Abschnitte sind nicht anzuwenden. Es gilt Teil 1, Abschnitt 7.2 (Bildung von Einwirkungskombinationen).
		Veränderliche Einwirkungen $Q_i$ können aus mehreren Einzeleinwirkungen bestehen; z. B. ist die Summe aller vertikalen Verkehrslasten nach DIN 1055 Teil 3/06.71 eine Einwirkung $Q_i$ . Bei der Berechnung von Bauteilen, die Lasten von mehr als 3 Geschossen aufnehmen, dürfen diese jedoch entsprechend DIN 1055 Teil 3, Abschnitt 9 abgemindert werden.
5.1	Allgemeiner Spannungsnachweis	Dieser Abschnitt ist nicht anzuwenden. Es gilt Teil 1, Element (738).
5.2.	Formänderungs- untersuchungen	
Abs. 1		Dieser Abschnitt ist nicht anzuwenden. Es gilt Teil 1, Element (728).
Abs. 2		„Gebrauchsfähigkeit“ ist durch „Gebrauchstauglichkeit“ zu ersetzen. Unter Bezug auf Teil 1, Element (715) sind für die Ermittlung der Beanspruchungen beim Nachweis der Gebrauchstauglichkeit der Teilsicherheitsbeiwert $\gamma_f = 1,0$ und der Kombinationsbeiwert $\psi = 0,9$ anzusetzen.

Abschnitt	Regelungs- inhalt	Festlegungen
6.1.1.1	Gering beanspruchte Zugstäbe	Dieser Abschnitt ist nicht anzuwenden. Es gilt Teil 1, Elemente (711) bis (713).
6.1.1.2	Planmäßig ausmittig beanspruchte Zugstäbe	Zusätzlich ist Teil 1, Element (734) zu beachten.
6.1.1.3	Zugstäbe mit Winkelquerschnitt	Im Text nach dem 2. Spiegelstrich ist „DIN 18 800 Teil 1, Abschnitt 6.1.2, letzter Absatz“ durch „DIN 18 300 Teil 1/11.90, Element (743)“, zu ersetzen.
6.1.2.3	Deckenträger Pfetten, Unterzüge	DAS-Ri 008/03.73 - Richtlinie zur Anwendung des Traglastverfahrens im Hochbau - wird zurückgezogen und ist nicht mehr anzuwenden.  Der Text nach dem letzten Spiegelstrich ist zu ersetzen durch: „Es ist DIN 18 800 Teil 1/11.90, Abschnitt 7.5.3, insbesondere Element (755), zu beachten.“  Der letzte Absatz ist nicht anzuwenden. Es gilt das Sicherheits- und Bemessungskonzept nach DIN 18 800 Teile 1 bis 4.
6.1.4, Abs. 1	Aussteifende Verbände. Rahmen u. Scheiben	Dieser Abschnitt ist nicht anzuwenden. Es gilt Teil 1, Elemente (728) und (737); siehe auch Teil 2, Element (512).
6.2	Seile, Nachweise	Dieser Abschnitt ist nicht anzuwenden. Es gilt Teil 1, Abschnitt 9.
7.1.1	Kontaktstöße	Dieser Abschnitt ist nicht anzuwenden. Es gilt Teil 1, Elemente (505) und (837).
7.1.2	Schwerachsen der Verbindungen	Für Schweißnahtanschlüsse gilt Teil 1 Element (823).
7.1.3	Lochleibungsdruck	Dieser Abschnitt ist nicht anzuwenden. Es gilt Teil 1, Element (805).
7.2.1 bis 7.2.4	Schweißnähte	Diese Abschnitte sind nicht anzuwenden. Es gilt Teil 1/11.90, Abschnitt 8.4.
7.2.5	Punktschweißung	Bei Punktschweißung ist Abschnitt 1 der Anpassungsrichtlinie sinngemäß anzuwenden.
8	Zulässige Spannungen	Dieser Abschnitt ist nicht anzuwenden. Es gilt das Sicherheits- und Bemessungskonzept nach DIN 18 800 Teile 1 bis 4.
9.2.1	Punktschweißung	Es gilt die Festlegung zu Abschnitt 7.2.5.
10	Korrosionsschutz	Dieser Abschnitt ist nicht anzuwenden. Es gilt Teil 1, Abschnitt 7.7.

#### 4.2 Zu DIN 18 914/09.85 - Dünnwandige Rundsilos aus Stahl -

Bei Anwendung dieser Norm ist folgendes zu beachten:

Abschnitt	Regelungs- inhalt	Festlegungen
6.1.1.3 und 6.1.2.3	Schraubenverbindungen	Tabelle 2 ist nicht anzuwenden. Die Nachweise sind nach Teil 1, Abschnitt 8.2.1 zu führen.

#### 5. Hinweis

DIN 4131/11.91 - Antennenträgerwerke aus Stahl - . DIN 4133/11.91 - Schornsteine aus Stahl - und DIN 4420 Teil 1/12.90 - Arbeits- und Schutzgerüste -

Diese Normen sind hinsichtlich der Bemessung bereits auf DIN 18 800 Teile 1 bis 4/11.90, abgestimmt, so daß hier ausnahmslos die neuen Normen anzuwenden sind.

Diese Normen erhalten eigene Einführungserlasse.

**Anhang**

Tabelle 1: Umschlüsselung der zulässigen Stahlsorten

neu Kurzname <sup>1)</sup> EN 10 025	Des- oxidations- art	Flacherzeugnisse und Langerzeugnisse		Flacherzeugnisse aus KQ-Sorten		Flacherzeugnisse aus KP-Sorten	
		Kurzname	W.-Nr.	Kurzname	W.-Nr.	Kurzname	W.-Nr.
Fe 360 B	frei	St 37-2	1.0037	-	1.0120	K St 37-2	1.0120
Fe 360 B	FU	U St 37-2	1.0036	UQ St 37-2	1.0121	UK St 37-2	1.0121
Fe 360 B	FN	R St 37-2	1.0038	RQ St 37-2	1.0122	RK St 37-2	1.0122
Fe 360 C	FN	St 37-3U	1.0114	Q St 37-3U	1.0115	K St 37-3U	1.0115
Fe 360 D 1	FF	St 37-3N	1.0116	Q St 37-3N	1.0118	K St 37-3N	1.0118
Fe 360 D 2	FF		1.0117		1.0119		1.0119
Fe 510 B	FN		1.0045				
Fe 510 C	FN	St 52-3U	1.0553	Q St 52-3U	1.0554	K St 52-3U	1.0554
Fe 510 D 1	FF	St 52-3N	1.0570	Q St 52-3N	1.0569	K St 52-3N	1.0569
Fe 510 D 2	FF		1.0577		1.0579		1.0579
Fe 510 DD1	FF		1.0595		1.0593		1.0593
Fe 510 DD2	FF		1.0596		1.0594		1.0594

<sup>1)</sup> ggf. ist der Kurzname mit „FU“, „FN“ oder „KQ“ zu ergänzen

Tabelle 2: Wahl der Stahlgüteklassen für Stähle nach DIN EN 10 025

Klassifizierungsstufe nach DAST Ri 009	zulässige Bauteildicke in mm bis einschließlich						
	10	20	30	40	50	60	70
I							
II							
III	B	BFU	BFN	C	D	DD	
IV	B						
V							

<sup>2)</sup> Bauteildicken sind nur in dem Rahmen zulässig, wie die Fachnormen dies ausweisen.

<sup>3)</sup> Der in den Fachnormen zusätzlich geforderte Sprengbruchnachweis, z. B. durch den Aufschweißbiegeversuch, ist ab den dort genannten Grenzwanddicken zu führen.

## II.

**Hinweise****Inhalt des Justizministerialblattes für das Land Nordrhein-Westfalen****Nr. 24 v. 15. 12. 1992**

(Einzelpreis dieser Nummer 3,50 DM zuzügl. Portokosten)

Seite	Seite	
<b>Bekanntmachungen</b> . . . . .	277	meine Verweisungsvorschrift des § 1908 I BGB einschlägig, wonach auf die Betreuung die Vorschriften der §§ 1835 bis 1836 a sinngemäß anzuwenden sind. – Der Aufgabenbereich des Verfahrenspflegers gestaltet sich als eine typisch anwaltliche Tätigkeit, die nach der BRAGO abzurechnen berechtigt. Der zu berücksichtigende Gebührenanfall ergibt sich aus § 118 I BRAGO. – Die Verfahrenspflegschaft umschreibt keinen am Rande liegenden Aspekt innerhalb des Betreuungsverfahrens und rechtfertigt keine Ermäßigung des Gegenstandswertes nach § 30 II Satz 2 KostO.
<b>Personalnachrichten</b> . . . . .	278	LG Köln vom 9. September 1992 – 1 T 275/92 . . . . . 284
<b>Ausschreibungen</b> . . . . .	281	
<b>Gesetzgebungsübersicht</b> . . . . .	281	
<b>Rechtsprechung</b>		
<b>Zivilrecht</b>		
1. ZPO § 406 I, § 42 II. – Im Arzthaftungsprozeß hat der beklagte Arzt nicht das Recht, bei der Untersuchung des klagenden Patienten durch den medizinischen Sachverständigen anwesend zu sein.	282	
OLG Köln vom 25. März 1992 – 27 W 16/92 . . . . .	282	
2. ZPO § 3. – Der Streitwert für den Nebenintervenienten ist auf sein Interesse an der Durchsetzung seiner Anträge beschränkt.	283	
OLG Köln vom 25. Mai 1992 – 11 W 25/92 . . . . .	283	
3. FGG § 65 I und IV; BtG Artikel 9 § 5 II Satz 3. – Im Anwendungsbereich von Artikel 9 § 5 II Satz 3 BtG ist ein Verfahren auch dann an das nach § 65 I FGG für den dauernden Aufenthaltsort des Betreuten zuständige Vormundschaftsgericht abzugeben, wenn das bisher zuständige Gericht schon einen Vormund oder Pfleger bestellt hatte, der nach Artikel 9 § 1 II BtG mit Inkrafttreten des Betreuungsgesetzes Betreuer geworden ist. Das Gericht, das den bisherigen Vormund oder Pfleger bestellt hatte, bleibt vom 1. Januar 1992 an trotz des Aufenthaltswechsels des Betroffenen nicht nach § 65 IV FGG für die Weiterbearbeitung der Sache zuständig (Abweichung von OLG Frankfurt/Main in MDR 1992, 677).	283	
OLG Hamm vom 23. Juli 1992 – 15 Sbd 30/92 . . . . .	283	
4. BGB § 1908 I I, § 1835 III und IV; BRAGO § 118 I; KostO § 30 II. – Für Aufwendungsersatz und Vergütung zugunsten eines Verfahrenspflegers im Sinne des § 67 FGG ist die allge-	287	
		<b>Strafrecht</b>
		StPO § 40 I und II. – Eine ordnungsgemäß angeordnete und damit zunächst wirksame öffentliche Zustellung wird nur dann im nachhinein unzulässig und damit unwirksam, wenn dem Gericht die Anschrift bzw. der Aufenthalt eines Betroffenen zu einem Zeitpunkt positiv bekannt wird, zu dem das öffentlich zuzustellende Schriftstück noch gemäß § 40 I und II StPO an der Gerichtstafel angeheftet und die Zweiwochenfrist noch nicht abgelaufen ist. – Die lediglich ordnungsbehördliche Registrierung einer Haupt- und Nebenwohnung ist im Rahmen der einem Verurteilten obliegenden Bewährungspflichten ohne Belang. Ausschlaggebend ist allein der dauernde Aufenthaltsort einer Person, d.h. ihr Lebensmittelpunkt; dessen Änderung/Verlegung ist gegenüber dem Gericht mitteilungspflichtig.
		OLG Düsseldorf vom 21. Mai 1992 – 3 Ws 204 – 205/92 . . . . . 286
		<b>Kostenrecht</b>
		KostO § 144 I Nr. 1 – Die Deutsche Bundesbahn ist jedenfalls im Sinne des Kostenrechts ein wirtschaftliches Unternehmen des Bundes und hat keinen Anspruch auf Gebührenermäßigung gemäß § 144 I Nr. 1 KostO.
		OLG Düsseldorf vom 5. März 1992 – 10 W 30/91 . . . . . 287
		<b>Hinweise auf Neuerscheinungen</b> . . . . . 287

– MBL NW, 1993 S. 283.

## Nr. 1 v. 1. 1. 1993

(Einzelpreis dieser Nummer 39,60 DM zzgl. Postkosten)

	Seite	Seite	
<b>Allgemeine Verfügungen</b>			
Geschäftsstellenordnung für die Gerichte der Finanzgerichtsbarkeit des Landes Nordrhein-Westfalen (GStO-FG)	2	3. BGB §§ 535 ff.; AGBG § 9. – Zur Frage der Zulässigkeit formularmäßiger Konkurrenzaußschlußklauseln bei der Vermietung gewerblich genutzter Räume. OLG Düsseldorf vom 11. Juni 1992 – 10 U 165/91 . . . . . 9	
<b>Bekanntmachungen</b>	5	4. BGB §§ 1933, 2356, 2358; FGG § 12. – Gilt der überlebende Ehegatte, der auf Grund gesetzlicher Erbfolge einen Erbschein nach dem verstorbenen Ehegatten beantragt, eine den Anforderungen des § 2356 II BGB genügende eidesstattliche Versicherung ab, so ist es ermessensmäßig in jedem Fall deren Ergänzung durch die Angabe verlangt, daß die Voraussetzungen für den Ausschluß des Ehegattenerbrechts nach § 1933 BGB nicht vorliegen. OLG Hamm vom 8. Juni 1992 – 15 W 138/92 . . . . . 10	
<b>Personalnachrichten</b>	5		
<b>Ausschreibungen</b>	7		
<b>Rechtsprechung</b>			
<b>Zivilrecht</b>			
1. ZPO § 181 II, § 233. – Zur Frage des Zeitpunktes der Zustellung an einen Strafgefangenen und der Wiedereinsetzung in den vorigen Stand bei Fristversäumung durch den Adressaten. OLG Düsseldorf vom 4. Juni 1992 – 10 W 70/92 . . . . .	8	ZPO §§ 91, 269 III, § 344; BRAGO § 25 II. – Sofern ein Rechtsanwalt sich in einer privaten Sache selbst vertreibt, kann er Erstattung der Mehrwertsteuer verlangen. – Nach Zurücknahme der Klage umfaßt die Kostentragungsoflicht nicht die Kosten der Saumnis des Beklagten. OLG Köln vom 6. Mai 1992 – 2 W 40/92 . . . . . 10	
2. BGB § 1004; NachbG NW §§ 50, 32 I, § 35 I. – Ist eine früher von einem Nachbarn einseitig errichtete ortsübliche Grenzeinrichtung derart verrottet, daß sie durch eine neue Einrichtung ersetzt werden muß, so genießt sie keinen Schutz mehr vor einer optischen Beeinträchtigung durch eine neue andersartige aber ebenfalls ortsübliche Einrichtung, die ein Nachbar auf seinem Grundstück errichtet. OLG Köln vom 5. Juni 1992 – 20 U 250/91 . . . . .		8	<b>Hinweise auf Neuerscheinungen</b> . . . . . 12

– MBL NW, 1993, S. 284

Einzelpreis dieser Nummer 39,60 DM

zzgl. Post- und Versandkosten

Bestellungen, Anfragen usw. sind an den A. Bägel Verlag zu richten. Anschrift und Telefonnummer wie folgt:

**Abonnementsbestellungen:** Grafenberger Allee 100, Tel. (0211) 9682 248 (8.00–12.30 Uhr), 4000 Düsseldorf 1

Bezugspreis halbjährlich 31,40 DM (Kalenderhalbjahr) Jahresbezug 62,80 DM (Kalenderjahr), zahlbar im voraus. Abstellungen für Kalenderhalbjahresbezüge müssen bis zum 30. 4. bzw. 31. 10. für Kalenderjahresbezüge bis zum 31. 10. eines jeden Jahres beim A. Bägel Verlag erfolgen.

Reklamationen über nicht erfolgte Lieferungen aus dem Abonnement werden nur innerhalb einer Frist von drei Monaten nach Erscheinung erunterkündigt.

**In den Bezugs- und Einzelpreisen ist keine Umsatzsteuer i. S. d. § 11 UStG enthalten.****Einzelbestellungen:** Grafenberger Allee 100, Tel. (0211) 9682 241, 4000 Düsseldorf 1

Von Vorabinnsendungen des Rechnungsbetrages – in welcher Form auch immer – bitten wir abzusehen. Die Lieferungen erfolgen nur aufgrund schriftlicher Bestellung gegen Rechnung. Es wird dringend empfohlen, Nachbestellungen des Ministerialblattes für das Land Nordrhein-Westfalen möglichst innerhalb eines Vierteljahres nach Erscheinen der jeweiligen Nummer beim A. Bägel Verlag vorzunehmen, um späteren Lieferverschwendungen vorzubeugen. Wenn nicht innerhalb von vier Wochen eine Lieferung erfolzt, gilt die Nummer als vergriffen. Eine besondere Benachrichtigung erfolgt nicht.

Herausgeber: Landesregierung Nordrhein-Westfalen, Haraldstraße 5, 4000 Düsseldorf 1  
Herstellung und Vertrieb im Namen und für Rechnung des Herausgebers: A. Bägel Verlag, Grafenberger Allee 100, 4000 Düsseldorf 1  
Druck: TSB Tiefdruck Schwann-Bägel, Düsseldorf und Mönchengladbach

ISSN 0177-8569