

Technische Information 2

BEMESSUNG VORWIEGEND RUHEND BEANSPRUCHTER MSH-KONSTRUKTIONEN
MIT KREISFÖRMIGEN, QUADRATISCHEN UND RECHTECKIGEN QUERSCHNITTEN



Bemessung vorwiegend ruhend beanspruchter MSH-Konstruktionen

Dipl.-Ing. Dipak Dutta,
Dipl.-Ing. Jürgen Krampen,
überarbeitet von
Dipl.-Ing. Christian Remde und
Dipl.-Ing. Boris Straetmans

Bei der Verwendung von Hohlprofilen im Stahlbau handelt es sich vielfach um geschweißte Konstruktionen, wobei die vorteilhaften Eigenschaften der Hohlprofile als Tragelemente hinsichtlich Druck und Torsion sowie zweiachsiger Biegung voll zur Geltung kommen. Beim Entwurf solcher Konstruktionen muss besondere Aufmerksamkeit auf die Verbindungstragfähigkeiten gerichtet werden, die nicht allein von der Schweißnahtdicke, sondern auch von verschiedenen geometrischen Parametern und den Belastungsarten abhängig sind. Die Bemessungsmethoden und -regeln hierfür, die die allgemeine Stahlbautechnik ergänzen, wurden in den letzten Jahrzehnten durch zahlreiche Versuche und theoretische Untersuchungen in vielen Ländern der Welt erarbeitet. Sie werden nun als Stand der Technik betrachtet und sind zunächst in DIN 18808 und in der Folge im Eurocode 3 aufgenommen worden.

Die vorliegende Broschüre will Planer, Statiker und Konstrukteure von Stahlbauten mit diesen Regeln vertraut machen und sie in die Lage versetzen, sichere und wirtschaftliche MSH-Konstruktionen zu errichten.

Anwendungswarnvermerk

Die in dieser Druckschrift angegebenen Bemessungsregeln lassen sich uneingeschränkt nur auf warmgefertigte MSH-Profile nach EN 10210 der Querschnittsklassen 1 und 2 anwenden. Dies gilt für alle im MSH-Lieferprogramm aufgeführten Abmessungen (MSH Technische Information, ab Ausgabe 2014).

Weitere Informationen unter:

www.vallourec.com

Überarbeitete Ausgabe 2019

Weitere Druckschriften zur Anwendungstechnik von MSH-Profilen siehe „Technische Informationen Nr.1“

Vallourec ist Mitglied des CIDECT (Comité International pour le Développement et l'Étude de la Construction Tubulaire – Internationales Komitee für Forschung und Entwicklung von Hohlprofilkonstruktionen).



www.cidect.org

Inhalt

1	Einleitung	4	5.3.1	Gültigkeitsbereich	29	8	Verstärkte RHP-Knoten unter Axialkraftbeanspruchung der Stäbe	56
2	Allgemeines	8	5.3.2.	Versagensformen	30	8.1	Nachweis	56
3	Hohlprofile unter Druckbeanspruchung	16	5.3.3	Schweißnähte	30	8.2	K-Knoten, verstärkt mit Spalt Gurt: RHP / Werkstoff: S355	59
3.1	Hohlprofil Querschnitts-klassifikation	16	5.3.4	Geschweißte KHP-Knoten	33	9	Räumliche Anschlüsse	60
3.2	Globales Knicken	17	5.3.5	Geschweißte Knoten mit quadratischen (QHP) Gurtstäben und KHP bzw. QHP Streben	36	9.1	Nachweis der Knoten Tragfähigkeit von räumlichen Anschlüssen	60
3.2.1	Biegeknicken planmäßig mittig belasteter und planmäßig gerader einteiliger Stäbe mit gleichbleibendem Querschnitt und konstanter Druckbelastung	17	5.3.6	Geschweißte Knoten mit rechteckigen (RHP) Gurtstäben und KHP bzw. QHP Streben	39	9.2	KK-Knoten mit Spalt Gurt: KHP / Werkstoff: S355	63
3.2.2	Knicklängen	18	5.4	Berechnung nach DIN EN 1993-1-8 (Eurocode 3) [20]	42	10	Anschlüsse von Hohlprofilen über Knotenbleche	64
3.2.2.1	Knicklängen in Fachwerken nach Eurocode 3 [3]	18	5.4.1	N-Knoten mit Überlappung im Druckgurt / Gurt: QHP / Werkstoff: S355	42	11	Einbindelänge einer eingespannten Stütze	67
3.2.2.2	Knicklängen in Fachwerken nach Empfehlungen des Autors	18	5.4.2	K-Knoten mit Spalt im Zuggurt / Gurt: RHP / Werkstoff: S355	43	11.1	Einbindelänge eingespannte Stütze	69
3.2.3	Nachweisverfahren für Biegeknicken mit einachsiger / zweiachsiger Biegung	19	5.4.3	K-Knoten mit Spalt im Druckgurt / Gurt: QHP / Werkstoff: S460	44	12	Symbole	71
3.2.4	Berechnungsbeispiele für Biegeknicken von Hohlprofilstützen	20	5.4.4	K-Knoten mit Spalt im Druckgurt / Gurt: KHP / Werkstoff: S355	45	13	Referenzen	73
3.2.4.1	Beispiel planmäßig zentrischer Druck Profil: KHP / Werkstoff: S355	20	5.4.5	KT-Knoten mit Spalt im Druckgurt / Gurt: KHP / Werkstoff: S355	46	14	Anhang	74
3.2.4.2	Druck und einachsige Biegung Profil: RHP / Werkstoff: S355	21	6	Hohlprofilknoten unter Momentenbeanspruchung (Vierendeelträger)	48			
3.2.4.3	Druck und zweiachsige Biegung Profil: RHP / Werkstoff: S355	22	6.1	Nachweis der Knoten Tragfähigkeit	48			
4	Hohlprofile unter Torsionsbeanspruchung	23	6.2	Interaktion Axialkraft – Biegemoment	50			
4.1	Torsion Profil: QHP / Werkstoff: S355	23	6.2.1	KHP - Knoten	50			
4.2	Biegedrillknicken	23	6.2.2	RHP - Knoten	50			
5	Ebene Fachwerke aus MSH-Profilen	24	6.3	T-Knoten Gurt: KHP / Werkstoff: S355	51			
5.1.	Knotenexzentrizitäten	27	7	Biegesteife Rahmenecken	52			
5.2	Vorgehensweise bei Entwurf und Bemessung von MSH-Fachwerkträgern	28	7.1	Biegesteife Rahmenecken aus Rechteckhohlprofilen RHP	52			
5.3.	Nachweis der Knoten Tragfähigkeit nach Eurocode 3	29	7.1.1	Nachweis der Tragfähigkeit von biegesteifen RHP-Rahmenecken nach DIN EN 1993-1-8 [20]	53			
			7.2	Biegesteife Rahmenecken aus kreisförmigen Hohlprofilen KHP [15]	54			
			7.3	Rahmenecke RHP-Profile / Werkstoff: S355	55			

1 Einleitung

Nachdem seit Juli 2013 fast ausschließlich nur noch Eurocode 3 zur Bemessung von Stahlkonstruktionen verwendet werden darf, war es auch erforderlich, die vorliegende Druckschrift anzupassen und in aktualisierter Form herauszugeben.

Diese überarbeiteten Bemessungsregeln entsprechen nun den Angaben der DIN EN 1993-1-1 [3], der EN 1993-1-8 [20], sowie den zugehörigen nationalen Anhängen für Deutschland [4, 31]. Bei der Anwendung des Eurocode 3 in anderen Ländern sind die dort geltenden nationalen Anhänge zu beachten.

Die Übergangsphase, d. h. dass statische Berechnungen sowohl nach Eurocode 3 als auch nach den deutschen Vorschriften der DIN 18800er Reihe durchgeführt werden dürfen, ist, wie oben beschrieben, nicht mehr zulässig. Daher sind in dieser Druckschrift Regelungen der DIN 18 8800 nicht mehr berücksichtigt.

Die Ausführung von Konstruktionen, die vor Juli 2013 berechnet und genehmigt wurden, ist aber weiter zulässig.

In dieser Veröffentlichung werden Hohlprofile wie folgt bezeichnet:

- Kreishohlprofil: KHP
- Rechteckhohlprofil: RHP
- Quadratisches Hohlprofil: QHP

Die Grundlagen zur Bemessung von Stahlbauten nach (1.1) alte DIN 18 800, (1.2) neue DIN 18 800 Ausgabe 1990 und (1.3) Eurocode 3 sind prinzipiell voneinander unterschiedlich:

→ Es gilt für (1.1) die Gebrauchsspannungsmethode, die von einem Vergleich der vorhandenen mit den zulässigen Spannungen ausgeht. Die an einer maßgebenden Stelle des Bauteiles auftretende maximale Spannung nach der Theorie I. Ordnung stellt die vorhandene Spannung dar. Sie wird gegenüber einer durch einen globalen Sicherheitsfaktor γ reduzierten Streckgrenze des Bauteilmaterials abgegrenzt.

$$\text{vorh. } \sigma \leq \text{zul. } \sigma = f_y / \gamma \quad (1.1)$$

Die zulässigen Spannungen sind mit den Lastfällen H (Hauptlasten) und HZ (Haupt- und Zusatzlasten) verknüpft.

→ Es gilt für (1.2) und (1.3) die Grenzzustandsmethode, die von einem Vergleich der Beanspruchungen S_d mit den Beanspruchbarkeiten R_d ausgeht, wobei die Beanspruchung in dem Bereich zu begrenzen ist, in dem das Tragwerk tragsicher (Tragfähigkeit, Gleichgewicht) bzw. gebrauchstauglich (Verformungen, Verschiebungen, Erschütterung, Schwingungen, örtliche unzulässige Schäden) ist.

$$S_d \leq R_d \quad (1.2)$$

→ Die Berechnung der Beanspruchungen erfolgt nach der Elastizitäts- bzw. Fließgelenktheorie, die der Beanspruchbarkeiten elastisch oder unter Ausnutzung plastischer Tragfähigkeiten. Beanspruchung S_d (Einwirkungsgröße) und Beanspruchbarkeit R_d (Widerstandsgröße) werden unter Berücksichtigung der Teilsicherheitsbeiwerte γ_F und γ_M berechnet, die die Streuungen der charakteristischen Einwirkungen F_K und Widerstandsgrößen R_K in Rechnung stellen.

$$S_d = \gamma_F \cdot F_K \leq R_K / \gamma_M = R_d \quad (1.3)$$

Seit dem 1.1.1996 galten für den allgemeinen Stahlhochbau nur die Stahlbaunormen DIN 18 800, Teile 1–4/2008 mit dem Grenzzustandskonzept.

Alle relevanten Stahlbau-Fachnormen, welche sich auf DIN 18 800, Teil 1 alt, und DIN 4114 [2] beziehen, wurden durch Anpassungsrichtlinien an das neue Bemessungskonzept angepasst. Für DIN 18 808 ist diese Voraussetzung durch die Veröffentlichung der entsprechenden Anpassungsrichtlinie in den Mitteilungen des Deutschen Instituts für Bautechnik (DIBt), Nr. 4, 25. Jahrgang (1994), bereits erfüllt worden [11].

Berechnungs- und Bemessungsmethoden für Hohlprofilkonstruktionen werden in dieser Informationsschrift basierend auf folgende Normen verwendet:

- DIN EN 1993-1-1
- DIN EN 1993-1-1 NA
- DIN EN 1993-1-8
- DIN EN 1993-1-8 NA

Zur Bemessung nach der Grenzzustandsmethode müssen die Bauteilquerschnitte in vier Klassen eingestuft werden, die die Zusammenhänge zwischen der Schnittgrößenermittlung (Beanspruchung) und der Querschnittstragfähigkeit (Beanspruchbarkeit) darstellen (Tab. 1.1). Diese Klassifizierung gibt Hinweise auf das Verhalten der Querschnitte in Bezug auf die Druckbeanspruchung in den Querschnittselementen, die durch die Biegung bzw. Axialkräfte entsteht.

Tabelle 1.1: Querschnittsklassifizierung, Definitionen

Querschnittsklasse	Klasse 1 Plastisch	Klasse 2 Kompakt	Klasse 3 Semikompakt	Klasse 4 Effektive Breite
Querschnittsbeanspruchbarkeit	Querschnitt vollplastisch, volle Rotationskapazität	Querschnitt vollplastisch, eingeschränkte Rotationskapazität	Querschnitt elastisch, Randspannung = Streckgrenze	Querschnitt elastisch, örtliches Beulen zu berücksichtigen
Rotationskapazität und Spannungsverteilung				
Schnittgrößenermittlung eines Querschnitts	Plastisch (Fließgelenktheorie)	Elastisch (Kraftgrößen- oder Formänderungsverfahren)	Elastisch (mit Gleichgewichts- und Formänderungsbedingungen)	Elastisch
Ermittlung der Querschnittstragfähigkeit (Traglast)	Plastisch (im Gleichgewicht befindliche Fließspannungsverteilung über den Querschnitt)	Plastisch	Elastisch (volle Querschnittsmitwirkung bis zum Erreichen der Streckgrenze in der äußersten Faser)	Elastisch (mit Berücksichtigung der effektiven mittragenden Breite)

Tabelle 1.2: b/t- und d/t-Grenzen für die Querschnittsklassen 1, 2 und 3 der MSH-Profile

Profilart	Beanspruchung der Querschnittsteile	Querschnittsklasse 1						Querschnittsklasse 2					
		275	355	420	460	690*	Berechnung	275	355	420	460	690*	Berechnung*
RHP/QHP	Druck	33,5	29,8	27,7	26,6	22,3	$b/t \leq 33 \epsilon + 3$	38,1	33,9	31,4	30,2	25,2	$b/t \leq 38 \epsilon + 3$
RHP/QHP	Druck und Biegung	33,5	29,8	27,7	26,6	22,3	$b/t \leq 396 \epsilon / (13\alpha - 1) + 3 (\alpha = 1,00)$	38,1	33,9	31,4	30,2	25,2	$b/t \leq 456 \epsilon / (13\alpha - 1) + 3 (\alpha = 1,00)$
		44,8	39,8	36,9	35,3	29,4	$b/t \leq 396 \epsilon / (13\alpha - 1) + 3 (\alpha = 0,75)$	51,2	45,4	42,0	40,2	33,4	$b/t \leq 456 \epsilon / (13\alpha - 1) + 3 (\alpha = 0,75)$
		69,6	61,6	56,9	54,5	45,0	$b/t \leq 36 \epsilon / \alpha + 3 (\alpha = 0,5)$	79,7	70,5	65,1	62,3	51,4	$b/t \leq 41,5 \epsilon / \alpha + 3 (\alpha = 0,5)$
RHP/QHP	Biegung	69,6	61,6	56,9	54,5	45,0	$b/t \leq 72 \epsilon + 3$	79,7	70,5	65,1	62,3	51,4	$b/t \leq 83 \epsilon + 3$
KHP	Druck und/oder Biegung	42,7	33,1	28,0	25,5	17,0	$d/t \leq 50 \epsilon^2$	59,8	46,3	39,2	35,8	23,8	$d/t \leq 70 \epsilon^2$

Profilart	Beanspruchung der Querschnittsteile	Querschnittsklasse 3					
		275	355	420	460	690*	Berechnung
RHP/QHP	Druck	41,8	37,2	34,4	33,0	27,5	$b/t \leq 42 \epsilon + 3$
RHP/QHP	Druck und Biegung	41,8	37,2	34,4	33,0	27,5	$b/t \leq 42 \epsilon / (0,67 + 0,33 \Psi) + 3 (\Psi = 1)$
		60,9	54,0	49,9	47,8	39,6	$b/t \leq 42 \epsilon / (13\alpha - 1) + 3 (\alpha = 0,75)$
		117,6	103,9	95,8	91,6	75,4	$b/t \leq 62 \epsilon (1 - \Psi) (-\Psi)^{0,5} + 3 (\Psi = -1)$
RHP/QHP	Biegung	117,6	103,9	95,8	91,6	75,4	$b/t \leq 124 \epsilon + 3$
KHP	Druck und/oder Biegung	76,9	59,6	50,4	46,0	30,7	$d/t \leq 90 \epsilon^2$

mit $\epsilon = (235/f_y)^{0,5}$
 mit $c/t = b/t - 3 = h/t - 3$
 mit $b/t = h/t$ (maßgebende Achse)
 mit Ψ (Spannungs oder Dehnungsverhältnis)

Bei einem Gesamtquerschnitt nur unter Druckbeanspruchung besteht kein Unterschied zwischen den b/t-Werten der Querschnittsklassen 1, 2 und 3. Die meisten der im MSH-Lieferprogramm [23] aufgeführten Abmessungen erfüllen die Bedingungen für die Klasse 1 bzw. 2, und damit auch die Voraussetzungen für die Knoten Tragfähigkeitsnachweise des Eurocodes 3.

* Derzeit nicht über die Regeln des EC3 abgebildet.

Tabelle 1.2 zeigt diese Unterteilung für Hohlprofile, die durch die Begrenzung von d/t- und b/t-Werten eingestuft werden.

Die für die Bemessung von Tragwerken nach der Grenzzustandsmethode erforderlichen Teilsicherheitsbeiwerte γ_M für Querschnittstragfähigkeit sind sie in Tabelle 1.3 aufgelistet.

Tabelle 1.3: Teilsicherheitsbeiwerte γ_M nach DIN EN 1993-1-1 (Eurocode 3)

Beanspruchbarkeit von Querschnitten (unabhängig von der Querschnittsklasse)	$\gamma_{M0} = 1,0$ DIN EN 1993-1-1
Beanspruchbarkeit von Bauteilen bei Stabilitätsversagen	$\gamma_{M1} = 1,1$
Beanspruchbarkeit von Anschlüssen Schweißnähte	$\gamma_{M2} = 1,25^{**}$ DIN EN 1993-1-8
Beanspruchbarkeit von Anschlüssen Knoten in Fachwerk mit MSH	$\gamma_{M5} = 1,0$

Tabelle 1.3.1: Teilsicherheitsbeiwerte für Einwirkungen γ_F

Normbezeichnung	Auswirkung	Ständige Lasten $\gamma_{F,G}$ bzw. $\gamma_{G \text{ sup/inf}}$	Veränderliche Lasten $\gamma_{F,Q}$ bzw. γ_Q führende veränderliche Last	$\gamma_{F,Q}$ bzw. γ_Q begleitende veränderliche Last
DIN EN 1990 [22]*	günstig	1,0	0	0
vergl. Tabelle (1.2 B)	ungünstig	1,35	1,5	1,5

* Verbindliche Festlegungen erfolgen im Nationalen Anhang DIN EN 1990 NA [19], Deutschland identische Werte.

Zur Bestimmung der Schnittgrößen (Beanspruchung) werden beim Tragfähigkeitsnachweis die Bemessungslasten wie folgt eingeteilt:

- Ständige Lasten (G), z. B. Eigengewicht von Tragwerken, Ausrüstungen, feste Einbauten und haustechnische Anlagen
- Veränderliche Lasten (Q), z. B. Nutzlasten, Windlasten, Schneelasten

Es sind die Kombinationen aus ständigen (G) und veränderlichen (Q) Lasten festzulegen, wobei die Teilsicherheitsbeiwerte γ_F

für unterschiedliche Bedingungen in den Normungswerken [4, 6] angegeben sind. Zu unterscheiden sind die ständigen Einwirkungen, welche die Auswirkung der veränderlichen Einwirkungen verstärken (ungünstige Auswirkung) und diejenigen, die die Auswirkung der veränderlichen Einwirkungen abschwächen (günstige Auswirkung), z. B. für Dächer bei Windsog oder Unterwind.

Für den Nachweis der Tragsicherheit sind die folgenden Lastkombinationen zu wählen:

- Ständige Lasten (G) und jeweils eine der ungünstig wirkenden veränderlichen Lasten (Q) mit dem größten Einfluss auf die Beanspruchung
- Ständige Lasten (G) und alle ungünstig wirkenden veränderlichen Lasten (Q)

Wenn Teile ständiger Lasten günstige bzw. ungünstige Auswirkungen hervorheben, so gelten die Teilsicherheitsbeiwerte $\gamma_{F,G}$ wie in Tabelle 1.3.2 aufgeführt.

Für die Berechnung der Bemessungslasten siehe Beispiele in Abschnitt 3.2.4.2 und 3.2.4.3.

Tabelle 1.3.2: Teilsicherheitsbeiwerte $\gamma_{F,G}$

Normbezeichnung	für die Teile, die günstige Auswirkung hervorheben $\gamma_{F,G}$ bzw. $\gamma_{G \text{ sup}}$	für die Teile, die ungünstige Auswirkung hervorheben $\gamma_{F,G}$
DIN EN 1990*	1,0	1,15 ($\gamma_{G \text{ sup}} \cdot \psi$)

* Verbindliche Festlegungen erfolgen im Nationalen Anhang DIN EN 1990 NA [19], Deutschland identische Werte.

2 Allgemeines

Die in dieser Broschüre empfohlenen Bemessungsregeln gelten – sofern nicht anders vermerkt – für Hohlprofile mit einer Nennstreckgrenze bis 460 N/mm².

Zum Erstellungszeitpunkt werden fast ausschließlich Werkstoffe mit Mindeststreckgrenzen von 355MPa oder 460 MPa in der Praxis verwendet. Entsprechend sind im Weiteren S 235 Werkstoffe nicht mehr berücksichtigt.

Bei der Berechnung und Bemessung von Hohlprofiltragwerken nach Eurocode 3 sind – sofern im Nationalen Anhang nicht anders festgelegt – die Nennwerte der Streckgrenze f_y und der Zugfestigkeit f_u für Baustahl wie folgt zu entnehmen:

Tabelle 2.1: Nennwerte für die Streckgrenze f_y und die Zugfestigkeit f_u für Hohlprofile nach Eurocode 3 [3]

Stahlsorte	Erzeugnisdicke t mm	Streckgrenze $f_{y,k}$ N/mm ²	Zugfestigkeit $f_{u,k}$ N/mm ²
unlegierter Baustahl			
S 275 J0H u. J2H	$t \leq 40$	275	430
	$40 < t \leq 65$	255	410
S 355 J0H u. J2H	$t \leq 40$	355	510
	$40 < t \leq 65$	335	490
Feinkornbaustahl S 275 NH u. NLH	$t \leq 40$	275	390
	$40 < t \leq 65$	255	370
S 355 NH u. NLH	$t \leq 40$	355	490
	$40 < t \leq 65$	335	470
S 420 NH u. NLH	$t \leq 40$	420	540
	$40 < t \leq 65$	390	520
S 460 NH u. NLH	$t \leq 40$	460	560
	$40 < t \leq 65$	430	550

- a) entweder als Vereinfachung der Tabelle 2.1
- b) oder direkt als Werte $f_y = R_{eH}$ und $f_u = R_m$ aus der EN 10210-1 [8], siehe Tabelle 2.3

Im Gegensatz zu den im Eurocode 3 benannten „Nennwerten“ werden in der Produktnorm Mindestanforderungen formuliert.

Für die im Eurocode 3 geregelten Baustähle sind in der Regel folgende Werkstoffdaten für die Berechnung anzunehmen:

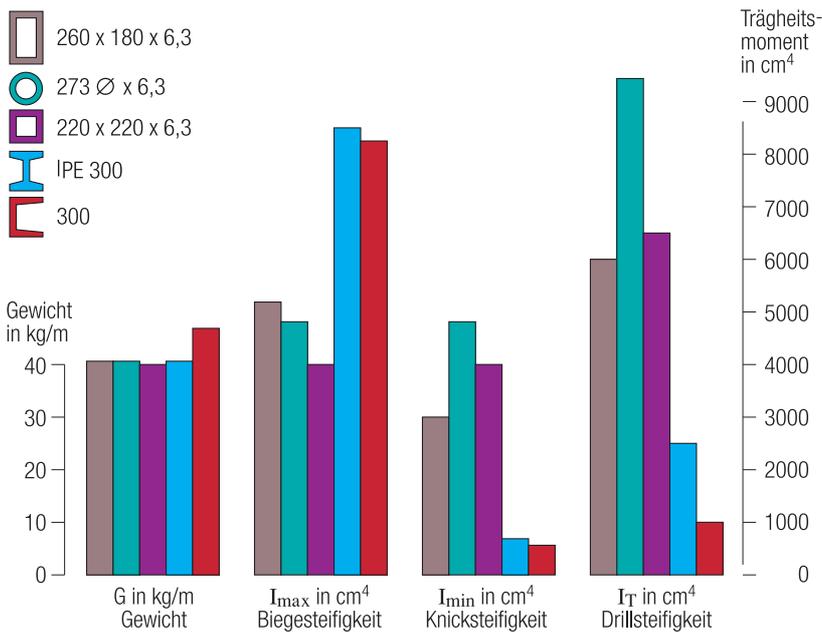
Elastizitätsmodul $E = 210\,000 \text{ N/mm}^2$
 Schubmodul $G = 81\,000 \text{ N/mm}^2$
 Wärmeausdehnungskoeffizient $\alpha = 12 \cdot 10^{-6} \text{ pro } ^\circ\text{C}$
 (für $T \leq 100 \text{ } ^\circ\text{C}$)

Bei der Anwendung von MSH-Profilen im Stahlbau werden vornehmlich geschweißte Fachwerk- und Rahmen- (Vierendeel-) Träger eingesetzt, die die vorteilhaften Eigenschaften von Hohlprofilen gegenüber anderen Stahlbauprofilen als Tragelemente für Axialkräfte (Zug und Druck) sowie für Torsion und zweiachsige Biegung zur Geltung kommen lassen (Abb. 2.1).

Die in dieser Informationsschrift behandelten Kombinationen der Querschnittsformen für die Gurt- und Füllstäbe sind in Tabelle 2.2 dargestellt.

Tabelle 2.2: Kombinationen der MSH-Querschnittsformen für die Gurt- und Füllstäbe

Füllstäbe	Gurtstäbe

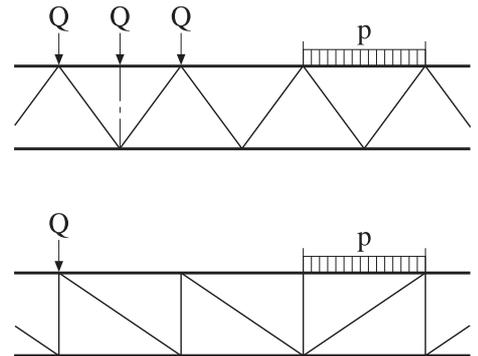


➤ Abb. 2.1: Gegenüberstellung der statischen Eigenschaften von Querschnittsformen

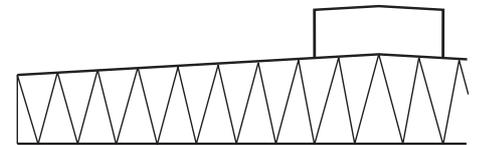
Tabelle 2.3: Mindestwerte für die Streckgrenze R_{eH} und die Zugfestigkeit R_m für Hohlprofile nach EN 10210-1 [8]

Stahlsorte	Erzeugnisdicke t mm	Streckgrenze $f_{y,k}$ N/mm ²	Zugfestigkeit $f_{u,k}$ N/mm ²
unlegierter Baustahl			
S 275 J0H u. J2H	$t \leq 16$	275	410
	$16 < t \leq 40$	265	
	$40 < t \leq 63$	255	
	$63 < t \leq 80$	245	
	$80 < t \leq 100$	235	
	$100 < t \leq 120$	225	400
S 355 J0H u. J2H	$t \leq 16$	355	470
	$16 < t \leq 40$	345	
	$40 < t \leq 63$	335	
	$63 < t \leq 80$	325	
	$80 < t \leq 100$	315	
	$100 < t \leq 120$	295	450
Feinkornbaustahl			
S 275 NH u. NLH	$t \leq 16$	275	370
	$16 < t \leq 40$	265	
	$40 < t \leq 65$	255	
S 355 NH u. NLH	$t \leq 16$	355	470
	$16 < t \leq 40$	345	
	$40 < t \leq 65$	335	
S 420 NH u. NLH	$t \leq 16$	420	520
	$16 < t \leq 40$	400	
	$40 < t \leq 65$	390	
S 460 NH u. NLH	$t \leq 16$	460	540
	$16 < t \leq 40$	440	
	$40 < t \leq 65$	430	

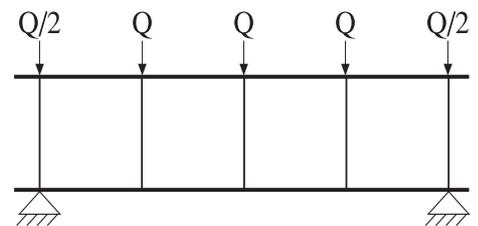
Abbildungen 2.2–2.4 zeigen ebene Fachwerke, wobei die Hohlprofile von K-, N- bzw. T-förmigen Knotentypen miteinander angeschlossen sind. Weitere mögliche Knotentypen sind Y bzw. KT-förmige Knoten.



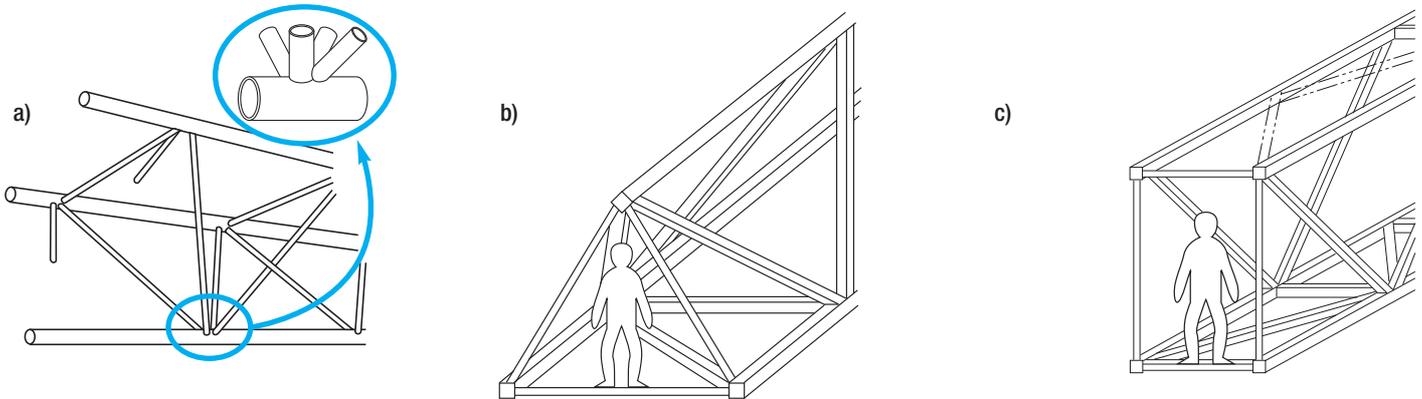
➤ Abb. 2.2: Ebene parallelgurtige Fachwerkträger mit K- bzw. N-förmigen Knoten



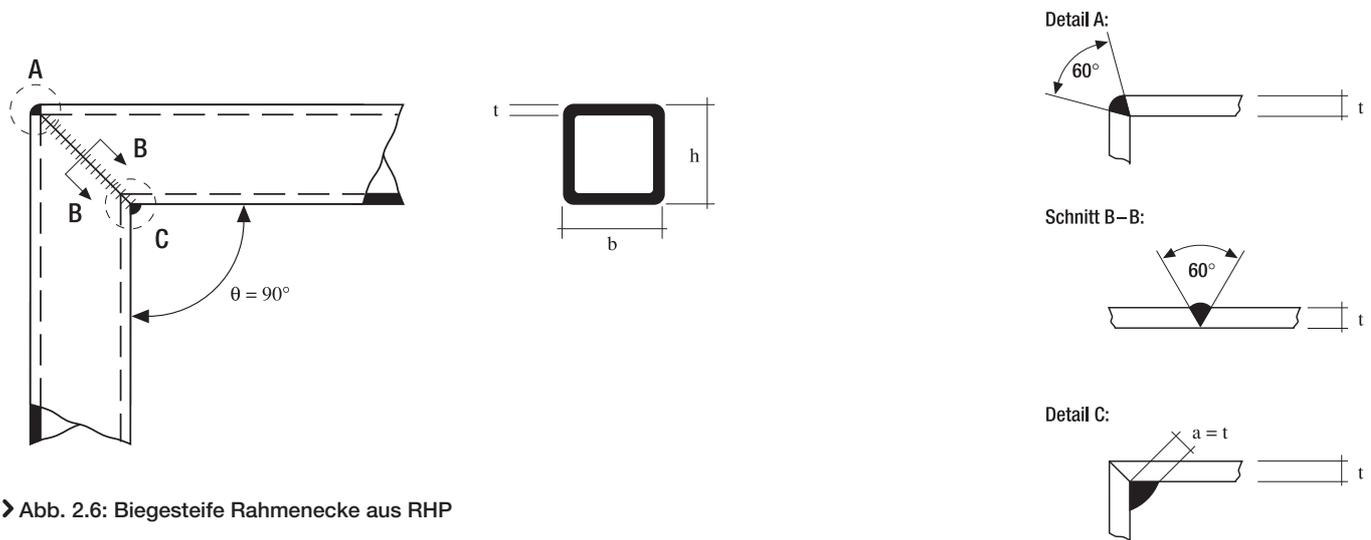
➤ Abb. 2.3: Ebene nicht parallelgurtige Träger mit K-förmigen Knoten



➤ Abb. 2.4: Rahmen-(Vierendeel-)träger mit T-förmigen Knoten



➤ Abb. 2.5: Viergurträger aus MSH mit räumlichen KK-Knoten
a) aus KHP b) aus RHP c) aus RHP



➤ Abb. 2.6: Biegesteife Rahmenecke aus RHP

Ferner werden aus MSH Drei- und Viergurträger ausgeführt, bei denen die Füllstäbe mit räumlichen KK- bzw. TT-Knoten mit dem Gurtstab verbunden sind (Abb. 2.5).

Eine weitere Verbindungsform aus MSH, speziell aus RHP, sind biegesteife Rahmenecken, die im Stahlhoch- und Stahltreppenaufbau größere Anwendung finden (Abb. 2.6).

Bei der Herstellung von Fachwerken aus MSH werden vornehmlich die Füll- und Gurtstäbe unmittelbar miteinander verschweißt, wobei die Füllstäbe auf den Gurtstab aufgesetzt werden (Abb. 2.7 und 2.8). Die Gründe für die häufige Anwendung dieser Tragwerke liegen

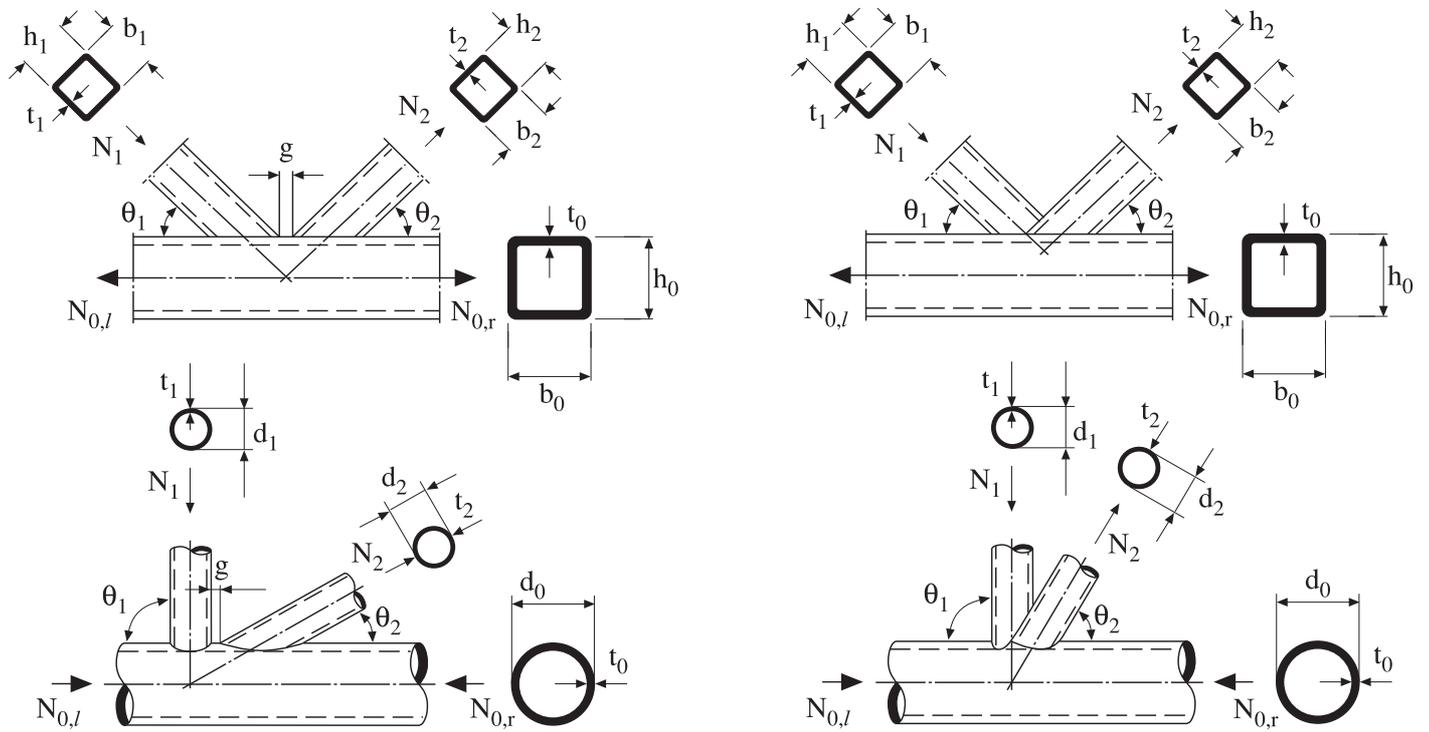
darin, dass sie leicht, wirtschaftlich herstellbar und relativ einfach zu bemessen sind.

Natürlich werden auch Hohlprofilfachwerke konstruiert, deren Bauteile (Gurt- und Füllstäbe) nicht unmittelbar miteinander verbunden sind, sondern durch Verschraubung, Vernietung oder Verschweißung über Knotenblech oder Anschlussplatte Schnittgrößen übertragen (Abb. 2.9).

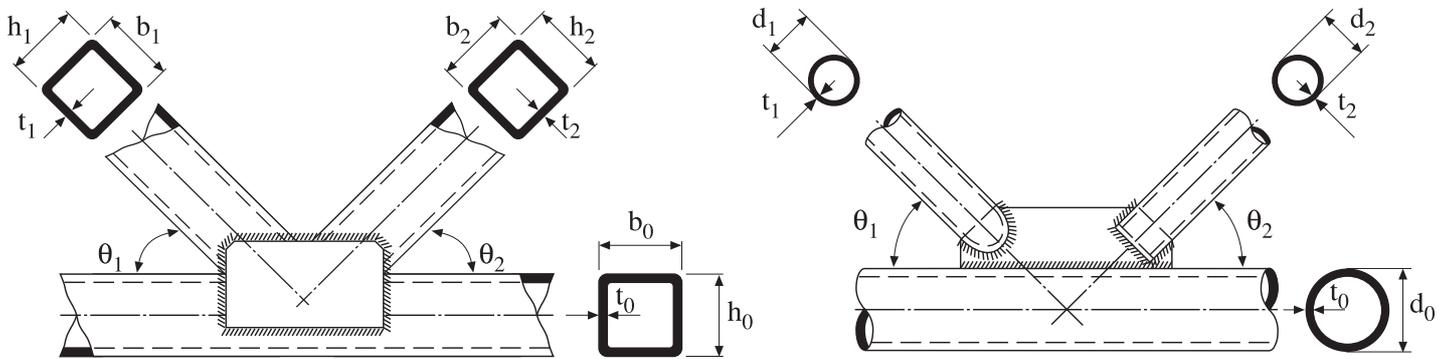
Empfehlenswert ist die Anwendung von Hohlprofilfachwerken, die durch direktes Aufsetzen der Füllstäbe auf den Gurtstab hergestellt werden.



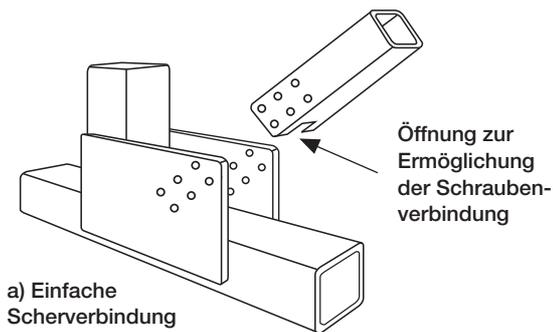
➤ Abb. 2.7: Red Bull Hangar-7, Salzburg Airport



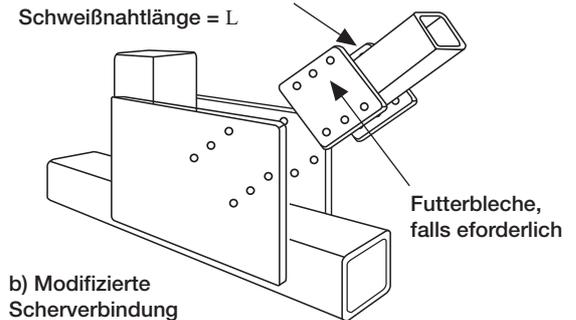
➤ Abb. 2.8: Einige Fachwerkknoten-Beispiele mit unmittelbar miteinander verschweißten Füll- und Gurtstäben



Schweißnaht entlang den 4 Ecken des RHP mit einer Schweißnahtlänge = L



a) Einfache Scherverbindung



b) Modifizierte Scherverbindung

➤ Abb. 2.9: Einige Fachwerkknoten mit über Knotenblech bzw. Anschlussplatte verschweißten bzw. verschraubten Gurt- und Füllstäben

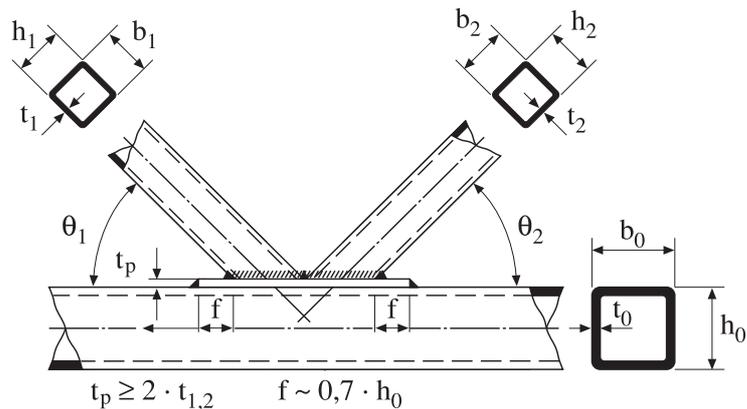
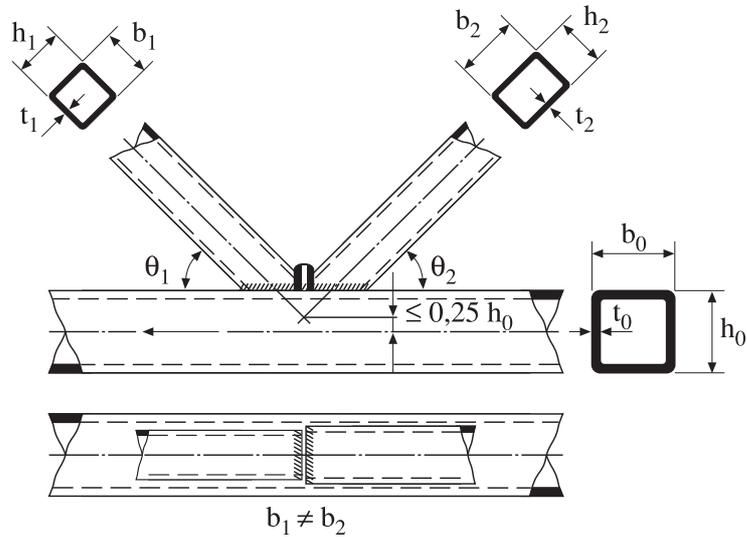
Bei der Herstellung von Hohlprofilfachwerken mit Verbindungsteilen wie Anschlussblechen werden die Material- und Arbeitskosten sowie die Schweißaufwände wesentlich erhöht. Aus statischer Sicht sind die Beanspruchungen auch etwas ungünstiger, da sie *anstatt einmal zweimal* über Schweißnähte übertragen werden müssen.

Ferner wird empfohlen, auch auf den Einbau von Verstärkungsplatten und anderen Aussteifungselementen in Knoten (Abb. 2.10) zu verzichten, da auch sie zur Erhöhung der Herstellungskosten beitragen. Sie werden allerdings nicht immer zu vermeiden sein (z. B. bei erforderlicher Reparatur).

Die Stabilitätsnachweise für die Bauteile unter Druckbeanspruchung werden bei den beiden Normen mit Hilfe der „Knickspannungslinien“ (fünf dimensionslose Knickspannungslinien a_0, a, b, c, d) (siehe Abb. 3.2) durchgeführt. Für Hohlprofile wird nur der „Biegeknickfall“ berücksichtigt.

„Biegedrillknicken“ braucht bei MSH wegen ihrer ungleich größeren Torsionssteifigkeit (ausgedrückt durch das Torsionsträgheitsmoment) als bei offenen Profilen (siehe Abb. 2.1) nicht nachgewiesen zu werden. DIN EN 1993-1-1, Abs. 6.3.2.1 [3].

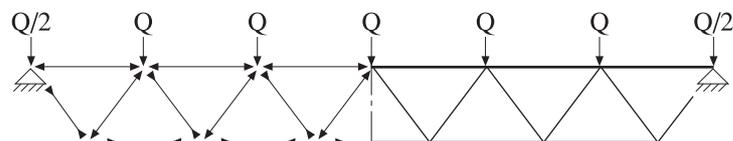
Das lokale Beulen ist erst bei Überschreitung der d/t -, b/t - bzw. h/t -Werte für Querschnittsklasse 3 (siehe Tab. 1.2) nachzuweisen. In Konstruktionen, die Gegenstand dieser Broschüre sind, werden MSH (KHP und RHP) mit größeren Grenzwerten als die in Tabelle 1.2 angegebenen kaum verwendet. Üblicherweise kann man örtliches Beulen in Stäben unberücksichtigt lassen.



➤ Abb. 2.10: Einige Fachwerkknoten-Beispiele mit Verstärkungsplatten

Die Berechnung von Fachwerkstrukturen wird nach der allgemeinen Fachwerkstatik unter der Annahme durchgeführt, dass alle Stäbe in den Knotenpunkten gelenkig angeschlossen und daher nur durch Axialkräfte belastet sind (Abb. 2.11).

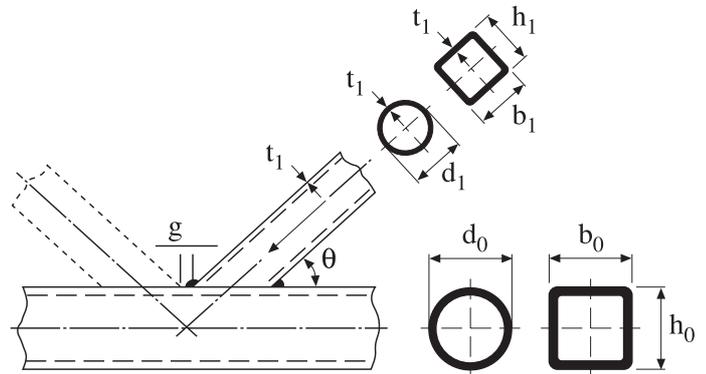
Tatsächlich jedoch entstehen in den Knoten und Bauteilen sekundäre Biegemomente, da die Gurtstäbe durchlaufend und die Füllstäbe (Diagonalen und Vertikalen) an die Gurtstäbe angeschweißt sind. Sekundäre Biegemomente im Knoten, die durch die vorhandene Biegesteifigkeit des Knotens entstehen, können dann bei



➤ Abb. 2.11: Aufgebrachte Lasten und Axialkräfte in Stäben in einem Fachwerk

statischer Belastung vernachlässigt werden, wenn die Knoten eine ausreichende Deformations- und Rotationskapazität aufweisen. Dies wird beim Nachweis der Tragfähigkeit von Hohlprofilknoten DIN EN 1993-1-8 [20] gewährleistet.

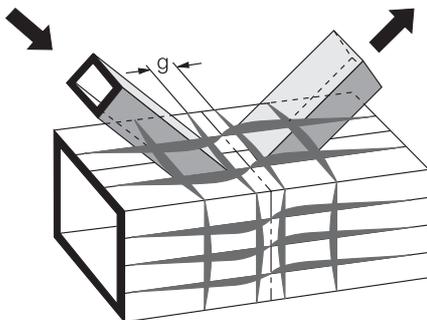
Bei der Dimensionierung unmittelbar miteinander zu Knotenpunkten verschweißter Hohlprofile (Abb. 2.8) sind besondere Gesichtspunkte zu beachten, die die Formsteifigkeit des Knotenelementes im Anschlussbereich betreffen. Das spezifische Tragverhalten der Hohlprofilknoten im Bereich ihrer Anschlüsse und Verbindungen wird einerseits durch die Knotengeometrie und -konfiguration, andererseits durch die daraus resultierenden, örtlich wirksamen Beanspruchungen quer und längs zur Profilachse bestimmt. Entscheidend für das Tragverhalten ist deshalb die ungleichmäßige Beanspruchungsverteilung im Knotenbereich durch den besonderen Lastübertragungsmechanismus sowie das damit zusammenhängende Verformungsverhalten (Abb. 2.13).



$\beta = \frac{d_i}{d_0}$ oder $\frac{d_i}{b_0}$ oder $\frac{b_i}{b_0}$ oder $\frac{d_1 + d_2}{2d_0}$ oder $\frac{d_1 + d_2}{2b_0}$ oder $\frac{b_1 + b_2}{2b_0}$	Durchmesser- Breiten Verhältnis
$\gamma = \frac{d_0}{2t_0}$ oder $\frac{b_0}{2t_0}$	Steifigkeit des Gurtquerschnitts
θ	Anlaufwinkel
$\tau = \frac{t_i}{t_0}$	Wanddicken Verhältnis
$g' = \frac{g}{t_0}$	Spaltweite

➤ Abb. 2.12: Symbole zur Beschreibung von Knotengeometrie und -konfiguration

a) K-Knoten



b) N-Knoten



➤ Abb. 2.13: Verformungsverhalten von K- und N-förmigen Knoten aus RHP mit unmittelbar verschweißten Hohlprofilen

In Anlehnung an die bereits erwähnten, derzeit gültigen Normen für geschweißte Stahlbauten [6, 23] unter vorwiegend ruhender Beanspruchung werden für Tragwerke aus Hohlprofilen die folgenden Nachweise genannt:

- ➔ Allgemeiner Traglast- und Stabilitätsnachweis
- ➔ Nachweis der Knoten- bzw. Verbindungstragfähigkeit

Die maßgebenden geometrischen Parameter für die Knoten Tragfähigkeit, auch „Gestaltfestigkeit“ genannt, sind wie folgt (siehe Abb. 2.12):

➔ Die **Steifigkeit des Gurtstabquerschnittes** abhängig von

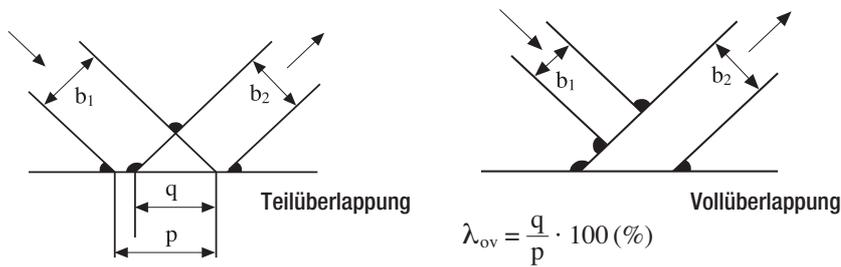
$$\gamma = \frac{d_0}{2t_0} \text{ oder } \frac{b_0}{2t_0}$$

Verformungen treten hauptsächlich an der Anschlussseite des Gurtes auf.

Eine Reduzierung dieser Verformungen kann vorzugsweise durch die Wahl steiferer Gurtprofile, ausgedrückt im

$$\frac{d_0}{2t_0} \text{ -bzw. } \frac{b_0}{2t_0} \text{ -Verhältnis, erfolgen.}$$

Kleinere γ -Verhältnisse erhöhen die Lastabtragung durch eine stärkere Rahmenwirkung des Hohlprofilquerschnittes. Diese Aussage ist von wesentlicher Bedeutung: **Gurtprofile sollten möglichst mit größerer Wanddicke und kleineren Profilbreiten ausgeführt werden, um die Traglast zu erhöhen.**



➤ Abb. 2.14: Definition „Überlappung λ_{ov} “ (bei überlappten Knoten wird g negativ gezählt und entspricht dann der Überlappungslänge q)

➔ Das **Durchmesser- bzw. Breitenverhältnis**

$$\beta = \frac{d_i}{d_0} \text{ oder } \frac{d_i}{b_0} \text{ oder } \frac{b_i}{b_0} \text{ oder } \frac{d_1 + d_2}{2d_0}$$

$$\text{oder } \frac{b_1 + b_2}{2b_0} \text{ oder } \frac{b_1 + b_2 + h_1 + h_2}{4b_0} \text{ etc.}$$

Eine weitere Möglichkeit zur Erzielung höherer Knotensteifigkeiten liegt in der Vergrößerung des β -Verhältnisses sowie in der Verringerung der Spaltweite g .

➔ Das **Wanddickenverhältnis**

$$\text{Füll-/Gurtstab } \tau = \frac{t_i}{t_0}$$

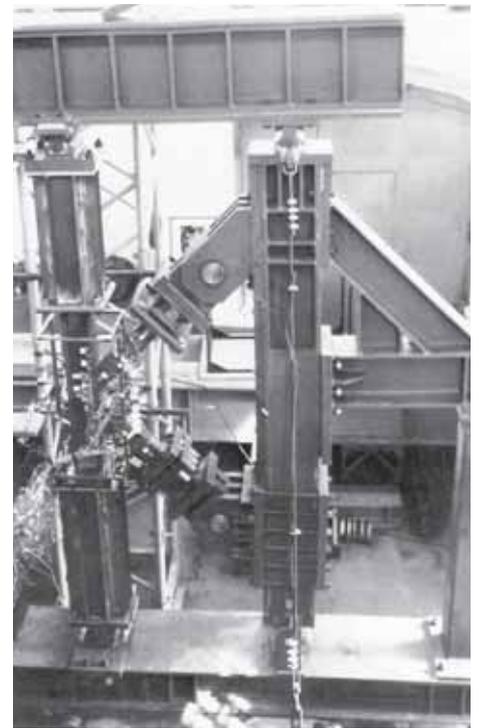
Neben dem γ - bestimmt das τ -Verhältnis die Beanspruchungsverteilungen im Anschlussbereich der Füllstäbe bzw. des Gurtstabes maßgebend.

➔ Die **Spaltweite g** bzw. der **Überlappungsgrad λ_{ov}**
(siehe Abb. 2.14 bezügl. Definition)

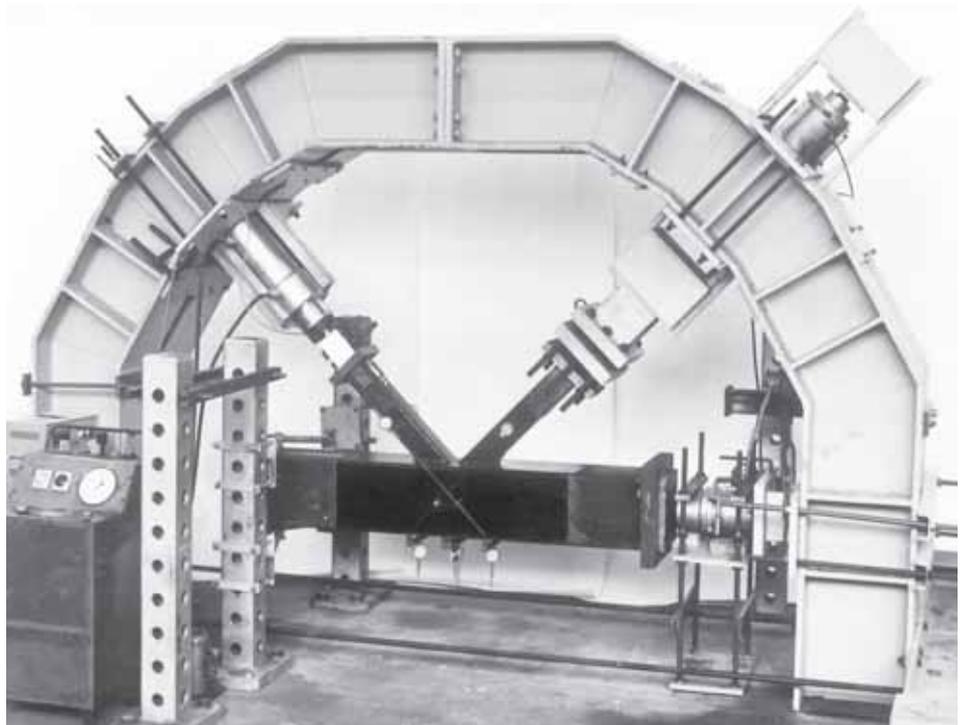
➔ Der **Anlaufwinkel θ** der Füllstäbe

Zur Ermittlung der Traglasten von Hohlprofilknoten und -verbindungen unter Berücksichtigung der Formsteifigkeit von Knotenelementen wurden in den letzten fünfzig Jahren zahlreiche Versuchsserien mit Knotenpunkten aus MSH (KHP und RHP) an verschiedenen Forschungsstellen im In- und Ausland durchgeführt, in maßgebendem Umfang international koordiniert durch CIDECT (Comité International pour le Développement et l'Étude de la Construction Tubulaire – Internationales Komitee für Forschung und Entwicklung von Rohrkonstruktionen). Als Mitglied dieser internationalen Vereinigung der Hohlprofil-Herstellerfirmen nahm und nimmt Vallourec an dieser Forschung

intensiv teil. Einen wesentlichen deutschen Beitrag leistete auch die „Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine“ der Technischen Universität in Karlsruhe, wo ein großer Teil dieser Untersuchungen vorgenommen wurde. Dabei wurde das Tragverhalten, insbesondere der Einfluss variabler Geometrie, Belastung und Werkstoffe, untersucht. Dazu wurden an verschiedenen Forschungsinstituten spezielle Prüfeinrichtungen geschaffen, die es erlauben, Schnittgrößenverteilungen in Hohlprofilknoten und -verbindungen praxisgetreu zu simulieren. Abbildungen 2.15 und 2.16 zeigen zwei Prüfeinrichtungen für Einzelknotenversuche in Deutschland und in den Niederlanden.



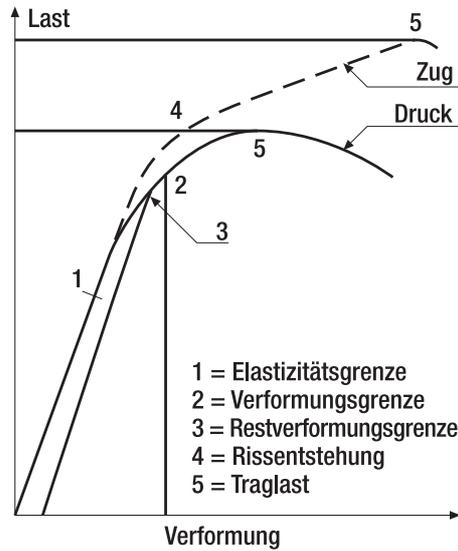
➤ Abb. 2.15: Prüfvorrichtung mit Knoten in Karlsruhe



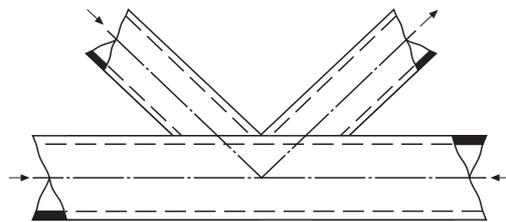
➤ Abb. 2.16: Prüfvorrichtung mit Knoten in Delft

Die Übertragbarkeit der an Einzelknoten gewonnenen Versuchsergebnisse und der daraus gezogenen Schlussfolgerungen für Gesamtfachwerke wurde zusätzlich durch Untersuchungen an Gesamtfachwerken aus Hohlprofilen überprüft (siehe Abb. 2.18). Diese Versuche bestätigen die Übertragbarkeit der Ergebnisse aus Einzelknotenversuchen auf ganze Fachwerke.

Das Lastverformungsdiagramm, wie es für Hohlprofilknoten typisch ist, ist in Abbildung 2.17.1 zusammen mit der Kräfteverteilung im K-Knoten der Prüfvorrichtung (Abb. 2.17.2) dargestellt. Punkt 5 entspricht dabei der Traglast. Diese Traglast wird als Grundlage zum Knoten-Bemessungsverfahren herangezogen.



➤ Abb. 2.17.1: Lastverformungskurve eines Druck- und Zugstabes



➤ Abb. 2.17.2: Kräfteverteilung im K-Knoten der Prüfvorrichtung

Wichtiger Hinweis:

Obwohl bei der Bemessungspraxis von Hohlprofilkonstruktionen der Bauteilnachweis und der Knoten- bzw. Verbindungstragfähigkeitsnachweis in zwei unterschiedlichen Stufen erfolgen, ist es sinnvoll und empfehlenswert, bei der Wahl der Stabquerschnitte die besonderen Bedürfnisse im Knotenbereich zu berücksichtigen, da die spezielle Problematik tragender Hohlprofile vorzugsweise im Bereich ihrer Anschlüsse und Verbindungen liegt. Es ist daher wichtig, dass sich der Planer und der Bemessungsingenieur eines Hohlprofiltragwerkes von Anfang an über die Tragfähigkeit von Knoten und Verbindungen Gedanken machen. Zum Beispiel kann die Bemessung eines Fachwerkträgers aus Hohlprofilen nur auf der Basis der Stabstatik zu unerwünschter Versteifung von Knoten führen. Dies bedeutet jedoch nicht, dass eine detaillierte Knotenbemessung bereits in der Konzeptphase vorliegen muss. Es ist allerdings wichtig, dass die Gurt- und Füllstabdimensionen so gewählt werden, dass die maßgebenden Knotenparameter z. B.:

- γ Durchmesser- bzw. Breite-zu-Wanddicken-Verhältnis,
- τ Wanddickenverhältnis,
- β Durchmesser- bzw. Breitenverhältnis,
- g Spaltweite,
- λ Überlappungsverhältnis λ_{ov} und
- θ Anlaufwinkel der Füllstäbe

eine adäquate Knoten Tragfähigkeit ergeben.



➤ Abb. 2.18: Versuche an einem Gesamtfachwerk in Pisa

3 Hohlprofile unter Druckbeanspruchung

Wie die Gegenüberstellung der statischen Eigenschaften von Querschnittsformen (siehe Abb. 2.1) zeigt, ist das Verhalten von kreisförmigen und rechteckigen Hohlprofilen unter Druckbeanspruchung wesentlich günstiger als das der offenen Profile. Dies ist damit begründet, dass der Trägheitsradius i von Hohlprofilen bei gleicher Masse größer ist (alle Querschnittsteile liegen „außen“). Das Ergebnis stellt einen niedrigen Schlankheitsgrad λ dar, der zu einer höheren Knickfestigkeit führt.

Ein zweiter Grund liegt in der ungleich höheren Drillsteifigkeit von Hohlprofilen, ausgedrückt durch das Torsionsträgheitsmoment, das ca. 100 - 1000-fach größer ist als bei offenen Walzprofilen.

Dadurch kann der Nachweis des Biegedrillknickens für Hohlprofile entfallen.

Für Hohlprofile wird nur Biegeknicken berücksichtigt.

Tabelle 3.1: Nachweisverfahren für die Tragsicherheit von Hohlprofilen unter Druckbeanspruchung

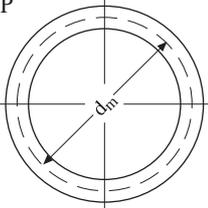
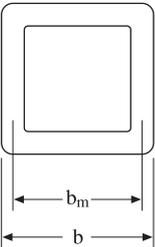
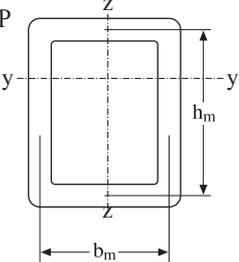
Verfahren	Berechnung der Schnittgrößen nach	Berechnung des Querschnittswiderstandes	MSH-Querschnittsklasse
Plast.-Plast.	Fließgelenktheorie	Plastisch	1
Elast.-Plast.	Elastizitätstheorie	Plastisch	2
Elast.-Elast.	Elastizitätstheorie	Elastisch	3

3.1 Hohlprofil-Querschnittsklassifikation

Ausreichende Tragsicherheit kann wahlweise nach einem in der Tabelle 3.1 angegebenen Verfahren nachgewiesen werden.

In Tabelle 1.2 werden die b/t - und d/t -Grenzen für die verschiedenen Querschnittsklassen, Querschnittsformen und Beanspruchungsverteilungen angegeben bzw. geben darüber hinaus die Querschnittsklassen für typische Hohlprofile des Werkstoffs S 460 an.

Tabelle 3.2: Schnittgrößen bei Vollplastizierung von MSH unter der Annahme $H \gg d_m, h_m, b_m \gg t$ und bei Vernachlässigung von Kantenrundungen

MSH	Plastisches Biegemoment $M_{pl} = W_{pl} \cdot f_{y,k}$ oder f_y	Plastische Querkraft Q_{pl}	Formfaktor $\alpha = \frac{W_{pl}}{W_{el}}$
<p>KHP</p> 	$t \cdot d_m^2 \cdot (f_{y,k} \text{ od. } f_y)$	$2 \cdot t \cdot d_m \cdot \frac{f_{y,k} \text{ od. } f_y}{\sqrt{3}}$	$\frac{4}{\pi} = 1,273$
<p>QHP</p> 	$\frac{3}{2} \cdot t \cdot b_m^2 \cdot (f_{y,k} \text{ od. } f_y)$	$2 \cdot t \cdot b_m \cdot \frac{f_{y,k} \text{ od. } f_y}{\sqrt{3}}$	$\frac{9}{8} = 1,125$
<p>RHP</p> 	$M_{pl,y} = \left(t \cdot b_m \cdot h_m + \frac{1}{2} t \cdot h_m^2 \right) (f_{y,k} \text{ od. } f_y)$ $M_{pl,z} = \left(t \cdot b_m \cdot h_m + \frac{1}{2} t \cdot b_m^2 \right) (f_{y,k} \text{ od. } f_y)$	$2 \cdot t \cdot h_m \cdot \frac{f_{y,k} \text{ od. } f_y}{\sqrt{3}}$	$1 + \frac{1}{2} \frac{h_m}{b_m}$ $1 + \frac{1}{3} \frac{h_m}{b_m}$

Die Querschnittsklassen 1 und 2 sind für DIN EN 1993-1-8 [20] gültig. Tabelle 3.2 zeigt die vereinfachten Berechnungsformeln der Schnittgrößen bei Vollplastizierung von MSH.

3.2 Globales Knicken

3.2.1 Biegeknicken planmäßig mittig belasteter und planmäßig gerader einteiliger Stäbe mit gleichbleibendem Querschnitt und konstanter Druckbelastung

Für die Berechnung der Traglasten nach den bereits bekannten Normenwerken wird das Verfahren der „Knickspannungslinien“ verwendet. Zur Erstellung dieser Knickspannungslinien wurde eine große Anzahl von Knickversuchen (Abb. 3.1) mit verschiedenen Profilformen, darunter auch kreisförmige und rechteckige Hohlprofile, in vielen europäischen Ländern durchgeführt. Eine Simulations-

rechnung [12], veranlasst durch die Europäische Konvention für Stahlbau (EKS), beschrieb das Knicken unter Berücksichtigung struktureller Imperfektionen (Eigenspannungen, ungleichmäßige Verteilung der Streckgrenze) und geometrischer Imperfektionen (Lastausmitte, Ungeradheit der Stabachse) und führte zu einem Ergebnis, das durch die fünf dimensionslosen „Knickspannungslinien a₀, a-d“ dargestellt wird (siehe Abb. 3.2): Hierbei sind die Knickspannungslinien einzelnen Profilformen aufgrund ihrer unterschiedlichen Eigenspannungsverteilungen zugeordnet (siehe Tab. 3.3).

Der Tragsicherheitsnachweis kann für die maßgebende Ausweichung wie folgt geführt werden:

$$N_{Ed} \leq N_{b, Rd} \quad (3.1)$$

Dabei ist

N_{Ed} = Bemessungslast des Knickstabes (aus γ_F -facher Gebrauchslast)

$$N_{b, Rd} = \text{Grenzlast gegen Knicken des Stabes} \\ = \chi \cdot A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}} = \chi \cdot \frac{N_{pl}}{\gamma_{M1}} \quad (3.2)$$

Dabei ist

χ = Reduktionsfaktor aus den Knickspannungslinien in Abhängigkeit des bezogenen Schlankheitsgrads
 A = Querschnittsfläche des Hohlprofils
 f_y = Mindeststreckgrenze nach DIN EN 1993-1-1 (siehe Tab. 2.1).
 γ_{M1} = Teilsicherheitsbeiwerte (1,0 nach DIN EN 1993-1-1) bzw. 1,1 nach DIN EN 1993-1-1 NA

Der Reduktionsfaktor χ lässt sich mit dem Schlankheitsgrad λ analytisch bestimmen:

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

Dabei bedeutet

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

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A f_y}{N_{cr}}} = \frac{\lambda}{\lambda_1}$$

α Imperfektionsbeiwert für die maßgebende Knicklinie nach Tabelle 3.5

N_{cr} ideale Verzweigungslast für den maßgebenden Knickfall gerechnet mit den Abmessungen des Bruttoquerschnitts.

Der (bezogene) Schlankheitsgrad $\bar{\lambda}$ wird wie folgt bestimmt:

$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_1} \\ \text{mit } \lambda = \frac{L_{cr}}{i}$$

(L_{cr} = effektive Knicklänge, siehe Abschnitt 3.2.2;

i = Trägheitsradius =

I = Trägheitsmoment)

und der Eulersche Schlankheitsgrad (Schlankheit zur Bestimmung des Schlankheitsgrades):

$$\lambda_E \text{ oder } \lambda_1 = \pi \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 93,9 \cdot \epsilon$$

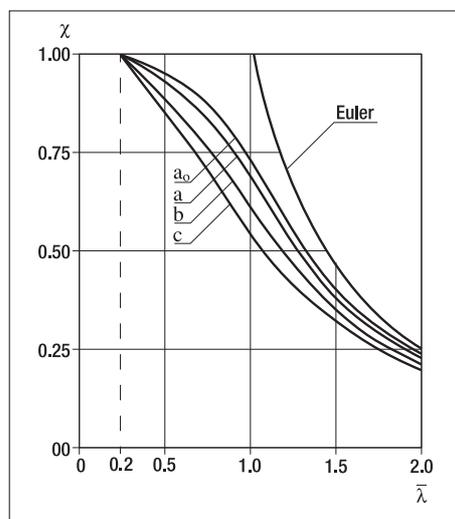
(E = Elastizitätsmodul des Stahls = 210.000 N/mm²)

Tabelle 3.3: Knickspannungslinien für MSH

MSH	Herstellungsprozess	Knickspannungslinie
  	Warmformgebung	a für S 235 - S 420 a ₀ für S 460 - S 690



➤ Abb. 3.1: Knickversuch in Lüttich



➤ Abb. 3.2: Knickspannungslinien

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{L_{cr}^2} = \text{ideale Verzweigungslast}$$

$$L_{cr} = l \cdot \beta$$

β = Knicklängenbeiwert vergleiche 3.2.2

Bei Schlankheitsgraden

$$\bar{\lambda} \leq 0,2$$

oder für

$$\frac{N_{ed}}{N_{cr}} \leq 0,04$$

darf der Knicknachweis entfallen, und es sind nur Querschnittsnachweise zu führen.

Tabelle 3.4: Eulerscher Schlankheitsgrad λ_E oder λ_1 für die Baustähle nach Tabellen [4] bzw. [11]

Stahlsorte	Tabelle [4]		Tabelle [11]					
	St 37	St 52	S 235	S 275	S 355	S 420	S 460	S 690
$f_{y,k}$ [4] bzw. f_y [11] N/mm ²	240	360	235	275	355	420	460	690
λ_a oder λ_E	92,9	75,9	93,9	86,8	76,4	70,2	67,1	54,8

Tabelle 3.5: Imperfektionsfaktor α

	warmgefertigte MSH-Profile		kaltgefertigte Hohlprofile
Stahlsorte	S 235 - S 420	S 460 - S 690	alle
Knicklinie	a	a ₀	c
Imperfektionsfaktor α	0,21	0,13	0,49

3.2.2 Knicklängen

Die effektive Knicklänge L_{cr} früher S_k des Druckbauteils, mit beiden Enden wirksam in seitlicher Position gehalten, kann auf der sicheren Seite liegend gleich der Systemlänge l angenommen werden. Einige Beispiele anderer Endenbedingungen werden mit den entsprechenden Knicklängenbeiwerten β in Abbildung 3.3 gezeigt.

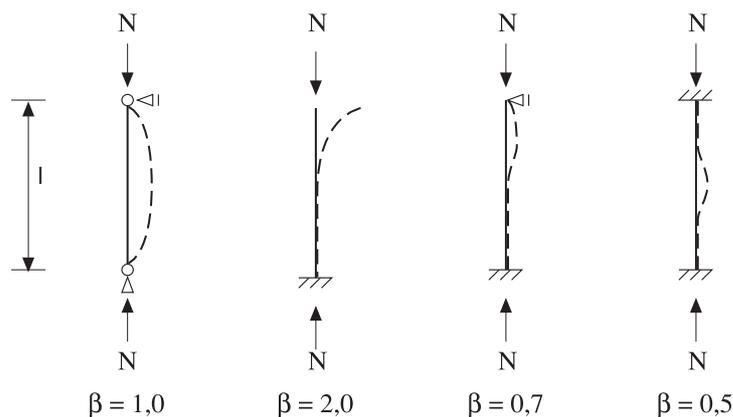
Effektive Knicklänge $L_{cr} = \beta \cdot l$

In Fachwerken mit unmittelbar zusammengeschnittenen Gurt- und Füllstäben sind die Stäbe in den Knotenpunkten teilweise eingespannt. Diese teilweise Einspannung führt zu einer Reduktion der Systemlänge l .

3.2.2.1 Knicklängen in Fachwerken nach Eurocode 3 [3]

Gurtstäbe aus Hohlprofilen:
Knicken in und aus der Fachwerkebene:
 $L_{cr} = 0,9 \cdot l$

Angeschweißte Füllstäbe aus Hohlprofilen:
Knicken in und aus der Fachwerkebene:
 $L_{cr} = 0,75 \cdot l$
unter der Voraussetzung, dass es sich um parallele Gurte handelt und das Verhältnis der Füllstabdurchmesser (bzw. -breite) zum Gurtdurchmesser (bzw. -breite) den Regelungen der EN 1993-1-8 entspricht.



➤ Abb. 3.3: Knicklängenbeiwerte

Sofern die Gültigkeit kleinerer Werte nachgewiesen werden kann, so können auch diese verwendet werden. Nähere Angaben hierzu finden sich z. B. in [13]

3.2.2.2 Knicklängen in Fachwerken nach Empfehlungen der Autoren

Bei der Berechnung von Fachwerken aus MSH-Profilen kommt neben der reinen Stabmessung dem Knoten tragfähigkeitsnachweis eine besondere Bedeutung zu. Es ist daher wenig sinnvoll bei der Stabmessung so günstige Annahmen zu treffen, dass sich derart kleine Füllstababmessungen ergeben, die später den

Knoten nachweis nicht bestehen. Aus Erfahrung ergeben sich günstige Stabquerschnitte, wenn folgende Knicklängen berücksichtigt werden: Knicklänge für alle Stäbe (Gurte und Füllstäbe) in und aus der Ebene:
 $L_{cr} = 0,9 \cdot l$.

3.2.3 Nachweisverfahren für Biegeknicken mit einachsiger/zweiachsiger Biegung

Das Verfahren für einachsige Biegung ist identisch mit dem für zweiachsige Biegung, wobei lediglich der Beiwert $k_z = 0$ angenommen wird.

Durch Biegung und Druck beanspruchte Bauteile der Querschnittsklassen 1 und 2 müssen den folgenden Stabilitätsnachweisen genügen [24]:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot A \cdot f_y / \gamma_{M1}} + k_y \frac{M_{y,Ed}}{W_{pl,y} \cdot f_y / \gamma_{M1}} + 0,6 k_z \frac{M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_y / \gamma_{M1}} \leq 1 \tag{3.6}$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot A \cdot f_y / \gamma_{M1}} + 0,6 k_y \frac{M_{y,Ed}}{W_{pl,y} \cdot f_y / \gamma_{M1}} + k_z \frac{M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_y / \gamma_{M1}} \leq 1 \tag{3.7}$$

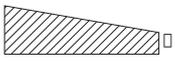
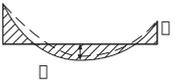
mit den Hilfsgrößen

$$k_{yy} = c_{m,y} \left(1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot A \cdot f_y / \gamma_{M1}} \right) \text{ mit } k_{yy} \leq 1 + 0,8 \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot A \cdot f_y / \gamma_{M1}} \tag{3.8}$$

$$k_{zz} = c_{m,z} \left(1 + (\bar{\lambda}_z - 0,2) \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot A \cdot f_y / \gamma_{M1}} \right) \text{ mit } k_{zz} \leq 1 + 0,8 \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot A \cdot f_y / \gamma_{M1}} \tag{3.9}$$

und den Momentenbeiwerten C_m nach der folgenden Tabelle:

Tabelle 3.6: Momentenbeiwerte C_m für MSH der Querschnittsklasse 1 und 2

Momentenverlauf	Bereich		C_{my} und C_{mz}	
			Gleichlast	Einzellast
	$-1 \leq \psi \leq 1$		$0,6 + 0,4 \psi \geq 0,4$	
$\alpha_s = \frac{M_s}{M_h}$ 	$0 \leq \alpha_s \leq 1$	$-1 \leq \psi \leq 1$	$0,2 + 0,8\alpha_s \geq 0,4$	$0,2 + 0,8\alpha_s \geq 0,4$
	$-1 \leq \alpha_s < 0$	$0 \leq \psi \leq 1$	$0,1 - 0,8\alpha_s \geq 0,4$	$-0,8\alpha_s \geq 0,4$
$-1 \leq \psi < 0$		$0,1(1 - \psi) - 0,8\alpha_s \geq 0,4$	$0,2(-\psi) - 0,8\alpha_s \geq 0,4$	
$\alpha_h = \frac{M_h}{M_s}$ 	$0 \leq \alpha_h \leq 1$	$-1 \leq \psi \leq 1$	$0,95 + 0,05\alpha_h$	$0,90 + 0,10\alpha_h$
	$-1 \leq \alpha_h < 0$	$0 \leq \psi \leq 1$	$0,95 + 0,05\alpha_h$	$0,90 + 0,10\alpha_h$
		$-1 \leq \psi < 0$	$0,95 + 0,05\alpha_h(1 + 2\psi)$	$0,90 + 0,10\alpha_h(1 + 2\psi)$

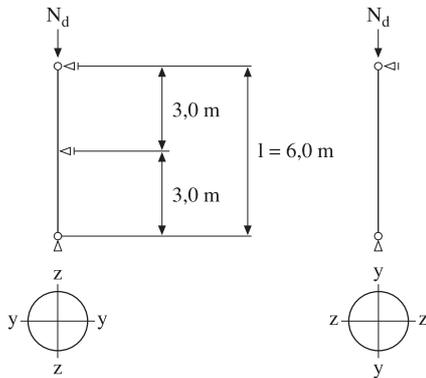
Für Bauteile mit Knicken in Form seitlichen Ausweichens sollte der äquivalente Beiwert für ein gleichförmiges Moment als $C_{my} = 0,9$ beziehungsweise $C_{Mz} = 0,9$ angenommen werden.

C_{my} , C_{mz} und C_{mLT} sind unter Berücksichtigung der Momentenverteilung zwischen den maßgebenden seitlich gehaltenen Punkten wie folgt zu ermitteln:

Momentenbeiwert	Biegeachse	In der Ebene gehalten
C_{my}	y-y	z-z
C_{mz}	z-z	y-y

Zentrischer Druck | Profil: KHP / Werkstoff: S355

3.2.4 Berechnungsbeispiele für Biegeknicken von Hohlprofilstützen



► Abb. 3.4: Stütze unter mittiger Druckkraft

3.2.4.1 Beispiel planmäßig zentrischer Druck | Profil: KHP / Werkstoff: S355

⇨ *Belastung* $N_{Ed} = 1950 \text{ kN}$

⇨ *Knicklänge* $L_{cr,y} = 6,0 \text{ m}$
 $L_{cr,z} = 3,0 \text{ m}$

⇨ *Gewählt* MSH-Profil
 $\varnothing 219,1 \times 16,0$
 $A = 102,0 \text{ cm}^2$
 $i = 7,20 \text{ cm}$

MSH-Profil S 355 J2H gem. EN 10 210,
 $f_y = 355 \text{ N/mm}^2 = 35,5 \text{ KN/cm}^2$

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i} = \frac{600}{7,20} = 83,3$$

$$\bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_E} = \frac{83,3}{76,4} = 1,09$$

$$\rightarrow \chi_y = 0,6029$$

(siehe Abb. 3.2)

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i} = \frac{300}{7,20} = 41,67$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_E} = \frac{41,67}{76,4} = 0,55$$

$$\rightarrow \chi_z = 0,9080$$

(siehe Abb. 3.2)

Achse y maßgebend ⇨ Nachweis

$$N_{Ed} = 1950 \text{ kN} \leq \frac{\chi_y \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}}$$

$$= \frac{0,6029 \cdot 102 \cdot 355}{10 \cdot 1,1} = 1984 \text{ kN}$$

mit $\gamma_{M1} = 1,1$

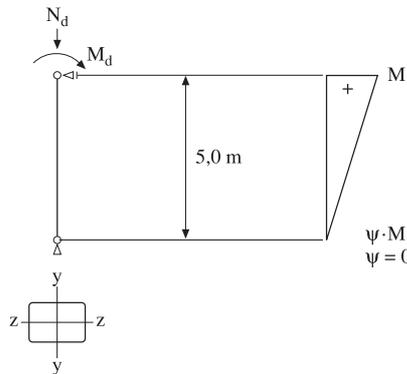
--> Nachweis erfüllt

3.2.4.2 Druck und einachsige Biegung | Profil: RHP / Werkstoff: S355

⇨ **Belastungen** $N_{Ed} = 386 \text{ kN}$
 (γ_F - fache Lasten) $M_{Ed} = 20 \text{ kNm}$

⇨ **Knicklänge** $L_{cr,y} = L_{cr,z} = 5,0 \text{ m}$

⇨ **Gewählt** MSH 180 x 100 x 8,8 mm
 $A = 45,4 \text{ cm}^2$
 $i_y = 6,38 \text{ cm}; i_z = 3,98 \text{ cm}$
 $W_{pl,y} = 259 \text{ cm}^3;$
 $W_{pl,z} = 170 \text{ cm}^3$



➤ **Abb. 3.5: Stütze unter Druckkraft und einachsiger Biegung**

Ständige Last $N_G = 175 \text{ kN}$
 Veränderliche Last $N_Q = 150 \text{ kN}$
 Veränderliches Randmoment $M_R = 13 \text{ kNm}$

$$N_{Ed} = \gamma_{F,G} \cdot N_G + \gamma_{F,Q} \cdot N_Q = 1,35 \cdot 175 + 1,5 \cdot 100 \approx 386 \text{ kN}$$

$$M_{Ed} = \gamma_{F,Q} \cdot M_R = 1,5 \cdot 13 \approx 20 \text{ kNm}$$

Werkstoff: S 355 J2H gem. EN 10 210,

$$f_y = 355 \text{ N/mm}^2$$

$$\lambda_y = 78,4$$

$$\bar{\lambda}_y = 1,03 \rightarrow \chi_y = 0,6446$$

(siehe Abb. 3.2)

Achse y-y:

Momentenbeiwerte C_M gem. Tabelle 3.6

$$\psi = 0$$

$$\rightarrow C_{my} = 0,6 + 0,4 \cdot \psi = 0,6 \geq 0,4$$

$$k_y = 1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot A \cdot f_y / \gamma_{M1}}$$

$$= 1 + (1,03 - 0,2)$$

$$\cdot \frac{386}{0,6446 \cdot 45,4 \cdot 35,5 / 1,1}$$

$$= 1,340 \leq 1 + 0,8 \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot A \cdot f_y}$$

$$= 1,327$$

$$\rightarrow k_y = 1,327 \cdot 0,6 = 0,796$$

Nachweis:

Achse y-y:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot A \cdot f_y / \gamma_{M1}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{W_{pl,y} \cdot f_y / \gamma_{M1}}$$

$$= \frac{386}{0,6446 \cdot 45,4 \cdot 35,5 / 1}$$

$$+ 0,796 \cdot \frac{20 \cdot 100}{259 \cdot 35,5 / 1}$$

$$= 0,60 \leq 1,0$$

→ Nachweis erfüllt

Achse z-z:

$$\lambda_z = \frac{i_b}{i_z} = \frac{500}{3,98} = 125,63$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_E} = \frac{125,63}{76,4} = 1,64$$

$$\rightarrow \chi_z = 0,3191$$

Nachweis:

$$\frac{N_{Ed} \cdot \gamma_{M1}}{\chi_z \cdot A \cdot f_y / \gamma_{M1}} = 0,6 \cdot \frac{M_{y,Ed}}{W_{pl,y} \cdot f_y}$$

$$= \frac{386 \cdot 1}{0,3191 \cdot 45,4 \cdot 35,5}$$

$$= 0,94 < 1$$

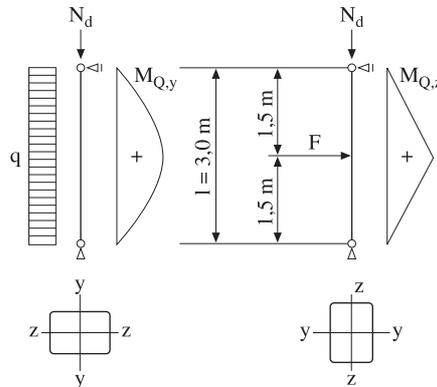
→ Nachweis erfüllt

3.2.4.3 Druck und zweiachsiges Biegung | Profil: RHP / Werkstoff: S355

↪ **Belastungen** $N_d = 250 \text{ kN}$
 (γ_F -fache Lasten) $M_{Q,y} = 12 \text{ kNm}$
 $M_{Q,z} = 30 \text{ kNm}$

↪ **Knicklänge** $s_{k,y} = s_{k,z} = 3,0 \text{ m}$

↪ **Gewählt** MSH - Profil
 200 x 120 x 10 mm
 $A = 58,9 \text{ cm}^2$
 $i_y = 7,17 \text{ cm}$; $i_z = 4,75 \text{ cm}$
 $W_{pl,y} = 379 \text{ cm}^3$;
 $W_{pl,z} = 263 \text{ cm}^3$



Ständige Last:

$N_G = 140 \text{ kN}$

Veränderliche Last:

$N_Q = 45 \text{ kN}$

$F_Q = 27 \text{ kN}$

$q_Q = 8 \text{ kN/m}$

$$N_d = \gamma_{F,G} \cdot N_G + \gamma_{F,Q} \cdot N_Q = 1,35 \cdot 140 + 1,35 \cdot 45 \approx 250 \text{ kN}$$

$$M_{Q,y} = \gamma_{F,Q} \cdot \frac{q_Q \cdot l^2}{8} = 1,35 \cdot \frac{8 \cdot 3^2}{8} = 12 \text{ kNm}$$

$$M_{Q,z} = \gamma_{F,Q} \cdot \frac{F_Q \cdot l}{4} = 1,35 \cdot \frac{27 \cdot 3}{4} = 30 \text{ kNm}$$

Werkstoff: S 355 J2H gem. EN 10 210,
 $f_y = 355 \text{ N/mm}^2$

Bezogene Schlankheiten:

$$\lambda_y = \frac{l_{b,y}}{i_y} = \frac{300}{7,17} = 41,84$$

$$\lambda_1 = 76,4$$

$$\bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} = \frac{41,84}{76,4} = 0,55$$

$$\rightarrow \chi_y = 0,9080$$

$$\lambda_z = \frac{l_{b,z}}{i_z} = \frac{300}{4,76} = 63,03$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} = \frac{63,03}{76,4} = 0,827$$

$$\rightarrow \chi_z = 0,778$$

Bestimmung der Beiwerte:

$$k_y = \left(1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot A \cdot f_y / \gamma_{M1}} \right) C_{m,y} = \left(1 + (0,55 - 0,2) \frac{250}{0,908 \cdot 58,9 \cdot 355/1} \right) \cdot 0,9 = 0,998 \leq 1,060$$

$$k_z = \left(1 + (\bar{\lambda}_z - 0,2) \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot A \cdot f_y / \gamma_{M1}} \right) \cdot m_z = \left(1 + (0,827 - 0,2) \frac{250}{0,778 \cdot 58,9 \cdot 355/1} \right) \cdot 0,95 = 0,994 \leq 1,021$$

Momentenbeiwerte C_M gem. Tabelle 3.6

$$M_n = 0 \quad \rightarrow a_H = 0$$

$$\rightarrow C_{m,z} = 0,95 \text{ (Gleichlast)}$$

$$\rightarrow C_{m,y} = 0,90 \text{ (Einzellast)}$$

Nachweis:

Achse y-y:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot A \cdot f_y / \gamma_M} + k_y \cdot \frac{M_{y,Ed}}{W_{pl,y} \cdot f_y / \gamma_{M1}} + 0,6 \cdot k_z \frac{M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_y} = \frac{250}{0,908 \cdot 58,9 \cdot 355/1} + 0,998 \cdot \frac{1200}{379 \cdot 355/1} + 0,6 \cdot 0,994 \cdot \frac{3000}{263 \cdot 355/1} = 0,144 + 0,098 + 0,211 = 0,45$$

→ Nachweis erfüllt

Achse z-z:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot A \cdot f_y / \gamma_M} + 0,6 \cdot k_y \frac{M_{y,Ed}}{W_{pl,y} \cdot f_y / \gamma_{M1}} + k_z \frac{M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_y / \gamma_M} = \frac{250}{0,778 \cdot 58,9 \cdot 355/1} + 0,6 \cdot 0,998 \cdot \frac{1200}{379 \cdot 355/1} + 0,994 \cdot \frac{3000}{263 \cdot 355/1} = 0,168 + 0,059 + 0,351 = 0,58 \leq 1$$

→ Nachweis erfüllt

4 Hohlprofile unter Torsionsbeanspruchung

Hohlprofile zeichnen sich durch ihre wesentlich größere Drillsteifigkeit als offene Profile aus (siehe Abb. 2.1). Sie beträgt etwa das 100- bis 1000-fache gegenüber I, C, L etc.

Eine genaue Analyse des Tragverhaltens torsionsbeanspruchter Hohlprofile führt in das Gebiet der höheren Festigkeitslehre. Der Einfachheit halber werden sie in der Praxis als wölbfrei angenommenen quadratischen bzw. kreisförmigen Hohlprofile unter den folgenden Voraussetzungen nach der St. Venantschen Torsionstheorie berechnet, wobei die aus Wölbbehinderung und Profilverformung resultierenden Zusatzspannungen in Längs- und Querrichtung des Profils vernachlässigt werden:

- Die Querschnittsform wird erhalten durch Anbringung von Steifen oder Schotten an den Lasteinleitungsstellen (ohne Aussteifungen kann in bestimmten Fällen die Tragfähigkeit eines Hohlprofils überschätzt werden).
- Es besteht ein konstantes Torsionsmoment.
- Es besteht ein reiner Schubspannungszustand; keine Normalspannung und Dehnung vorhanden.

Diese Methode kann man ohne Annahme der Wölbfreiheit von Hohlprofilen (ohne Schotten und Steifen im Lasteinleitungsquerschnitt) nicht verwenden, da hierbei nicht nur die St. Venantsche Torsionsschubspannung, sondern auch Wölbschubspannungen entstehen.

Auf der Basis der St. Venantschen Torsionstheorie werden die Torsionsschubspannungen wie folgt ermittelt:

Ein auf einen Stab wirkendes Torsionsmoment M_T verdreht die zwei im Abstand l voneinander liegenden Querschnittsflächen gegeneinander. Der Verdrehwinkel verhält sich proportional zur Stablänge l und errechnet sich aus:

$$U = \frac{M_T \cdot l}{I_T \cdot G}$$

im Gradmaß $U = \frac{M_T \cdot l}{I_T \cdot G} \cdot \frac{180}{\pi}$ (4.1)

Dabei ist
 M_T = Torsionsmoment in Ncm
 l = Stablänge in cm
 I_T = Torsionsträgheitsmoment in cm^4
 G = Schubmodul in N/cm^2

$$= \frac{E}{2(1+\nu)} = \frac{21 \cdot 10^6}{2(1+0,3)}$$

$$= 8,1 \cdot \text{N/cm}^2 \cdot 10^6$$

E = Elastizitätsmodul = $21 \cdot 10^6 \text{ N/cm}^2$
 ν = Querkontraktionszahl = 0,3

Es gilt das Hookesche Gesetz im elastischen Bereich. Mit Hilfe des Bredtschen Satzes wird die Torsionsspannung wie folgt berechnet:

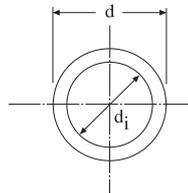
$$\max \tau = \frac{M_T}{W_T} < \frac{f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}}$$

(nach DIN EN 1993-1-1) (4.3)

W_T = Torsionswiderstandsmoment

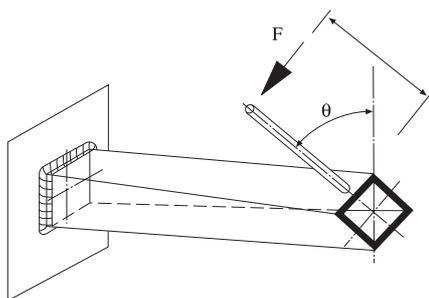
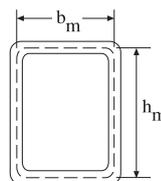
Für KHP:

$$W_T = \frac{\pi}{16} \frac{d^4 - d_i^4}{d}$$



Für RHP:

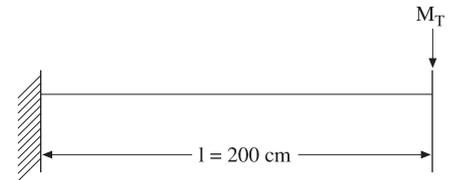
$$W_T \approx 2 A_m \cdot t, \text{ wobei } A_m \sim h_m \cdot b_m$$



➤ Abb. 4.1: Torsionsbeanspruchung eines Hohlprofils

4.1 Torsion | Profil: QHP / Werkstoff: S355

Berechnungsbeispiel



Belastungsmoment: $M_T = 400 \text{ kNcm}$

Gewählt: $70 \times 70 \times 5,0$
 Werkstoff: S 355 J2H nach EN 10210

Torsionswiderstandsmoment
 $70 \cdot 70 \cdot 5,0$; $h_m = b_m = 6,5 \text{ cm}$
 $W_T = 2 \cdot 6,5^2 \cdot 0,5 = 42,3 \text{ cm}^3$

St. Venantscher Drillwiderstand
 $I_T = 142 \text{ cm}^4$ (nach EN 10210-2)

Torsionsspannung:

$$\tau_{Ed} = 9,46 < \frac{f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}}$$

$$= \frac{35,5}{1,732 \cdot 1,0} = 20,50 \text{ kN/cm}^2$$

(nach DIN EN 1993-1-1)

→ Nachweis erfüllt

Verdrehwinkel:

$$\theta = \frac{M_T \cdot l \cdot 180}{I_T \cdot G \cdot \pi} = \frac{400 \cdot 10^3 \cdot 200 \cdot 180}{142 \cdot 8,1 \cdot 10^6 \cdot \pi} = 3,99^\circ$$

4.2 Biegedrillknicken

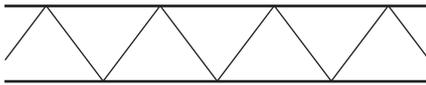
Für Hohlprofile aller Querschnittsklassen kann das Biegedrillknicken unberücksichtigt bleiben.

5 Ebene Fachwerke aus MSH-Profilen

Wie in Kapitel 3 bereits beschrieben, sind die Hohlprofile (sowohl kreisförmig als auch rechteckig) im Hinblick auf die Druck- und Torsionsbeanspruchung den offenen Profilen überlegen (siehe Abb. 2.1). Unter Zugbeanspruchung sind sie gleichwertig. Als Biegeträger unter einachsiger Beanspruchung ist das I-Profil etwas tragfähiger als das Einzelhohlprofil. Es ist daher zweckmäßig, Fachwerke aus Hohlprofilen einzusetzen, da die Bauteile in einer Fachwerkkonstruktion grundsätzlich unter Axialzug oder -druck beansprucht werden.

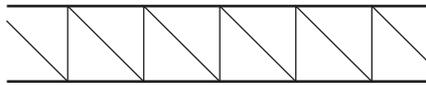
Unter den in Abbildung 5.8 gezeigten, häufig angewendeten Knotentypen werden vornehmlich zwei Grundtypen von ebenen Fachwerken aus MSH konstruiert:

1. Strebenfachwerk (K-Knoten)



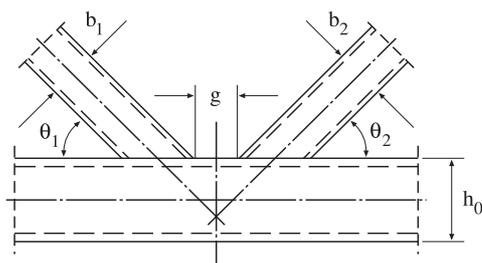
wirtschaftlich günstige Konstruktion

2. Pfostenfachwerk (N-Knoten)

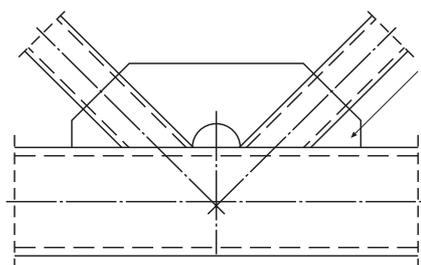


wirtschaftlich weniger günstige Konstruktion

► Abb. 5.1.1

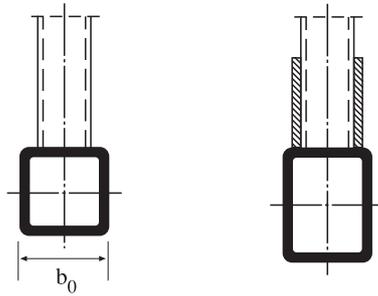


Korrosionsschutztechnisch günstige Konstruktion



Korrosionsschutztechnisch ungünstige Konstruktion, darum Öffnung im Knotenblech

► Abb. 5.1.2: Detailkonstruktion im Hinblick auf Korrosion



► Abb. 5.1.3: Raum für Wasser- und Schneesäcke

Fertigungstechnisch und gemäß dem Einsatz des Korrosionsschutzes sind die geschweißten Hohlprofilfachwerke mit Verbindungen ohne Knotenblech und Anschluss- oder Versteifungsplatte am wirtschaftlichsten (siehe Abb. 5.1.2).

Ferner ist unter dem Gesichtspunkt der Minimierung der Knotenpunkte, die den Fabrikationsaufwand herabsetzt, der Einsatz der Strebenfachwerke (mit K-Knoten) weitaus günstiger. Da Hohlprofile nicht nur größere Knickfestigkeit besitzen, sondern auch durch ihre außergewöhnliche Torsionssteifigkeit andere Instabilitätserscheinungen wie Drillknicken, Biegedrillknicken oder Kippen verhindern, erlauben sie große freie Knicklängen für die Stäbe der Strebenfachwerke. Die Anzahl der Unterteilungen der Spannweite wird durch die größeren freien Knicklängen der Stäbe verkleinert. Das Ergebnis ist die Minimierung der Knotenanzahl. Bei Pfostenfachwerken wird dieses vorteilhafte Verhalten von Hohlprofilen nicht ausreichend ausgenutzt.

Fachwerke sind durch Spannweite l und Höhe h , Fachwerkgeometrie und Abstände der Knotenpunkte charakterisiert. Eine Vergrößerung von h reduziert die Belastung im Gurtstab, aber erhöht andererseits die wirksamen Knicklängen von Diagonalstäben. Üblicherweise liegt das Verhältnis l/h zwischen 10 und 16. Belastungen werden vorzugsweise auf den Knotenpunkten angebracht. Die Schweißnahtanschlüsse zwischen Gurt- und Füllstäben erfolgen häufig lediglich mit einer umlaufenden Kehlnaht bzw. in bestimmten Fällen über den Umfang aus Kehl- und Stumpfnah oder aus beider Kombinationen. Grundsätzlich sind die Schweißnähte auf Bauteilkapazität zu bemessen, damit die Knoten ausreichende Duktilität aufweisen. Zum

Thema „Schweißen von Hohlprofilen“ wird in der Druckschrift „Technische Information Nr. 3“ ausführlicher berichtet. Beispielhaft wird hier in Abbildung 5.4 die Schweißnahtausführung bei einem Rechteckhohlprofilknoten gezeigt.

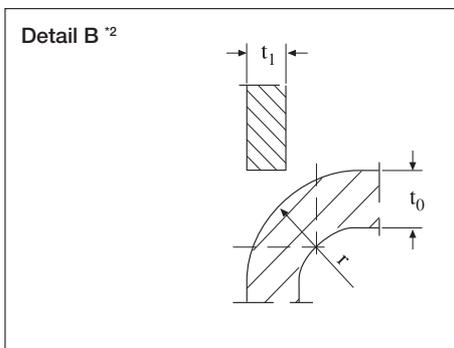
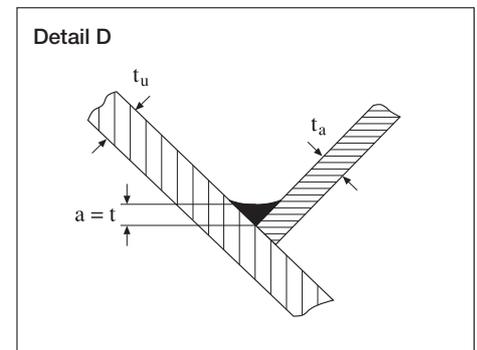
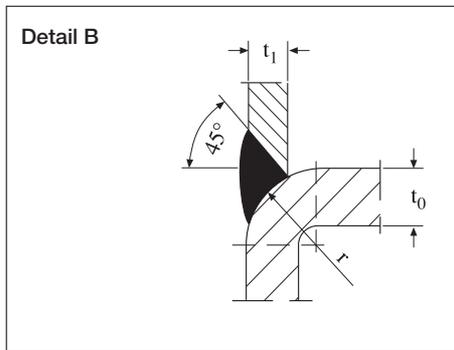
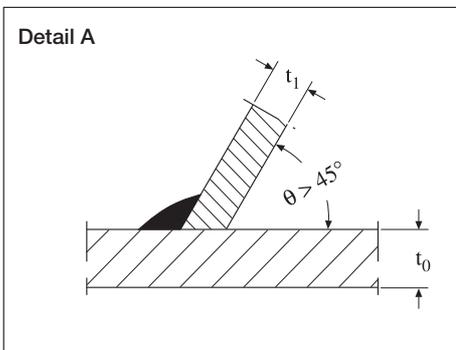
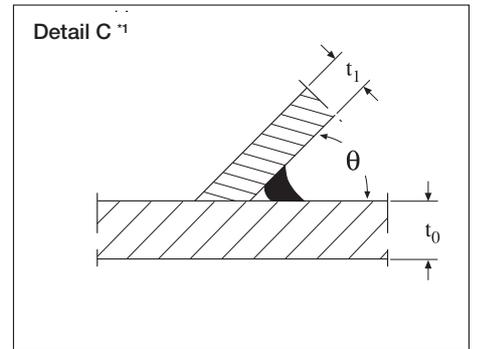
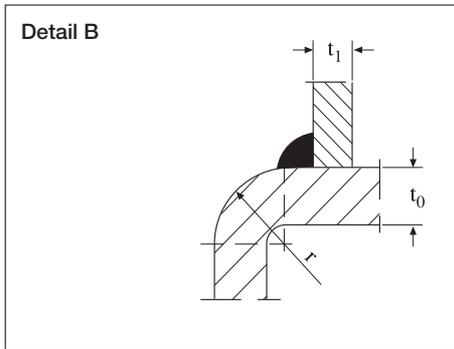
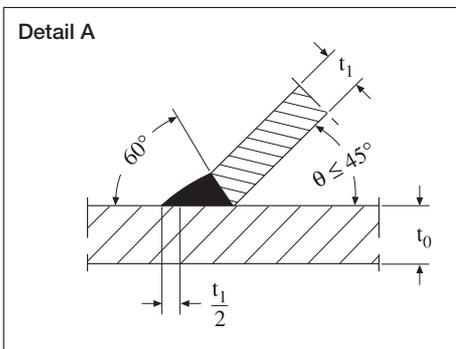
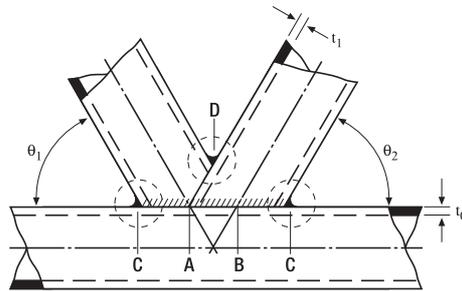
Wie Abbildung 2.11 zeigt, werden die Fachwerke mit der Annahme bemessen, dass die Lasten in die Knoten eingeleitet und nur als Axialkräfte (Zug und Druck) in den Stäben übertragen werden. In Fachwerken aus Hohlprofilen jedoch werden üblicherweise Gurtstäbe durchlaufen und Füllstäbe an die Gurtstäbe angeschweißt. Die entstehenden sekundären Biegemomente werden unter der Annahme vernachlässigt, dass Stäbe und Knoten ausreichende Verformungs- und Rotationskapazität besitzen und durch Plastizität diese Momente umverteilen können. Die Berechnungsverfahren der Knoten Tragfähigkeit nach DIN EN 1993-1-8 [20] erfüllen diese Bedingung innerhalb ihrer Gültigkeitsbereiche.

Beispielhaft werden in Abbildung 5.2 und Abbildung 5.3 Anwendungen für runde und eckige MSH-Profile dargestellt.



➤ Abb. 5.2: Ebener PREON® box Fachwerkbinder aus MSH-Profilen in einem Flugzeughangar.

➤ Abb. 5.3: Ebener Fachwerkbinder aus runden MSH-Profilen in einer Messehalle



*1 je kleiner θ , desto schwieriger die Erfassung des theoretischen Wurzelpunktes

*2 Bei dickwandigen Hohlprofilen (ab circa 10 mm) kann ein zu großer Spalt auftreten.

- Konstruktive Lösungsmöglichkeiten:
- Wahl eines dickeren Füllstabes
 - Wahl einer kleineren Außenabmessung des Füllstabes
 - Der Füllstab ist weiter nach unten zu führen, wobei jedoch teilweises Ausbrennen erforderlich wird.

➤ Abb. 5.4: Schweißnahtausbildung bei Anschlüssen von Rechteck-Hohlprofilen untereinander

5.1 Knotenexzentrizitäten

Es ist allgemein üblich, die Hohlprofilstäbe in einem Fachwerk so anzuordnen, dass sich die Mittelachsen im Knoten in einem Punkt schneiden (Exzentrizität $e = 0$). Trotzdem sind aus fertigungstechnischen Gründen manchmal Knotenexzentrizitäten nicht zu vermeiden.

Definition der Exzentrizität e siehe Abbildung 5.5.

Momente, die aus Knotenexzentrizitäten resultieren, dürfen bei der Bemessung von zugbeanspruchten Gurten und Füllstäben vernachlässigt werden. Bei der Bemessung druckbeanspruchter Gurte sind sie jedoch immer zu berücksichtigen. Bei der Bemessung von Anschlüssen (Knotenberechnung) können sie vernachlässigt werden, wenn folgende Grenzen eingehalten sind:

$$-0,55 \leq \frac{e}{h_0} \text{ bzw. } \frac{e}{d_0} \leq 0,25$$

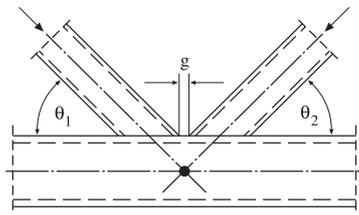
Werden die Bedingungen zur Vernachlässigung der Exzentrizitätsmomente nicht eingehalten, so sind die druckbeanspruchten Gurtstäbe auf Biegebeanspruchung zu untersuchen. Dabei wird wegen der meist relativ geringen Steifigkeit der Füllstäbe das primäre Biegemoment nur auf den Gurtstab verteilt (Abb. 5.6).

$$N_0 = N_1 \cdot \cos \theta_1 + N_2 \cdot \cos \theta_2 + N_p$$

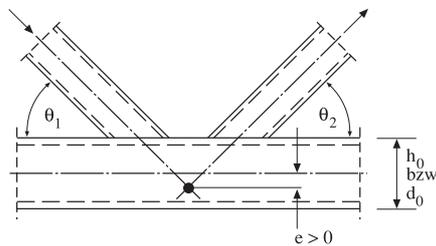
N_0 = maximale Druckkraft im Gurtstab im Knotenpunkt
 N_p = Gurtkraft im anlaufenden Gurtstab

Das Gesamt-Exzentrizitätsmoment ist:
 $M_0 = (N_0 - N_p) \cdot e$

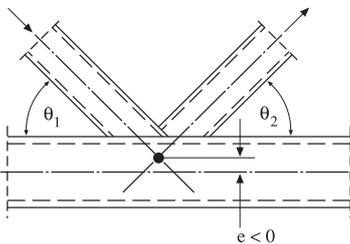
Dieses Moment wird auf die beiden Gurtstäbe je zur Hälfte aufgeteilt:
 $M_1 = M_2 = M_0/2$.



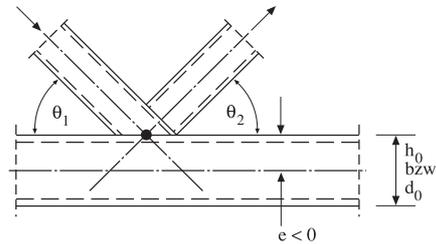
Spaltknoten mit $e = 0$



Spaltknoten mit $e > 0$

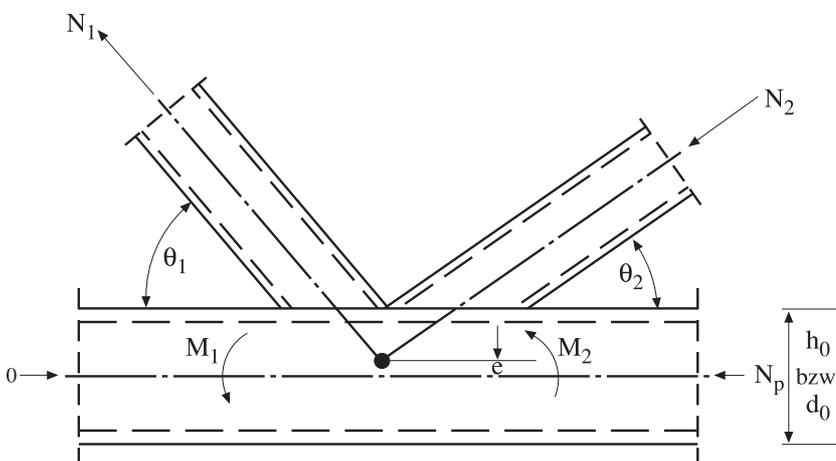


Teilüberlappte Knoten mit $e < 0$



Vollüberlappte Knoten mit $e < 0$

➤ Abb. 5.5: Knotenexzentrizitäten



➤ Abb. 5.6: Verteilung des Exzentrizitätsmomentes im Gurtstab

Beim Stabnachweis für den Druckgurt sind Exzentrizitätsmomente mithilfe der nachfolgenden Interaktion zu berücksichtigen.

$$\frac{N_{0,Ed} \cdot \gamma_{M1}}{\chi \cdot A_0 \cdot f_{y0}} + k \cdot \frac{M_1 \cdot \gamma_{M1}}{W_{pL,0} \cdot f_{y0}}$$

mit

k: siehe Gleichung 3.8 bzw. 3.9 aus Abschnitt 3.2.2

C_m : Tabelle 3.6

$\gamma_{M1} = 1,0$ (sofern im Nationalen Anwendungsdokument (NAD) kein anderer Wert vorgeschrieben wird)

Deutschland:

$\gamma_{M1} = 1,1$ nach [19]

5.2 Vorgehensweise bei Entwurf und Bemessung von MSH-Fachwerkträgern

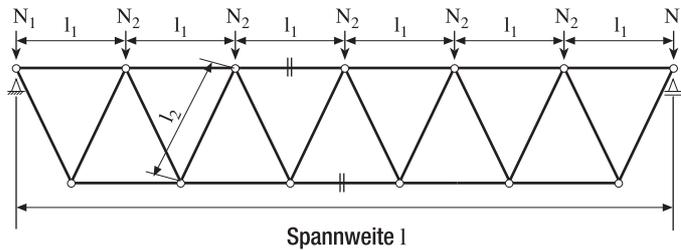
Zur Bemessung eines ebenen Fachwerkträgers aus MSH sind folgende Schritte zu unternehmen, um zu einer technisch und wirtschaftlich sinnvollen Konstruktion zu gelangen:

1. Festlegung der Trägere geometrie

Für eine optimale Ausbildung eines Hohlprofilfachwerks ist die zu wählende Geometrie der entscheidende Einflussparameter, dies gilt sowohl für die wirtschaftliche Bemessung und spätere Ausführung als auch für die Gebrauchstauglichkeit (Verformungen) und die ästhetische Gestaltung der Konstruktion. Daraus folgt, dass die Systemhöhe des Fachwerks etwa $1/15$ der Spannweite betragen sollte. Zur Ausfachung sollten vorzugsweise Füllstäbe mit steigenden und fallenden Diagonalen gewählt werden. Der Anschlusswinkel θ zwischen Gurt- und Füllstab sollte vorzugsweise zwischen 35° und 50° liegen. Damit werden einerseits die statischen Vorteile der Hohlprofile genutzt, andererseits wird die Knotenzahl reduziert, und damit werden die Fertigungskosten gesenkt.

2. Bestimmung der Lastannahmen

Wenn möglich, sollten die Lasten zusammengefasst werden und in den Knotenpunkten angreifen.



l_1 = Pfettenabstand

○ = Gelenk

N_1, N_2 = äußere Lasten

l_2 = Systemlänge der Füllstäbe || = Schweiß- bzw. Schraubstoß

➤ Abb. 5.7: Entwurf eines ebenen MSH-Fachwerkträgers

3. Stabkraftermittlung

Die Bestimmung der Stabkräfte erfolgt unter der Annahme gelenkiger Knoten mit Exzentrizität $e = 0$

➔ Auch bei Druckstäben ermöglicht S 460 durch die Einordnung in die bessere Knickspannungslinie in einem Fachwerk vorteilhafte Auswirkungen.

4. Erstes Festlegen der Gurtstäbe

Hierbei sollten bereits die Anforderungen an die Gestaltfestigkeit der Knoten berücksichtigt werden: Möglichst dickwandige Gurte und dünnwandige Füllstäbe. Als Faustformel für die Auswahl der Gurtstäbe kann gelten:

➔ Höhere Stahlkennwerte von S 460 erhöhen die Knotentragfähigkeit eines Fachwerkes.

Bei der Bemessung der Druckgurtstäbe sind außerdem die effektiven Knicklängen zu berücksichtigen:

Für KHP: $\frac{b_0}{t_0} < 30$

Für RHP: $\frac{b_0}{t_0} < 25$

Nach Eurocode 3 [6, 23]

$L_{cr} = 0,9 \cdot l_1$ (siehe Abschnitt 3.2.2)

5. Festlegen der Füllstäbe unter Berücksichtigung der Axiallast

Hierbei sollen folgende Punkte beachtet werden:

➔ Die Wanddicken der Füllstäbe sollen vorzugsweise geringer als die des Gurtstabes sein.

➔ Bei sich überlappenden Füllstäben (siehe Abb. 2.14) ist die Breite des untergesetzten Füllstabes \geq der Breite des aufgesetzten Füllstabes.

➔ Die Wanddicke des untergesetzten Füllstabes sollte ebenfalls größer als die des aufgesetzten Füllstabes sein.

Aus Fabrikationsgründen, aber auch vom ästhetischen Standpunkt her, ist es angebracht, die Außenabmessung des Gurtes konstant zu halten. Selbst eine Abstufung der Gurtwanddicke ist nur in Sonderfällen sinnvoll.

Bei der Bemessung der Fachwerkstäbe kommt der Wahl der Stahlsorte eine besondere Bedeutung zu. Hierbei sind die Gültigkeitsbedingungen der jeweiligen Berechnungsnormen zu beachten.

Aus folgenden Gründen wird empfohlen, den Einsatz der Stahlgüte S 460 statt S 355 in Erwägung zu ziehen:

➔ Die Streckgrenze von S 460 ist 30 % höher als die von S 355 bzw. annähernd 100% höher, als die von S 235. Diese höhere Streckgrenze kann insbesondere von Zugstäben voll genutzt werden.

Wirksame Knicklänge von Druck-Füllstäben:

Nach DIN EN 1993-1-1 [3]:
 $l_{cr} = 0,75 l_2$ (falls Bedingungen des Eurocodes 3 erfüllt sind, siehe Abschnitt 3.2.2.1)

Nach unserer Empfehlung:
 $l_{cr} = 0,9 \cdot l_2$

6. Reduzierung von Füllstababmessungen auf einige wenige Abmessungen (sogar auf nur zwei), um die Anzahl der notwendigen Profilgrößen zu minimieren. Aus ästhetischen Gründen ist es angebracht, Füllstäbe einer einzigen Breite zu bevorzugen (falls nötig, mit unterschiedlichen Wanddicken).

7. Es ist besonders wichtig

bei der Wahl der Profilabmessungen und Stahlgüten (sowohl für Gurt- als auch für Füllstäbe) die Verfügbarkeit zu berücksichtigen.

8. Festlegung von Knotengeometrie und Knotenkonfiguration

unter Berücksichtigung folgender Punkte:

→ Spalt (Abb. 2.12), Teil- und Vollüberlappung (Abb. 2.14):

Aus Sicht der Fabrikation her ist der Knoten mit Spalt am wirtschaftlichsten. Eine volle Überlappung gewährleistet eine einfachere Herstellung als die Teilüberlappung und ergibt eine noch größere Tragfähigkeit als der Knoten mit Spalt.

→ Überprüfung von Knotengeometrie und Parametern (geometrische Größen sowie Verhältnisse γ , β , τ , g , λ_{ov} , θ) zur Bestimmung der Knoten Tragfähigkeit.

Diese müssen innerhalb der Gültigkeitsbereiche liegen, die in Tabelle 7.1 und 7.8 nach EN 1993.1.8 angegeben sind. Dadurch wird gewährleistet, dass die Sekundärbiegemomente wegen der Formsteifigkeit eines Knotens vernachlässigt werden können.

9. Berechnung von Knoten Tragfähigkeiten

Falls die Knoten Tragfähigkeit nicht ausreichend ist, werden Knotenkonfiguration (z. B. Überlappung statt Spalt) und/oder Füll- und/oder Gurtstababmessungen geändert. Normalerweise brauchen nur einige Knoten überprüft zu werden (meist an Unterstützungen).

10. Überprüfung der Knotengeometrie

bezüglich der Exzentrizitäten, siehe hierzu Abschnitt 5.2.

11. Falls erforderlich,

ist die Tragwerkdurchbiegung unter Gebrauchslasten (ohne γ_F -Faktor) und unter Verwendung korrekter Lastpositionen zu überprüfen. Binder mit Spaltknoten werden unter der Annahme gelenkig wirkender Knoten berechnet. Bei durchgehend überlappten Knoten wird die Berechnung unter der Annahme biegesteifer, durchlaufender Gurte mit gelenkigen Knoten unter Berücksichtigung von Exzentrizitätsmomenten durchgeführt.

12. Schweißnahtnachweis

Siehe Technische Information 3 [17].

5.3 Nachweis der Knoten Tragfähigkeit nach Eurocode 3

Dieser Abschnitt behandelt die Gestaltfestigkeit von geschweißten Knoten aus MSH-Profilen in ebenen und räumlichen Fachwerken. Für gemischte Konstruktionen aus MSH-Profilen und offenen Profilen wird auf Abschnitt 7.6 der DIN EN 1993-1-8 verwiesen.

Die Angaben beziehen sich auf Tragwerke unter vorwiegend ruhender Beanspruchung. Für entsprechende Regelungen bei schwingend beanspruchten Konstruktionen wird auf DIN EN 1993-1-9 verwiesen [30]. Die Knoten Tragfähigkeit unter vorwiegend ruhender Beanspruchung wird als Grenzkraft bzw. Grenzmoment der Fachwerkfüllstäbe angegeben.

5.3.1 Gültigkeitsbereich

Die in den folgenden Abschnitten angegebenen Anwendungsregeln gelten nur bei Einhaltung der folgenden Bedingungen:

- Es dürfen nur Hohlprofile der Querschnittsklassen 1 und 2 nach DIN EN 1993-1-1 verwendet werden. Dies gilt für alle im MSH-Lieferprogramm aufgeführten Abmessungen (MSH Technische Information).
- Der Nennwert der Wanddicke sollte 2,5 mm nicht unterschreiten; dies ist bei allen MSH-Profilen der Fall. Aus Korrosionsschutzgründen sollten die Wanddicken ohnehin mindestens 3 mm betragen. Bei Wanddicken oberhalb 25 mm sind geeignete Prüfungen zur Sicherstellung der Werkstoffeigenschaften in Dickenrichtung zu fordern und durchzuführen.
- Es dürfen nur Stähle mit einem Nennwert der Streckgrenze bis 460 N/mm² eingesetzt werden. Hierbei ist zu beachten, dass bei Stählen mit einem Streckgrenzenennwert größer als 355 N/mm² die im Folgenden angegebenen Tragfähigkeiten um 10 % reduziert werden müssen. Für Stähle mit einer Streckgrenze größer 460 N/mm² gilt DIN EN 1993-1-12 [26]: Zusätzliche Regeln zur Erweiterung der EN 1993 auf Stahlsorten bis S700)
- Der Anschlusswinkel θ , zwischen Gurt- und Füllstab bzw. zwischen den Füllstäben untereinander sollte mindestens 30° betragen.
- Die Querschnittsform der MSH-Profile muss auch im Knotenbereich unverändert beibehalten werden. Knoten mit abgeflachten bzw. angedrückten Enden werden hier nicht behandelt.
- Bei Knoten mit Spalt sollte die Spaltweite g genügend Platz für das Anbringen der Schweißnähte lassen:
 $g \geq t_1 + t_2$ bzw. $g \geq 10 \text{ mm}$
- Bei Knoten mit Überlappung sollte der Überlappungsgrad mindestens 25 % betragen.

→ Wenn bei überlappten Knoten Füllstäbe mit unterschiedlichen Wanddicken und/oder Streckgrenzen verwendet werden, sollte der Stab mit dem geringeren Wert $t_i \cdot f_i$ den anderen überlappen.

→ Wenn bei überlappten Knoten Füllstäbe mit unterschiedlichen Breiten verwendet werden, so sollte der Stab mit der geringeren Breite den anderen überlappen.

→ Die Nachweise gelten für die in Abbildung 5.8 dargestellten Knotentypen.

→ Die sekundären Biegemomente im Knoten können vernachlässigt werden.

→ Das primäre Biegemoment aus der Knotenexzentrizität kann unberücksichtigt bleiben, falls die Bedingung

$$-0,55 \leq \frac{e}{h_0} \text{ bzw. } \frac{e}{d_0} \leq 0,25$$

erfüllt wird.

→ Der Teilsicherheitsbeiwert für die Knotenlast ist $\gamma_{M5} = 1,0$

5.3.2 Versagensformen

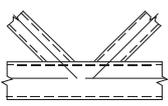
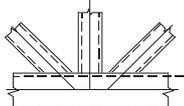
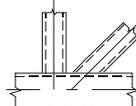
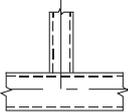
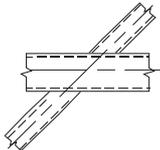
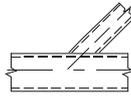
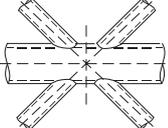
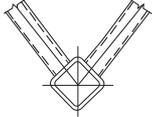
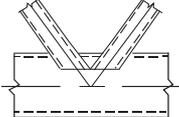
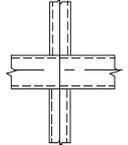
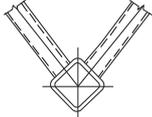
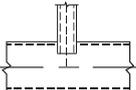
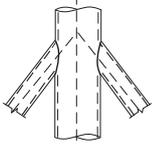
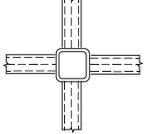
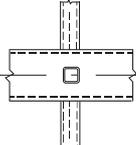
Wie die theoretischen Modellberechnungen und die praktischen Traglastversuche gezeigt haben, treten unter unterschiedlichen Konstellationen der Profilart, des

Knotentyps und der geometrischen Parameter ($\beta, \gamma, \tau, g, \lambda_{ov}, \theta$) unterschiedliche Versagensarten auf (siehe Abb. 5.9 und 5.10):

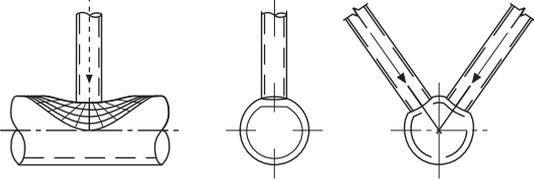
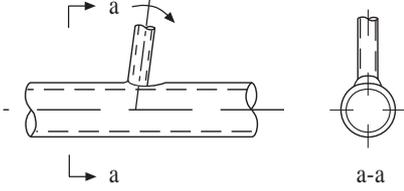
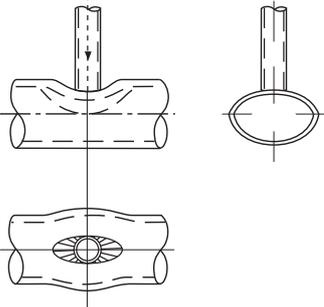
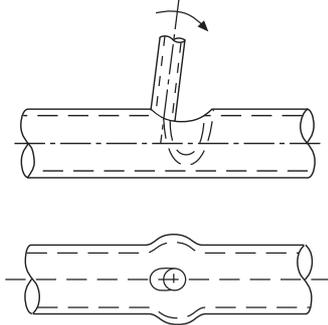
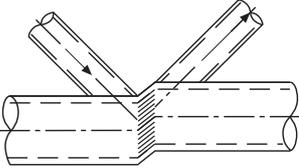
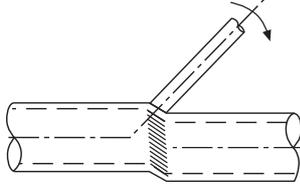
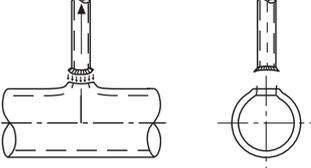
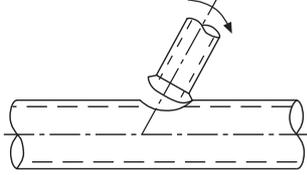
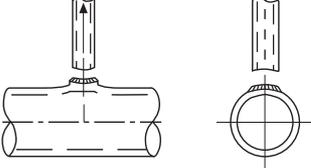
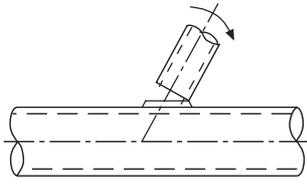
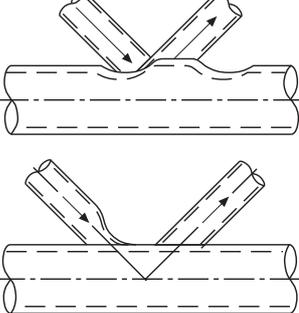
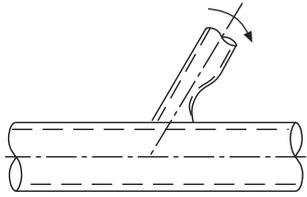
- a) Flanschversagen des Gurtstabes
- b) Seitenwandversagen des Gurtstabes
- c) Abscheren des Gurtstabes
- d) Durchstanzen
- e) Versagen der Strebe
- f) Lokales Beulversagen

5.3.3 Schweißnähte

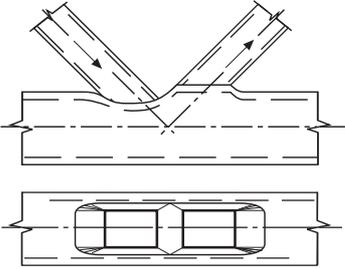
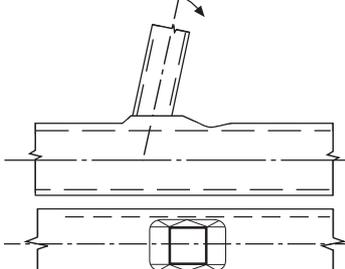
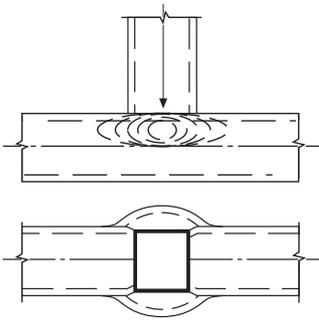
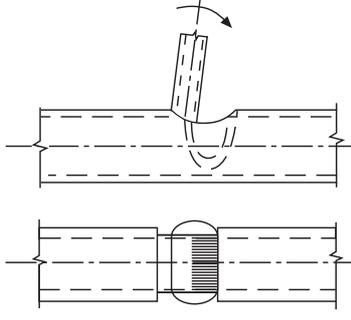
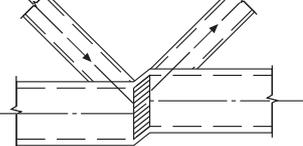
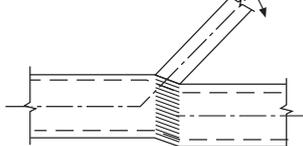
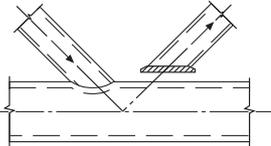
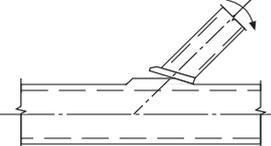
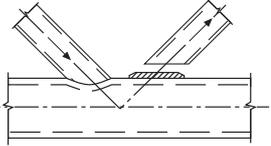
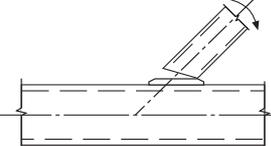
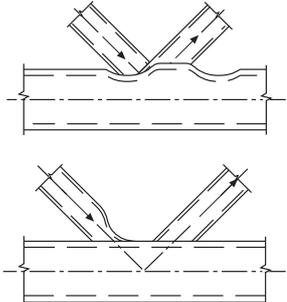
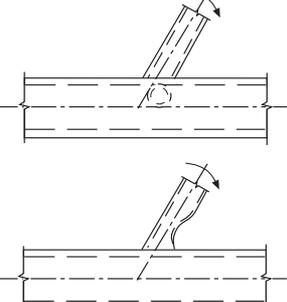
Die Schweißnahtdicke a ist in der Regel gleich der anlaufenden Strebenwanddicke t auszuführen, d. h. $a = t$. Eine kleinere Schweißnahtdicke ist dann zulässig, wenn sie sowohl im Hinblick auf die Tragfähigkeit als auch auf die Verformungs- und Rotationskapazität gerechtfertigt werden kann.

		
K-Anschluss	KT-Anschluss	N-Anschluss
		
T-Anschluss	X-Anschluss	Y-Anschluss
		
DK-Anschluss	KK-Anschluss	KK-Anschluss
		
X-Anschluss	TT-Anschluss	TT-Anschluss
		
DY-Anschluss	XX-Anschluss	XX-Anschluss

➤ Abb. 5.8: Knotentypen für Nachweis nach Eurocode 3

Form	Längskraft	Biegemoment
a		
b		
c		
d		
e		
f		

➤ Abb. 5.9: Versagensformen von Anschlüssen mit KHP Bauteilen

Form	Längskraft	Biegemoment
a		
b		
c		
d		
e		
f		

➤ Abb. 5.10: Versagensformen von Anschlüssen mit RHP Bauteilen

Ebene Knoten

5.3.4 Geschweißte KHP-Knoten

Sofern die geometrischen Abmessungen von geschweißten Anschlüssen innerhalb des Gültigkeitsbereichs von Tabelle 5.1 liegen, werden die Tragfähigkeiten nach den Formeln der Tabellen 5.2 bzw. 5.3 bestimmt. Hierbei braucht nur Flanschversagen des Gurtstabes und Durchstanzen betrachtet zu werden.

Die Knotentragfähigkeit ergibt sich als der kleinere dieser beiden Werte für die Grenzlängskräfte $N_{i,Rd}$.

Tabelle 5.1: Gültigkeitsgrenzen für geschweißte Knoten aus kreisförmigen Hohlprofilen [20]

$0,2 \leq \frac{d_i}{d_0} \leq 1,0$
$10 \leq \frac{d_i}{t_i} \leq 50$
$10 \leq \frac{d_0}{t_0} \leq 50$
$10 \leq \frac{d_0}{t_0} \leq 40$ für x-Knoten
$\lambda_{ov} \geq 25\%$
$g \geq t_1 + t_2$

Werden die Streben an den Anschlüssen durch Biegemomente und Längskräfte beansprucht, sollte folgende Interaktionsbiegung erfüllt sein:

$$\frac{N_{i,Ed}}{N_{i,Rd}} + \left[\frac{M_{ip,i,Ed}}{M_{ip,i,Rd}} \right]^2 + \frac{|M_{op,i,Ed}|}{M_{op,i,Rd}} \leq 1,0 \quad (5.15)$$

wobei:

- $M_{ip,i,Rd}$ Momententragfähigkeit des Anschlusses in der Ebene des Fachwerks
- $M_{ip,i,Ed}$ Bemessungsmoment in der Ebene des Fachwerks
- $M_{op,i,Rd}$ Momententragfähigkeit des Anschlusses rechtwinklig zur Ebene des Fachwerks
- $M_{op,i,Ed}$ Bemessungsmoment rechtwinklig zur Ebene des Fachwerks

Tabelle 5.2: Tragfähigkeit von geschweißten Knoten aus kreisförmigen Hohlprofilen (KHP Gurtstäbe und KHP Streben) [20]

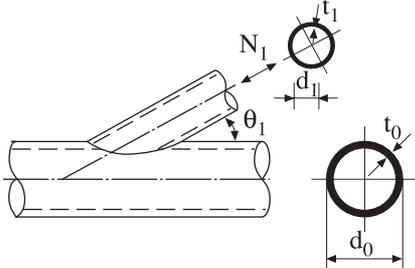
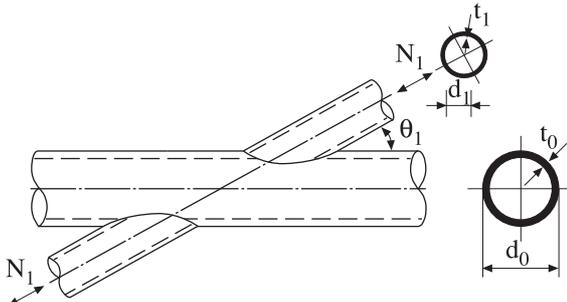
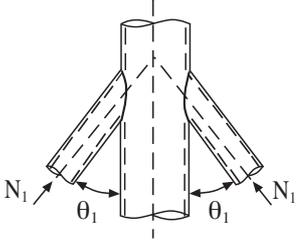
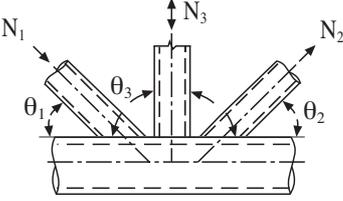
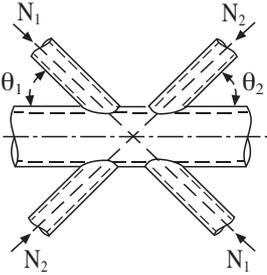
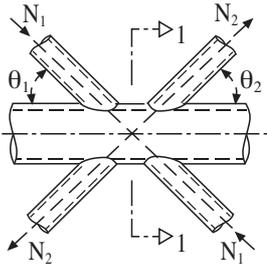
Flanschversagen des Gurtstabs	T- und Y-Anschlüsse
	$N_{1,Rd} = \frac{\gamma^{0,2} k_p f_{y0} t_0^2}{\sin \theta_1} \cdot (2,8 + 14,2 \beta^2) / \gamma_{M5}$
Flanschversagen des Gurtstabs	X-Anschlüsse
	$N_{1,Rd} = \frac{k_p f_{y0} t_0^2}{\sin \theta_1} \cdot \frac{5,2}{(1 - 0,81 \beta)} \cdot / \gamma_{M5}$

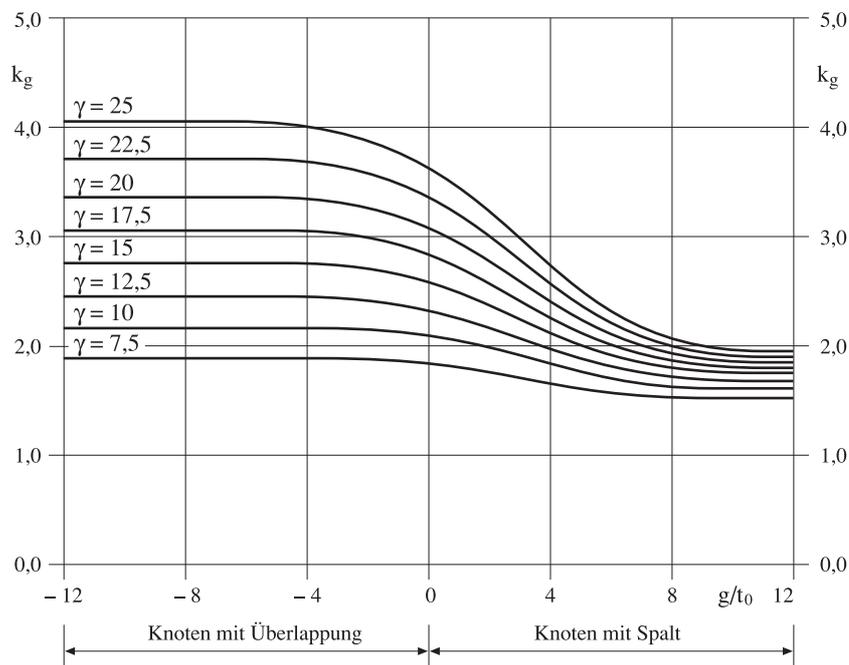
Tabelle 5.2 (Forts.) Tragfähigkeit von geschweißten Knoten aus kreisförmigen Hohlprofilen (KHP Gurtstäbe und KHP Streben) [20]

Flanschversagen des Gurtstabs	K- und N-Anschlüsse mit Spalt oder Überlappung
$N_{1,Rd} = \frac{k_g k_p f_{y0} \cdot t_0^2}{\sin \theta_1} \left(1,8 + 10,2 \frac{d_1}{d_0} \right) / \gamma_{M5}$ $N_{2,Rd} = \frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} \cdot N_{1,Rd}$	
<p>Durchstanzen K-, N- und T-Anschlüsse mit Spalt und alle T-, Y- und X-Anschlüsse [i = 1, 2 oder 3]</p>	
<p>Falls $d_i \leq d_0 - 2 t_0$: $N_{i,Rd} = \frac{f_{y0}}{\sqrt{3}} t_0 \pi d_i \frac{1 + \sin \theta_i}{2 \sin^2 \theta_i} / \gamma_{M5}$</p>	
<p>Faktoren k_g, k_p und β</p>	
<p>$k_g = \gamma^{0,2} \left(1 + \frac{0,024 \gamma^{1,2}}{1 + \exp(0,5g/t_0 - 1,33)} \right)$ (siehe Abb. 5.11) $\beta = \frac{d_i}{d_0}$</p>	
<p>Für $n_p > 0$ (Druck): $k_p = 1 - 0,3 n_p (1 + n_p)$ jedoch $k_p \leq 1,0$ Für $n_p \leq 0$ (Zug): $k_p = 1,0$ $n_p = \frac{f_p}{f_{y0}} = \frac{N_p}{A_0 \cdot f_{y0}} + \frac{M_0}{W_{el,0} \cdot f_{y0}}$</p>	

$\gamma_{M5} = 1,0$ sofern im Nationalen Anwendungsdokument (NAD) kein anderer Wert vorgeschrieben wird.
 Deutschland: $\gamma_{M5} = 1,0$ [31], d.h. keine andere Festlegung.

Tabelle 5.3: Bemessungskriterien für spezielle geschweißte Knoten aus kreisförmigen Hohlprofilen (KHP Gurtstäbe und KHP Streben) [20]

Anschlussstyp	Bemessungskriterien
<p>Die Kräfte können sowohl Zug- als auch Druckkräfte sein, jedoch in beiden Streben gleich.</p> 	$N_{1,Ed} \leq N_{1,Rd}$ <p>wobei $N_{1,Rd}$ entspricht dem Wert für $N_{1,Rd}$ eines X-Anschlusses</p>
<p>Druckkraft immer in Strebe 1 und Zugkraft immer in Strebe 2.</p> 	$N_{1,Ed} \sin\theta_1 + N_{3,Ed} \sin\theta_3 \leq N_{1,Rd} \sin\theta_1$ $N_{2,Ed} \sin\theta_2 \leq N_{1,Rd} \sin\theta_1$ <p>wobei $N_{1,Rd}$ entspricht dem Wert für $N_{1,Rd}$ eines K-Anschlusses, jedoch $\frac{d_1}{d_0}$ wird ersetzt durch:</p> $\frac{d_1 + d_2 + d_3}{3d_0}$
<p>In allen Streben einheitlich entweder Druck oder Zug.</p> 	$N_{1,Ed} \sin\theta_1 + N_{2,Ed} \sin\theta_2 \leq N_{x,Rd} \sin\theta_x$ <p>wobei $N_{x,Rd}$ entspricht dem Wert für $N_{x,Rd}$ eines X-Anschlusses wobei $N_{x,Rd} \sin\theta_x$ der größere der beiden folgenden Werte ist:</p> $ N_{1,Rd} \sin\theta_1 \text{ und } N_{2,Rd} \sin\theta_2 $
<p>Druckkraft immer in Strebe 1 und Zugkraft immer in Strebe 2.</p> 	$N_{i,Ed} \leq N_{i,Rd}$ <p>wobei $N_{i,Rd}$ entspricht dem Wert für $N_{i,Rd}$ eines K-Anschlusses aus Tabelle 7.2, vorausgesetzt, dass im Schnitt 1-1 von Anschlüssen mit Spalt für den Gurtstab gilt:</p> $\left[\frac{N_{0,Ed}}{N_{0,p(Rd)}} \right]^2 + \left[\frac{V_{0,Ed}}{V_{0,p(Rd)}} \right]^2 \leq 1,0$



► Abb. 5.11: Beiwert k_g aus Tabelle 5.2 [20]

5.3.5 Geschweißte Knoten mit quadratischen (QHP) Gurtstäben und KHP bzw. QHP Streben

Sofern die geometrischen Abmessungen von geschweißten Anschlüssen innerhalb des Gültigkeitsbereichs von Tabelle 5.4 liegen, werden die Tragfähigkeiten nach

den Formeln der Tabelle 5.5 bestimmt, andernfalls ist die Gestaltfestigkeit gleich der für rechteckige Gurtstäbe zu ermitteln (Tab. 5.6).

Es muss lediglich Flanschversagen des Gurtstabes und Versagen der Strebe mit reduzierter mitwirkender Breite

berücksichtigt werden. Als zulässige Tragkraft ist der kleinere von beiden Werten anzunehmen.

Werden die Streben an den Anschlüssen durch Biegemomente und Längskräfte beansprucht, ist in der Regel folgende Bedingung zu erfüllen:

$$\frac{N_{i,Ed}}{N_{i,Rd}} + \frac{M_{ip,i,Ed}}{M_{ip,i,Rd}} + \frac{M_{op,i,Ed}}{M_{op,i,Rd}} \leq 1,0 \quad (5.16)$$

wobei:

$M_{ip,i,Rd}$ Momenten­tragfähigkeit des Anschlusses in der Ebene des Fachwerks

$M_{ip,i,Ed}$ Bemessungsmoment in der Ebene des Fachwerks

$M_{op,i,Rd}$ Momenten­tragfähigkeit des Anschlusses rechtwinklig zur Ebene des Fachwerks

$M_{op,i,Ed}$ Bemessungsmoment rechtwinklig zur Ebene des Fachwerks

Das Bemessungsmoment $M_{i,Ed}$ kann am Anschnitt der Strebe und des Gurtstabflansches bestimmt werden.

Tabelle 5.4: Gültigkeitsgrenzen für geschweißte Knoten aus quadratischen oder kreisförmigen Hohlprofilstreben und quadratischen Hohlprofilgurtstäben [20]

Anschlussstyp	Anschlussparameter (i = 1 oder 2, j = überlappte Strebe)				
	b_i / b_0 oder d_i / b_0	b_i / t_i oder d_i / t_i Druck	Zug	b_0 / t_0	$(b_i + b_2) / 2 b_j$ oder Spaltweite oder b_i / b_j oder t_i / t_j Überlappungsgrad
T-, Y-, X-	$0,25 \leq b_i / b_0$	$b_i / t_i \leq 1,25 \sqrt{E/f_{yi}}$ und $b_i / t_i \leq 35$	$b_i / t_i \leq 35$	$10 \leq b_0 / t_0 \leq 35$	
K- und N mit Spalt	$b_i / b_0 \geq 0,35$ und $b_i / b_0 \geq 0,1 + 0,01 b_0 / t_0$	$b_i / t_i \leq 1,25 \sqrt{E/f_{yi}}$ und $b_i / t_i \leq 35$	$b_i / t_i \leq 35$	$15 \leq b_0 / t_0 \leq 35$	$0,6 \leq (b_i + b_2) / 2 b_j \leq 1,3$ aber $g/b_0 \geq 0,5 (1 - \beta)$, $g/b_0 \leq 1,5 (1 - \beta)$ $g \geq t_1 + t_2$
K- und N mit Überlappung	$b_i / b_0 \geq 0,25$	$b_i / t_i \leq 1,1 \sqrt{E/f_{yi}}$	$b_i / t_i \leq 35$	$b_0 / t_0 \leq 40$	$t_i / t_j \leq 1,0$ $b_i / b_j \geq 0,75$ $25\% \leq \lambda_{ov} \leq 100\%$
Kreisförmige Hohlprofilstreben	$0,4 \leq d_i / b_0 \leq 0,8$	$d_i / t_i \leq 1,5 \sqrt{E/f_{yi}}$	$d_i / t_i \leq 50$	Wie oben, aber ersetze b_i durch d_i	

Tabelle 5.5: Tragfähigkeit von geschweißten Knoten aus quadratischen Gurtstäben (QHP) und KHP oder QHP Streben [20]

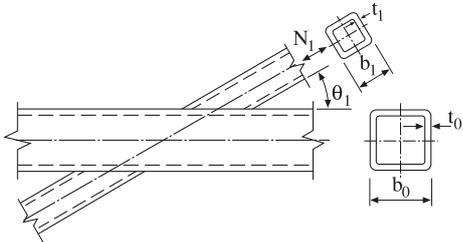
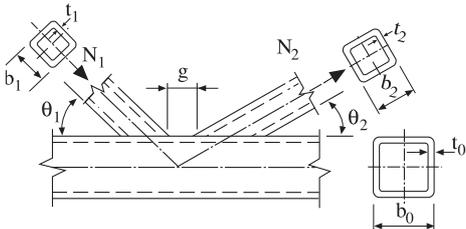
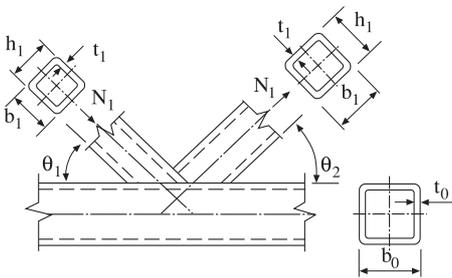
Anschlussstyp	Grenzlängskraft (i = 1 oder 2; j = überlappte Stäbe)	
T-, Y- und X-Anschlüsse	Flanschversagen des Gurtstabes	$\beta = \frac{b_1}{b_0} \leq 0,85$
		
$N_{i,Rd} = \frac{k_n f_{y0} \cdot t_0^2}{(1 - \beta) \sin \theta_1} \left(\frac{2 \beta}{\sin \theta_1} + 4 \sqrt{1 - \beta} \right) / \gamma_{M5}$		
K- und N-Anschlüsse mit Spalt	Flanschversagen des Gurtstabes	$\beta \leq 1,0$
		
$N_{i,Rd} = \frac{8,9 \gamma^{0,5} k_n f_{y0} t_0^2}{\sin \theta_1} \left(\frac{b_1 + b_2}{2 b_0} \right) / \gamma_{M5}$		

Tabelle 5.5 (Forts.): Tragfähigkeit von geschweißten Knoten aus quadratischen Gurtstäben (QHP) und KHP oder QHP Streben [20]

Anschlussstyp	Grenzlängskraft (i = 1 oder 2; j = überlappte Stäbe)	
K- und N- Anschlüsse mit Überlappung *)	Versagen der Strebe	$25\% \leq \lambda_{ov} < 50\%$
Druckkraft oder Zugkraft in Strebe i und Strebe j jedoch eine mit Druckkraft und die andere mit Zugkraft.	$N_{i,Rd} = f_{yi} t_i \left(b_{eff} + b_{e,ov} + \frac{\lambda_{ov}}{50} 2 h_i - 4 t_i \right) / \gamma_{M5}$	
	Versagen der Strebe	$50\% \leq \lambda_{ov} < 80\%$
	$N_{i,Rd} = f_{yi} t_i [b_{eff} + b_{e,ov} + 2 h_i - 4 t_i] / \gamma_{M5}$	
	Versagen der Strebe	$\lambda_{ov} \geq 80\%$
	$N_{i,Rd} = f_{yi} t_i [b_i + b_{e,ov} + 2 h_i - 4 t_i] / \gamma_{M5}$	



Parameter b_{eff} , $b_{e,ov}$ und k_n

Für $n > 0$ (Druck): $k_n = 1,3 - \frac{0,4n}{\beta}$ jedoch $k_n \leq 1,0$

$$b_{eff} = \frac{10}{b_0/t_0} \frac{f_{y0} t_0}{f_{yi} t_i} b_i, \quad \text{jedoch } b_{eff} \leq b_i$$

$$b_{e,ov} = \frac{10}{b_j/t_j} \frac{f_{yj} t_j}{f_{yi} t_i} b_i, \quad \text{jedoch } b_{e,ov} \leq b_i$$

Für $n \leq 0$ (Zug): $k_n = 1,0$

$$n = \frac{f_0}{f_{y0}} = \frac{N_0}{A_0 \cdot f_{y0}} + \frac{M_0}{W_{el,0} \cdot f_{y0}}$$

Für KHP Streben sind die obigen Grenzwerte mit $\pi/4$ zu multiplizieren, und b_1 und h_1 durch d_1 und b_2 und h_2 durch d_2 zu ersetzen.

*) Nur die überlappende Strebe i braucht nachgewiesen zu werden. Der Ausnutzungsgrad (d. h. Grenzlängskraft des Anschlusses dividiert durch plastische Grenzkraft der Strebe) der überlappten Strebe j ist in der Regel gleich dem Ausnutzungsgrad der überlappenden Strebe anzusetzen.

$\gamma_{M5} = 1,0$ sofern im Nationalen Anwendungsdokument (NAD) kein anderer Wert vorgeschrieben wird.
 Deutschland: $\gamma_{M5} = 1,0$ [31], d.h. keine andere Festlegung.

5.3.6 Geschweißte Knoten mit rechteckigen (RHP) Gurtstäben und KHP oder RHP Streben

Die Nachweise erfolgen nach den Tabellen 5.7, 5.8 sowie 5.9, sofern die Gültigkeitsbereiche nach Tabelle 5.6

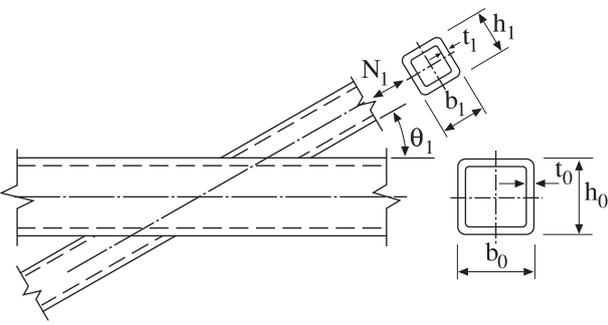
eingehalten werden. Bei einer Beanspruchung der Streben durch Biegemomente ist analog zu 5.3.5 zu verfahren.

Tabelle 5.6: Gültigkeitsgrenzen für geschweißte Knoten aus KHP- oder RHP-Füllstäben und RHP-Gurtstab [20]

Anschlussstyp	Anschlussparameter (i = 1 oder 2, j = überlappter Füllstab)				b ₀ /t ₀ , h ₀ /t ₀	Spalt/Überlappung b _i /b _j , t _i /t _j
	b _i /b ₀ , h _i /b ₀	b _i /t _i , h _i /t _i , d _i /t _i	Druck	Zug		
T, Y, X	≥ 0,25	≤ 1,25√E/f _{yi} ≤ 35	≤ 35	≥ 0,5 jedoch ≤ 2,0	≤ 35	
K und N mit Spalt	≥ 0,35 und ≥ 0,1 + 0,01 b ₀ /t ₀	≤ 1,25√E/f _{yi} ≤ 35	≤ 35	≥ 0,5 jedoch ≤ 2,0	≤ 35	g/b ₀ ≥ 0,5 (1 - β), jedoch ≤ 1,5 (1 - β)* g ≥ t ₁ + t ₂
K und N mit Überlappung	b _i /b ₀ ≥ 0,25	≤ 1,1 √E/f _{yi}	≤ 35	≥ 0,5 jedoch ≤ 2,0	≤ 40	λ _{ov} ≥ 25%, jedoch ≤ 100% t _i /t _j ≤ 1,0 b _i /b _j ≥ 0,75
KHP-Füllstäbe	d _i /b ₀ ≥ 0,4, jedoch ≤ 0,8	≤ 1,5 √E/f _{yi}	≤ 50	Beschränkung wie oben für d _i = b _i		

* Wenn g/b₀ > 1,5 (1 - β), Nachweis wie für T- oder Y-Knoten

Tabelle 5.7: Tragfähigkeit von geschweißten T-, X- und Y-Knoten mit RHP Gurtstäben und RHP oder KHP Streben [20]

Anschlussstyp	Grenzlängskraft [i = 1]
	<p>Flanschversagen des Gurtstabs β ≤ 0,85</p> $N_{i,Rd} = \frac{k_n f_{y0} t_0^2}{(1-\beta) \sin \theta_1} \left(\frac{2 \eta}{\sin \theta_1} + 4 \sqrt{1-\beta} \right) / \gamma_{M5}$
	<p>Seitenwandversagen des Gurtstabs ¹⁾ β = 1,0²⁾</p> $N_{i,Rd} = \frac{f_b t_0}{\sin \theta_1} \left(\frac{2 h_i}{\sin \theta_1} + 10 t_0 \right) / \gamma_{M5}$
	<p>Versagen der Strebe β ≥ 0,85</p> $N_{i,Rd} = f_{yi} t_i (2 h_i - 4 t_i + 2 b_{eff}) / \gamma_{M5}$
	<p>Durchstanzen 0,85 ≤ β ≤ (1 - 1/γ)</p> $N_{i,Rd} = \frac{f_{y0} t_0}{\sqrt{3} \sin \theta_1} \left(\frac{2 h_i}{\sin \theta_1} + 2 b_{e,p} \right) / \gamma_{M5}$

1) Für X-Anschlüsse mit θ < 90° ist der kleinere dieser Werte und der Grenzabscherkraft der Gurtstabseitenwände aus Tabelle 5.8 für K- und N-Anschlüsse mit Spalt zu nehmen.

2) Für 0,85 ≤ β ≤ 1,0 wird zwischen den Werten für Flanschversagen des Gurtstabes mit β = 0,85 und für Seitenwandversagen des Gurtstabes (Beulen der Seitenwand oder Abscherversagen) mit β = 1,0 linear interpoliert.

Tabelle 5.7 (Forts.): Tragfähigkeit von geschweißten T-, X- und Y-Knoten mit RHP Gurtstäben und RHP oder KHP Streben [20]

Für KHP Streben sind die obigen Grenzwerte mit $\pi/4$ zu multiplizieren, und b_1 und h_1 durch d_1 und b_2 und h_2 durch d_2 zu ersetzen.

Für Zug:

$$f_b = f_{y0}$$

$$b_{\text{eff}} = \frac{10}{b_0/t_0} \cdot \frac{f_{y0} t_0}{f_{yi} t_i} \cdot b_i \quad \text{jedoch } b_{\text{eff}} \leq b_i$$

Für Druck:

$$f_b = \chi f_{y0} \quad (\text{T- und Y-Anschlüsse})$$

$$f_b = 0,8 \chi f_{y0} \sin \theta_i \quad (\text{X-Anschlüsse})$$

$$b_{e,p} = \frac{10}{b_0/t_0} \cdot b_i, \quad \text{jedoch } b_{e,p} \leq b_i$$

wobei χ der Abminderungsfaktor für Biegeknicken nach prEN 1993-1-1 ist, unter Verwendung der maßgebenden Knickkurve und eines bezogenen Schlankheitsgrades $\bar{\lambda}$, gemäß:

$$\text{Für } n > 0 \text{ (Druck): } k_n = 1,3 - \frac{0,4n}{\beta}$$

$$\text{jedoch } k_n \leq 1,0$$

$$\text{Für } n \leq 0 \text{ (Zug): } k_n = 1,0$$

$$\bar{\lambda} = 3,46 \frac{\left(\frac{h_0}{t_0} - 2\right) \sqrt{\frac{1}{\sin \theta_i}}}{\pi \sqrt{\frac{E}{f_{y0}}}}$$

$$\beta = \frac{b_i}{b_0}$$

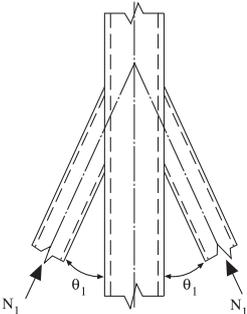
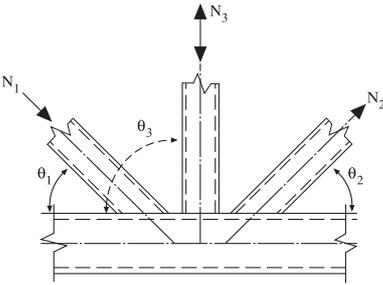
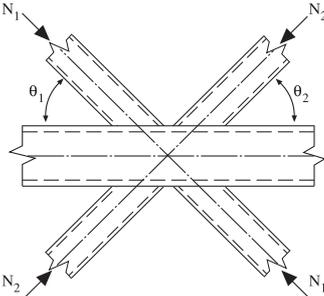
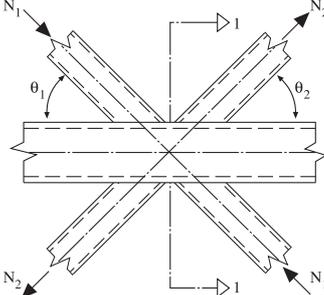
$\gamma_{M5} = 1,0$ sofern im Nationalen Anwendungsdokument (NAD) kein anderer Wert vorgeschrieben wird, Deutschland ebenfalls $\gamma_{M5} = 1,0$ [31]

Tabelle 5.8: Tragfähigkeit von geschweißten K- und N-Knoten mit RHP Gurtstäben und RHP oder KHP Streben [20]

Anschlussstyp	Grenzlängskraft [i = 1 oder 2]
K- und N-Anschlüsse mit Spalt	<p>Flanschversagen des Gurtstabs</p> $N_{i,Rd} = \frac{8,9k_n f_{y0} t_0^2 \sqrt{\gamma}}{\sin \theta_i} \left(\frac{b_1 + b_2 + h_1 + h_2}{4 b_0} \right) / \gamma_{M5}$ <p>Abscherversagen des Gurtstabs</p> $N_{i,Rd} = \frac{f_{y0} A_v}{\sqrt{3} \sin \theta_i} / \gamma_{M5}$ $N_{0,Rd} = [(A_0 - A_v) f_{y0} + A_v f_{y0} \sqrt{1 - (V_{Ed} / V_{pl,Rd})^2}] / \gamma_{M5}$ <p>Versagen der Strebe</p> $N_{i,Rd} = f_{yi} t_i (2 h_i - 4 t_i + b_i + b_{\text{eff}}) / \gamma_{M5}$ <p>Durchstanzen $\beta \leq (1 - 1/\gamma)$</p> $N_{i,Rd} = \frac{f_{y0} t_0}{\sqrt{3} \sin \theta_i} \left(\frac{2 h_i}{\sin \theta_i} + b_i + b_{e,p} \right) / \gamma_{M5}$
K- und N-Anschlüsse mit Überlappung	Wie in Tabelle 5.9
Für KHP-Streben sind die obigen Grenzwerte mit $\pi/4$ zu multiplizieren, und b_1 und h_1 durch d_1 und b_2 und h_2 durch d_2 zu ersetzen.	
$A_v = (2h_0 + \alpha b_0) t_0$	$b_{\text{eff}} = \frac{10}{b_0/t_0} \cdot \frac{f_{y0} t_0}{f_{yi} t_i} \cdot b_i \quad \text{jedoch } b_{\text{eff}} \leq b_i$
Für eine RHP Strebe: $\alpha = \sqrt{\frac{1}{1 + \frac{4g^2}{3t_0^2}}}$	$b_{e,p} = \frac{10}{b_0/t_0} \cdot b_i \quad \text{jedoch } b_{e,p} \leq b_i$
wobei g Spaltbreite ist.	Für $n > 0$ (Druck): $k_n = 1,3 - \frac{0,4n}{\beta}, \quad \text{jedoch } k_n \leq 1,0$
Für eine KHP Strebe: $\alpha = 0$	Für $n \leq 0$ (Zug): $k_n = 1,0$
$\beta = \frac{b_1 + b_2}{2b_0}; \gamma = \frac{b_0}{2t_0}$	mit $n = \frac{f_0}{f_{y,0}} = \frac{N_0}{A_0 \cdot f_{y,0}} + \frac{M_0}{W_{el,0} \cdot f_{y,0}}$

$\gamma_{M5} = 1,0$ sofern im Nationalen Anwendungsdokument (NAD) kein anderer Wert vorgeschrieben wird, Deutschland ebenfalls $\gamma_{M5} = 1,0$ [31]

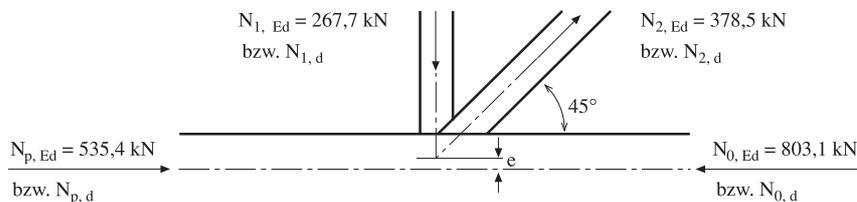
Tabelle 5.9: Bemessungskriterien für spezielle geschweißte Knoten mit RHP Gurtstäben und RHP oder KHP Streben [20]

Anschlussstyp	Bemessungskriterien
<p>Die Kräfte können sowohl Zug- als auch Druckkräfte sein, jedoch in beiden Streben gleich.</p> 	<p>$N_{1,Ed} \leq N_{1,Rd}$</p> <p>$N_{1,Rd}$ entspricht dem Wert für $N_{1,Rd}$ eines X- Anschlusses aus Tabelle 5.7</p>
<p>Druckkraft immer in Strebe 1 und Zugkraft immer in Strebe 2.</p> 	<p>$N_{1,Ed} \sin \theta_1 + N_{3,Ed} \sin \theta_3 \leq N_{1,Rd} \sin \theta_1$</p> <p>$N_{2,Ed} \sin \theta_2 \leq N_{1,Rd} \sin \theta_1$</p> <p>$N_{1,Rd}$ entspricht dem Wert für $N_{1,Rd}$ eines K-Anchlusses aus Tabelle 5.8, jedoch</p> <p>$\frac{b_1 + b_2 + h_1 + h_2}{4 b_0}$ wird ersetzt durch:</p> <p>$\frac{b_1 + b_2 + b_3 + h_1 + h_2 + h_3}{6 b_0}$</p>
<p>In allen Streben einheitlich entweder Druck oder Zug.</p> 	<p>$N_{1,Ed} \sin \theta_1 + N_{2,Ed} \sin \theta_2 \leq N_{x,Rd} \sin \theta_x$</p> <p>$N_{x,Rd}$ entspricht dem Wert für $N_{x,Rd}$ eines X- Anschlusses aus Tabelle 5.7, wobei $N_{x,Rd} \sin \theta_x$ der größere der beiden folgenden Werte ist:</p> <p>$N_{1,Rd} \sin \theta_1$ und $N_{2,Rd} \sin \theta_2$</p>
<p>Druckkraft immer in Strebe 1 und Zugkraft immer in Strebe 2.</p> 	<p>$N_{i,Ed} \leq N_{i,Rd}$</p> <p>$N_{i,Rd}$ entspricht dem Wert für $N_{i,Rd}$ eines K- Anschlusses aus Tabelle 5.8, vorausgesetzt, dass im Schnitt 1-1 von Anschlüssen mit Spalt für den Gurtstab gilt:</p> <p>$\left[\frac{N_{0,Ed}}{N_{0,pl,Rd}} \right]^2 + \left[\frac{V_{0,Ed}}{V_{0,pl,Rd}} \right]^2 \leq 1,0$</p>

5.4 Berechnungen nach DIN EN 1993-1-8 (Eurocode 3) [20]

5.4.1 N-Knoten mit Überlappung im Druckgurt | Gurt: QHP / Werkstoff: S355

N-Knoten mit Überlappung im Druckgurt
Werkstoff S 355J2H gem. EN10210
(Streckgrenze $f_y = 355 \text{ N/mm}^2$)



Druckgurtstab:
MSH-Profil gewählt:
120 x 120 x 8,8; $A_0 = 38,3 \text{ cm}^2$
Maximale Druckkraft im Gurtstab
(γ_F -fache Last): $N_{0,Ed} = 803,1 \text{ kN}$

Druckfüllstab:
MSH-Profil gewählt:
80 x 80 x 5,0; $A_1 = 14,7 \text{ cm}^2$
Axialkraft im Druckfüllstab (γ_F -fache Last):
 $N_{1,Ed} = 267,7 \text{ kN}$

Zugfüllstab:
MSH-Profil gewählt:
80 x 80 x 7,1; $A_2 = 23,2 \text{ cm}^2$
Axialkraft im Zugfüllstab (γ_F -fache Last):
 $N_{2,Ed} = 378,5 \text{ kN}$

Überprüfung der Anwendungsgrenzen
(siehe Tabelle 5.6)

Überlappung $\lambda_{ov} = p/q \cdot 100 = 40 \%$
 $\rightarrow 25 \% < 40 \% < 100 \%$

$$b_1/b_0 = 80/120 = 0,67 > 0,25$$

$$b_1/t_1 = 80/5 = 16 < 1,1 \sqrt{E/f_{yi}} = 26,8$$

$$b_2/t_2 = 80/7,1 = 11,3 < 35$$

$$b_0/t_0 = 120/8,8 = 13,6 < 40$$

$$t_1/t_2 = 5,0/7,1 = 0,7 < 1,0$$

$$b_2/b_1 = 80/80 = 1,0 > 0,75$$

$$h_0/b_0 = 120/120 = 1,0 \begin{matrix} > 0,5 \\ \leq 2,0 \end{matrix}$$

Knotentragfähigkeit

Nach [20] Fußnote a ist nur die überlappende Strebe nachzuweisen.

Für $25 \% < \lambda_{e,ov} < 50 \%$

$$N_{1,Rd} = f_{y1} \cdot t_1 (b_{eff} + b_{e,ov} + \frac{\lambda_{ov}}{50} 2h_1 - 4t_1) / \gamma_{M5}$$

(aus Tab. 5.5)

$$\begin{aligned} b_{eff} &= \frac{10}{b_0/t_0} \cdot \frac{t_0}{t_1} \cdot \frac{f_{y0}}{f_{y1}} \cdot b_1 \\ &= \frac{10 \cdot 8,8}{120} \cdot \frac{8,8}{5,0} \cdot \frac{355}{355} \cdot 80 \\ &= 103,25 \text{ mm} \end{aligned}$$

Da $b_{eff} > b_1 = 80 \text{ mm}$, aber $b_{eff} \leq b_1$ sein muss,
folgt daraus: $b_{eff} = 80 \text{ mm}$.

$$\begin{aligned} b_{e,ov} &= \frac{10}{b_2/t_2} \cdot \frac{f_{y2}}{f_{y1}} \cdot \frac{t_2}{t_1} \cdot b_1 \\ &= \frac{10 \cdot 7,1}{80} \cdot \frac{7,1}{5,0} \cdot 80 = 100,82 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\rightarrow b_{e,ov} = 80 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} N_{1,Rd} &= (355 \cdot 5) [80 + 80 + \frac{40}{50} \\ &\quad \cdot 2 \cdot 80 - 4 \cdot 5] / 1,0 \\ &\triangleq 475,7 \text{ kN} > 267,7 \text{ kN} = N_{1,Ed} \end{aligned}$$

Ausnutzungsgrad:
(überlappender Füllstab 1)

$$C_{K,1} = \frac{N_{1,Rd}}{A_1 \cdot f_{y1}} = \frac{475,7}{14,7 \cdot 355} = 0,911 \leq 1,00$$

Ausnutzungsgrad (Füllstab 2) wird nach [20]
gleichgesetzt.

$$\begin{aligned} N_{2,Rd} &= C_{K,1} \cdot A_2 \cdot f_{y2} = 0,911 \cdot 23,2 \cdot 35,5 \\ &= 750,3 \text{ kN} > 378,5 \text{ kN} \end{aligned}$$

Nur die überlappende Strecke ist nachzuweisen, hier: Druckfüllstab

5.4.2 K-Knoten mit Spalt im Zuggurt | Gurt: RHP / Werkstoff: S355

K-Knoten mit Spalt im Zuggurt
Werkstoff S 355 J2H gem. EN 10210
($f_y = 355 \text{ N/mm}^2$)

Zuggurtstab:
MSH-Profil gewählt:
200 x 120 x 10 (hochkant)
Axiale Zugkraft im Gurtstab
(γ_F -fache Last): $N_{0,Ed} = 1875,9 \text{ kN}$

Zugfüllstab:
MSH-Profil gewählt:
90 x 90 x 5,6
Axiale Zugkraft im Füllstab
(γ_F -fache Last): $N_{2,Ed} = 406,1 \text{ kN}$

Druckfüllstab:
MSH-Profil gewählt:
80 x 80 x 4,5
Axiale Druckkraft im Füllstab
(γ_F -fache Last): $N_{1,Ed} = 224,5 \text{ kN}$

Überprüfung der Anwendungsgrenzen
(siehe Tabelle 5.6)

$$\beta = \frac{b_1 + b_2}{2 b_0} = \frac{(90 + 80)}{2 \times 120} = 0,71$$

$$\rightarrow \beta > 0,35 \text{ bzw. } (0,1 + 0,01 \cdot b_0/t_0) = 0,22$$

$$b_1/t_1 = 80/4,5 = 17,5 < 35$$

$$\text{und } 1,25 \sqrt{E/f_{y1}} = 30,4$$

$$h_0/b_0 = 200/120 = 1,66$$

$$\rightarrow 0,5 < 1,66 < 2,0;$$

$$b_0/t_0 = 120/10 = 12 < 35:$$

$$g/b_0 = 30/120 = 0,25$$

$$> 0,5 (1 - \beta) = 0,5 (1 - 0,71) = 0,15$$

$$\rightarrow 0,15 < 0,25 < 0,44$$

$$= 1,5 (1 - 0,71)$$

Knotentragfähigkeit (Druckfüllstab)
(siehe Tabelle 5.8)

$$\theta_1 = 65^\circ; \gamma = \frac{120}{2 \cdot 10} = 6; g = 30 \text{ mm}$$

$$k_n (\text{Druck}) = 1,3 \times 0,4 \times n / \beta = 1,0$$

$$A_v = (2 h_0 + \alpha \cdot b_0) \cdot t_0$$

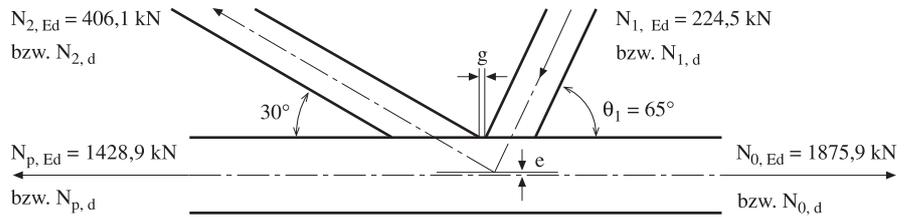
$$= (2 \cdot 200 + 0,277 \cdot 120) \cdot 10$$

$$= 4332,4 \text{ mm}^2$$

$$\alpha = \sqrt{1 / [1 + (4 g^2 / 3 t_0^2)]}$$

$$= \sqrt{1 / [1 + (4 \cdot 30^2 / 3 \cdot 10^2)]} = 0,277$$

$$b_{eff} = \frac{10}{b_0/t_0} \cdot \frac{t_0}{t_1} \cdot b_1 \cdot \frac{f_{y0}}{f_{y1}}$$



$$= \frac{10 \cdot 10}{120} \cdot \frac{10}{4,5} \cdot 80 = 148 > 80$$

Da $b_{eff} \leq b_1$ sein muss, folgt: $b_{eff} = 80 \text{ mm}$

$$b_{e,p} = \frac{10}{b_0/t_0} \cdot b_1 = \frac{10 \cdot 10}{120} \cdot 80 = 66,67 \text{ mm}$$

$$\gamma = b_0/2t_0 = \frac{120}{2 \times 10} = 6$$

Versagenskriterium:
Flanschversagen des Gurtstabes

$$N_{1,Rd} = \frac{8,9 k_n \cdot f_{y0} \cdot t_0^2 \cdot \sqrt{\gamma}}{\sin \theta_1}$$

$$\cdot \left(\frac{b_1 + b_2 + h_1 + h_2}{4 b_0} \right) \cdot \frac{1,0}{\gamma_{M5}}$$

$$= \frac{8,9 \cdot 1,0 \cdot 355 \cdot 10^2 \cdot \sqrt{6}}{\sin 65^\circ}$$

$$\cdot \left(\frac{2 \cdot 90 + 2 \cdot 80}{4 \cdot 120} \right) \cdot \frac{1,0}{1,0}$$

$$= 604864 \text{ N} \triangleq 604,8 \text{ kN}$$

Versagenskriterium:
Schubversagen des Gurtstabes

$$N_{1,Rd} = \frac{f_{y0} \cdot A_v}{\sqrt{3} \cdot \sin \theta_1} = \frac{355 \cdot 4332,4}{\sqrt{3} \cdot \sin 65^\circ}$$

$$= 979761 \text{ N} \triangleq 979,8 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = 224,5 \cdot \sin 65 = 203,5 \text{ kN}$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{4332,4 \cdot 0,355}{1,0 \cdot \sqrt{3}} = 888 \text{ kN}$$

$$N_{0,Rd} = \left[(A_0 - A_v) \cdot f_{y0} + A_v \cdot f_{y0} \right]$$

$$\cdot \sqrt{1 - \left(\frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} \right)^2} / \gamma_{M5}$$

$$N_{0,Rd} = \left[(5890 - 4332,4) \cdot 0,355 + 4332,4 \right]$$

$$\cdot 0,355 \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{203,1}{888} \right)^2} / 1,0$$

$$= 553 + 1497,2$$

$$= 2050,2 \text{ kN} > 1875,9 \text{ kN}$$

Versagenskriterium:
Versagen der Strebe

$$N_{1,Rd} = f_{y1} \cdot t_1 \cdot (2 h_1 - 4 t_1 + b_1 + b_{eff})$$

$$= 355 \cdot 4,5 (2 \cdot 80 - 4 \cdot 4,5 + 80 + 80)$$

$$= 482445 \text{ N} \triangleq 482,4 \text{ kN}$$

Versagenskriterium:
Durchstanzen

$$N_{1,Rd} = \frac{f_{y0} \cdot t_0}{\sqrt{3} \cdot \sin 65^\circ}$$

$$\cdot \left(\frac{2 h_1}{\sin 65^\circ} + b_1 + b_{e,p} \right) / \gamma_{M5}$$

$$= \frac{355 \cdot 10}{1,5698} (176,54 + 80 + 66,67)$$

$$= 730918 \text{ N} \triangleq 730,9 \text{ kN}$$

$$N_{1,Ed} = 224,5 < 482,4 \text{ kN}$$

-> Nachweis erbracht

Knotentragfähigkeit (Zugfüllstab)

Überprüfung der Anwendungsgrenzen

$$\beta = 0,71 > 0,35 \text{ bzw. } \left(0,1 + 0,01 \frac{b_0}{t_0} \right)$$

$$= 0,22$$

$$\frac{b_2}{t_2} = \frac{90}{5,6} = 16,1 < 35 \text{ bzw. } 1,25 \sqrt{E/f_{y1}}$$

$$= 30,4$$

$\frac{h_0}{b_0}$ und $\frac{g}{b_0}$ wie beim Druckfüllstab

Knotentragfähigkeit

$$\theta_2 = 30^\circ; \gamma = 6, g = 30 \text{ mm}$$

$$k_n = 1,0 (\text{Zug})$$

$$\alpha = 0,277; A_v = 4332,4 \text{ mm}^2$$

$$b_{eff} = \frac{10}{b_0/t_0} \cdot \frac{t_0}{t_2} \cdot b_2 \cdot \frac{f_{y0}}{f_{y2}}$$

Versagenskriterium:
Flanschversagen

$$N_{2,Rd} = \frac{8,9 \cdot k_n \cdot f_{y0} \cdot t_0^2 \cdot \sqrt{\gamma}}{\sin \theta_2}$$

$$\cdot \left(\frac{b_1 + b_2 + h_1 + h_2}{4 b_0} \right) / \gamma_{M5}$$

$$= \frac{548,192}{\sin 30^\circ} = 1096,4 \text{ kN}$$

Versagenskriterium:
Abscheren des Gurtstabes

$$N_{2,Rd} = \frac{f_{y0} \cdot A_v}{\sqrt{3} \cdot \sin 30^\circ} = \frac{355 \cdot 4332,4}{\sqrt{3} \cdot 0,5} \triangleq 1775,9 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = 224,5 \cdot \sin 65 = 203,5 \text{ kN}$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{4332,4 \cdot 0,355}{1,0 \cdot \sqrt{3}} = 888 \text{ kN}$$

$$N_{0,Rd} = \left[(5890 - 4332,4) \cdot 0,355 + 4332,4 \cdot 0,355 \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{203,5}{888}\right)^2} \right] / 1 = 553 + 1497 = 2050 \text{ kN} > 1875,9 \text{ kN}$$

Versagenskriterium:
Versagen der Strebe

$$N_{2,Rd} = f_{y2} \cdot t_2 \cdot (2 h_2 - 4 t_2 + b_2 + b_{eff}) \cdot \frac{1,1}{\gamma_{Mj}} = 355 \cdot 5,6 \cdot (2 \cdot 90 - 4 \cdot 5,6 + 90 + 90) = 671149 \text{ N} \triangleq 671,1 \text{ kN}$$

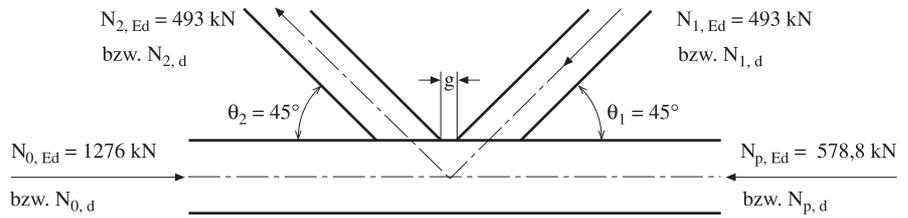
Versagenskriterium:
Durchstanzen

$$N_{2,Rd} = \frac{f_{y0} \cdot t_0}{\sqrt{3} \cdot \sin \theta_2} \left(\frac{2 h_2}{\sin \theta_2} + b_2 + b_{e,p} \right) / \gamma_{M5} = \frac{355 \cdot 10}{\sqrt{3} \cdot \sin 30^\circ}$$

$$\left(\frac{2 \cdot 90}{\sin 30^\circ} + 90 + 75 \right) / 1,0 \triangleq 2152,1 \text{ kN}$$

$$N_{2,Ed} = 406,1 < 671,1 \text{ kN}$$

-> Nachweis erfüllt



5.4.3 K-Knoten mit Spalt im Druckgurt | Gurt: QHP / Werkstoff: S355

$$= \frac{10 \cdot 10}{120} \cdot \frac{10}{5,6} \cdot 90 = 133,9 > 90$$

Da $b_{eff} \leq b_2$ sein muss, folgt: $b_{eff} = 90 \text{ mm}$.

$$b_{e,p} = \frac{10}{b_0/t_0} \cdot b_2 = \frac{10 \cdot 10}{120} \cdot 90 = 75 \leq 90 \text{ mm}$$

K-Knoten mit Spalt im Druckgurt ($e = 0$):
Werkstoff S 355 J2H gem. EN 10210 ($f_y = 355 \text{ N/mm}^2$)

Druckgurtstab:
MSH-Profil gewählt: 220 x 220 x 10
 $A_0 = 82,9 \text{ cm}^2$
Axiale Druckkraft im Gurtstab (γ_F -fache Last): $N_{0,Ed} = 1276 \text{ kN}$

Druckfüllstab:
MSH-Profil gewählt: 140 x 140 x 5,6
Axiale Druckkraft im Füllstab (γ_F -fache Last): $N_{1,Ed} = 493 \text{ kN}$

Zugfüllstab:
MSH-Profil gewählt: 140 x 140 x 5,6
Axiale Zugkraft im Zugfüllstab = 493 kN

Überprüfung der Anwendungsgrenzen (siehe Tabelle 5.4):

$$\frac{b_1}{b_0} = \frac{140}{220} = 0,636 > 0,35 > \left(0,1 + 0,01 \cdot \frac{b_0}{t_0} \right) = 0,32$$

$$\frac{b_1}{t_1} = \frac{140}{5,6} = 25 < 35$$

$$\frac{b_0}{t_0} = \frac{220}{10} = 22 < 35$$

$$\frac{b_1 + b_2}{2 b_0} = \frac{140 + 140}{2 \cdot 220} = 0,636 > 0,6 \rightarrow 0,636 < 1,3$$

$$\frac{g}{b_0} = \frac{22}{220} = 0,1$$

$$< 0,5 (1 - \beta) = 0,5 (1 - 0,636) = 0,18$$

(Bedingung für die Anwendung der Tabelle 5.5 ist nicht erfüllt.) Daher wird die Spaltweite auf 44 mm vergrößert
-> $e = +12 \text{ mm} < 0,25 b_0 = 55 \text{ mm}$

(Exzentrizitätsmoment braucht nicht berücksichtigt zu werden).

Knotentragfähigkeit

$$\beta = 0,636; \gamma = \frac{b_0}{2 t_0} = \frac{220}{2 \cdot 10} = 11$$

$$\theta = 45^\circ$$

$$n = \frac{f_0}{f_{y0}} = \frac{1276 \cdot 10^3}{8290 \cdot 355} = 0,434 \text{ (Druck)}$$

$$k_n = 1,3 - 0,4 \frac{n}{\beta} = 1,3 - 0,4 \cdot \frac{0,434}{0,636} = 1,027$$

mit $kn \leq 1,0$ folgt $kn = 1$

Versagenskriterium:
Plastizieren des Gurtflansches

$$N_{1,Rd} = \frac{8,9 \cdot f_{y0} \cdot t_0^2}{\sin \theta_1} \cdot \frac{b_1 + b_2}{2 b_0} \cdot \gamma^{0,5} \cdot k_n / \gamma_{M5} = \frac{8,9 \cdot 355 \cdot 10^2}{\sin 45^\circ} \cdot \frac{140 + 140}{2 \cdot 220} \cdot 11^{0,5} \cdot 1,0 \cdot \frac{1}{1,0} = 968.513 \text{ N} \triangleq 969 \text{ kN} > 493 \text{ kN} = N_{1,Ed}$$

-> Nachweis erfüllt

5.4.4 K-Knoten mit Spalt im Druckgurt | Gurt: KHP / Werkstoff: S355

K-Knoten mit Spalt im Druckgurt
Werkstoff S 335 J2H gem. EN 10210
($f_y = 355 \text{ N/mm}^2$), $e = + 56 \text{ mm}$

Druckgurtstab:
MSH-Profil gewählt: 177,8 \varnothing x 8,8
Axialdruckkräfte:
 $N_{0,Ed} = 493,4 \text{ kN}$; $N_{p,Ed} = 282,3 \text{ kN}$

Druckfüllstab:
MSH-Profil gewählt: 101,6 \varnothing x 5,6
Axialdruckkraft: $N_{1,Ed} = 232,2 \text{ kN}$

Zugfüllstab:
MSH-Profil gewählt: 101,6 \varnothing x 4,0
Axialzugkraft: $N_{2,Ed} = 135,8 \text{ kN}$

Überprüfung der Anwendungsgrenzen
(nach Tabelle 5.1):

$$\frac{d_1}{d_0} = \frac{101,6}{177,8} = 0,571 \rightarrow 0,2 < 0,571 < 1,0$$

$$\frac{d_1}{2 t_1} = \frac{101,6}{2 \cdot 5,6} = 9,07 \rightarrow 5 < 9,07 < 25$$

$$\frac{d_0}{2 t_0} = \frac{177,8}{2 \cdot 8,8} = 10,1 \rightarrow 5 < 10,1 < 25$$

$$g = 79 \text{ mm} > t_1 + t_2 = 5,6 + 4,0 = 9,6 \text{ mm}$$

Knotentragfähigkeit (nach Tabelle 5.2):

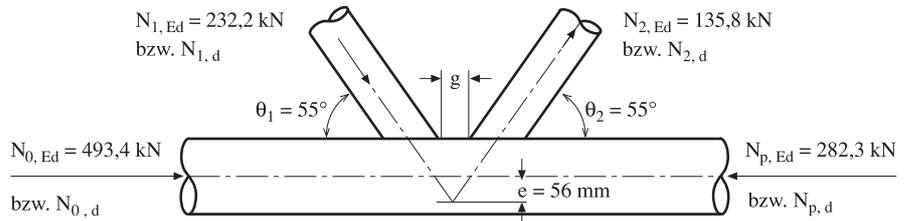
$$k_g = 1,61 \text{ (aus Abb. 5.11)}$$

Exzentrizitätsmoment
 $M_{E,0} = (493,4 - 282,3) \cdot 5,6 = 1182,2 \text{ kNcm}$
 $\theta_1 = \theta_2 = 55^\circ$

Nach DIN EN 1993-1-8, 5.1.5 (7) muss das Exzentrizitätsmoment auf alle Stäbe nach ihrer Steifigkeit I/I aufgeteilt werden, weil die vorhandene Knotenexzentrizität $e = 56 \text{ mm}$ größer als der Grenzwert $0,25 d_0 = 0,25 \times 177,8 = 44,4 \text{ mm}$ ist

Stab	Abmessung I [cm ⁴]	I [cm]	I/I [cm ³]	%
Druckgurt links	177,8 x 8,8	1670	350	4,77
Druckgurt rechts	177,8 x 8,8	1670	350	4,77
Druckfüllstab	101,6 x 5,6	195	350	0,56
Zugfüllstab	101,6 x 4,0	146	350	0,42

$$100\% = 10,52$$



$$M_0 = 1182,2 \cdot 0,454 = 537 \text{ kNcm}$$

$$\sigma_{p,Ed} = \frac{N_{p,Ed}}{A} + \frac{M_0}{W_{0,el}} = \frac{282,3 \cdot 10^3}{4670} + \frac{537 \cdot 10}{188}$$

$$\sigma_{p,Ed} = 60,45 + 28,56 = 89 \text{ N/mm}^2$$

$$n_p = \frac{\sigma_{p,Ed}}{f_{y0}} = \frac{89}{355} = 0,25$$

$$\rightarrow k_p = 1 - 0,3 n_p (1 + n_p) = 1 - 0,3 \cdot 0,25 (1 + 0,25) = 0,906$$

Versagenskriterium: Flanschversagen des Gurtstabs (siehe Tabelle 5.2)

$$N_{1,Rd} = \frac{f_{y0} \cdot t_0^2}{\sin \theta_1} \left(1,8 + 10,2 \frac{d_1}{d_0} \right) \cdot k_p \cdot k_g / \gamma_{M5}$$

$$= \frac{355 \cdot 8,8^2}{\sin 55^\circ} \cdot (1,8 + 10,2 \cdot 0,571) \cdot 0,906 \cdot 1,61 / 1,0 = 373,3 \text{ kN} > 232,2 \text{ kN} = N_{1,Ed}$$

$$N_{2,Rd} = \frac{N_{1,Rd} \cdot \sin \theta_1}{\sin \theta_2} = 373,3 \text{ kN} > 135,8 = N_{2,Ed}$$

Durchstanzen (siehe Tabelle 5.2) falls $d_1 \leq d_0 - 2 \cdot t_0$, ist Nachweis auf Durchstanzen erforderlich
 $101,6 \leq 177,8 - 2 \cdot 8,8 = 160,2$

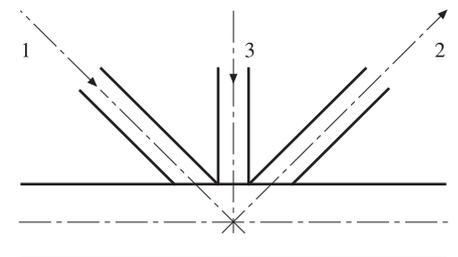
$$N_{1,Rd} = \frac{f_0 / \sqrt{3} \cdot t_0 \cdot \pi \cdot d_1 \cdot (1 + \sin \theta_1)}{(2 \sin^2 \theta_1) / \gamma_{M5}}$$

$$= \frac{355 / \sqrt{3} \cdot 8,8 \cdot \pi \cdot 101,6 \cdot (1 + \sin 55^\circ)}{(2 \cdot \sin^2 55^\circ) / \gamma_{M5}}$$

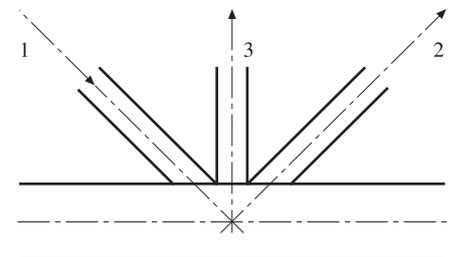
$$= \frac{205 \cdot 8,8 \cdot \pi \cdot 101,6 \cdot (1 + 0,819)}{1,34 / 1,0} = 781,6 \text{ kN} \geq 232,2 \text{ kN} = N_{1,Ed}$$

Berechnung von KT-förmigen Knoten

Die Berechnung der Tragfähigkeit von KT-förmigen Knoten aus Hohlprofilen mit Spalt erfolgt auf der Grundlage der entsprechenden Berechnungen für K- und N-Knoten, wobei die Spaltweite zwischen zwei Füllstäben als Basis der Berechnung anzunehmen ist. Die Beanspruchungskomponenten der zwei Füllstäbe, die gleichen Richtungssinn aufweisen, werden addiert. Die senkrechte Beanspruchungskomponente des verbleibenden Füllstabes muss größer sein als die addierte vorhandene Beanspruchung der anderen zwei Füllstäbe.



$$N_1 \sin \theta_1 + N_3 \sin \theta_3 \leq N_2^* \sin \theta_2$$



$$N_2 \sin \theta_2 + N_3 \sin \theta_3 \leq N_1^* \sin \theta_1$$

N_1^* und N_2^* sind nach den Formeln der Tabellen 5.2, 5.3 und 5.7b zu bestimmen.

Für KT-Verbindungen mit Überlappung muss die Beanspruchbarkeit jedes überlappenden Füllstabes $N_1^* \geq$ Beanspruchung N_1 sein.

5.4.5 KT-Knoten mit Spalt im Druckgurt | Gurt: KHP / Werkstoff: S355

KT-Knoten mit Spalt im Druckgurt
Werkstoff S 355 J2H nach EN 10 210
(Steckgrenze $f_y = 355 \text{ N/mm}^2$)

Druckgurtstab:

MSH-Profil gewählt: 219,1 \varnothing x 10 mm
Querschnittsfläche $A_0 = 65,7 \text{ cm}^2$

Zugfüllstab 1:

MSH-Profil gewählt: 139,7 \varnothing x 7,1 mm
Axialkraft im Druckfüllstab (γ -fache Last):

$N_{1,Ed} = 700 \text{ kN}$

Anschlusswinkel zum Gurtstab: $\theta_1 = 30^\circ$

Druckfüllstab 2:

MSH-Profil gewählt: 139,7 \varnothing x 6,3 mm
Axialkraft im Druckfüllstab (γ -fache Last):

$N_{2,Ed} = 600 \text{ kN}$

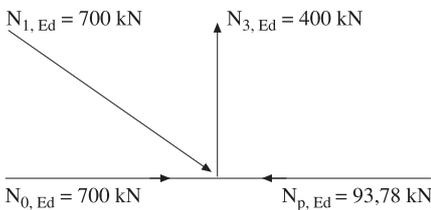
Anschlusswinkel zum Gurtstab: $\theta_2 = 30^\circ$

Zugfüllstab 3:

MSH-Profil gewählt: 108 \varnothing x 6,3 mm
Axialkraft im Zugfüllstab (γ -fache Last):

$N_{3,Ed} = 400 \text{ kN}$

Anschlusswinkel zum Gurtstab: $\theta_3 = 90^\circ$



Knotentragfähigkeit von N-förmigen Knoten bestehend aus dem Gurtstab und den Füllstäben 1 und 3.

Überprüfung der Anwendungsgrenzen (siehe Tabelle 5.1)

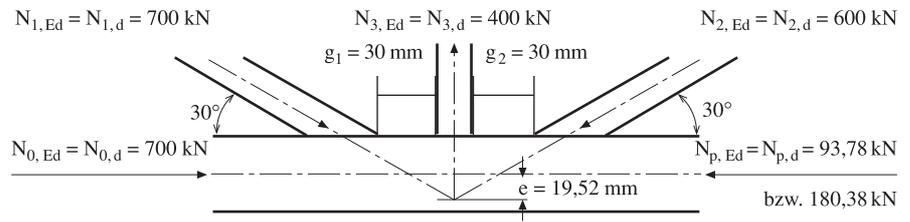
Durchmesser Verhältnis β (KT-Knoten)

$$\beta = \frac{d_1 + d_2 + d_3}{3 d_0} = \frac{139,7 + 139,7 + 108,0}{3 \cdot 219,1}$$

$$= 0,59 > 0,2$$

$$\beta_1 = \frac{d_1}{t_1} = \frac{139,7}{7,1} = 19,68 \rightarrow 10 < 19,68 < 50$$

$$\beta_2 = \frac{d_3}{t_3} = \frac{108}{6,3} = 17,14 \rightarrow 10 < 17,14 < 50$$



$$= \frac{d_0}{t_0} = \frac{219,1}{10} = 21,9 \rightarrow 10 < 21,9 < 50$$

$$g \geq t_1 + t_3 \rightarrow 30 > (7,1 + 6,3) = 13,4 \text{ mm}$$

$$\frac{g}{t_0} = \frac{30}{10} = 3$$

$$e = 19,52 \text{ mm} \rightarrow \frac{e}{d_0} = \frac{19,52}{219,1}$$

$$= 0,089 < 0,25$$

Exzentrizität braucht nicht berücksichtigt zu werden.

$$N_{p,Ed} = N_{0,Ed} - N_{1,Ed} \cdot \cos \theta_1$$

$$= 700 - 700 \cos 30^\circ = 93,78 \text{ kN}$$

$$\sigma_{p,Ed} = \frac{N_{p,Ed}}{A_0} = \frac{93780}{6570} = 14,27 \text{ N/mm}^2$$

$$n_p = \frac{\sigma_{p,Ed}}{f_{y0}} = \frac{14,27}{355} = 0,04$$

$$k_p = 1 - 0,3 n_p (1 + n_p) = 0,99$$

$$k_g = \gamma^{0,2} \cdot \left(1 + \frac{0,024 \cdot \gamma^{1,2}}{1 + e^{(0,5 \cdot g/t_0 - 1,33)}} \right)$$

$$= 11^{0,2} \cdot \left(1 + \frac{0,024 \cdot 11^{1,2}}{1 + e^{(0,5 \cdot 30/10 - 1,33)}} \right) = 1,93$$

$$N_{p,Sd} = 93,78 \text{ kN}$$

Knotentragfähigkeit $N_{1,Rd}$
(siehe Tabelle 5.2)

Versagenskriterium:
Plastizierung des Gurtflansches

$$N_{1,Rd} = \frac{f_{y0} \cdot t_0^2}{\sin \theta_1} \cdot \left(1,8 + 10,2 \frac{d^1}{d^0} \right)$$

$$\cdot K_p \cdot K_g / \gamma_{M5}$$

$$N_{1,Rd} = \frac{355 \cdot 10^2}{\sin 30^\circ}$$

$$\cdot \left(1,8 + 10,2 \cdot \frac{139,7}{219,1} \right) \cdot 0,99 \cdot 1,93$$

$$\triangleq 1126 \text{ kN} > 700 \text{ kN}$$

$$N_{3,Rd} = N_{1,Rd} \frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_3} = 1126 \cdot \frac{\sin 30^\circ}{\sin 90^\circ}$$

$$= 563 \text{ kN} > 400 \text{ kN}$$

Versagenskriterium:
Durchstanzen des Gurtstabes

$$N_{1,Rd} = \frac{f_{y0}}{\sqrt{3}} \cdot t_0 \cdot \pi \cdot d_1 \cdot \frac{1 + \sin \theta_1}{2 \sin^2 \theta_1} / \gamma_{M5}$$

$$= \frac{355}{\sqrt{3}} \cdot 10 \cdot \pi \cdot 139,7 \cdot \frac{1 + \sin 30^\circ}{2 \sin^2 30^\circ} / 1,0$$

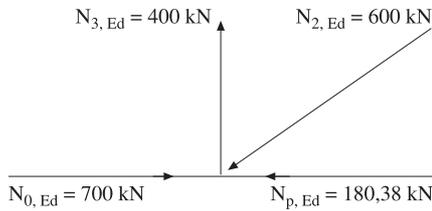
$$= 2698,57 \text{ kN} > 700 \text{ kN}$$

$$N_{3,Rd} = \frac{355}{\sqrt{3}} \cdot 10 \cdot \pi \cdot 108 \cdot \frac{1 + \sin 90^\circ}{2 \sin^2 90^\circ} / 1,0$$

$$\triangleq 695,41 \text{ kN} > 400 \text{ kN}$$

Knotennachweis (Füllstäbe 1 und 3)
ist erfüllt.

Knotentragfähigkeit von N-förmigen Knoten bestehend aus dem Gurtstab und den Füllstäben 2 und 3



Überprüfung der Anwendungsgrenzen (siehe Tabelle 5.1)

Durchmesserverhältnis β (KT-Knoten)
 $= 0,52 > 0,2$

$$\frac{d_2}{t_2} = \frac{139,7}{6,3} = 22,2 \rightarrow 10 < 22,2 < 50$$

$$\frac{d_3}{t_3} = \frac{108}{6,3} = 17,4 \rightarrow 10 < 17,4 < 50$$

$$\frac{d_0}{t_0} = \frac{219,1}{10} = 21,9 \rightarrow 10 < 21,9 < 50$$

$$g \geq t_2 + t_3 \rightarrow 30 > (6,3 + 6,3) = 12,6 \text{ mm}$$

$$\frac{g}{t_0} = \frac{30}{10} = 3$$

$$e = 19,52 \text{ mm} \rightarrow \frac{e}{d_0} = \frac{19,52}{219,1}$$

$$= 0,089 < 0,25$$

Exzentrizität braucht nicht berücksichtigt zu werden.

$$N_{p,Ed} = N_{0,Ed} - N_{2,Ed} \cdot \cos 30^\circ$$

$$= 700 - 600 \cdot \cos 30^\circ = 180,38 \text{ kN}$$

$$f_p = \frac{N_{p,Ed}}{A_0} = \frac{180380}{6570} = 27,46 \text{ N/mm}^2$$

$$n_p = \frac{27,46}{355} = 0,08$$

$$k_p = 1 - 0,3 n_p (1 + n_p) = 0,97$$

$$k_g = \gamma^{0,2} \cdot \left(1 + \frac{0,024 \cdot \gamma^{1,2}}{1 + e^{(0,05 g/t_0 - 1,33)}}$$

$$= 11^{0,2} \cdot \left(1 + \frac{0,024 \cdot 11^{1,2}}{1 + 1,185} \right) = 1,93$$

Knotentragfähigkeit $N_{2,Rd}$
 (siehe Tabelle 5.2)

Versagenskriterium:
 Flanschversagen des Gurtstabs

$$N_{2,Rd} = \frac{f_{y0} \cdot t_0^2}{\sin \theta_2}$$

$$\left(1,8 + 10,2 \frac{d_2}{d_0} \right) K_p \cdot K_g / \gamma_{M5}$$

$$N_{2,Rd} = \frac{355 \cdot 10^2}{\sin 30^\circ}$$

$$\left(1,8 + 10,2 \cdot \frac{139,7}{219,1} \right) \cdot 0,97 \cdot 1,93 / 1,0$$

$$\underline{\underline{\geq 1103 \text{ kN} > 600 \text{ kN}}}$$

$$N_{3,Rd} = N_{2,Rd} \cdot \frac{\sin 30^\circ}{\sin 90^\circ} = 1103 \cdot 0,5$$

$$= 551 > 400 \text{ kN}$$

Versagenskriterium:
 Durchstanzen des Gurtstabs

$$N_{2,Rd} = \frac{f_{y0}}{\sqrt{3}} \cdot t_0 \cdot \pi \cdot d_2 \cdot \frac{1 + \sin \theta_2}{2 \sin^2 \theta_2} / \gamma_{M5}$$

$$= \frac{355}{\sqrt{3}} \cdot 10 \cdot \pi \cdot 139,7 \cdot \frac{1 + \sin 30^\circ}{2 \sin^2 30^\circ} / 1,0$$

$$\underline{\underline{\geq 2698,57 \text{ kN} > 600 \text{ kN}}}$$

$$N_{3,Rd} = 695,41 \text{ kN} > 400 \text{ kN}$$

Knotennachweis (Füllstäbe 2 und 3)
 ist erfüllt.

Ferner ist die weitere Bedingung für
 KT-Knoten

$$N_{2,Rd} \sin 90^\circ$$

$$\geq N_{1,Ed} \cdot \sin 30^\circ + N_{2,Ed} \cdot \sin 30^\circ$$

$$1103 > (700 \cdot 0,5 + 400)$$

$$= (350 + 400) = 750 \text{ kN}$$

auch erfüllt.

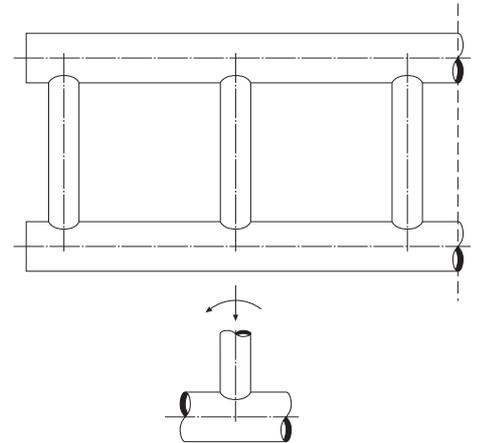
6 Hohlprofilknoten unter Momentenbeanspruchung (Vierendeelträger)

Der Vierendeelträger besteht aus T-förmigen Knoten, wobei die Füllstäbe mit einem Winkel von annäherungsweise 90° an die Gurtstäbe angeschlossen werden. Biegemomente an diesen Knoten sind primäre Biegemomente und für das Gleichgewicht am Knoten erforderlich. Die Füllstäbe werden vorwiegend durch Biegemomente, Axialkräfte und Schubkräfte beansprucht.

Die Bemessungsregeln für die Momentenbeanspruchbarkeit von Knoten dieser Art, z. B. T- und X-förmige Knoten, aber auch teilweise Y-, K- und N-förmige Knoten aus kreisförmigen und rechteckigen Hohlprofilen, wurden mit Hilfe zahlreicher Versuche, meistens an einzelnen Vierendeelträgerknoten, erstellt.

6.1 Nachweis der Knotentragfähigkeit

Die folgenden Tabellen enthalten die Formeln zur Bestimmung der Beanspruchung durch Biegemomente in der Ebene („in plane“) und senkrecht zur Ebene („out of plane“) von kreisförmigen (Tabelle 6.1) und rechteckigen (Tabelle 6.2) Hohlprofilknoten.



➤ Abb. 6.1 Vierendeelträger

Tabelle 6.1: Momententragfähigkeit von geschweißten Knoten mit KHP Gurtstäben und KHP Streben [20]

Flanschversagen des Gurtstabes	T-, X- und Y-Anschlüsse	(Moment in der Fachwerkebene)
		$M_{ip,1,Rd} = 4,85 \frac{f_{y0} t_0^2 d_1}{\sin \theta_1} \sqrt{\gamma^T} \beta_{k_p} / \gamma_{M5}$
Flanschversagen des Gurtstabes	K-, N-, T-, X- und Y-Anschlüsse	(Moment senkrecht zur Fachwerkebene)
		$M_{op,1,Rd} = \frac{f_{y0} t_0^2 d_1}{\sin \theta_1} \frac{2,7}{1 - 0,81 \beta} k_p / \gamma_{M5}$

Tabelle 6.1 (Forts.): Momententragfähigkeit von geschweißten Knoten mit KHP Gurtstäben und KHP Streben [20]

Durchstanzen	K- und N-Anschlüsse mit Spalt und alle T-, X- und Y-Anschlüsse		
Falls $d_1 \leq d_0 - 2 t_0$:	$M_{ip, 1, Rd} = \frac{f_{y0} t_0 d_i^2}{\sqrt{3}} \cdot \frac{1 + 3 \sin \theta_1}{4 \sin^2 \theta_1} / \gamma_{M5}$	$\beta =$	$\frac{d_1}{d_0}$
	$M_{op, 1, Rd} = \frac{f_{y0} t_0 d_i^2}{\sqrt{3}} \cdot \frac{3 + \sin \theta_1}{4 \sin^2 \theta_1} / \gamma_{M5}$	$\gamma =$	$\frac{b_0}{2t_0}$
Faktor k_p			
Für $n_p > 0$ (Druck):	$k_p = 1 - 0,3 n_p (1 + n_p)$	jedoch $k_p \leq 1,0$	mit $n_p = \frac{f_p}{f_{y0}} = \frac{N_p}{A_0 \cdot f_{y0}} + \frac{M_0}{W_{el,0} \cdot f_{y0}}$
Für $n_p \leq 0$ (Zug):	$k_p = 1,0$		

$\gamma_{M5} = 1,0$ sofern im Nationalen Anwendungsdokument (NAD) kein anderer Wert vorgeschrieben wird, Deutschland ebenfalls 1.0.

Tabelle 6.2: Momententragfähigkeit von geschweißten Knoten mit RHP Gurtstäben und RHP Streben [20]

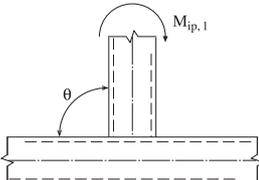
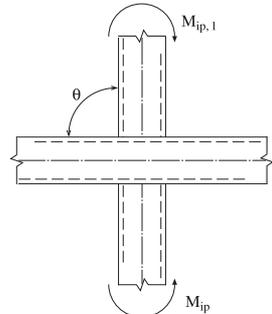
T- und X-Anschlüsse	Momententragfähigkeit	
Moment in der Ebene des Fachwerks ($\theta = 90^\circ$)	Flanschversagen des Gurtstabes	$\beta \leq 0,85$
	$M_{ip, 1, Rd} = k_n f_{y0} t_0^2 h_1 \left(\frac{1}{2\eta} + \frac{2}{\sqrt{1-\beta}} + \frac{\eta}{1-\beta} \right) / \gamma_{M5}$	
	Seitenwandversagen des Gurtstabes (plast. Stauchen)	$0,85 \leq \beta \leq 1,0$
	$M_{ip, 1, Rd} = 0,5 f_{yk} t_0 (h_1 + 5t_0)^2 / \gamma_{M5}$	
	$f_{yk} = f_{y0}$ für T-Anschlüsse	
	$f_{yk} = 0,8 f_{y0}$ für X-Anschlüsse	
	Versagen der Strebe	$0,85 \leq \beta \leq 1,0$
	$M_{ip, 1, Rd} = f_{y1} (W_{pql} - (1 - b_{eff} / b_1) b_1 h_1 t_1) / \gamma_{M5}$	

Tabelle 6.2 (Forts.): Momententragungsfähigkeit von geschweißten Knoten mit RHP Gurtstäben und RHP Streben [20]

T- und X-Anschlüsse	Momententragungsfähigkeit	
Moment rechtwinklig zur Ebene des Fachwerks ($\theta = 90^\circ$)	Flanschversagen des Gurtstabes	$\beta \leq 0,85$
	$M_{op,i,Rd} = k_n f_{y0} t_0^2 \left(\frac{h_1 (1+\beta)}{2 (1-\beta)} + \sqrt{\frac{2b_0 b_1 (1+\beta)}{1-\beta}} \right) / \gamma_{M5}$	
	Seitenwandversagen des Gurtstabes (plast. Stauchen)	$0,85 \leq \beta \leq 1,0$
	$M_{op,i,Rd} = f_{yk} t_0 (b_0 - t_0) (h_1 + 5t_0) / \gamma_{M5}$ $f_{yk} = f_{y0} \quad \text{für T-Anschlüsse}$ $f_{yk} = 0,8 f_{y0} \quad \text{für X-Anschlüsse}$	
	Versagen des Gurtstabes durch Verzerrung (nur T-Anschlüsse)	$M_{op,i,Rd} = 2f_{y0} t_0 (h_1 t_0 + \sqrt{b_0 h_0 t_0 (b_0 + h_0)}) / \gamma_{M5}$
	Versagen der Strebe	$0,85 \leq \beta \leq 1,0$
	$M_{op,i,Rd} = f_{y1} (W_{pd} - 0,5 (1 - b_{eff}/b_1)^2 b_1^2 t_1) / \gamma_{M5}$	
Parameter b_{eff} , k_n und η		
$b_{eff} = \frac{10}{b_0 / t_0} \frac{f_{y0} t_0}{f_{y1} t_1} b_1 \leq b_1$	Für $n > 0$ (Druck):	$k_n = 1,3 - \frac{0,4n}{\beta} \leq 1,0$
$\eta = h_1 / b_0$	Für $n \leq 0$ (Zug):	$k_n = 1,0 \text{ mit } n \frac{f_0}{f_{y0}} = \frac{N_0}{A_0 \cdot f_{y0}} + \frac{M_0}{W_{el,0} \cdot f_{y0}}$ $\beta = \frac{b_1}{b_0}$

$\gamma_{M5} = 1,0$ sofern im Nationalen Anwendungsdokument (NAD) kein anderer Wert vorgeschrieben wird, Deutschland ebenfalls 1,0.

6.2 Interaktion Axialkraft – Biegemoment

Die Wirkung der Axialbeanspruchungen auf die Momentenbeanspruchbarkeit der Knotenverbindungen ist von der maßgebenden Versagensart abhängig. Dadurch würde sich eine Vielzahl von Interaktionsgleichungen ergeben. Es wird daher eine auf der sicheren Seite liegende lineare Interaktion vorgeschlagen, die die Momentenbeanspruchbarkeit der Knotenverbindungen durch den Einfluss der Axialbeanspruchung reduziert:

6.2.1 KHP - Knoten

$$\frac{N_{i,Ed}}{N_{i,Rd}} + \left(\frac{M_{ip,i,Ed}}{M_{ip,i,Rd}} \right)^2 + \frac{M_{op,i,Ed}}{M_{op,i,Rd}} \leq 1,0$$

6.2.2 RHP - Knoten

$$\frac{N_{i,Ed}}{N_{i,Rd}} + \frac{M_{ip,i,Ed}}{M_{ip,i,Rd}} + \frac{M_{op,i,Ed}}{M_{op,i,Rd}} \leq 1,0$$

Für die vorgenannten Formeln sind $N_{i,Rd}$ den Tabellen 5.6, 5.9 bzw. 5.11 und $M_{ip,i,Rd}$ und $M_{op,i,Rd}$ den Tabellen 6.1 bzw. 6.2 zu entnehmen.

6.3 T-Knoten | Gurt: KHP / Werkstoff: S355

⇨ Gegeben

Knotengeometrie mit Belastung
(siehe Abb.6.2)

⇨ *Gewählt*

Werkstoff: S 355 J2H nach
EN 10210 KHP (warmgefertigt)
Druckgurt: KHP 219,1 x 10,0 mm
mit $A_0 = 65,7 \text{ cm}^2$
Füllstab: KHP 168,3 x 6,3 mm
mit $A_0 = 32,1 \text{ cm}^2$

Knotentragsfähigkeitsnachweis
nach Tabelle 6.1

Versagenskriterium:
Flanschversagen des Gurtstabes

Hilfswerte:

$$f_p = \frac{600 \cdot 10^3}{6570} = 91,3 \text{ N/mm}^2$$

$$\rightarrow n_p = \frac{f_p}{f_{y0}} = \frac{91,3}{355} = 0,257$$

$$\rightarrow k_p = 1 - 0,3 \cdot n_p (1 + n_p) \\ = 1 - 0,3 \cdot 0,257 (1 + 0,257) = 0,903$$

$$\gamma = \frac{b_0}{2 \cdot t_0} = \frac{219,1}{2 \cdot 10} = 10,96$$

$$\beta = \frac{d_1}{d_0} = \frac{168,3}{219,1} = 0,768$$

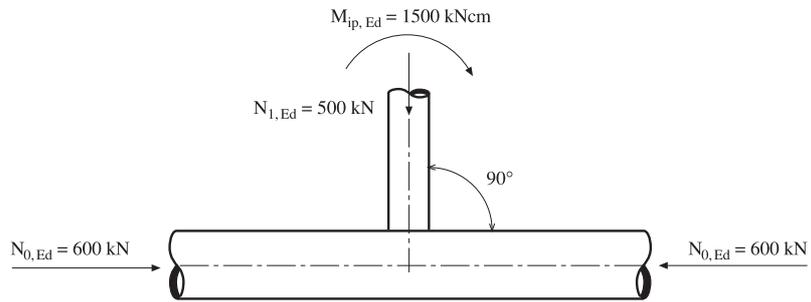
$$M_{ip,Rd} = 4,85 \cdot \frac{f_{y0} \cdot t_0^2 \cdot d_1}{\sin \theta_1} \cdot \sqrt{\gamma} \cdot \beta \cdot k_p / \gamma_{M5}$$

$$= 4,85 \cdot \frac{0,355 \cdot 10^2 \cdot 168,3}{\sin 90^\circ}$$

$$\cdot \sqrt{10,96} \cdot 0,768 \cdot 0,903 / 1,0$$

$$= 66529 \text{ KN mm}$$

$$= 66,5 \text{ KN m} > 15 \text{ KN m}$$



➤ Abb. 6.2: T-Knoten

Versagenskriterium: Durchstanzen

Nachweis erforderlich, wenn

$$d_1 \leq d_0 - 2 \cdot t_0$$

$$168,3 \leq 219,1 - 2 \cdot 10 = 199,1 \text{ mm}$$

→ Nachweis erforderlich.

$$M_{ip,Rd} = \frac{f_{y0} \cdot t_0 \cdot d_1^2}{\sqrt{3}} \cdot \frac{1 + 3 \cdot \sin \theta_1}{4 \cdot \sin^2 \theta_1} / \gamma_{M5} \\ = \frac{0,355 \cdot 10 \cdot 168,3^2}{1,732} \cdot \frac{1 + 3 \cdot \sin 90^\circ}{4 \cdot \sin^2 90^\circ} / 1,0 \\ = 58056 \text{ KN mm} \\ = 58,1 \text{ KN m} > 15 \text{ KN m}$$

Nachweis: Interaktion Axialkraft - Biegemoment nach Abschnitt 6.2

$N_{1,Rd}$ (nach Tabelle 5.2):

$$N_{1,Rd} = \frac{\gamma^{0,2} \cdot k_p \cdot f_{y0} \cdot t_0^2}{\sin \theta_1} \cdot (2,8 + 14,2 \cdot \beta^2) / \gamma_{M5}$$

$$= \frac{10,96^{0,2} \cdot 0,903 \cdot 0,355 \cdot 10^2}{\sin 90^\circ}$$

$$(2,8 + 14,2 \cdot 0,768^2) / 1,0$$

$$= 51,7 \cdot 11,2$$

$$= 579 \text{ KN}$$

$$\frac{N_{1,Ed}}{N_{1,Rd}} + \left(\frac{M_{ip,Ed}}{M_{ip,Rd}} \right)^2 \leq 1,0$$

$$\frac{500}{579} + \left(\frac{15}{58,1} \right)^2$$

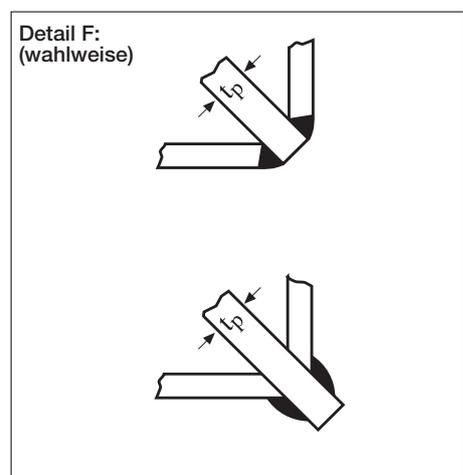
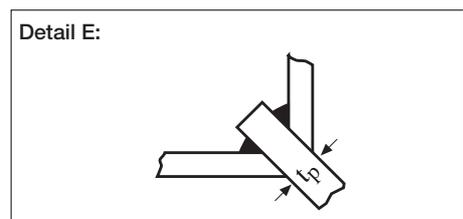
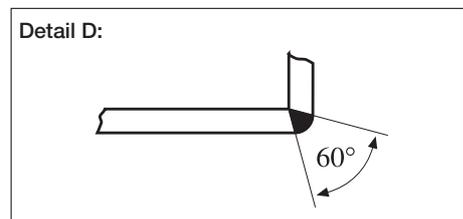
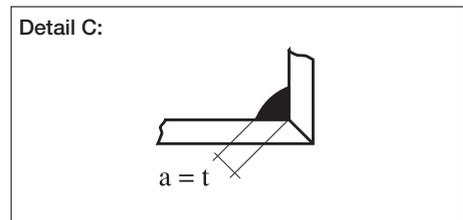
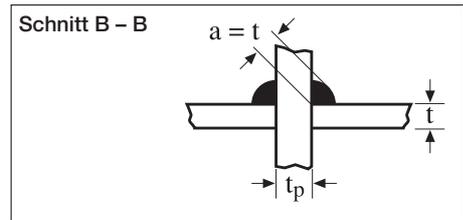
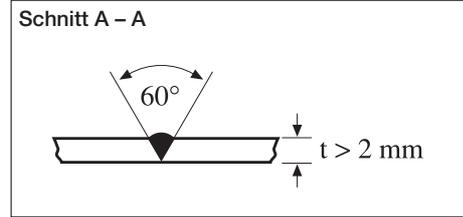
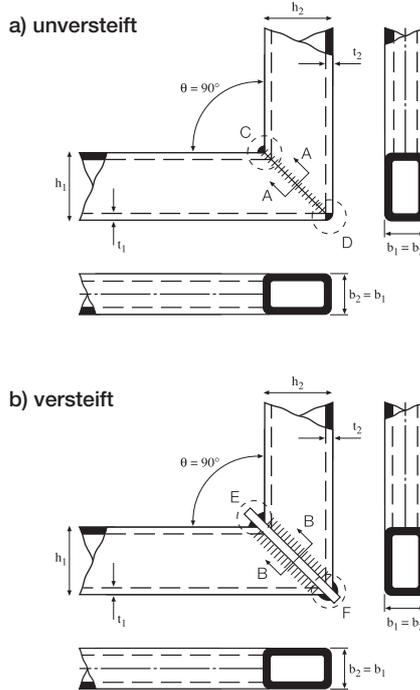
$$= 0,86 + 0,07 = 0,93 \leq 1,0$$

7 Biegesteife Rahmenecken

7.1 Biegesteife Rahmenecken aus Rechteckhohlprofilen RHP

Biegesteife Rahmenecken aus Rechteckhohlprofilen mit einem 90°-Winkel sind am gebräuchlichsten. Zur Erarbeitung der Bemessungsgrundlagen versteifter und

unversteifter RHP-Rahmenecken wurden an der Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine, Universität Karlsruhe, theoretische und versuchstechnische Untersuchungen durchgeführt, deren Ergebnisse in die DIN EN 1993-1-8 [20] eingeflossen sind.



➤ Abb. 7.1: Konstruktionsformen für rechtwinklige Rahmenecken aus RHP

7.1.1 Nachweis der Tragfähigkeit von biegesteifen RHP-Rahmenecken nach DIN EN 1993-1-8 [20]

Der Nachweis ist nach Tabelle 7.1 zu führen, wobei hinsichtlich der Schweißnahtausführung auf Abb 7.1 verwiesen wird.

Ferner ist:

$N_{i,Ed}$ = Beanspruchung aus Normalkraft in RHP i

$M_{i,Ed}$ = Beanspruchung aus Biegemoment in RHP i am Systempunkt der Rahmenecke

$N_{pl,i,Rd}$ = Beanspruchbarkeit (plastisch) aus Normalkraft des Hohlprofils i
 $= \frac{A_i \cdot f_{yi}}{\gamma_{M0}}$

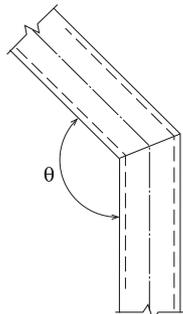
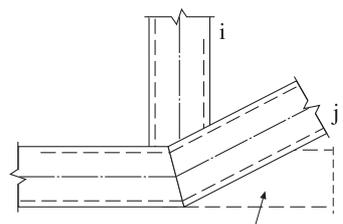
$M_{pl,i,Rd}$ = Beanspruchbarkeit (plastisch) aus Biegemoment des Hohlprofils i am Systempunkt der Rahmenecke
 $= \frac{W_{pl,i} \cdot f_{yi}}{\gamma_{M0}}$

$V_{i,Ed}$ = Beanspruchung aus Querkraft in RHP i am Systempunkt der Rahmenecke

$V_{pl,i,Rd}$ = Beanspruchbarkeit (plastisch) aus Querkraft in RHP i am Systempunkt der Rahmenecke
 $= \frac{f_{yi}}{\sqrt{3}} (2 h_i \cdot t_i) \frac{1}{\gamma_{M0}}$

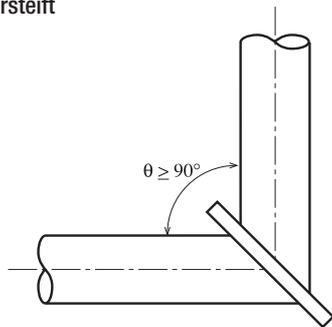
$\gamma_{M0} = 1,0$ (falls im Nationalen Anwendungsdokument NAD kein anderer Wert festgelegt wurde), Deutschland ebenfalls 1,0.

Tabelle 7.1: Bemessungskriterien für geschweißte Rahmeneckanschlüsse und abgeknickte Anschlüsse mit RHP Bauteilen [20]

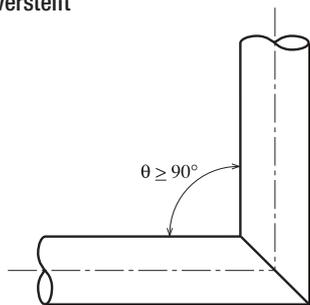
Anschlussstyp	Bemessungskriterien
Geschweißte Rahmeneck-Anschlüsse	<p>Der Querschnitt sollte in Klasse 1 für reine Biegung eingestuft sein, siehe Tabelle 1.2.</p> $N_{Ed} \leq 0,2 N_{pl,Rd}$ <p>und $\frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{Ed}}{M_{pl,Rd}} \leq \kappa$</p> <p>Für $\theta \leq 90^\circ$: $\kappa = \frac{3\sqrt{b_0/h_0}}{[b_0/t_0]^{0,8}} + \frac{1}{1 + 2b_0/h_0}$</p> <p>Für $90^\circ < \theta \leq 180^\circ$: $\kappa = 1 - (\sqrt{2} \cos(\theta/2))(1 - \kappa_{90})$ wobei κ_{90} der Wert κ für $\theta = 90^\circ$ ist.</p>
	<p>$t_p \geq 1,5 t$ und ≥ 10 mm</p> $\frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{Ed}}{M_{pl,Rd}} \leq 1,0$
Abgeknickter Gurtstabanschluss	<p>$N_{i,Ed} \leq N_{i,Rd}$</p> <p>wobei $N_{i,Rd}$ entspricht dem Wert für $N_{i,Rd}$ eines K- oder N-Anschlusses mit Überlappung aus Tabelle 5.9 bzw. 5.12.</p>
 gedachte Gurtstabverlängerung	

7.2 Biegesteife Rahmenecken aus kreisförmigen Hohlprofilen KHP [15]

Versteift



Unversteift



➤ Abb. 7.2 Konstruktionsformen für Rahmenecken aus KHP

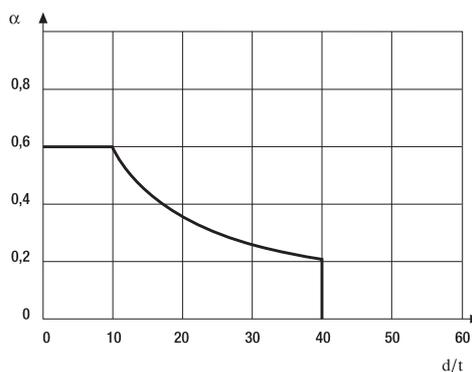
Auf der Basis der Ergebnisse von Untersuchungen, die in der Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine der Universität Karlsruhe durchgeführt wurden [15], können biegesteife KHP-Rahmenecken bemessen werden. Eine normenmäßige Umsetzung ist bisher nicht erfolgt.

In Anlehnung an die Bemessungsregeln von RHP-Rahmenecken nach DIN 18808 sind die Gleichungen (7.1) und (7.2) zu verwenden, wobei $\theta \geq 90^\circ$ gilt. Gemäß der Untersuchungen gilt der folgende Gültigkeitsbereich:

$$\frac{\text{KHP-Außendurchmesser}}{\text{KHP-Wanddicke}} \frac{d}{t} \leq 40$$

Bei größeren d/t -Verhältnissen wird die Verwendung von Versteifungsblechen empfohlen. Der Wert a in Gleichung (7.1) ist aus dem Diagramm der Abb. 7.4 zu entnehmen.

Ferner ist im Gegensatz zu RHP-Rahmenecken der Wert „As“ für KHP-Knoten in Gleichung (7.1) gleich der schubbelasteten Querschnittsfläche ($\approx 2 \cdot d \cdot t$) des KHP-Profiles zu setzen.



➤ Abb. 7.3: Formfaktor α für KHP-Rahmenecken in Abhängigkeit von d/t [15]

7.3 Rahmenecke / RHP-Profile / Werkstoff: S355

Auf der Basis der Ergebnisse von Untersuchungen, die in der Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine der Universität Karlsruhe durchgeführt wurden [15], können biegesteife KHP-Rahmenecken bemessen werden. Eine normenmäßige Umsetzung ist bisher nicht erfolgt.

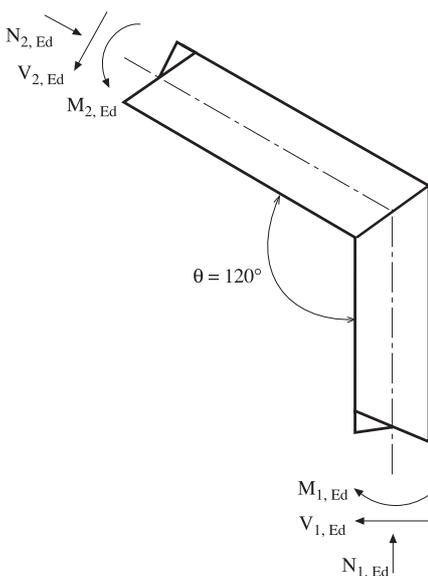
In Anlehnung an die Bemessungsregeln von RHP-Rahmenecken nach DIN 18808 sind die Gleichungen (7.1) und (7.2) zu verwenden, wobei $q \geq 90^\circ$ gilt. Gemäß der Untersuchungen gilt der folgende Gültigkeitsbereich:

$$\frac{\text{KHP-Außendurchmesser}}{\text{KHP-Wanddicke}} \frac{d}{t} \leq 40$$

Bei größeren d/t-Verhältnissen wird die Verwendung von Versteifungsblechen empfohlen. Der Wert a in Gleichung (7.1) ist aus dem Diagramm der Abb. 7.4 zu entnehmen.

Ferner ist im Gegensatz zu RHP-Rahmenecken der Wert „As“ für KHP-Knoten in Gleichung (7.1) gleich der schubbelasteten Querschnittsfläche ($\approx 2 d \cdot t$) des KHP-Profiles zu setzen.

⇨ Gegeben



➤ Abb. 7.4: Unverteifte Rahmenecke

Knotengeometrie gemäß Abb. 7.4
Belastungen:

$$\begin{aligned} M_{1,Ed} &= M_{2,Ed} = 30 \text{ kNm} \\ N_{1,d} &= 15 \text{ kN} & N_{2,d} &= 60 \text{ kN} \\ Q_{1,d} &= 60 \text{ kN} & Q_{2,d} &= 15 \text{ kN} \end{aligned}$$

⇨ Gewählt

Werkstoff: S 355 J2H nach EN 10210
MSH 180 x 100 x 6,3 mm (hochkant)
mit: $A = 33,3 \text{ cm}^2$
 $W_{el} = 156 \text{ cm}^3$

Nachweis für Querschnittsklasse 1

$$h/t = \frac{180}{6,3} = 28,6 < 61,1$$

$$N_{Ed} \leq 0,2 N_{pl,Rd}$$

$$N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{MO}} = \frac{33,3 \cdot 35,5}{1,0} = 1182 \text{ kN}$$

$$0,2 \cdot 1182 = 236 \text{ kN} > 60 \text{ kN}$$

Für $\theta = 90^\circ$:

$$\begin{aligned} \kappa &= 3 \frac{\sqrt{b_0 / h_0}}{[b_0 / t_0]^{0,8}} + \frac{1}{1 + 2 b_0 / h_0} \\ &= 3 \frac{\sqrt{100/180}}{(100/6,3)^{0,8}} + \frac{1}{1 + 2 \cdot 100/180} \\ &= \frac{2,236}{9,13} + 0,473 = 0,71 \end{aligned}$$

Für $\theta = 120^\circ$:

$$\begin{aligned} \kappa &= 1 - [\sqrt{2} \cdot \cos(\theta / 2)] (1 - \kappa_{90}) \\ &= 1 - (1,414 \cdot \cos 60^\circ) (1 - 0,71) \\ &= 1 - 0,707 \cdot 0,29 = 0,79 \end{aligned}$$

Nachweis:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{Ed}}{M_{pl,Rd}} \leq \kappa \text{ mit } M_{pl,Rd} = \frac{f_{y,i} \cdot W_{pl}}{\gamma_{MO}}$$

$$\begin{aligned} \frac{60}{1182} + \frac{3000 \cdot 1,0}{156 \cdot 35,5} &= 0,05 + 0,54 \\ &= 0,59 < 0,79 \end{aligned}$$

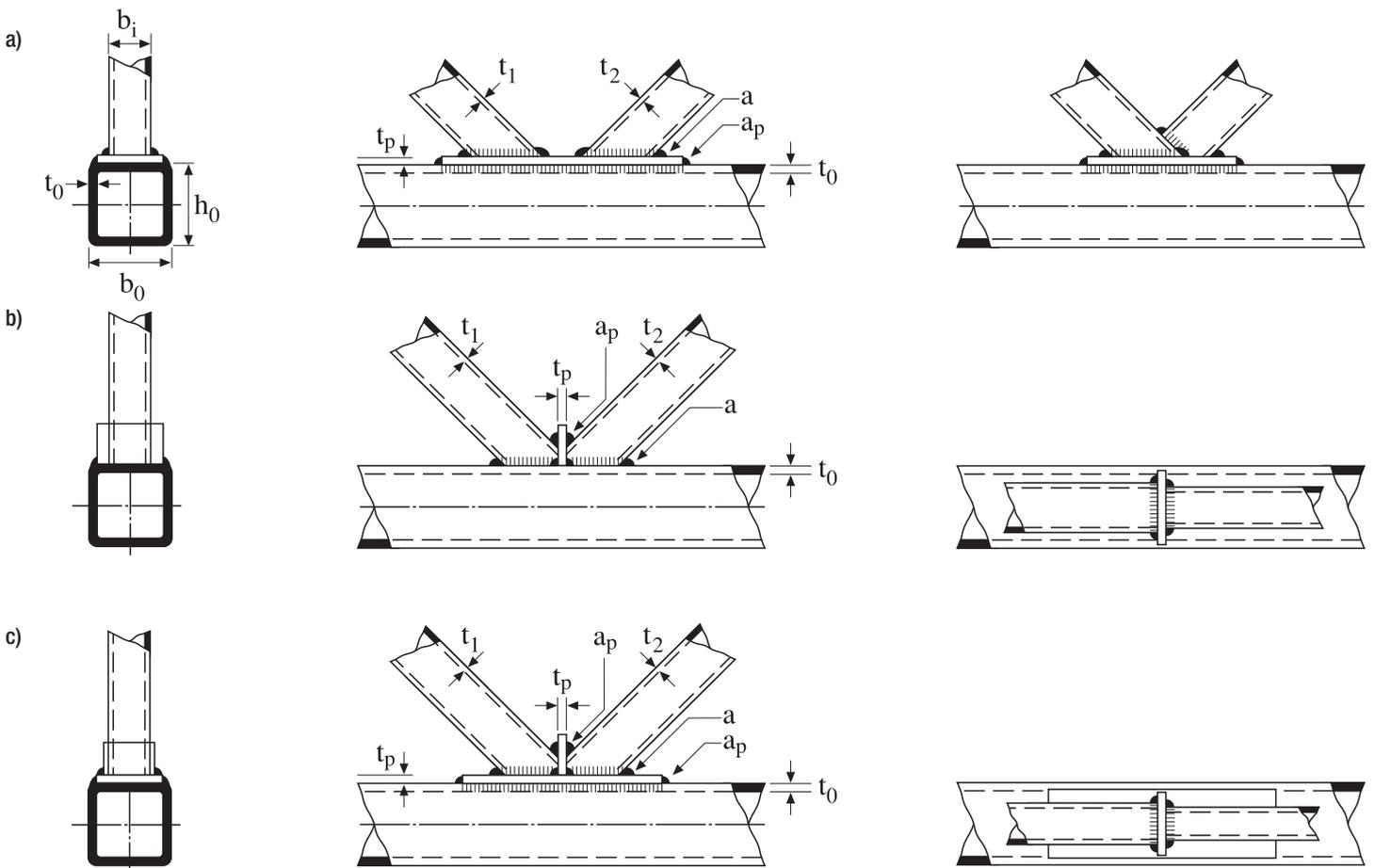
8 Verstärkte RHP-Knoten unter Axialkraftbeanspruchung der Stäbe

Die Möglichkeit der Aussteifung von T-, Y-, X-, K- und N-förmigen Knoten, vornehmlich aus RHP, wird im Falle einer Reparatur oder nachträglichen Verstärkung von Hohlprofilkonstruktionen häufig genutzt. Es liegen hierzu Berechnungs- und Bemessungsverfahren vor. Diese sind im Wesentlichen auf der Grundlage der Bemessung von unausgesteiften RHP-Knoten nach den Tabellen 5.7 bis 5.9 (gemäß DIN EN 1993-1-8 [20]) entwickelt worden, da die Versagenskriterien für Knoten mit und ohne Versteifungen prinzipiell identisch sind.

8.1 Nachweis

Die Traglasten von ausgesteiften T-, Y-, X-, K- und N-förmigen RHP-Knoten mit Unterlegblech, Zwischenblech oder Gurtstegverstärkungsblech können nach DIN EN 1993-1-8, nachgewiesen werden. Die Knotennachweise sind nach den Beanspruchbarkeitswerten $N_{i,Rd}$ der Tabelle 8.1 und 8.2 durchzuführen. Für T-, Y- und X-Knoten sind das Plastizieren des Gurtflansches und die Gurtsteginstabilität normale Versagenskriterien. Die Auflage eines Unterlegbleches auf

dem Gurtflansch bei $\beta = 0,85$ und das Verstärken des Gurtstegs mit einem Lamellenblech bei $\beta \approx 1,0$ sind die üblichen Gegenmaßnahmen. Für K- und N-Knoten gelten die gleichen Bedingungen. Zusätzlich erfolgt der Einsatz eines querlaufenden Zwischenbleches, das manchmal zur Vermeidung teilweiser Überlappung der Füllstäbe verwendet wird.

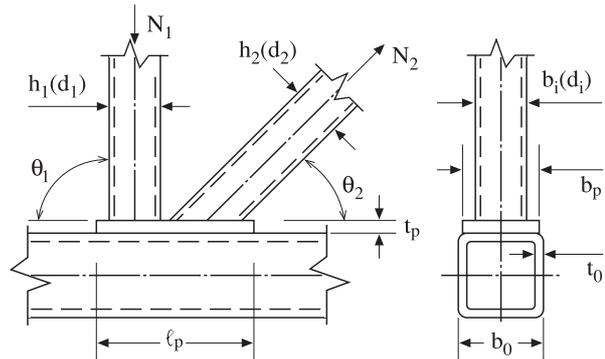
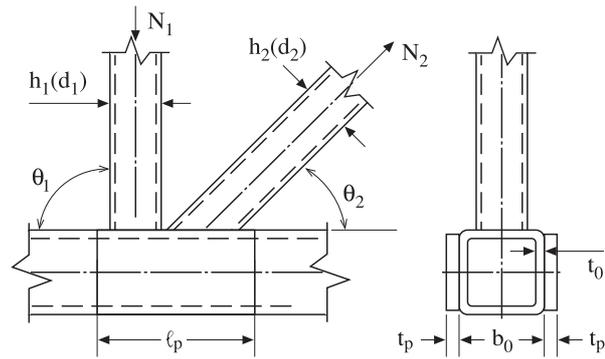
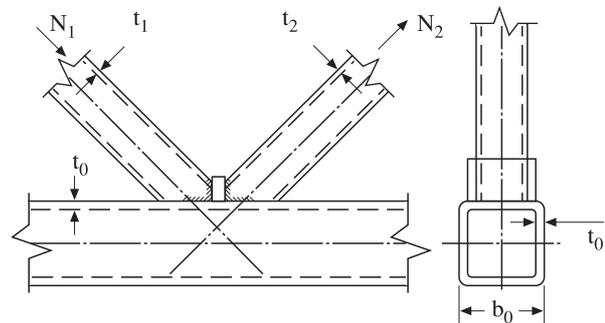


➤ Abb. 8.1: Ausgesteifte K-förmige RHP-Knotenarten, die gemäß DIN 18808 bemessen werden können

Tabelle 8.1: Tragfähigkeit von geschweißten verstärkten T-, Y- und X-Knoten mit RHP Gurtstäben und RHP oder KHP Streben [20]

Anschlussstyp	Tragfähigkeiten [i = 1]
Verstärkungsbleche für Gurtstabflansche zur Vermeidung des Flanschversagens der Gurtstäbe, des Versagens der Strebe oder des Durchstanzens	
Zugbeanspruchung	$\beta_p \leq 0,85$
	$\ell_p \geq \frac{h_i}{\sin \theta_i} + \sqrt{b_p (b_p - b_i)}$ $\geq 1,5 h_i / \sin \theta_i$ <p>und</p> $b_p \geq b_0 - 2 t_0$ $N_{i, Rd} = \frac{f_{y,p} t_p^2}{(1 - b_i / b_p) \sin \theta_i} \chi$ $\chi \left(\frac{2 h_i / b_p}{\sin \theta_i} + 4 \sqrt{1 - b_i / b_p} \right) / \gamma_{M5}$
Druckbeanspruchung	$\beta_p \leq 0,85$
	$\ell_p \geq \frac{h_i}{\sin \theta_i} + \sqrt{b_p (b_p - b_i)}$ $\geq 1,5 h_i / \sin \theta_i$ <p>und</p> $b_p \geq b_0 - 2 t_0$ <p>$N_{i, Rd}$ entspricht dem Wert eines T-, X- oder Y- Knotens aus Tabelle 5.7, jedoch mit $k_n = 1,0$. Außerdem ist t_0 durch t_p für Flanschversagen des Gurtstabes, Versagen der Strebe und Durchstanzens zu ersetzen.</p>
Verstärkung durch Seitenlamellen zur Vermeidung des Seitenwandversagens oder des Abscherens des Gurtstabes	
	$\ell_p \geq 1,5 h_i / \sin \theta_i$ <p>$N_{i, Rd}$ entspricht dem Wert eines T-, X- oder Y- Knotens aus Tabelle 5.7. Es ist jedoch t_0 durch $(t_0 + t_p)$ für Seitenwandversagen und Abscheren des Gurtstabes zu ersetzen.</p>

Tabelle 8.2: Tragfähigkeit von geschweißten verstärkten K- und N-Knoten mit RHP Gurtstäben und RHP oder KHP Streben [20]

Anschlussstyp	Tragfähigkeiten [i = 1 oder 2]
Verstärkungsbleche für Gurtflansche zur Vermeidung des Flanschversagens der Gurtstäbe, des Versagens der Strebe oder des Durchstanzens	 $\ell_p \geq 1,5 \left(\frac{h_1}{\sin \theta_1} + g + \frac{h_2}{\sin \theta_2} \right)$ $b_p \geq b_0 - 2 t_0$ $t_p \geq 2 t_1 \text{ und } 2 t_2$ <p>$N_{i,Rd}$ entspricht dem Wert eines K- oder N-Knotens aus Tabelle 5.8. Es ist jedoch t_0 durch t_p für Flanschversagen des Gurtstabs, Versagen der Strebe und Durchstanzens zu ersetzen.</p>
Verstärkung durch paarweise Seitenlamellen zur Vermeidung des Abscherens des Gurtstabes	 $\ell_p \geq 1,5 \left(\frac{h_1}{\sin \theta_1} + g + \frac{h_2}{\sin \theta_2} \right)$ <p>$N_{i,Rd}$ entspricht dem Wert eines K- oder N-Knotens aus Tabelle 5.8. Es ist jedoch t_0 durch $(t_0 + t_p)$ für Abscheren des Gurtstabes zu ersetzen.</p>
Verstärkung durch eine Quersteife zwischen den Streben bei ungenügender Überlappung	 $t_p \geq 2 t_1 \text{ und } 2 t_2$ <p>$N_{i,Rd}$ entspricht dem Wert eines K- oder N-Knotens mit Überlappung aus Tabelle 5.8 mit $\lambda_{ov} < 80\%$ b_j, t_j und f_{yi} sind b_p, t_p und f_{yp} im Ausdruck für $b_{e,ov}$ in Tabelle 5.9 zu ersetzen.</p>

8.2 K-Knoten, verstärkt mit Spalt / Gurt: RHP / Werkstoff: S355 Rahmenecke / RHP-Profile / Werkstoff: S355

⇨ *Gegeben*

Knotengeometrie mit Belastung (siehe Abb. 8.2)

⇨ *Gewählt*

Werkstoff: S 355 J2H nach EN 10210
 MSH-Profile nach EN 10210 (warmgefertigt)
 Druckgurt: MSH 150 x 150 x 10,0 mm mit $A_0 = 54,9 \text{ cm}^2$
 Füllstäbe: MSH 100 x 100 x 10,0 mm mit $A_0 = 34,9 \text{ cm}^2$

Knotentragsfähigkeitsnachweis (siehe Tabellen 5.8 und 8.2)

$$n = \frac{N_{0,Ed}}{A_0 \cdot f_{y0}} = \frac{1131}{5490 \cdot 0,355} = 0,58$$

$$\beta = \frac{b_1 + b_2}{2b_0} = \frac{100 + 100}{2 \cdot 150} = 0,67$$

$$kn = 1,3 - \frac{0,4 n}{\beta} = 1,3 - \frac{0,4 \cdot 0,58}{0,67} = 0,95$$

$$A_v = (2h_0 + \alpha \cdot b_0) \cdot t_0 = (2 \cdot 150 + 0,18 \cdot 150) \cdot 10 = 3270 \text{ mm}^2$$

mit $\alpha = \sqrt{\frac{1}{1 + \frac{4g^2}{3t_0^2}}}$

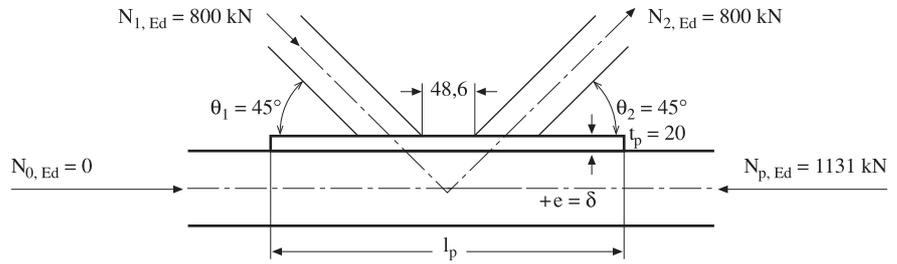
$$\alpha = \sqrt{\frac{1}{1 + \frac{4 \cdot 48,6^2}{3 \cdot 10^2}}} = 0,18$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v \cdot f_{y0}}{\gamma_{M0} \cdot \sqrt{3}} = \frac{3270 \cdot 0,355}{1,0 \cdot 1,732} = 670 \text{ kN} > 0,707 \cdot 800 = 566 \text{ kN}$$

Unterlegplatte:
 gewählt: $b \times t \times l = 130 \times 20 \times 500 \text{ mm}$

Plattenbreite b_p :
 $b_p \geq b_0 - 2t_0 = 150 - 2 \cdot 10 = 130 \text{ mm}$

Plattendicke t_p :
 $t_p = 20 \text{ mm} \geq 2t_1$ und $2t_2 = 20 \text{ mm}$



➤ **Abb. 8.2 : Verstärkter K-Knoten**

Plattenlänge l_p :

$$l_p = 500 \geq 1,5 \left(\frac{h_1}{\sin\theta_1} + g + \frac{h_2}{\sin\theta_2} \right) = 1,5 \left(\frac{100}{0,707} + 48,6 + \frac{100}{0,707} \right) = 497 \text{ mm}$$

Versagenskriterium: Flanschversagen des Gurtstabes (t_0 ist durch t_p zu ersetzen)

$$N_{1,Rd} = \frac{8,9 \cdot kn \cdot f_{y0} \cdot t_p^2 \cdot \sqrt{\gamma}}{\sin\theta_1} \left(\frac{b_1 + b_2 + h_1 + h_2}{4b_0} \right) / \gamma_{M5} = \frac{8,9 \cdot 0,95 \cdot 0,355 \cdot 20^2 \cdot \sqrt{\frac{150}{2 \cdot 10}}}{\sin 45^\circ} \left(\frac{100 + 100 + 100 + 100}{4 \cdot 150} \right) / 1,0 = \frac{3288 \cdot 400}{0,707 \cdot 600} = 3100 \text{ kN} > 800 \text{ kN}$$

Versagenskriterium:
 Abscherversagen des Gurtstabes

$$N_{1,Rd} = \frac{f_{y0} \cdot A_v}{\sqrt{3} \cdot \sin\theta_1} / \gamma_{M5} = \frac{0,355 \cdot 3263}{1,732 \cdot 0,707} / 1,0 = 946 \text{ kN} > 800 \text{ kN}$$

$$N_{0,Rd} = [(A_0 - A_v) \cdot f_{y0} + A_v \cdot f_{y0} \cdot \sqrt{1 - (V_{Ed}/V_{pl,Rd})^2}] / \gamma_{M5} = [(5490 - 3270) \cdot 0,355 + 3270 \cdot 0,355 \cdot \sqrt{1 - (566/670)^2}] / 1,0 = 788 + 621 = 1409 \text{ kN} > 1131 \text{ kN}$$

Versagenskriterium: Durchstanzen
 Nachweis ist erforderlich, wenn gilt:
 $\beta \leq (1 - 1/\gamma)$

$$0,67 \leq \left(1 - 1 / \frac{150}{2 \cdot 10} \right) = 0,87$$

→ Nachweis erforderlich.

$$N_{1,Rd} = \frac{f_{y0} \cdot t_0}{\sqrt{3} \cdot \sin\theta_1} \left[\frac{2h_1}{\sin\theta_1} + b_1 + b_{c,p} \right] / \gamma_{M5}$$

mit $b_{c,p} = \frac{10}{b_0/t_p} \cdot b_1 = \frac{10}{150/20} \cdot 100 = 133 \leq b_1!$

→ $b_{c,p} = 100$

$$N_{1,Rd} = \frac{0,355 \cdot 10}{1,732 \cdot 0,707} \left(\frac{2 \cdot 100}{0,707} + 100 + 100 \right) / 1,0 = 2,9 \cdot 483 = 1401 \text{ kN} > 1131 \text{ kN}$$

9 Räumliche Anschlüsse

Wegen seiner ausgezeichneten Stabilität, Torsionssteifigkeit und der angenehmen Ästhetik wird der Dreigurtträger sowohl kreisförmiger als auch rechteckiger bzw. quadratischer Hohlprofile in modernen repräsentativen Hallenbauten bevorzugt angewendet. Er weist gegenüber ebenen Fachwerkträgern den Vorteil der besonderen Kippstabilität auf, die durch mit Füllstäben verbundene Druckgurte vergrößert wird.

Häufig wird er daher in weitgespannten Tragwerken statt kostenaufwändiger Raumfachwerke eingesetzt.

Aufgrund der durchgeführten Forschungsarbeiten durch CIDECT und EGKS sind von DIN EN 1993-1-8 [20], die ersten Bemessungsgrundlagen für räumliche Anschlüsse empfohlen worden.

9.1 Nachweis der Knotentragfähigkeit von räumlichen Anschlüssen

In jeder maßgebenden Ebene eines räumlichen Anschlusses sollten die Bemessungskriterien gemäß Abschnitt 5.3 erfüllt werden, wobei die Abminderungsfaktoren nach den Tabellen 9.1 (für KHP-Knoten) und Tabelle 9.2 (für RHP-Knoten) zu berücksichtigen sind.

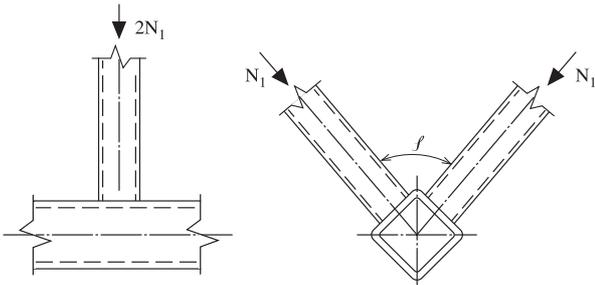
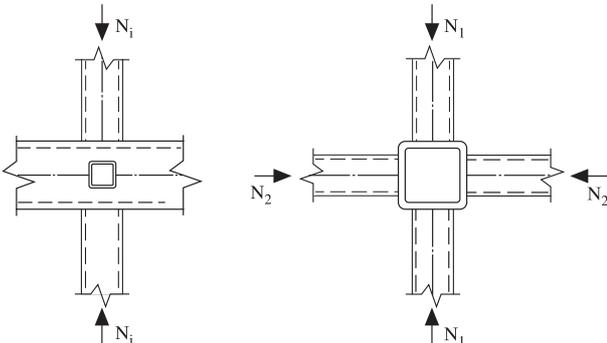
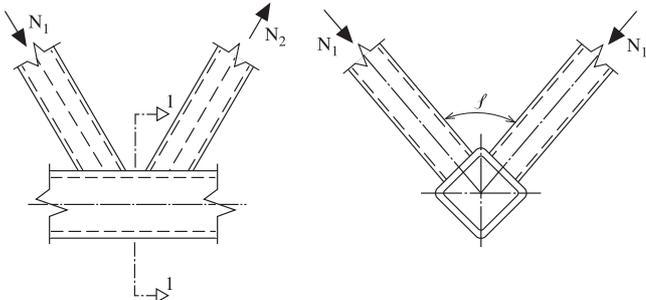


➤ Abb. 9.1: Dreigurtträger aus kreisförmigen Hohlprofilen

Tabelle 9.1: Abminderungsfaktoren für räumliche KHP-Knoten [20]

Anschlussstyp	Abminderungsfaktor α
TT-Anschluss	$60^\circ \leq \varphi \leq 90^\circ$
Entweder Zugkraft oder Druckkraft in Strebe 1	
	$\mu = 1,0$
XX- Anschluss	
Zugkraft oder Druckkraft in Strebe 1 und 2. Herrscht in einer Strebe Zug und in der anderen Druck ist der Ausdruck für $N_{2,Ed} / N_{1,Ed}$ negativ.	
	$\mu = 1 + 0,33 N_{2,Ed} / N_{1,Ed}$
Die Vorzeichen von $N_{1,Ed}$ und $N_{2,Ed}$ sind zu berücksichtigen, wobei $ N_{2,Ed} \leq N_{1,Ed} $	
KK- Anschluss	$60^\circ \leq \varphi \leq 90^\circ$
Druckkraft immer in Strebe 1 und Zugkraft immer in Strebe 2.	
	$\mu = 0,9$
vorausgesetzt, dass im Schnitt 1 - 1 von Anschlüssen mit Spalt für den Gurtstab gilt:	
$\left[\frac{N_{0,Ed}}{N_{pl,0,Rd}} \right]^2 + \left[\frac{V_{0,Ed}}{V_{pl,0,Rd}} \right]^2 \leq 1,0$	

Tabelle 9.2: Abminderungsfaktoren für räumliche RHP - Knoten [20]

Anschlussstyp	Abminderungsfaktor α
TT-Anschluss	$60^\circ \leq \varphi \leq 90^\circ$
Entweder Zugkraft oder Druckkraft in Strebe 1	
	$\mu = 0,9$
XX- Anschluss	
Zugkraft oder Druckkraft in Strebe 1 und 2. Herrscht in einer Strebe Zug und in der anderen Druck ist der Ausdruck für $N_{2,Ed} / N_{1,Ed}$ negativ.	
	$\mu = 0,9 (1 + 0,33 N_{2,Ed} / N_{1,Ed})$
yDie Vorzeichen von $N_{1,Ed}$ und $N_{2,Ed}$ sind zu berücksichtigen, wobei $ N_{2,Ed} \leq N_{1,Ed} $	
KK- Anschluss	$60^\circ \leq \varphi \leq 90^\circ$
Druckkraft immer in Strebe 1 und Zugkraft immer in Strebe 2.	
	$\mu = 0,9$
vorausgesetzt, dass im Schnitt 1 - 1 von Anschlüssen mit Spalt für den Gurtstab gilt:	
$\left[\frac{N_{0,Ed}}{N_{pl,0,Rd}} \right]^2 + \left[\frac{V_{0,Ed}}{V_{pl,0,Rd}} \right]^2 \leq 1,0$	

9.2 KK-Knoten mit Spalt / Gurt: RHP / Werkstoff: S355

⇨ Gegeben

Knotengeometrie mit Belastung
(siehe Abb. 9.2)

⇨ Gewählt

Werkstoff: S 355 J2H nach EN 10210

MSH-Profile nach EN 10210:

Druckgurt: KHP 193,7 x 10,0 mm
mit $A_0 = 57,7 \text{ cm}^2$

Druckfüllstäbe: KHP 88,9 x 6,3 mm

Zugfüllstäbe: KHP 88,9 x 5,0 mm

Knotentragfähigkeitsnachweis

Druck- und Zugfüllstab (siehe Tabelle 5.2)

$$\eta_p = \frac{N_p}{A_0 \cdot f_{y0}} = \frac{1207}{5770 \cdot 0,355} = 0,59 \rightarrow$$

$$k_p = 1 - 0,3 \cdot 0,59 (1 + 0,59) = 0,72$$

$$g/t_0 = \frac{68}{10} = 6,8 \text{ und } \gamma = \frac{d_0}{2 \cdot t_0} = \frac{193,7}{2 \cdot 10}$$

$$= 9,7 \rightarrow k_g = 1,67 \text{ (aus Abb. 5.15)}$$

Versagenskriterium:

Flanschversagen des Gurtstabes

$N_{1,Rd}$ bzw. $N_{2,Rd}$

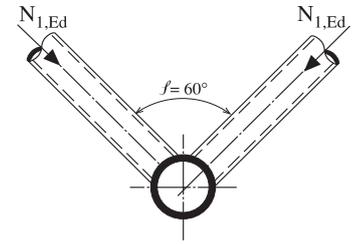
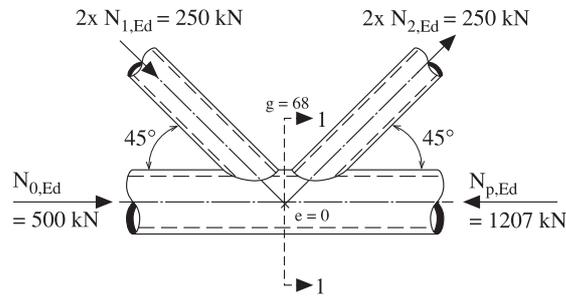
$$= \frac{f_{y0} \cdot t_0^2}{\sin \theta_i} \cdot \left(1,8 + 10,2 \cdot \frac{d_i}{d_0} \right) \cdot k_g \cdot k_p / \gamma_{M5}$$

$$= \frac{0,355 \cdot 10^2}{0,707} \left(1,8 + 10,2 \cdot \frac{88,9}{193,7} \right) \cdot$$

$$0,72 \cdot 1,67 / 1,0 = 391 \text{ kN}$$

Korrekturfaktor μ nach Tabelle 9.1:

$$\mu = 0,9 \rightarrow N_{1,Rd} = 0,9 \cdot 391 = 352 \text{ kN} > 250 \text{ kN}$$



➤ Abb. 9.2: Dreigurtträgerknoten

Versagenskriterium: Durchstanzen

$$d_i = 88,9 \leq d_0 - 2t_0 = 193,7 - 20 = 173$$

$$N_{1,Rd} \text{ bzw. } N_{2,Rd} = \frac{f_{y0}}{\sqrt{3}} \cdot t_0 \cdot \pi \cdot d_i \cdot$$

$$\frac{1 + \sin \theta_i}{2 \cdot \sin^2 \theta_i} / \gamma_{M5} = \frac{0,355}{1,732} \cdot 10 \cdot \pi$$

$$\cdot 88,9 \cdot \frac{1 + 0,707}{1,0} / 1,0 = 977 \text{ kN}$$

Korrekturfaktor μ nach Tabelle 9.1:

$$N_{1,Rd} = 0,9 \cdot 977 = 879 \text{ kN} > 250 \text{ kN}$$

Nachweis, dass Interaktion erfüllt ist

(Tab. 9.1)

$$\left[\frac{N_{0,Ed}}{N_{p(o),Rd}} \right]^2 + \left[\frac{V_{0,Ed}}{V_{p(o),Rd}} \right]^2 \leq 1,0$$

im Schnitt 1 - 1

Schnitt 1 - 1:

$$N_{0,Ed} = 500 + 2 \cdot 250 \cdot \cos 45^\circ = 854$$

$$N_{p(o),Rd} = \frac{A_0 \cdot f_{y0}}{\gamma_{M0}} = \frac{5770 \cdot 0,355}{1,0} = 2048$$

$$V_{p(o),Ed} = 2 \cdot 250 \cdot \cos 45^\circ = 354$$

$$V_{0,Rd} = \frac{A_v \cdot f_{y0}}{\gamma_{M0} \cdot \sqrt{3}} \text{ mit } A_v = 2d_0 \cdot t_0$$

$$= \frac{2 \cdot 193,7 \cdot 10 \cdot 0,355}{1,0 \cdot 1,732} = 794$$

$$\left(\frac{854}{2048} \right)^2 + \left(\frac{354}{794} \right)^2$$

$$= 0,17 + 0,20 = 0,37 < 1,0$$

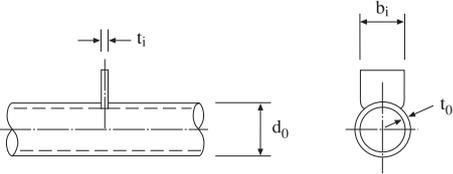
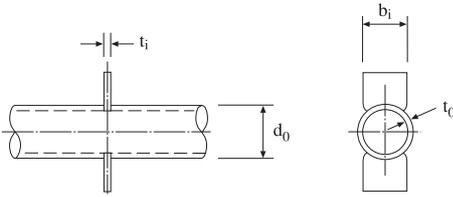
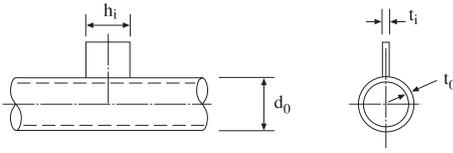
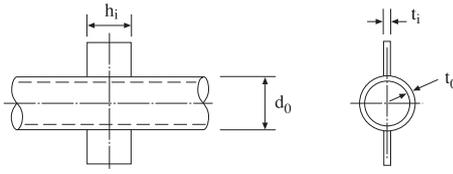
10 Anschlüsse von Hohlprofilen über Knotenbleche



› Abb. 10.1: Träger aus Hohlprofilen mit Knotenblechen

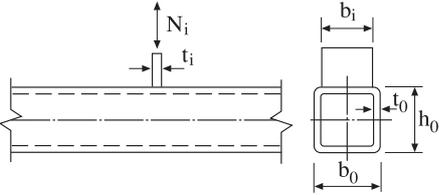
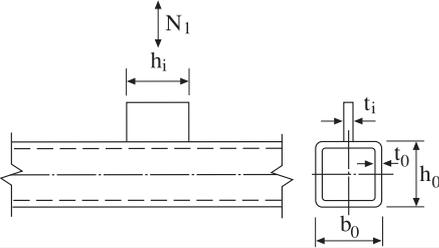
Nach DIN EN sind 1993-1-8 [20], die Nachweiskriterien der Tragfähigkeit von Hohlprofilverbindungen mit Knotenblechen auf der Grundlage der Gestaltfestigkeit aufgebaut. Die Tabellen 10.1 und 10.2 enthalten die Formeln zur Bestimmung der Beanspruchbarkeit, die die Ergebnisse umfangreicher Forschungsarbeiten darstellen.

Tabelle 10.1: Tragfähigkeit von geschweißten Knoten mit KHP Gurtstäben und Blechen [20]

Flanschversagen des Gurtstabes	
	$N_{l,Rd} = k_p f_{yo} t_o^2 (4 + 20 \beta^2) / \gamma_{M5}$ $M_{ip,i,Rd} = 0$ $M_{op,i,Rd} = 0,5 b_i N_{i,Rd}$
	$N_{i,Rd} = \frac{5k_p f_{yo} t_o^2}{1 - 0,81 \beta} / \gamma_{M5}$ $M_{ip,i,Rd} = 0$ $M_{op,i,Rd} = 0,5 b_i N_{i,Rd}$
	$N_{i,Rd} = 5k_p f_{yo} t_o^2 (1 + 0,25 \eta) / \gamma_{M5}$ $M_{ip,i,Rd} = h_i N_{i,Rd}$ $M_{op,i,Rd} = 0$
	$N_{i,Rd} = 5k_p f_{yo} t_o^2 (1 + 0,25 \eta) / \gamma_{M5}$ $M_{ip,i,Rd} = h_i N_{i,Rd}$ $M_{op,i,Rd} = 0$
Durchstanzen	
$\sigma_{max} t_i = (N_{Ed} / A + M_{Ed} / W_{el}) t_i \leq 2 t_o (f_{yo} / \sqrt{3}) / \gamma_{M5}$	
Gültigkeitsbereich	Faktor k_p
Zusätzlich zu den Grenzen in Tabelle 5.5:	Für $n_p > 0$ (Druck):
$\beta \geq 0,4$ und $\eta \leq 4$	$k_p = 1 - 0,3 n_p (1 + n_p)$ jedoch $k_p \leq 1,0$
wobei $\beta = b_i / d_o$ und $\eta = h_i / d_o$	Für $n_p \leq 0$ (Zug): $k_p = 1,0$

$\gamma_{M5} = 1,0$ sofern im Nationalen Anwendungsdokument (NAD) kein anderer Wert vorgeschrieben wird, in Deutschland ebenfalls 1.0.

Tabelle 10.2: Tragfähigkeit von geschweißten Knoten mit RHP Gurtstäben und Blechen, I- oder H-Profilstreben [20]

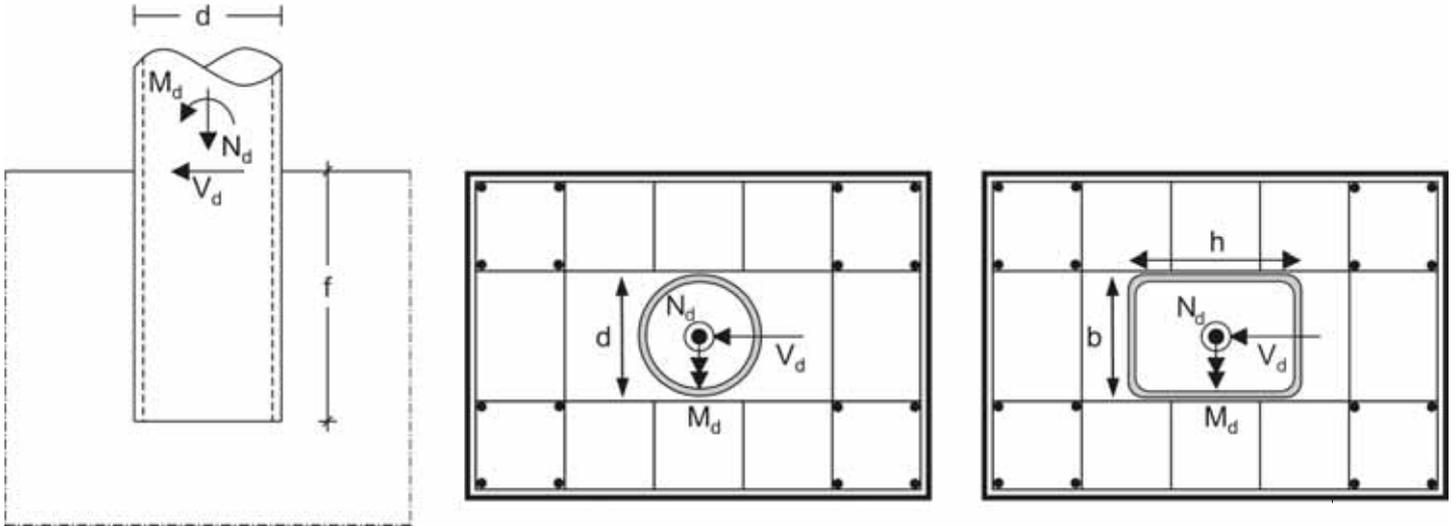
Querblech	Versagen der Strebe [i = 1]
	$N_{1,Rd} = f_{y1} t_1 b_{eff} / \gamma_{M5} \quad *)$ <hr/> Seitenwandversagen des Gurtstabes (plast. Stauchen) wenn $b_1 \geq b_0 - 2t_0$ <hr/> $N_{1,Rd} = f_{y0} t_0 (2t_1 + 10t_0) / \gamma_{M5}$ <hr/> Durchstanzen wenn $b_1 \leq b_0 - 2t_0$ <hr/> $N_{1,Rd} = \frac{f_{y0} t_0}{\sqrt{3}} (2t_1 + 2b_{e,p}) / \gamma_{M5}$
Längsblech	Flanschversagen des Gurtstabs
 <p>$t_1/b_0 \leq 0,2$</p>	$N_{1,Rd} = \frac{k_m f_{y0} t_0^2}{1 - t_1/b_0} \left(2h_1/b_0 + 4\sqrt{1 - t_1/b_0} \right) / \gamma_{M5}$
I- oder H-Profil	<p>Auf der sicheren Seite liegend kann, wenn $\eta \geq 2\sqrt{1 - \beta^2}$, für ein I- oder H-Profil $N_{1,Rd}$ auf der Grundlage von zwei Querblechen (wie oben) mit gleichen Abmessungen wie die I- oder H-Profilflansche bestimmt werden.</p> <p>Wenn $\eta \geq 2\sqrt{1 - \beta^2}$, sollte für $N_{1,Rd}$ zwischen einem und zwei Blechen interpoliert werden.</p> $M_{ip, 1,Rd} = N_{1,Rd} (h_1 - t_1)$
Gültigkeitsbereich	
Zusätzlich zu den Grenzen in Tabelle 5.10: $0,5 \leq \beta \leq 1,0$ $b_0/t_0 \leq 30$	
Parameter b_{eff} , $b_{e,p}$ und k_m	
$b_{eff} = \frac{10}{b_0/t_0} \frac{f_{y0} t_0}{f_{y1} t_1} b_1 \quad \text{jedoch } b_{eff} \leq b_1$	Für $n > 0$ (Druck): $k_m = 1,3 (1 - n)$
$b_{e,p} = \frac{10}{b_0/t_0} b_1 \quad \text{jedoch } b_{e,p} \leq b_1$	jedoch Für $n \leq 0$ (Zug): $k_m = 1,0$

*) Kehlnahtverbindungen sollten entsprechend nach 5.4.3 bemessen werden.

$\gamma_{M5} = 1,0$ sofern im Nationalen Anwendungsdokument (NAD) kein anderer Wert vorgeschrieben wird, in Deutschland ebenfalls 1.0.

11 Einbindelänge einer eingespannten Stütze

Das Berechnungsverfahren nach Koch [27] für in Köcherfundamente eingespannte Stützen wurde für I-Profile entwickelt. Im Cidect Projekt 2W [28] wurde die Übertragbarkeit der Formeln auf Hohlprofile untersucht und bestätigt.



➤ Abb. 11.1: Köcherfundament mit schematischer Bewehrung und eingespannter Rundhohlprofil- (Mitte) bzw. Rechteckhohlprofilstütze (rechts)

Die elastische Länge L_E aus der Theorie des elastisch gebetteten Stahlprofils an der Einspannung berechnet vereinfacht zu:

$$L_E = 2,5 \cdot \sqrt[4]{I_s} \quad (1)$$

mit I_s Flächenträgheitsmoment Stützenprofil [cm⁴]

HINWEIS: Für eine genaue Berechnung von L_E siehe [27].

Ist das Verhältnis der Bemessungsquerkraft an der Einspannung zur Bemessungslast der vollplastischen Querkraft des Stützenprofils.

$$\frac{V_D}{V_{pl}} \leq 0,3 \quad (2)$$

berechnet sich die erforderliche Einbindelänge zu

$$f_i \geq \alpha \cdot \frac{M_d}{M_{pl}} \cdot L_E \cdot \sqrt[4]{\frac{b}{h}} \quad (3)$$

mit $\alpha = 3$ für unbeschichtete Profile an der Einspannung

$\alpha = 4$ für beschichtete Profile an der Einspannung

b Breite bzw. Durchmesser des Stützenprofils [cm]

h Höhe des Stützenprofils [cm]

Als zusätzliche Bedingung sollte die Einbindelänge dabei die folgenden Grenzwerte nicht überschreiten:

$$1,5 \cdot L_E \leq f_i \leq \alpha \cdot L_E \quad (4)$$

Ist das Verhältnis der Bemessungsquerkraft an der Einspannung zur Bemessungslast der vollplastischen Querkraft des Stützenprofils

$$\frac{V_D}{V_{pl}} > 0,3$$

berechnet sich die erforderliche Einbindelänge zu

$$f_2 \geq \alpha \cdot L_E$$

$$(5) \quad f_3 \geq 2,33 \cdot p + \sqrt{5,43p^2 + 5,33p \cdot \frac{M_d}{V_d}} \quad (7)$$

$$(6) \quad \text{wobei } p = \frac{V_D}{f_{ck} \cdot b} \quad (8)$$

mit b = Profilbreite bzw. -durchmesser [cm]
 f_{ck} = Nennfestigkeit Beton [kN/cm²]

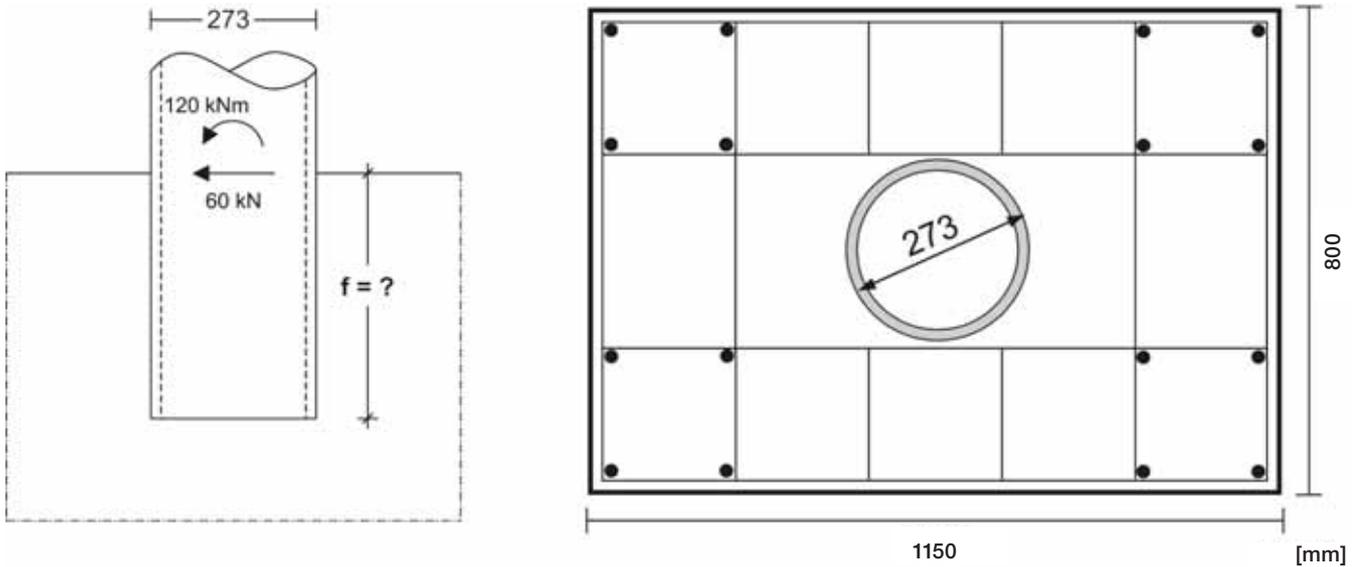
Maßgebend für die minimal erforderliche Einbindelänge des Stützenprofils in den Beton wird der größere Wert aus Gleichungen (3) und (7) bzw. (6) und (7):

$$f = \max(f_1, f_3) \quad \text{für} \quad \frac{V_D}{V_{pl}} \leq 0,3 \quad (9)$$

bzw.

$$f = \max(f_2, f_3) \quad \text{für} \quad \frac{V_D}{V_{pl}} \geq 0,3 \quad (10)$$

11.1 Einbindelänge eingespannte Stütze



➤ Abb. 11.2: Belastung und Abmessung der eingespannten Stütze

Stützenprofil: Profilwerte aus Bemessungshilfe für MSH-Profile [29]
 RHP 273x10 in S355 J2H
 $d = 27,3 \text{ cm} = b = h$
 $I_S = 7\,154 \text{ cm}^4$ (aus)
 $V_{pl} = 1\,078 \text{ kN}$
 $M_{pl} = 245,7 \text{ kNm}$
 $\alpha = 3$, unbeschichtet

Beton: C20/25
 $f_{ck} = 2,0 \text{ kN/cm}^2$

Einwirkungen: $V_d = 60 \text{ kN}$
 $M_d = 120 \text{ kNm}$

Die elastische Länge L_E berechnet sich zu:

$$L_E = 2,5 \cdot \sqrt[4]{I_S} = 2,5 \cdot \sqrt[4]{7154 \text{ cm}^4} = 23 \text{ cm} \quad (1)$$

Mit dem Verhältnis der Bemessungsquerkraft an der Einspannung zur Bemessungslast der vollplastischen Querkraft des Stützenprofils

$$\frac{V_D}{V_{pl}} = \frac{60 \text{ kN}}{1078 \text{ kN}} = 0,06 \leq 0,3 \quad (2)$$

ergeben sich die folgenden Werte für die Einbindelänge f aus den Gleichungen (3) und (7):

$$f_1 \geq \alpha \cdot \frac{M_d}{M_{pl}} \cdot L_E \cdot \sqrt[4]{\frac{b}{h}} = 3 \cdot \frac{120 \text{ kNm}}{245,7 \text{ kNm}} \cdot 23 \text{ cm} \cdot \sqrt[4]{\frac{27,3 \text{ cm}}{27,3 \text{ cm}}} = 34 \text{ cm} \quad (3)$$

und

$$f_3 \geq 2,33 \cdot p + \sqrt{5,43p^2 + 5,33p \cdot \frac{M_d}{V_d}} \quad (7)$$

$$= 2,33 \cdot 1,1 \text{ cm} + \sqrt{5,43 \cdot 1,1^2 \text{ cm}^2 + 5,33 \cdot 1,1 \text{ cm} \cdot \frac{12000 \text{ kNcm}}{60 \text{ kN}}} = 37 \text{ cm}$$

$$\text{mit } p = \frac{V_D}{f_{ck} \cdot b} = \frac{60 \text{ kN}}{2,0 \text{ kN/cm}^2 \cdot 27,3 \text{ cm}} = 1,1 \text{ cm} \quad (8)$$

Maßgebend wird hierbei der größere Wert aus Gleichung (7) von 37 cm.

Nun ist noch zu überprüfen, ob dieser Wert für die Einbindelänge auch innerhalb der Grenzen nach Gleichung (4) liegt:

$$1,5 L_E \leq f_1 \leq \alpha \cdot L_E$$

somit

$$35 \text{ cm} \leq f_1 \leq 37 \text{ cm} \leq 69 \text{ cm} \quad (4)$$

Die gewählte Einbindelänge beträgt auf der sicheren Seite 40 cm.

12 Symbole

Bezeichnungen		Bezeichnungen		Bezeichnungen	
MSH	Warmgefertigte Stahlbau-Hohlprofile mit kreisförmigem, quadratischem und rechteckigem Querschnitt	A_i	Querschnittsfläche des Bauteils i ($i = 0, 1, 2, j$)	a	Schweißnahtdicke
KHP	Kreisförmige Hohlprofile	A_v	Querschnittsfläche des Gurtstabes, die der Querkraft widersteht (für RHP auf Trägerhöhe h):	b_{eff}	Wirksame Breite eines Füllstabes auf einem Gurt
QHP	Quadrathohlprofile		$A_v = \frac{Ah}{b+h}$;	$b_{c,ov}$	Wirksame Breite eines überlappenden Füllstabes auf einem überlappten Füllstab
RHP	Rechteckhohlprofile		für RHP auf Trägerbreite b :	$b_{c,p}$	Wirksame Breite eines Füllstabes für Versagenskriterium „Durchstanzen“
EGKS	Europäische Gemeinschaft für Kohle und Stahl		$A_v = \frac{Ab}{b+h}$;	b_i	Breite des Bauteils i ($i = 0, 1, 2, j$)
CIDECT	Comité International pour le Développement et l'Étude de la Construction Tubulaire		für KHP:	b_p	Plattenbreite
			$A_v = \frac{2A}{\pi}$)	c	Flankenabstand
		B ,	Breite des rechteckigen	d_i	Durchmesser des Bauteils i ($i = 0, 1, 2, j$)
		b	oder quadratischen Hohlprofils	e	Exzentrizität eines Knotens (siehe Abb. 32)
		D ,	Außendurchmesser	f_b	Knickspannung
		d	des Kreishohlprofils	f_i	Axialspannung in einem Bauteil i ($i = 0, 1, 2, j$)
		E	Elastizitätsmodul des Stahls (= 210 000 N/mm ²)	f_y	Mindeststreckgrenze des Stahls
		H ,	Höhe des rechteckigen	f_{yi}	Mindeststreckgrenze eines Bauteils i ($i = 0, 1, 2, j$)
		h	oder quadratischen Hohlprofils; Fachwerkhöhe	g	Spaltweite zwischen den Füllstäben in K- oder N-Knoten (- g bedeutet Überlappung q) (siehe Abb. 14)
		I	Trägheitsmoment eines Bauteils	h_i	Höhe eines Bauteils i ($i = 0, 1, 2, j$)
		k	Faktor mit Index g, m, n oder p , dargestellt in der entsprechenden Tabelle	i	Trägheitsradius
		M_i	Moment in einem Bauteil i ($i = 0, 1, 2, j$)	l	Länge eines Bauteils, Spannweite
		M_{Rd}	Momentenbeanspruchbarkeit	l_i	Systemlänge eines Bauteils i ($i = 0, 1, 2, j$)
		$M_{N,Rd}$	Infolge Längskraft abgeminderte plastische Momentenbeanspruchbarkeit	n	$\frac{f_0}{f_{y0}} = \frac{N_0}{A_0 \cdot f_{y0}} + \frac{M_0}{W_{el,0} \cdot f_{y0}}$
		$M_{d,}$	Momentenbeanspruchung	n_p	$\frac{\sigma_{p,ED}}{f_{y0}} = \frac{N_p}{A_0 \cdot f_{y0}} + \frac{M_0}{W_{el,0} \cdot f_{y0}}$
		M_{Ed}		t_i	Wanddicke eines Bauteils i ($i = 0, 1, 2, j, a, u$)
		N_i	Axialkraft in einem Bauteil i ($i = 0, 1, 2, j$)	t_p	Plattendicke
		N_p	Gurtkraft (auf den Gurtstab an der Knotenverbindung aufgebrauchte Axialkraft, die im Gleichgewicht mit den horizontalen Kraftkomponenten steht)		
		N_{Rd}	Axialkraftbeanspruchbarkeit		
		$N_{d,}$	Axialkraftbeanspruchung		
		N_{Ed}			
		S	Statisches Moment, bezogen auf die neutrale Achse		
		T ,	Wanddicke des Hohlprofils		
		t			
		V_{Rd}	Querkraftbeanspruchbarkeit		
		$V_{d,}$	Querkraftbeanspruchung		
		V_{Ed}			
		$W_{el,i}$	Elastisches Widerstandsmoment eines Bauteils i ($i = 0, 1, 2, j$)		
		$W_{pl,i}$	Plastisches Widerstandsmoment eines Bauteils i ($i = 0, 1, 2, j$)		

Bezeichnungen		Bezeichnungen		Indizes	
α	Faktor, dargestellt in der entsprechenden Tabelle	$\sigma_{p,ED}$	ist der Wert von $\sigma_{0,ED}$ ohne die Spannungen infolge der Komponenten der Strebenkräfte am Anschluss parallel zum Gurt, siehe DIN EN 1993-1-8, Bild 1.4	d	Bemessungswert (γ_F -fache Last)
α_w	Beiwert für Grenzsweißnahtspannung	σ_v	Vergleichsspannung	Ed	Einwirkung (Beanspruchung)
β	$\frac{d_i}{d_0}; \frac{d_1+d_2}{2d_0}; \frac{b_i}{b_0}; \frac{b_1+b_2}{2b_0};$ $\frac{d_i}{b_0}; \frac{d_1+d_2}{2b_0}; \frac{b_1+b_2+h_1+h_2}{4b_0}$	$\sigma_{w,Rd}$	Grenzsweißnahtspannung	Rd	Widerstand (Beanspruchbarkeit)
β_p	$\frac{b_p}{b_0}$	τ	Schubspannung; Wanddickenverhältnis $\frac{t_i}{t_0}$	t, z	Zug
γ	$\frac{b_0}{2t_0}; \frac{d_0}{2t_0}$	χ	Reduktionsfaktor für die Knickspannungslinien (s. Abb. 3.2)	c, d	Druck
$\gamma_M, \gamma_{M0}, \gamma_{M1}, \gamma_{M2}, \gamma_{M5}$	Teilsicherheitsbeiwerte für Beanspruchbarkeiten			T	Torsion
	Teilsicherheitsbeiwert = 1,0 sofern im nationalen Anwendungsdokument (NAD) kein anderer Wert vorgeschrieben ist			w	Schweißnaht
γ_{Mj}	Teilsicherheitsbeiwert für die Beanspruchbarkeit einer Hohlprofil fachwerk-Verbindung			i	i = 0 (Gurtstab) i = 1 (Druckfüllstab im Knoten) i = 2 (Zugfüllstab im Knoten) i = j (überlappter Füllstab im Knoten) i = a (aufgesetzter Stab im Knoten) i = u (untergesetzter Stab im Knoten)
γ_{MW}	Teilsicherheitsbeiwert für die Beanspruchbarkeit der Schweißnähte			ip	in der Ebene
η	$\frac{h_i}{d_0}; \frac{h_i}{b_0}$			op	senkrecht zur Ebene
η_p	$\frac{h_p}{b_p}$			p	Platte
θ_i	Systemwinkel zwischen den Füllstäben i und dem Gurtstab (i = 1, 2)				
κ	Faktor in der entsprechenden Gleichung				
λ, λ_κ	Schlankheitsgrad einer Stütze				
λ_c, λ_a	Eulerscher Schlankheitsgrad				
λ_E, λ_1	Bezogener Schlankheitsgrad einer Stütze				
λ_{ov}	Überlappungsverhältnis von Füllstäben in einem Knoten (siehe Abb. 2.15) in %				
α	Faktor Winkel zwischen den Ebenen im Knoten eines Dreigurtträgers				
σ	Normalspannung				
n	Verhältnis $(\sigma_{0,Ed}/f_{y0})/\gamma_{M5}$ (für RHP-Gurtstäbe)				
n_p	Verhältnis $(\sigma_{0,Ed}/f_{y0})/\gamma_{M5}$ (für KHP-Gurtstäbe)				
$\sigma_{0,ED}$	maximale einwirkende Druckspannung im Gurtstab am Anschluss				

 Notizen

13 Referenzen

- [1] Rudnitzky, J: Ende des zul. σ - Bemessungskonzeptes im Stahlbau absehbar, Stahlbau-Nachrichten 1/95
- [2] DIN 4114: Stahlbau; Stabilitätsfälle (Knickung, Kippung, Beulung), Teil 1: Berechnungsgrundlagen, Vorschriften, Juli 1952; Teil 2: Berechnungsgrundlagen, Richtlinien, Februar 1953
- [3] DIN EN 1993-1-1, Eurocode 3, Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten - Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln, Bemessungsregeln für den Hochbau, Dezember 2010;
- [4] DIN EN 1993-1-1/NA, Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode 3, Teil 1-1, Dezember 2010
- [5] Feige, A.: Das Traglast-Berechnungsverfahren; Allgemeine Einführung, Verlag Stahleisen m.b.H., Düsseldorf, 1980
- [6] Roik, K.; Lindner, J.: Einführung in die Berechnung nach dem Traglastverfahren, Stahlbau-Verlags-GmbH, Köln, 1972
- [7] Duddeck: Seminar Traglastverfahren, Bericht Nr. 73-6 aus dem Institut für Statik der Technischen Universität Braunschweig, 1973
- [8] EN 10 210-1: Warmgefertigte Hohlprofile für den Stahlbau aus unlegierten Stählen und aus Feinkornbaustählen, 2006
Teil 1: Technische Lieferbedingungen
- [9] EN 10 210-2: Warmgefertigte Hohlprofile für den Stahlbau aus unlegierten Stählen und aus Feinkornbaustählen, 2006
Teil 2: Grenzabmaße, Maße und statische Werte
- [10] Sedlacek, G.; Grotmann, D.; Güsgen, J.; Ungermann, D.: Kompatibilitätsuntersuchung zur DIN 18 808 – Bemessung von Hohlprofilen – anhand der CIDECT-Bemessungs- vorschläge für den Eurocode 3, Abschlußbericht, Institut für Stahlbau, RWTH Aachen, Juni 1989
- [11] Anpassungsrichtlinie Teil 2 zu DIN 18 800 – Stahlbauten –, Teile 1 bis 4/11.9, Abschnitt 4.4: DIN 18 808/10.84 – Stahlbauten; Tragwerke aus Hohlprofilen unter vorwiegend ruhender Beanspruchung, Mitteilungen des Deutschen Instituts für Bautechnik, Heft 4, 1994, Seite 132 – 133
- [12] Beer, H. und Schulz, G.: Die Traglast des mittig gedrückten Stabes mit Imperfektionen, VDI-Zeitschrift Bd. 111 (1969), Nr. 21, 23, 24
- [13] Rondal, J., Würker, K.G., Dutta, D., Wardenier, J., Yeomans, N.: Knick- und Beulverhalten von Hohlprofilen (rund und rechteckig), CIDECT-Reihe „Konstruieren mit Stahlhohlprofilen“, ISBN 3-8249-0067-X, Verlag TÜV Rheinland, Köln, 1992
- [14] Vallourec & Mannesmann Tubes Technische Information 3: Verarbeiten von MSH-Profilen – Schweißen und Biegen –
- [15] CIDECT-Project 5BE: L-type joint of circular hollow sections, Final report, Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine, Universität Karlsruhe (TH), Juni 1996, Revision Mai 1997
- [16] DAST-Ri 012: Beulsicherheitsnachweise für Platten, Oktober 1978
- [17] DAST-Ri 013: Beulsicherheitsnachweise für Schalen, Juli 1980
- [18] Anhang B zur DIN 18 800-1 Änderung A1, Februar 1996
- [19] DIN EN 1990 NA, Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode 0: Grundlagen der Tragwerksplanung
- [20] DIN EN 1993-1-8: Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-8: Bemessung von Anschlüssen, Dezember 2010
- [21] Änderung und Ergänzung der Anpassungsrichtlinie Stahlbau – Ausgabe Dezember 2001, DIBt - Mitteilungen 1/2002
- [22] DIN EN 1990: Eurocode 0: Grundlagen der Tragwerksplanung, Dezember 2010
- [23] Vallourec & Mannesmann Tubes, Technische Information 1: MSH-Profile mit kreisförmigen, quadratischen und rechteckigen Querschnitten - Abmessungen, statische Werte, Werkstoffe
- [24] Puthli, Ram: Hohlprofilkonstruktionen im Geschossbau – Ausblick auf die europäische Normung. Sonderdruck aus Stahlbau Kalender 2002, Verlag Ernst & Sohn
- [25] Krampen, Jürgen: Bemessung von Fachwerken aus Hohlprofilen (MSH) leicht gemacht. Sonderdruck aus Stahlbau, Ausgabe 3/2001, Verlag Ernst & Sohn
- [26] DIN EN 1993-1-12: Eurocode 3 Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten, Teil 1 - 12: Zusätzliche Regeln zur Erweiterung von EN 1993 auf Stahlgüten bis S 700, Dezember 2010
- [27] Koch, E.: Zum Tragverhalten von in Stahlbeton eingespannten Stahlprofilen, Dissertation, Universität Karlsruhe, 2000
- [28] Cidect Project 2W: Hollow section columns embedded in concrete, Final Report 2008
- [29] Bemessungshilfe für warmgefertigte Hohlprofile nach Eurocode 3, EN 1993-1-1:2005 und EN 1993-1-8:2005, Vallourec & Mannesmann Tubes
- [30] DIN EN 1993-1-9; Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten, Teil 1-9, Ermüdung, Dezember 2010
- [31] DIN EN 1993-1-8/NA Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode 3, Teil 1-8, Dezember 2010

14 Anhang

Rechnerische Ermittlung der Spaltweite (+g) oder Überlappung (-g)

Bei den Knotenverbindungen steht die Spaltweite (+g) bzw. die Überlappung (-g) mit der Exzentrizität e in gegenseitiger Abhängigkeit. Im Folgenden wird eine Formel angegeben, die bei gegebenen Stababmessungen und Systemwinkeln die Ermittlung von e oder g erlaubt.

Voraussetzungen: $0^\circ < \theta_1, \theta_2 < 180^\circ$

$$g = \frac{e + D}{C} - (A + B) \quad (13.1)$$

oder

$$e = (A + B + g) \cdot C - D \quad (13.2)$$

Hierin bedeuten:

$$A = \frac{h_1}{2 \sin \theta_1} \quad (13.3)$$

$$B = \frac{h_2}{2 \sin \theta_2} \quad (13.4)$$

$$C = \frac{\sin \theta_1 \cdot \sin \theta_2}{\sin (\theta_1 + \theta_2)} \quad (13.5)$$

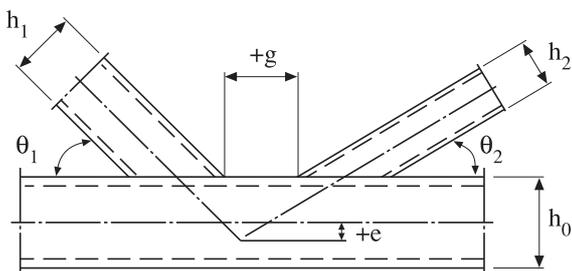
$$D = \frac{h_0}{2} \quad (13.6)$$

Ergebnisanalyse:

1. + g = Spalt
2. - g = Überlappung
3. + e = positiver Fehlhebel
4. - e = negativer Fehlhebel

Sonderfall: Exzentrizität $e = 0$

$$g = \frac{h_0 \cdot \cos \theta_1 - h_1}{2 \sin \theta_1} + \frac{h_0 \cdot \cos \theta_2 - h_2}{2 \sin \theta_2} \quad (13.7)$$





© Sergio Pirrone

Vallourec Deutschland GmbH
Theodorstr. 109, 40472 Düsseldorf, Germany
Tel. +49 (211) 9 60 35 94
industry@vallourec.com
Technische Beratung
Tel. +49 (211) 9 60 34 75

www.vallourec.com

VDC150002B-19D