

Dipak Dutta

Hohlprofil- Konstruktionen

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Herstellungsverfahren für Stahlhohlprofile	19
2.1	Allgemeines	19
2.2	Herstellungsverfahren nahtloser Rohre	19
2.2.1	Schrägwalz-/Pilgerschrittverfahren	21
2.2.2	Stoßbankverfahren	22
2.2.3	Stopfenwalzverfahren	22
2.2.4	Strangpreßverfahren	22
2.2.5	Rohrkonti-Walzverfahren	23
2.3	Herstellungsverfahren geschweißter Rohre	23
2.3.1	Unter-Pulver-Schweißverfahren	23
2.3.2	Schutzgasschweißverfahren	25
2.3.3	Feuerpreßschweißverfahren (Fretz-Moon)	25
2.3.4	Elektrisches Preßschweißverfahren	26
2.4	Streckreduzier- oder Reduzierverfahren	26
2.5	Herstellung rechteckiger und quadratischer Hohlprofile	26
2.6	Herstellung anderer Hohlprofilformen	27
2.7	Prüfungen von Stahlhohlprofilen	27
3	Stähle für Hohlprofile	29
3.1	Allgemeines	29
3.2	Auswahl der Stahlsorten für die Bemessung von Bauteilen	35
4	Abmessungen, Toleranzen und statische Werte kreisförmiger, quadratischer und rechteckiger Hohlprofile	39
4.1	Allgemeines	39
4.1.1	Kreisförmige Hohlprofile	39
4.1.2	Quadratische und rechteckige Hohlprofile	41
4.2	Geometrische und statische Kennwerte der Hohlprofile	43
4.2.1	Kreisförmige Hohlprofilquerschnitte	43
4.2.2	Rechteckige bzw. quadratische Hohlprofilquerschnitte	44
4.2.3	Größere Abmessungen der Rechteck-(Quadrat-)hohlprofile	45
5	Grundlagen zur Berechnung und Bemessung von Hohlprofilen in Stahlbaukonstruktionen	47
5.1	Allgemeines	47
5.2	Teilsicherheitsfaktoren	48
5.2.1	Einwirkungen und ihre Teilsicherheitsfaktoren	48
5.2.2	Widerstände und ihre Teilsicherheitsfaktoren	50
5.3	Beanspruchbarkeit der Querschnitte	50
5.3.1	Hohlprofile unter Normalkraft	51

5.3.2	Hohlprofile unter Biegung und Schub	52
5.3.2.1	Tragfähigkeitsermittlung bei reiner Biegung	52
5.3.2.2	Einachsige Biegung mit Normalkraft (ohne Querkraftberücksichtigung)	53
5.3.2.3	Zweiachsige Biegung mit Normalkraft (ohne Querkraftberücksichtigung)	53
5.3.2.4	Ermittlung der Schubspannungen in Hohlprofilen	54
5.3.2.5	Tragfähigkeitsermittlung bei Biegung (mit Querkraftberücksichtigung)	54
5.3.2.6	Vergleichsspannung bei Normalkraft und Schub	56
5.3.3	Stabilitätsfälle – Knicken und Beulen von Hohlprofilen	56
5.3.3.1	Nachweis gegen Biegeknicken	56
5.3.3.2	Örtliches Beulen	61
5.3.3.3	Hohlprofile unter zusammengesetzter Beanspruchung aus Druck und Biegung	71
5.3.3.4	Knicklänge	76
5.3.3.5	Beispielberechnungen	80
5.3.4	Torsionsbeanspruchte Hohlprofile	82
5.3.5	Symbolerklärungen	84
6	Bauteile und Konstruktionen aus Hohlprofilen unter vorwiegend ruhender Beanspruchung	87
6.1	Vollwandträger aus Einzelhohlprofilen	88
6.2	Stützen	88
6.2.1	Binderauflager auf Stützen	90
6.2.2	Verbindungen zwischen Balken und Stützen	92
6.3	Bogenträger	96
6.4	Rahmenecken	97
6.4.1	Rahmenecken aus kreisförmigen Hohlprofilen	101
6.5	Längsstoßverbindungen	102
6.5.1	Mittelbare Schraubenverbindungen	102
6.5.2	Mittelbare Schweißverbindungen	115
6.5.3	Unmittelbare Schweißverbindungen	115
6.6	Fachwerkträger	120
6.6.1	Ebene Fachwerkformen aus Hohlprofilen	122
6.6.1.1	Wirtschaftliche Aspekte bei der Wahl der Fachwerkformen	124
6.6.2	Knotengestaltung in Fachwerkträgern aus unmittelbar zusammengeschweißten Füll- und Gurtstäben	124
6.6.3	Schweißnähte in Fachwerkträgern aus unmittelbar geschweißten Füll- und Gurtstäben	129
6.6.3.1	Schweißnahtausführungen in Knotenpunkten von Hohlprofilfachwerken	133
6.6.3.2	Schweißabfolge in Hohlprofil-Fachwerkknoten	136
6.6.3.3	Schweißnahtlängen in Fachwerkknoten	136
6.6.4	Analyse des Tragverhaltens eines Fachwerkträgers aus Hohlprofilen	138
6.6.4.1	Tragfähigkeit von Fachwerkknoten aus unmittelbar geschweißten Gurt- und Füllstäben	141
6.6.4.2	Tragfähigkeit ausgesteifter Hohlprofilknoten unter vorwiegend ruhender Beanspruchung	172
6.6.4.3	Bemessung von Fachwerkknoten mit abgeknicktem Gurtstab	177
6.6.4.4	Traglasten geschweißter, ebener Knoten aus Hohlprofilstreben und I-Profilen als Gurtstäbe	177
6.6.4.5	Traglasten geschweißter, ebener Knoten aus Hohlprofilstreben und U-Profilen als Gurtstäbe	181
6.6.5	Bemessung ebener Fachwerkträger mit unmittelbar verschweißten Hohlprofilen ..	185

6.6.6	Traglasten besonderer ebener KHP-Knoten	188
6.6.7	Traglasten geschweißter, räumlicher Knoten	191
6.6.8	Hohlprofilknoten aus KHP-Füllstäben mit abgeflachten Enden	195
6.6.9	RHP-Knoten eines Doppelgurt-Fachwerkträgers	207
6.7	Hohlprofilknoten unter Momentenbeanspruchung bei Vierendeelträgern	209
6.7.1	T-Knoten aus RHP unter M_{ip}	210
6.7.2	X-Knoten aus RHP unter M_{ip}	214
6.7.3	Interaktion von Normalkraft N_i und ebenem Biegemoment M_{ip} in T- und X-Knoten aus RHP	214
6.7.4	Bemessung T-förmiger, geschweißter RHP-Knoten unter Normalkraft N_i und Biegemoment M_{ip} mit Hilfe von Bemessungsdiagrammen	214
6.7.5	T-, Y- und X-Knoten aus KHP unter M_{ip}	216
6.7.6	T-Knoten in Vierendeelträgern aus RHP	218
6.7.7	Traglasten für Momente aus der Ebene $M_{op,i,Rd}$ in KHP- und RHP-Knoten	221
6.7.7.1	Momentenbeanspruchbarkeit aus der Ebene $M_{op,i,Rd}$ für RHP-Knoten	221
6.7.7.2	Momentenbeanspruchbarkeit aus der Ebene $M_{op,i,Rd}$ für KHP-Knoten	221
6.8	T- und X-Verbindungen von Blechen, I-Profilen oder RHP-Querschnitten mit KHP bzw. RHP	222
6.8.1	T- und X-Verbindungen aus KHP-Gurtstäben	222
6.8.2	T-Verbindungen aus RHP-Gurtstäben	225
6.9	Hinweise zur Bemessung von Balken-Stützen-Verbindungen	225
6.9.1	RHP-Stütze mit I-Balken	225
6.9.2	I-Stütze mit RHP-Balken	227
6.10	Sonderverbindung aus RHP mit schnabelförmigen RHP-Füllstabenden	228
6.11	Symbolerklärungen	229
7	Zeit- und Dauerfestigkeit geschweißter Hohlprofilverbindungen	233
7.1	Allgemeines zur Schwingfestigkeit	233
7.2	Betriebsfestigkeit unter einem Beanspruchungskollektiv	237
7.3	Einfluß der Eigenspannungen auf die Schwingfestigkeit von Hohlprofilknoten	238
7.4	Einfluß der korrosiven Umgebung auf die Schwingfestigkeit von Hohlprofilknoten	239
7.5	Spannungs- bzw. Dehnungsverteilung in Hohlprofilverbindungen	239
7.5.1	Spannungskonzentrationsfaktor SCF (Stress Concentration Factor) und Dehnungskonzentrationsfaktor SNCF (Strain Concentration Factor)	244
7.5.1.1	Experimentelle Messung der Dehnungen mit Dehnungsmeßstreifen (DMS)	244
7.5.1.2	Theoretische Bestimmung der Spannungen bzw. Dehnungen mit Hilfe der „Finite-Elemente“-Methode	246
7.5.1.3	Bestimmung des Spannungs- bzw. Dehnungskonzentrationsfaktors (SCF bzw. SNCF)	248
7.5.1.4	Bestimmung der Gesamtspitzen Spannungsschwingbreite $S_{r,hs,ges}$ mit Hilfe der Spannungskonzentrationsfaktoren	250
7.5.1.5	Parametrische Formeln zur Bestimmung der Spannungskonzentrationsfaktoren SCF in Hohlprofilknoten	250
7.6	Einflüsse sekundärer Biegemomente in geschweißten K- und N-förmigen Fachwerkknoten aus QHP und KHP	277
7.7	Basis-„ $S_{r,hs}-N_B$ “-Linien für ebene KHP- und QHP-Knoten (T, X, K, N und KT)	278
7.7.1	Korrektur-Faktoren für Wanddicken des Gurt- und Füllstabes und Bemessungskurven „ $S_{r,hs}-N_B$ “	280
7.7.2	Einsatz hochfester Stahlsorten	282

7.8	Basis-„ $S_{r,hs}-N_B$ “-Linien für räumliche KHP- und QHP-Knoten (TT, XX und KK)	284
7.9	Bemessungsverfahren für Ermüdungsfestigkeit ebener bzw. räumlicher Fachwerkknoten aus KHP oder QHP	287
7.10	Bemessungsverfahren für Ermüdungsfestigkeit bei Hohlprofilverbindungen und -fachwerkknoten nach der „Klassifikations“-Methode	288
7.10.1	Laschen-Verbindungen mit KHP	292
7.10.2	Modifizierungsempfehlung der Kerbgruppennennungen von Hohlprofilknoten nach EC 3	292
7.11	Einfluß örtlicher Verstärkungen durch Bleche auf die Schwingfestigkeit in RHP-Knoten	294
7.12	Reparatur und Sanierung von Hohlprofilknoten im rißbruchkritischen Bereich	297
7.12.1	Anbringen eines Rißstoppers in Form einer Bohrung	300
7.12.2	Abschleifen bzw. Ausfugen des Risses und Nachweißen	300
7.12.3	Anbringen einer Platte oder Schale auf dem Gurtflansch (Riß am Gurtoberflansch)	300
7.12.4	Anbringen von Eckstücken aus Rechthohlprofilen	300
7.13	Verbesserung der Ermüdungsfestigkeit durch mechanische und thermische Verfahren	301
7.13.1	Wärmebehandlung	301
7.13.2	Kugelstrahlen und Hämmern	303
7.13.3	Einmalige Zugbelastung des Bauteils	303
7.13.4	Vibrationsentspannung	303
7.13.5	Schleifen der Nahtübergänge	303
7.13.6	WIG- oder Plasma-Nachbehandlung	303
7.14	Symbolerklärungen	304
8	Herstellung, Zusammenbau und Transport von Hohlprofilkonstruktionen	307
8.1	Allgemeines	307
8.2	Schneiden	308
8.2.1	Brennschneiden	308
8.2.1.1	Manuelles Brennschneiden	309
8.2.1.2	Automatisches, maschinelles Brennschneiden	310
8.2.2	Sägen	312
8.2.3	Plasma-Schmelzschnitten	315
8.2.4	Laserschneiden	315
8.3	Schlitzten	315
8.4	Flach- und Andrücken von Hohlprofilenden	317
8.5	Biegen von Hohlprofilen	317
8.5.1	Kaltbiegen von KHP	318
8.5.1.1	Kaltes Biegepressen	318
8.5.1.2	Kaltbiegen mit Biegekasten	318
8.5.1.3	Biegen mit Dreiwalzenbiegemaschine	319
8.5.1.4	Bogen, erzeugt durch Gehrungsschnitte oder „V“-förmige Ausschnitte	319
8.5.2	Kaltbiegen von RHP	320
8.5.2.1	Kaltes Biegepressen	320
8.5.2.2	Bogen, erzeugt durch Gehrungsschnitte oder „V“-förmige Ausschnitte	320
8.5.2.3	Biegen mit Dreiwalzenbiegemaschine	320
8.5.3	Warmbiegen von Hohlprofilen	320
8.5.3.1	Warmbiegen von Hohlprofilen mit Sandfüllung	320
8.5.3.2	„Hamburger Rohrbogen“ (nur für KHP)	321
8.5.3.3	Biegen durch induktive Erwärmung	321

8.5.3.4	Warmbiegen mit Dreiwalzenbiegemaschine	322
8.5.3.5	Wölbung	322
8.6	Verschrauben	322
8.6.1	Blindschrauben	323
8.6.1.1	Flowdrill	323
8.6.1.2	Lindapter „HolloFast“	323
8.7	Schweißen	324
8.7.1	Hohlprofil-Werkstoffe und deren Schweißbeignung	324
8.7.2	Schweißverfahren zum Verbindungsschweißen von Hohlprofilen	325
8.7.2.1	Elektro-Lichtbogenhandschweißen mit umhüllten Elektroden	325
8.7.2.2	Schutzgasschweißen	326
8.7.2.3	Schweißen mit Fülldrahtelektroden	327
8.7.2.4	Unterpulverschweißen	327
8.7.3	Schweißnahtvorbereitung für Hohlprofilkonstruktionen	327
8.7.4	Schweißlagen und -reihenfolge	328
8.7.5	Heftschweißen	328
8.7.6	Wärmebehandlung nach dem Schweißen	328
8.7.7	Schweißelgenschaften und Verformungen sowie Abbaumaßnahmen	328
8.7.8	Schweißfehler und deren Reparatur	331
8.7.9	Schweißnahtprüfungen	331
8.7.9.1	Sichtkontrolle	331
8.7.9.2	Magnetpulverprüfung	333
8.7.9.3	Farbeindringverfahren	333
8.7.9.4	Ultraschallprüfung	333
8.7.9.5	Durchstrahlungsprüfung (Röntgen- und γ -Strahlen)	334
8.7.10	Eignungsprüfung der Schweißer und Schweißbetriebe	334
8.7.11	Schweißen kaltgefertigter Hohlprofile	335
8.7.12	Bolzenschweißen	335
8.7.13	Laserschweißen	336
8.7.14	Allgemeine Empfehlungen zum Schweißen	336
8.8	Nageln	337
8.9	Anwendung von Gußteilen in Hohlprofilkonstruktionen	338
8.10	Zusammenbau	339
8.11	Transport von Hohlprofilen und Hohlprofilkonstruktionen	341
8.12	Symbolerklärungen	343
9	Raumfachwerke	345
9.1	Allgemeines	345
9.2	Hinweise zur Berechnung von Raumfachwerken	348
9.3	Konstruktionsteile von Raumfachwerken	349
9.4	Wirtschaftlich optimierte Raumfachwerke	350
10	Einspannung rechteckiger Hohlprofile in Betonfundamente	353
11	Hohlprofile im Verbundbau	357
11.1	Hohlprofil-Verbundstützen	357
11.1.1	Berechnung der Tragfähigkeit von Hohlprofil-Verbundstützen	358
11.1.1.1	Allgemeines	358
11.1.1.2	Planmäßig mittiger Druck	358

11.1.1.3	Einfluß des Langzeitverhaltens des Betons auf die Tragfähigkeit schlanker Stützen	360
11.1.1.4	Erhöhte Tragfähigkeit bei gedrunenen betongefüllten KHP	360
11.1.1.5	Druck und einachsige Biegung	360
11.1.1.6	Grenztragfähigkeit der Querschnitte bei Druck und Biegung	361
11.1.1.7	Druck und zweiachsige Biegung	368
11.1.1.8	Näherungsberechnung für M-N-Interaktion bei betongefüllten Hohlprofilen	368
11.1.1.9	Nachweis der Schubübertragung	369
11.1.1.10	Lasteinleitung	371
11.2	Hohlprofil (RHP oder QHP)-Fachwerkknoten mit betongefülltem Gurtstab	373
11.3	Herstellung von betongefüllten Hohlprofilstützen	374
11.3.1	Bauteilkomponenten	374
11.3.1.1	Hohlprofile	374
11.3.1.2	Beton	374
11.3.1.3	Bewehrungen	375
11.3.2	Ausführung der Betonfüllung bei Hohlprofilstützen	376
11.3.2.1	Geschoßweise Verbindung betongefüllter Hohlprofilstützen	379
11.4	Symbolerklärungen	379
12	Korrosionsverhalten und Korrosionsschutz von Stahlhohlprofilen und -konstruktionen	381
12.1	Allgemeines	381
12.2	Innenkorrosion von Hohlprofilen und Hohlprofilbauteilen	381
12.3	Außenkorrosion von Hohlprofilen und Hohlprofilbauteilen	383
12.4	Korrosionsschutzmaßnahmen	384
12.4.1	Korrosionsschutzbeschichtungen	384
12.4.1.1	Fertigungsbeschichtungen	385
12.4.2	Metallspritzüberzüge	385
12.4.2.1	Feuerverzinken	385
12.4.2.2	Elektrolytische Zinküberzüge	386
12.4.3	Elektrochemische Polarisierung	387
12.4.4	Einsatz von Hohlprofilen aus wetterfesten Stählen	387
13	Bauelemente aus Hohlprofilen unter Brandbeanspruchung	389
13.1	Allgemeines	389
13.2	Ungeschützte Hohlprofile unter Brandbeanspruchung	392
13.3	Brandschutz von Hohlprofilen durch äußere Brandschutzisolierung	393
13.3.1	Brandschutzummantelungen	393
13.3.2	Brandschutzbeschichtungen	394
13.3.3	Bemessung der äußeren Brandschutzisolierung	394
13.4	Brandschutz von Stahlhohlprofilen durch Wasserkühlung	394
13.4.1	Grundsätzliches zu den Wasserkühlungssystemen	394
13.4.2	Bemessungsmethoden für Wasserkühlungsanlagen	398
13.5	Brandschutz von Stahlhohlprofilstützen mit Betonfüllung	398
13.5.1	Grundsätzliches	399
13.5.2	Brandschutztechnische Bemessung betongefüllter Hohlprofile ohne Außenisolierung	401
13.5.2.1	Bemessungsstufe 1: Tabellierte Werte	401
13.5.2.2	Bemessungsstufe 2: Vereinfachte Bemessungsdiagramme	402
13.5.2.3	Bemessungsstufe 3: Allgemeine Berechnungsverfahren	402

13.5.3	Brandschutz von betongefüllten Hohlprofilstützen mit Stahlfaser-Bewehrung	432
13.6	Brandschutz von Hohlprofilstützen/Träger-Verbindungen	432
13.6.1	Ungefüllte Hohlprofilstützen mit oder ohne Außenisolierung	432
13.6.2	Betongefüllte Hohlprofilstützen	432
13.6.3	Wassergekühlte Hohlprofilstützen	433
13.7	Symbolerklärungen	434
14	Windwiderstände kreisförmiger und rechteckiger Hohlprofile und Fachwerke	437
14.1	Allgemeines	437
14.2	Windwiderstand des einzelnen kreiszylindrischen Stabes	437
14.3	Windwiderstand des einzelnen Quadratprofilstabes mit Eckradien	439
14.4	Windwiderstand von Fachwerken	440
14.5	Windwiderstandsbeiwerte kreiszylindrischer Hohlprofile und Fachwerke nach DIN 1055-4 Ausg. 8/86	444
14.6	Windkräfte auf ebene und räumliche Fachwerke aus Quadrathohlprofilen nach Lit. [16]	446
14.6.1	Ebene Fachwerke	446
14.6.2	Räumliche Fachwerke mit rechteckigem und quadratischem Grundriß	447
14.6.3	Berechnungsbeispiel	448
14.7	Windwiderstände nach Eurocode 1	449
14.7.1	Windbelastung	449
14.7.1.1	Windkraftbeiwert C_f für rechteckige Hohlprofile mit abgerundeten Ecken	450
14.7.1.2	Windkraftbeiwert C_f für kreiszylindrische Stäbe mit $\lambda = l/d$	451
14.7.1.3	Windkraftbeiwert C_f für Fachwerke und Gerüste	451
14.8	Symbolerklärungen	453
	Anlagen I–III: Nennabmessungen und statische Werte von Hohlprofilen	455
	Anlage IV: Neuere Traglastformeln für ebene und räumliche Knoten aus kreisförmigen Hohlprofilen	499
	Literaturverzeichnis	503
	Register	525