

DIPLOMARBEIT

Master's Thesis

SLIM-FLOOR-KONSTRUKTIONEN

Bemessung von SFB-Trägern mit Hohlprofilen unter Berücksichtigung hochfester Feinkornbaustähle, unterschiedlicher Stahlgüten und Deckenausbildungen

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades eines
Diplom-Ingenieurs

unter Anleitung von
Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Andreas Kolbitsch
Univ.Ass. Dipl.-Ing. Michaela Walter

am
Institut für Hochbau und Industriebau
Technische Universität Wien
1040 Wien, Karlsplatz 13

verfasst von
Gerhard FREI
E 611 / 8925520
1190 Wien, Gugitzgasse 9/34/1
gerhard.frei@aon.at

Wien, im April 2004

.....

KURZFASSUNG

In Folge der immer kürzer werdenden Errichtungsdauer von Gebäuden kommen bei Deckenkonstruktionen seit einigen Jahrzehnten Flachdecken mit integrierten Stahlträgern als Sonderform von Verbunddecken zum Einsatz. Die wesentlichen Vorteile solcher Slim-Floor-Konstruktionen liegen in der geringen Bauhöhe, dem hohen Grad der Vorfertigung und dem weitgehend integrierbaren Brandschutz.

In dieser Diplomarbeit wird ein Berechnungsprogramm erstellt, welches in geschlossener Form die schnelle und einfache Bemessung von Slim-Floor-Trägern unter Verwendung von Hohlprofilen ermöglicht. Dabei werden hochfeste Feinkornbaustähle bis zu S 460, unterschiedliche Stahlgüten des Profils und des Untergurtblechs, Innen- und Randträger sowie warm- und kaltgeformte Hohlprofile berücksichtigt. Für die Decke kommen alle Konstruktionen in Frage, die einen ungestörten Betondruckgurt ermöglichen. Als Tragsystem des Slim-Floor-Trägers sowie der Decke sind Einfeldsysteme berücksichtigt und die Querschnittswiderstände werden plastisch ermittelt.

Nach einer allgemeinen Zusammenstellung von Slim-Floor-Konstruktionen, folgt eine detaillierte Bemessung eines Slim-Floor-Trägers mit einem Hohlprofil mit allen getroffenen Annahmen und Voraussetzungen. Diese Bemessung erfolgt weitgehend auf Basis des Eurocode 3 im Bauzustand bzw. des Eurocode 4 im Endzustand. Die im Detail berücksichtigten Materialgüten, Profilquerschnitte und Kopfbolzendübel sind angeführt.

Die Bemessungen wurden in Microsoft Excel 2000[®] programmiert und formatiert. Eine ausführliche Beschreibung des Programms und dessen Bedienung ist vorhanden. Zur Kontrolle wurden noch einige Beispiele berechnet.

ABSTRACT

As a result of the decreasing erection period, slim floors with integrated steel girders, as a special form of composite floors, have been employed for the last few decades. The greatest advantages of such constructions are the small height, the high degree of prefabrication and the overall integrated fire protection.

In this thesis a computer program has been developed which enables fast and simple calculation of slim-floor-beams with hollow sections. The software considers high strength fine grain structural steel up to S 460, different steel qualities of the hollow section and the bottom flange plate, internal and edge beams, as well as warm and cold formed hollow sections. All slab constructions with a regular concrete compression zone are considered. The slim floor beams as well as the slabs were calculated as simply supported beams and a plastic cross section analysis has been performed.

After a general compilation of slim floor constructions a detailed calculation of slim floor beams with hollow sections with all assumptions follows. The calculation of the construction state is based on Eurocode 3 and that of the final state on Eurocode 4. The materials, profile cross-sections and headed stud shear connectors used in calculations are listed as well.

For the programming and formatting of the calculations Microsoft Excel 2000[®] is used. A detailed description of the program and its handling is also given. To verify the program a few examples are calculated.

INHALTSVERZEICHNIS

KURZFASSUNG	I
ABSTRACT	II
INHALTSVERZEICHNIS	III
1 EINLEITUNG	1
2 SLIM-FLOOR-KONSTRUKTIONEN	2
2.1 Historische Entwicklung	2
2.2 Verbunddeckenkonstruktionen	4
2.3 Konstruktionsarten von Slim-Floor-Decken	7
2.3.1 Integrierte Deckenträger mit einer Ortbetonplatte	9
2.3.2 Integrierte Deckenträger mit Spannbetonhohldielen.....	11
2.3.3 Integrierte Deckenträger mit Profilblechen oder Elementdecken und Aufbeton	12
2.3.4 Integrierte Deckenträger mit Rippendecken unter Verwendung hoher Trapezbleche.....	14
2.4 Slim-Floor-Deckenträger	16
2.4.1 Entwicklung von integrierten Deckenträgern	17
2.4.2 Brandschutz von integrierten Deckenträgern.....	20
2.5 Verbund und Verbundmittel	22
2.5.1 Kopfbolzendübel	24
2.5.2 Schenkeldübel	24
2.5.3 Betondübel	25
3 BEMESSUNG VON SLIM-FLOOR-KONSTRUKTIONEN	26
3.1 Ausgewähltes System	28
3.2 Grundlagen für die Berechnung und Bemessung	29
3.2.1 Teilsicherheitsbeiwerte der Einwirkungen.....	31
3.2.2 Teilsicherheitsbeiwerte der Widerstände	33
3.3 Werkstoffe	34
3.3.1 Baustahl (Slim-Floor-Träger)	34
3.3.1.1 Stahlgüten für warmgewalzte Profile und Flacherzeugnisse	35
3.3.1.2 Stahlgüten für Hohlprofile.....	36

3.3.1.3 Querschnitte warmgewalzter Flacherzeugnisse	39
3.3.1.4 Querschnitte von Hohlprofilen	39
3.3.1.5 Einschränkungen bei kaltgeformten Hohlprofilen	40
3.3.1.6 Zusammenfassung der verwendeten Stahlgüten	42
3.3.2 Beton	44
3.3.3 Betonstahl.....	45
3.3.4 Deckenplatten.....	46
3.3.4.1 Ortbetondecken.....	46
3.3.4.2 Elementdecken	46
3.3.4.3 vorgespannte Elementdecken.....	47
3.3.4.4 Profilbleche	47
3.3.5 Verbundmittel	48
3.3.5.1 Kopfbolzendübel	48
3.4 Berechnung von SFB-Trägern mit Hohlprofilen.....	49
3.4.1 Tragsystem und Querschnitt.....	49
3.4.2 Tragsicherheit im Bauzustand	50
3.4.2.1 Bemessungsschnittgrößen.....	50
3.4.2.2 Ermittlung der plastischen Nulllinie	51
3.4.2.2.1 Nulllinie im Steg des Hohlprofils	52
3.4.2.2.2 Nulllinie im Untergurt des Hohlprofils.....	53
3.4.2.2.3 Nulllinie im Untergurtblech.....	53
3.4.2.3 Einstufung in Querschnittsklassen	54
3.4.2.4 Einfluss der Querbiegung im Untergurtblech	56
3.4.2.5 Nachweis der plastischen Momententragfähigkeit	56
3.4.2.5.1 Nulllinie im Untergurtblech.....	57
3.4.2.5.2 Nulllinie im Untergurt des Hohlprofils.....	58
3.4.2.5.3 Nulllinie im Steg des Hohlprofils	59
3.4.2.6 Nachweis der plastischen Querkrafttragfähigkeit	60
3.4.2.7 Nachweis der Torsionstragfähigkeit	61
3.4.2.8 Biegedrillknicken	61
3.4.2.9 Ermittlung benötigter Querschnittswerte	61
3.4.2.10 Schweißnähte	62

3.4.3 Gebrauchstauglichkeit im Bauzustand.....	64
3.4.3.1 Durchbiegungen.....	64
3.4.3.2 Schwingungen.....	66
3.4.4 Tragsicherheit im Endzustand	67
3.4.4.1 Bemessungsschnittgrößen.....	67
3.4.4.2 Mitwirkende Breite des Betongurts.....	68
3.4.4.3 Einfluss der Querbiegung im Untergurtblech	68
3.4.4.4 Nachweis der plastischen Momententragfähigkeit	69
3.4.4.4.1 Nulllinie im Betondruckgurt	70
3.4.4.4.2 Nulllinie im Obergurt des Hohlprofils.....	70
3.4.4.4.3 Nulllinie im Steg des Hohlprofils	71
3.4.4.4 Nachweis der plastischen Querkrafttragfähigkeit	72
3.4.4.5 Schweißnähte	73
3.4.4.6 Kopfbolzendübel	73
3.4.4.6.1 Grenzscherkraft von Kopfbolzendübeln.....	73
3.4.4.6.2 Vollständige Verdübelung.....	74
3.4.4.6.3 Teilweise Verdübelung	74
3.4.4.6.4 Duktile Verbundmittel.....	75
3.4.4.6.5 Verteilung der Verbundmittel	76
3.4.4.6.6 Bauliche Durchbildung.....	76
3.4.4.6.7 Querbewehrung.....	77
3.4.5 Gebrauchstauglichkeit im Endzustand.....	78
3.4.5.1 Verformungen	78
3.4.5.2 Schwingungen.....	82
3.4.5.3 Rissbildung im Betongurt	83
3.5 Weitere Untersuchungen.....	84
3.5.1 Ergänzungen zum vorliegenden Programm	84
3.5.2 Mögliche Erweiterungen für die Zukunft	84
4 BEMESSUNGSPROGRAMM	86
4.1 Systemvoraussetzungen, Installation und Voreinstellungen.....	86
4.1.1 Systemvoraussetzungen	86
4.1.2 Installation	87

4.1.3 Voreinstellungen	87
4.2 Arbeitsmappe	88
4.2.1 Arbeitsblatt "Bemessung von SFB-Trägern"	89
4.2.1.1 System- und Querschnittsangaben	90
4.2.1.2 Bemessung im Bauzustand.....	101
4.2.1.3 Bemessung im Endzustand.....	103
4.2.2 Arbeitsblatt "Teilsicherheitsbeiwerte"	105
4.2.3 Arbeitsblatt "Materialkennwerte"	107
4.2.4 Arbeitsblatt "Profiltabelle"	110
4.2.5 Arbeitsblatt "Verbundmittel"	112
4.2.6 Arbeitsblatt "Formelzeichen"	113
5 BEISPIELE	114
5.1 Innenträger	114
5.2 Randträger	114
6 ZUSAMMENFASSUNG	126
7 QUELLENACHWEIS	127
7.1 Literaturverzeichnis	127
7.1.1 Verbund allgemein und Slim-Floor.....	127
7.1.2 Normen und Richtlinien	130
7.2 Linkliste.....	133
7.3 Software	135
8 ABBILDUNGSVERZEICHNIS.....	136
9 TABELLENVERZEICHNIS	141
FORMELZEICHEN UND KURZZEICHEN	142
ANHANG	146

1 Einleitung

Dem Wunsch nach schlanken und leichten Deckenkonstruktionen folgenden wurden in den letzten Jahrzehnten Flachdecken mit integrierten Stahlträgern als Sonderform von Verbunddecken entwickelt. Diese "integrierten Flachdecken" haben im Vergleich mit herkömmlichen Verbunddecken Vorteile in Bezug auf geringe Bauhöhe, hohen Grad der Vorfertigung und den Brandschutz.

Mittlerweile existiert eine Vielzahl unterschiedlicher Konstruktionsformen. Zu diesen am Markt vorhandenen Systemen und deren Vorteilen wurden bereits zahlreiche Untersuchungen und veröffentlicht (u.a. [6], [9], [16], [22], [24]).

Das Ziel dieser Diplomarbeit ist exemplarisch, ein Berechnungsprogramm zu erstellen, welches in geschlossener Form die Bemessung einer ausgewählten Slim-Floor-Konstruktion ermöglicht und leicht anzuwenden ist.

Nach einer allgemeinen Darstellung von Slim-Floor-Konstruktionen sowie einer Diskussion deren Vor- und Nachteile im Kapitel 2, folgt die detaillierte Bemessung eines Slim-Floor-Trägers unter Verwendung von Hohlprofilen. Diese Bemessungen erfolgen weitgehend auf Basis des Eurocode 3 [104] und Eurocode 4 [107] und sind im Kapitel 3 zusammengestellt. In den Berechnungen werden folgende Zustände berücksichtigt:

- Tragsicherheit im Bauzustand
- Tragsicherheit im Endzustand
- Gebrauchstauglichkeit

Diese Bemessungen wurden in Microsoft Excel 2000[®] programmiert und formatiert. Eine ausführliche Beschreibung der Programme und deren Bedienung ist dem Kapitel 4 zu entnehmen. Zur Kontrolle des Bemessungsprogramms wurden einige Beispiele aus der Praxis bzw. der Literatur mit der Software nachgerechnet und im Kapitel 5 zusammengestellt.

**Für die Fehlerfreiheit der Programme und deren Dokumentation, sowie den Folgen aus deren Nutzung wird keinerlei Haftung übernommen.
Der Benutzer ist verpflichtet, jede seiner Berechnungen zu verifizieren.**

2 Slim-Floor-Konstruktionen

2.1 Historische Entwicklung

Flachdecken mit integrierten Stahlträgern als Sonderform von Verbunddecken ergeben sehr schlanke und leichte Deckenkonstruktionen. Die Idee zu derartigen Konstruktionen ist allerdings nicht neu. So stellt bereits die Kombination von Beton und Eisen Mitte des 19. Jahrhunderts eine Verbundkonstruktion dar. Schon 1854 gab es ein erstes Patent für bewehrte Decken aus Beton (William Wilkinson) und entsprechende Versuche (Thaddeus Hyatt, 1855). Die meisten Anwendungen waren damals jedoch auf Boote (Joseph Lambot, 1854) und Blumentöpfe (Joseph Monier, 1867) beschränkt [12].

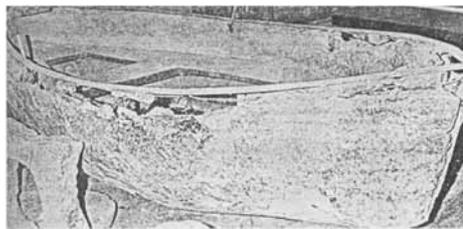


Abbildung 1: bewehrtes Betonboot von Joseph Lambot, 1854 [17]

Mit der Weiterentwicklung des Monier-Gewölbes [14] durch die Einbindung von Eisenträgern (Josef Melan, 1892) entstanden die ersten klassischen Verbundkonstruktionen allerdings noch ohne gezielte, schubfeste Verbindungen zwischen Stahl und Beton. Erste Anwendungen war die sogenannte Melan-Bogenbrücke (Melan-Arc-Bridge), bei der die Rüstträger der Brückenschalung einbetoniert wurden.

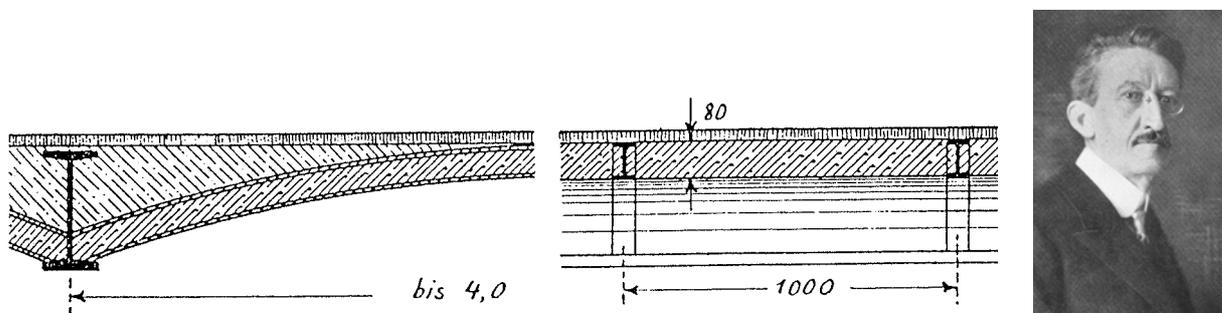


Abbildung 2: Melan-Decke [19] und Professor Joseph Melan [20]

Die Nutzung der höheren Tragfähigkeit von Eisenträgern in höher beanspruchten Zonen in Verbindung mit dem Beton für geringer beanspruchte Bereiche zur Herstellung eines flächenhaften Tragwerkes wurde damals schon gezielt umgesetzt. Um 1909 wurden sogenannte Bulbeisen (Pohlmann) als erste Verbundmittel genutzt [14]. Seit dieser Zeit wurde der Verbund näher untersucht und führt bis heute zu immer neuen Lösungen. Dabei spielt nicht nur die Schubkraftübertragung, sondern vor allem die wirtschaftliche Herstellbarkeit eine große Rolle.

Nach dem 2. Weltkrieg wurden Verbundkonstruktionen aufgrund der Materialknappheit auch in der Theorie detailliert behandelt um sparsame Konstruktionen zu ermöglichen. Erst zu diesem Zeitpunkt wurden die theoretischen Grundlagen (Bemessung nach Elastizitätstheorie) zusammengestellt [14].

Die heute üblichen Slim-Floor-Konstruktionen wurden erst Mitte der achtziger Jahre in Schweden und Finnland bzw. 1991 von der Firma ARBED (Luxemburg) entwickelt [16]. Vereinzelt gab es jedoch schon 1969 [11].

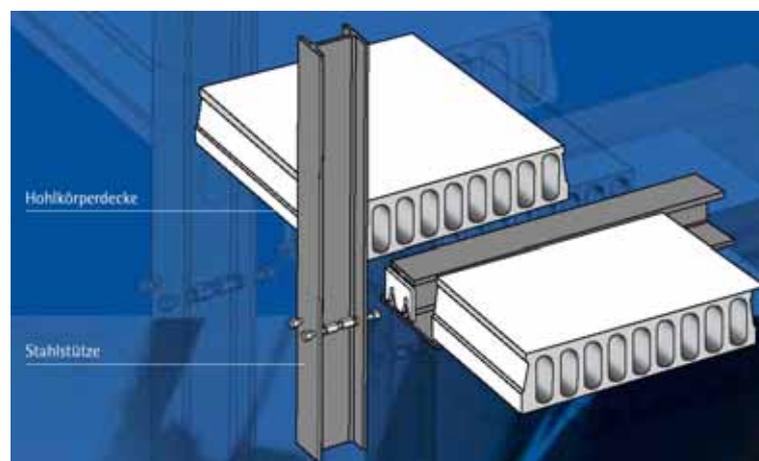


Abbildung 3: Slim-Floor-Decke mit Hohlprofilen [208]

Weitere Informationen zu Verbund- und Slim-Floor-Konstruktionen sind in [14], [15], [16], [18], [24], [32] und [35] zusammengestellt.

2.2 Verbunddeckenkonstruktionen

Klassischen Verbunddecken konstruiert mit einem Stahlträger und einer (im Verbund) darauf liegenden Deckenplatte (Ortbeton, Elementdecken mit Aufbeton, Trapezbleche mit Aufbeton) stellen eine sehr einfache und effektive Bauweise dar.

Trägerabstand	1,8 bis 5,0 m
Trägerstützweite	5 bis 20 m
Stärke der Deckenplatte	12 bis 40 cm
Höhe der Verbundträger	24 bis 100 cm

Tabelle 1: Übliche Abmessungen klassischer Verbunddecken

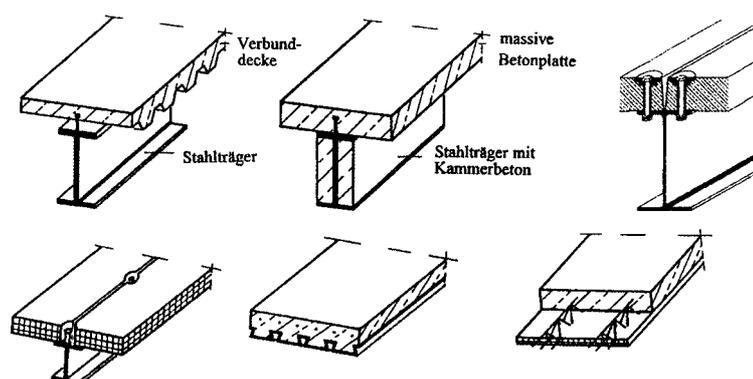


Abbildung 4: verschiedene Deckenplattenlösungen klassischer Verbunddecken [15]

Der erforderliche Brandschutz kann durch Verkleidungen, Beschichtungen oder bewehrten Kammerbeton erreicht werden.



Abbildung 5: I-Profil mit Kammerbeton, links mit Kopfbolzendübel, rechts mit angeschweißter Bewehrung [207]

Die Installationsführung erfolgt i.d.R. zwischen den Stahlträgern, wozu Öffnungen in den Stegen der Träger nützlich sind. Diese stellen in der Regel jedoch keine

besonderen herstellungstechnischen Probleme dar (Lochstegträger, Wabenträger, etc.).

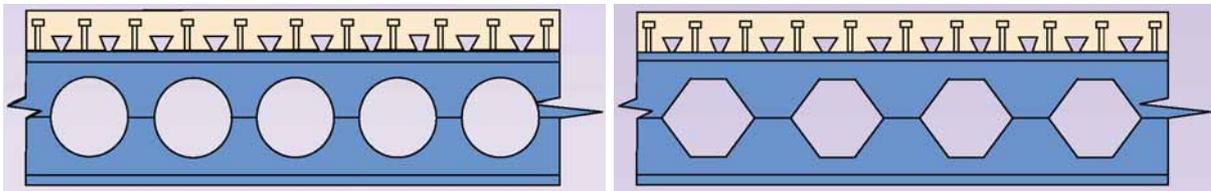


Abbildung 6: Lochsteg- und Wabenträger als Verbundträger [207]

Im Büro- und Wohnbau, wo gegenüber dem Industriebau die Installationen meist geringere Querschnitte aufweisen aber vielfältiger sind, stören die Stahlträger. Während der Nutzungsdauer sind häufige Nutzungsänderungen zu erwarten, welche durch die Träger (vor allem bei Kammerbetonträgern) stark behindert werden. Die große Konstruktionshöhe ist vor allem im Hochhausbau ein Nachteil, da hier wertvolle Bauhöhe verloren geht. Um dennoch die Vorteile der Verbundbauweise nutzen zu können, werden bei Slim-Floor-Konstruktionen die Stahlträger in den Deckenquerschnitt integriert. Dadurch ergeben sich im Wesentlichen 4 Vorteile:

- Da der Stahlträger in der Deckenebene einbetoniert wird, resultieren wesentlich schlankere und leichtere Konstruktionen ohne störende Unterzüge. Es steht also eine ebene Untersicht zur Verfügung, wodurch die Installationsführung nicht behindert wird.
- Durch die stark reduzierte freie Stahloberfläche ist der Brandschutz weitgehend integriert bzw. kann mit geringem Aufwand erzielt werden.
- Der hohe Grad der Vorfertigung bei Verwendung von Fertigteilelementen ermöglicht eine sehr rasche und weitgehend witterungsunabhängige Bauweise.
- Gegenüber klassischen Flachdecken ist ein Stützenanschluss ohne Zusatzmaßnahmen zur Durchstanzsicherung möglich.

Slim-Floor-Konstruktionen finden auch im Brückenbau Anwendung. Eine detailliertere Zusammenstellung von Vorteilen ist [16] und [24] zu entnehmen.

Durch die Anordnung des Verbundträgers in der Decke sind die beiden Konstruktionselemente über die gesamte Querschnittshöhe miteinander gekoppelt.

Die Höhe des Trägers ist daher durch die Dicke der Decke begrenzt. Bei größeren Spannweiten bzw. größeren Auflasten ist für eine wirtschaftliche Konstruktion eine Entkopplung von Flächentragwerk (Decke) und Linientragwerk (Träger) erforderlich. Im Übergangsbereich bieten sich aber noch Lösungen an, bei denen zumindest ein Teil des Stahlträgers in die Deckenplatte reicht, wie z.B. die Hoesch Additivdecke[®] oder das System Slimdek[®] von Corus. Derartige Konstruktionen benötigen allerdings einen etwas höheren Aufwand bei der Herstellung und sind unter Umständen bauphysikalisch problematisch, so dass deren Anwendung im Einzelfall genau zu prüfen ist.

2.3 Konstruktionsarten von Slim-Floor-Decken

Im Wesentlichen können 4 Konstruktionsarten von Slim-Floor-Decken in Anlehnung an [15] unterschieden werden (siehe Abb. 7):

- Integrierte Deckenträger mit einer Ortbetonplatte
- Integrierte Deckenträger mit Spannbetonhohldielen
- Integrierte Deckenträger mit Profilblechen oder Elementdecken und Aufbeton
- Integrierte Deckenträger mit Rippendecken unter Verwendung hoher Trapezbleche (Deep Decking)

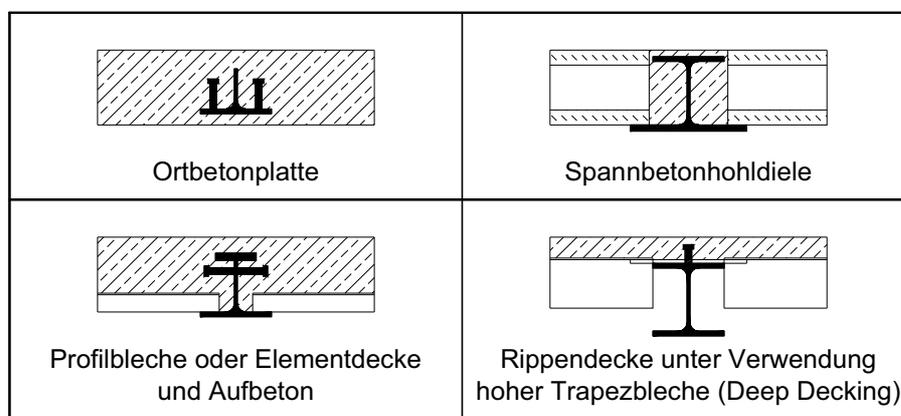


Abbildung 7: Konstruktionsarten von Slim-Floor-Decken in Anlehnung an [15]

Die Unterschiede liegen dabei primär in der Herstellung der Deckenplatten. Bei den Stahlträgern selbst bestehen kaum Unterschiede. Aufgrund der unterschiedlichen Ausführungen im unmittelbaren Anschluss an den Stahlträgern, hat die Wahl des Systems jedoch einen großen Einfluss auf die Verbundwirkung. Sie ist bei Ortbetonplatten völlig ungestört möglich und bei Verwendung von Hohldielen ohne Aufbeton unter Umständen nur sehr gering. Bei den beiden Varianten mit Profilblechen ist die Verbundwirkung ebenfalls sehr gut, da die Betondruckzone aus Ortbeton hergestellt wird. Soll eine Durchlaufwirkung in Rechnung gestellt werden, sind aber auch hier bei Verwendung von Profilblechen aufgrund der gestörten Druckzone (Unterbrechungen durch die trapezförmige Geometrie) Verluste im Stützbereich zu bedenken.

In Abbildung 8 sind klassische Verbunddecken und Slim-Floor-Decken in Hinblick auf die Konstruktionsart der Deckenfelder gegenübergestellt. Die Wahl der Stahlträger in dieser Abbildung ist nicht zwingend mit der Konstruktionsart verbunden, sondern stellt nur eine Möglichkeit dar.

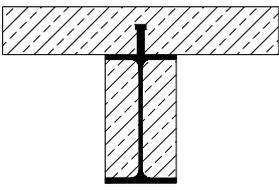
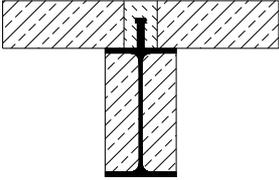
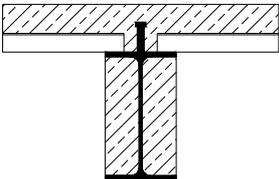
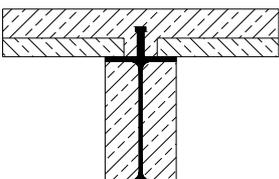
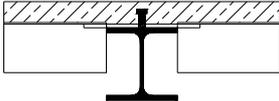
Deckenplatte	klassische Verbunddecke	Slim-Floor-Decke
Ortbetonplatte		
Fertigteile (Hohldielen)		
Trapezprofilblech und Aufbeton		
Elementdecke und Aufbeton		
Rippendecke unter Verwendung hoher Trapezbleche (Deep Decking) Hoesch Additivdecke		
Rippendecke unter Verwendung hoher Trapezbleche (Deep Decking) Slimdek von Corus Construction		

Abbildung 8: Gegenüberstellung von klassischen Verbunddecken- und Slim-Floor-Decken-Konstruktionen

2.3.1 Integrierte Deckenträger mit einer Ortbetonplatte

Bei einem in eine Ortbetonplatte integrierten Deckenträger wird die Deckenplatte konventionell geschalt und an den Stellen der höchsten Beanspruchungen Stahlträger mit einbetoniert. Diese Decken stellen den vorläufigen Standpunkt der Weiterentwicklung der Melan-Decke mit ebener Untersicht dar. Die Schalung kann bei Bedarf direkt an den Stahlträgern befestigt werden. Da für die Konstruktion von geschalteten Deckenplatten keine Sonderbauteile verwendet werden, können die Stützweiten leicht variiert und auch die erforderliche Bewehrung entsprechend angepasst werden. Die Durchstanzproblematik gewöhnlicher Flachdecken entfällt durch die direkten Anschlüsse der Stahlträger an die Stützen. Ein Bauwerk, bei dem diese Art der Deckenkonstruktion ausgeführt und sehr genau untersucht wurde, ist der Millennium Tower in Wien. Die dabei verwendete Konstruktion ist in der Literatur (z.B. [36]) umfangreich dokumentiert.

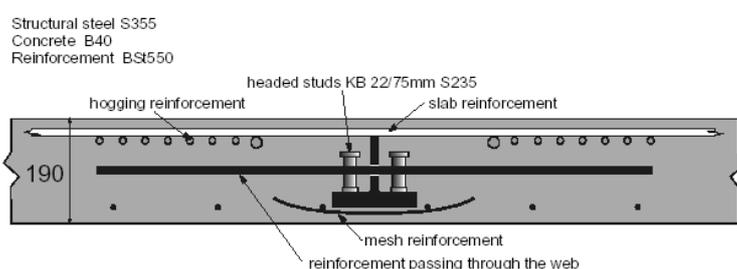


Abbildung 9: Slim-Floor-Träger und dessen Anschluss an die Stütze beim Millennium Tower Wien [23]

Bei dieser Konstruktion ist unter anderem die Ausbildung eines Durchlaufträgers in der Deckenplatte sehr leicht möglich, wodurch diese sehr wirtschaftlich (verformungsarm) ausgebildet werden kann. Stützweiten und Trägerabstände können jeder Geometrie der Decke angepasst werden. Es ist eine konventionelle Schalung erforderlich, wodurch aber Stabilitätsprobleme des Stahlträgers (Biegedrillknicken, Torsion) im Bauzustand vermieden werden können.



Abbildung 10: Verbundrahmen Slim-Floor-Träger – Verbundstützen beim Millennium Tower Wien [23]

2.3.2 Integrierte Deckenträger mit Spannbetonhohldielen

Integrierte Deckenträger mit Spannbetonhohldielen sind die in Skandinavien entwickelte Urform der heutigen Slim-Floor-Deckenkonstruktion und basieren auf einer weitgehend trockenen Fertigteilbauweise. Diese Entwicklung hat ihre Ursache in den rauen klimatischen Bedingungen dieser Länder. Vorgespannte Hohldielen werden direkt auf den Unterflanschen der Stahlträger verlegt. Lediglich die Fugen müssen vergossen werden, wodurch der Verbund mit den Stahlträgern hergestellt wird.

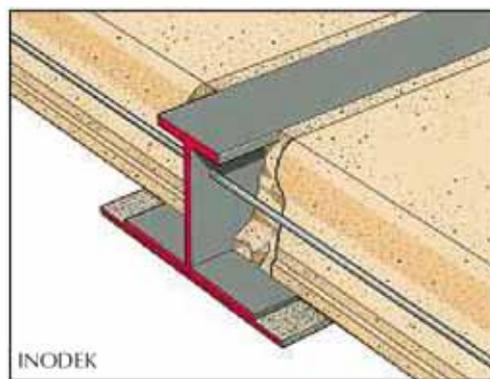


Abbildung 11: Hohldielen auf einem integrierten Deckenträger mit breitem Untergurt [213]

Da meist kein Aufbeton auf die Hohldielen aufgebracht wird und die Quertragfähigkeit der Fertigteile stark eingeschränkt ist, ist die Verbundträgerwirkung im Endzustand begrenzt. Mit einer weitgehend witterungsunabhängigen Herstellungsweise wird aber eine ebene und fertige Untersicht erzielt.



Abbildung 12: Hohldielen verlegt auf einem Delta[®]-Träger, Ansicht, Untersicht [224]

Die Stahlträger weisen eine Stützweite ab 6 m auf, jene der Hohldielen liegt i.d.R. zwischen 6 und 12 m [15].

2.3.3 Integrierte Deckenträger mit Profilblechen oder Elementdecken und Aufbeton

Integrierte Deckenträger mit Profilblechen oder Elementdecken und Aufbeton stellen einen Kompromiss zwischen den beiden ersten Varianten dar. Um die Schalung und Rüstung der Deckenfelder einzusparen, werden Fertigelemente oder Profilbleche verwendet, die durch einen Aufbeton ergänzt werden. Die Deckenfelder stellen also selbst Verbundkonstruktionen dar. Je nach Stützweite der Sekundärkonstruktion sind nur mehr einzelne Unterstellungen notwendig. Bis zu einer Stützweite von ca. 2,5 m können diese völlig entfallen.

Als Profilbleche können z.B. Holorib[®] (Montana-Bausysteme AG), Haircol[®] (Arcelor / Forges Profil AG) oder Cofrastra[®] (Arcelor) verwendet werden. Details zur Berechnung sind in [21] enthalten. Die Stützweiten ohne Unterstellung liegen je nach Aufbetondicke bei 1,5 bis 3,0 m.

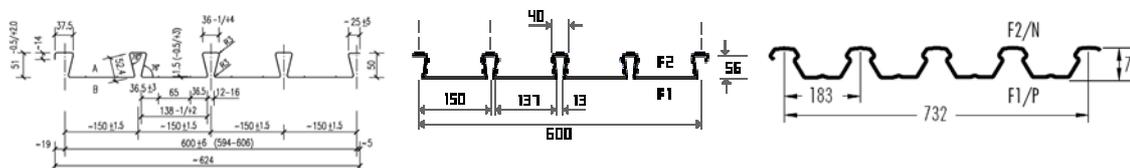


Abbildung 13: Holorib[®] HR 51/150 [222], Haircol[®] 56 S [209], Cofrastra[®] 70/183 [201]

Elementdecken werden von vielen Fertigteilwerken hergestellt, wobei auch vorgespannte Fertigteillemente angeboten werden. Die Stützweiten ohne Unterstellung liegen bei 1,5 bis 2,0 m.

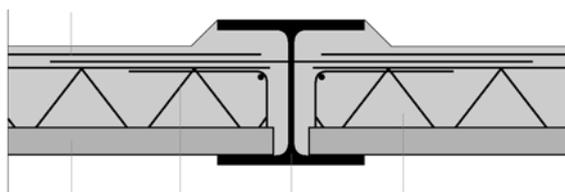


Abbildung 14: Slim-Floor-Konstruktion mit Elementdecke [227]

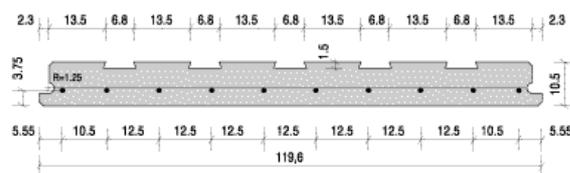


Abbildung 15: vorgespannte Elementdecke (Eurodec®) [224]

Eine Sonderform der Profilblechdecken stellt die Trapezblechbogen-Verbunddecke (Arch Deck®) dar. Durch die Krümmung der Trapezblechprofile kann Aufbeton gespart werden, vor allem aber ist ein größerer Trägerabstand ohne Unterstellung möglich.

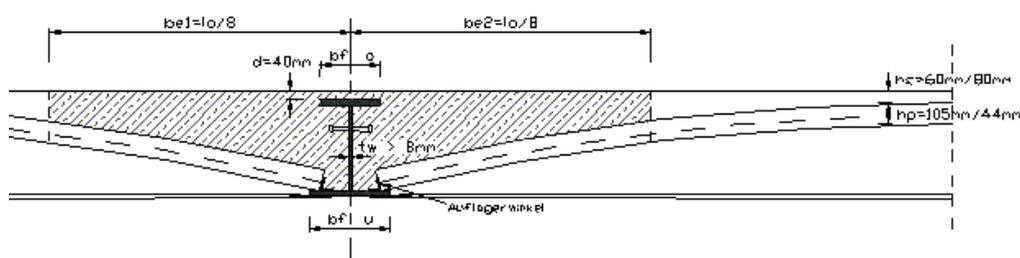


Abbildung 16: Querschnitt einer Trapezblechbogen-Verbunddecke [237]

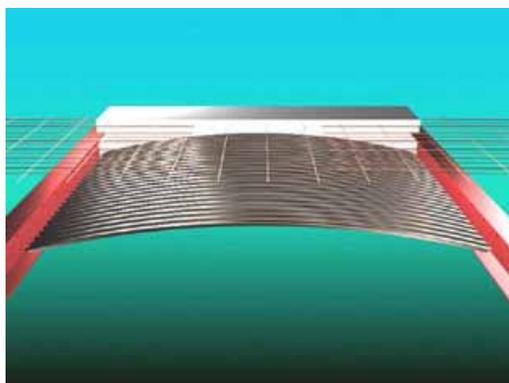


Abbildung 17: Arch Deck® und Anwendung - Einbringen des Deckenbetons [237]

Die Trägerabstände liegen bei dieser Verbunddeckenkonstruktion zwischen 4 bis 6 m, die Stützweiten der Träger betragen 8 bis 12 m. Details zur Berechnung sind [22] zu entnehmen.

2.3.4 Integrierte Deckenträger mit Rippendecken unter Verwendung hoher Trapezbleche

Integrierte Deckenträger mit Rippendecken unter Verwendung hoher Trapezbleche stellen im engeren Sinn keine Slim-Floor-Konstruktionen mehr dar, da die Deckenplatte aufgelöst ist und nur mehr ein Teil des Stahlträgers einbetoniert wird. Sie sind als Übergangsform zu den klassischen Verbunddecken anzusehen. Als Vorteile sind die noch sehr schlanken Decken und der hohe Grad der Vorfertigung zu nennen. Eine ebene Untersicht wird nicht erzielt.

Derzeit existieren zwei unterschiedliche Systeme. Bei der Hoesch Additivdecke[®] von ThyssenKrupp Hoesch Bausysteme erfolgt die Lagerung der Trapezbleche am Obergurt der Stahlträger. Dadurch können die Träger aus handelsüblichen Walzprofilen bestehen und benötigen keinen breiteren Untergurt.

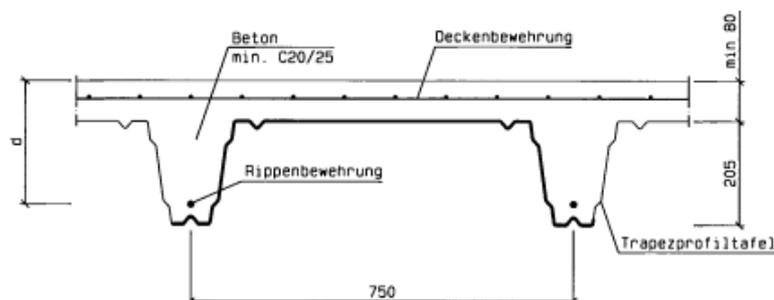


Abbildung 18: Querschnitt der Hoesch Additiv Decke[®] [233]

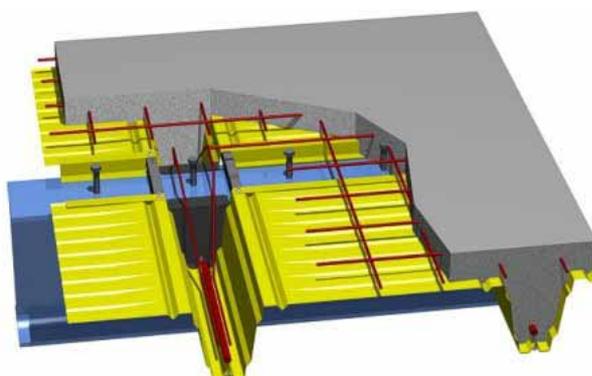


Abbildung 19: Hoesch Additiv Decke[®] und Anwendung bei Parkhaus in Saarlouis / Deutschland [233]

Der Abstand der Stahlträger kann bis zu 5,80 m (lichte Weite 5,50 m) ohne Unterstützung der Trapezbleche betragen und ein Brandschutz bis F90 ist mit

Zusatzbewehrung erreichbar. Der Brandschutz des Trägers ist allerdings gesondert zu betrachten, da dieser nicht einbetoniert ist. Die Anwendung ist aufgrund der bauphysikalischen Eigenschaften der leichten Konstruktion weitgehend auf Parkhäuser und Industriebauten beschränkt.

Die Höhe der Stahlträger kann bei diesem System unabhängig von den Trapezblechen festgelegt werden. Die Bemessung erfolgt wie bei einem konventionellen Verbundträger, wobei die wirtschaftliche Stützweite von der möglichst schlanken Betondruckzone abhängt.

Beim System Slimdek® von Corus Construction (British Steel) erfolgt die Lagerung der Trapezbleche am Untergurt der Stahlträger. Diese müssen wie bei anderen Slim-Floor-Konstruktionen einen breiteren Untergurt besitzen.

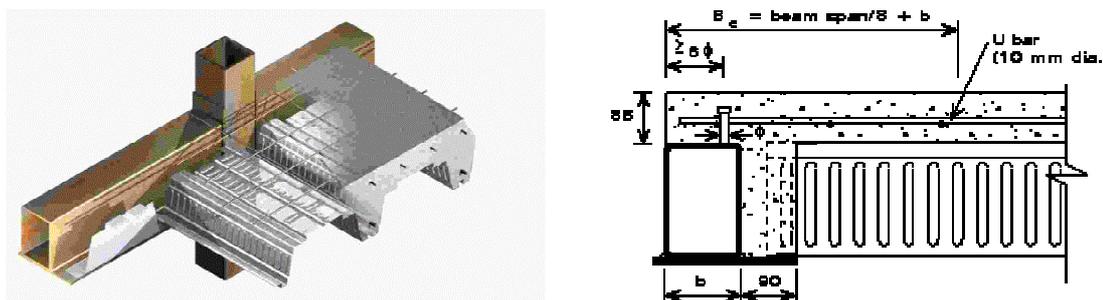


Abbildung 20: Slimdek® von Corus / British Steel (hier mit Hohlprofil – RHSFB - als Randträger) [206]

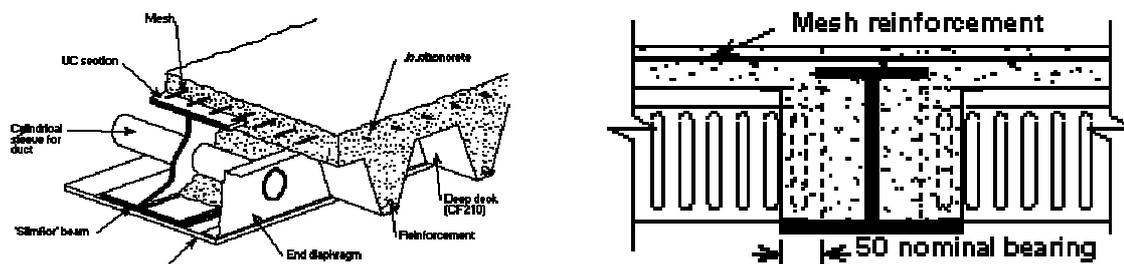


Abbildung 21: Slimdek® von Corus / British Steel (hier mit ASB-Trägern im Inneren) [206]

Die Stützweiten gehen hier von 5 x 5 m bis zu 9 x 9 m, wobei ein unterstellungsfreies Verlegen der Trapezbleche bis 6,5 m Stützweite möglich ist. Der Brandschutz stellt hier wiederum kein Problem dar, da die Träger seitlich einbetoniert werden. Ab F60 kann parallel zum Träger eine Brandbewehrung erforderlich werden.

2.4 Slim-Floor-Deckenträger

Als Slim-Floor-Deckenträger kommen Querschnitte auf Basis von gewalzten Profilen (I, U, L) und geschweißte Querschnitte zum Einsatz. In der Regel verfügen diese über einen breiteren Untergurt, der als Auflager für Fertigteile oder Profilbleche dient. Bei Walzprofilen werden hierfür zusätzlich Bleche angeschweißt. Auch Hohlprofile mit angeschweißtem Blech können verwendet werden.

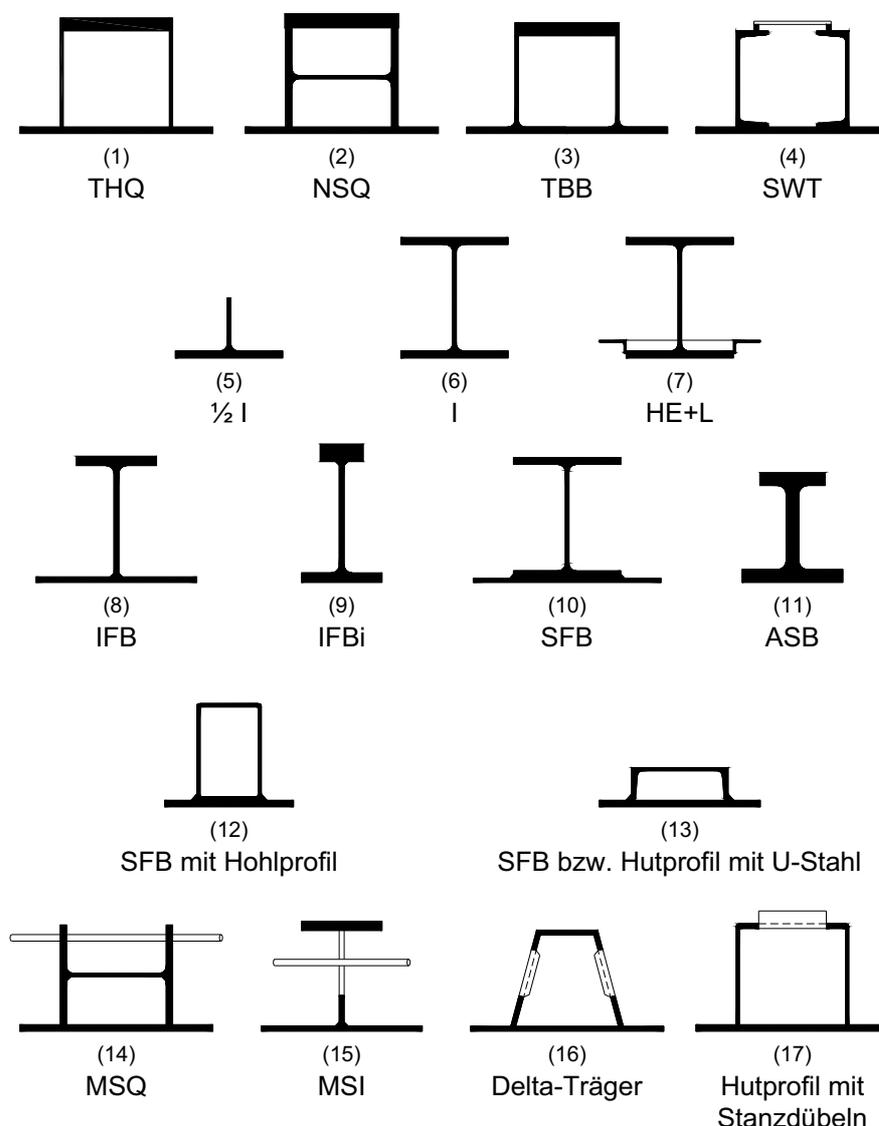


Abbildung 22: Verschiedene Formen der Stahlträger bei Slim-Floor-Deckenkonstruktionen
(Erweiterung von [27])

Die Erläuterung der Bezeichnungen und der Hersteller der Abbildung 22 ist im folgenden Abschnitt zu finden.

2.4.1 Entwicklung von integrierten Deckenträgern

(in Erweiterung von [27]; Die Zahlen in Klammer beziehen sich auf die entsprechenden Profile in Abbildung 22.)

Als erster, gezielt entwickelter, integrierter Deckenträger wurde in Schweden von Gränges Hedlund (später Rautaruukki aus Finnland) das Hutprofil THQ (1) erzeugt.



Abbildung 23: Herstellung von Hohlprofilen mit senkrechten und geneigten Stegen [211]

Eine Variante davon stellt die Verwendung eines liegenden I-Profils (2) anstelle der beiden Stegbleche von Norrtälje Stomteknik (NSQ) bzw. die Verwendung von 2 halben I-Profilen (3) der Firma Tibnor (TBB) dar. Fundia Bygg bzw. Smedjebacken Weld Tech (SWT) stellen ein offenes Profil (4) her, welches mit Beton verfüllt werden kann.

Eine der einfachsten Trägerformen ist das halbe I-Profil (5), welches jedoch aufgrund des fehlenden Druckgurtes und der damit verbundenen geringen Stabilität im Bauzustand nur in Kombination mit einer Ortbetondecke in Frage kommt.

I-Profile (6) werden heute mit Ortbetondecken und bei der Additiv-Decke[®] verwendet. Um I-Profile mit Fertigteilen verwenden zu können, wurden früher aufwändige Zusatzkonstruktionen hergestellt (7). Damit konnte auch die Deckenstärke kleiner gehalten werden als die Stahlträgerhöhe (HE+L). Diese unbefriedigenden und aufwändigen Lösungen wurden durch folgende, einfachere Profile ersetzt.

Integrierte Stahldeckenträger (IFB) wurden von der Firma Arbed building concepts (heute Arcelor) zu Beginn der 90er Jahre entwickelt. IFB-Träger bestehen aus einem halbierten Walzprofil (I) und einem als Unter- (8) oder Obergurt (9) angeschweißten Blech. Slim-Floor-Träger (10) wurden von British Steel (heute Corus) und dem Steel Construction Institute (SCI) entwickelt. SFB-Träger bestehen aus einem ganzen Walzprofil und einem als Untergurtverstärkung angeschweißten Blech.

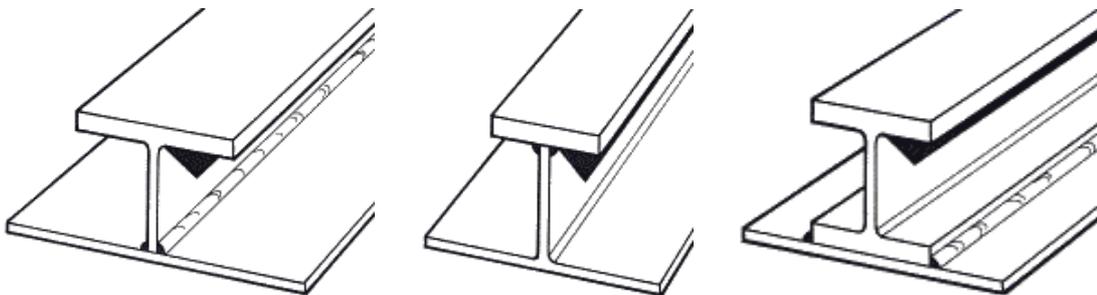


Abbildung 24: Axonometrische Darstellung mit Schweißnähten von IFB- und SFB-Trägern [211]

Um die Kosten für derartige Querschnitte zu reduzieren, entwickelte die Firma Corus den sogenannten ASB-Träger (11). Dieses asymmetrische I-Profil wird in einer speziellen Walzstraße mit einem breiteren Untergurt direkt hergestellt.



Abbildung 25: ASB-Träger von Corus / British Steel [206]

Um die Torsionssteifigkeit von SFB-Trägern im Bauzustand zu erhöhen, können anstelle des I-Profils einfach Hohlprofile (12) oder U-Profile (13) verwendet werden. Dabei ist jedoch der schall- und wärmetechnische Nachteil des Hohlraums zu berücksichtigen, der aber nach [27] im Regelfall vernachlässigbar gering ist.

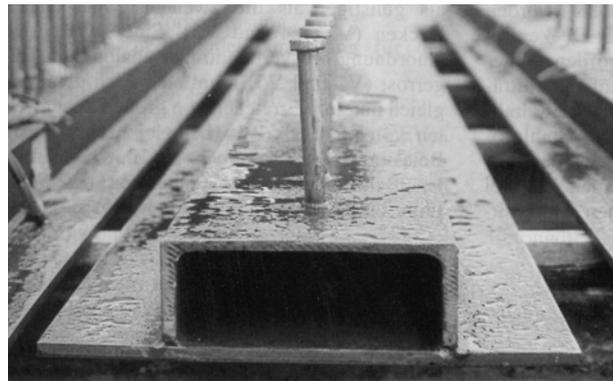


Abbildung 26: Hutprofil mit UPE-Querschnitt [6]

Alle bisherigen Profile benötigen zusätzlich Verbundmittel um eine schubfeste Verbindung zwischen Stahl und Beton herzustellen. Um den damit verbundenen Arbeitsaufwand zu reduzieren, wurden Träger entwickelt, die alleine aufgrund ihrer Geometrie den notwendigen Verbund erreichen.

Beim MSQ-Träger (14) werden durch Bohrungen in den Flanschen des I-Profils Bewehrungsstäbe gesteckt. Der MSI-Träger (15) besitzt große Öffnungen im Steg durch die ebenfalls Bewehrung geführt werden kann. Die finnische Firma Peikko (Teräspeikko Oy) produziert den Delta[®]-Träger (16), welcher über spezielle Öffnungen für die Verdübelung in den Stegen verfügt.



Abbildung 27: Herstellung eines Delta[®]-Trägers [225]

Bei Hutprofilen mit Stanzdübeln (17) werden aus dem Obergurt der Hutprofile Blechteile ausgestanzt und umgebogen. Dadurch kann das Hutprofil vollständig einbetoniert werden und die Dübel dienen der Schubkraftübertragung.

Weitere Trägertypen sind [33] zu entnehmen.

2.4.2 Brandschutz von integrierten Deckenträgern

Gegenüber klassischen Flachdecken aus Beton und Spannbeton ist dem Brandschutz von integrierten Deckenträgern besondere Aufmerksamkeit zu widmen. Da die Stahlträger aber zumindest teilweise einbetoniert sind, ergeben sich große Vorteile gegenüber klassischen Verbundträgern.

Bei Trägern, die zur Gänze in der Decke integriert sind und die eine ausreichende Betondeckung haben, sind keinerlei Zusatzmaßnahmen notwendig. Bei den meisten Konstruktionen liegt allerdings der Untergurt ungeschützt frei. Um die im Brandfall ausfallende Funktion des Untergurts als Auflager von Fertigteilen der Decke auszugleichen, können die Kräfte über Zusatzmaßnahmen im Aufbeton oder Vergussbeton abgeleitet werden. Bei Hohldielen- und Elementdecken kann dies z.B. mit einer Schubbewehrung, die über den Träger läuft [7], [30], und eventuell einer Aufhängebewehrung erreicht werden.

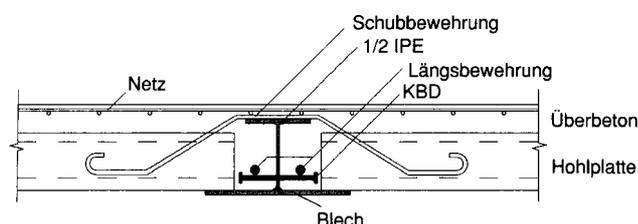


Abbildung 28: Schubbewehrung für den Brandfall beim Auflager von Hohldielen [7]

Bei der Verwendung von Profilblechen sind im Regelfall keine Zusatzmaßnahmen für den Auflagerbereich notwendig, solange sie nur für den Bauzustand in Rechnung gestellt werden.

Für den Untergurt der Stahlträger als Zuggurt des Verbundbauteiles sind jedoch je nach Anforderungsklasse Zusatzmaßnahmen notwendig, die aber keinen besonders hohen Aufwand darstellen.

Eine Möglichkeit ist der Einbau von Zusatzbewehrung parallel zum Untergurt im Betoninneren. Diese durch den Beton geschützte Bewehrung kann die Lasten des im Brandfall ausfallenden Trägerquerschnitts übernehmen (siehe auch Abbildung 28).

Dabei können die reduzierten Anforderungen im Brandfall nach Eurocode 3 berücksichtigt werden.

In den USA kommen vor allem Anstriche zur Anwendung, die im Brandfall aufschäumen und so einen "unsichtbaren" Brandschutz bieten. In Deutschland, Österreich und der Schweiz sind diese Anstriche alleine nur bis maximal F60 erlaubt. Eine weitere Möglichkeit bieten Beschichtungen mit Spritzputz von ca. 1,5 cm [29], die jedoch für Sichtflächen in Ortbetondecken nicht geeignet sind.

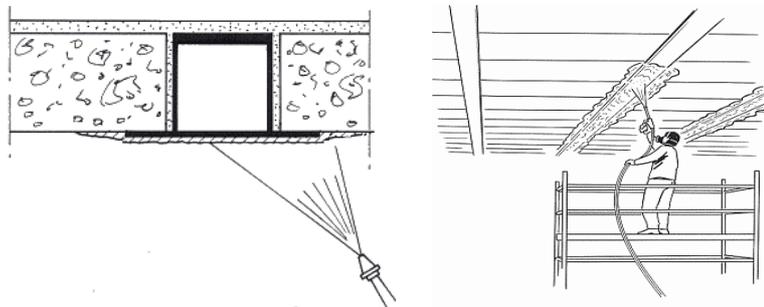


Abbildung 29: Brandschutzbeschichtung von freiliegenden Untergurten [211]

Weitere Maßnahmen sind Brandschutzverkleidungen, z.B. mit speziellen Gipskartonplatten oder abgehängte Decken (siehe auch [38]).

2.5 Verbund und Verbundmittel

Im Gebrauchszustand herrscht zwischen Stahl und Beton in der Regel ein sehr guter Reibungsverbund und auch eine gewisse Klemmwirkung [15]. Da dieser Verbund jedoch stark von der Ausführung abhängt und beim Erreichen der Traglast infolge der Ausbildung von Rissen versagt, sind zusätzliche Maßnahmen notwendig. Es werden daher sogenannte Verbundmittel eingebaut. Da diese Verbundmittel im Traglastfall große Verformungen erleiden, kann der starre Reibungsverbund nicht in Kombination mit den Dübeln angesetzt werden.

In Eurocode 4 [107] sind die Anforderungen an Verbundmittel sowie die versuchsgestützte Bemessung für nicht normierte Lösungen festgelegt. Alle Verbundmittel müssen demnach ein duktileres Verhalten aufweisen. Die Verbundmittel müssen die Längsschubkräfte aufnehmen können und zusätzlich eine Abhebesicherung aufweisen.

Folgende Verbundmittel sind im Eurocode 4 geregelt:

- Kopfbolzendübel in Vollbetonplatten (siehe Kap. 2.5.1)
- Kopfbolzendübel bei Profilblechen (siehe Kap. 2.5.1)
- Blockdübel in Vollbetonplatten (siehe Abbildung 30 – Nr. 1)
- Haken- und Schlaufenanker in Vollbetonplatten (siehe Abbildung 30 – Nr. 2)
- Blockdübel in Kombination mit Ankern und Schlaufen in Vollbetonplatten (siehe Abbildung 30 – Nr. 3)
- Winkeldübel in Vollbetonplatten (siehe Abbildung 30 – Nr. 4)
- Reibungsverbund mittels HV-Schrauben (siehe Abbildung 30 – Nr. 5)

Folgende Verbundmittel sind nicht im Eurocode 4 geregelt, können jedoch aufgrund bereits durchgeführter Versuche nach dem Eurocode 4 eingesetzt werden:

- Schenkeldübel mit Setzbolzen (Hilti) (siehe Kap. 2.5.2)
- Betondübel (Perfobond) (siehe Kap. 2.5.3)

Für Slim-Floor-Konstruktionen kommen heute primär Kopfbolzendübel und Schenkeldübel zum Einsatz. Auch Betondübel sind üblich. Bei Fertigteilplatten kommen oft HV-Schrauben zur Anwendung. Die Verbundmittel können horizontal am Steg oder vertikal am Flansch der Profile angebracht werden.

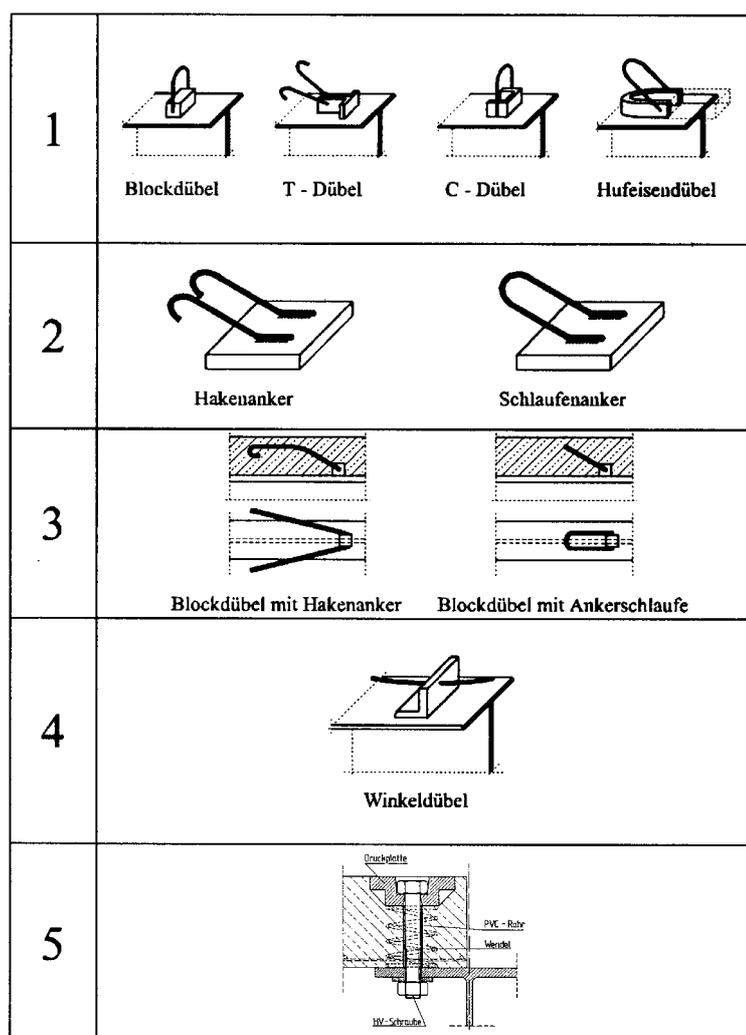


Abbildung 30: Verbundmittel nach Eurocode 4 (in Erweiterung von [15])

Nähere Erläuterungen zu den selten verwendeten Verbundmitteln der Abbildung 30 sind in [15] enthalten. Im Folgenden werden Kopfbolzendübel, Schenkeldübel und Betondübel näher beschrieben.

2.5.1 Kopfbolzendübel

Die Anwendung von Kopfbolzendübeln ist für Durchmesser bis 22 mm im Eurocode 4 geregelt. Mittlerweile sind aber auch Durchmesser von 25 mm möglich [6]. Kopfbolzen werden mit Bolzenschweißgeräten mit Hubzündung meist unter Verwendung eines Keramikrings zur Schmelzbadabsicherung gesetzt.

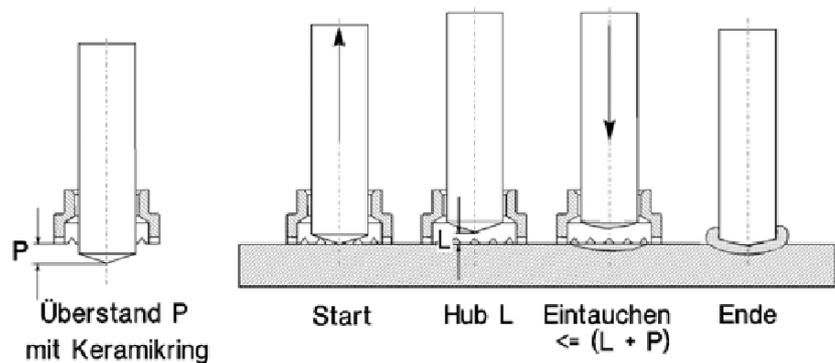
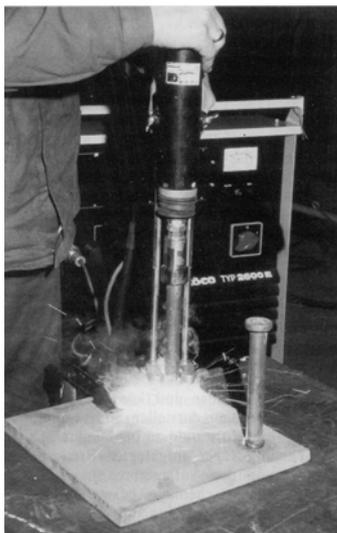


Abbildung 31: Bolzenschweißpistole im Einsatz [28] und Prozessverlauf [216]

Dieser Vorgang kann in der Werkstatt, aber auch auf der Baustelle durchgeführt werden.

2.5.2 Schenkeldübel

Schenkeldübel werden z.B. als Verbunddübel X-HVB durch die Firma Hilti vertrieben und mit Setzbolzen am Stahlprofil befestigt. Durch die Nagelung mit Setzbolzen sind kleinere, flexiblere Geräte möglich. Auch die Witterung beim Einbau vor Ort spielt hier keine Rolle.

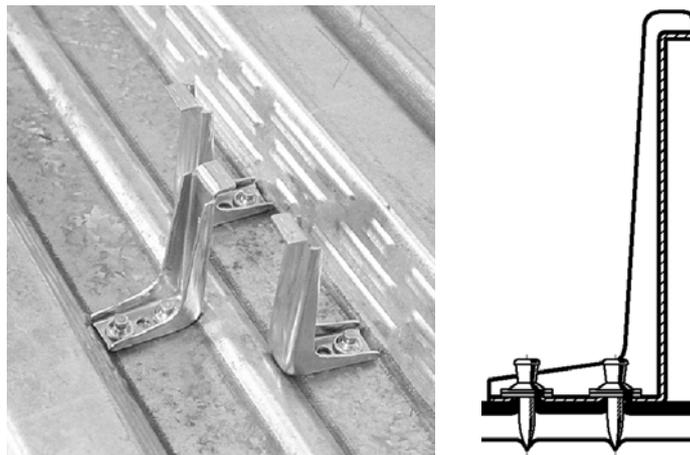


Abbildung 32: Schenkeldübel X-HVB von Hilti [214]

Die Dübel werden mit Höhen von 80, 95, 110, 125 und 140 mm hergestellt.

2.5.3 Betondübel

Bei Betondübeln werden Aussparungen im Stahlquerschnitt hergestellt, die nach dem Durchführen der Bewehrung ausbetoniert werden. Seit 1991 findet die Perfobondleiste als Betondübel Anwendung im Verbundbau [37].

Die Betondübelleiste kann horizontal und vertikal hergestellt werden. Sie kann entweder direkt aus dem Stahlträger geschnitten oder getrennt hergestellt und angeschweißt werden.

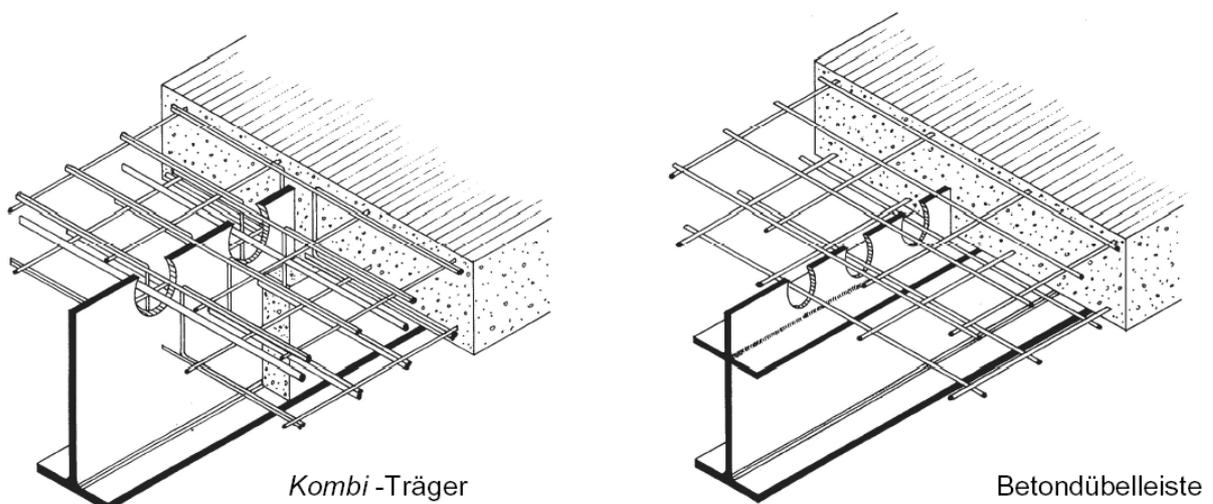


Abbildung 33: Beispiele für Betondübel [220]

3 Bemessung von Slim-Floor-Konstruktionen

Die Bemessung von Slim-Floor-Konstruktionen erfolgt weitgehend auf Basis des Eurocode 4 [107] und des Eurocode 3 [104]. Der Eurocode 3 wird für den Bauzustand herangezogen und der Eurocode 4 nach der Betoneinbringung, also für den Endzustand.

Für die im Kapitel 2 angeführten Slim-Floor-Konstruktionen existieren vielseitige Unterlagen zur Bemessung, die hier überblicksmäßig aufgelistet werden.

Allgemeine Bemessungen nach dem Eurocode 4:

Bemessung von Verbundkonstruktionen nach DIN 18 800-5 auf Basis des Eurocode 4 [5].

Allgemeine Berechnung von Verbundkonstruktionen nach Eurocode 4 [13], [15], [31].

Bemessung von Slim-Floor-Trägern:

Berechnung von Verbunddecken mit $\frac{1}{2}$ I-Trägern und Kopfbolzendübeln in Ortbeton (Millennium Tower) nach [16], [23], [36].

Hinweise zur Berechnung von IFB- und SFB-Trägern sind in [9], [24], [27] enthalten.

In [27] werden auch THQ-Querschnitte behandelt.

Bemessung von Flachdecken mit Hutprofilen [6].

Bemessung von Flachdecken mit Hutprofilen und Stanzdübeln [34].

Bemessung von Delta[®]-Trägern [11].

Neue Stähle im Verbundbau (Feinkornstähle) [8].

Bemessung von Slim-Floor-Decken:

Berechnung von Spannbeton-Hohldielen [25].

Geschossdecken mit Profilblechen [10].

Verbundträger und -decken mit Profilblechen [14], [15], [21].

Berechnung gekrümmter Profilblechdecken (Arch-Deck[®]) [22].

Bemessung von Verbundmitteln:

Untersuchungen zu liegenden Kopfbolzendübeln [26].

Kopfbolzendübel und andere [15], [31].

Bemessung im Brandfall:

Brandsicherheit allgemein [7], [28].

Slim-Floor-Decken mit Hohldielen [39].

3.1 Ausgewähltes System

In dieser Diplomarbeit wird die Bemessung einer ausgewählten Slim-Floor-Konstruktion näher behandelt. Dabei handelt es sich um Hohlprofile mit einem angeschweißten Blech als Untergurtverbreiterung (SFB mit Hohlprofil). Auch hochfeste Stähle werden berücksichtigt.

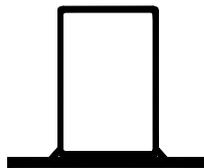


Abbildung 34: SFB mit Hohlprofil

Als Decken sind alle Systeme möglich, die eine statisch wirksame und ungestörte Ortbetondruckzone ermöglichen. Dies sind Ortbetondecken sowie Elementdecken oder Profilbleche mit Aufbeton. Auch Hohldielen sind denkbar, benötigen aber ebenfalls einen Aufbeton um eine ungeschwächte Druckzone bis zur Nulllinie zu ermöglichen.

Als Verbundmittel werden wegen der weiten Verbreitung Kopfbolzendübel gewählt.

3.2 Grundlagen für die Berechnung und Bemessung

Bei der Dimensionierung der ausgewählten Slim-Floor-Träger werden folgende Zustände berücksichtigt:

- Tragsicherheit im Bauzustand
- Gebrauchstauglichkeit im Bauzustand
- Tragsicherheit im Endzustand
- Gebrauchstauglichkeit im Endzustand
- Nachweis der Schwingungsanfälligkeit (Eigenfrequenz) im Endzustand
- Hinweise zum Brandschutz

Die genauen Berechnungsabläufe für den konkreten Trägerquerschnitt sind dem Kapitel 3.4 zu entnehmen.

Wenn nichts anderes angegeben ist, sind die Formeln dimensionsrein.

Symbole und Abkürzungen werden bei ihrem ersten Auftreten definiert. Zusammenfassend sind diese dann im Kapitel "Formelzeichen und Kurzzeichen" angegeben.

Die Deckenträger werden im Bauzustand nicht unterstellt. Die Stützweite im Bauzustand ist demnach identisch mit jener im Endzustand. Da Durchlaufträger wegen der komplizierten Anschlüsse an die Stützen und aufgrund der geringen Verbundwirkung im Stützbereiche nur selten ausgeführt werden, werden in der vorliegenden Arbeit nur Einfeldsysteme betrachtet.

Die erforderlichen Schnittgrößen bei komplexeren Systemen müssen für den Endzustand in Abhängigkeit von der Tragwerksgeometrie, den Belastungen und den verwendeten Deckensysteme ermittelt werden. Dies kann je nach Tragwerkskomplexität von der Berechnung eines Einfeldträgers unter Gleichlast bis zur dreidimensionalen Finite Elemente-Berechnung führen. Diese Berechnungen dürfen nach Eurocode 4 elastisch erfolgen, wobei die höhere Steifigkeit der

Verbundträger berücksichtigt werden sollte. In der vorliegenden Arbeit werden ausschließlich Einfeldträger behandelt.

Bei der Verwendung von hochfesten Baustählen sind vor allem die Verformungen zu berücksichtigen, da diese Stähle zwar eine höhere Tragfähigkeit, aber keine höhere Biegesteifigkeit aufweisen. Wenn die Durchbiegungen maßgebend werden, ist daher meist eine Überhöhung vorzusehen.

Auch die Schwingungsanfälligkeit spielt bei den schlanken Konstruktionen eine große Rolle und darf nicht vernachlässigt werden. Nach [27] kann bei einer Durchbiegung von weniger als 35 mm unter ständigen Lasten davon ausgegangen werden, dass die kritische Frequenz von 3 Hz nicht unterschritten wird. Nach Eurocode 4 sind in diesem Fall maximal 28 mm zulässig. Näheres siehe Kap. 3.4.5.2

Die vorliegenden Berechnungen basieren auf dem Eurocode 3 [104], [105] bzw. Eurocode 4 [107], auf Richtlinien für Verbundkonstruktionen [126], auf einer ECCS-Veröffentlichung [27], auf Zusammenstellungen von Corus [2], [3], [4] und auf vergleichbaren Berechnungen für Hutprofile [6].

3.2.1 Teilsicherheitsbeiwerte der Einwirkungen

Im Bauzustand erfolgt die Berechnung nach dem Eurocode 3, da es sich zu diesem Zeitpunkt noch nicht um einen Verbundquerschnitt handelt. Die Teilsicherheitsbeiwerte sind gemäß Eurocode 3 für ständige Einwirkungen mit 1,35 (γ_G) und für veränderliche Einwirkungen mit 1,5 (γ_Q) festgelegt. Die Nutzlast im Bauzustand besteht je nach Montagephase aus dem Gewicht der Deckenfertigteile, dem Gewicht des Frischbetons mit 26 kN/m³ und einer Nutzlast für die Begehrbarkeit bzw. Betonanhäufungen während der Montage. Auf der sicheren Seite liegend wird diese mit 1,50 kN/m² nach DIN 4421 ([127], Kap. 6.3.2.1 - Ersatzlasten aus Arbeitsbetrieb) angenommen. Genau genommen wäre lt. DIN 4421 eine Flächenlast von 0,75 kN/m² und zusätzlich eine Last von 20% der Frischbetonaufkast mit mindestens 1,50 kN/m² und höchstens 5,00 kN/m² auf einer Fläche von 3 x 3 m anzunehmen. Bei größeren Decken- und Trägerspannweiten sollte der Wert von 1,50 kN/m² daher eventuell abgemindert werden.

Im Endzustand, also für den Verbundquerschnitt gilt Eurocode 4. Die Teilsicherheitsbeiwerte sind dort für alle im Folgenden maßgebenden Fälle wie im Eurocode 3 geregelt. Im Nationalen Anwendungsdokument (NAD) sind alle Teilsicherheitsbeiwerte (γ_G , γ_Q) gleichermaßen mit 1,4 festgelegt. Da nur ein Nutzlastfall berücksichtigt wird, erübrigt sich die Angabe von Kombinationsbeiwerten.

	ständige Einwirkungen γ_G	veränderliche Einwirkungen γ_Q	
		führende veränderliche Einwirkung	begleitende veränderliche Einwirkungen
günstige Auswirkung $\gamma_{F,inf}$	1,0	0,0	0,0
ungünstige Auswirkung $\gamma_{F,sup}$	1,35	1,5	1,5

Tabelle 2: Teilsicherheitsbeiwerte für Einwirkungen auf Tragwerke für ständige und vorübergehende Bemessungssituationen nach Eurocode 3 [104] und Eurocode 4 [107]

	ständige Einwirkungen γ_G	veränderliche Einwirkungen γ_Q	
		führende veränderliche Einwirkung	begleitende veränderliche Einwirkungen
günstige Auswirkung $\gamma_{F,inf}$	1,0	0,0	0,0
ungünstige Auswirkung $\gamma_{F,sup}$	1,4	1,4	1,4

Tabelle 3: Teilsicherheitsbeiwerte für Einwirkungen auf Tragwerke für ständige und vorübergehende Bemessungssituationen nach dem Nationalen Anwendungsdokument (NAD) zum Eurocode 4 [107]

3.2.2 Teilsicherheitsbeiwerte der Widerstände

Die Teilsicherheitsbeiwerte für die Ermittlung der Widerstände sind in Eurocode 3 und Eurocode 4 festgelegt, wobei wiederum im NAD ein Wert (γ_a) abweichend von der eigentlichen Norm festgelegt ist.

Kombination	Baustahl		Beton	Betonstahl	Profilblech	Dübel
	γ_a	γ_{Rd}	γ_c	γ_s	γ_{ap}	γ_v
grundlegend	1,1	1,1	1,5	1,2	1,1	1,25

Tabelle 4: Teilsicherheitsbeiwerte für Tragfähigkeiten und Werkstoffeigenschaften nach Eurocode 3 [104] und Eurocode 4 [107]

Kombination	Baustahl		Beton	Betonstahl	Profilblech	Dübel
	γ_a	γ_{Rd}	γ_c	γ_s	γ_{ap}	γ_v
grundlegend	1,0	1,1	1,5	1,2	1,1	1,25

Tabelle 5: Teilsicherheitsbeiwerte für Tragfähigkeiten und Werkstoffeigenschaften nach dem Nationalen Anwendungsdokument (NAD) zum Eurocode 4 [107]

3.3 Werkstoffe

Den unterschiedlichen Werkstoffen und deren Güten kommt bei Verbundkonstruktionen eine wesentliche Bedeutung zu. Besonders wichtig ist daher auch der Verbund der unterschiedlichen Werkstoffe.

Vor der Festlegung der Materialgüten und Querschnitte sollte die Lieferbarkeit beim jeweiligen Hersteller überprüft werden. Eine detaillierte Zusammenstellung der in dieser Arbeit verwendeten Querschnitte von Hohlprofilen ist dem Anhang zu entnehmen.

3.3.1 Baustahl (Slim-Floor-Träger)

Der angeschweißte Untergurt und die Hohlprofile der gewählten Slim-Floor-Träger können unterschiedliche Stahlgüten aufweisen. So kann in wirtschaftlicher Weise auf die jeweiligen Anforderungen gezielt eingegangen werden.

Stähle mit Güten über S 460 könnten zwar im Einzelfall interessant sein, werden in dieser Arbeit jedoch aus folgenden Gründen nicht berücksichtigt:

- Im Eurocode 3 bzw. Eurocode 4 sind nur Anwendungsregeln bis zur Stahlgüte S 460 enthalten. Für die Anwendung höhere Stahlgüten existieren derzeit keine Normen oder Richtlinien.
- Stähle über Stahlgüte S 620 weisen eine Bruchdehnung von unter 15% auf (siehe Eurocode 3, Kap. 3.2.2.2). Höherfeste Stähle dürfen daher nur mehr nach dem Verfahren E-E nachgewiesen werden [8]. Im Verbundbau wird jedoch meist (wie auch in dieser Arbeit) das Verfahren E-P angewendet.
- Stahlgüten höher als S 460 werden in der Praxis des Bauwesens noch sehr selten verwendet. Die Erfahrungen damit sind daher relativ gering und beschränken sich auf einzelne Bauteile oder Querschnittsteile [8]. Literatur zu ihrer Verwendung in Slim-Floor-Konstruktionen konnte nicht gefunden werden.
- Gewalzte Profile werden nur bis Stahlgüte S 460 hergestellt. Hohlprofile werden zwar auch mit höheren Festigkeiten geliefert, sind dann aber kalt hergestellt.

Dadurch ist es nur mehr eingeschränkt zulässig im Kantenbereich zu schweißen, wodurch wiederum die Verbindung mit dem Untergurtblech nur mehr schwer möglich ist. Auch die Position der Kopfbolzendübel ist dadurch stark eingeschränkt (siehe auch Kapitel 3.3.1.5).

Höhere Stahlgüten sind daher nur beim Untergurtblech und mit Einschränkungen bei Hohlprofilen möglich, wobei dabei meist kein plastischer Querschnittsnachweis mehr zulässig ist. Ein normgemäßer und wirtschaftlicher Einsatz von Stahlgüten höher als S 460 ist daher bei Slim-Floor-Konstruktionen derzeit nicht erkennbar.

Hochfeste Stähle werden im Eurocode 4 nicht explizit behandelt. Es wird dort aber auf den Anhang D des Eurocode 3 verwiesen.

3.3.1.1 Stahlgüten für warmgewalzte Profile und Flacherzeugnisse

Die Stahlgüten sind für warmgewalzte, unlegierte Baustähle in EN 10025 [109] (S 185 bis S 355), für warmgewalzte, schweißgeeignete Feinkornbaustähle in EN 10113 [110 bis 112] (S 275 bis S 460) und für hochfeste, vergütete oder ausscheidungsgehärtete Feinkornbaustähle in EN 10137 [113 bis 115] (S 690 bis S 1100) festgelegt.

Stahlgüte	Norm	Anmerkung
S 235	EN 10025	Berechnung nach Eurocode 3
S 275	EN 10025 EN 10113	Berechnung nach Eurocode 3
S 355	EN 10025 EN 10113	Berechnung nach Eurocode 3
S 420	EN 10113	Berechnung nach Eurocode 3, Annex D
S 460	EN 10113	Berechnung nach Eurocode 3, Annex D
S 690	EN 10137	
S 890	EN 10137	
S 960	EN 10137	
S 1100	EN 10137	

Tabelle 6: übliche Stahlgüten für warmgewalzte Profile bzw. Flacherzeugnisse und zugehörige Normen

Nach EN 10113 (Feinkornbaustahl) sind von Arcelor (ProfilARBED) Walzprofile mit den Bezeichnungen HISTAR[®] 275, 355, 420, 460 erhältlich. Bleche von 3 bis 130 mm werden z.B. von ThyssenKrupp mit der Bezeichnung XABO[®] 355, 460 und von der Dillinger Hütte GTS mit der Bezeichnung DI-MC 355, 420, 460 hergestellt.

Nach EN 10137 (hochfester Feinkornbaustahl) werden Bleche von 3 bis 200 mm z.B. von ThyssenKrupp mit der Bezeichnung NAXTRA[®] 56 (S 550), 63 (S 620), 70 (S 690) und XABO[®] 890, 960, 1100 sowie von der Dillinger Hütte GTS mit der Bezeichnung DILLIMAX 460, 500, 550, 620, 690, 890, 960.

3.3.1.2 Stahlgüten für Hohlprofile

Für die Stahlgüte warmgefertigter Hohlprofile aus unlegiertem Baustahl und aus Feinkornbaustahl gilt EN 10210 [119 bis 120], sowie für kaltgefertigte, geschweißte Hohlprofile aus unlegiertem Baustahl und aus Feinkornbaustahl gilt EN 10219 [121 bis 122] bzw. für Hohlprofile aus warmgewalzten Flacherzeugnisse aus Stählen mit hoher Streckgrenze EN 10149 [116 bis 118] (warmgewalzte, mikrolegierte Feinkornstähle mit besonderer Eignung zum Kaltumformen).

Stahlgüte	Norm	Anmerkung
S 235	EN 10210 EN 10219	Berechnung nach Eurocode 3
S 275	EN 10210 EN 10219	Berechnung nach Eurocode 3
S 315	EN 10149	
S 355	EN 10210 EN 10219	Berechnung nach Eurocode 3
S 355	EN 10149	
S 420	EN 10210 EN 10219	Berechnung nach Eurocode 3, Annex D
S 420	EN 10149	
S 460	EN 10113	Berechnung nach Eurocode 3, Annex D
S 460	EN 10149	
S 500	EN 10149	
S 550	EN 10149	
S 600	EN 10149	
S 650	EN 10149	
S 700	EN 10149	

Tabelle 7: übliche Stahlgüten für Hohlprofile und zugehörige Normen

Nach EN 10210 (warmgefertigt) sind z.B. von Vallourec & Mannesmann Tubes Profile mit der Bezeichnung MSH[®] S 235, S 275, S 355, S 420, S 460, von Corus Profile mit der Bezeichnung RHS und SHS Celsius[®] S 275, S 355 erhältlich.

Nach EN 10219 (kaltgefertigt) sind z.B. von VoestAlpine Profile mit der Bezeichnung VHP[®] S 235, S 275, S 355, S 420, S 460, und von Corus Profile mit der Bezeichnung RHS und SHS Strongbox[®] S 235 und Hybox[®] S 355 erhältlich.

Nach EN 10149 (kaltgefertigt aus teilweise hochfestem Feinkornstahl) sind z.B. von VoestAlpine Profile mit der Bezeichnung VHP[®] S 315, S 355, S 420, S 460, S 500, S 550, S 600, S 650, S 700 erhältlich.

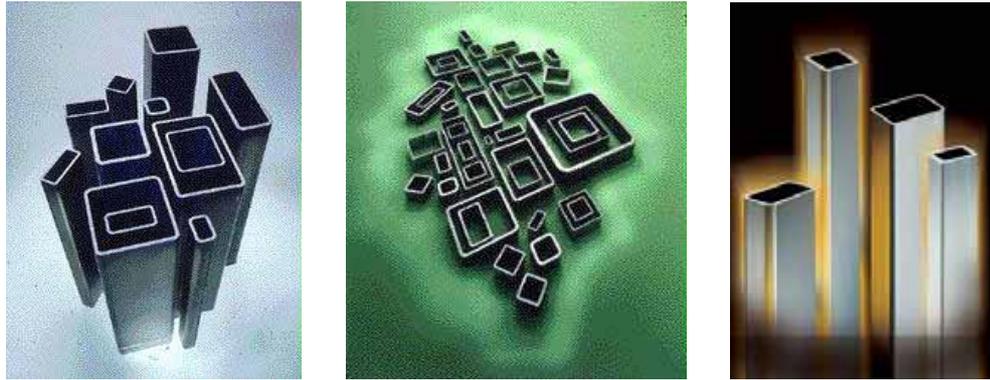


Abbildung 35: VoestAlpine Hohlprofile [236]

Bei Hohlprofilen stellt die Stahlgüte S 355 derzeit den Standard dar.

3.3.1.3 Querschnitte warmgewalzter Flacherzeugnisse

Querschnittswerte und Bezeichnungen nach [13].

Standardblechdicken:

3 bis 16 mm mit 1 mm Schrittweite

16 bis 30 mm mit 2 mm Schrittweite

30 bis 60 mm mit 5 mm Schrittweite

60 bis Bramme mit 10 mm Schrittweite

Aus den Blechen können Querschnitte beliebig zusammengesetzt oder ergänzt werden (z.B. in \perp -, I und -Form oder IFB- und SFB-Träger).

In der vorliegenden Arbeit werden die Bleche nur für den Untergurt der ausgewählten Trägerform berücksichtigt.

3.3.1.4 Querschnitte von Hohlprofilen

Querschnittswerte und Bezeichnungen nach [13], sowie Firmenangaben.

Für Slim-Floor-Träger kommen Quadrat- und Rechteckhohlprofile, warmgefertigt oder kaltgefertigt mit anschließender Schweißung in Frage.

Kalt und warm hergestellte Hohlprofile von Corus (British Steel), in Österreich von Alu König Stahl vertrieben:

SHS Celsius[®] 40 x 40 x 3,0 bis 400 x 400 x 20,0 nach EN 10210 (S 275 und S 355)

RHS Celsius[®] 50 x 30 x 3,2 bis 500 x 300 x 20,0 nach EN 10210 (S 275 und S 355)

SHS Strongbox[®] 25 x 25 x 2,0 bis 150 x 150 x 8,0 nach EN 10219 (S 235)

RHS Strongbox[®] 50 x 25 x 2,0 bis 200 x 100 x 8,0 nach EN 10219 (S 235)

SHS Hybox[®] 25 x 25 x 2,0 bis 300 x 300 x 12,5 nach EN 10219 (S 355)

RHS Hybox[®] 50 x 25 x 2,0 bis 400 x 200 x 12,5 nach EN 10219 (S 355)

Voest Hohlprofile, kalt hergestellt und auch hochfest von der Voestalpine Krams:

VHP[®] 20 x 20 x 2,0 bis 220 x 220 x 10,0

VHP[®] 40 x 20 x 2,0 bis 260 x 140 x 10,0

jeweils nach EN 10219 (S 235, S 275, S 355, S 420, S 460)

Vallourec & Mannesmann Tubes (warmgefertigt):

MSH[®] 40 x 40 x 2,9 bis 400 x 400 x 16,0

MSH[®] 50 x 30 x 2,9 bis 500 x 300 x 16,0

jeweils nach EN 10210 (S 235, S 275, S 355, S 420, S 460)

Weiters werden Hohlprofile von folgenden Firmen angeboten:

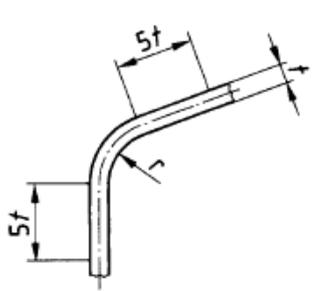
- von der Dillinger Hütte GTS aus dem Stahl mit der Bezeichnung DILLIMAX
- von ThyssenKrupp Stahl in Deutschland
- ThyssenKrupp Austria vertreibt in Österreich die MSH-Profile

Laut Eurocode 3 sollen die Wanddicken zwischen 2,5 und 25 mm liegen. Aus Gründen der Schweißbarkeit werden nach Eurocode 3 nur Hohlprofile mit einer Wandstärke ab 4,0 mm berücksichtigt (siehe Kap. 3.4.2.10).

In der vorliegenden Arbeit werden Hohlprofile ab einer Höhe von 100 mm und einer Dicke von 4,0 mm berücksichtigt.

3.3.1.5 Einschränkungen bei kaltgeformten Hohlprofilen

Nach Eurocode 3 bzw. nach DIN 18 800 [125] darf in kaltgeformten Bereichen nur bei Einhaltung des Grenzwerts $\min r/t$ geschweißt werden.

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

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

Tabelle 8: Schweißen in kaltgeformten Bereichen nach prEN 1993-1-8:20xx vom 26.2.2002, Tabelle 4.2. (Bild übernommen aus der DIN 18800-1, Tabelle 9) [238]

Werden die Profile vor dem Schweißen normalgeglüht (über die A3-Temperatur von 911°C [13]), brauchen die Bedingungen nicht eingehalten werden. Bei hochfesten Feinkornbaustählen ist jedoch die Herstellerangabe zu beachten, da die meisten Stähle nicht zu stark erwärmt werden dürfen um die hochfesten Eigenschaften nicht zu verlieren. Thermomechanisch gewalzte Stähle nach EN 10149-2 dürfen zum Beispiel nicht über 580°C erwärmt werden. Auch wasservergütete Stähle dürfen nur spannungsarm gegläht werden (zwischen 550 und 650°C und somit unter der A1-Temperatur von 723°C [13]) oder müssten anschließend neuerlich vergütet werden, was bei Hohlprofilen aber nicht üblich ist.

Nach der Ermittlung des vorhandene r/t-Werts nach EN 10219-2 [122] folgt, dass nur wenige Wanddickenbereiche ohne Normalglühen für den gewählten Slim-Floor-Trägertyp eingesetzt werden können.

Wanddicken	vorhandener r/t-Wert nach EN 10219-2	erforderlicher r/t-Wert nach EC 3 Teil 1-8
≤ 4 mm	1,0	1,0
> 4 bis ≤ 6 mm	1,0	1,5
> 6 bis ≤ 8 mm	1,5	1,5
> 8 bis ≤ 10 mm	1,5	2,0
> 10 bis ≤ 12 mm	2,0	2,0
> 12 bis ≤ 24 mm	2,0	3,0

Tabelle 9: Vorhandene und erforderliche r/t-Werte in Anlehnung an [235]. Fett geschriebene Zeilen sind somit nicht bedingungslos schweißbar.

Um wirtschaftliche Konstruktionen zu erhalten, sollten demnach nur warmgeformte Hohlprofile oder kaltgeformte Hohlprofile mit Wanddicken von 2,5 bis 4,0, 6,1 bis 8,0 und 10,1 bis 12,0 mm verwendet werden.

3.3.1.6 Zusammenfassung der verwendeten Stahlgüten

Für warm- bzw. kaltgefertigte Hohlprofile sind folgende Stahlgüten berücksichtigt.

Stahlgüte	Norm	f_y [N/mm ²]	f_u [N/mm ²]	E_a [N/mm ²]	Anmerkungen
S 235	EN 10025	235	360	210.000	Kennwerte nach Eurocode 3
S 275	EN 10025	275	430	210.000	Kennwerte nach Eurocode 3
S 355	EN 10025	355	510	210.000	Kennwerte nach Eurocode 3
S 420	EN 10113	420	500	210.000	Kennwerte nach Eurocode 3
S 460	EN 10113	460	530	210.000	Kennwerte nach Eurocode 3

Tabelle 10: Nennwerte der Streckgrenze f_y und der Zugfestigkeit f_u für warmgewalzte Stahlprofile und warm- bzw. kaltgefertigte Hohlprofile [104], [105], [109], [110]

Für warmgewalzte Stahlbleche sind folgende Stahlgüten berücksichtigt.

Stahl	Norm	f_y [N/mm ²]	f_u [N/mm ²]	E_a [N/mm ²]	Anmerkungen
S 235 ($t \leq 40$ mm)	EN 10025	235	360	210.000	Kennwerte nach Eurocode 3
S 235 (40 mm $< t \leq 100$ mm)	EN 10025	215	340	210.000	Kennwerte nach Eurocode 3
S 275 ($t \leq 40$ mm)	EN 10025	275	430	210.000	Kennwerte nach Eurocode 3
S 275 (40 mm $< t \leq 100$ mm)	EN 10025	255	410	210.000	Kennwerte nach Eurocode 3
S 355 ($t \leq 40$ mm)	EN 10025	355	510	210.000	Kennwerte nach Eurocode 3
S 355 (40 mm $< t \leq 100$ mm)	EN 10025	335	490	210.000	Kennwerte nach Eurocode 3
S 420 ($t \leq 40$ mm)	EN 10113	420	500	210.000	Kennwerte nach Eurocode 3
S 420 (40 mm $< t \leq 63$ mm)	EN 10113	390	500	210.000	Kennwerte nach Eurocode 3
S 460 ($t \leq 40$ mm)	EN 10113	460	530	210.000	Kennwerte nach Eurocode 3
S 460 (40 mm $< t \leq 63$ mm)	EN 10113	430	530	210.000	Kennwerte nach Eurocode 3
DI-MC 420 (8 mm $< t \leq 16$ mm)	EN 10113	420	500-660	210.000	Kennwerte: DI-MC der Dillinger Hütte GTS
DI-MC 420 (16 mm $< t \leq 40$ mm)	EN 10113	400	500-660	210.000	Kennwerte: DI-MC der Dillinger Hütte GTS
DI-MC 420 (40 mm $< t \leq 63$ mm)	EN 10113	390	500-660	210.000	Kennwerte: DI-MC der Dillinger Hütte GTS
DI-MC 460 (8 mm $< t \leq 16$ mm)	EN 10113	460	530-720	210.000	Kennwerte: DI-MC der Dillinger Hütte GTS
DI-MC 460 (16 mm $< t \leq 40$ mm)	EN 10113	440	530-720	210.000	Kennwerte: DI-MC der Dillinger Hütte GTS
DI-MC 460 (40 mm $< t \leq 63$ mm)	EN 10113	430	530-720	210.000	Kennwerte: DI-MC der Dillinger Hütte GTS
XABO 460 ($t \leq 35$ mm)	EN 10113	460	530-690	210.000	Kennwerte: XABO [®] von ThyssenKrupp Stahl
XABO 460 (35 mm $< t \leq 50$ mm)	EN 10113	440	530-690	210.000	Kennwerte: XABO [®] von ThyssenKrupp Stahl
XABO 460 (50 mm $< t \leq 60$ mm)	EN 10113	420	530-690	210.000	Kennwerte: XABO [®] von ThyssenKrupp Stahl
DILLIMAX 460 (6 mm $< t \leq 50$ mm)	EN 10137	460	550-720	210.000	Kennwerte: DILLIMAX [®] der Dillinger Hütte GTS
DILLIMAX 460 (50 mm $< t \leq 100$ mm)	EN 10137	440	550-720	210.000	Kennwerte: DILLIMAX [®] der Dillinger Hütte GTS

Tabelle 11: Nennwerte der Streckgrenze f_y und der Zugfestigkeit f_u für warmgewalzte Stahlbleche [104], [105], [109], [110], [113]

3.3.2 Beton

Die Betongüten und deren Eigenschaften können dem nationalen Anwendungsdokument (NAD) zum Eurocode 4 entnommen werden. Die Werte f_{ck} der Tabelle NAD 3 entsprechen weder denen des Eurocode 4 (ident mit den Werten des Eurocode 2 [101]), noch denen nach ÖNORM B 4700 [123]. Bei Ermittlung von f_{cd} nach Eurocode 4 (siehe Kap. 3.4.4.4) ergeben sich aber die selben Werte wie in ÖNORM B 4700.

Betongüte	Bezeichnung nach EC 4/NAD	f_{cwk} [N/mm ²]	f_{ck} [N/mm ²]	f_{cd} [N/mm ²]	E_{cm} [N/mm ²]
C 16/20	B 20 / B 225	20	17,6	10,0	27.500
C 20/25	B 25	25	22,1	12,5	29.000
C 25/30	B 30 / B 300	30	26,5	15,0	30.500
B 40	B 40 / B 400	40	35,3	20,0	32.500
C 40/50	B 50 / B 500	50	44,1	25,0	35.000
C 50/60	B 60 / B 600	60	52,9	30,0	37.000

Tabelle 12: Kennwerte des Betons nach Tabelle NAD 3 des Eurocode 4 [107]

3.3.3 Betonstahl

Die Betonstahlgüten und deren Eigenschaften können ebenfalls dem nationalen Anwendungsdokument (NAD) zum Eurocode 4 entnommen werden. Die Werte f_{yk} der Tabelle NAD 3 entsprechen denen nach ÖNORM B 4700. Im Eurocode 4 bzw. Eurocode 2 wird nur auf nationale Normen verwiesen. Einen geringfügigen Unterschied gibt es nur beim Elastizitätsmodul E_s , der im NAD und Eurocode 4 in Anlehnung an Eurocode 3 mit 210 000 N/mm² festgelegt ist, während er in Eurocode 2 und ÖNORM B 4700 mit 200 000 N/mm² angegeben ist.

Betonstahlgüte	f_{yk} [N/mm ²]	f_{yd} [N/mm ²]	E_s [N/mm ²]
BSt 500	500	435	210.000
BSt 550	550	478	210.000
BSt 600	600	522	210.000

Tabelle 13: Kennwerte des Betonstahls nach Tabelle NAD 3 des Eurocode 4 [107]

3.3.4 Deckenplatten

Aufgrund der gewählten Systeme soll die Deckenkonstruktion die Betondruckzone nicht schwächen. Dies ist bei den nachfolgend beschriebenen Konstruktionen immer möglich, womit ohne zusätzlichen Aufwand eine Vielzahl der vorhandenen Deckensysteme in dieser Arbeit berücksichtigt werden kann. In Erweiterung der Profilblechdecken ist es unter bestimmten Umständen auch möglich, die Träger beim System mit hohen Trapezblechprofilen mit dem vorliegenden Programm zu berechnen. Die Trapezbleche müssen dabei aber immer am Untergurtblech aufliegen (Slimdek[®]). Auch Hohldielen mit Aufbeton sind möglich.

In dieser Arbeit werden nur die für den Slim-Floor-Träger relevanten Daten angegeben. Bezüglich der Berechnung der eigentlichen Deckenfelder wird auf die Literatur (Kapitel 3 und 7) verwiesen.

3.3.4.1 Ortbetondecken

Bei der Verwendung von Ortbeton gibt es keinerlei Einschränkung bezüglich der Bauhöhen. Laut ÖNORM B 4700 beträgt die Mindestdicke von Platten mit Hauptbewehrung in einer oder mehreren Richtungen 7 cm (in Ausnahmefällen 6 cm) und bei einer erforderlichen Bewehrung zur Aufnahme schräger Zugkräfte 20 cm. Dynamisch beanspruchte Platten sind nicht Gegenstand dieser Arbeit.

Die erforderliche Auflagertiefe kann nach ÖNORM B 4700 mit 7 cm angenommen werden. Bei Deckenstützweiten von unter 3 m darf diese auf 5 cm reduziert werden.

3.3.4.2 Elementdecken

Laut ÖNORM B 4705 beträgt die Mindestdicke der Fertigteilelemente 4 cm und jene des Aufbetons 5 cm. Üblicherweise haben die Elemente eine Dicke von 5 bis 6 cm. Die Gesamtkonstruktionsstärke liegt bei einer Unterstellung im Abstand von 1,5 bis 2,0 m zwischen 16 und 40 cm [224]. Bei größeren Elementdicken sind aber auch größere Stützweiten bzw. Bauhöhen möglich.

Die Auflagertiefe im Bauzustand beträgt mindestens 4 cm, kann aber bei einer auflagernahen Unterstellung vollständig entfallen. Im Endzustand (also inkl. Ortbeton) ist die Auflagerpressung maßgebend. Die Feldbewehrung ist aber jedenfalls entsprechend zu verankern. Da bei einer auflagernahen Unterstellung der Stahlträger im Bauzustand nur sein Eigengewicht, nicht aber das Gewicht der Decke zu tragen hat, handelt es sich bereits nach dem Entfernen der Deckenunterstellungen um einen Verbundträger mit Eigengewichtsverbund. Dies hat auf die Momententragfähigkeit keinen Einfluss (siehe Kap. 3.4.4.4), die Ergebnisse der Durchbiegungsberechnung dieses Programms können aber nur bei einer vollständigen Verdübelung verwendet werden. Bei einer teilweisen Verdübelung wäre diese für die Gebrauchstauglichkeitsnachweise zu berücksichtigen (siehe Kap. 3.4.5).

3.3.4.3 vorgespannte Elementdecken

Vorgespannte Elementdecken bieten den Vorteil, größere Stützweiten unterstellungsfrei zu überbrücken. Durch die Vorspannung wird die maßgebende Verformung im Bauzustand kontrollierbar. Derartige Elemente haben Dicken von 10 bis 12 cm und eine Aufbetonstärke von 8 bis 12 cm (Fa. Oberndorfer). Andere Abmessungen sind ebenfalls möglich.

Auch vorgespannte Rippenplatten mit Bauhöhen von 14 bis 18 cm und einer Gesamtstärke von 14 bis 22 cm sind erhältlich.

3.3.4.4 Profilbleche

Die im Kapitel 2.3.3 näher beschriebenen Profilbleche übernehmen im Wesentlichen die Lasten des Bauzustands. Aufgrund ihrer geringen Bauhöhe von wenigen Zentimetern reduzieren sie die Betondruckzone des Slim-Floor-Trägers nicht. Die Bauhöhe im Endzustand beträgt im Regelfall zwischen 10 und 30 cm.

Die Auflagerbreiten im Bauzustand liegen z.B. bei der Holorib[®]-Decke zwischen 4,0 und 6,5 cm.

3.3.5 Verbundmittel

Hinsichtlich der Verbundmittel können Angaben aus dem Eurocode 4 und den Zulassungen einzelner Systeme entnommen werden. Für die ausgewählten Slim-Floor-Querschnitte dieser Arbeit werden nur Kopfbolzendübel im Detail berücksichtigt.

3.3.5.1 Kopfbolzendübel

Kopfbolzendübel werden in folgenden Durchmessern von Köster & Co und Nelson produziert: (6), 10, 13, 16, 19, 22, 25 mm. Der maximale Durchmesser bei horizontaler Schweißung beträgt 16 mm und über Kopf 20 mm. Diese Beschränkungen sind vor allem dann zu berücksichtigen, wenn die Dübel vor Ort gesetzt werden sollen. Im Werk können die Träger ohnehin in die entsprechende Lage gedreht werden, so dass diese Angaben ohne Bedeutung für den Planer sind.

Kopfbolzendübel können auch liegend, also am Trägersteg angebracht werden, jedoch ist das Ausbrechen des Betons bei einem geringen Randabstand zu berücksichtigen. Liegende Kopfbolzendübel besitzen demnach eine geringere Tragfähigkeit als stehende Dübel [26]. Nähere Untersuchungen dazu sind derzeit im Gange, weshalb eine rechnerische Berücksichtigung in dieser Arbeit nicht erfolgt.

Als Werkstoff wird für Kopfbolzendübel S235 J2G3+C450 oder Edelstahl 1.4301, 1.4303 verwendet. Auch Kombinationen sind möglich. Die Stahlgüte entspricht dem S235 J2G3 nach EN 10025 mit einer Streckgrenze f_y von 350 N/mm², einer Zugfestigkeit f_u von 450 N/mm² und einer Dehnung A_5 von 15%. Die Mindestblechdicke beträgt bei Schweißungen mit Keramikring 1/4 d und beim Schutzgasschweißen 1/8 d.

Weitere Angaben zu Kopfbolzendübeln sind im Kapitel 3.4.4.6 zu finden.

Eine detaillierte Zusammenstellung der in dieser Arbeit verwendeten Kennwerte von Kopfbolzendübeln ist dem Anhang zu entnehmen.

3.4 Berechnung von SFB-Trägern mit Hohlprofilen

Die folgenden Berechnungen beziehen sich auf die im Excel-Programm berücksichtigten Möglichkeiten. Die Berechnungen erfolgen sowohl für Innenträger, als auch für Randträger. Die Verwendung als Randträger ist vor allem auch in Kombination mit hohen Trapezblechen interessant [2].

3.4.1 Tragsystem und Querschnitt

In der Abbildung 36 sind die Querschnittsabmessungen und deren Bezeichnungen sowohl für den Innenträger als auch für den Randträger definiert.

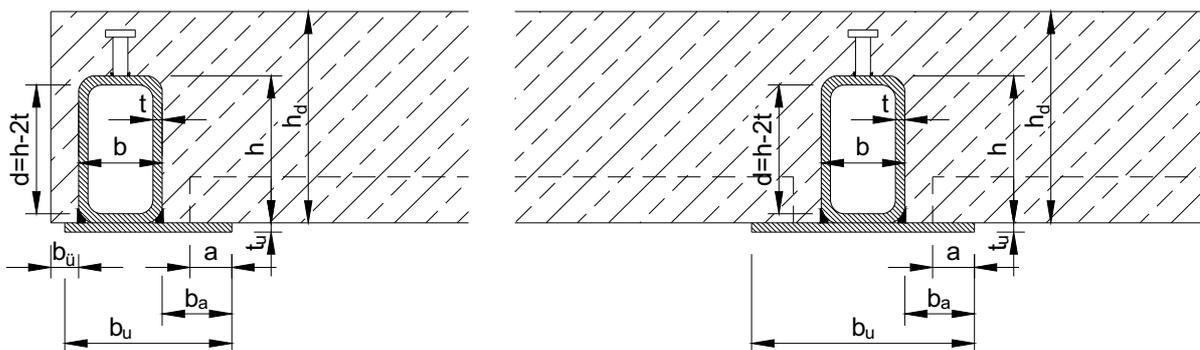


Abbildung 36: Querschnitt eines SFB-Trägers mit einem Hohlprofil (Rand- und Innenträger)

Bei einem Randträger sollte der Randüberstand des Untergurtblechs nach ÖNORM B 4300-1 [124] mindestens $2 \cdot a + 3$ mm betragen.

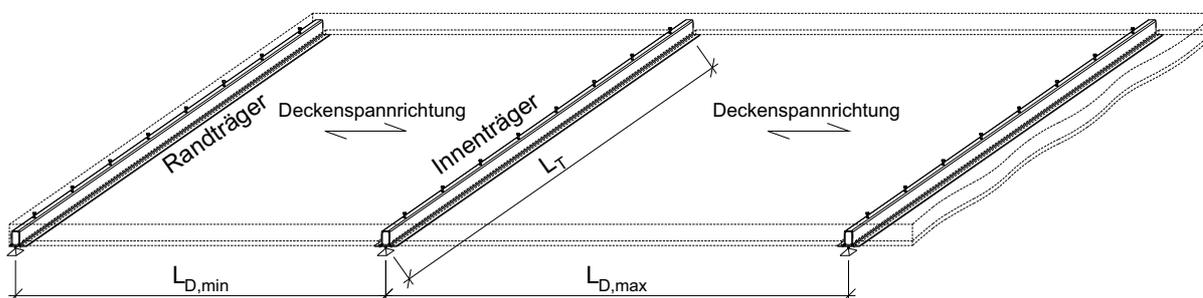


Abbildung 37: Systemabmessungen einer Decke aus SFB-Trägern mit einem Hohlprofil

Sowohl die Slim-Floor-Träger als auch die Decken werden im Bau- und Endzustand als Einfeldträger angenommen. Unterstellungen der Deckenelemente im Bauzustand können jedoch berücksichtigt werden.

3.4.2 Tragsicherheit im Bauzustand

3.4.2.1 Bemessungsschnittgrößen

Der Slim-Floor-Träger wird für die nachfolgende Bemessung als im Bauzustand nicht unterstellt betrachtet, weshalb das statische System einem Einfeldträger entspricht. Die Formelzeichen der im Folgenden angegebenen Formeln sind dem Kapitel Formelzeichen und Kurzzeichen zu entnehmen.

Belastung:

$$g_{Bau} = (g_{1,Bau} + g_{2,Bau}) \cdot \frac{L_{D,\min} + L_{D,\max}}{2} + g_T \quad (1)$$

$$q_{Bau} = q_{1,Bau} \quad (2)$$

$$p_{Bau} = g_{Bau} \cdot \gamma_G + q_{Bau} \cdot \gamma_Q \quad (3)$$

$g_{1,Bau}$ charakteristisches Eigengewicht der Fertigelemente, Trapezbleche usw. [kN/m²]

$g_{2,Bau}$ charakteristisches Eigengewicht des Frischbetons [kN/m²]

g_T charakteristisches Eigengewicht des Stahlträgers [kN/m]

$q_{1,Bau}$ charakteristischer Wert der Nutzlast im Bauzustand (Betonierlast) [kN/m²]

Biegemoment:

$$M_{Sd} = \frac{p_{Bau} \cdot L_T^2}{8} \quad (4)$$

Querkraft:

$$V_{Sd} = \frac{p_{Bau} \cdot L_T}{2} \quad (5)$$

Für p_{Bau} ist die Summe aus den beiden Flanschaufasten einzusetzen.

Torsion:

$$M_{T,Sd} = p_{Bau} \cdot \left(\frac{b}{2} + b_a - \frac{a}{3} \right) \quad (6)$$

Auch im Falle eines Innenträgers wird auf der sicheren Seite liegend davon ausgegangen, dass die Herstellung zuerst nur auf einer Seite erfolgt.

Biegemoment im Untergurtblech:

$$m_{Sd,u} = p_{Bau} \cdot e \quad (7)$$

mit

$$e = b_a - \frac{a}{3} \quad (8)$$

Querkraft im Untergurtblech:

$$v_{Sd,u} = p_{Bau} \quad (9)$$

Für p_{Bau} ist die maximale Flanschauflast auf einer Seite einzusetzen.

3.4.2.2 Ermittlung der plastischen Nulllinie

Bei der Ermittlung der plastischen Nulllinie ist eine eventuell unterschiedliche Stahlgüte des Profils ($f_{y,p}$) und des Untergurtblechs ($f_{y,u}$) zu berücksichtigen.

Da im Gegensatz zu I oder U-Profilen die Abrundungen im Eckbereich nicht einfach vernachlässigt werden können, da sonst "Löcher" im Querschnitt entstehen, wird ein Ersatzquerschnitt angenommen. Dafür werden die Steghöhe und die Flanscbreite mit den jeweiligen Innenlichtern des Profils festgelegt. Dadurch ergeben sich, auf der sicheren Seite liegend, geringfügig geringere Querschnittsflächen. Eine genauere Berücksichtigung wäre bei warmgefertigten Profilen aufgrund der herstellungsbedingt größeren Querschnittsfläche zwar sinnvoll, ist aber aufgrund der komplexen geometrischen Definitionen praktisch nicht möglich.

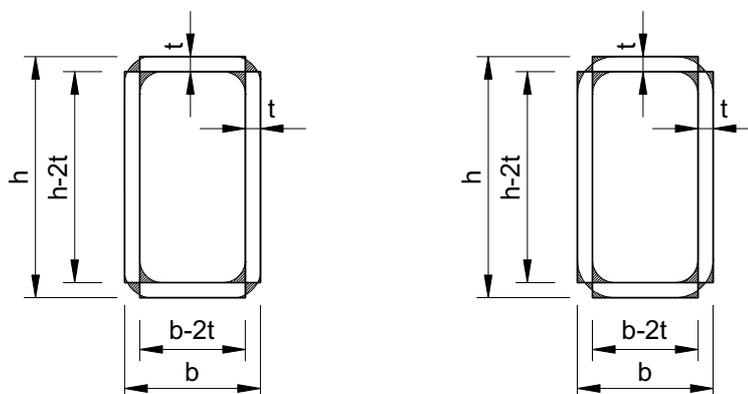


Abbildung 38: Ersatzquerschnitte bei warmgefertigten (links) und kaltgefertigten (rechts) Hohlprofilen

Für die folgenden Berechnungen gilt $t = t_w = t_f$. Die Steghöhe wird in Anlehnung an Eurocode 3, Tabelle 5.3.1 und unter Berücksichtigung der Annahmen des Ersatzquerschnitts mit

$$d = h - 2 \cdot t \quad (10)$$

festgelegt. Die Fläche eines Stegs ergibt sich somit zu

$$A_w = t \cdot d \quad (11)$$

und die Fläche eines Flansches zu

$$A_f = (b - 2 \cdot t) \cdot t \quad (12)$$

und somit die gesamte Querschnittsfläche des Ersatzquerschnitts zu

$$A_p = 2 \cdot (A_f + A_w). \quad (13)$$

Die Fläche des Untergurtblechs beträgt

$$A_u = b_u \cdot t_u \quad (14)$$

Bezüglich der Lage der plastischen Nulllinie sind folgende drei Fälle zu unterscheiden.

3.4.2.2.1 Nulllinie im Steg des Hohlprofils

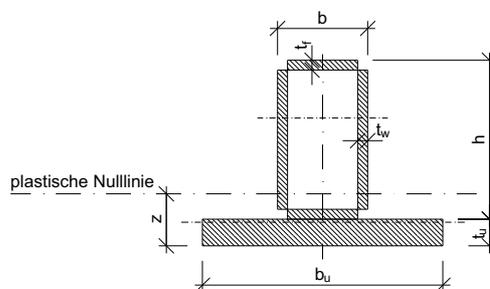


Abbildung 39: Ersatzquerschnitt für die Bemessung im Bauzustand, plastische Nulllinie im Steg des Hohlprofils

Die Nulllinie liegt unter der Bedingung

$$(A_f + 2 \cdot A_w) \cdot f_{y,p} > A_f \cdot f_{y,p} + A_u \cdot f_{y,u} \quad (15)$$

im Steg des Hohlprofils und mit der Gleichgewichtsbedingung

$$\begin{aligned} A_u \cdot f_{y,u} + A_f \cdot f_{y,p} + 2 \cdot (z - t_u - t_f) \cdot t_w \cdot f_{y,p} &= \\ = A_f \cdot f_{y,p} + 2 \cdot (d - (z - t_u - t_f)) \cdot t_w \cdot f_{y,p} \end{aligned} \quad (16)$$

folgt der Nulllinienabstand von der Untergurtblechunterkante mit

$$z = \frac{d}{2} - \frac{A_u \cdot f_{y,u}}{4 \cdot t_w \cdot f_{y,p}} + t_u + t_f \quad (17)$$

3.4.2.2 Nulllinie im Untergurt des Hohlprofils

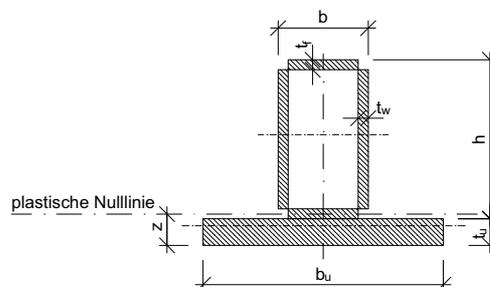


Abbildung 40: Ersatzquerschnitt für die Bemessung im Bauzustand, plastische Nulllinie im Untergurt des Hohlprofils

Die Nulllinie liegt im Untergurt des Hohlprofils, wenn die Bedingungen (15) und (22) nicht eingehalten sind.

$$(A_f + 2 \cdot A_w) \cdot f_{y,p} \leq A_f \cdot f_{y,p} + A_u \cdot f_{y,u} \quad (18)$$

und

$$A_u \cdot f_{y,u} < A_p \cdot f_{y,p} \quad (19)$$

Aus der Gleichgewichtsbedingung

$$A_u \cdot f_{y,u} + (z - t_u) \cdot (b - 2 \cdot t) \cdot f_{y,p} = (t_u + t_f - z) \cdot (b - 2 \cdot t) \cdot f_{y,p} + (A_f + 2 \cdot A_w) \cdot f_{y,p} \quad (20)$$

folgt dann z mit

$$z = t_u + t_f + \frac{A_w}{b - 2 \cdot t} - \frac{A_u \cdot f_{y,u}}{2 \cdot (b - 2 \cdot t) \cdot f_{y,p}} \quad (21)$$

3.4.2.2.3 Nulllinie im Untergurtblech

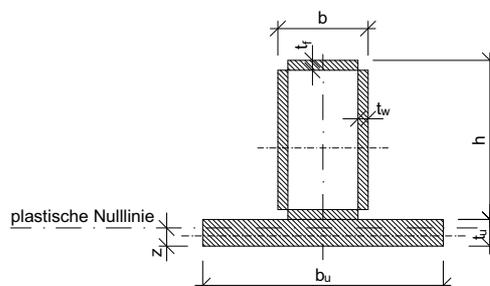


Abbildung 41: Ersatzquerschnitt für die Bemessung im Bauzustand, plastische Nulllinie im Untergurtblech

Wenn die Nulllinie im Untergurtblech liegt gilt folgende Bedingung

$$A_u \cdot f_{y,u} \geq A_p \cdot f_{y,p} \quad (22)$$

und mit der Gleichgewichtsbedingung

$$z \cdot b_u \cdot f_{y,u} = A_p \cdot f_{y,p} + (t_u - z) \cdot b_u \cdot f_{y,u} \quad (23)$$

folgt

$$z = \frac{A_p \cdot f_{y,p} + A_u \cdot f_{y,u}}{2 \cdot b_u \cdot f_{y,u}} \quad (24)$$

3.4.2.3 Einstufung in Querschnittsklassen

Um die volle plastische Querschnittstragfähigkeit ausnützen zu können, ist eine Einstufung in die Klassen 1 oder 2 erforderlich. Da in der Praxis meist eine plastische Berechnung aus wirtschaftlichen Gründen erfolgt, werden in dieser Arbeit auch nur Querschnitte der Klassen 1 und 2 behandelt. Maßgebend ist die Einstufung des Hohlprofils, da das Untergurtblech in der Zugzone liegt.

$$\varepsilon = \sqrt{235 / f_y} \quad (25)$$

Stegblech:

1. Stegblechteile mit Beanspruchung auf Biegung:

$$\text{Klasse 1: } d / t_w \leq 72 \cdot \varepsilon \quad (26)$$

$$\text{Klasse 2: } d / t_w \leq 83 \cdot \varepsilon \quad (27)$$

Da dieser Fall nur eintreten kann, wenn kein Untergurtblech vorhanden ist, erübrigt sich seine Berücksichtigung.

2. Stegblechteile mit Beanspruchung auf Biegung und Druck:

Dieser Fall tritt dann ein, wenn die Nulllinie des Querschnitts durch die Wahl von dicken Untergurtblechen zwar noch im Stegbereich, aber unterhalb der Steghalbierenden liegt.

$$\text{Klasse 1: } \begin{array}{l} \text{für } \alpha > 0,5: \\ d / t_w \leq 396 \cdot \varepsilon / (13 \cdot \alpha - 1) \end{array} \quad (28)$$

$$\text{Klasse 2: } \begin{array}{l} \text{für } \alpha > 0,5: \\ d/t_w \leq 456 \cdot \varepsilon / (13 \cdot \alpha - 1) \end{array} \quad (29)$$

α ... Anteil der Steghöhe d , die unter Druck steht

3. Stegblechteile mit Beanspruchung auf Druck:

Dieser Fall tritt dann ein, wenn die Nulllinie des Querschnitts durch die Wahl von dicken Untergurtblechen unterhalb des Stegs, also im Untergurt des Hohlprofils oder im Untergurtblech liegt.

$$\text{Klasse 1: } d/t_w \leq 33 \cdot \varepsilon \quad (30)$$

$$\text{Klasse 2: } d/t_w \leq 38 \cdot \varepsilon \quad (31)$$

Flansch:

1. Beidseitig gestützte Flanschteile bei Biegebeanspruchung des Querschnitts:

Klasse 1:

$$\text{warmgefertigte Hohlprofile } (b - 3 \cdot t_f) / t_f \leq 33 \cdot \varepsilon \quad (32)$$

$$\text{kaltgefertigte Hohlprofile } b / t_f \leq 33 \cdot \varepsilon \quad (33)$$

Klasse 2:

$$\text{warmgefertigte Hohlprofile } (b - 3 \cdot t_f) / t_f \leq 38 \cdot \varepsilon \quad (34)$$

$$\text{kaltgefertigte Hohlprofile } b / t_f \leq 38 \cdot \varepsilon \quad (35)$$

2. Beidseitig gestützte Flanschteile bei Druckbeanspruchung des Querschnitts:

Liegt die Nulllinie im Untergurtblech, so dass das gesamte Hohlprofil unter Druck steht, können nach Eurocode 3 etwas größere b/t -Verhältnisse zugelassen werden.

Klasse 1, 2 und 3:

$$\text{warmgefertigte Hohlprofile } (b - 3 \cdot t_f) / t_f \leq 42 \cdot \varepsilon \quad (36)$$

$$\text{kaltgefertigte Hohlprofile } b / t_f \leq 42 \cdot \varepsilon \quad (37)$$

3.4.2.4 Einfluss der Querbiegung im Untergurtblech

Aufgrund der direkten Belastung des Untergurtblechs durch die Fertigteile und den Aufbeton im Bauzustand, sowie der gesamten Deckenkonstruktion und der Nutzlast im Endzustand ergeben sich Biege- und Querkraftbeanspruchungen im Untergurtblech. Diese wären nun mit den Beanspruchungen als Zuggurt des Slim-Floor-Trägers zu überlagern. Um diese Überlagerung zu vereinfachen, wurden in der ECCS-Veröffentlichung [27] und auch im Stahlbau-Kalender [6] entsprechende Ansätze angegeben. Dabei wird die Dicke des Untergurtblechs abgemindert und so ein reduzierter Querschnitt für die weiteren Berechnungen verwendet.

In dieser Arbeit wird, auf der sicheren Seite liegend, der Ansatz aus dem Stahlbau-Kalender [6] verwendet. Rechnet man das dort angegebene Beispiel mit den Formeln der ECCS-Veröffentlichung, so ergibt sich eine Abminderung der Untergurtblechdicke von 15 auf 14,92 mm. Laut Stahlbau-Kalender ergeben sich 14,67 mm, wodurch erkennbar ist, dass sich eine aufwendige, nähere Untersuchung an dieser Stelle wegen der insgesamt geringen Abminderungen nicht auszahlt. Die Abminderung der Untergurtblechdicke wird daher mit der folgenden Gleichung [6] ermittelt.

$$t_{u,red} = \frac{t_u}{2} \cdot \left(1 + \sqrt{1 - \frac{4 \cdot m_{Sd,u}}{t_u^2 \cdot f_{yd,u}}} \right) \quad (38)$$

Nach dieser Abminderung ist die plastische Nulllinie unter Berücksichtigung von $t_{u,red}$ neu zu berechnen.

3.4.2.5 Nachweis der plastischen Momententragfähigkeit

Die Tragfähigkeiten werden unter Berücksichtigung der reduzierten Untergurtblechdicke $t_{u,red}$ ermittelt. Für alle folgenden Berechnungen gilt $t = t_w = t_f$.

$$A_w = (h - 2 \cdot t) \cdot t \quad (39)$$

$$A_f = (b - 2 \cdot t) \cdot t \quad (40)$$

$$A_p = 2 \cdot (A_f + A_w) \quad (41)$$

$$A_{u,red} = b_u \cdot t_{u,red} \quad (42)$$

3.4.2.5.1 Nulllinie im Untergurtblech

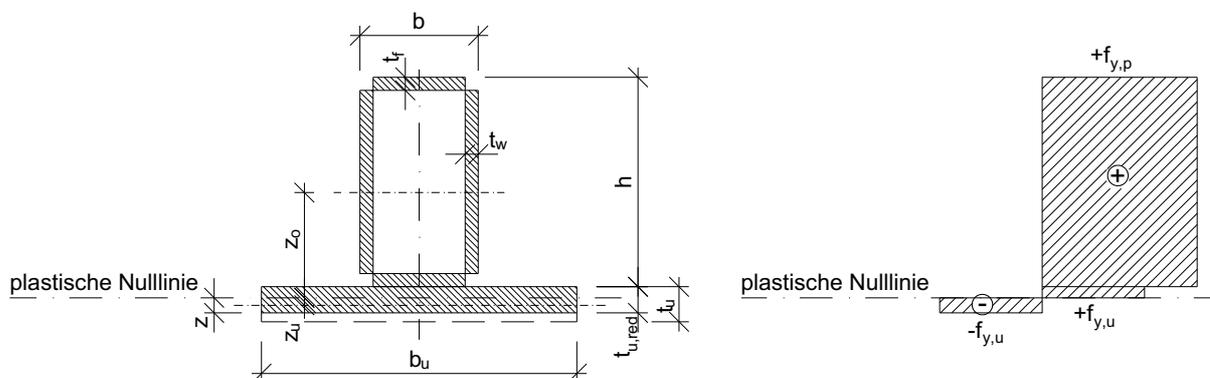


Abbildung 42: Ersatzquerschnitt mit reduziertem Untergurtblech für die Bemessung im Bauzustand, plastische Nulllinie im Untergurtblech

$$A_{u,red,o} = b_u \cdot (t_{u,red} - z) \quad (43)$$

$$A_{u,red,u} = b_u \cdot z \quad (44)$$

Der Schwerpunktabstand z_o des unter Druckspannung stehenden Querschnittsteils zur plastischen Nulllinie unter Berücksichtigung unterschiedlicher Stahlgüten wird folgendermaßen ermittelt:

$$z_o = \frac{A_p \cdot f_{y,p} \cdot \left(\frac{h}{2} + t_{u,red} - z \right) + A_{u,red,o} \cdot f_{y,u} \cdot \left(\frac{t_{u,red} - z}{2} \right)}{A_p \cdot f_{y,p} + A_{u,red,o} \cdot f_{y,u}} \quad (45)$$

Der Schwerpunktabstand z_u des unter Zugspannung stehenden Querschnittsteils zur plastischen Nulllinie wird unter Berücksichtigung unterschiedlicher Stahlgüten ermittelt. Die Stahlgüte scheint in dieser Formel nicht mehr auf, da der gesamte unter Zug stehende Bereich nur eine Stahlgüte ($f_{y,u}$) besitzt.

$$z_u = \frac{z}{2} \quad (46)$$

$M_{apl,Rd}$ wird über das Momentengleichgewicht bezüglich der Resultierenden des unter Zug stehenden Querschnittsteils ermittelt.

$$M_{apl,Rd} = \left[(A_p \cdot f_{y,p} + A_{u,red,o} \cdot f_{y,u}) \cdot (z_o + z_u) \right] \cdot \frac{1}{\gamma_M} \quad (47)$$

Dieses Moment kann aber auch über das Momentengleichgewicht bezüglich der Resultierenden des unter Druck stehenden Querschnittsteils ermittelt werden.

$$M_{apl.Rd} = \left[(A_{u,red,u} \cdot f_{y,u}) \cdot (z_u + z_o) \right] \cdot \frac{1}{\gamma_M} \quad (48)$$

3.4.2.5.2 Nulllinie im Untergurt des Hohlprofils

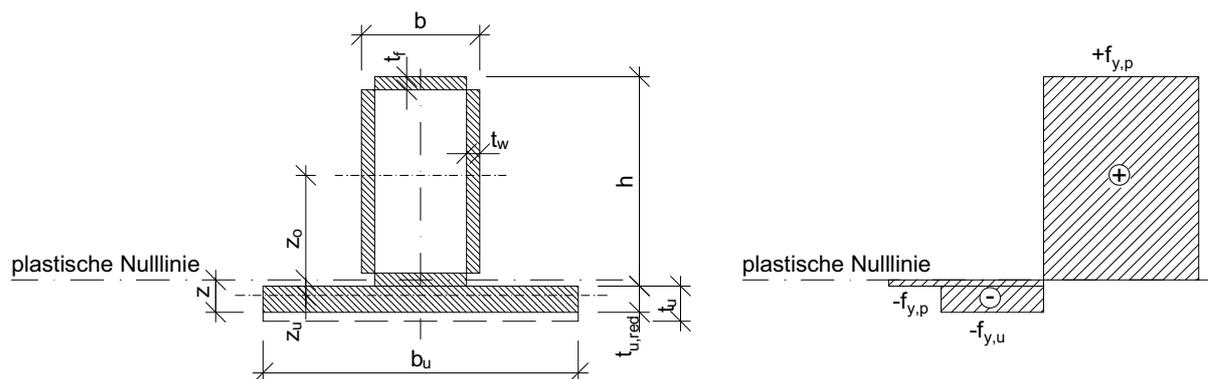


Abbildung 43: Ersatzquerschnitt mit reduziertem Untergurtblech für die Bemessung im Bauzustand, plastische Nulllinie im Untergurt des Hohlprofils

Der Schwerpunktabstand z_o des unter Druckspannung stehenden Querschnittsteils zur plastischen Nulllinie wird unter Berücksichtigung unterschiedlicher Stahlgüten ermittelt. Die Stahlgüte scheint in dieser Formel nicht mehr auf, da der gesamte unter Druck stehende Bereich nur eine Stahlgüte ($f_{y,p}$) besitzt.

$$z_o = \frac{A_f \cdot \left(h + t_{u,red} - \frac{t}{2} - z \right) + 2 \cdot A_w \cdot \left(\frac{h}{2} + t_{u,red} - z \right) + (b - 2 \cdot t) \cdot \frac{(t_{u,red} + t - z)^2}{2}}{A_f + 2 \cdot A_w + (b - 2 \cdot t) \cdot (t_{u,red} + t - z)} \quad (49)$$

Der Schwerpunktabstand z_u des unter Zugspannung stehenden Querschnittsteils zur plastischen Nulllinie wird unter Berücksichtigung unterschiedlicher Stahlgüten wie folgt ermittelt.

$$z_u = \frac{A_{u,red} \cdot f_{y,u} \cdot \left(z - \frac{t_{u,red}}{2} \right) + (b - 2 \cdot t) \cdot \frac{(z - t_{u,red})^2}{2} \cdot f_{y,p}}{A_{u,red} \cdot f_{y,u} + (b - 2 \cdot t) \cdot (z - t_{u,red}) \cdot f_{y,p}} \quad (50)$$

$M_{apl,Rd}$ wird über das Momentengleichgewicht bezüglich der Resultierenden des unter Zug stehenden Querschnittsteils ermittelt.

$$M_{apl,Rd} = \left[\left(A_f + 2 \cdot A_w + (b - 2 \cdot t) \cdot (t_{u,red} + t - z) \right) \cdot f_{y,p} \cdot (z_u + z_o) \right] \cdot \frac{1}{\gamma_M} \quad (51)$$

Dieses Moment kann aber auch über das Momentengleichgewicht bezüglich der Resultierenden des unter Druck stehenden Querschnittsteils ermittelt werden.

$$M_{apl,Rd} = \left[\left(A_{u,red} \cdot f_{y,u} + (b - 2 \cdot t) \cdot (z - t_{u,red}) \cdot f_{y,p} \right) \cdot (z_u + z_o) \right] \cdot \frac{1}{\gamma_M} \quad (52)$$

3.4.2.5.3 Nulllinie im Steg des Hohlprofils

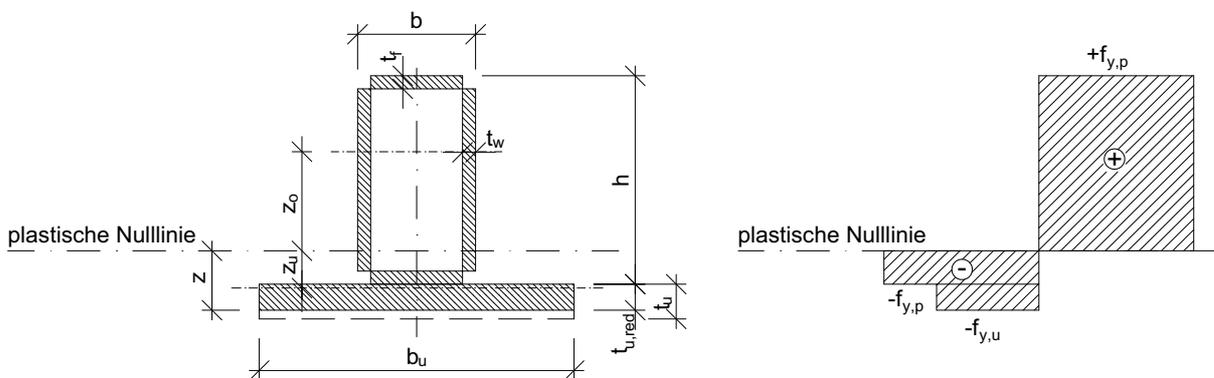


Abbildung 44: Ersatzquerschnitt mit reduziertem Untergurtblech für die Bemessung im Bauzustand, plastische Nulllinie im Steg des Hohlprofils

Der Schwerpunktabstand z_o des unter Druckspannung stehenden Querschnittsteils zur plastischen Nulllinie wird unter Berücksichtigung unterschiedlicher Stahlgüten ermittelt. Die Stahlgüte scheint in dieser Formel nicht mehr auf, da der gesamte unter Druck stehende Bereich nur eine Stahlgüte ($f_{y,p}$) besitzt.

$$z_o = \frac{A_f \cdot \left(h + t_{u,red} - \frac{t}{2} - z \right) + 2 \cdot t \cdot \frac{(h + t_{u,red} - t - z)^2}{2}}{A_f + 2 \cdot t \cdot (h + t_{u,red} - t - z)} \quad (53)$$

Der Schwerpunktabstand z_u des unter Zugspannung stehenden Querschnittsteils zur plastischen Nulllinie unter Berücksichtigung unterschiedlicher Stahlgüten ergibt sich zu:

$$z_u = \frac{A_{u,red} \cdot f_{y,u} \cdot \left(z - \frac{t_{u,red}}{2} \right) + A_f \cdot f_{y,p} \cdot \left(z - t_{u,red} - \frac{t}{2} \right) + 2 \cdot t \cdot \frac{(z - t_{u,red} - t)^2}{2} \cdot f_{y,p}}{A_{u,red} \cdot f_{y,u} + A_f \cdot f_{y,p} + 2 \cdot t \cdot (z - t_{u,red} - t) \cdot f_{y,p}} \quad (54)$$

Ermittlung von $M_{apl,Rd}$ über das Momentengleichgewicht bezüglich der Resultierenden des unter Zug stehenden Querschnittsteils:

$$M_{apl,Rd} = \left[(A_f + 2 \cdot t \cdot (h + t_{u,red} - t - z)) \cdot f_{y,p} \cdot (z_u + z_o) \right] \cdot \frac{1}{\gamma_M} \quad (55)$$

Dieses Moment kann aber auch über das Momentengleichgewicht bezüglich der Resultierenden des unter Druck stehenden Querschnittsteils ermittelt werden.

$$M_{apl,Rd} = \left[(A_{u,red} \cdot f_{y,u} + A_f \cdot f_{y,p} + 2 \cdot t \cdot (z - t_{u,red} - t) \cdot f_{y,p}) \cdot (z_u + z_o) \right] \cdot \frac{1}{\gamma_M} \quad (56)$$

3.4.2.6 Nachweis der plastischen Querkrafttragfähigkeit

Eine Momenten-Querkraftinteraktion ist für die betrachteten Einfeldträger nicht zu berücksichtigen, da das maximale Moment in Feldmitte und die maximale Querkraft am Auflager auftritt.

$$V_{pl,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{y,p}}{\sqrt{3}} \cdot \frac{1}{\gamma_{M0}} \quad (57)$$

Für A_v werden die beiden Stegflächen des Hohlprofils in Rechnung gestellt.

$$A_v = 2 \cdot t_w \cdot (h - 2 \cdot t) \quad (58)$$

Ein Nachweis gegen Schubbeulen ist laut Eurocode 3 für nicht ausgesteifte Stegbleche erst ab

$$d/t_w > 69 \cdot \varepsilon \quad (59)$$

erforderlich. Unter Beachtung der Formeln zur Einstufung in die Querschnittsklassen (siehe Kap. 3.4.2.3) kann dies nur dann eintreten, wenn die plastische Nulllinie sehr nahe der Hohlprofilmittellinie liegt. Für Stegblechteile mit Beanspruchung auf Biegung und Druck beträgt α dann 0,585. Andernfalls würde der Querschnitt ohnehin nicht die Bedingungen zur Klasse 2 erfüllen und eine plastische Berechnung wäre nicht mehr möglich.

Die detaillierte Darstellung der Einleitung der Querkräfte in die Stütze kann in dieser Arbeit aufgrund der vielfältigen Lösungsmöglichkeiten nicht behandelt werden und bedarf einer konstruktionsspezifischen Betrachtung.

3.4.2.7 Nachweis der Torsionstragfähigkeit

Da dünnwandige Hohlquerschnitte "wölbarm" sind, werden nur die primären Schubspannungen berücksichtigt [13]. Diese Schubspannungen treten zusätzlich zu denen aus der Querkraftbeanspruchung auf und sind daher mit diesen zu überlagern. Nach [27] gilt je Steg

$$\frac{V_{T,Sd}}{2} \pm \frac{M_{T,Sd}}{2 \cdot (b - t_w)} \leq \frac{V_{pl,Rd}}{2}. \quad (60)$$

Da bei der Ermittlung von $M_{T,Sd}$ (siehe Kap. 3.4.2.1) für p_{Bau} die maximale Flanschauflast auf nur einer Seite angesetzt wurde, ist $V_{T,Sd}$ für den Torsionsnachweis ebenso zu ermitteln und unterscheidet sich daher von V_{Sd} . Ergibt sich bei diesem Nachweis für den Minimalwert ein negativer Wert, so kann es zu einem einseitigen Abheben des Trägers am Auflager kommen.

3.4.2.8 Biegedrillknicken

Nach [13] ist bei geschlossenen Querschnitten kein Biegedrillknicknachweis erforderlich. Ein Biegeknicknachweis erübrigt sich aufgrund der fehlenden Normalkraft.

3.4.2.9 Ermittlung benötigter Querschnittswerte

Die Ermittlung des Flächenschwerpunktabstandes erfolgt bezüglich der Unterkante des Untergurtblechs:

$$z_a = \frac{A_p \cdot \left(t_u + \frac{h}{2} \right) + A_u \cdot \frac{t_u}{2}}{A_p + A_u} \quad (61)$$

$$I_a = I_p + \frac{b_u \cdot t_u^3}{12} + A_p \cdot \left(t_u + \frac{h}{2} - z_a \right)^2 + A_u \cdot \left(z_a - \frac{t_u}{2} \right)^2 \quad (62)$$

A_p und I_p wird hierbei den Herstellerangaben zu den Hohlprofilen entnommen.

Bei der Ermittlung des statischen Flächenmoments des Untergurts für den folgenden Schweißnahtnachweis, wird die geringfügige Reduktion infolge Querbiegung auf der sicheren Seite liegend vernachlässigt.

$$S_{a,u} = A_u \cdot \left(z_a - \frac{t_u}{2} \right) \quad (63)$$

3.4.2.10 Schweißnähte

Für die wirksame Scheißnahtdicke der Hohlkehlnähte ist Eurocode 3 (Punkt 6.6.2.6) zu beachten. Die Mindestnahtdicke a nach Eurocode 3 sollte 3 mm betragen. In ÖNORM B 4300-1 [124] sind die Mindestdicken wie folgt festgelegt.

Dickeres Blech [mm]	≤ 12	≤ 25	≤ 50	> 50
Empfohlene Nahtdicke [mm]	≥ 3	≥ 4	≥ 5	≥ 6

Tabelle 14: Empfohlene Kehlnahtdicken nach ÖNORM B 4300-1 [124]

Aus [6] wurde die Mindest- und Maximaldicke nach DIN 18 800, Teil 1 [125] übernommen.

$$a_{\min} = \sqrt{t_{\max}} - 0,5 \quad (\text{ähnlich der Tabelle 14}) \quad (64)$$

$$a_{\max} = 0,7 \cdot t_{\min} \quad (\text{die Ergebnisse werden gerundet}) \quad (65)$$

Laut Eurocode 3 beträgt die Mindestblechdicke für Schweißverbindungen 4 mm. Darunter ist Teil 1.3 des Eurocode 3 anzuwenden. Die letzte Bestimmung (65) der DIN 18 800 führt aber dazu, dass Bleche mit einer Dicke unter 4,3 mm nicht statisch wirksam verschweißt werden dürfen. Um den Bestimmungen des Eurocode 3 nicht zu widersprechen, wird im Bereich von 4,0 bis 4,3 mm Blechdicke die Mindestschweißnaht dennoch mit 3 mm festgelegt. In die Tabelle der Hohlprofile wurden daher nur Blechdicken ab 4 mm aufgenommen.

Nachzuweisen ist einerseits die Beanspruchung durch die Anschlusskräfte für den Gesamtquerschnitt durch V_{sd} und andererseits die Einleitung der Querkräfte $v_{sd,u}$ aus der direkten Belastung des Untergurtblechs.

$$\tau_{\parallel, Sd} = \frac{V_{Sd} \cdot S_{a,u}}{I_a \cdot 2 \cdot a} \quad (66)$$

$S_{a,u}$ Statisches Flächenmoment des angeschlossenen Querschnitts

I_a Trägheitsmoment des Gesamtquerschnitts

$$\tau_{\perp, Sd} = \frac{V_{Sd,u}}{a} \quad (67)$$

$$\sigma_{vw, Sd} = \sqrt{\tau_{\parallel, Sd}^2 + \tau_{\perp, Sd}^2} \leq \frac{f_u}{\sqrt{3} \cdot \beta_w \cdot \gamma_{Mw}} = f_{vw, d} \quad (68)$$

f_u Zugfestigkeit des schwächeren verbundenen Bauteils

β_w Korrelationsfaktor für Schweißnähte nach Eurocode 3 (für S 420 und S 460 aus dem Anhang D)

γ_{Mw} Teilsicherheitsbeiwert mit 1,25 nach Eurocode 3

3.4.3 Gebrauchstauglichkeit im Bauzustand

3.4.3.1 Durchbiegungen

Unter Gebrauchslast dürfen nur elastische Verformungen auftreten, was nachzuweisen ist. Da die Gebrauchslasten nach Eurocode 3 als charakteristische Werte der Einwirkungen angesetzt werden, ergibt sich eine Spannungsreserve von ca. 35%. Dies folgt aus dem linearen Eingang der Belastung bei der Ermittlung der Schnittgrößen und einem mittleren Teilsicherheitsbeiwert von 1,4 auf der Einwirkungsseite bzw. von 1,1 auf der Widerstandsseite, die ebenfalls einen linearen Eingang in die Berechnungen finden. Demgegenüber ist zu berücksichtigen, dass das plastische gegenüber dem elastischen Widerstandsmoment um ca. 15% (I-Profile) bis 22% (quadratische Hohlprofile) bzw. 28% (rechteckige Hohlprofile) größer ist. Da dieser Wert jedoch immer unter den vorhin erwähnten Reserven liegt, wird die Streckgrenze in den Randfasern des Trägerquerschnitts unter Gebrauchslasten keinesfalls erreicht. Die Überlagerung mit der Beanspruchung aus der Querbiegung des Untergurtblechs ist dabei in der Ermittlung des plastischen Widerstandsmoments bereits berücksichtigt. Eine genaue Berechnung ist z.B. in [27] angeführt. Unter Gebrauchslasten treten bei Berechnung nach Eurocode demnach immer nur Spannungen auf, die im elastischen Bereich liegen.

Die folgende Ermittlung der Durchbiegungen ist nur im Zusammenhang mit jenen im Endzustand zu sehen. Als Belastung wird der charakteristische Wert der Streckenlast p_{Bau} angesetzt. Die Durchbiegung zufolge ständiger Lasten δ_I wird in weiterer Folge als Überhöhung δ_0 des Stahlprofils angenommen, wobei diese mit maximal $L_T/250$ begrenzt wird. Bei dieser Überhöhung ist das gesamte Eigengewicht der Slim-Floor-Konstruktion (Stahlträger, Deckenfertigteile, Aufbeton) berücksichtigt. Für die Ermittlung der kurzfristig im Bauzustand auftretenden maximalen Verformung δ_{max} wird die Verkehrslast im Bauzustand (Betonierlast) herangezogen, woraus sich δ_2 ergibt.

Um die Berechnung zu vereinfachen, wird der charakteristische Wert der Streckenlast p_{Bau} aus dem Bemessungswert von p_{Bau} dividiert durch den gemittelten

Teilsicherheitsbeiwert der Einwirkungen von 1,4 ermittelt. Dadurch können auch temporäre Unterstellungen der Deckenelemente im Bauzustand näherungsweise erfasst werden. Da allerdings bei direkter Eingabe von p_{Bau} keine Trennung in ständige und veränderliche Lasten erfolgt, können die jeweiligen Verformungsanteile auch nicht getrennt ermittelt werden. Die Überhöhung wird daher in diesem Fall fix mit $L_T/250$ angenommen.

Folgende Verformungsanteile und Gesamtverformungen werden ermittelt:

Vorkrümmung des Trägers (Vorschlag)

$$\delta_{0,Bau} = \min \left\{ \delta_{1,Bau} ; \frac{L_T}{250} \right\} \quad (69)$$

Trägerverformung zufolge ständiger Last

$$\delta_{1,Bau} = \frac{5 \cdot g_{Bau} \cdot L_T^4}{384 \cdot E_a \cdot I_a} \quad (70)$$

Trägerverformung zufolge veränderlicher Last

$$\delta_{2,Bau} = \frac{5 \cdot q_{Bau} \cdot L_T^4}{384 \cdot E_a \cdot I_a} \leq \frac{L_T}{300} \quad (71)$$

für Deckenträger allg. lt. Eurocode 3

Trägerverformung zufolge ständiger und veränderlicher Lasten

$$\delta_{\max,Bau} = -\delta_{0,Bau} + \delta_{1,Bau} + \delta_{2,Bau} \leq \frac{L_T}{250} \quad (72)$$

für Deckenträger allg. lt. Eurocode 3

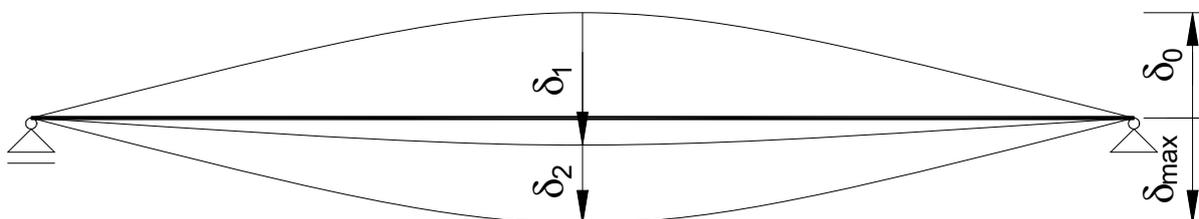


Abbildung 45: Symbolische Darstellung der Verformungen (unmaßstäblich, δ_1 ist hier größer als $L_T/250$ dargestellt)

Die Überhöhung wird zweckmäßigerweise beim Anschweißen des Untergurtblechs an das Hohlprofil hergestellt [6].

Zusätzlich wird noch die Verformung des Untergurtblechs nach [6] angegeben und auf 1,5 mm begrenzt.

$$\delta_{1,Bau,u} + \delta_{2,Bau,u} = \frac{(g_{1,Bau} + g_{2,Bau} + q_{1,Bau}) \cdot \frac{L_{D,max}}{2} \cdot (4 \cdot b_a + 50 \text{ mm})}{648 \cdot E_a \cdot I_u} \cdot [(4 \cdot b_a + 50) \cdot (14 \cdot b_a - 50) + 108 \cdot b_a \cdot b] \quad (73)$$

mit

$$I_u = \frac{t_u^3}{12} \quad (74)$$

Auch hier kann wieder mit hinreichender Genauigkeit die charakteristische Belastung aus dem Bemessungswert von p_{Bau} ermittelt werden.

Bei einem Randträger bzw. bei anderen Auflagerbreiten a und Kraglängen b_a als in [6] angegeben, sind die Grundlagen für obige Berechnung nicht mehr eingehalten. Für die Abschätzung der Dimension der Verformungen wird die Berechnung dennoch als ausreichend erachtet. In Grenzbereichen bzw. bei besonders empfindlichen Fertigelementen wie z.B. Hohldielen sollte eine genauere Untersuchung nach z.B. [24], [25] oder [39] erfolgen.

3.4.3.2 Schwingungen

Die Schwingungsanfälligkeit wird erst im Endzustand untersucht.

3.4.4 Tragsicherheit im Endzustand

3.4.4.1 Bemessungsschnittgrößen

Auch im Endzustand handelt es sich bei dem in der vorliegenden Arbeit behandelten Slim-Floor-Träger um einen Einfeldträger. Die ständige Belastung g setzt sich aus dem Eigengewicht des Stahlträgers, jenem der Fertigteile und jenem des Aufbetons, sowie den ständigen Lasten aus dem Fußbodenaufbau (Ausbaulasten) zusammen. Die veränderliche Belastung q ergibt sich aus der Nutzlast inkl. allfälliger Zwischenwandzuschläge. Unter Berücksichtigung der Teilsicherheitsbeiwerte nach Kap. 3.2.1 folgt daraus der Bemessungswert der Belastung p .

Belastung:

$$g = (g_1 + g_2 + g_3) \cdot \frac{L_{D,\min} + L_{D,\max}}{2} + g_T \quad (75)$$

$$q = q_1 \quad (76)$$

$$p = g \cdot \gamma_G + q \cdot \gamma_Q \quad (77)$$

g_1 charakteristisches Eigengewicht der Fertigelemente, Trapezbleche usw. [kN/m²]

g_2 charakteristisches Eigengewicht des Aufbetons [kN/m²]

g_3 charakteristischer Wert der Ausbaulasten (Fußbodenaufbau usw.) [kN/m²]

g_T charakteristisches Eigengewicht des Stahlträgers [kN/m]

q_1 charakteristischer Wert der Nutzlast [kN/m²]

Biegemoment:

$$M_{sd} = \frac{p \cdot L_T^2}{8} \quad (78)$$

Querkraft:

$$V_{sd} = \frac{p \cdot L_T}{2} \quad (79)$$

Für p ist die Summe aus den beiden Flanschaufasten einzusetzen.

Biegemoment im Untergurtblech:

Aufgrund der geringen Betonüberdeckung des Hohlprofils ist davon auszugehen, dass der Großteil der Gesamtlasten auch im Endzustand über das Untergurtblech in den Verbundträger eingeleitet wird. Eine Einleitung direkt über den Obergurt bzw. die Stege kann nur dann angenommen werden, wenn eine entsprechende Schubbewehrung angeordnet wird. Diese könnte zur Erfüllung der Brandsicherheitsnachweise ohnehin erforderlich sein (siehe Kap. 2.4.2). Hier wird auf der sicheren Seite liegend die Gesamtlast dem Untergurtblech zugewiesen, wobei der Hebelarm der Resultierenden mit $b_d/2$ angesetzt wird.

$$m_{Sd,u} = p \cdot e \quad (80)$$

mit

$$e = \frac{b_a}{2} \quad (81)$$

Querkraft im Untergurtblech:

$$v_{Sd,u} = p \quad (82)$$

Für p ist die maximale Flanschauflast auf einer Seite einzusetzen.

3.4.4.2 Mitwirkende Breite des Betonquerts

Diese kann nach Eurocode 4 [107] bei Einfeldträgern je Trägerseite mit

$$b_e = \frac{L_T}{8} \leq \frac{L_D}{2} \quad (83)$$

angenommen werden. Insgesamt folgt b_{eff} mit

$$b_{eff} = b_{e,min} + b_{e,max} \quad (84)$$

3.4.4.3 Einfluss der Querbiegung im Untergurtblech

Wie unter Kap. 3.4.2.4 und 3.4.4.1 ausführlich beschrieben, ist im Untergurtblech wieder eine Abminderung der Untergurtblechdicke mit der folgenden Gleichung notwendig:

$$t_{u,red} = \frac{t_u}{2} \cdot \left(1 + \sqrt{1 - \frac{4 \cdot m_{Sd,u}}{t_u^2 \cdot f_{yd,u}}} \right) \quad (85)$$

3.4.4.4 Nachweis der plastischen Momententragfähigkeit

Der Nachweis der Momententragfähigkeit erfolgt für eine vollständige Verdübelung. Wenn der Bemessungswert der Beanspruchung unter der plastischen Momententragfähigkeit liegt, so ist auch eine teilweise Verdübelung möglich. In diesem Fall wird die genaue Momententragfähigkeit unter Berücksichtigung der dann auftretenden Nulllinienlagen nicht explizit nachgewiesen. Vielmehr wird nach Eurocode 4 die erforderliche Dübelanzahl näherungsweise ermittelt.

Da der Träger im Bauzustand nicht unterstellt wird, handelt es sich im Endzustand um einen Träger ohne Eigengewichtsverbund. Bei einer plastischen Ermittlung der Momententragfähigkeit ist dies jedoch nicht explizit zu berücksichtigen.

Der Bemessungswert der Betondruckfestigkeit nach Eurocode 4 ergibt sich aus

$$f_{cd} = 0,85 \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c} \quad (86)$$

Die Berechnungen erfolgen wiederum unter Berücksichtigung unterschiedlicher Stahlgüten des Profils ($f_{y,p}$) und des Untergurtblechs ($f_{y,u}$), sowie mit dem Ersatzquerschnitt für das Hohlprofil und der reduzierten Untergurtblechdicke.

Bezüglich der Lage der plastischen Nulllinie sind folgende drei Fälle zu unterscheiden, wobei z den Abstand von der Deckenoberkante angibt.

3.4.4.4.1 Nulllinie im Betondruckgurt

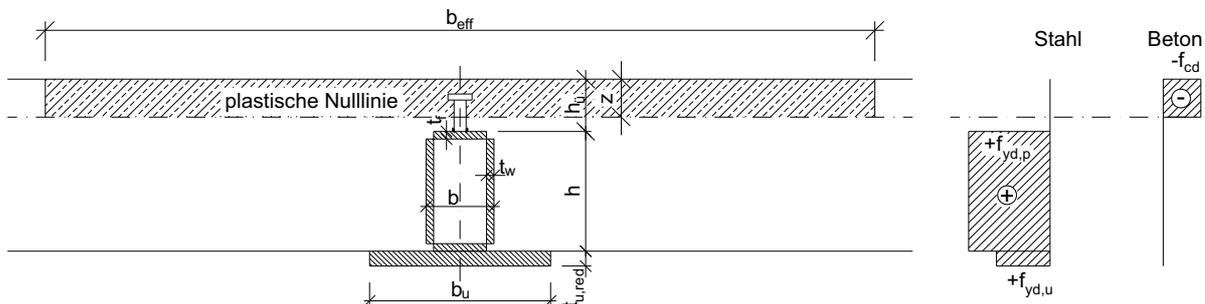


Abbildung 46: Ersatzquerschnitt für die Bemessung im Endzustand, plastische Nulllinie im Betondruckgurt

Die Nulllinie liegt im Betondruckgurt unter der Bedingung

$$A_p \cdot f_{yd,p} + A_{u,red} \cdot f_{yd,u} \leq b_{eff} \cdot h_{ii} \cdot f_{cd} \quad (87)$$

ein. Mit der Gleichgewichtsbedingung folgt der Nulllinienabstand von der Deckenoberkante mit

$$z = \frac{f_{yd,p} \cdot A_p + f_{yd,u} \cdot A_{u,red}}{f_{cd} \cdot b_{eff}} \quad (88)$$

wobei $z \leq h_{ii}$.

Das plastische Grenzmoment ergibt sich zu

$$M_{pl,Rd} = f_{cd} \cdot b_{eff} \cdot \frac{z^2}{2} + f_{yd,p} \cdot A_p \cdot \left(\frac{h}{2} + h_{ii} - z \right) + f_{yd,u} \cdot A_{u,red} \cdot \left(\frac{t_{u,red}}{2} + h + h_{ii} - z \right) \quad (89)$$

3.4.4.4.2 Nulllinie im Obergurt des Hohlprofils

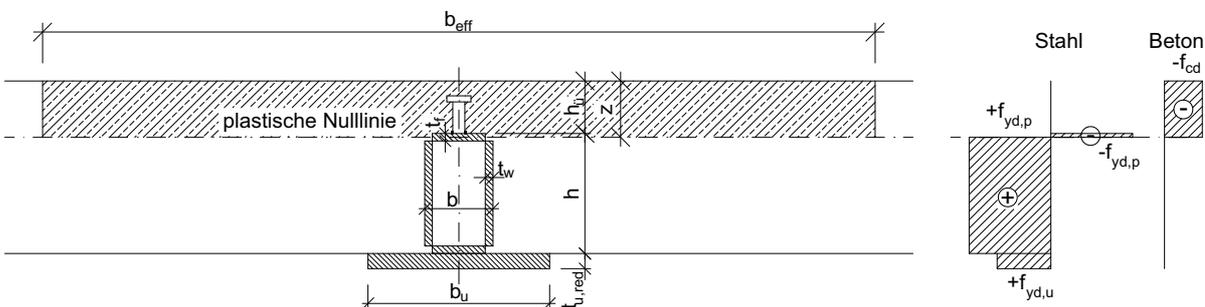


Abbildung 47: Ersatzquerschnitt für die Bemessung im Endzustand, plastische Nulllinie im Obergurt des Hohlprofils

Die Nulllinie liegt im Obergurt des Hohlprofils wenn

$$A_p \cdot f_{yd,p} + A_{u,red} \cdot f_{yd,u} > b_{eff} \cdot h_{ii} \cdot f_{cd} \quad (90)$$

und

$$f_{yd,p} \cdot (A_p - A_f) + f_{yd,u} \cdot A_{u,red} \leq f_{cd} \cdot (h_{ii} \cdot b_{eff} + t_f \cdot b_{eff} - A_f) + f_{yd,p} \cdot A_f \quad (91)$$

mit

$$A_f = (b - 2 \cdot t_w) \cdot t_f \quad (92)$$

Mit der Gleichgewichtsbedingung folgt der Nulllinienabstand von der Deckenoberkante mit

$$z = \frac{f_{yd,p} \cdot (A_p + 2 \cdot h_{ii} \cdot (b - 2 \cdot t_w)) + f_{yd,u} \cdot A_{u,red} - f_{cd} \cdot (b - 2 \cdot t_w) \cdot h_{ii}}{f_{cd} \cdot (b_{eff} - (b - 2 \cdot t_w)) + f_{yd,p} \cdot 2 \cdot (b - 2 \cdot t_w)} \quad (93)$$

wobei $h_{ii} < z \leq h_{ii} + t_f$. Das plastische Grenzmoment ergibt sich zu

$$M_{pl} = f_{cd} \cdot b_{eff} \cdot \frac{z^2}{2} - f_{cd} \cdot (b - 2 \cdot t_w) \cdot \frac{(z - h_{ii})^2}{2} + f_{yd,p} \cdot A_p \cdot \left(\frac{h}{2} - z + h_{ii} \right) + f_{yd,u} \cdot A_{u,red} \cdot \left(h - z + h_{ii} + \frac{t_{u,red}}{2} \right) \quad (94)$$

3.4.4.4.3 Nulllinie im Steg des Hohlprofils

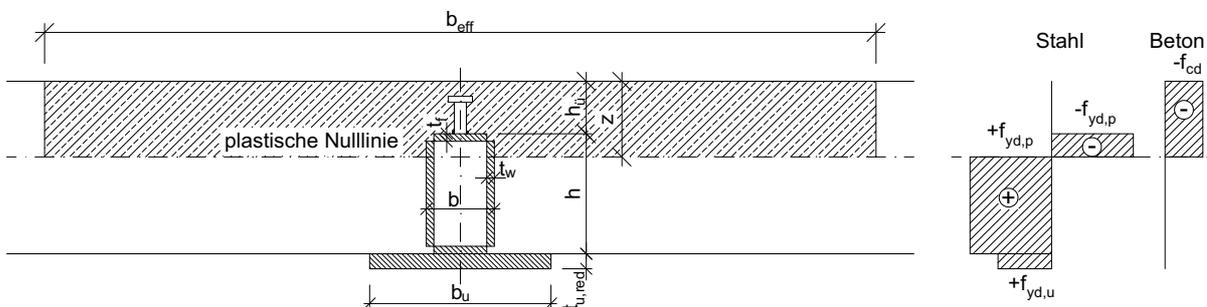


Abbildung 48: Ersatzquerschnitt für die Bemessung im Endzustand, plastische Nulllinie im Steg des Hohlprofils

Die Nulllinie liegt im Steg des Hohlprofils wenn

$$f_{yd,p} \cdot (A_p - A_f) + f_{yd,u} \cdot A_{u,red} > f_{cd} \cdot (h_{ii} \cdot b_{eff} + t_f \cdot b_{eff} - A_f) + f_{yd,p} \cdot A_f \quad (95)$$

und

$$f_{yd,p} \cdot A_f + f_{yd,u} \cdot A_{u,red} \leq f_{cd} \cdot (h_{ii} \cdot b_{eff} + t_f \cdot b_{eff} - A_f + h \cdot (b_{eff} - b)) + f_{yd,p} \cdot (A_p - A_f) \quad (96)$$

ein. Mit der Gleichgewichtsbedingung folgt der Nulllinienabstand von der Deckenoberkante mit

$$A_f = (b - 2 \cdot t_w) \cdot t_f \quad (97)$$

$$z = \frac{f_{cd} \cdot (A_f - b \cdot (h_{\ddot{u}} + t_f)) + f_{yd,p} \cdot (A_p - 2 \cdot A_f + 4 \cdot t_w \cdot (h_{\ddot{u}} + t_f)) + f_{yd,u} \cdot A_{u,red}}{f_{cd} \cdot (b_{eff} - b) + f_{yd,p} \cdot 4 \cdot t_w} \quad (98)$$

wobei $h_{\ddot{u}} + h - t_f \geq z \geq h_{\ddot{u}} + t_f$. Das plastische Grenzmoment ergibt sich zu

$$M_{pl,Rd} = f_{cd} \cdot \left(b_{eff} \cdot \frac{z^2}{2} - A_f \cdot \left(z - h_{\ddot{u}} - \frac{t_f}{2} \right) - b \cdot \frac{(z - h_{\ddot{u}} - t_f)^2}{2} \right) + f_{yd,p} \cdot \left(2 \cdot A_f \cdot \left(z - h_{\ddot{u}} - \frac{t_f}{2} \right) + 2 \cdot t_w \cdot (z - h_{\ddot{u}} - t_f)^2 + A_p \cdot \left(\frac{h}{2} + h_{\ddot{u}} - z \right) \right) + f_{yd,u} \cdot A_{u,red} \cdot \left(h + h_{\ddot{u}} - z + \frac{t_{u,red}}{2} \right) \quad (99)$$

3.4.4.4 Nachweis der plastischen Querkrafttragfähigkeit

Die gesamte Querkraft im Endzustand wird wiederum den Stegen des Hohlprofils zugewiesen. Dadurch wird der bereits erwähnte, wirtschaftliche Stützenanschluss möglich. In Einzelfällen sind aber auch Sonderlösungen unter Berücksichtigung der Querkrafttragfähigkeit des Betongurts möglich.

Da die Stege im Endzustand meist nur einseitig durch den Deckenbeton stabilisiert sind, erfolgt der Nachweis gegen Schubbeulen wie im Bauzustand. Falls das Hohlprofil ausbetoniert wird, könnten die Stege wie nicht ausgesteifte Stege mit Kammerbeton nach Eurocode 4 behandelt werden, wodurch größere Schlankheiten ohne genaueren Nachweis möglich sind.

Daher wird im Endzustand mit folgenden Formeln gerechnet.

$$V_{pl,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{y,p}}{\sqrt{3}} \cdot \frac{1}{\gamma_a} \quad (100)$$

$$d/t_w > 69 \cdot \varepsilon \quad (101)$$

3.4.4.5 Schweißnähte

Bei den Schweißnähten ist einerseits die Beanspruchung durch die Anschlusskräfte für den Gesamtquerschnitt über V_{sd} und andererseits die Einleitung der Querkräfte aus der direkten Belastung des Untergurtblechs nachzuweisen.

Da wie in Kap. 3.4.4.1 beschrieben die gesamte Belastung über das Untergurtblech in den Verbundträger eingeleitet wird, ist auch die Schweißnaht entsprechend zu bemessen. Bei der Beanspruchung durch die Anschlusskräfte für den Gesamtquerschnitt über V_{sd} sind die Querschnittswerte des Verbundquerschnittes einzusetzen.

$$\tau_{\parallel, Sd} = \frac{V_{Sd} \cdot S_{i,b,u}}{I_{i,b} \cdot 2 \cdot a} \quad (102)$$

$S_{i,b,u}$ Statisches Flächenmoment des angeschlossenen Querschnitts

$I_{i,b}$ Trägheitsmoment des Gesamtquerschnitts

$S_{i,b,u}$ und $I_{i,b}$ sind dabei am Ersatzquerschnitt mit reduziertem Untergurtblech zu ermitteln. Auf der sicheren Seite liegend wird aber im Excel-Bemessungsprogramm die Untergurtblechdicke nicht reduziert (siehe Kap. 3.4.5.1).

$$\tau_{\perp, Sd} = \frac{V_{Sd,u}}{a} \quad (103)$$

$$\sigma_{vw, Sd} = \sqrt{\tau_{\parallel, Sd}^2 + \tau_{\perp, Sd}^2} \leq \frac{f_u}{\sqrt{3} \cdot \beta_w \cdot \gamma_{Mw}} = f_{vw, d} \quad (104)$$

3.4.4.6 Kopfbolzendübel

3.4.4.6.1 Grenzscherkraft von Kopfbolzendübeln

Bezüglich der Anwendung von Kopfbolzendübeln mit einem Durchmesser von 25 mm wird auf [6] verwiesen. Demnach können diese Dübel als Stand der Technik benutzt werden. Die Grenzscherkraft ergibt sich als der kleinere Wert von

$$P_{Rd} = 0,8 \cdot f_u \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot \frac{1}{\gamma_v} \quad (105)$$

und

$$P_{Rd} = 0,29 \cdot \alpha \cdot d^2 \cdot \sqrt{f_{ck} \cdot E_{cm}} \cdot \frac{1}{\gamma_v} \quad (106)$$

mit

$$\alpha = 0,2 \cdot \left(\frac{h}{d} + 1 \right) \quad \text{für } 3 \leq \frac{h}{d} \leq 4 \quad (107)$$

bzw.

$$\alpha = 1,0 \quad \text{für } \frac{h}{d} > 4 \quad (108)$$

d Schaftdurchmesser des Dübels

f_u Zugfestigkeit des Bolzens, jedoch maximal 500 N/mm² (hier 450 N/mm²)

h Gesamtlänge des Bolzens

3.4.4.6.2 Vollständige Verdübelung

Die zu übertragende Längsschubkraft V_l ergibt sich als das Minimum von

$$F_{cf} = A_p \cdot f_{yd,p} + A_{u,red} \cdot f_{yd,u} \quad (109)$$

und

$$F_{cf} = A_c \cdot f_{cd} \quad (110)$$

Die Längsbewehrung in der Druckzone des Betongurtes wird wie bei der Biegebemessung vernachlässigt. Bei einem Slim-Floor-Träger wo auch der Beton seitlich des Stahlquerschnittes Druckkräfte erhält, ist nur die Berechnung über Formel (110) maßgebend, wobei für A_c die gesamte unter Druck stehende Betonfläche einzusetzen ist.

3.4.4.6.3 Teilweise Verdübelung

Nach Eurocode 3 [104] ist bei Trägerquerschnitten der Klasse 1 und 2 eine teilweise Verdübelung zulässig. Bei einer teilweisen Verdübelung sind entsprechend duktile Verbundmittel erforderlich und V_l bzw. F_c darf näherungsweise wie folgt ermittelt werden:

$$V_l = F_c = \frac{M_{Sd} - M_{apl,Rd}}{M_{pl,Rd} - M_{apl,Rd}} \cdot F_{cf} \quad (111)$$

3.4.4.6.4 Duktile Verbundmittel

Als duktil gelten Verbundmittel wie Dübel in Kombination mit einfachsymmetrischen Baustahlquerschnitten, wenn alle folgenden Bedingungen eingehalten sind.

- die Querschnittsfläche des Untergurtes den 3-fachen Wert der Querschnittsfläche des Obergurtes nicht überschreitet
- $h \geq 4 \cdot d$
- $16 \leq d \leq 22$ (25 nach [6])

Die Gurtfläche wird näherungsweise mit

$$A_f = \frac{A_p - 2 \cdot (h - 2 \cdot t_f) \cdot t_w}{2} \quad (112)$$

ermittelt, wobei A_p die Querschnittsfläche lt. Herstellerangabe bedeutet.

Zusätzlich ist ein Mindestverdübelungsgrad einzuhalten, um ein ideal plastisches Tragverhalten des Trägers sicherzustellen.

$$L \leq 20 \quad \rightarrow \quad \frac{N}{N_f} \geq 0,4 + 0,03 \cdot L \quad (113)$$

bzw.

$$L \geq 20 \quad \rightarrow \quad \frac{N}{N_f} \geq 1,0 \quad (114)$$

L Stützweite in Metern

N_f erforderliche Dübelanzahl bei vollständiger Verdübelung

N vorhandene Dübelanzahl

Sind diese Bedingungen nicht eingehalten, kann nach Eurocode 4 [107] dennoch eine teilweise Verdübelung erfolgen. Allerdings sind dann die Berechnungen wesentlich aufwändiger. Die Längsschubkräfte werden dabei unter Berücksichtigung des elastischen Grenzmoments und der Belastungsgeschichte, sowie abhängig von Schnittgrößen und Widerständen vor Herstellung des Verbundes ermittelt. In dieser Arbeit wird dieser Fall nicht weiter behandelt.

3.4.4.6.5 Verteilung der Verbundmittel

Die Dübel dürfen zwischen benachbarten, kritischen Schnitten mit dem Abstand L_{cr} äquidistant verteilt werden, wenn die Querschnittsklasse 1 und 2, sowie die Mindestverdübelung mit L_{cr} statt L eingehalten ist und das plastische Grenzmoment des Verbundquerschnittes $M_{pl,Rd}$ nicht mehr als das 2,5-fache des plastischen Grenzmoments des Baustahlquerschnittes $M_{apl,Rd}$ beträgt. Da beim vorliegenden Slim-Floor-Träger der letzte Punkt oft nicht eingehalten ist, muss ein weiterer Schnitt zwischen den kritischen Schnitten bei der Ermittlung der verteilten Dübelanzahl berücksichtigt werden. Kritische Schnitte sind hier das Auflager und die Feldmitte, sowie zusätzlich die Viertelpunkte. Das Moment im Viertelpunkt bei einem Einfeldträger unter Gleichlast errechnet sich wie folgt:

$$M_{sd} = \frac{3 \cdot q \cdot L^2}{32} = 0,75 \cdot \frac{q \cdot L^2}{8} \quad (115)$$

3.4.4.6.6 Bauliche Durchbildung

Die folgenden Empfehlungen des Eurocode 4 ([107], Kap. 6.4) zur baulichen Durchbildung sollten eingehalten werden, wobei für d der Schaftdurchmesser des Kopfbolzendübels und für t die Blechdicke des Hohlprofils einzusetzen ist.

- Die Bewehrungslage unterhalb des Dübelkopfes soll einen Abstand von mindestens 30 mm zur Kopfunterkante besitzen.
- Die Betondeckung soll nicht kleiner als 20 mm und nicht kleiner als die Betondeckung nach Eurocode 2 [101] minus 5 mm sein. Es ist jedoch auch möglich ohne Betondeckung auszukommen, wobei dann der Korrosionsschutz und der Brandschutz besonders zu berücksichtigen sind [6].
- Bei Randträgern bzw. bei großen Öffnungen in Trägernähe ist eine entsprechende Querbewehrung erforderlich.
- Der Dübelabstand in Längsrichtung soll nicht größer als die 6-fache Betonplattendicke (über dem Hohlprofil) bzw. 800 mm sein.
- Der Abstand vom Dübelrand bis zum Flanschrand (bei Hohlprofilen ca. Ausrundungsbeginn) soll nicht kleiner als 20 mm sein.
- Die Dübelhöhe soll nicht kleiner als $3 \cdot d$ sein.

- Der Dübelabstand in Krafrichtung soll nicht kleiner als $5 \cdot d$ und senkrecht zur Krafrichtung nicht kleiner als $2,5 \cdot d$ sein.
- Bei Anordnung der Dübel neben den Profilstegen soll d den Wert $2,5 \cdot t$ nicht überschreiten. Nach [6] kann unter Berücksichtigung der Einspannung des Obergurtes in den Stegen des Hohlprofils ein größerer Wert zugelassen werden. Für UPE-Profile wird dort $3,15 \cdot t$ angegeben.
- Weitere Vorschriften und konstruktive Maßnahmen sind Eurocode 4 [107] oder den Zulassungen zu entnehmen.

3.4.4.6.7 Querbewehrung

Abhängig von der Anordnung der Dübel (ein- oder zweireihig) sind nach Eurocode 4 unterschiedliche Schnitte zu betrachten und die Längsschubtragfähigkeit entsprechend nachzuweisen. Aufgrund der variablen, geometrischen Anordnungsmöglichkeiten erfolgt hier keine generelle Berechnung.

Aufgrund der geringen Betondicke oberhalb des Hohlprofils ist jedenfalls eine zweilagige Bewehrung quer zum Träger erforderlich um die Längsschubkräfte zwischen Kopfbolzendübeln und Betongurt einleiten zu können.

Die Mindestbewehrung beträgt 0,2% der Betonfläche A_{cd} innerhalb der betrachteten Schnitte.

Bei Randträgern mit einem Abstand von unter 300 mm zwischen dem Betonrand und der ersten Dübelreihe soll die Querbewehrung mit Schlaufen ausgeführt werden, die so tief wie möglich verlegt werden. Der Abstand zwischen dem Betonrand und der ersten Dübelreihe soll nicht unter $6 \cdot d$ liegen.

Nähere Informationen dazu sind Eurocode 2 [101] und Eurocode 4 [107], sowie [6] zu entnehmen.

3.4.5 Gebrauchstauglichkeit im Endzustand

3.4.5.1 Verformungen

Die Ermittlung der Durchbiegungen erfolgt gemäß Eurocode 4 ([107], Kap. 5.2.1) für die seltene Einwirkungskombination bestehend aus den ständigen Lasten und der Nutzlast. Bei der Ermittlung der langfristigen Verformungen wird in Anlehnung an [6] die Nutzlast mit 50% angesetzt und für die kurzfristigen Verformungen mit 100%.

Nachgiebigkeiten in der Verbundfuge dürfen bei Tragwerken ohne Eigengewichtsverbund vernachlässigt werden, wenn nicht weniger als die Hälfte der Kopfbolzendübel für eine vollständige Verdübelung verwendet werden. Dies wird bei einer wirtschaftlichen Bemessung immer der Fall sein. Bis zu einer Verdübelung von 40% der vollständigen Verdübelung kann nach Eurocode 4 [107] eine vereinfachte Berücksichtigung erfolgen, die aber in der vorliegenden Arbeit nicht behandelt wird.

Reduktionszahl

Entsprechend Eurocode 3 [104] wird für den Gebrauchstauglichkeitsnachweis die Biegesteifigkeit des Verbundträgers mit einem ideellen Stahlquerschnitt ermittelt. Dabei wird die Steifigkeit des Betons mit der Reduktionszahl n abgemindert.

$$n = \frac{E_a}{E_c'} \quad (116)$$

Kriechen

Vereinfachend können für die näherungsweise Erfassung des Kriechens folgende Annahmen getroffen werden:

$$E_c' = E_{cm} \quad \text{für Kurzzeitbelastungen} \quad (117)$$

$$E_c' = \frac{E_{cm}}{3} \quad \text{für Langzeitbelastungen} \quad (118)$$

Aus [15] können weitere Reduktionszahlen für unterschiedliche Bedingungen und Beanspruchungsarten entnommen werden. Dort sind auch, ebenso wie in [6], genauere Berechnungen zur Berücksichtigung des Kriechens und Schwindens angeführt.

Schwinden

Nach Eurocode 4 [107] braucht das Schwinden bei Einfeldträgern nicht berücksichtigt werden, wenn das Schwindmaß den Wert $400 \cdot 10^{-6}$ nicht überschreitet. Ebenso kann nach Eurocode 4 das Endschwindmaß innerhalb von Gebäuden mit $325 \cdot 10^{-6}$ angesetzt werden. Der Einfluss des Schwindens kann daher vernachlässigt werden.

angewendete Reduktionszahlen

Die Reduktionszahlen ergeben sich daher zu

$$n_0 = \frac{E_a}{E_{cm}} \quad (119)$$

und

$$n_b = 3 \cdot \frac{E_a}{E_{cm}} \quad (120)$$

Ermittlung der Querschnittswerte unter Berücksichtigung der Reduktionszahlen

Für die Betonfläche A_c wird nach [6] mindestens die Höhe des Aufbetons über dem Hohlprofil und höchstens die Höhe bis zur plastischen Nulllinie berücksichtigt. Der gerissene Betonquerschnitt bleibt dabei, auf der sicheren Seite liegend, immer unberücksichtigt, wobei die Fläche des Hohlprofils nicht abgezogen wird. Tatsächlich ist der gerissene Bereich des Betons unter Gebrauchslast noch kleiner und die Steifigkeiten werden somit höher. Näheres siehe auch in [1], [36] und [126].

$$z < h_{ii} \rightarrow A_c = b_{eff} \cdot h_{ii} \quad (121)$$

bzw.

$$z \geq h_{ii} \rightarrow A_c = b_{eff} \cdot z \quad (122)$$

Unter Berücksichtigung der Reduktionszahlen folgt

$$A_{c,0} = \frac{A_c}{n_0} \quad (123)$$

und

$$A_{c,b} = \frac{A_c}{n_b} \quad (124)$$

Das Trägheitsmoment des Betongurts lautet

$$z < h_{ii} \rightarrow I_c = \frac{b_{eff} \cdot h_{ii}^3}{12} \quad (125)$$

bzw.

$$z \geq h_{ii} \rightarrow I_c = \frac{b_{eff} \cdot z^3}{12} \quad (126)$$

und nach Reduktion

$$I_{c,0} = \frac{I_c}{n_0} \quad (127)$$

und

$$I_{c,b} = \frac{I_c}{n_b} \quad (128)$$

Der Abstand von der Schwerlinie des Betons zur Schwerlinie des Gesamtstahlquerschnitts ergibt sich zu

$$z < h_{ii} \rightarrow z_{ac} = t_u + h + \frac{h_{ii}}{2} - z_a \quad (129)$$

bzw.

$$z \geq h_{ii} \rightarrow z_{ac} = t_u + h + h_{ii} - \frac{z}{2} - z_a \quad (130)$$

Die Gesamtfläche des Verbundquerschnittes ergibt sich zu

$$A_{i,0} = A_a + A_{c,0} \quad (131)$$

und

$$A_{i,b} = A_a + A_{c,b} \quad (132)$$

Der Abstand von der Schwerlinie des Betons zur Schwerlinie des reduzierten Verbundquerschnitts folgt mit

$$z_{i,0} = \frac{A_a \cdot z_{ac}}{A_{i,0}} \quad (133)$$

und

$$z_{i,b} = \frac{A_a \cdot z_{ac}}{A_{i,b}} \quad (134)$$

Das statische Moment des Betonquerschnitts bezüglich der Schwerlinie des reduzierten Verbundquerschnitts folgt mit

$$S_{i,0} = A_{c,0} \cdot z_{i,0} \quad (135)$$

und

$$S_{i,b} = A_{c,b} \cdot z_{i,b} \quad (136)$$

Daraus ergibt sich nun das Trägheitsmoment I_i des Verbundquerschnittes ohne Betonquerschnittsteile mit Zugspannungen:

$$I_{i,0} = I_{c,0} + I_a + S_{i,0} \cdot z_{ac} \quad (137)$$

und

$$I_{i,b} = I_{c,b} + I_a + S_{i,b} \cdot z_{ac} \quad (138)$$

Das Trägheitsmoment mit dem Index "0" wird für die Berechnung kurzfristiger Verformungsanteile verwendet, jenes mit dem Index "b" für langfristige Verformungsanteile.

Das statische Moment für den Schweißnahtnachweis (siehe Kap. 3.4.4.5) ergibt sich zu:

$$z < h_{ii} \rightarrow S_{i,b,u} = b_u \cdot t_u \cdot \left(\frac{t_u}{2} + h + \frac{h_{ii}}{2} - z_{i,b} \right) \quad (139)$$

bzw.

$$z \geq h_{ii} \rightarrow S_{i,b,u} = b_u \cdot t_u \cdot \left(\frac{t_u}{2} + h + h_{ii} - \frac{z}{2} - z_{i,b} \right) \quad (140)$$

Folgende Verformungsanteile und Gesamtverformungen werden ermittelt:

Kurzzeitverformung unter Dauerlast

$$\delta_I = \frac{5 \cdot g \cdot L_T^4}{384 \cdot E_a \cdot I_{i,0}} \quad (141)$$

Kurzzeitverformung unter Gesamlast

$$\delta_{II} = \frac{5 \cdot (g + q) \cdot L_T^4}{384 \cdot E_a \cdot I_{i,0}} \quad (142)$$

Langzeitverformung unter Dauerlast

$$\delta_{III} = \frac{5 \cdot (g + 0,5 \cdot q) \cdot L_T^4}{384 \cdot E_a \cdot I_{i,b}} \quad (143)$$

Langzeitverformung unter Gesamtlast

$$\delta_{IV} = \frac{5 \cdot (g + 0,5 \cdot q) \cdot L_T^4}{384 \cdot E_a \cdot I_{i,b}} + \frac{5 \cdot (0,5 \cdot g) \cdot L_T^4}{384 \cdot E_a \cdot I_{i,0}} \quad (144)$$

Vorkrümmung des Trägers (Vorschlag)

$$\delta_0 = \min \left\{ \delta_{III}; \frac{L_T}{250} \right\} \quad (145)$$

Trägerverformung zufolge ständiger Last

$$\delta_1 = \delta_I \quad (146)$$

Trägerverformung zufolge veränderlicher Last

$$\delta_2 = \delta_{IV} - \delta_1 \leq \frac{L_T}{300} \quad (147)$$

für Deckenträger allg. lt. Eurocode 3

Trägerverformung zufolge ständiger und veränderlicher Lasten

$$\delta_{\max} = -\delta_0 + \delta_1 + \delta_2 \leq \frac{L_T}{250} \quad (148)$$

für Deckenträger allg. lt. Eurocode 3

Hinweise zur Verringerung der Durchbiegungen des Verbundträgers sind z.B. in [6] zusammengestellt.

3.4.5.2 Schwingungen

Im Eurocode 4 sind die unteren Eigenfrequenzen für Büros und Wohnungen mit 3 Hz, für Turnhallen und Tanzsäle mit 5 Hz angegeben. Als Nachweis reicht die Einhaltung von Gesamtverformungen ($\delta_I + \delta_2$) unter den häufigsten Kombinationen. Im ersten Fall liegen diese bei maximal 28 mm und im zweiten Fall bei maximal 10 mm.

Es besteht auch die Möglichkeit die kleinste Eigenfrequenz vereinfacht zu ermitteln [27], [6].

$$f_T = \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \sqrt{\frac{\pi^4 \cdot E_a \cdot I_{i,0}}{m_T \cdot L_T^4}} \quad (149)$$

$$m_T = \frac{g}{9,81 m/s^2} \quad (150)$$

3.4.5.3 Rissbildung im Betongurt

Für Bauteile der Umweltklasse 1 (Innenräume von Wohn- und Bürogebäuden) nach Eurocode 2 [101] braucht im Allgemeinen kein Nachweis der Rissbreitenbeschränkung geführt werden.

3.5 Weitere Untersuchungen

3.5.1 Ergänzungen zum vorliegenden Programm

Da die Bemessung des Slim-Floor-Trägers in der vorliegenden Arbeit nur im Kaltzustand erfolgt, ist der Brandschutz noch zu untersuchen. Zusätzlich zu den im Kapitel 2.4.2 genannten Maßnahmen besteht die Möglichkeit einer Warmbemessung, bei der die Schwächung oder der Ausfall des Untergurtblechs und Teile des Steges in der Bemessung berücksichtigt werden. Weiters kann noch eine parallel zum Träger eingelegte Betonstahlbewehrung angerechnet werden, wobei dann eine iterative Bemessung erforderlich ist.

3.5.2 Mögliche Erweiterungen für die Zukunft

Um die Bauhöhe gering zu halten, wäre die Verwendung von liegenden Kopfbolzendübeln interessant. Diese wären dann an den Stegen des Hohlprofils zu befestigen (siehe Kap. 3.3.5.1). Bei den Randträgern würde sich so allerdings in der Regel ein asymmetrischer Anschluss ergeben.

Bewehrung, die parallel zum Stahlträger verlegt wird, ist auch in der Kaltbemessung, sowohl im Zug- als auch im Druckbereich des Verbundträgers zu berücksichtigen

Eine Erweiterung des Programms wäre auch auf Durchlaufträger möglich. Dies ist vor allem hinsichtlich der Verformungen interessant. Dabei sind unter anderem die Einstufung in die Querschnittsklassen (Untergurtbleche nicht zu dünn) und eine Momenten-Querkraft-Interaktion beim Auflager zu bedenken.

Die Betondecke quer zum Verbundträger kann auch als Durchlaufträger ausgeführt werden. Dabei ist die Querbeanspruchung des Hohlprofils vor allem in der Druckzone zu berücksichtigen [6].

Querschnitte der Klasse 3 und eventuell 4 könnten, vor allem bei hochfesten Stählen, einbezogen werden.

Im Zusammenhang mit höheren Querschnittsklassen, aber auch bei Trägern mit Eigengewichtsverbund und um eine teilweise Verdübelung uneingeschränkt (z.B. nicht duktile Verbundmittel, geringer Verdübelungsgrad) zu ermöglichen, wären ggf. elastische Berechnung im Bau- und Endzustand sinnvoll. Dabei ist auch die Belastungsgeschichte zu berücksichtigen.

Die Möglichkeit der Eingabe von Schnittgrößen z.B. nach einer Finite Elemente-Berechnung würde die wirtschaftliche Anwendung in der Praxis bedeutend verbessern. Der Nachweis sollte dann unabhängig von einfachen Einfeld- oder Durchlaufträgerbemessungen unter Gleichlasten möglich werden.

4 Bemessungsprogramm

Das Bemessungsprogramm "BemessungSFBHohlprofil.xls" bemisst Slim-Floor-Träger mit Hohlprofilen im Bau- und Endzustand. Dabei werden hochfeste Feinkornbaustähle bis zu S 460, unterschiedliche Stahlgüten des Profils und des Untergurtblechs, Innen- und Randträger sowie warm- und kaltgeformte Hohlprofile berücksichtigt. Für die Decke kommen alle Konstruktionen in Frage, die einen ungestörten Betondruckgurt ermöglichen. Als Tragsystem des Slim-Floor-Trägers sowie der Decke werden Einfeldträger berücksichtigt und die Querschnittswiderstände werden plastisch ermittelt.

Bei der Verwendung des Programms sind die Urheberrechte und sonstige gesetzliche Bestimmungen zu beachten.

**Für die Fehlerfreiheit der Programme und deren Dokumentation, sowie den Folgen aus deren Nutzung wird keinerlei Haftung übernommen.
Der Benutzer ist verpflichtet, jede seiner Berechnungen zu verifizieren.**

4.1 Systemvoraussetzungen, Installation und Voreinstellungen

Bei dem erarbeiteten Bemessungsprogramm handelt es sich um ein Microsoft Excel 2000[®] Arbeitsblatt. Die Berechnungen werden entweder von Funktionen in einzelnen Tabellenzellen oder mittels Visual Basic Code durchgeführt.

4.1.1 Systemvoraussetzungen

Die minimalen Systemvoraussetzungen entsprechen jenen von Microsoft Excel 2000[®]. Nähere Angaben sind der Beschreibung von Microsoft zu entnehmen. Die Dateigröße beträgt ca. 950 Kilobyte.

4.1.2 Installation

Die "Installation" erfolgt durch Kopieren der Arbeitsmappe auf die Festplatte. Die Datei selbst ist schreibgeschützt, so dass sie nicht unabsichtlich überschrieben werden kann. Das Speichern unter einem anderen Namen ist jederzeit möglich.

4.1.3 Voreinstellungen

Jede Excel-Datei kann Viren enthalten die entsprechende Schäden an Computer und Daten anrichten können. Um die Berechnungen durchführen zu können, ist es aber erforderlich Makros bzw. Visual Basic Code auszuführen. Die Herkunft der Berechnungstabelle sollte daher aus einer vertrauenswürdigen Quelle stammen und ein aktuelles Virenschutzprogramm sollte verwendet werden.

Zum Ausführen der Bemessung ist es erforderlich, die Sicherheitseinstellungen im Excel auf "Mittel" zu setzen. Dies erfolgt über das Menü Extras → Makro → Registrierkarte Sicherheit → Sicherheitsstufe → Mittel. Diese Einstellungen sollten keinesfalls auf "Niedrig" gesetzt werden. Danach wird beim Öffnen von Arbeitsmappen, die Makros enthalten, eine Warnmeldung gezeigt, unabhängig davon angezeigt, ob das Makro tatsächlich einen Virus enthält.

Der Zoomfaktor der Ansicht sollte so eingestellt werden, dass rechts neben dem Tabellenblatt auch die Erklärungen bildschirmfüllend dargestellt werden.

4.2 Arbeitsmappe

Die Arbeitsmappe besteht aus insgesamt 6 Arbeitsblättern:

- Bemessung von SFB-Trägern
- Teilsicherheitsbeiwerte
- Materialkennwerte
- Profiltabelle
- Verbundmittel
- Formelzeichen

Um Fehleingaben zu vermeiden, sind alle Zellen mit Ausnahme der vom Anwender zu ändernden gesperrt. Passwort wurde keines vergeben, da im Internet ohnehin Freeware existiert mit der dieser Passwortschutz innerhalb weniger Sekunden aufgehoben werden kann.

Beim Schließen der Datei werden die gewählten System- und Materialeinstellungen abgespeichert und stehen beim nächsten Öffnen wieder zur Verfügung.

4.2.1 Arbeitsblatt "Bemessung von SFB-Trägern"

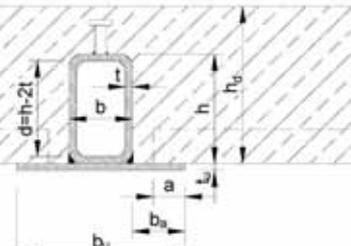
Im Arbeitsblatt "Bemessung von SFB-Trägern" erfolgen alle Benutzereingaben und die Berechnungen. Insgesamt werden im Zuge der Berechnungen 5 A4 Seiten erstellt, wobei die Eingaben nur auf der ersten Seite erfolgen.

Abbildung 49: Übersicht Arbeitsblatt "Bemessung von SFB-Trägern" des Bemessungsprogramms

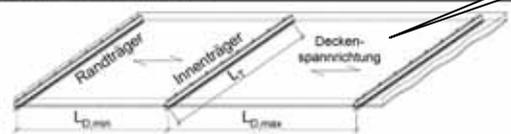
4.2.1.1 System- und Querschnittsangaben

TU WIEN	Institut für Hochbau und Industriebau Univ. Prof. A. Kolbitsch	Projektname	Firmenangaben
		Bauteilbezeichnung	
		Geschäftszahl: GZ	Bearbeiter: Gerhard Frei

SLIM-FLOOR-DECKEN
Bemessung von SFB-Trägern mit Hohlprofilen
 nach Eurocode 3 und 4

System- und Querschnittsangaben

Systemabmessungen						
Stützweite des Slim-Floor-Trägers L_T	6,00 m					
kleiner Abstand parallel zum Träger $L_{D,min}$	4,00 m					
großer Abstand parallel zum Träger $L_{D,max}$	5,00 m					
Charakteristische Belastung		Bemessungswerte der Belastung				
Eigengewicht Fertigteile $g_{1,Bau}$ bzw. g_1	1,25 kN/m²	Die Bemessung im Endzustand kann nach dem EC 4 oder nach dem NAD des EC 4 durchgeführt werden. Eurocode 4 Eingabe von p_{Bau} , wenn die Fertigteile im Bauzustand unterstellt werden, sonst "0".				
mittlere Aufbetonstärke für $g_{2,Bau}$ bzw. g_2	20,5 cm					
Nutzlast im Bauzustand $q_{1,Bau}$	1,50 kN/m²					
ständige Last im Endzustand g_3	1,50 kN/m²					
Nutzlast im Endzustand q_1	5,00 kN/m²					
Querschnittsdaten						
Stahlprofil						
Stahlgüte	Streckgrenze $f_{y,d}$ [N/mm ²]	Profilbezeichnung	Fertigung	Lage	Profilbreite b [mm]	Profilhöhe h [mm]
S 355	355	RHP 260x180x12,5	warm	liegend	260	180
Blechdicke $t_f = t_w$ [mm]	Gewicht [kg/m]	Fläche A_p [cm ²]	Trägheitsmoment I_p [cm ⁴]	Warmgeformte Hohlprofile sind auch im Kantenbereich uneingeschränkt schweißbar.		
12,5	80,1	102,0	5200			
Untergurtblech						Fertigteile
Stahlgüte	Streckgrenze $f_{y,d}$ [N/mm ²]	Breite b_u [mm]	Dicke t_u [mm]	Gewicht [kg/m]	Auflager a [cm]	
S 235 (t ≤ 40 mm)	235	400	10	31,4	4,0	
Deckenbeton		Betonstahl		Kopfbolzendübel		
Betongüte nach EC 4	f_{cd} [N/mm ²]	Deckenhöhe h_d [cm]	Stahlgüte	f_{yd} [N/mm ²]	Dübelbezeichnung d [mm] x l [mm]	f_u [N/mm ²]
C 25/30	15,0	25,5	BSt 550	478	16x75	450
Randträgerkenngrößen			Berechnung starten			
Überstand Deckenbeton b_u [cm]	Überstand Untergurtblech b_a [mm]					
0,0	0					

21.4.2004	Bemessung von SFB-Trägern mit Hohlprofilen	Seite 1/5
-----------	--	-----------

Abbildung 50: Bemessungsprogramm Arbeitsblatt "Bemessung von SFB-Trägern" – Seite 1: System- und Querschnittsangaben

4 Bemessungsprogramm

Seite 90

Die System- und Querschnittsangaben erfolgen auf Seite 1 des Arbeitsblattes "Bemessung von SFB-Trägern" (siehe Abb. 50).

Rechts neben dem Tabellenblatt befinden sich kurze, gelb hinterlegte Erklärungen zu den einzelnen Eingabe- und Ausgabezellen auf der linken Seite. Zusätzlich sind einzelne Zellen mit speziellen Kommentaren versehen die bei Bedarf eingeblendet werden können.

Alle **fett** formatierten Zellen (mit Ausnahme der Überschriften) enthalten Werte, die im Zuge der Berechnung verändert werden. Sind diese zusätzlich **blau** eingefärbt, können sie vom Anwender verändert werden. Zusätzliche Hilfestellungen werden bei Zellen mit einem roten Dreieck  rechts oben sichtbar, wenn man den Cursor über die Zelle führt.

Achtung! Die Funktion Rückgängig kann in der gesamten Arbeitsmappe wegen des Blattschutzes nicht verwendet werden.

Folgende nummerierte Punkte beziehen sich auf die eingekreisten Zahlen in Abb. 50.

- (1) Zu Beginn der Berechnungen kann die Kopfzeile bearbeitet werden. Diese bestehen aus dem Projektnamen, der Bauteilbezeichnung, der Geschäftszahl, dem Namen des Bearbeiters und aus den Firmenangaben. Diese Zeilen werden auf jeder weiteren Seite automatisch angepasst.
- (2) In einer Grafik sind die wichtigsten Querschnittsabmessungen dargestellt. Wie dort bereits zu erkennen ist, können sowohl Innen- wie auch Randträger berechnet werden.
- (3) In der zweiten Grafik sind die Stützweiten der Träger und Deckenfelder dargestellt.

- (4) Zuerst erfolgt die Angabe der Trägerstützweite und der Spannweiten der angrenzenden Deckenfelder. In beiden Fällen können nur Einfeldträger berücksichtigt werden. Wenn der kleinere Trägerabstand $L_{D,min} = 0$ m beträgt, handelt es sich um einen Randträger. Dann sind zusätzliche Eingaben am Ende dieser Tabellenseite notwendig.
- (5) In diesem Bereich werden alle erforderlichen Angaben zu den Belastungen gemacht. Dabei handelt es sich um die charakteristischen Kenngrößen, die vom Programm entsprechend vervielfacht und beaufschlagt werden.
In der ersten Zelle wird das Eigengewicht der Deckenfertigteile in kN/m^2 angegeben.
In der zweiten Zelle wird die mittlere Aufbetonstärke angegeben, wodurch der geringere Betonquerschnitt bei Trapezblechen berücksichtigt werden kann.
In der dritten Zelle erfolgt die Eingabe der Nutzlast im Bauzustand. Dies kann z.B. auf der sicheren Seite liegend mit $1,50 \text{ kN/m}^2$ erfolgen. Bei größeren Decken- und Trägerspannweiten sollte der Wert abgemindert werden. Nach DIN 4421, ([127], Punkt 6.3.2.1) "Ersatzlasten aus Arbeitsbetrieb", errechnet sich die Auflast zu $0,75 \text{ kN/m}^2 + \sim 1,50 \text{ kN/m}^2$ auf einer Fläche von $3 \times 3 \text{ m}$.
In der vierten Zelle wird die ständige Last im Endzustand wie z.B. die Fußbodenkonstruktion angegeben.
In der fünften Zelle erfolgt noch die Eingabe der Nutzlast im Endzustand inkl. allfälliger Zwischenwandzuschläge.
- (6) Mit dieser Umschaltfläche kann zwischen der Berechnung nach Eurocode 4 oder dem Nationalen Anwendungsdokument des Eurocode 4 gewählt werden. Die jeweils aktuelle Berechnungsmethode wird in der Umschaltfläche dargestellt. Sie kann daher folgende Zustände annehmen:



mit dieser Einstellung erfolgt die Bemessung nach Eurocode 4



mit dieser Einstellung erfolgt die Bemessung nach dem NAD zum Eurocode 4

Abbildung 51: Umschaltfläche zur Auswahl der Bemessung zugrundeliegenden Norm

- (7) Wenn die Decke im Bauzustand unterstellt wird, können in diesen beiden Zellen die Ergebnisse aus einer Durchlaufträgerberechnung eingegeben werden. Die Auflast auf dem Untergurtblech im Bauzustand wird dann nicht vom Programm ermittelt, sondern aus diesen beiden Zellen übernommen. Bei der Durchlaufträgerberechnung sind das Eigengewicht der Fertigteile, der Aufbeton und die Nutzlast im Bauzustand zu berücksichtigen. Da zwischen ständigen und veränderlichen Lasten nicht unterschieden wird, sind die Teilsicherheitsbeiwerte zu berücksichtigen. Daher sind die Bemessungswerte einzugeben. In der ersten Zelle erfolgt wieder die Eingabe der kleineren Belastung bzw. der Wert 0, wenn es sich um einen Randträger handelt.
- (8) In diesem Listenfeld erfolgt die Auswahl der Stahlgüte für das Hohlprofil. Die Stahlgüten sind im Arbeitsblatt "Materialkennwerte" festgelegt und können dort um 3 weitere ergänzt werden (siehe Kap. 4.2.3).

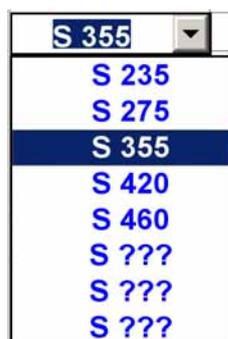


Abbildung 52: Listenfeld mit den Stahlgüten für das Hohlprofil

Bei Hohlprofilen stellt die Stahlgüte S 355 derzeit die Standardgüte dar. Die nebenstehende Zelle mit dem Wert der Streckgrenze wird automatisch angepasst.

- (9) In diesem Listenfeld erfolgt die Auswahl des Hohlprofilquerschnitts. Hier ist ebenfalls die Eingabe zusätzlicher Querschnitte in der Profiltabelle möglich (siehe Kap. 4.2.4).

RHP 500x300x20,0	warm
RHP 500x300x10,0	warm
RHP 500x300x12,5	warm
RHP 500x300x16,0	warm
RHP 500x300x20,0	warm
QHP 100x100x4,0	kalt
QHP 100x100x5,0	kalt
QHP 100x100x6,0	kalt
QHP 100x100x7,0	kalt

Abbildung 53: Listenfeld mit den Querschnitten für das Hohlprofil

Aus Gründen der Schweißbarkeit werden nach Eurocode 3 nur Hohlprofile mit einer Wandstärke ab 4,0 mm berücksichtigt. Bei der Auswahl wird zwischen warm- und kaltgeformten Querschnitten unterschieden, um ev. Einschränkungen bei der Schweißung festzustellen. Diese uneingeschränkte Schweißbarkeit der eingearbeiteten Profile wird im Programm überprüft (siehe Kap. 4.2.3) und in der großen Zelle rechts unterhalb angegeben. Folgende 3 Fälle sind möglich:

Warmgeformte Hohlprofile sind auch im Kantenbereich uneingeschränkt schweißbar.

Abbildung 54: Hinweis auf die Schweißung des gewählten Profils; Zelleninhalt bei warmgefertigten Profilen

Der Grenzwert $\min r/t$ nach EC 3 ist bei diesem Profil eingehalten. Dieses kaltgeformte Hohlprofil ist daher uneingeschränkt im Kantenbereich schweißbar.

Abbildung 55: Hinweis auf die Schweißung des gewählten Profils; Zelleninhalt bei kaltgefertigten Profilen, wenn keine Einschränkung besteht

Achtung! Der Grenzwert $\min r/t$ nach EC 3 ist nicht eingehalten. Dieses kaltgeformte Hohlprofil ist daher nur normalgeglüht im Kantenbereich schweißbar.

Abbildung 56: Hinweis auf die Schweißung des gewählten Profils; Zelleninhalt bei kaltgefertigten Profilen, wenn eine Einschränkung besteht

Im letzten Fall (Abbildung 56) wird der Zelltext rot geschrieben und eine Meldung erscheint, die mit OK bestätigt werden muss.



Abbildung 57: Meldung bezüglich der Schweißbeignung bei kaltgefertigten Profilen wenn eine Einschränkung besteht

Die Zelle mit der Fertigungsart wird automatisch angepasst.

- (10) Mit dieser Umschaltfläche kann das Hohlprofil um 90° gedreht, also liegend eingebaut werden. Die jeweils aktuelle Lage wird in der Umschaltfläche dargestellt. Sie kann daher folgende Zustände annehmen:



diese Einstellung bedeutet,
das Hohlprofil wird liegend verwendet



diese Einstellung bedeutet,
das Hohlprofil wird stehend verwendet

Abbildung 58: Umschaltfläche zur Auswahl der Position des Hohlprofils

Hierauf werden die Querschnittswerte in den Zellen rechts und darunter entsprechend angepasst.

- (11) In diesem Listenfeld erfolgt die Auswahl der Stahlgüte für das Untergurtblech. Die Stahlgüten sind im Arbeitsblatt "Materialkennwerte" festgelegt und können dort um 3 weitere ergänzt werden (siehe Kap. 4.2.3). Neben den Normwerten unter Berücksichtigung unterschiedlicher Blechdicken, wurden auch Firmenangaben zu hochfesten Stählen eingearbeitet. In jedem Fall wurden dickenabhängige Werte bis zu einer Blechdicke von ca. 60 mm berücksichtigt.



Abbildung 59: Listenfeld zur Auswahl der Stahlgüte für das Untergurtblech

Das Zeichen \leq wird von Excel nicht immer korrekt, manchmal als = dargestellt. Dies hat auf die Berechnung aber keinen Einfluss. Die Zelle mit dem Wert der Streckgrenze wird automatisch angepasst.

- (12) Hier werden die Breite und Dicke des Untergurtbleches eingegeben. Das Gewicht wird dann automatisch ermittelt.
- (13) In dieser Zelle erfolgt die Eingabe der Auflagerbreite der Fertigteilelemente oder der Profilbleche. Die Lastresultierende im Bauzustand wird im Abstand von einem Drittel dieses Wertes, gemessen vom Blechrand, angenommen.
- (14) In diesem Bereich erfolgen die notwendigen Eingaben zum Deckenbeton. Zuerst wird aus einem Listenfeld die Betongüte ausgewählt. Die Betongüten sind im Arbeitsblatt "Materialkennwerte" festgelegt und können dort um 3 weitere ergänzt werden (siehe Kap. 4.2.3), die aber dann nicht mit dem NAD zum Eurocode 4 übereinstimmen.

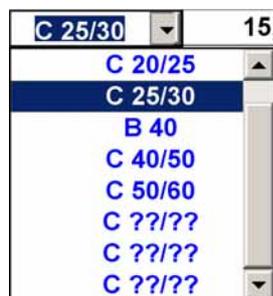


Abbildung 60: Listenfeld zur Auswahl der Betongüte des Deckenfeldes

Der Bemessungswert der Betondruckfestigkeit wird automatisch angepasst.

Danach ist noch die Eingabe der Gesamtdeckenhöhe erforderlich. Aus diesem Wert wird unter Abzug der Hohlprofilhöhe die Dicke des Betongurtes über dem Hohlprofil ermittelt. Demnach besteht kein zwingender Zusammenhang zur Aufbetonhöhe bei der Lasteingabe.

- (15) In diesem Listenfeld wird die Güte des Betonstahls ausgewählt. Drei Möglichkeiten stehen zur Verfügung, die wieder im Arbeitsblatt "Materialkennwerte" festgelegt sind (siehe Kap. 4.2.3).



Abbildung 61: Listenfeld zur Auswahl der Betonstahlgüte für die Deckenbewehrung

Der Bemessungswert der Festigkeit des Betonstahls an der Streckgrenze wird automatisch angepasst.

- (16) Hier werden die Kopfbolzendübel ausgewählt. Die Auswahl ist im Arbeitsblatt "Verbundmittel" festgelegt, wo die Eingabe zusätzlicher Dübel möglich ist (siehe Kap. 4.2.5). Bei den Verbundmitteln sind Kopfbolzendübel bis zum Durchmesser von 25 mm berücksichtigt. Dies widerspricht zwar dem Eurocode 4, entspricht aber dem Stand der Technik.

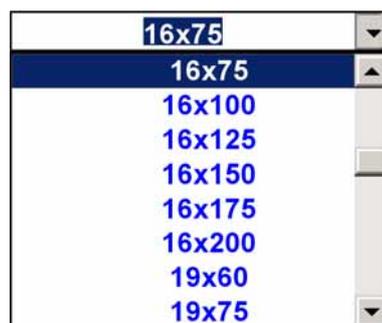


Abbildung 62: Listenfeld zur Auswahl der Kopfbolzendübel

Nach der Eingabe werden zwei Bedingungen für die Berücksichtigung einer teilweisen Verdübelung mit diesem Programm geprüft. Werden diese nicht eingehalten, erscheinen Meldungen die mit OK bestätigt werden müssen.

Wenn die Bedingung $h \geq 4 \cdot d$ nicht eingehalten ist, erscheint die in Abb. 63 gezeigte Meldung.



Abbildung 63: Meldung die erscheint wenn die erste Bedingung nicht eingehalten ist

Wenn die Bedingung $16 \leq d \leq 22$ (25) nicht eingehalten ist, erscheint die in Abb. 64 dargestellte Meldung.



Abbildung 64: Meldung die erscheint wenn die zweite Bedingung nicht eingehalten ist

Auch die weiteren Grenzabmessungen des Eurocode 4 sind zu berücksichtigen.

Die Zugfestigkeit wird automatisch angepasst, beträgt jedoch bei den vorgegebenen Dübeln immer 450 N/mm^2 .

- (17) Diese Eingaben sind nur für Randträger erforderlich. Erst erfolgt die Eingabe des Überstands des Deckenbetons für die Ermittlung der mitwirkenden Breite im Endzustand. Der Abstand zwischen dem Betonrand und der ersten Dübelreihe soll nicht $< 6 \cdot d$ des Kopfbolzendübels betragen.

Danach ist die Eingabe des Überstands des Untergurtblechs notwendig. Bei einem Randträger sollte der äußere Randüberstand des Untergurtblechs mindestens $2 \cdot a + 3$ [mm] betragen.

Bei Innenträgern können diese Werte aus den anderen Angaben ermittelt werden, weshalb diese Eingaben nicht verwendet werden.

- (18) Nachdem alle Eingaben erfolgt sind, kann durch einen Klick auf diese Befehlsschaltfläche die Berechnung für den Bau und den Endzustand gestartet werden. Achtung! Die Berechnung wird nicht automatisch aktualisiert, wenn Eingabewerte geändert werden. Vor dem Drucken sollte daher sicherheitshalber diese Schaltfläche nochmals gedrückt werden.



Abbildung 65: Befehlsschaltfläche zum Start der Berechnungen

Nicht alle Eingaben werden durch das Programm auf Sinnhaftigkeit geprüft. Wurden bei der Eingabe notwendige Werte weggelassen oder "sinnlose" Angaben gemacht, können Probleme bei der Berechnung auftreten, die bis zu einem Programmabsturz führen können.

Die Befehlsschaltfläche "Berechnung starten" wird nicht gedrückt.

(19) Im linken Bereich der Fußzeile wird das aktuelle Datum automatisch eingefügt und kann vom Anwender geändert werden.

(20) Im rechten Bereich der Fußzeile befindet sich die fix vorgegebene Seitenzahl.

Auf den folgenden 4 Tabellenseiten des Arbeitsblattes "Bemessung von SFB-Trägern" werden die Berechnungsergebnisse wiedergegeben. Diese Tabellenseiten sind in den Kapiteln 4.2.1.2 und 4.2.1.3 abgebildet. Die Berechnungen und Nachweise sind in Kapitel 3 ausführlich beschrieben.

Wenn Nachweise nicht eingehalten werden, dann erfolgt eine Warnung in Form einer Nachricht analog zu den bereits beschriebenen. Die Nachweise werden weiters in den entsprechenden Zellen rot dargestellt.

Wird eine wesentliche Bedingung nicht eingehalten, die erforderlich ist um die Berechnungen mit diesem Programm durchführen zu können, erscheint ebenfalls eine Nachricht und die rote Darstellung der Bedingung. Zusätzlich wird die Berechnung aber abgebrochen oder teilweise nicht ausgeführt. Dies betrifft folgende zwei Bereiche:

Seite 2: Überprüfung der Querschnittsklassen

Wenn der Querschnitt nicht zumindest in die Klasse 2 eingestuft werden kann, dann ist nach Eurocode 4 keine plastische Berechnung mehr zulässig. Da in dem Programm aber keine elastische Berechnung vorgesehen ist, wird die gesamte Berechnung beendet. Alle folgenden Nachweiszellen sind leer.

Seite 5: Verbundmittel – Kopfbolzendübel / Teilweise Verdübelung

Wird eine der drei angeführten Bedingungen nicht eingehalten, so ist die Ermittlung der Dübelanzahl für eine teilweise Verdübelung in diesem Programm nicht möglich. Die nachfolgende Verteilung der Dübel kann daher nicht berechnet werden und die Zellen bleiben leer.

Die Grafiken mit der Darstellung der Nulllinien auf der Seite 2 und 4 werden entsprechend dem Berechnungsergebnis angepasst. Dabei erfolgt aber nur eine symbolische Darstellung des Querschnitts ohne Berücksichtigung der gewählten Querschnittsabmessungen. Die Grafik dient nur dazu, die Lage der Nulllinie im Querschnitt qualitativ richtig darzustellen.

4.2.1.2 Bemessung im Bauzustand

TU WIEN	Institut für Hochbau und Industriebau Univ. Prof. A. Kolbitsch	Projektname		Firmenangaben
		Bauteilbezeichnung		
		Geschäftszahl: GZ	Bearbeiter: Gerhard Frei	

Bemessung im Bauzustand	
nach Eurocode 3	
Tragsicherheit im Bauzustand	
Bemessungswerte der Belastungen	
Eigengewicht des Stahlträgers (Profil und Untergurtblech)	1,51 kN/m
Abstand L_D parallel zum Träger	4,00 m 5,00 m
ständige Flanschl原因 durch Fertigteile und Aufbeton g_{Bau}	17,77 kN/m 22,21 kN/m
veränderliche Flanschl原因 während des Betonierens q_{Bau}	4,50 kN/m 5,63 kN/m
Summen der Gesamtstreckenlast p_{Bau}	22,27 kN/m 27,83 kN/m
Bemessungsschnittgrößen	
maximales Biegemoment M_{Sd} des Trägers in Feldmitte	232,22 kNm
maximale Querkraft V_{Sd} des Trägers am Auflager	154,81 kN
maximales Torsionsmoment $M_{T,Sd}$ des Trägers am Auflager	5,20 kNm
maximale Biegemoment $m_{Sd,u}$ im Untergurtblech	1,58 kNm/m
maximale Querkraft $v_{Sd,u}$ im Untergurtblech	27,83 kN/m
Ermittlung der plastischen Nulllinie	
Die Nulllinie liegt im Steg und der Nulllinienabstand z beträgt 47,04 mm .	
Überprüfung der Querschnittsklassen	
Beiwert für den Profilquerschnitt:	$\epsilon = \sqrt{(235/f_y)} = 0,814$
Der Steg (beansprucht auf Biegung und Druck) wird in Klasse 1 eingestuft.	
$d/t_w = 12 \leq 32 = 396 \cdot \epsilon / (13 \cdot \alpha - 1)$; $\alpha = 0,84$	
Eine plastische Berechnung ist daher möglich!	
Der Flansch (bei Biegebeanspruchung des Querschnittes) wird in Klasse 1 eingestuft.	
$(b - 3 \cdot r_f) / t_f = 18 \leq 27 = 33 \cdot \epsilon$	
Eine plastische Berechnung ist daher möglich!	
Der Gesamtquerschnitt wird in Klasse 1 eingestuft.	
Einfluss der Querbiegung im Untergurtblech	
Abminderung Ψ der Untergurtblechdicke t_u	0,920
Reduzierte Dicke des Untergurtblechs $t_{u,red} = \Psi \cdot t_u$	9,20 mm
Ermittlung der plastischen Nulllinie mit reduzierter Untergurtblechdicke	
Die Nulllinie liegt im Steg und der Nulllinienabstand z beträgt 50,49 mm .	
Symbolische Darstellung der Nulllinienlage (unmaßstäblich)	

21.4.2004	Bemessung von SFB-Trägern mit Hohlprofilen	Seite 2/5
-----------	--	-----------

Abbildung 66: Bemessungsprogramm Arbeitsblatt "Bemessung von SFB-Trägern" – Seite 2:
Bemessung im Bauzustand – Teil 1

	Institut für Hochbau und Industriebau Univ.Prof. A. Kolbitsch	Projektname		Firmenangaben
		Bauteilbezeichnung		
		Geschäftszahl: GZ	Bearbeiter: Gerhard Frei	

Bemessung im Endzustand nach Eurocode 4	
Verbundmittel - Kopfbolzendübel	
Die Tragfähigkeit P_{Rd} eines Kopfbolzendübels beträgt 57,91 kN.	
<u>Vollständige Verdübelung</u>	
Bei vollständiger Verdübelung sind 38 Dübel je Trägerhälfte erforderlich.	
<u>Verteilung der Dübel</u>	
Da $M_{pl,Rd} \leq 2,5 \cdot M_{apl,Rd}$, können die Dübel über die gesamte Trägerhälfte gleichmäßig verteilt werden.	
Im Bereich 1 sind 19,0 Dübel aufzuteilen. Im Bereich 2 sind 19,0 Dübel aufzuteilen.	
<u>Teilweise Verdübelung</u>	
Die Bedingung $h \geq 4 \cdot d$ ist eingehalten.	
Die Bedingung $16 \leq d \leq 22$ (25) ist eingehalten.	
Die Bedingung $A_{Untergurt} > 3 \cdot A_{Obergurt}$ ist eingehalten.	
Bei teilweiser Verdübelung sind 22 Dübel je Trägerhälfte erforderlich.	
<u>Verteilung der Dübel</u>	
Da $M_{pl,Rd} \leq 2,5 \cdot M_{apl,Rd}$, können die Dübel über die gesamte Trägerhälfte gleichmäßig verteilt werden.	
Im Bereich 1 sind 11,0 Dübel aufzuteilen. Im Bereich 2 sind 11,0 Dübel aufzuteilen.	
Querbewehrung	
Abhängig von der gewählten Dübelanordnung ist eine zweilagige Bewehrung quer zum Träger erforderlich. Die Berechnung sollte abhängig von der Dübelausteilung nach Eurocode 4 oder Eurocode 2 erfolgen.	
Gebrauchstauglichkeit im Endzustand	
Durchbiegungen	
Kurzzeitverformung unter Dauerlast: $\delta = 11,0$ mm	
Kurzzeitverformung unter Gesamtlast: $\delta = 17,8$ mm	
Langzeitverformung unter Dauerlast: $\delta = 22,1$ mm	
Langzeitverformung unter Gesamtlast: $\delta = 25,4$ mm	
Vorkrümmung des Trägers (Vorschlag): $\delta_0 = 22,1$ mm $\leq 24,0$ mm = $L_T/250$	
Trägerverformung zufolge ständiger Last: $\delta_1 = 11,0$ mm	
Trägerverformung zufolge veränderlicher Last: $\delta_2 = 14,4$ mm $\leq 20,0$ mm = $L_T/300$	
Trägerverformung zufolge ständiger und veränderlicher Lasten: $\delta_{max} = 3,4$ mm $\leq 24,0$ mm = $L_T/250$	
Schwingungen	
<u>Kleinste Eigenfrequenz des Verbundträgers</u>	
$f_T = 5,3$ Hz ≥ 3 Hz → für Büros und Wohnungen geeignet	
$f_T = 5,3$ Hz ≥ 5 Hz → für Turnhallen und Tanzsäle geeignet	
Zusätzliche Berechnungen und Anmerkungen des Anwenders	

21.4.2004	Bemessung von SFB-Trägern mit Hohlprofilen	Seite 5/5
-----------	--	-----------

Abbildung 69: Bemessungsprogramm Arbeitsblatt "Bemessung von SFB-Trägern" – Seite 5:
Bemessung im Endzustand – Teil 2

4.2.2 Arbeitsblatt "Teilsicherheitsbeiwerte"

Im Arbeitsblatt "Teilsicherheitsbeiwerte" sind die vom Programm benötigten Teilsicherheitsbeiwerte sowohl für die Einwirkungsseite als auch für die Widerstandsseite nach Eurocode 3 [104] und Eurocode 4 [107] angegeben (Tabellen 1 bis 4).

Tabelle 1: Teilsicherheitsbeiwerte für Einwirkungen auf Tragwerke für ständige und vorübergehende Bemessungssituationen nach Eurocode 3 [1] und Eurocode 4 [2]			
	ständige Einwirkungen γ_G	veränderliche Einwirkungen γ_Q	
		führende veränderliche Einwirkung	begleitende veränderliche Einwirkungen
günstige Auswirkung $\gamma_{F.inf}$	1,0	0,0	0,0
ungünstige Auswirkung $\gamma_{F.sup}$	1,35	1,5	1,5

Tabelle 2: Teilsicherheitsbeiwerte für Einwirkungen auf Tragwerke für ständige und vorübergehende Bemessungssituationen nach dem Nationalen Anwendungsdokument (NAD) zum Eurocode 4 [2]			
	ständige Einwirkungen γ_G	veränderliche Einwirkungen γ_Q	
		führende veränderliche Einwirkung	begleitende veränderliche Einwirkungen
günstige Auswirkung $\gamma_{F.inf}$	1,0	0,0	0,0
ungünstige Auswirkung $\gamma_{F.sup}$	1,4	1,4	1,4

Tabelle 3: Teilsicherheitsbeiwerte für Tragfähigkeiten und Werkstoffeigenschaften nach Eurocode 3 [1] und Eurocode 4 [2]						
Kombination	Baustahl		Beton	Betonstahl	Profilblech	Dübel
	γ_a	γ_{Rd}	γ_c	γ_s	γ_{sp}	γ_v
grundlegend	1,1	1,1	1,5	1,2	1,1	1,25

Tabelle 4: Teilsicherheitsbeiwerte für Tragfähigkeiten und Werkstoffeigenschaften nach dem Nationalen Anwendungsdokument (NAD) zum Eurocode 4 [2]						
Kombination	Baustahl		Beton	Betonstahl	Profilblech	Dübel
	γ_a	γ_{Rd}	γ_c	γ_s	γ_{sp}	γ_v
grundlegend	1,0	1,1	1,5	1,2	1,1	1,25

Quellenangaben:

[1] ÖNORM ENV 1993-1-1:1996 07 01:
Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Allgemeine Bemessungsregeln, Bemessungsregeln für den Hochbau

[2] ÖNORM ENV 1994-1-1:1999 09 01:
Eurocode 4: Bemessung und Konstruktion von Verbundtragwerken aus Stahl und Beton – Allgemeine Bemessungsregeln, Bemessungsregeln für den Hochbau

Abbildung 70: Bemessungsprogramm Arbeitsblatt "Teilsicherheitsbeiwerte"

In diesem Arbeitsblatt sind keine Veränderungen durch den Anwender notwendig und daher auch nicht vorgesehen. Das Arbeitsblatt ist geschützt und kann im Querformat gedruckt werden.

4.2.3 Arbeitsblatt "Materialkennwerte"

Im Arbeitsblatt "Materialkennwerte" sind die benötigten Materialkennwerte für den Baustahl, den Beton und den Betonstahl nach Eurocode 3 [104] und Eurocode 4 [107] festgelegt (Tabellen 5 bis 8).

Tabelle 5: Nennwerte der Streckgrenze f_y und der Zugfestigkeit f_u für warmgewalzte Stahlprofile und warm- bzw. kaltgefertigte Hohlprofile [1], [2], [3], [4]

Stahlgüte	Norm	f_y [N/mm ²]	f_u [N/mm ²]	E_s [N/mm ²]	β_w	Anmerkungen
S 235	EN 10025	235	360	210.000	0,8	Kennwerte nach Eurocode 3
S 275	EN 10025	275	430	210.000	0,85	Kennwerte nach Eurocode 3
S 355	EN 10025	355	510	210.000	0,9	Kennwerte nach Eurocode 3
S 420	EN 10113	420	500	210.000	1,0	Kennwerte nach Eurocode 3
S 460	EN 10113	460	530	210.000	1,0	Kennwerte nach Eurocode 3
S ???	frei für die Eingabe zusätzlicher Stähle					
S ???	frei für die Eingabe zusätzlicher Stähle					
S ???	frei für die Eingabe zusätzlicher Stähle					

Tabelle 6: Nennwerte der Streckgrenze f_y und der Zugfestigkeit f_u für warmgewalzte Stahlbleche [1], [2], [3], [4], [5]

Stahl	Norm	f_y [N/mm ²]	f_u [N/mm ²]	E_s [N/mm ²]	β_w	Anmerkungen
S 235 (t ≤ 40 mm)	EN 10025	235	360	210.000	0,8	Kennwerte nach Eurocode 3
S 235 (40 mm < t ≤ 100 mm)	EN 10025	215	340	210.000	0,8	Kennwerte nach Eurocode 3
S 275 (t ≤ 40 mm)	EN 10025	275	430	210.000	0,85	Kennwerte nach Eurocode 3
S 275 (40 mm < t ≤ 100 mm)	EN 10025	255	410	210.000	0,85	Kennwerte nach Eurocode 3
S 355 (t ≤ 40 mm)	EN 10025	355	510	210.000	0,9	Kennwerte nach Eurocode 3
S 355 (40 mm < t ≤ 100 mm)	EN 10025	335	490	210.000	0,9	Kennwerte nach Eurocode 3
S 420 (t ≤ 40 mm)	EN 10113	420	500	210.000	1,0	Kennwerte nach Eurocode 3
S 420 (40 mm < t ≤ 63 mm)	EN 10113	390	500	210.000	1,0	Kennwerte nach Eurocode 3
S 460 (t ≤ 40 mm)	EN 10113	460	530	210.000	1,0	Kennwerte nach Eurocode 3
S 460 (40 mm < t ≤ 63 mm)	EN 10113	430	530	210.000	1,0	Kennwerte nach Eurocode 3
DI-MC 420 (8 mm < t ≤ 16 mm)	EN 10113	420	500	210.000	1,0	Kennwerte: DI-MC der Dillinger Hütte GTS
DI-MC 420 (16 mm < t ≤ 40 mm)	EN 10113	400	500	210.000	1,0	Kennwerte: DI-MC der Dillinger Hütte GTS
DI-MC 420 (40 mm < t ≤ 63 mm)	EN 10113	390	500	210.000	1,0	Kennwerte: DI-MC der Dillinger Hütte GTS
DI-MC 460 (8 mm < t ≤ 16 mm)	EN 10113	460	530	210.000	1,0	Kennwerte: DI-MC der Dillinger Hütte GTS
DI-MC 460 (16 mm < t ≤ 40 mm)	EN 10113	440	530	210.000	1,0	Kennwerte: DI-MC der Dillinger Hütte GTS
DI-MC 460 (40 mm < t ≤ 63 mm)	EN 10113	430	530	210.000	1,0	Kennwerte: DI-MC der Dillinger Hütte GTS
XABO 460 (t ≤ 35 mm)	EN 10113	460	530	210.000	1,0	Kennwerte: XABO® von ThyssenKrupp Stahl
XABO 460 (35 mm < t ≤ 50 mm)	EN 10113	440	530	210.000	1,0	Kennwerte: XABO® von ThyssenKrupp Stahl
XABO 460 (50 mm < t ≤ 60 mm)	EN 10113	420	530	210.000	1,0	Kennwerte: XABO® von ThyssenKrupp Stahl
DILLIMAX 460 (6 mm < t ≤ 50 mm)	EN 10137	460	550	210.000	1,0	Kennwerte: DILLIMAX® der Dillinger Hütte GTS
DILLIMAX 460 (50 mm < t ≤ 100 mm)	EN 10137	440	550	210.000	1,0	Kennwerte: DILLIMAX® der Dillinger Hütte GTS
S ???	frei für die Eingabe zusätzlicher Stähle					
S ???	frei für die Eingabe zusätzlicher Stähle					
S ???	frei für die Eingabe zusätzlicher Stähle					

Tabelle 7: Kennwerte des Betons nach Tabelle NAD 3 des Eurocode 4 [6]

Betongüte	nach EC 4/NAD	f_{ck} [N/mm ²]	f_{tdk} [N/mm ²]	f_{td} [N/mm ²]	E_{cm} [N/mm ²]
C 16/20	B 20 / B 225	20	17,6	10,0	27.500
C 20/25	B 25	25	22,1	12,5	29.000
C 25/30	B 30 / B 300	30	26,5	15,0	30.500
B 40	B 40 / B 400	40	35,3	20,0	32.500
C 40/50	B 50 / B 500	50	44,1	25,0	35.000
C 50/60	B 60 / B 600	60	52,9	30,0	37.000
C ???/???	frei für die Eingabe zusätzlicher Betone				
C ???/???	frei für die Eingabe zusätzlicher Betone				
C ???/???	frei für die Eingabe zusätzlicher Betone				

Tabelle 8: Kennwerte des Betonstahls nach Tabelle NAD 3 des Eurocode 4 [6]

Betonstahlgüte	f_{yk} [N/mm ²]	f_{pt} [N/mm ²]	E_s [N/mm ²]
BSt 500	500	435	210.000
BSt 550	550	478	210.000
BSt 600	600	522	210.000

Abbildung 71: Bemessungsprogramm Arbeitsblatt "Materialkennwerte" – Tabellen

Quellenangaben:

- [1] ÖNORM ENV 1993-1-1:1996 07 01:
Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Allgemeine Bemessungsregeln, Bemessungsregeln für den Hochbau
- [2] ÖNORM ENV 1993-1-1/A1:1996 07 01:
Eurocode 3: Annex D: Verwendung von Stahl S 460 und S 420, Annex K: Anschlüsse mit Hohlprofilen in Fachwerken
- [3] ÖNORM EN 10025:1994 03 01:
Warmgewalzte Erzeugnisse aus unlegierten Baustählen – Technische Lieferbedingungen (enthält Änderung A1:1993)
- [4] ÖNORM EN 10113-1:1993 07 01:
Warmgewalzte Erzeugnisse aus schweißgeeigneten Feinkornbaustählen – Teil 1: Allgemeine Lieferbedingungen
- [5] ÖNORM EN 10137-1:1996 02 01:
Blech und Breitflachstahl aus Baustählen mit höherer Streckgrenze im vergüteten oder im ausscheidungsgehärteten Zustand
– Teil 1: Allgemeine Lieferbedingungen
- [6] ÖNORM ENV 1994-1-1:1999 09 01:
Eurocode 4: Bemessung und Konstruktion von Verbundtragwerken aus Stahl und Beton – Allgemeine Bemessungsregeln,
Bemessungsregeln für den Hochbau

Abbildung 72: Bemessungsprogramm Arbeitsblatt "Materialkennwerte" – Quellenangaben

- (1) Die beiden Tabellen des Baustahls und die Tabelle des Betons können vom Anwender um je drei zusätzliche Materialien ergänzt werden. Diese Ergänzungen haben analog und vollständig zu den anderen Zeilen zu erfolgen. Andernfalls könnten Probleme bei der Berechnung mit diesen neuen Kenngrößen auftreten.

Das Arbeitsblatt ist geschützt und kann im Querformat gedruckt werden.

4.2.4 Arbeitsblatt "Profiltabelle"

Im Arbeitsblatt "Profiltabelle" ist die Tabelle mit den benötigten Kenngrößen der Hohlprofile und die Tabelle zur Prüfung der Schweißeignung von kaltgeformten Hohlprofilen enthalten (Tabelle 9 und 10).

Tabelle 9: Querschnittswerte von warm- und kaltgefertigten Hohlprofilen [1], [2], [3], [4], [5]

Querschnittswerte von warm- und kaltgefertigten Hohlprofilen												
Profilbezeichnung	Ferti- gung	Höhe H [mm]	Breite B [mm]	Dicke t [mm]	Gewicht G [kg/m]	Querschnitts- fläche A [mm²]	Trägheitsmomente I		Herstellerbezeichnungen			
							x-Achse [cm⁴]	y-Achse [cm⁴]	Corus	Vallourec & Mannesmann	Voestalpine	
QHP 100x100x4,0	warm	100	100	4,0	11,9	15,2	232	232	SHS Celsius	MSH	-	
QHP 100x100x5,0	warm	100	100	5,0	14,7	18,7	279	279	SHS Celsius	MSH	-	
QHP 100x100x6,3	warm	100	100	6,3	18,2	23,2	336	336	SHS Celsius	MSH	-	
QHP 100x100x7,1	warm	100	100	7,1	20,3	25,8	367	367	-	MSH	-	
QHP 100x100x8,0	warm	100	100	8,0	22,6	28,8	400	400	SHS Celsius	MSH	-	
QHP 100x100x10,0	warm	100	100	10,0	27,4	34,9	462	462	SHS Celsius	MSH	-	
QHP 100x100x12,5	warm	100	100	12,5	33,0	42,1	522	522	-	MSH	-	
RHP 500x300x10,0	warm	500	300	10,0	122	155	53800	24400	RHS Celsius	MSH	-	
RHP 500x300x12,5	warm	500	300	12,5	151	192	65800	29800	RHS Celsius	MSH	-	
RHP 500x300x16,0	warm	500	300	16,0	191	243	81800	36800	RHS Celsius	MSH	-	
RHP 500x300x20,0	warm	500	300	20,0	235	300	98800	44100	RHS Celsius	-	-	
QHP 100x100x4,0	kalt	100	100	4,0	11,7	15,0	226	226	SHS Hybox	-	VHP	
QHP 100x100x5,0	kalt	100	100	5,0	14,4	18,4	271	271	SHS Hybox	-	VHP	
QHP 100x100x6,0	kalt	100	100	6,0	17,0	21,6	311	311	SHS Hybox	-	VHP	
QHP 100x100x7,0	kalt	100	100	7,0	19,1	24,4	337	337	-	-	VHP	
QHP 100x100x8,0	kalt	100	100	8,0	21,4	27,2	366	366	SHS Hybox	-	VHP	
RHP 300x200x6,0	kalt	300	200	6,0	45,2	57,6	7370	3960	SHS Hybox	-	-	
RHP 300x200x8,0	kalt	300	200	8,0	59,1	75,2	9390	5040	SHS Hybox	-	-	
RHP 300x200x10,0	kalt	300	200	10,0	72,7	92,6	11300	6060	SHS Hybox	-	-	
RHP 300x200x12,0	kalt	300	200	12,0	84,8	108	12800	6850	SHS Hybox	-	-	
RHP 300x200x12,5	kalt	300	200	12,5	88,0	112	13200	7060	SHS Hybox	-	-	
RHP 400x200x8,0	kalt	400	200	8,0	71,6	91,2	19000	6520	SHS Hybox	-	-	
RHP 400x200x10,0	kalt	400	200	10,0	88,4	113	23000	7860	SHS Hybox	-	-	
RHP 400x200x12,0	kalt	400	200	12,0	104	132	26200	8980	SHS Hybox	-	-	
RHP 400x200x12,5	kalt	400	200	12,5	108	137	27100	9260	SHS Hybox	-	-	
?HP ?x?x?	frei für die Eingabe zusätzlicher Profile											
?HP ?x?x?	frei für die Eingabe zusätzlicher Profile											
?HP ?x?x?	frei für die Eingabe zusätzlicher Profile											

Tabelle 10: Vorhandene und erforderliche r/t-Werte für das Schweißen in kaltgeformten Bereichen [6]

Wanddicken	vorhandener r/t-Wert nach EN 10219-2	erforderlicher minimaler r/t-Wert nach EC 3 Teil 1-8
≤ 4 mm	1,0	1,0
> 4 bis ≤ 6 mm	1,0	1,5
> 6 bis ≤ 8 mm	1,5	1,5
> 8 bis ≤ 10 mm	1,5	2,0
> 10 bis ≤ 12 mm	2,0	2,0
> 12 bis ≤ 24 mm	2,0	3,0

Quellenangaben:

- [1] ONORM EN 10210-2:1997 10 01:
Warme Hohlprofile für den Stahlbau aus unlegierten Baustählen und aus Feinkornbaustählen – Teil 2: Grenzabmaße, Maße und statische Werte
- [2] ONORM EN 10219-2:1997 10 01:
Kaltgefertigte geschweißte Hohlprofile für den Stahlbau aus unlegierten Baustählen und aus Feinkornbaustählen – Teil 2: Grenzabmaße, Maße und statische Werte
- [3] Profiltabellen von Corus: www.corusgroup.com
- [4] Profiltabellen von Vallourec & Mannesmann Tubes: www.vmtubes.de
- [5] Profiltabellen von Voestalpine Krems GmbH: www.voestalpine.com/profilform
- [6] prEN 1993-1-8:20xx vom 26.2.2002, Tabelle 4.2. (übernommen aus DIN 18800-1, Tabelle 9), www.bauenmitholz.de, www.vmtubes.de

Abbildung 73: Auszug aus dem Bemessungsprogramm Arbeitsblatt "Profiltabelle" – die vollständige Tabelle ist dem Anhang zu entnehmen

- (1) Tabelle 9 mit den Kenngrößen der Hohlprofile kann vom Anwender um 20 zusätzliche Querschnitte ergänzt werden. Diese Ergänzungen haben analog und vollständig zu den anderen Zeilen zu erfolgen. Andernfalls könnten Probleme bei der Berechnung mit diesen neuen Kenngrößen auftreten.

Das Arbeitsblatt ist geschützt und kann im Querformat gedruckt werden.

4.2.5 Arbeitsblatt "Verbundmittel"

Das Arbeitsblatt "Verbundmittel" enthält die benötigten Kenngrößen von 53 Kopfbolzendübel (Tabelle 11).

Tabelle 11: Kennwerte der Kopfbolzendübel [1], [2]

Kopfbolzendübel							
Bezeichnung	Dübeldurchmesser		Länge l [mm]	Streckgrenze f_y [N/mm ²]	Zugfestigkeit f_u [N/mm ²]	Hersteller	
	[mm]	[Zoll]				Köster & Co	Nelson
10x30	10	3/8	30	350	450	x	-
10x50	10	3/8	50	350	450	x	x
10x75	10	3/8	75	350	450	x	x
10x100	10	3/8	100	350	450	x	x
10x125	10	3/8	125	350	450	x	x
10x150	10	3/8	150	350	450	x	x
10x175	10	3/8	175	350	450	-	x
10x250	10	3/8	250	350	450	x	-
13x50	13	1/2	50	350	450	x	x
13x75	13	1/2	75	350	450	x	x
13x100	13	1/2	100	350	450	x	x
13x125	13	1/2	125	350	450	-	x
13x150	13	1/2	150	350	450	x	x
25x175	25	1	175	350	450	x	x
25x200	25	1	200	350	450	x	x
25x225	25	1	225	350	450	x	-
25x250	25	1	250	350	450	x	x
?x?	frei für die Eingabe zusätzlicher Dübel						
?x?	frei für die Eingabe zusätzlicher Dübel						
?x?	frei für die Eingabe zusätzlicher Dübel						

Quellenangaben:

[1] Lieferprogramm von Koester & Co: www.bolzenschweisstechnik.de

[2] Lieferprogramm von Nelson: www.nelson-europe.de

Abbildung 74: Auszug aus dem Bemessungsprogramm Arbeitsblatt "Verbundmittel"– die vollständige Tabelle ist dem Anhang zu entnehmen

- (1) Tabelle 11 kann vom Anwender um 3 zusätzliche Dübel erweitert werden. Diese Ergänzungen haben dabei analog und vollständig zu den anderen Zeilen zu erfolgen. Andernfalls könnten Probleme bei der Berechnung mit diesen neuen Kenngrößen auftreten.

Das Arbeitsblatt ist geschützt und kann im Hochformat gedruckt werden.

4.2.6 Arbeitsblatt "Formelzeichen"

Das Arbeitsblatt "Formelzeichen" enthält eine Zusammenstellung der verwendeten Formelzeichen und Kurzzeichen.

Formelzeichen und Kurzzeichen	
Große lateinische Buchstaben	
A	Querschnittsfläche
E	Elastizitätsmodul
F	Kraft
G	ständige Einwirkung
G	Schubmodul
I	Flächenmoment 2. Grades (Trägheitsmoment)
M	Biegemoment
N	Längskraft (Normalkraft)
N	vorhandene Dübelanzahl
Q	veränderliche Einwirkung
R	Widerstand
S	Schnittgrößen (Schnittkräfte, Schnittmomente)
S	Statisches Flächenmoment
T	Torsionsmoment
V	Querkraft
W	Flächenmoment 1. Grades (Widerstandsmoment)
Kleine lateinische Buchstaben	
a	streckenbezogene Querschnittsfläche
a	Auflagerbreite der Fertigteile bzw. der Profibleche am Untergurtblech
a	Baustahl (als Index)
a	Kehlnahtdicke einer Schweißnaht
b	Querschnittsbreite, Hohlprofilbreite
c	Beton (als Index)
d	rechnerische Steghöhe des Hohlprofils
d	Schaftdurchmesser eines Kopfbolzendübels
d	Bemessungswert (als Index)
e	Exzentrizität
f	Festigkeit
f	Flansch (als Index)
g	strecken- oder flächenbezogene, ständige Einwirkung
h	Querschnittshöhe, Hohlprofilhöhe
h	Gesamtlänge eines Kopfbolzendübels im eingebauten Zustand
k	charakteristischer Wert (als Index)
m	Mittelwert (als Index)
max	maximal (als Index)
min	minimal (als Index)
n	Reduktionszahl
o	Obergurt (als Index)
p	strecken- oder flächenbezogene, ständige und veränderliche Einwirkung
q	strecken- oder flächenbezogene, veränderliche Einwirkung
r	innerer Ausrundungsradius bei kaltgeformten Hohlprofilen

Abbildung 75: Auszug aus dem Bemessungsprogramm Arbeitsblatt "Formelzeichen" – die vollständige Tabelle ist dem Kapitel Formelzeichen und Kurzzeichen zu entnehmen

In diesem Arbeitsblatt sind keine Veränderungen durch den Anwender notwendig und daher auch nicht vorgesehen.

Das Arbeitsblatt ist geschützt und kann im Hochformat gedruckt werden.

5 Beispiele

5.1 Innenträger

Ein Beispiel eines Slim-Floor-Innenträgers mit liegendem Hohlprofil wurde bereits in Kapitel 4 behandelt.

5.2 Randträger

Ein Beispiel eines Randträgers unter Verwendung von hohen Trapezblechprofilen wird im Folgenden betrachtet. In [2] ist ein ähnliches Beispiel jedoch ohne Verbundwirkung im Endzustand behandelt. Für die Decke wird das System Slimdek® von Corus verwendet.

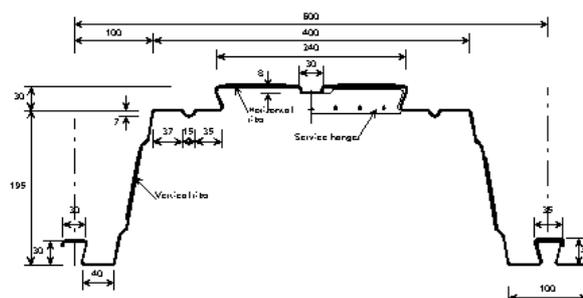
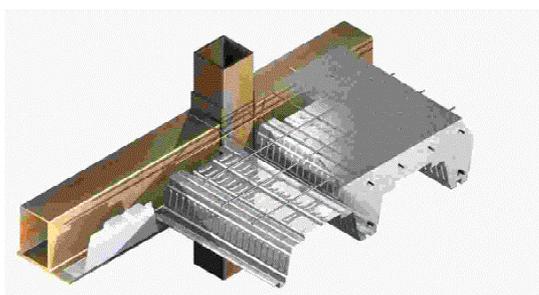


Abbildung 76: Slimdek® von Corus und Geometrie der hohen Trapezblechprofile SD225 [206]

Blechdicke	Profilhöhe	Gewicht	Querschnittsfläche
[mm]	[mm]	[kN/m ²]	[mm ² /m]
1,25	225	0,16	1333

Tabelle 15: Querschnittsdaten von SD225 [206]

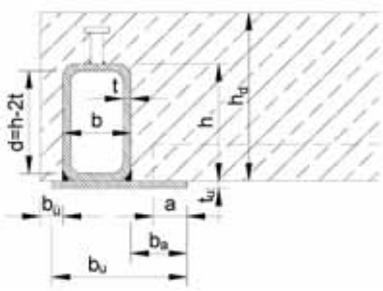
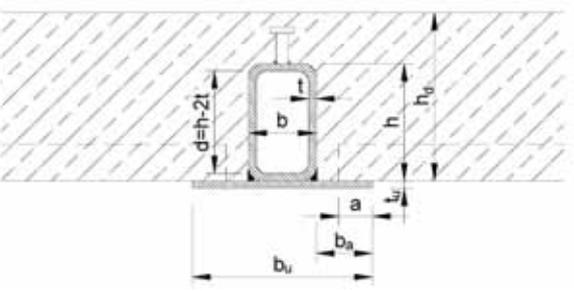
Gesamtdeckenstärke [mm]	290	300	310	320	330	340	350	360
Betonvolumen [m ³ /m ²]	0,131	0,141	0,151	0,161	0,171	0,181	0,191	0,201

Tabelle 16: Betonvolumen beim SD225 [206]

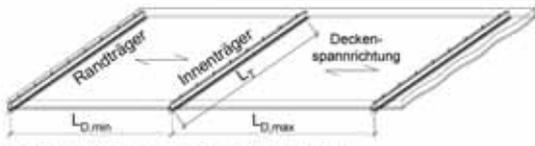
Abb. 77 bis Abb. 86 zeigt die Eingabewerte und Ergebnisse der Berechnung. In der ersten Berechnung (Abb. 77 bis 81) wurden die selben Querschnittswerte wie in [2] verwendet. In der zweiten Berechnung (Abb. 82 bis 86) wurden dann die Querschnitte optimiert um so die Wirtschaftlichkeit des Verbundes zu dokumentieren.

TU WIEN	Institut für Hochbau und Industriebau Univ.Prof. A. Kolbitsch	Beispiel 2 - Corus Original Randträger		Konstruktionsbüro Hochbau
		Geschäftszahl: 1/2004	Bearbeiter: Gerhard Frei	

SLIM-FLOOR-DECKEN
Bemessung von SFB-Trägern mit Hohlprofilen
nach Eurocode 3 und 4

System- und Querschnittsangaben

Systemabmessungen						
Stützweite des Slim-Floor-Trägers L_T	6,00 m					
kleiner Abstand parallel zum Träger $L_{D,min}$	0,00 m					
großer Abstand parallel zum Träger $L_{D,max}$	6,00 m					
Charakteristische Belastung		Bemessungswerte der Belastung				
Eigengewicht Fertigteile $g_{1,Bau}$ bzw. g_1	0,16 kN/m²	Die Bemessung im Endzustand kann nach dem EC 4 oder nach dem NAD des EC 4 durchgeführt werden. Eurocode 4 Eingabe von p_{Bau} , wenn die Fertigteile im Bauzustand unterstellt werden, sonst "0".				
mittlere Aufbetonstärke für $g_{2,Bau}$ bzw. g_2	13,6 cm					
Nutzlast im Bauzustand $q_{1,Bau}$	1,00 kN/m²					
ständige Last im Endzustand g_3	1,00 kN/m²					
Nutzlast im Endzustand q_1	7,00 kN/m²					
Querschnittsdaten						
Stahlprofil						
Stahlgüte	Streckgrenze $f_{y,p}$ [N/mm ²]	Profilbezeichnung	Fertigung	Lage	Profilbreite b [mm]	Profilhöhe h [mm]
S 355	355	RHP 250x150x16,0	warm	stehend	150	250
Blechdicke $t_t = t_w$ [mm]	Gewicht [kg/m]	Fläche A_p [cm ²]	Trägheitsmoment I_p [cm ⁴]	Warmgeformte Hohlprofile sind auch im Kantenbereich uneingeschränkt schweißbar.		
16,0	90,3	115,0	8880			
Untergurtblech						Fertigteile
Stahlgüte		Streckgrenze $f_{y,u}$ [N/mm ²]	Breite b_u [mm]	Dicke t_u [mm]	Gewicht [kg/m]	Auflager a [cm]
S 355 (t ≤ 40 mm)		355	260	15	30,6	11,3
Deckenbeton			Betonstahl		Kopfbolzendübel	
Betongüte nach EC 4	f_{cd} [N/mm ²]	Deckenhöhe h_d [cm]	Stahlgüte	f_{yd} [N/mm ²]	Dübelbezeichnung d [mm] x l [mm]	f_u [N/mm ²]
C 25/30	15,0	30,0	BSt 550	478	16x50	450
Randträgerkenngrößen						
Überstand Deckenbeton b_u [cm]			Überstand Untergurtblech b_a [mm]			
1,0			100			

21.4.2004	Bemessung von SFB-Trägern mit Hohlprofilen	Seite 1/5
-----------	--	-----------

Abbildung 77: Beispiel Randträger ohne Optimierung – Bemessungsprogramm Arbeitsblatt "Bemessung von SFB-Trägern" – Seite 1 / System- und Querschnittsangaben

	Institut für Hochbau und Industriebau Univ.Prof. A. Kolbitsch	Beispiel 2 - Corus Original		Konstruktionsbüro Hochbau
		Randträger		
		Geschäftszahl: 1/2004	Bearbeiter: Gerhard Frei	

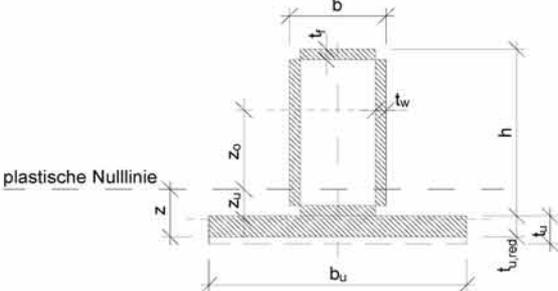
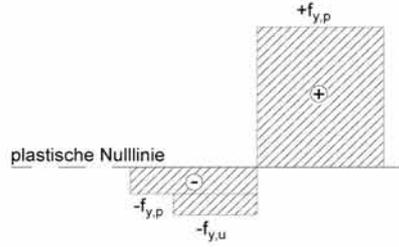
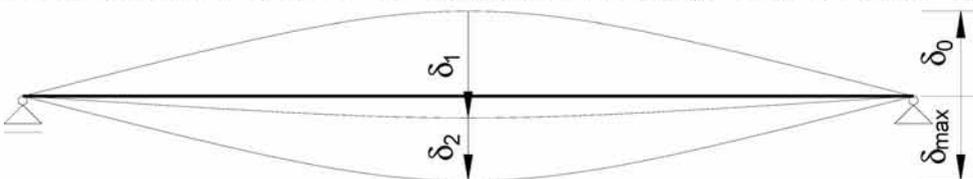
Bemessung im Bauzustand		
nach Eurocode 3		
Tragsicherheit im Bauzustand		
<u>Bemessungswerte der Belastungen</u>		
Eigengewicht des Stahlträgers (Profil und Untergurtblech)	1,63 kN/m	
Abstand L_D parallel zum Träger	0,00 m 6,00 m	
ständige Flanschlast durch Fertigteile und Aufbeton g_{Bau}	0,00 kN/m 14,97 kN/m	
veränderliche Flanschlast während des Betonierens q_{Bau}	0,00 kN/m 4,50 kN/m	
Summen der Gesamtstreckenlast p_{Bau}	0,00 kN/m 19,47 kN/m	
<u>Bemessungsschnittgrößen</u>		
maximales Biegemoment M_{Sd} des Trägers in Feldmitte	94,96 kNm	
maximale Querkraft V_{Sd} des Trägers am Auflager	63,30 kN	
maximales Torsionsmoment $M_{T,Sd}$ des Trägers am Auflager	2,67 kNm	
maximales Biegemoment $m_{Sd,u}$ im Untergurtblech	1,21 kNm/m	
maximale Querkraft $v_{Sd,u}$ im Untergurtblech	19,47 kN/m	
<u>Ermittlung der plastischen Nulllinie</u>		
Die Nulllinie liegt im Steg und der Nulllinienabstand z beträgt 79,06 mm .		
<u>Überprüfung der Querschnittsklassen</u>		
Beiwert für den Profilquerschnitt:	$\epsilon = \sqrt{(235/f_y)} = 0,814$	
Der Steg (beansprucht auf Biegung und Druck) wird in Klasse 1 eingestuft.		
$d/t_w = 14 \leq 35 = 396 \cdot \epsilon / (13 \cdot \alpha - 1)$; $\alpha = 0,78$		
Eine plastische Berechnung ist daher möglich!		
Der Flansch (bei Biegebeanspruchung des Querschnittes) wird in Klasse 1 eingestuft.		
$(b - 3 \cdot f) / t_f = 6 \leq 27 = 33 \cdot \epsilon$		
Eine plastische Berechnung ist daher möglich!		
Der Gesamtquerschnitt wird in Klasse 1 eingestuft.		
<u>Einfluss der Querbiegung im Untergurtblech</u>		
Abminderung Ψ der Untergurtblechdicke t_u	0,983	
Reduzierte Dicke des Untergurtblechs $t_{u,red} = \Psi \cdot t_u$	14,74 mm	
<u>Ermittlung der plastischen Nulllinie mit reduzierter Untergurtblechdicke</u>		
Die Nulllinie liegt im Steg und der Nulllinienabstand z beträgt 79,84 mm .		
<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">  <p>plastische Nulllinie</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>plastische Nulllinie</p> </div> </div> <p style="text-align: center;">Symbolische Darstellung der Nulllinienlage (unmaßstäblich)</p>		
21.4.2004	Bemessung von SFB-Trägern mit Hohlprofilen	Seite 2/5

Abbildung 78: Beispiel Randträger ohne Optimierung – Bemessungsprogramm Arbeitsblatt "Bemessung von SFB-Trägern" – Seite 2 / Bemessung im Bauzustand – Teil 1

	Institut für Hochbau und Industriebau Univ.Prof. A. Kolbitsch	Beispiel 2 - Corus Original		Konstruktionsbüro Hochbau	
		Randträger			
		Geschäftszahl: 1/2004	Bearbeiter: Gerhard Frei		

Nachweis der plastischen Momententragfähigkeit	
$M_{apl,Rd} = 392,00 \text{ kNm} \geq 94,96 \text{ kNm} = M_{Sd}$	
Nachweis der plastischen Querkrafttragfähigkeit	
$V_{pl,Rd} = 1299,81 \text{ kN} \geq 63,30 \text{ kN} = V_{Sd}$	
Da $d/t_w = 14 \leq 56 = 69 \cdot \epsilon$ ist, ist kein Nachweis gegen Schubbeulen erforderlich.	
Nachweis der Torsionstragfähigkeit	
$V_{T,Sd}/2 + M_{T,Sd}/2 \cdot (b-t) = 41,63 \text{ kN} \leq 649,91 \text{ kN} = V_{pl,Rd}/2$	
$V_{T,Sd}/2 - M_{T,Sd}/2 \cdot (b-t) = 21,68 \text{ kN} > 0 \text{ kN}$. Es ist daher keine Abhebesicherung am Auflager erforderlich.	
Nachweis der Schweißnähte	
Gewählt $a = 4 \text{ mm}$	
$\tau_{ ,Sd} = 22 \text{ N/mm}^2$	$\tau_{\perp,Sd} = 5 \text{ N/mm}^2$
$\sigma_{vw,Sd} = 22 \text{ N/mm}^2 \leq 262 \text{ N/mm}^2 = f_{vw,d}$	
Gebrauchstauglichkeit im Bauzustand	
Durchbiegungen	
Untergurtblechverformung: $\delta_{1,Bau,u} + \delta_{2,Bau,u} = 0,4 \text{ mm} \leq 1,5 \text{ mm}$	
Vorkrümmung des Trägers (Vorschlag): $\delta_{0,Bau} = 6,8 \text{ mm} \leq 24,0 \text{ mm} = L_T/250$	
Trägerverformung zufolge ständiger Last: $\delta_{1,Bau} = 6,8 \text{ mm}$	
Trägerverformung zufolge veränderlicher Last: $\delta_{2,Bau} = 1,8 \text{ mm} \leq 20,0 \text{ mm} = L_T/300$	
Trägerverformung zufolge ständiger und veränderlicher Lasten: $\delta_{max,Bau} = 1,8 \text{ mm} \leq 24,0 \text{ mm} = L_T/250$	
	
Symbolische Darstellung der Verformungen (unmaßstäblich)	
Zusätzliche Berechnungen und Anmerkungen des Anwenders	
(Empty space for additional calculations and notes)	

21.4.2004	Bemessung von SFB-Trägern mit Hohlprofilen	Seite 3/5
-----------	--	-----------

Abbildung 79: Beispiel Randträger ohne Optimierung – Bemessungsprogramm Arbeitsblatt "Bemessung von SFB-Trägern" – Seite 3 / Bemessung im Bauzustand – Teil 2

	Institut für Hochbau und Industriebau Univ.Prof. A. Kolbitsch	Beispiel 2 - Corus Original		Konstruktionsbüro Hochbau
		Randträger		
		Geschäftszahl: 1/2004	Bearbeiter: Gerhard Frei	

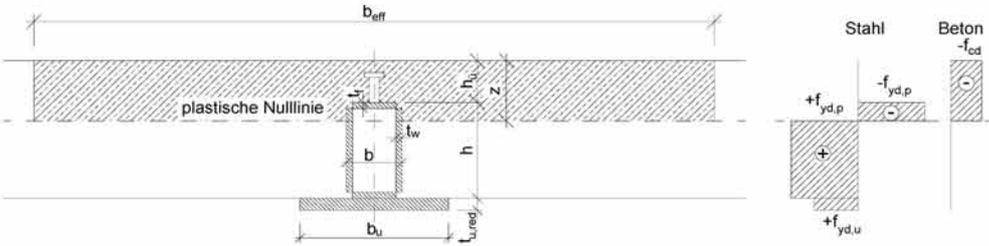
Bemessung im Endzustand	
nach Eurocode 4	
Tragsicherheit im Endzustand	
Bemessungswerte der Belastungen	
Eigengewicht des Stahlträgers (Profil und Untergurtblech)	1,63 kN/m
ständige Last durch Fertigteile, Aufbeton und Ausbaulasten g	18,47 kN/m
veränderliche Last q	31,50 kN/m
Summe der Gesamtstreckenlast p	51,60 kN/m
Bemessungsschnittgrößen	
maximales Biegemoment M_{Sd} des Trägers in Feldmitte	232,20 kNm
maximale Querkraft V_{Sd} des Trägers am Auflager	154,80 kN
maximale Biegemoment $m_{Sd,u}$ im Untergurtblech	1,29 kNm/m
maximale Querkraft $v_{Sd,u}$ im Untergurtblech	25,80 kN/m
Mitwirkende Breite des Betongurts	
kleinere mitwirkende Breite $b_{e,min}$	0,09 m
größere mitwirkende Breite $b_{e,max}$	0,75 m
gesamte mitwirkende Breite b_{eff}	0,84 m
Einfluss der Querbiegung im Untergurtblech	
Abminderung Ψ der Untergurtblechdicke t_u	0,982
Reduzierte Dicke des Untergurtblechs $t_{u,red} = \Psi \cdot t_u$	14,73 mm
Ermittlung der plastischen Nulllinie mit reduzierter Untergurtblechdicke	
Die Nulllinie liegt im Steg und der Nulllinienabstand z beträgt 163,00 mm .	
	
Symbolische Darstellung der Nulllinienlage (unmaßstäblich)	
Nachweis der plastischen Momententragsfähigkeit	
$M_{pl,Rd} = 691,92 \text{ kNm} \geq 232,20 \text{ kNm} = M_{Sd}$	
Nachweis der plastischen Querkrafttragsfähigkeit	
$V_{pl,Rd} = 1299,81 \text{ kN} \geq 154,80 \text{ kN} = V_{Sd}$	
Da $d/t_w = 14 \leq 56 = 69 \cdot \epsilon$ ist, ist kein Nachweis gegen Schubbeulen erforderlich.	
Nachweis der Schweißnähte	
Gewählt $a = 4 \text{ mm}$	
$\tau_{ ,Sd} = 44 \text{ N/mm}^2$	$\tau_{\perp,Sd} = 6 \text{ N/mm}^2$
$\sigma_{vw,Sd} = 45 \text{ N/mm}^2 \leq 262 \text{ N/mm}^2 = f_{vw,d}$	

Abbildung 80: Beispiel Randträger ohne Optimierung – Bemessungsprogramm Arbeitsblatt "Bemessung von SFB-Trägern" – Seite 4 / Bemessung im Endzustand – Teil 1

 Institut für Hochbau und Industriebau Univ.Prof. A. Kolbitsch	Beispiel 2 - Corus Original Randträger		Konstruktionsbüro Hochbau
	Geschäftszahl: 1/2004	Bearbeiter: Gerhard Frei	

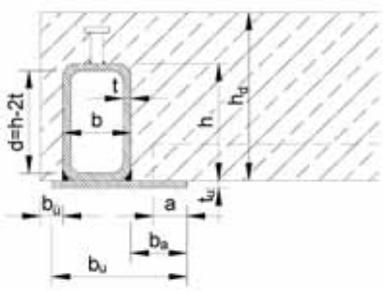
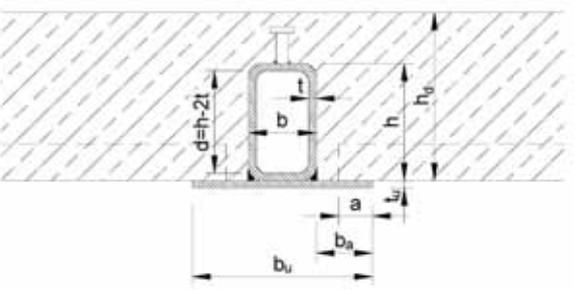
Bemessung im Endzustand nach Eurocode 4
<p>Verbundmittel - Kopfbolzendübel</p> <p style="text-align: center;">Die Tragfähigkeit P_{Rd} eines Kopfbolzendübels beträgt 44,05 kN.</p> <p><u>Vollständige Verdübelung</u></p> <p style="text-align: center;">Bei vollständiger Verdübelung sind 41 Dübel je Trägerhälfte erforderlich.</p> <p style="text-align: center;"><u>Verteilung der Dübel</u></p> <p style="text-align: center;">Da $M_{pl,Rd} \leq 2,5 \cdot M_{apl,Rd}$, können die Dübel über die gesamte Trägerhälfte gleichmäßig verteilt werden. Im Bereich 1 sind 20,5 Dübel aufzuteilen. Im Bereich 2 sind 20,5 Dübel aufzuteilen.</p> <p><u>Teilweise Verdübelung</u></p> <p style="text-align: center; color: red;"> Die Bedingung $h \geq 4 \cdot d$ ist nicht eingehalten. Die Bedingung $16 \leq d \leq 22$ (25) ist eingehalten. Die Bedingung $A_{Untergurt} > 3 \cdot A_{Obergurt}$ ist eingehalten. Die Berechnung einer teilweisen Verdübelung ist in diesem Programm nicht möglich! </p> <p style="text-align: center;"><u>Verteilung der Dübel</u></p>
<p>Querbewehrung</p> <p>Abhängig von der gewählten Dübelanordnung ist eine zweilagige Bewehrung quer zum Träger erforderlich. Die Berechnung sollte abhängig von der Dübelausteilung nach Eurocode 4 oder Eurocode 2 erfolgen.</p>
Gebrauchstauglichkeit im Endzustand
<p>Durchbiegungen</p> <p style="text-align: center;"> Kurzzeitverformung unter Dauerlast: $\delta = 3,8$ mm Kurzzeitverformung unter Gesamtlast: $\delta = 9,2$ mm Langzeitverformung unter Dauerlast: $\delta = 9,4$ mm Langzeitverformung unter Gesamtlast: $\delta = 12,1$ mm </p> <p style="text-align: center;"> Vorkrümmung des Trägers (Vorschlag): $\delta_0 = 9,4$ mm $\leq 24,0$ mm = $L_T/250$ Trägerverformung zufolge ständiger Last: $\delta_1 = 3,8$ mm Trägerverformung zufolge veränderlicher Last: $\delta_2 = 8,3$ mm $\leq 20,0$ mm = $L_T/300$ Trägerverformung zufolge ständiger und veränderlicher Lasten: $\delta_{max} = 2,7$ mm $\leq 24,0$ mm = $L_T/250$ </p> <p>Schwingungen</p> <p style="text-align: center;"><u>Kleinste Eigenfrequenz des Verbundträgers</u></p> <p style="text-align: center;"> $f_T = 9,1$ Hz ≥ 3 Hz → für Büros und Wohnungen geeignet $f_T = 9,1$ Hz ≥ 5 Hz → für Turnhallen und Tanzsäle geeignet </p>
Zusätzliche Berechnungen und Anmerkungen des Anwenders

21.4.2004	Bemessung von SFB-Trägern mit Hohlprofilen	Seite 5/5
-----------	--	-----------

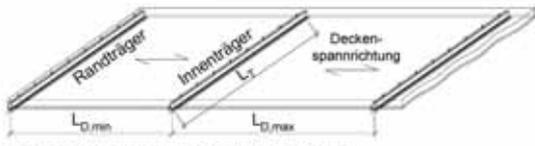
Abbildung 81: Beispiel Randträger ohne Optimierung – Bemessungsprogramm Arbeitsblatt "Bemessung von SFB-Trägern" – Seite 5 / Bemessung im Endzustand – Teil 2

TU WIEN	Institut für Hochbau und Industriebau Univ.Prof. A. Kolbitsch	Beispiel 2 - Corus Optimiert Randträger		Konstruktionsbüro Hochbau
		Geschäftszahl: 1/2004	Bearbeiter: Gerhard Frei	

SLIM-FLOOR-DECKEN
Bemessung von SFB-Trägern mit Hohlprofilen
nach Eurocode 3 und 4

System- und Querschnittsangaben

Systemabmessungen		
Stützweite des Slim-Floor-Trägers L_T	6,00 m	
kleiner Abstand parallel zum Träger $L_{D,min}$	0,00 m	
großer Abstand parallel zum Träger $L_{D,max}$	6,00 m	

Charakteristische Belastung		Bemessungswerte der Belastung	
Eigengewicht Fertigteile $g_{1,Bau}$ bzw. g_1	0,16 kN/m²	Die Bemessung im Endzustand kann nach dem EC 4 oder nach dem NAD des EC 4 durchgeführt werden.	
mittlere Aufbetonstärke für $g_{2,Bau}$ bzw. g_2	11,6 cm		
Nutzlast im Bauzustand $q_{1,Bau}$	1,00 kN/m²	Eurocode 4	
ständige Last im Endzustand g_3	1,00 kN/m²	Eingabe von p_{Bau} , wenn die Fertigteile im	0,00 kN/m
Nutzlast im Endzustand q_1	7,00 kN/m²	Bauzustand unterstellt werden, sonst "0".	0,00 kN/m

Stahlprofil						
Stahlgüte	Streckgrenze $f_{y,p}$ [N/mm ²]	Profilbezeichnung	Fertigung	Lage	Profilbreite b [mm]	Profilhöhe h [mm]
S 355	355	RHP 200x120x8,0	warm	stehend	120	200
Blechdicke $t_f = t_w$ [mm]	Gewicht [kg/m]	Fläche A_p [cm ²]	Trägheitsmoment I_p [cm ⁴]	Warmgeformte Hohlprofile sind auch im Kantenbereich uneingeschränkt schweißbar.		
8,0	37,6	48,0	2530			

Untergurtblech					Fertigteile	
Stahlgüte	Streckgrenze $f_{y,u}$ [N/mm ²]	Breite b_u [mm]	Dicke t_u [mm]	Gewicht [kg/m]	Auflager a [cm]	
S 355 (t ≤ 40 mm)	355	220	8	13,8	11,3	

Deckenbeton			Betonstahl		Kopfbolzendübel	
Betongüte nach EC 4	f_{cd} [N/mm ²]	Deckenhöhe h_d [cm]	Stahlgüte	f_{yd} [N/mm ²]	Dübelbezeichnung d [mm] x l [mm]	f_u [N/mm ²]
C 25/30	15,0	27,5	BSt 550	478	16x75	450

Randträgerkenngrößen	
Überstand Deckenbeton b_u [cm]	Überstand Untergurtblech b_a [mm]
1,0	90

21.4.2004	Bemessung von SFB-Trägern mit Hohlprofilen	Seite 1/5
-----------	--	-----------

Abbildung 82: Beispiel Randträger mit Optimierung – Bemessungsprogramm Arbeitsblatt "Bemessung von SFB-Trägern" – Seite 1 / System- und Querschnittsangaben

	Institut für Hochbau und Industriebau Univ.Prof. A. Kolbitsch	Beispiel 2 - Corus Optimiert		Konstruktionsbüro Hochbau
		Randträger		
		Geschäftszahl: 1/2004	Bearbeiter: Gerhard Frei	

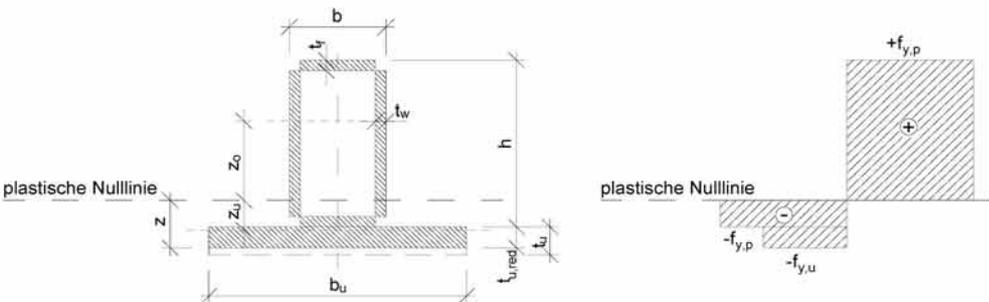
Bemessung im Bauzustand	
nach Eurocode 3	
Tragsicherheit im Bauzustand	
Bemessungswerte der Belastungen	
Eigengewicht des Stahlträgers (Profil und Untergurtblech)	0,69 kN/m
Abstand L_D parallel zum Träger	0,00 m 6,00 m
ständige Flanschlast durch Fertigteile und Aufbeton g_{Bau}	0,00 kN/m 12,86 kN/m
veränderliche Flanschlast während des Betonierens q_{Bau}	0,00 kN/m 4,50 kN/m
Summen der Gesamtstreckenlast p_{Bau}	0,00 kN/m 17,36 kN/m
Bemessungsschnittgrößen	
maximales Biegemoment M_{Sd} des Trägers in Feldmitte	81,26 kNm
maximale Querkraft V_{Sd} des Trägers am Auflager	54,17 kN
maximales Torsionsmoment $M_{T,Sd}$ des Trägers am Auflager	1,95 kNm
maximale Biegemoment $m_{Sd,u}$ im Untergurtblech	0,91 kNm/m
maximale Querkraft $v_{Sd,u}$ im Untergurtblech	17,36 kN/m
Ermittlung der plastischen Nulllinie	
Die Nulllinie liegt im Steg und der Nulllinienabstand z beträgt 53,00 mm .	
Überprüfung der Querschnittsklassen	
Beiwert für den Profilquerschnitt:	$\epsilon = \sqrt{(235/f_y)} = 0,814$
Der Steg (beansprucht auf Biegung und Druck) wird in Klasse 1 eingestuft.	
$d/t_w = 23 \leq 34 = 396 \cdot \epsilon / (13 \cdot \alpha - 1)$; $\alpha = 0,80$	
Eine plastische Berechnung ist daher möglich!	
Der Flansch (bei Biegebeanspruchung des Querschnittes) wird in Klasse 1 eingestuft.	
$(b - 3 \cdot t_f) / t_f = 12 \leq 27 = 33 \cdot \epsilon$	
Eine plastische Berechnung ist daher möglich!	
Der Gesamtquerschnitt wird in Klasse 1 eingestuft.	
Einfluss der Querbiegung im Untergurtblech	
Abminderung Ψ der Untergurtblechdicke t_u	0,954
Reduzierte Dicke des Untergurtblechs $t_{u,red} = \Psi \cdot t_u$	7,63 mm
Ermittlung der plastischen Nulllinie mit reduzierter Untergurtblechdicke	
Die Nulllinie liegt im Steg und der Nulllinienabstand z beträgt 55,17 mm .	
	
Symbolische Darstellung der Nulllinienlage (unmaßstäblich)	

Abbildung 83: Beispiel Randträger mit Optimierung – Bemessungsprogramm Arbeitsblatt "Bemessung von SFB-Trägern" – Seite 2 / Bemessung im Bauzustand – Teil 1

	Institut für Hochbau und Industriebau Univ.Prof. A. Kolbitsch	Beispiel 2 - Corus Optimiert	Konstruktionsbüro Hochbau
		Randträger	
		Geschäftszahl: 1/2004	Bearbeiter: Gerhard Frei

Nachweis der plastischen Momententragfähigkeit

$M_{apl,Rd} = 137,29 \text{ kNm} \geq 81,26 \text{ kNm} = M_{Sd}$

Nachweis der plastischen Querkrafttragfähigkeit

$V_{pl,Rd} = 548,55 \text{ kN} \geq 54,17 \text{ kN} = V_{Sd}$

Da $d/t_w = 23 \leq 56 = 69 \cdot \epsilon$ ist, ist kein Nachweis gegen Schubbeulen erforderlich.

Nachweis der Torsionstragfähigkeit

$V_{T,Sd}/2 + M_{T,Sd}/2 \cdot (b-t) = 35,79 \text{ kN} \leq 274,27 \text{ kN} = V_{pl,Rd}/2$

$V_{T,Sd}/2 - M_{T,Sd}/2 \cdot (b-t) = 18,38 \text{ kN} > 0 \text{ kN}$. Es ist daher keine Abhebesicherung am Auflager erforderlich.

Nachweis der Schweißnähte

Gewählt $a = 3 \text{ mm}$

$\tau_{||,Sd} = 31 \text{ N/mm}^2$ $\tau_{\perp,Sd} = 6 \text{ N/mm}^2$

$\sigma_{vw,Sd} = 31 \text{ N/mm}^2 \leq 262 \text{ N/mm}^2 = f_{vw,d}$

Gebrauchstauglichkeit im Bauzustand

Durchbiegungen

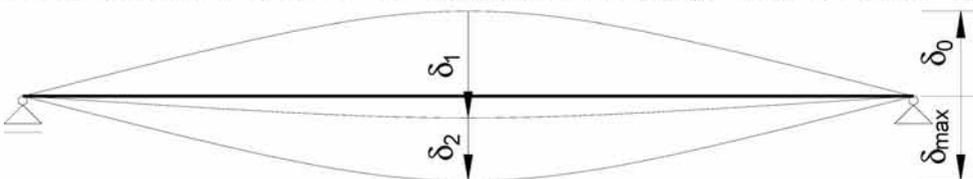
Untergurtblechverformung: $\delta_{1,Bau,u} + \delta_{2,Bau,u} = 1,5 \text{ mm} \leq 1,5 \text{ mm}$

Vorkrümmung des Trägers (Vorschlag): $\delta_{0,Bau} = 19,8 \text{ mm} \leq 24,0 \text{ mm} = L_T/250$

Trägerverformung zufolge ständiger Last: $\delta_{1,Bau} = 19,8 \text{ mm}$

Trägerverformung zufolge veränderlicher Last: $\delta_{2,Bau} = 6,6 \text{ mm} \leq 20,0 \text{ mm} = L_T/300$

Trägerverformung zufolge ständiger und veränderlicher Lasten: $\delta_{max,Bau} = 6,6 \text{ mm} \leq 24,0 \text{ mm} = L_T/250$



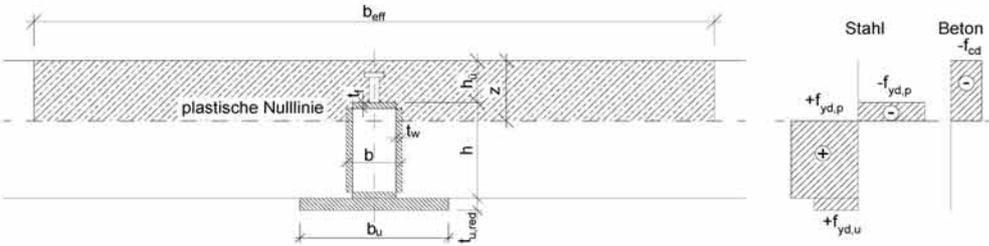
Symbolische Darstellung der Verformungen (unmaßstäblich)

Zusätzliche Berechnungen und Anmerkungen des Anwenders

21.4.2004	Bemessung von SFB-Trägern mit Hohlprofilen	Seite 3/5
-----------	--	-----------

Abbildung 84: Beispiel Randträger mit Optimierung – Bemessungsprogramm Arbeitsblatt "Bemessung von SFB-Trägern" – Seite 3 / Bemessung im Bauzustand – Teil 2

	Institut für Hochbau und Industriebau Univ.Prof. A. Kolbitsch	Beispiel 2 - Corus Optimiert		Konstruktionsbüro Hochbau	
		Randträger			
		Geschäftszahl: 1/2004	Bearbeiter: Gerhard Frei		

Bemessung im Endzustand	
nach Eurocode 4	
Tragsicherheit im Endzustand	
Bemessungswerte der Belastungen	
Eigengewicht des Stahlträgers (Profil und Untergurtblech)	0,69 kN/m
ständige Last durch Fertigteile, Aufbeton und Ausbaulasten g	16,44 kN/m
veränderliche Last q	31,50 kN/m
Summe der Gesamtstreckenlast p	48,64 kN/m
Bemessungsschnittgrößen	
maximales Biegemoment M_{Sd} des Trägers in Feldmitte	218,87 kNm
maximale Querkraft V_{Sd} des Trägers am Auflager	145,91 kN
maximale Biegemoment $m_{Sd,u}$ im Untergurtblech	1,09 kNm/m
maximale Querkraft $v_{Sd,u}$ im Untergurtblech	24,32 kN/m
Mitwirkende Breite des Betongurts	
kleinere mitwirkende Breite $b_{e,min}$	0,07 m
größere mitwirkende Breite $b_{e,max}$	0,75 m
gesamte mitwirkende Breite b_{eff}	0,82 m
Einfluss der Querbiegung im Untergurtblech	
Abminderung Ψ der Untergurtblechdicke t_u	0,944
Reduzierte Dicke des Untergurtblechs $t_{u,red} = \Psi \cdot t_u$	7,55 mm
Ermittlung der plastischen Nulllinie mit reduzierter Untergurtblechdicke	
Die Nulllinie liegt im Steg und der Nulllinienabstand z beträgt 117,58 mm .	
	
Symbolische Darstellung der Nulllinienlage (unmaßstäblich)	
Nachweis der plastischen Momententragfähigkeit	
$M_{pl,Rd} = 325,13 \text{ kNm} \geq 218,87 \text{ kNm} = M_{Sd}$	
Nachweis der plastischen Querkrafttragfähigkeit	
$V_{pl,Rd} = 548,55 \text{ kN} \geq 145,91 \text{ kN} = V_{Sd}$	
Da $d/t_w = 23 \leq 56 = 69 \cdot \epsilon$ ist, ist kein Nachweis gegen Schubbeulen erforderlich.	
Nachweis der Schweißnähte	
Gewählt $a = 3 \text{ mm}$	
$\tau_{ ,Sd} = 57 \text{ N/mm}^2$	$\tau_{\perp,Sd} = 8 \text{ N/mm}^2$
$\sigma_{vw,Sd} = 57 \text{ N/mm}^2 \leq 262 \text{ N/mm}^2 = f_{vw,d}$	

21.4.2004	Bemessung von SFB-Trägern mit Hohlprofilen	Seite 4/5
-----------	--	-----------

Abbildung 85: Beispiel Randträger mit Optimierung – Bemessungsprogramm Arbeitsblatt "Bemessung von SFB-Trägern" – Seite 4 / Bemessung im Endzustand – Teil 1

	Institut für Hochbau und Industriebau Univ.Prof. A. Kolbitsch	Beispiel 2 - Corus Optimiert		Konstruktionsbüro Hochbau	
		Randträger			
		Geschäftszahl: 1/2004	Bearbeiter: Gerhard Frei		

Bemessung im Endzustand nach Eurocode 4	
Verbundmittel - Kopfbolzendübel	
Die Tragfähigkeit P_{Rd} eines Kopfbolzendübels beträgt 57,91 kN.	
<u>Vollständige Verdübelung</u>	
Bei vollständiger Verdübelung sind 24 Dübel je Trägerhälfte erforderlich.	
<u>Verteilung der Dübel</u>	
Da $M_{pl,Rd} \leq 2,5 \cdot M_{apl,Rd}$, können die Dübel über die gesamte Trägerhälfte gleichmäßig verteilt werden. Im Bereich 1 sind 12,0 Dübel aufzuteilen. Im Bereich 2 sind 12,0 Dübel aufzuteilen.	
<u>Teilweise Verdübelung</u>	
Die Bedingung $h \geq 4 \cdot d$ ist eingehalten. Die Bedingung $16 \leq d \leq 22$ (25) ist eingehalten. Die Bedingung $A_{Untergurt} > 3 \cdot A_{Obergurt}$ ist eingehalten. Bei teilweiser Verdübelung sind 14 Dübel je Trägerhälfte erforderlich.	
<u>Verteilung der Dübel</u>	
Da $M_{pl,Rd} \leq 2,5 \cdot M_{apl,Rd}$, können die Dübel über die gesamte Trägerhälfte gleichmäßig verteilt werden. Im Bereich 1 sind 7,0 Dübel aufzuteilen. Im Bereich 2 sind 7,0 Dübel aufzuteilen.	
Querbewehrung	
Abhängig von der gewählten Dübelanordnung ist eine zweilagige Bewehrung quer zum Träger erforderlich. Die Berechnung sollte abhängig von der Dübelaufteilung nach Eurocode 4 oder Eurocode 2 erfolgen.	
Gebrauchstauglichkeit im Endzustand	
Durchbiegungen	
Kurzzeitverformung unter Dauerlast: $\delta = 6,9$ mm Kurzzeitverformung unter Gesamtlast: $\delta = 18,4$ mm Langzeitverformung unter Dauerlast: $\delta = 19,3$ mm Langzeitverformung unter Gesamtlast: $\delta = 25,0$ mm	
Vorkrümmung des Trägers (Vorschlag): $\delta_0 = 19,3$ mm $\leq 24,0$ mm = $L_T/250$ Trägerverformung zufolge ständiger Last: $\delta_1 = 6,9$ mm Trägerverformung zufolge veränderlicher Last: $\delta_2 = 18,1$ mm $\leq 20,0$ mm = $L_T/300$ Trägerverformung zufolge ständiger und veränderlicher Lasten: $\delta_{max} = 5,7$ mm $\leq 24,0$ mm = $L_T/250$	
Schwingungen	
<u>Kleinste Eigenfrequenz des Verbundträgers</u> $f_T = 6,7$ Hz ≥ 3 Hz → für Büros und Wohnungen geeignet $f_T = 6,7$ Hz ≥ 5 Hz → für Turnhallen und Tanzsäle geeignet	
Zusätzliche Berechnungen und Anmerkungen des Anwenders	

21.4.2004	Bemessung von SFB-Trägern mit Hohlprofilen	Seite 5/5
-----------	--	-----------

Abbildung 86: Beispiel Randträger mit Optimierung – Bemessungsprogramm Arbeitsblatt "Bemessung von SFB-Trägern" – Seite 5 / Bemessung im Endzustand – Teil 2

Durch die Berücksichtigung des Verbundes im Endzustand können demnach die Querschnitte gegenüber der Berechnung von Corus stark reduziert werden. In der Praxis ist abzuwägen, ob der Vorteil eines geringeren Stahlgewichts und einer geringeren Deckenstärke den Nachteil der Anwendung von Kopfbolzendübel überwiegt.

6 Zusammenfassung

Derzeit existieren zahlreiche unterschiedliche Konstruktionsarten von Slim-Floor-Decken. Dabei variieren sowohl die verwendeten Träger als auch die Deckenkonstruktionen. Der Vorsatz bei der Entwicklung neuer Slim-Floor-Deckenkonstruktionen ist immer eine schlanke, rasche und wirtschaftliche Herstellung der Decken unter Einhaltung aller bauphysikalischer Erfordernisse und der Gebrauchstauglichkeit.

Im Rahmen dieser Diplomarbeit konnte ein Teil der möglichen Berechnungen für eine ausgewählte Konstruktion in Form eines Computerprogramms erarbeitet werden. Wegen der hohen Torsionssteifigkeit von Hohlprofilen im Bauzustand und bei Randträgern auch im Endzustand stellen die hier behandelten Träger oftmals eine wirtschaftliche und weitgehend deckenunabhängige Lösung zwischen der Verwendung von I-Profilen mit Unterstellungen und der Verwendung patentierter, deckenabhängiger Systeme ohne Unterstellung im Bauzustand dar.

Auch wenn Slim-Floor-Konstruktionen bereits seit einigen Jahrzehnten auf dem Markt sind, wird es in Zukunft noch weitere Entwicklungen auf diesem Gebiet geben.

Liegende Kopfbolzendübel und hochfeste Stähle sind bei der Suche nach wirtschaftlichen Konstruktionen nur einige der vielen Möglichkeiten für die Zukunft.

7 Quellennachweis

7.1 Literaturverzeichnis

7.1.1 Verbund allgemein und Slim-Floor

- [1] Michl T.: Gebrauchstauglichkeit bei Verbunddecken, Beton- und Stahlbetonbau 97, Heft 2, 105-111, Ernst & Sohn, 2002
- [2] Mullett D.L.: Design of RHS Slimflor Edge Beams, The Steel Construction Institute, SCI-P-169, Ascot, 1997 – www.corusconstruction.com
- [3] Lawson R.M., Mullett D.L., Rackham J.W.: Design of Asymmetric Slimflor Beams using Deep Composite Decking, The Steel Construction Institute, SCI-P-175, Ascot, 1997 – www.corusconstruction.com
- [4] Mullett D.L., Lawson R.M.: Design of Slimflor Fabricated Beams using Deep Composite Decking, The Steel Construction Institute, SCI-P-248, Ascot, 1999 – www.corusconstruction.com
- [5] Hanswille G., Bergmann R.: Neue Verbundbaunorm E DIN 18 800-5 mit Kommentar und Beispielen, Stahlbau-Kalender 2000, 287-462, Kuhlmann U. (Hrsg.), 2. Jahrgang, Stuttgart, Ernst & Sohn, Jänner 2000
- [6] Kuhlmann U., Fries J., Leukart M.: Bemessung von Flachdecken mit Hutprofilen, Stahlbau-Kalender 2000, 463-564, Kuhlmann U. (Hrsg.), 2. Jahrgang, Stuttgart, Ernst & Sohn, Jänner 2000
- [7] Fontana M.: Brandsicherheit von Stahlverbundtragwerken, Stahlbau-Kalender 2000, 565-608, Kuhlmann U. (Hrsg.), 2. Jahrgang, Stuttgart, Ernst & Sohn, Jänner 2000
- [8] Hubo R.: Verbundbau – Neue Stähle, Stahlbau-Kalender 2001, Kuhlmann U. (Hrsg.), 1. Auflage, Stuttgart, Ernst & Sohn, April 2001
- [9] Arbed: Vorbemessungstabellen IFB- bzw. SFB-Träger, Esch-sur-Alzette, Luxemburg, Firmenschrift, 1997
- [10] Sauerborn I., Sauerborn N.: Geschossdecken mit Profilblechen, Stahlbau-Kalender 2002, Kuhlmann U. (Hrsg.), 1. Auflage, Stuttgart, Ernst & Sohn, April 2002

- [11] Kolbitsch A.: Verbundkonstruktionen im Hochbau unter Einbindung von Fertigteilen, Zement+Beton 1/97, 19-21, Zement+Beton Handels- und Werbe-GmbH, 1997
- [12] Kollegger J.: Betonbau I – Stahlbeton, Skriptum zur Vorlesung, III. Auflage, Institut für Stahlbeton- und Massivbau, TU Wien, März 2001
- [13] Ramberger G., Schnaubelt S.: Stahlbau, 4. Auflage, Manz Verlag, 1997
- [14] Auinger A.: Verbundkonstruktionen im Hochbau, Diplomarbeit, Institut für Hochbau und Industriebau, TU Wien, Mai 1997
- [15] Bode H.: Euro-Verbundbau, Konstruktion und Berechnung, 2 Auflage, Werner Verlag, 1998
- [16] Denk W-D.: Slim Floor Decken, Diplomarbeit, Institut für Stahlbau, TU Wien, Februar 2000
- [17] Kaefer L. F.: *A Evolução do Concreto Armado*, Concepção, Projeto e Realização das estruturas: aspectos históricos, São Paulo, dezembro 1998
- [18] Kaddour S.: Einsatz der Verbundkonstruktionen im Industriebau, Diplomarbeit, Institut für Hochbau und Industriebau, TU Wien, September 1995
- [19] Pauser A.: Eisenbeton 1850-1950, Manz Verlag, Wien, 1994
- [20] A. D. Topping Collection / University of Akron Archives
- [21] Reisner A.: Bemessung von Verbunddecken nach Eurocode 4 und Ansätze für eine Optimierung, Diplomarbeit, Institut für Stahlbau, TU Wien, Mai 1997
- [22] Ringsmuth E.: Verbunddecken mit kreisbogenförmig gekrümmten Trapezblechen, Diplomarbeit, Institut für Stahlbau, TU Wien, Oktober 1995
- [23] Huber G.: Semi-continuous beam-to-column joints at the Millennium Tower in Vienna, Austria, Institut für Stahlbau, Holzbau und Mischbautechnologie, Universität Innsbruck,
- [24] Bode H., Stengel J.: Untersuchung des Tragverhaltens bei Flachdecken-Systemen (Slim-Floor-Konstruktionen) mit verschiedener Ausbildung der Platten und verschiedenster Lage der Stahlträger, Forschungsbereich P 261, Studiengesellschaft Stahlanwendung e.V., Düsseldorf, 1997
- [25] Bode H.: Flachdecken mit integrierten Stahlträgern, Forschungsbericht 3/2000, Deutscher Ausschuss für Stahlbau DAST, Düsseldorf, April 2000

- [26] Kuhlmann U., Breuninger U.: Längsschubbeanspruchung bei Verbundträgern mit liegenden Kopfbolzendübeln im Hochbau, Forschungsbericht T 2908, Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart, November 1999
- [27] ECCS Nr. 83: Multi-Storey Buildings in Steel, Design Guide for Slim Floors with Built-in Beams, Paris, September 1995
- [28] Lange J.: Baubetrieb im Stahl- und Verbundbau, Stahlbau-Kalender 2000, 641-687, Kuhlmann U. (Hrsg.), 2. Jahrgang, Stuttgart, Ernst & Sohn, Jänner 2000
- [29] Baehre R., Pepin R.: Flachdecken mit Stahlträgern in Skelettbauten, Bauingenieur 70, 65-71, Springer Verlag, 1995
- [30] Fontana M., Borgogno W.: Brandverhalten von Slim-Floor-Verbunddecken, Stahlbau 64, Heft 6, 168-174, Ernst & Sohn, 1995
- [31] Vayas: Verbundkonstruktionen auf der Grundlage des Eurocode 4, 1. Auflage, Ernst & Sohn, 1999
- [32] Lawson R.M., Leskelä M.V.: Slim Floor Construction, Structural Engineering International (SEI) 2/96, 122-126
- [33] Lu X., Mäkeläinen P.: Slim Floor Developments in Sweden and Finland, Structural Engineering International (SEI) 2/96, 127-126
- [34] Tschemmernegg F., Huber G.: Flachdecken mit Stanzdübeln, Bauingenieur 71, 425-436, Springer Verlag, 1996
- [35] Muess H.: Interessante Tragwerkslösungen im Verbund, Stahlbau 65, Heft 10, 349-355, Ernst & Sohn, 1996
- [36] Tschemmernegg F.: Innsbrucker Mischbautechnologie im Wiener Millennium Tower u.a., Stahlbau 68, Heft 8, 606-651, Ernst & Sohn, 1999
- [37] Zapfe C.: Trag- und Verformungsverhalten von Verbundträgern mit Betondübeln zur Übertragung der Längsschubkräfte, Dissertation, Universität der Bundeswehr München, Juni 2001
- [38] Schaumann P., Heise A.: DAST-Rili 019 – Brandsicherheit von Stahl- und Verbundbauteilen in Büro- und Verwaltungsgebäuden, Stahlbau-Kalender 2004, Kuhlmann U. (Hrsg.), 1. Auflage, Stuttgart, Ernst & Sohn, April 2004
- [39] Borgogno W.: Tragverhalten von Slim Floor Decken mit Betonhohlplatten bei Raumtemperatur und Brandeinwirkungen, Institut für Baustatik und Konstruktion, ETH Zürich, Birkhäuser Verlag Basel, Dezember 1997

7.1.2 Normen und Richtlinien

- [101] ÖNORM ENV 1992-1-1:1992 12 01: Eurocode 2: Planung von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken – Grundlagen und Anwendungsregeln für den Hochbau
- [102] ÖNORM ENV 1992-1-2:1997 05 01: Eurocode 2: Planung von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken – Allgemeine Regeln – Tragwerksbemessung für den Brandfall (einschließlich Technischer Korrektur 1:1996)
- [103] ÖNORM ENV 1992-1-2:1995 11 01: Eurocode 2: Planung von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken – Allgemeine Regeln – Bauteile und Tragwerke aus Fertigteilen
- [104] ÖNORM ENV 1993-1-1:1996 07 01: Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Allgemeine Bemessungsregeln, Bemessungsregeln für den Hochbau
- [105] ÖNORM ENV 1993-1-1/A1:1996 07 01: Eurocode 3: Annex D: Verwendung von Stahl S 460 und S 420, Annex K: Anschlüsse mit Hohlprofilen in Fachwerken
- [106] ÖNORM ENV 1993-1-2:1997 03 01: Eurocode 3 – Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Allgemeine Regeln – Tragwerksbemessung für den Brandfall (einschließlich österreichischem NAD)
- [107] ÖNORM ENV 1994-1-1:1999 09 01: Eurocode 4: Bemessung und Konstruktion von Verbundtragwerken aus Stahl und Beton – Allgemeine Bemessungsregeln, Bemessungsregeln für den Hochbau
- [108] ÖNORM ENV 1994-1-2:1995 09 01: Eurocode 4: Bemessung und Konstruktion von Verbundtragwerken aus Stahl und Beton – Allgemeine Regeln, Tragwerksbemessung für den Brandfall
- [109] ÖNORM EN 10025:1994 03 01: Warmgewalzte Erzeugnisse aus unlegierten Baustählen – Technische Lieferbedingungen (enthält Änderung A1:1993)
- [110] ÖNORM EN 10113-1:1993 07 01: Warmgewalzte Erzeugnisse aus schweißgeeigneten Feinkornbaustählen – Teil 1: Allgemeine Lieferbedingungen
- [111] ÖNORM EN 10113-2:1993 07 01: Warmgewalzte Erzeugnisse aus schweißgeeigneten Feinkornbaustählen – Teil 2: Lieferbedingungen für normalgeglühte/normalisierend gewalzte Stähle

- [112] ÖNORM EN 10113-3:1993 07 01: Warmgewalzte Erzeugnisse aus schweißgeeigneten Feinkornbaustählen – Teil 3: Lieferbedingungen für thermomechanisch gewalzte Stähle
- [113] ÖNORM EN 10137-1:1996 02 01): Blech und Breitflachstahl aus Baustählen mit höherer Streckgrenze im vergüteten oder im ausscheidungsgehärteten Zustand – Teil 1: Allgemeine Lieferbedingungen
- [114] ÖNORM EN 10137-2:1996 02 01: Blech und Breitflachstahl aus Baustählen mit höherer Streckgrenze im vergüteten oder im ausscheidungsgehärteten Zustand – Teil 2: Lieferbedingungen für vergütete Stähle
- [115] ÖNORM EN 10137-3:1996 02 01: Blech und Breitflachstahl aus Baustählen mit höherer Streckgrenze im vergüteten oder im ausscheidungsgehärteten Zustand – Teil 3: Lieferbedingungen für ausscheidungsgehärtete Stähle
- [116] ÖNORM EN 10149-1:1996 02 01: Warmgewalzte Flacherzeugnisse aus Stählen mit hoher Streckgrenze zum Kaltumformen – Teil 1: Allgemeine Lieferbedingungen
- [117] ÖNORM EN 10149-2:1996 02 01: Warmgewalzte Flacherzeugnisse aus Stählen mit hoher Streckgrenze zum Kaltumformen – Teil 2: Lieferbedingungen für thermomechanisch gewalzte Stähle
- [118] ÖNORM EN 10149-3:1996 02 01: Warmgewalzte Flacherzeugnisse aus Stählen mit hoher Streckgrenze zum Kaltumformen – Teil 3: Lieferbedingungen für normalgeglühte oder normalisierend gewalzte Stähle
- [119] ÖNORM EN 10210-1:1994 06 01: Warmgefertigte Hohlprofile für den Stahlbau aus unlegierten Baustählen und aus Feinkornbaustählen – Teil 1: Technische Lieferbedingungen
- [120] ÖNORM EN 10210-2:1997 10 01: Warmgefertigte Hohlprofile für den Stahlbau aus unlegierten Baustählen und aus Feinkornbaustählen – Teil 2: Grenzabmaße, Maße und statische Werte
- [121] ÖNORM EN 10219-1:1997 10 01: Kaltgefertigte geschweißte Hohlprofile für den Stahlbau aus unlegierten Baustählen und aus Feinkornbaustählen – Teil 1: Technische Lieferbedingungen

- [122] ÖNORM EN 10219-2:1997 10 01: Kaltgefertigte geschweißte Hohlprofile für den Stahlbau aus unlegierten Baustählen und aus Feinkornbaustählen – Teil 2: Grenzabmaße, Maße und statische Werte
- [123] ÖNORM B 4700:2001 06 01: Stahlbetontragwerke – EUROCODE-nahe Berechnung, Bemessung und konstruktive Durchbildung
- [124] ÖNORM B 4300-1:1994 03 01: Stahlbau, Berechnung und Konstruktion der Tragwerke, Bemessung nach Grenzzuständen
- [125] DIN 18 800, Teil 1: Stahlbauten, Bemessung und Konstruktion, Ausgabe November 1990 / Änderung A1 vom Februar 1996
- [126] Richtlinien für Verbundkonstruktionen im Hochbau, Österreichischer Stahlbauverband, 2. Ausgabe, September 1988
- [127] DIN 4421: Traggerüste; Berechnung, Konstruktion und Ausführung, Ausgabe August 1982

7.2 Linkliste

(Stand: März 2004)

- [201] ARCELOR Bauteile GmbH (Cofrastra[®]): www.usinor-bauteile.com
- [202] ARCELOR Konzern (Stahlträger, IFB, SFB): www.arcelor.com
- [203] ARCELOR Long Commercial (Stahlträger, IFB, SFB): www.alc.arcelor.com
- [204] Bibliothek der TU Wien: www.ub.tuwien.ac.at
- [205] ConstrucThor (Thor Beam): www.constructhor.com
- [206] Corus /British Steel (Stahlträger, ASB, Slimdek[®]): www.corusgroup.com
- [207] e-ARCELOR DLP (auch Software): www.e-arcelor.com
- [208] Elementbau Brunn AG (Hohldielen): www.brunag.ch
- [209] Forges Profil AG / Arcelor (Haircol[®]): www.forges.ch
- [210] Freiburger Stahlhandel (Hohlprofile): www.freiburger-stahlhandel.de
- [211] Grünbauer BV (Stahlträger, IFB, SFB): www.grunbauer.nl
- [212] Huber Gerald (Millennium Tower): members.telering.at/geraldhuber/home.html
- [213] HAFAG Hallen Factory AG (Verbunddecken): www.hafag.ch
- [214] Hilti (Schenkeldübel, Setzbolzen, auch Software): www.hilti.com
- [215] Ing.-Software Dlubal GmbH (Software): www.dlubal-online.de
- [216] Köster & Co (Kopfbolzendübel): www.bolzenschweisstechnik.de
- [217] Kretz Software GmbH (Software): www.kretz.de
- [218] LSH (Topbeam[®]): www.staalunie.nl
- [219] LSS (Software): www.lss.de
- [220] Mangerig und Zapfe (Betondübel): www.mazam.de
- [221] Michl Thomas (Millennium T.): homepage.uibk.ac.at/homepage/c809/c80931
- [222] Montana-Bausysteme AG (Holorib[®]): www.holorib.de
- [223] Nelson (Kopfbolzendübel): www.nelson-europe.de
- [224] Oberndorfer (Hohldielen, Elementdecken): www.oberndorfer.at
- [225] Peikko (Delta[®]-Träger): www.peikko.com
- [226] Rautaruukki (THQ-Träger): www.rautaruukki.com
- [227] Readymix Fertigteile (Hohldielen, Elementdecken): www.readymix-fertigteile.at
- [228] Sofistik AG (Software): www.sofistik.de
- [229] TDV GmbH (Software): www.tdv.at

- [230] ThyssenKrupp (Stahl): www.thyssenkrupp.com
- [231] ThyssenKrupp Materials Schweiz (Hohlprofile): www.thyssen.ch
- [232] ThyssenKrupp Schulte (Hohlprofile): www.thyssenkruppschulte.de
- [233] TK Hoesch Bausysteme (Additiv Decke[®]): www.tks-bau.com, www.hoesch.at
- [234] TU Wien, Institut für Hochbau und Industriebau: www.hochbau.tuwien.ac.at
- [235] Vallourec & Mannesmann Tubes (Hohlprofile): www.vmtubes.de
- [236] Voestalpine Krems GmbH (Hohlprofile): www.voestalpine.com/profilform
- [237] Zeman Beteiligungs GmbH (Arch Deck[®]): www.zeco.at
- [238] Bauen mit Holz (DIN-Normen) www.bauenmitholz.de/normen

7.3 Software

Firma ARCELOR:

AFCB (Version 3.06 vom Februar 2001)

Verbundträgerbemessung im Brandfall nach Eurocode 4 (ENV 1994-1-2)

IFBWIN (Version 5.20 vom April 2002)

Bemessungsprogramm für Integrierte Stahldeckenträger IFB und SFB nach Eurocode 3 oder DIN 18800

ACB (Version 1.31 vom April 2002)

Bemessungsprogramm für Lochstegträger

PSL (Version 1.02 vom Mai 2000)

Vorbemessung von Stahl- und Verbundkonstruktionen nach Eurocode 3 und 4

CATALOG (Version 1.2001 vom November 2000)

ProfilARBED – Trägersauswahlprogramm

Firma HILTI:

BDES (Version 7.0 Februar 2002)

Bemessung und Konstruktion von Verbund- und Stahlträgern

Firma Kretz Software GmbH:

COBEM (Version 4.15 vom 27. Mai 2003)

Bemessung von Verbundeinfeld- und Durchlaufträgern nach Eurocode 4

COCOL (Version 5.00 vom 19. November 2003)

Bemessung von Verbundstützen nach Eurocode 4

COFLOOR

Bemessung von Bühnen (Trägerrost) von Verbunddecken

COSECB (Version 5.00 vom 5. Juni 2003)

Bemessung von Verbundquerschnitten inkl. integrierten Stahlträgern nach EC 4

COSIB (Version 5.02 vom 3. November 2003)

Bemessung von klassischen Verbundeinfeldträgern nach Eurocode 4

COSLAB (Version 4.05 vom 27. November 2001)

Bemessung von Verbunddecken mit Stahlprofilblechen nach Eurocode 4

COWOP (Version 1.02 vom 17. Jänner 2002)

Nachweis großer Stegausschnitte bei klassischen Verbundträgern nach EC 4

8 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: bewehrtes Betonboot von Joseph Lambot, 1854 [17].....	2
Abbildung 2: Melan-Decke [19] und Professor Joseph Melan [20]	2
Abbildung 3: Slim-Floor-Decke mit Hohldielen [208].....	3
Abbildung 4: verschiedene Deckenplattenlösungen klassischer Verbunddecken [15]	4
Abbildung 5: I-Profil mit Kammerbeton, links mit Kopfbolzendübel, rechts mit angeschweißter Bewehrung [207]	4
Abbildung 6: Lochsteg- und Wabenträger als Verbundträger [207]	5
Abbildung 7: Konstruktionsarten von Slim-Floor-Decken in Anlehnung an [15].....	7
Abbildung 8: Gegenüberstellung von klassischen Verbunddecken- und Slim-Floor- Decken-Konstruktionen.....	8
Abbildung 9: Slim-Floor-Träger und dessen Anschluss an die Stütze beim Millennium Tower Wien [23].....	9
Abbildung 10: Verbundrahmen Slim-Floor-Träger – Verbundstützen beim Millennium Tower Wien [23].....	10
Abbildung 11: Hohldielen auf einem integrierten Deckenträger mit breitem Untergurt [213].....	11
Abbildung 12: Hohldielen verlegt auf einem Delta [®] -Träger, Ansicht, Untersicht [224]	11
Abbildung 13: Holorib [®] HR 51/150 [222], Haircol [®] 56 S [209], Cofrastra [®] 70/183 [201]	12
Abbildung 14: Slim-Floor-Konstruktion mit Elementdecke [227].....	12
Abbildung 15: vorgespannte Elementdecke (Eurodec [®]) [224]	13
Abbildung 16: Querschnitt einer Trapezblechbogen-Verbunddecke [237].....	13
Abbildung 17: Arch Deck [®] und Anwendung - Einbringen des Deckenbetons [237]..	13
Abbildung 18: Querschnitt der Hoesch Additiv Decke [®] [233].....	14
Abbildung 19: Hoesch Additiv Decke [®] und Anwendung bei Parkhaus in Saarlouis / Deutschland [233].....	14
Abbildung 20: Slimdek [®] von Corus / British Steel (hier mit Hohlprofil – RHSFB - als Randträger) [206].....	15
Abbildung 21: Slimdek [®] von Corus / British Steel (hier mit ASB-Trägern im Inneren) [206].....	15

Abbildung 22: Verschiedene Formen der Stahlträger bei Slim-Floor- Deckenkonstruktionen (Erweiterung von [27])	16
Abbildung 23: Herstellung von Hohlprofilen mit senkrechten und geneigten Stegen [211].....	17
Abbildung 24: Axonometrische Darstellung mit Schweißnähten von IFB- und SFB- Trägern [211]	18
Abbildung 25: ASB-Träger von Corus / British Steel [206].....	18
Abbildung 26: Hutprofil mit UPE-Querschnitt [6].....	19
Abbildung 27: Herstellung eines Delta [®] -Trägers [225].....	19
Abbildung 28: Schubbewehrung für den Brandfall beim Auflager von Hohldielen [7]	20
Abbildung 29: Brandschutzbeschichtung von freiliegenden Untergurten [211].....	21
Abbildung 30: Verbundmittel nach Eurocode 4 (in Erweiterung von [15]).....	23
Abbildung 31: Bolzenschweißpistole im Einsatz [28] und Prozessverlauf [216]	24
Abbildung 32: Schenkeldübel X-HVB von Hilti [214].....	25
Abbildung 33: Beispiele für Betondübel [220]	25
Abbildung 34: SFB mit Hohlprofil	28
Abbildung 35: VoestAlpine Hohlprofile [236].....	38
Abbildung 36: Querschnitt eines SFB-Trägers mit einem Hohlprofil (Rand- und Innenträger)	49
Abbildung 37: Systemabmessungen einer Decke aus SFB-Trägern mit einem Hohlprofil.....	49
Abbildung 38: Ersatzquerschnitte bei warmgefertigten (links) und kaltgefertigten (rechts) Hohlprofilen	51
Abbildung 39: Ersatzquerschnitt für die Bemessung im Bauzustand, plastische Nulllinie im Steg des Hohlprofils	52
Abbildung 40: Ersatzquerschnitt für die Bemessung im Bauzustand, plastische Nulllinie im Untergurt des Hohlprofils	53
Abbildung 41: Ersatzquerschnitt für die Bemessung im Bauzustand, plastische Nulllinie im Untergurtblech	53
Abbildung 42: Ersatzquerschnitt mit reduziertem Untergurtblech für die Bemessung im Bauzustand, plastische Nulllinie im Untergurtblech	57

Abbildung 43: Ersatzquerschnitt mit reduziertem Untergurtblech für die Bemessung im Bauzustand, plastische Nulllinie im Untergurt des Hohlprofils	58
Abbildung 44: Ersatzquerschnitt mit reduziertem Untergurtblech für die Bemessung im Bauzustand, plastische Nulllinie im Steg des Hohlprofils	59
Abbildung 45: Symbolische Darstellung der Verformungen (unmaßstäblich, δ_I ist hier größer als $L_T/250$ dargestellt)	65
Abbildung 46: Ersatzquerschnitt für die Bemessung im Endzustand, plastische Nulllinie im Betondruckgurt	70
Abbildung 47: Ersatzquerschnitt für die Bemessung im Endzustand, plastische Nulllinie im Obergurt des Hohlprofils.....	70
Abbildung 48: Ersatzquerschnitt für die Bemessung im Endzustand, plastische Nulllinie im Steg des Hohlprofils	71
Abbildung 49: Übersicht Arbeitsblatt "Bemessung von SFB-Trägern" des Bemessungsprogramms	89
Abbildung 50: Bemessungsprogramm Arbeitsblatt "Bemessung von SFB-Trägern" – Seite 1: System- und Querschnittsangaben.....	90
Abbildung 51: Umschaltfläche zur Auswahl der Bemessung zugrundeliegenden Norm	92
Abbildung 52: Listenfeld mit den Stahlgüten für das Hohlprofil.....	93
Abbildung 53: Listenfeld mit den Querschnitten für das Hohlprofil	94
Abbildung 54: Hinweis auf die Schweißeignung des gewählten Profils; Zelleninhalt bei warmgefertigten Profilen	94
Abbildung 55: Hinweis auf die Schweißeignung des gewählten Profils; Zelleninhalt bei kaltgefertigten Profilen, wenn keine Einschränkung besteht	94
Abbildung 56: Hinweis auf die Schweißeignung des gewählten Profils; Zelleninhalt bei kaltgefertigten Profilen, wenn eine Einschränkung besteht.....	94
Abbildung 57: Meldung bezüglich der Schweißeignung bei kaltgefertigten Profilen wenn eine Einschränkung besteht	95
Abbildung 58: Umschaltfläche zur Auswahl der Position des Hohlprofils	95
Abbildung 59: Listenfeld zur Auswahl der Stahlgüte für das Untergurtblech	95
Abbildung 60: Listenfeld zur Auswahl der Betongüte des Deckenfeldes	96

Abbildung 61: Listenfeld zur Auswahl der Betonstahlgüte für die Deckenbewehrung	97
Abbildung 62: Listenfeld zur Auswahl der Kopfbolzendübel	97
Abbildung 63: Meldung die erscheint wenn die erste Bedingung nicht eingehalten ist	97
Abbildung 64: Meldung die erscheint wenn die zweite Bedingung nicht eingehalten ist	98
Abbildung 65: Befehlsschaltfläche zum Start der Berechnungen	98
Abbildung 66: Bemessungsprogramm Arbeitsblatt "Bemessung von SFB-Trägern" – Seite 2: Bemessung im Bauzustand – Teil 1	101
Abbildung 67: Bemessungsprogramm Arbeitsblatt "Bemessung von SFB-Trägern" – Seite 3: Bemessung im Bauzustand – Teil 2	102
Abbildung 68: Bemessungsprogramm Arbeitsblatt "Bemessung von SFB-Trägern" – Seite 4: Bemessung im Endzustand – Teil 1	103
Abbildung 69: Bemessungsprogramm Arbeitsblatt "Bemessung von SFB-Trägern" – Seite 5: Bemessung im Endzustand – Teil 2	104
Abbildung 70: Bemessungsprogramm Arbeitsblatt "Teilsicherheitsbeiwerte"	105
Abbildung 71: Bemessungsprogramm Arbeitsblatt "Materialkennwerte" – Tabellen	108
Abbildung 72: Bemessungsprogramm Arbeitsblatt "Materialkennwerte" – Quellenangaben	109
Abbildung 73: Auszug aus dem Bemessungsprogramm Arbeitsblatt "Profiltabelle"– die vollständige Tabelle ist dem Anhang zu entnehmen.....	110
Abbildung 74: Auszug aus dem Bemessungsprogramm Arbeitsblatt "Verbundmittel"– die vollständige Tabelle ist dem Anhang zu entnehmen.....	112
Abbildung 75: Auszug aus dem Bemessungsprogramm Arbeitsblatt "Formelzeichen" – die vollständige Tabelle ist dem Kapitel Formelzeichen und Kurzzeichen zu entnehmen	113
Abbildung 76: Slimdek [®] von Corus und Geometrie der hohen Trapezblechprofile SD225 [206].....	114
Abbildung 77: Beispiel Randträger ohne Optimierung – Bemessungsprogramm Arbeitsblatt "Bemessung von SFB-Trägern" – Seite 1 / System- und Querschnittsangaben.....	115

Abbildung 78: Beispiel Randträger ohne Optimierung – Bemessungsprogramm Arbeitsblatt "Bemessung von SFB-Trägern" – Seite 2 / Bemessung im Bauzustand – Teil 1	116
Abbildung 79: Beispiel Randträger ohne Optimierung – Bemessungsprogramm Arbeitsblatt "Bemessung von SFB-Trägern" – Seite 3 / Bemessung im Bauzustand – Teil 2	117
Abbildung 80: Beispiel Randträger ohne Optimierung – Bemessungsprogramm Arbeitsblatt "Bemessung von SFB-Trägern" – Seite 4 / Bemessung im Endzustand – Teil 1	118
Abbildung 81: Beispiel Randträger ohne Optimierung – Bemessungsprogramm Arbeitsblatt "Bemessung von SFB-Trägern" – Seite 5 / Bemessung im Endzustand – Teil 2	119
Abbildung 82: Beispiel Randträger mit Optimierung – Bemessungsprogramm Arbeitsblatt "Bemessung von SFB-Trägern" – Seite 1 / System- und Querschnittsangaben.....	120
Abbildung 83: Beispiel Randträger mit Optimierung – Bemessungsprogramm Arbeitsblatt "Bemessung von SFB-Trägern" – Seite 2 / Bemessung im Bauzustand – Teil 1	121
Abbildung 84: Beispiel Randträger mit Optimierung – Bemessungsprogramm Arbeitsblatt "Bemessung von SFB-Trägern" – Seite 3 / Bemessung im Bauzustand – Teil 2	122
Abbildung 85: Beispiel Randträger mit Optimierung – Bemessungsprogramm Arbeitsblatt "Bemessung von SFB-Trägern" – Seite 4 / Bemessung im Endzustand – Teil 1	123
Abbildung 86: Beispiel Randträger mit Optimierung – Bemessungsprogramm Arbeitsblatt "Bemessung von SFB-Trägern" – Seite 5 / Bemessung im Endzustand – Teil 2	124

9 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Übliche Abmessungen klassischer Verbunddecken	4
Tabelle 2: Teilsicherheitsbeiwerte für Einwirkungen auf Tragwerke für ständige und vorübergehende Bemessungssituationen nach Eurocode 3 [104] und Eurocode 4 [107]	31
Tabelle 3: Teilsicherheitsbeiwerte für Einwirkungen auf Tragwerke für ständige und vorübergehende Bemessungssituationen nach dem Nationalen Anwendungsdokument (NAD) zum Eurocode 4 [107]	32
Tabelle 4: Teilsicherheitsbeiwerte für Tragfähigkeiten und Werkstoffeigenschaften nach Eurocode 3 [104] und Eurocode 4 [107].....	33
Tabelle 5: Teilsicherheitsbeiwerte für Tragfähigkeiten und Werkstoffeigenschaften nach dem Nationalen Anwendungsdokument (NAD) zum Eurocode 4 [107]	33
Tabelle 6: übliche Stahlgüten für warmgewalzte Profile bzw. Flacherzeugnisse und zugehörige Normen	35
Tabelle 7: übliche Stahlgüten für Hohlprofile und zugehörige Normen	37
Tabelle 8: Schweißen in kaltgeformten Bereichen nach prEN 1993-1-8:20xx vom 26.2.2002, Tabelle 4.2. (Bild übernommen aus der DIN 18800-1, Tabelle 9) [238].....	40
Tabelle 9: Vorhandene und erforderliche r/t-Werte in Anlehnung an [235]. Fett geschriebene Zeilen sind somit nicht bedingungslos schweißbar.....	41
Tabelle 10: Nennwerte der Streckgrenze f_y und der Zugfestigkeit f_u für warmgewalzte Stahlprofile und warm- bzw. kaltgefertigte Hohlprofile [104], [105], [109], [110].....	42
Tabelle 11: Nennwerte der Streckgrenze f_y und der Zugfestigkeit f_u für warmgewalzte Stahlbleche [104], [105], [109], [110], [113]	43
Tabelle 12: Kennwerte des Betons nach Tabelle NAD 3 des Eurocode 4 [107]	44
Tabelle 13: Kennwerte des Betonstahls nach Tabelle NAD 3 des Eurocode 4 [107]	45
Tabelle 14: Empfohlene Kehlnahtdicken nach ÖNORM B 4300-1 [124].....	62
Tabelle 15: Querschnittsdaten von SD225 [206]	114
Tabelle 16: Betonvolumen beim SD225 [206]	114

Formelzeichen und Kurzzeichen

Große lateinische Buchstaben

A	Querschnittsfläche
E	Elastizitätsmodul
F	Kraft
G	ständige Einwirkung
G	Schubmodul
I	Flächenmoment 2. Grades (Trägheitsmoment)
M	Biegemoment
N	Längskraft (Normalkraft)
N	vorhandene Dübelanzahl
Q	veränderliche Einwirkung
R	Widerstand
S	Schnittgrößen (Schnittkräfte, Schnittmomente)
S	Statisches Flächenmoment
T	Torsionsmoment
V	Querkraft
W	Flächenmoment 1. Grades (Widerstandsmoment)

Kleine lateinische Buchstaben

a	streckenbezogene Querschnittsfläche
a	Auflagerbreite der Fertigteile bzw. der Profilbleche am Untergurtblech
a	Baustahl (als Index)
a	Kehlnahtdicke einer Schweißnaht
b	Querschnittsbreite, Hohlprofilbreite
c	Beton (als Index)
d	rechnerische Steghöhe des Hohlprofils
d	Schaftdurchmesser eines Kopfbolzendübels
d	Bemessungswert (als Index)
e	Exzentrizität
f	Festigkeit
f	Flansch (als Index)
g	strecken- oder flächenbezogene, ständige Einwirkung
h	Querschnittshöhe, Hohlprofilhöhe
h	Gesamtlänge eines Kopfbolzendübels im eingebauten Zustand
k	charakteristischer Wert (als Index)
m	Mittelwert (als Index)
max	maximal (als Index)
min	minimal (als Index)
n	Reduktionszahl
o	Obergurt (als Index)
p	strecken- oder flächenbezogene, ständige und veränderliche Einwirkung
q	strecken- oder flächenbezogene, veränderliche Einwirkung
r	innerer Ausrundungsradius bei kaltgeformten Hohlprofilen
s	Betonstahl (als Index)
t	Blechdicke
u	Untergurt (als Index)
w	Steg (als Index)
z	Nulllinienabstand des reinen Baustahlquerschnittes und des Verbundquerschnittes

Griechische Buchstaben

α	Verhältniszahl Nulllinienabstand zu rechnerischer Steghöhe des Hohlprofils
α	Verhältniszahl Nulllinienabstand zu rechnerischer Steghöhe des Hohlprofils
ε	Beiwert für den Profilquerschnitt bei der Ermittlung der Querschnittsklassen
γ	Teilsicherheitsbeiwert

abgeleitete Formelzeichen und Kurzzeichen

Große lateinische Buchstaben

A_a	Gesamtquerschnittsfläche des Baustahls
A_c	Gesamtfläche des Betonquerschnitts
A_f	Querschnittsfläche eines Hohlprofil-Flansches
A_{fo}	Querschnittsfläche des Hohlprofil-Obergurtflansches
A_{fu}	Querschnittsfläche des Hohlprofil-Untergurtflansches
$A_{i,0}$	Gesamtfläche des Verbundquerschnittes zum Zeitpunkt $t = 0$
$A_{i,b}$	Gesamtfläche des Verbundquerschnittes zum Zeitpunkt $t = \infty$
A_p	Querschnittsfläche des Hohlprofils
A_s	Querschnittsfläche des Betonstahlquerschnitts
A_u	Querschnittsfläche des Untergurtbleches
$A_{u,red}$	Querschnittsfläche des reduzierten Untergurtbleches
$A_{u,red,o}$	Querschnittsfläche des reduzierten Untergurtbleches oberhalb der Nulllinie
$A_{u,red,u}$	Querschnittsfläche des reduzierten Untergurtbleches unterhalb der Nulllinie
A_v	wirksame Schubfläche des Hohlprofils
A_w	Querschnittsfläche eines Hohlprofil-Steges
E_a	Elastizitätsmodul für Baustahl
E_{ap}	Elastizitätsmodul für Profibleche
E_{cm}	Elastizitätsmodul für Normalbeton (Sektantenmodul)
E_s	Elastizitätsmodul für Betonstahl (Bewehrungsstahl)
F_c	Bemessungswert der maximalen Betondruckkraft bei teilweiser Verdübelung
F_{cf}	Bemessungswert der maximalen Betondruckkraft bei vollständiger Verdübelung
I_a	Trägheitsmoment des gesamten Baustahlquerschnittes
$I_{i,0}$	Trägheitsmoment des Verbundquerschnittes zum Zeitpunkt $t = 0$
$I_{i,b}$	Trägheitsmoment des Verbundquerschnittes zum Zeitpunkt $t = \infty$
I_u	Trägheitsmoment des Untergurtblechs
$L_{D,max}$	größere Stützweite der Decke (größerer Parallelabstand der Slim-Floor-Träger)
$L_{D,min}$	kleinere Stützweite der Decke (kleinerer Parallelabstand der Slim-Floor-Träger)
L_T	Stützweite (Systemmaß) des Slim-Floor-Trägers
$M_{apl,Rd}$	plastisches Tragmoment des Baustahlquerschnittes
$M_{pl,Rd}$	plastisches Tragmoment des Verbundquerschnittes
M_{Sd}	Bemessungswert des aufzunehmenden Biegemoments
$M_{T,Sd}$	Bemessungswert des aufzunehmenden Torsionsmoments
N_f	erforderliche Dübelanzahl bei vollständiger Verdübelung
N_{Sd}	Bemessungswert der aufzunehmenden Längskraft (Normalkraft)
P_{Rd}	Grenzscherkraft eines Kopfbolzendübels

$S_{a,u}$	statisches Flächenmoment des Untergurts
$S_{i,b,u}$	statisches Flächenmoment des Untergurts am Verbundträger bei Berücksichtigung aller zeitabhängigen Einflüsse
T_{Sd}	Bemessungswert des aufzunehmenden Torsionsmoments
V_l	zu übertragende Längsschubkraft der Verdübelung
$V_{pl,Rd}$	plastische Querkrafttragfähigkeit
V_{Sd}	Bemessungswert der aufzunehmenden Querkraft
$V_{T,Sd}$	Bemessungswert der aufzunehmenden Querkraft welches gemeinsam mit $M_{T,Sd}$ auftritt

Kleine lateinische Buchstaben

a_{max}	maximale Kehlnahtdicke einer Schweißnaht
a_{min}	minimale Kehlnahtdicke einer Schweißnaht
a_s	streckenbezogene Fläche des Betonstahlquerschnitts
b_a	auskragende Breite des Untergurtbleches
b_e	mitwirkende Breite des Betongurts (einseitig)
b_{eff}	mitwirkende Breite des Betongurts (beidseitig)
b_u	Breite des Untergurtbleches
f_{cd}	Bemessungswert der Betondruckfestigkeit
f_{ck}	charakteristischer Wert der Zylinderdruckfestigkeit des Betons nach 28 Tagen
f_{cwk}	charakteristischer Wert der Würfeldruckfestigkeit des Betons
f_T	kleinste Eigenfrequenz des Verbundträgers
f_u	charakteristischer Wert der Zugfestigkeit des Baustahls
f_u	charakteristischer Wert der Zugfestigkeit des Stahls eines Kopfbolzendübels
$f_{vw,d}$	Bemessungswert der Grenzscherfestigkeit der Schweißnaht
f_y	charakteristischer Wert der Streckgrenze des Baustahls
f_{yd}	Bemessungswert der Festigkeit des Baustahls an der Streckgrenze
f_{yd}	Bemessungswert der Festigkeit des Betonstahls an der Streckgrenze
$f_{yd,p}$	Bemessungswert der Festigkeit des Hohlprofils an der Streckgrenze
$f_{yd,u}$	Bemessungswert der Festigkeit des Untergurtblechs an der Streckgrenze
f_{yk}	charakteristischer Wert der Festigkeit des Betonstahls an der Streckgrenze
$f_{y,p}$	charakteristischer Wert der Streckgrenze des Hohlprofils
$f_{y,u}$	charakteristischer Wert der Streckgrenze des Untergurtblechs
h_d	Gesamthöhe der Decke
$h_{\bar{u}}$	Höhe des Deckenbetons oberhalb des Hohlprofils
$m_{Sd,u}$	streckenbezogener Bemessungswert des aufzunehmenden Biegemoments für das Untergurtblech
n_0	Reduktionszahl zum Zeitpunkt $t = 0$
n_b	Reduktionszahl zum Zeitpunkt $t = \infty$
p_{Bau}	Bemessungswert der auf einer Seite des Untergurtblechs wirkenden Gesamtlast im Bauzustand (Eigengewicht, Aufbeton, Nutzlast)
t_f	Blechdicke des Hohlprofilflansches
t_{max}	maximale Blechdicke des Baustahls
t_{min}	minimale Blechdicke des Baustahls
t_{Sd}	streckenbezogener Bemessungswert des aufzunehmenden Torsionsmoments

t_u	Blechdicke des Untergurtblechs
$t_{u,red}$	reduzierte Blechdicke des Untergurtblechs
t_w	Blechdicke des Hohlprofilsteiges
$V_{Sd,u}$	streckenbezogener Bemessungswert der aufzunehmenden Querkraft für das Untergurtblech
z_a	Abstand des Flächenschwerpunktes des gesamten Baustahlquerschnittes
z_o	Schwerpunkt Abstand des unter Druckspannung stehenden Querschnittsteils zur plastischen Nulllinie
z_u	Schwerpunkt Abstand des unter Zugspannung stehenden Querschnittsteils zur plastischen Nulllinie

Griechische Buchstaben

β_w	Korrelationsfaktor für Schweißnähte
δ_0	Vorkrümmung des Stahlprofils
δ_1	Durchbiegung zufolge ständiger Lasten
δ_2	Durchbiegung zufolge ständiger und veränderlicher Lasten unter Berücksichtigung aller zeitabhängiger Verformungen
δ_{max}	maximalen Durchbiegung
γ_a	Teilsicherheitsbeiwert für Baustahl
γ_{ap}	Teilsicherheitsbeiwert für Profilbleche
γ_c	Teilsicherheitsbeiwert für Beton
$\gamma_{F,inf}$	unterer Teilsicherheitsbeiwert der Einwirkungen (günstige Auswirkung)
$\gamma_{F,sup}$	oberer Teilsicherheitsbeiwert der Einwirkungen (ungünstige Auswirkung)
γ_G	Teilsicherheitsbeiwert der ständigen Einwirkungen
γ_{Mw}	Teilsicherheitsbeiwert für Schweißnähte
γ_Q	Teilsicherheitsbeiwert der veränderlichen Einwirkungen
γ_{Rd}	Teilsicherheitsbeiwert für Baustahl im Falle lokaler Stabilitätsgefährdung (z.B. für Querschnitte der Klasse 4)
γ_s	Teilsicherheitsbeiwert für Betonstahl
γ_v	Teilsicherheitsbeiwert für Kopfbolzendübel
$\sigma_{vw,Sd}$	Bemessungswert der einwirkenden Scherspannungen der Schweißnaht
$\tau_{ ,Sd}$	Bemessungswert der Schubspannungen der Schweißnaht parallel zur Nahtachse
$\tau_{\perp,Sd}$	Bemessungswert der Schubspannungen der Schweißnaht normal zur Nahtachse

Anhang

Tabelle 9: Querschnittswerte von warm- und kaltgefertigten Hohlprofilen Seite 147

Tabelle 10: Vorhandene und erforderliche r/t -Werte für das Schweißen in
kaltgeformten Bereichen Seite 162

Tabelle 11: Kennwerte der Kopfbolzendübel Seite 163

Tabelle 9: Querschnittswerte von warm- und kaltgefertigten Hohlprofilen [1], [2], [3], [4], [5]

Profilbezeichnung	Ferti- gung	Höhe H [mm]	Breite B [mm]	Dicke t [mm]	Gewicht G [kg/m]	Querschnitts- fläche A [mm ²]	Trägheitsmomente I		Herstellerbezeichnungen		
							x-Achse [cm ⁴]	y-Achse [cm ⁴]	Corus	Vallourec & Mannesmann	Voestalpine
QHP 100x100x4,0	warm	100	100	4,0	11,9	15,2	232	232	SHS Celsius	MSH	-
QHP 100x100x5,0	warm	100	100	5,0	14,7	18,7	279	279	SHS Celsius	MSH	-
QHP 100x100x6,3	warm	100	100	6,3	18,2	23,2	336	336	SHS Celsius	MSH	-
QHP 100x100x7,1	warm	100	100	7,1	20,3	25,8	367	367	-	MSH	-
QHP 100x100x8,0	warm	100	100	8,0	22,6	28,8	400	400	SHS Celsius	MSH	-
QHP 100x100x10,0	warm	100	100	10,0	27,4	34,9	462	462	SHS Celsius	MSH	-
QHP 100x100x12,5	warm	100	100	12,5	33,0	42,1	522	522	-	MSH	-
QHP 110x110x8,0	warm	110	110	8,0	25,1	32,0	547	547	-	MSH	-
QHP 110x110x10,0	warm	110	110	10,0	30,6	38,9	637	637	-	MSH	-
QHP 120x120x4,5	warm	120	120	4,5	16,1	20,6	455	455	-	MSH	-
QHP 120x120x5,0	warm	120	120	5,0	17,8	22,7	498	498	SHS Celsius	MSH	-
QHP 120x120x5,6	warm	120	120	5,6	19,9	25,3	547	547	-	MSH	-
QHP 120x120x6,3	warm	120	120	6,3	22,2	28,2	603	603	SHS Celsius	MSH	-
QHP 120x120x8,0	warm	120	120	8,0	27,6	35,2	726	726	SHS Celsius	MSH	-
QHP 120x120x10,0	warm	120	120	10,0	33,7	42,9	852	852	SHS Celsius	MSH	-
QHP 120x120x12,5	warm	120	120	12,5	40,9	52,1	982	982	SHS Celsius	MSH	-
QHP 140x140x5,0	warm	140	140	5,0	21,0	26,7	807	807	SHS Celsius	MSH	-
QHP 140x140x5,6	warm	140	140	5,6	23,4	29,8	891	891	-	MSH	-
QHP 140x140x6,3	warm	140	140	6,3	26,1	33,3	984	984	SHS Celsius	MSH	-
QHP 140x140x7,1	warm	140	140	7,1	29,2	37,2	1090	1090	-	MSH	-
QHP 140x140x8,0	warm	140	140	8,0	32,6	41,6	1200	1200	SHS Celsius	MSH	-
QHP 140x140x8,8	warm	140	140	8,8	35,6	45,4	1290	1290	-	MSH	-
QHP 140x140x10,0	warm	140	140	10,0	40,0	50,9	1420	1420	SHS Celsius	MSH	-
QHP 140x140x12,5	warm	140	140	12,5	48,7	62,1	1650	1650	SHS Celsius	MSH	-
QHP 150x150x5,0	warm	150	150	5,0	22,6	28,7	1000	1000	SHS Celsius	-	-
QHP 150x150x6,3	warm	150	150	6,3	28,1	35,8	1220	1220	SHS Celsius	MSH	-
QHP 150x150x8,0	warm	150	150	8,0	35,1	44,8	1490	1490	SHS Celsius	MSH	-
QHP 150x150x10,0	warm	150	150	10,0	43,1	54,9	1770	1770	SHS Celsius	MSH	-
QHP 150x150x12,5	warm	150	150	12,5	52,7	67,1	2080	2080	SHS Celsius	MSH	-

Querschnittswerte von warm- und kaltgefertigten Hohlprofilen												
Profilbezeichnung	Ferti- gung	Höhe H [mm]	Breite B [mm]	Dicke t [mm]	Gewicht G [kg/m]	Querschnitts- fläche A [mm ²]	Trägheitsmomente I		Herstellerbezeichnungen			
							x-Achse [cm ⁴]	y-Achse [cm ⁴]	Corus	Vallourec & Mannesmann	Voestalpine	
QHP 150x150x16,0	warm	150	150	16,0	65,2	83,0	2430	2430	SHS Celsius	MSH	-	
QHP 160x160x5,0	warm	160	160	5,0	24,1	30,7	1230	1230	SHS Celsius	-	-	
QHP 160x160x6,3	warm	160	160	6,3	30,1	38,3	1500	1500	SHS Celsius	MSH	-	
QHP 160x160x8,0	warm	160	160	8,0	37,6	48,0	1830	1830	SHS Celsius	MSH	-	
QHP 160x160x8,8	warm	160	160	8,8	41,1	52,4	1980	1980	-	MSH	-	
QHP 160x160x10,0	warm	160	160	10,0	46,3	58,9	2190	2190	SHS Celsius	MSH	-	
QHP 160x160x12,5	warm	160	160	12,5	56,6	72,1	2580	2580	SHS Celsius	MSH	-	
QHP 160x160x14,2	warm	160	160	14,2	63,3	80,7	2810	2810	-	MSH	-	
QHP 160x160x16,0	warm	160	160	16,0	70,2	89,4	3030	3030	-	MSH	-	
QHP 180x180x6,3	warm	180	180	6,3	34,0	43,3	2170	2170	SHS Celsius	MSH	-	
QHP 180x180x8,0	warm	180	180	8,0	42,7	54,4	2660	2660	SHS Celsius	MSH	-	
QHP 180x180x8,8	warm	180	180	8,8	46,7	59,4	2880	2880	-	MSH	-	
QHP 180x180x10,0	warm	180	180	10,0	52,5	66,9	3190	3190	SHS Celsius	MSH	-	
QHP 180x180x12,5	warm	180	180	12,5	64,4	82,1	3790	3790	SHS Celsius	MSH	-	
QHP 180x180x14,2	warm	180	180	14,2	72,2	92,0	4150	4150	-	MSH	-	
QHP 180x180x16,0	warm	180	180	16,0	80,2	102	4500	4500	SHS Celsius	MSH	-	
QHP 200x200x5,0	warm	200	200	5,0	30,4	38,7	2450	2450	SHS Celsius	-	-	
QHP 200x200x6,3	warm	200	200	6,3	38,0	48,4	3010	3010	SHS Celsius	MSH	-	
QHP 200x200x8,0	warm	200	200	8,0	47,7	60,8	3710	3710	SHS Celsius	MSH	-	
QHP 200x200x10,0	warm	200	200	10,0	58,8	74,9	4470	4470	SHS Celsius	MSH	-	
QHP 200x200x12,5	warm	200	200	12,5	72,3	92,1	5340	5340	SHS Celsius	MSH	-	
QHP 200x200x16,0	warm	200	200	16,0	90,3	115	6390	6390	SHS Celsius	MSH	-	
QHP 220x220x6,3	warm	220	220	6,3	41,9	53,4	4050	4050	-	MSH	-	
QHP 220x220x8,0	warm	220	220	8,0	52,7	67,2	5000	5000	-	MSH	-	
QHP 220x220x10,0	warm	220	220	10,0	65,1	82,9	6050	6050	-	MSH	-	
QHP 220x220x12,5	warm	220	220	12,5	80,1	102	7250	7250	-	MSH	-	
QHP 220x220x16,0	warm	220	220	16,0	100	128	8750	8750	-	MSH	-	
QHP 250x250x6,3	warm	250	250	6,3	47,9	61,0	6010	6010	SHS Celsius	-	-	
QHP 250x250x8,0	warm	250	250	8,0	60,3	76,8	7460	7460	SHS Celsius	MSH	-	
QHP 250x250x10,0	warm	250	250	10,0	74,5	94,9	9060	9060	SHS Celsius	MSH	-	
QHP 250x250x12,5	warm	250	250	12,5	91,9	117	10900	10900	SHS Celsius	MSH	-	

Querschnittswerte von warm- und kaltgefertigten Hohlprofilen												
Profilbezeichnung	Ferti- gung	Höhe H [mm]	Breite B [mm]	Dicke t [mm]	Gewicht G [kg/m]	Querschnitts- fläche A [mm ²]	Trägheitsmomente I		Herstellerbezeichnungen			
							x-Achse [cm ⁴]	y-Achse [cm ⁴]	Corus	Vallourec & Mannesmann	Voestalpine	
QHP 250x250x16,0	warm	250	250	16,0	115	147	13300	13300	SHS Celsius	MSH	-	
QHP 260x260x8,0	warm	260	260	8,0	62,8	80	8420	8420	-	MSH	-	
QHP 260x260x8,8	warm	260	260	8,8	68,8	87,6	9160	9160	-	MSH	-	
QHP 260x260x10,0	warm	260	260	10,0	77,7	98,9	10240	10240	-	MSH	-	
QHP 260x260x11,0	warm	260	260	11,0	85	108	11110	11110	-	MSH	-	
QHP 260x260x12,5	warm	260	260	12,5	95,8	122	12360	12360	-	MSH	-	
QHP 260x260x14,2	warm	260	260	14,2	108	137	13710	13710	-	MSH	-	
QHP 260x260x16,0	warm	260	260	16,0	120	153	15060	15060	-	MSH	-	
QHP 300x300x6,3	warm	300	300	6,3	57,8	73,6	10500	10500	SHS Celsius	-	-	
QHP 300x300x8,0	warm	300	300	8,0	72,8	92,8	13100	13100	SHS Celsius	MSH	-	
QHP 300x300x10,0	warm	300	300	10,0	90,2	115	16000	16000	SHS Celsius	MSH	-	
QHP 300x300x12,5	warm	300	300	12,5	112	142	19400	19400	SHS Celsius	MSH	-	
QHP 300x300x16,0	warm	300	300	16,0	141	179	23900	23900	SHS Celsius	MSH	-	
QHP 350x350x8,0	warm	350	350	8,0	85,4	109	21100	21100	SHS Celsius	-	-	
QHP 350x350x10,0	warm	350	350	10,0	106	135	25900	25900	SHS Celsius	MSH	-	
QHP 350x350x12,5	warm	350	350	12,5	131	167	31500	31500	SHS Celsius	MSH	-	
QHP 350x350x16,0	warm	350	350	16,0	166	211	38900	38900	SHS Celsius	MSH	-	
QHP 400x400x10,0	warm	400	400	10,0	122	155	39100	39100	SHS Celsius	MSH	-	
QHP 400x400x12,5	warm	400	400	12,5	151	192	47800	47800	SHS Celsius	MSH	-	
QHP 400x400x16,0	warm	400	400	16,0	191	243	59300	59300	SHS Celsius	MSH	-	
QHP 400x400x20,0	warm	400	400	20,0	235	300	71500	71500	SHS Celsius	-	-	
RHP 100x50x4,0	warm	100	50	4,0	8,78	11,2	140	46,2	-	MSH	-	
RHP 100x50x4,5	warm	100	50	4,5	9,79	12,5	153	50,4	-	MSH	-	
RHP 100x50x5,0	warm	100	50	5,0	10,8	13,7	167	54,3	RHS Celsius	MSH	-	
RHP 100x50x5,6	warm	100	50	5,6	11,9	15,2	181	58,6	-	MSH	-	
RHP 100x50x6,3	warm	100	50	6,3	13,3	16,9	197	63,0	RHS Celsius	MSH	-	
RHP 100x50x7,1	warm	100	50	7,1	14,7	18,7	214	67,5	-	MSH	-	
RHP 100x50x8,0	warm	100	50	8,0	16,3	20,8	230	71,7	RHS Celsius	MSH	-	
RHP 100x50x10,0	warm	100	50	10,0	19,6	24,9	259	78,4	RHS Celsius	MSH	-	
RHP 100x60x4,5	warm	100	60	4,5	10,5	13,4	174	77,3	-	MSH	-	
RHP 100x60x5,0	warm	100	60	5,0	11,6	14,7	189	83,6	RHS Celsius	MSH	-	

Querschnittswerte von warm- und kaltgefertigten Hohlprofilen												
Profilbezeichnung	Ferti- gung	Höhe H [mm]	Breite B [mm]	Dicke t [mm]	Gewicht G [kg/m]	Querschnitts- fläche A [mm ²]	Trägheitsmomente I		Herstellerbezeichnungen			
							x-Achse [cm ⁴]	y-Achse [cm ⁴]	Corus	Vallourec & Mannesmann	Voestalpine	
RHP 100x60x5,6	warm	100	60	5,6	12,8	16,3	206	90,6	-	MSH	-	-
RHP 100x60x6,3	warm	100	60	6,3	14,2	18,1	225	98,1	RHS Celsius	MSH	-	-
RHP 100x60x7,1	warm	100	60	7,1	15,8	20,2	244	106	-	MSH	-	-
RHP 100x60x8,0	warm	100	60	8,0	17,5	22,4	264	113	RHS Celsius	MSH	-	-
RHP 100x60x8,8	warm	100	60	8,8	19	24,2	279	119	-	MSH	-	-
RHP 120x60x4,0	warm	120	60	4,0	10,7	13,6	249	83,1	-	MSH	-	-
RHP 120x60x5,0	warm	120	60	5,0	13,1	16,7	299	98,8	RHS Celsius	MSH	-	-
RHP 120x60x6,3	warm	120	60	6,3	16,2	20,7	358	116	RHS Celsius	MSH	-	-
RHP 120x60x7,1	warm	120	60	7,1	18,1	23,0	391	126	-	MSH	-	-
RHP 120x60x8,0	warm	120	60	8,0	20,1	25,6	425	135	RHS Celsius	MSH	-	-
RHP 120x60x8,8	warm	120	60	8,8	21,8	27,8	452	142	-	MSH	-	-
RHP 120x60x10,0	warm	120	60	10,0	24,3	30,9	488	152	-	MSH	-	-
RHP 120x80x5,0	warm	120	80	5,0	14,7	18,7	365	193	RHS Celsius	MSH	-	-
RHP 120x80x6,3	warm	120	80	6,3	18,2	23,2	440	230	RHS Celsius	MSH	-	-
RHP 120x80x8,0	warm	120	80	8,0	22,6	28,8	525	273	RHS Celsius	MSH	-	-
RHP 120x80x10,0	warm	120	80	10,0	27,4	34,9	609	313	RHS Celsius	MSH	-	-
RHP 140x70x4,0	warm	140	70	4,0	12,6	16,0	404	136	-	MSH	-	-
RHP 140x70x5,0	warm	140	70	5,0	15,5	19,7	488	163	-	MSH	-	-
RHP 140x70x6,3	warm	140	70	6,3	19,2	24,4	589	194	-	MSH	-	-
RHP 140x70x7,1	warm	140	70	7,1	21,4	27,3	647	211	-	MSH	-	-
RHP 140x70x8,0	warm	140	70	8,0	23,8	30,4	707	228	-	MSH	-	-
RHP 140x70x8,8	warm	140	70	8,8	25,9	33,0	756	242	-	MSH	-	-
RHP 140x70x10,0	warm	140	70	10,0	29,0	36,9	823	260	-	MSH	-	-
RHP 140x80x4,0	warm	140	80	4,0	13,2	16,8	441	184	-	MSH	-	-
RHP 140x80x5,0	warm	140	80	5,0	16,3	20,7	534	221	-	MSH	-	-
RHP 140x80x6,3	warm	140	80	6,3	20,2	25,7	646	265	-	MSH	-	-
RHP 140x80x8,0	warm	140	80	8,0	25,1	32,0	776	314	-	MSH	-	-
RHP 140x80x10,0	warm	140	80	10,0	30,6	38,9	908	362	-	MSH	-	-
RHP 150x100x5,0	warm	150	100	5,0	18,6	23,7	739	392	RHS Celsius	MSH	-	-
RHP 150x100x6,3	warm	150	100	6,3	23,1	29,5	898	474	RHS Celsius	MSH	-	-
RHP 150x100x8,0	warm	150	100	8,0	28,9	36,8	1090	569	RHS Celsius	MSH	-	-

Querschnittswerte von warm- und kaltgefertigten Hohlprofilen												
Profilbezeichnung	Ferti- gung	Höhe H [mm]	Breite B [mm]	Dicke t [mm]	Gewicht G [kg/m]	Querschnitts- fläche A [mm ²]	Trägheitsmomente I		Herstellerbezeichnungen			
							x-Achse [cm ⁴]	y-Achse [cm ⁴]	Corus	Vallourec & Mannesmann	Voestalpine	
RHP 150x100x10,0	warm	150	100	10,0	35,3	44,9	1280	665	RHS Celsius	MSH	-	
RHP 150x100x12,5	warm	150	100	12,5	42,8	54,6	1490	763	RHS Celsius	MSH	-	
RHP 160x80x4,0	warm	160	80	4,0	14,4	18,4	612	207	RHS Celsius	-	-	
RHP 160x80x5,0	warm	160	80	5,0	17,8	22,7	744	249	RHS Celsius	MSH	-	
RHP 160x80x6,3	warm	160	80	6,3	22,2	28,2	903	299	RHS Celsius	MSH	-	
RHP 160x80x8,0	warm	160	80	8,0	27,6	35,2	1090	356	RHS Celsius	MSH	-	
RHP 160x80x10,0	warm	160	80	10,0	33,7	42,9	1280	411	RHS Celsius	MSH	-	
RHP 160x80x12,5	warm	160	80	12,5	40,9	52,1	1490	465	-	MSH	-	
RHP 160x90x5,6	warm	160	90	5,6	20,7	26,4	886	358	-	MSH	-	
RHP 160x90x7,1	warm	160	90	7,1	25,9	32,9	1080	431	-	MSH	-	
RHP 160x90x8,0	warm	160	90	8,0	28,9	36,8	1180	470	-	MSH	-	
RHP 160x90x10,0	warm	160	90	10,0	35,3	44,9	1400	547	-	MSH	-	
RHP 180x100x5,0	warm	180	100	5,0	21,0	26,7	1150	460	-	MSH	-	
RHP 180x100x5,6	warm	180	100	5,6	23,4	29,8	1270	506	-	MSH	-	
RHP 180x100x6,3	warm	180	100	6,3	26,1	33,3	1410	557	-	MSH	-	
RHP 180x100x7,1	warm	180	100	7,1	29,2	37,2	1560	613	-	MSH	-	
RHP 180x100x8,0	warm	180	100	8,0	32,6	41,6	1710	671	-	MSH	-	
RHP 180x100x8,8	warm	180	100	8,8	35,6	45,4	1850	720	-	MSH	-	
RHP 180x100x10,0	warm	180	100	10,0	40,0	50,9	2040	787	-	MSH	-	
RHP 180x100x12,5	warm	180	100	12,5	48,7	62,1	2380	908	-	MSH	-	
RHP 200x100x5,0	warm	200	100	5,0	22,6	28,7	1500	505	RHS Celsius	-	-	
RHP 200x100x6,3	warm	200	100	6,3	28,1	35,8	1830	613	RHS Celsius	MSH	-	
RHP 200x100x8,0	warm	200	100	8,0	35,1	44,8	2230	739	RHS Celsius	MSH	-	
RHP 200x100x10,0	warm	200	100	10,0	43,1	54,9	2660	869	RHS Celsius	MSH	-	
RHP 200x100x12,5	warm	200	100	12,5	52,7	67,1	3140	1000	RHS Celsius	MSH	-	
RHP 200x100x16,0	warm	200	100	16,0	65,2	83	3680	1150	-	MSH	-	
RHP 200x120x5,0	warm	200	120	5,0	24,1	30,7	1690	762	RHS Celsius	-	-	
RHP 200x120x6,3	warm	200	120	6,3	30,1	38,3	2070	929	RHS Celsius	MSH	-	
RHP 200x120x8,0	warm	200	120	8,0	37,6	48	2530	1130	RHS Celsius	MSH	-	
RHP 200x120x10,0	warm	200	120	10,0	46,3	58,9	3030	1340	RHS Celsius	MSH	-	
RHP 200x120x12,5	warm	200	120	12,5	56,6	72,1	3580	1560	-	MSH	-	

Querschnittswerte von warm- und kaltgefertigten Hohlprofilen												
Profilbezeichnung	Ferti- gung	Höhe H [mm]	Breite B [mm]	Dicke t [mm]	Gewicht G [kg/m]	Querschnitts- fläche A [mm ²]	Trägheitsmomente I		Herstellerbezeichnungen			
							x-Achse [cm ⁴]	y-Achse [cm ⁴]	Corus	Vallourec & Mannesmann	Voestalpine	
RHP 200x120x14,2	warm	200	120	14,2	63,3	80,7	3910	1690	-	MSH	-	-
RHP 200x150x8,0	warm	200	150	8,0	41,4	52,8	2970	1890	RHS Celsius	-	-	-
RHP 200x150x10,0	warm	200	150	10,0	51,0	64,9	3570	2260	RHS Celsius	-	-	-
RHP 220x120x6,3	warm	220	120	6,3	32,0	40,8	2610	1010	-	MSH	-	-
RHP 220x120x8,0	warm	220	120	8,0	40,2	51,2	3200	1230	-	MSH	-	-
RHP 220x120x10,0	warm	220	120	10,0	49,4	62,9	3840	1460	-	MSH	-	-
RHP 220x120x12,5	warm	220	120	12,5	60,5	77,1	4560	1710	-	MSH	-	-
RHP 220x120x14,2	warm	220	120	14,2	67,8	86,3	5000	1850	-	MSH	-	-
RHP 220x120x16,0	warm	220	120	16,0	75,2	95,8	5410	1990	-	MSH	-	-
RHP 250x100x10,0	warm	250	100	10,0	51,0	64,9	4730	1070	RHS Celsius	-	-	-
RHP 250x100x12,5	warm	250	100	12,5	62,5	79,6	5620	1250	RHS Celsius	-	-	-
RHP 250x150x5,0	warm	250	150	5,0	30,4	38,7	3360	1530	RHS Celsius	-	-	-
RHP 250x150x6,3	warm	250	150	6,3	38,0	48,4	4140	1870	RHS Celsius	MSH	-	-
RHP 250x150x8,0	warm	250	150	8,0	47,7	60,8	5110	2300	RHS Celsius	MSH	-	-
RHP 250x150x10,0	warm	250	150	10,0	58,8	74,9	6170	2760	RHS Celsius	MSH	-	-
RHP 250x150x12,5	warm	250	150	12,5	72,3	92,1	7390	3270	RHS Celsius	MSH	-	-
RHP 250x150x16,0	warm	250	150	16,0	90,3	115	8880	3870	RHS Celsius	MSH	-	-
RHP 260x140x6,3	warm	260	140	6,3	38,0	48,4	4350	1660	-	MSH	-	-
RHP 260x140x8,0	warm	260	140	8,0	47,7	60,8	5370	2030	-	MSH	-	-
RHP 260x140x10,0	warm	260	140	10,0	58,8	74,9	6490	2430	-	MSH	-	-
RHP 260x140x12,5	warm	260	140	12,5	72,3	92,1	7770	2880	-	MSH	-	-
RHP 260x180x6,3	warm	260	180	6,3	41,9	53,4	5170	2930	-	MSH	-	-
RHP 260x180x8,0	warm	260	180	8,0	52,7	67,2	6390	3610	-	MSH	-	-
RHP 260x180x10,0	warm	260	180	10,0	65,1	82,9	7740	4350	-	MSH	-	-
RHP 260x180x12,5	warm	260	180	12,5	80,1	102	9300	5200	-	MSH	-	-
RHP 260x180x16,0	warm	260	180	16,0	100	128	11250	6230	-	MSH	-	-
RHP 300x100x8,0	warm	300	100	8,0	47,7	60,8	6310	1080	RHS Celsius	-	-	-
RHP 300x100x10,0	warm	300	100	10,0	58,8	74,9	7610	1280	RHS Celsius	-	-	-
RHP 300x200x6,3	warm	300	200	6,3	47,9	61	7830	4190	RHS Celsius	-	-	-
RHP 300x200x8,0	warm	300	200	8,0	60,3	76,8	9720	5180	RHS Celsius	MSH	-	-
RHP 300x200x10,0	warm	300	200	10,0	74,5	94,9	11800	6280	RHS Celsius	MSH	-	-

Querschnittswerte von warm- und kaltgefertigten Hohlprofilen												
Profilbezeichnung	Ferti- gung	Höhe H [mm]	Breite B [mm]	Dicke t [mm]	Gewicht G [kg/m]	Querschnitts- fläche A [mm ²]	Trägheitsmomente I		Herstellerbezeichnungen			
							x-Achse [cm ⁴]	y-Achse [cm ⁴]	Corus	Vallourec & Mannesmann	Voestalpine	
RHP 300x200x12,5	warm	300	200	12,5	91,9	117	14300	7540	RHS Celsius	MSH	-	
RHP 300x200x16,0	warm	300	200	16,0	115	147	17400	9110	RHS Celsius	MSH	-	
RHP 400x200x8,0	warm	400	200	8,0	72,8	92,8	19600	6660	RHS Celsius	MSH	-	
RHP 400x200x10,0	warm	400	200	10,0	90,2	115	23900	8080	RHS Celsius	MSH	-	
RHP 400x200x12,5	warm	400	200	12,5	112	142	29100	9740	RHS Celsius	MSH	-	
RHP 400x200x16,0	warm	400	200	16,0	141	179	35700	11800	RHS Celsius	MSH	-	
RHP 450x250x8,0	warm	450	250	8,0	85,4	109	30100	12100	RHS Celsius	-	-	
RHP 450x250x10,0	warm	450	250	10,0	106	135	36900	14800	RHS Celsius	MSH	-	
RHP 450x250x12,5	warm	450	250	12,5	131	167	45000	18000	RHS Celsius	MSH	-	
RHP 450x250x16,0	warm	450	250	16,0	166	211	55700	22000	RHS Celsius	MSH	-	
RHP 500x300x8,0	warm	500	300	8,0	98	125	43700	20000	RHS Celsius	MSH	-	
RHP 500x300x10,0	warm	500	300	10,0	122	155	53800	24400	RHS Celsius	MSH	-	
RHP 500x300x12,5	warm	500	300	12,5	151	192	65800	29800	RHS Celsius	MSH	-	
RHP 500x300x16,0	warm	500	300	16,0	191	243	81800	36800	RHS Celsius	MSH	-	
RHP 500x300x20,0	warm	500	300	20,0	235	300	98800	44100	RHS Celsius	-	-	
QHP 100x100x4,0	kalt	100	100	4,0	11,7	15,0	226	226	SHS Hybox	-	VHP	
QHP 100x100x5,0	kalt	100	100	5,0	14,4	18,4	271	271	SHS Hybox	-	VHP	
QHP 100x100x6,0	kalt	100	100	6,0	17,0	21,6	311	311	SHS Hybox	-	VHP	
QHP 100x100x7,0	kalt	100	100	7,0	19,1	24,4	337	337	-	-	VHP	
QHP 100x100x8,0	kalt	100	100	8,0	21,4	27,2	366	366	SHS Hybox	-	VHP	
QHP 100x100x10,0	kalt	100	100	10,0	25,6	32,6	411	411	-	-	VHP	
QHP 110x110x4,0	kalt	110	110	4,0	13,0	16,6	306	306	-	-	VHP	
QHP 110x110x5,0	kalt	110	110	5,0	16,0	20,4	368	368	-	-	VHP	
QHP 110x110x6,0	kalt	110	110	6,0	18,9	24,0	425	425	-	-	VHP	
QHP 110x110x7,0	kalt	110	110	7,0	21,3	27,2	463	463	-	-	VHP	
QHP 110x110x8,0	kalt	110	110	8,0	23,9	30,4	506	506	-	-	VHP	
QHP 110x110x10,0	kalt	110	110	10,0	28,7	36,6	575	575	-	-	VHP	
QHP 120x120x4,0	kalt	120	120	4,0	14,3	18,2	402	402	SHS Hybox	-	VHP	
QHP 120x120x5,0	kalt	120	120	5,0	17,6	22,4	485	485	SHS Hybox	-	VHP	
QHP 120x120x6,0	kalt	120	120	6,0	20,8	26,4	562	562	SHS Hybox	-	VHP	
QHP 120x120x7,0	kalt	120	120	7,0	23,5	30,0	617	617	-	-	VHP	

Querschnittswerte von warm- und kaltgefertigten Hohlprofilen												
Profilbezeichnung	Ferti- gung	Höhe H [mm]	Breite B [mm]	Dicke t [mm]	Gewicht G [kg/m]	Querschnitts- fläche A [mm ²]	Trägheitsmomente I		Herstellerbezeichnungen			
							x-Achse [cm ⁴]	y-Achse [cm ⁴]	Corus	Vallourec & Mannesmann	Voestalpine	
QHP 120x120x8,0	kalt	120	120	8,0	26,4	33,6	677	677	SHS Hybox	-	VHP	
QHP 120x120x10,0	kalt	120	120	10,0	31,8	40,6	777	777	SHS Hybox	-	VHP	
QHP 125x125x4,0	kalt	125	125	4,0	14,9	19,0	457	457	-	-	VHP	
QHP 125x125x5,0	kalt	125	125	5,0	18,3	23,4	553	553	-	-	VHP	
QHP 125x125x6,0	kalt	125	125	6,0	21,7	27,6	641	641	-	-	VHP	
QHP 125x125x7,0	kalt	125	125	7,0	24,6	31,4	706	706	-	-	VHP	
QHP 125x125x8,0	kalt	125	125	8,0	27,7	35,2	775	775	-	-	VHP	
QHP 125x125x10,0	kalt	125	125	10,0	33,4	42,6	893	893	-	-	VHP	
QHP 127x127x10,0	kalt	127	127	10,0	34,0	43,4	943	943	-	-	VHP	
QHP 130x130x10,0	kalt	130	130	10,0	35,0	44,6	1021	1021	-	-	VHP	
QHP 140x140x4,0	kalt	140	140	4,0	16,8	21,4	652	652	SHS Hybox	-	VHP	
QHP 140x140x5,0	kalt	140	140	5,0	20,7	26,4	791	791	SHS Hybox	-	VHP	
QHP 140x140x6,0	kalt	140	140	6,0	24,5	31,2	920	920	SHS Hybox	-	VHP	
QHP 140x140x7,0	kalt	140	140	7,0	27,9	35,6	1021	1021	-	-	VHP	
QHP 140x140x8,0	kalt	140	140	8,0	31,4	40,0	1127	1127	SHS Hybox	-	VHP	
QHP 140x140x10,0	kalt	140	140	10,0	38,1	48,6	1312	1312	SHS Hybox	-	VHP	
QHP 150x150x4,0	kalt	150	150	4,0	18,0	23,0	808	808	SHS Hybox	-	VHP	
QHP 150x150x5,0	kalt	150	150	5,0	22,3	28,4	982	982	SHS Hybox	-	VHP	
QHP 150x150x6,0	kalt	150	150	6,0	26,4	33,6	1146	1146	SHS Hybox	-	VHP	
QHP 150x150x7,0	kalt	150	150	7,0	30,1	38,4	1276	1276	-	-	VHP	
QHP 150x150x8,0	kalt	150	150	8,0	34,0	43,2	1412	1412	SHS Hybox	-	VHP	
QHP 150x150x10,0	kalt	150	150	10,0	41,3	52,6	1653	1653	SHS Hybox	-	VHP	
QHP 152,4x152,4x10,0	kalt	152,4	152,4	10,0	42,0	53,5	1742	1742	-	-	VHP	
QHP 160x160x4,0	kalt	160	160	4,0	19,3	24,6	987	987	SHS Hybox	-	VHP	
QHP 160x160x5,0	kalt	160	160	5,0	23,8	30,4	1202	1202	SHS Hybox	-	VHP	
QHP 160x160x6,0	kalt	160	160	6,0	28,3	36,0	1405	1405	SHS Hybox	-	VHP	
QHP 160x160x7,0	kalt	160	160	7,0	32,3	41,2	1570	1570	-	-	VHP	
QHP 160x160x8,0	kalt	160	160	8,0	36,5	46,4	1741	1741	SHS Hybox	-	VHP	
QHP 160x160x10,0	kalt	160	160	10,0	44,4	56,6	2048	2048	SHS Hybox	-	VHP	
QHP 180x180x5,0	kalt	180	180	5,0	27,0	34,4	1737	1737	SHS Hybox	-	VHP	
QHP 180x180x6,0	kalt	180	180	6,0	32,1	40,8	2037	2037	SHS Hybox	-	VHP	

Querschnittswerte von warm- und kaltgefertigten Hohlprofilen												
Profilbezeichnung	Ferti- gung	Höhe H [mm]	Breite B [mm]	Dicke t [mm]	Gewicht G [kg/m]	Querschnitts- fläche A [mm ²]	Trägheitsmomente I		Herstellerbezeichnungen			
							x-Achse [cm ⁴]	y-Achse [cm ⁴]	Corus	Vallourec & Mannesmann	Voestalpine	
QHP 180x180x7,0	kalt	180	180	7,0	36,7	46,8	2287	2287	-	-	VHP	
QHP 180x180x8,0	kalt	180	180	8,0	41,5	52,8	2546	2546	SHS Hybox	-	VHP	
QHP 180x180x8,8	kalt	180	180	8,8	45,2	57,6	2742	2742	-	-	VHP	
QHP 180x180x10,0	kalt	180	180	10,0	50,7	64,6	3017	3017	SHS Hybox	-	VHP	
QHP 180x180x12,0	kalt	180	180	12,0	58,5	74,5	3320	3320	SHS Hybox	-	-	
QHP 180x180x12,5	kalt	180	180	12,5	60,5	77,0	3410	3410	SHS Hybox	-	-	
QHP 200x200x5,0	kalt	200	200	5,0	30,1	38,4	2410	2410	SHS Hybox	-	VHP	
QHP 200x200x6,0	kalt	200	200	6,0	35,8	45,6	2833	2833	SHS Hybox	-	VHP	
QHP 200x200x7,0	kalt	200	200	7,0	41,1	52,4	3194	3194	-	-	VHP	
QHP 200x200x8,0	kalt	200	200	8,0	46,5	59,2	3566	3566	SHS Hybox	-	VHP	
QHP 200x200x10,0	kalt	200	200	10,0	57,0	72,6	4251	4251	SHS Hybox	-	VHP	
QHP 200x200x12,0	kalt	200	200	12,0	66,0	84,1	4730	4730	SHS Hybox	-	-	
QHP 200x200x12,5	kalt	200	200	12,5	68,3	87,0	4860	4860	SHS Hybox	-	-	
QHP 220x220x6,0	kalt	220	220	6,0	39,6	50,4	3813	3813	-	-	VHP	
QHP 220x220x7,0	kalt	220	220	7,0	45,5	58,0	4314	4314	-	-	VHP	
QHP 220x220x8,0	kalt	220	220	8,0	51,5	65,6	4828	4828	-	-	VHP	
QHP 220x220x10,0	kalt	220	220	10,0	63,2	80,6	5782	5782	-	-	VHP	
QHP 250x250x6,0	kalt	250	250	6,0	45,2	57,6	5670	5670	SHS Hybox	-	-	
QHP 250x250x8,0	kalt	250	250	8,0	59,1	75,2	7230	7230	SHS Hybox	-	-	
QHP 250x250x10,0	kalt	250	250	10,0	72,7	92,6	8710	8710	SHS Hybox	-	-	
QHP 250x250x12,0	kalt	250	250	12,0	84,8	108	9860	9860	SHS Hybox	-	-	
QHP 250x250x12,5	kalt	250	250	12,5	88,0	112	10200	10200	SHS Hybox	-	-	
QHP 300x300x8,0	kalt	300	300	8,0	71,6	91,2	12800	12800	SHS Hybox	-	-	
QHP 300x300x10,0	kalt	300	300	10,0	88,4	113	15500	15500	SHS Hybox	-	-	
QHP 300x300x12,0	kalt	300	300	12,0	104	132	17800	17800	SHS Hybox	-	-	
QHP 300x300x12,5	kalt	300	300	12,5	108	137	18300	18300	SHS Hybox	-	-	
RHP 100x40x4,0	kalt	100	40	4,0	7,97	10,2	116	26,7	SHS Hybox	-	VHP	
RHP 100x40x5,0	kalt	100	40	5,0	9,70	12,4	136	30,8	SHS Hybox	-	VHP	
RHP 100x50x4,0	kalt	100	50	4,0	8,59	11,0	134	45,0	SHS Hybox	-	VHP	
RHP 100x50x5,0	kalt	100	50	5,0	10,5	13,4	158	52,5	SHS Hybox	-	VHP	
RHP 100x50x6,0	kalt	100	50	6,0	12,3	15,6	179	58,7	SHS Hybox	-	VHP	

Querschnittswerte von warm- und kaltgefertigten Hohlprofilen												
Profilbezeichnung	Ferti- gung	Höhe H [mm]	Breite B [mm]	Dicke t [mm]	Gewicht G [kg/m]	Querschnitts- fläche A [mm ²]	Trägheitsmomente I		Herstellerbezeichnungen			
							x-Achse [cm ⁴]	y-Achse [cm ⁴]	Corus	Vallourec & Mannesmann	Voestalpine	
RHP 100x60x4,0	kalt	100	60	4,0	9,22	11,8	153	68,7	SHS Hybox	-	VHP	
RHP 100x60x5,0	kalt	100	60	5,0	11,3	14,4	181	80,8	SHS Hybox	-	VHP	
RHP 100x60x6,0	kalt	100	60	6,0	13,2	16,8	205	91,2	SHS Hybox	-	VHP	
RHP 100x80x4,0	kalt	100	80	4,0	10,5	13,4	189	134	SHS Hybox	-	VHP	
RHP 100x80x5,0	kalt	100	80	5,0	12,8	16,4	226	160	SHS Hybox	-	VHP	
RHP 100x80x6,0	kalt	100	80	6,0	15,1	19,2	258	182	-	-	VHP	
RHP 120x40x4,0	kalt	120	40	4,0	9,22	11,8	187	31,9	SHS Hybox	-	VHP	
RHP 120x40x5,0	kalt	120	40	5,0	11,3	14,4	221	36,9	SHS Hybox	-	VHP	
RHP 120x50x4,0	kalt	120	50	4,0	9,85	12,6	214	53,4	-	-	VHP	
RHP 120x50x5,0	kalt	120	50	5,0	12,1	15,4	254	62,6	-	-	VHP	
RHP 120x50x6,0	kalt	120	50	6,0	14,2	18,0	289	70,4	-	-	VHP	
RHP 120x60x4,0	kalt	120	60	4,0	10,5	13,4	241	81,3	SHS Hybox	-	VHP	
RHP 120x60x5,0	kalt	120	60	5,0	12,8	16,4	287	96,0	SHS Hybox	-	VHP	
RHP 120x60x6,0	kalt	120	60	6,0	15,1	19,2	328	109	SHS Hybox	-	VHP	
RHP 120x60x7,0	kalt	120	60	7,0	16,9	21,6	349	116	-	-	VHP	
RHP 120x80x4,0	kalt	120	80	4,0	11,7	15,0	295	157	SHS Hybox	-	VHP	
RHP 120x80x5,0	kalt	120	80	5,0	14,4	18,4	353	188	SHS Hybox	-	VHP	
RHP 120x80x6,0	kalt	120	80	6,0	17,0	21,6	406	215	SHS Hybox	-	VHP	
RHP 120x80x7,0	kalt	120	80	7,0	19,1	24,4	438	232	-	-	VHP	
RHP 120x80x8,0	kalt	120	80	8,0	21,4	27,2	476	252	SHS Hybox	-	VHP	
RHP 120x80x10,0	kalt	120	80	10,0	25,6	32,6	534	281	-	-	VHP	
RHP 120x100x4,0	kalt	120	100	4,0	13,0	16,6	348	263	-	-	VHP	
RHP 120x100x5,0	kalt	120	100	5,0	15,9	20,4	419	316	-	-	VHP	
RHP 120x100x6,0	kalt	120	100	6,0	18,9	24,0	484	365	-	-	VHP	
RHP 120x100x7,0	kalt	120	100	7,0	21,3	27,2	528	398	-	-	VHP	
RHP 120x100x8,0	kalt	120	100	8,0	23,9	30,4	576	434	-	-	VHP	
RHP 120x100x10,0	kalt	120	100	10,0	28,7	36,6	655	492	-	-	VHP	
RHP 140x60x4,0	kalt	140	60	4,0	11,7	15,0	356	93,8	-	-	VHP	
RHP 140x60x5,0	kalt	140	60	5,0	14,4	18,4	426	111	-	-	VHP	
RHP 140x60x6,0	kalt	140	60	6,0	17,0	21,6	489	126	-	-	VHP	
RHP 140x70x4,0	kalt	140	70	4,0	12,4	15,8	393	133	-	-	VHP	

Querschnittswerte von warm- und kaltgefertigten Hohlprofilen												
Profilbezeichnung	Ferti- gung	Höhe H [mm]	Breite B [mm]	Dicke t [mm]	Gewicht G [kg/m]	Querschnitts- fläche A [mm ²]	Trägheitsmomente I		Herstellerbezeichnungen			
							x-Achse [cm ⁴]	y-Achse [cm ⁴]	Corus	Vallourec & Mannesmann	Voestalpine	
RHP 140x70x5,0	kalt	140	70	5,0	15,2	19,4	471	159	-	-	VHP	
RHP 140x70x6,0	kalt	140	70	6,0	17,9	22,8	543	181	-	-	VHP	
RHP 140x70x7,0	kalt	140	70	7,0	20,2	25,8	587	196	-	-	VHP	
RHP 140x80x4,0	kalt	140	80	4,0	13,0	16,6	430	180	SHS Hybox	-	VHP	
RHP 140x80x5,0	kalt	140	80	5,0	16,0	20,4	517	216	SHS Hybox	-	VHP	
RHP 140x80x6,0	kalt	140	80	6,0	18,9	24,0	597	248	SHS Hybox	-	VHP	
RHP 140x80x7,0	kalt	140	80	7,0	21,3	27,2	649	270	-	-	VHP	
RHP 140x80x8,0	kalt	140	80	8,0	23,9	30,4	708	293	SHS Hybox	-	VHP	
RHP 140x80x10,0	kalt	140	80	10,0	28,7	36,6	804	330	SHS Hybox	-	VHP	
RHP 140x100x4,0	kalt	140	100	4,0	14,3	18,2	504	300	-	-	VHP	
RHP 140x100x5,0	kalt	140	100	5,0	17,6	22,4	608	361	-	-	VHP	
RHP 140x100x6,0	kalt	140	100	6,0	20,8	26,4	705	418	-	-	VHP	
RHP 140x100x8,0	kalt	140	100	8,0	26,4	33,6	848	502	-	-	VHP	
RHP 140x100x10,0	kalt	140	100	10,0	31,8	40,6	973	574	-	-	VHP	
RHP 150x50x4,0	kalt	150	50	4,0	11,7	15,0	381	66,2	-	-	VHP	
RHP 150x50x5,0	kalt	150	50	5,0	14,4	18,4	456	77,9	-	-	VHP	
RHP 150x50x6,0	kalt	150	50	6,0	17,0	21,6	523	87,9	-	-	VHP	
RHP 150x75x4,0	kalt	150	75	4,0	13,3	17,0	488	166	-	-	VHP	
RHP 150x75x5,0	kalt	150	75	5,0	16,4	20,9	588	198	-	-	VHP	
RHP 150x75x6,0	kalt	150	75	6,0	19,3	24,6	679	228	-	-	VHP	
RHP 150x75x7,0	kalt	150	75	7,0	21,9	27,9	738	248	-	-	VHP	
RHP 150x75x8,0	kalt	150	75	8,0	24,5	31,2	806	269	-	-	VHP	
RHP 150x100x4,0	kalt	150	100	4,0	14,9	19,0	595	319	SHS Hybox	-	VHP	
RHP 150x100x5,0	kalt	150	100	5,0	18,3	23,4	719	384	SHS Hybox	-	VHP	
RHP 150x100x6,0	kalt	150	100	6,0	21,7	27,6	835	444	SHS Hybox	-	VHP	
RHP 150x100x7,0	kalt	150	100	7,0	24,6	31,4	917	489	-	-	VHP	
RHP 150x100x8,0	kalt	150	100	8,0	27,7	35,2	1008	536	SHS Hybox	-	VHP	
RHP 150x100x10,0	kalt	150	100	10,0	33,4	42,6	1162	614	SHS Hybox	-	VHP	
RHP 150x120x4,0	kalt	150	120	4,0	16,1	20,6	680	483	-	-	VHP	
RHP 150x120x5,0	kalt	150	120	5,0	19,9	25,4	824	585	-	-	VHP	
RHP 150x120x6,0	kalt	150	120	6,0	23,6	30,0	959	679	-	-	VHP	

Querschnittswerte von warm- und kaltgefertigten Hohlprofilen												
Profilbezeichnung	Ferti- gung	Höhe H [mm]	Breite B [mm]	Dicke t [mm]	Gewicht G [kg/m]	Querschnitts- fläche A [mm ²]	Trägheitsmomente I		Herstellerbezeichnungen			
							x-Achse [cm ⁴]	y-Achse [cm ⁴]	Corus	Vallourec & Mannesmann	Voestalpine	
RHP 150x120x8,0	kalt	150	120	8,0	30,2	38,4	1170	828	-	-	VHP	
RHP 150x120x10,0	kalt	150	120	10,0	36,6	46,6	1358	959	-	-	VHP	
RHP 152,4x101,6x10,0	kalt	152,4	101,6	10,0	34,0	43,4	1226	649	-	-	VHP	
RHP 160x80x4,0	kalt	160	80	4,0	14,3	18,2	598	204	-	-	VHP	
RHP 160x80x5,0	kalt	160	80	5,0	17,6	22,4	722	244	SHS Hybox	-	VHP	
RHP 160x80x6,0	kalt	160	80	6,0	20,8	26,4	836	281	SHS Hybox	-	VHP	
RHP 160x80x7,0	kalt	160	80	7,0	23,5	30,0	914	307	-	-	VHP	
RHP 160x80x8,0	kalt	160	80	8,0	26,4	33,6	1001	335	SHS Hybox	-	VHP	
RHP 160x80x10,0	kalt	160	80	10,0	31,8	40,6	1146	380	-	-	VHP	
RHP 160x90x4,0	kalt	160	90	4,0	14,9	19,0	646	266	-	-	VHP	
RHP 160x90x5,0	kalt	160	90	5,0	18,3	23,4	782	320	-	-	VHP	
RHP 160x90x6,0	kalt	160	90	6,0	21,7	27,6	907	369	-	-	VHP	
RHP 160x90x7,0	kalt	160	90	7,0	24,6	31,4	996	405	-	-	VHP	
RHP 160x90x8,0	kalt	160	90	8,0	27,7	35,2	1094	443	-	-	VHP	
RHP 160x90x10,0	kalt	160	90	10,0	33,4	42,6	1259	507	-	-	VHP	
RHP 160x100x4,0	kalt	160	100	4,0	15,5	19,8	695	337	-	-	VHP	
RHP 160x100x5,0	kalt	160	100	5,0	19,1	24,4	842	407	-	-	VHP	
RHP 160x100x6,0	kalt	160	100	6,0	22,6	28,8	978	471	-	-	VHP	
RHP 160x100x8,0	kalt	160	100	8,0	28,9	36,8	1186	570	-	-	VHP	
RHP 160x100x10,0	kalt	160	100	10,0	35,0	44,6	1372	655	-	-	VHP	
RHP 160x120x10,0	kalt	160	120	10,0	38,1	48,6	1597	1019	-	-	VHP	
RHP 166x88x5,0	kalt	166	88	5,0	18,6	23,7	831	312	-	-	VHP	
RHP 166x88x10,0	kalt	166	88	10,0	34,0	43,4	1362	498	-	-	VHP	
RHP 180x80x4,0	kalt	180	80	4,0	15,5	19,8	802	227	SHS Hybox	-	VHP	
RHP 180x80x5,0	kalt	180	80	5,0	19,1	24,4	971	272	SHS Hybox	-	VHP	
RHP 180x80x6,0	kalt	180	80	6,0	22,6	28,8	1128	314	SHS Hybox	-	VHP	
RHP 180x80x8,0	kalt	180	80	8,0	28,9	36,8	1362	377	SHS Hybox	-	VHP	
RHP 180x80x10,0	kalt	180	80	10,0	35,0	44,6	1570	429	SHS Hybox	-	VHP	
RHP 180x100x4,0	kalt	180	100	4,0	16,8	21,4	926	374	SHS Hybox	-	VHP	
RHP 180x100x5,0	kalt	180	100	5,0	20,7	26,4	1124	452	SHS Hybox	-	VHP	
RHP 180x100x6,0	kalt	180	100	6,0	24,5	31,2	1310	524	SHS Hybox	-	VHP	

Querschnittswerte von warm- und kaltgefertigten Hohlprofilen												
Profilbezeichnung	Ferti- gung	Höhe H [mm]	Breite B [mm]	Dicke t [mm]	Gewicht G [kg/m]	Querschnitts- fläche A [mm ²]	Trägheitsmomente I		Herstellerbezeichnungen			
							x-Achse [cm ⁴]	y-Achse [cm ⁴]	Corus	Vallourec & Mannesmann	Voestalpine	
RHP 180x100x7,0	kalt	180	100	7,0	27,9	35,6	1448	580	-	-	VHP	
RHP 180x100x8,0	kalt	180	100	8,0	31,4	40,0	1598	637	SHS Hybox	-	VHP	
RHP 180x100x8,8	kalt	180	100	8,8	34,2	43,5	1709	680	-	-	VHP	
RHP 180x100x10,0	kalt	180	100	10,0	38,1	48,6	1859	736	SHS Hybox	-	VHP	
RHP 180x120x4,0	kalt	180	120	4,0	18,0	23,0	1050	564	-	-	VHP	
RHP 180x120x5,0	kalt	180	120	5,0	22,3	28,4	1277	684	-	-	VHP	
RHP 180x120x6,0	kalt	180	120	6,0	26,4	33,6	1491	796	-	-	VHP	
RHP 180x120x8,0	kalt	180	120	8,0	34,0	43,2	1835	978	-	-	VHP	
RHP 180x120x10,0	kalt	180	120	10,0	41,3	52,6	2149	1141	-	-	VHP	
RHP 200x80x4,0	kalt	200	80	4,0	16,8	21,4	1046	250	-	-	VHP	
RHP 200x80x5,0	kalt	200	80	5,0	20,7	26,4	1269	300	-	-	VHP	
RHP 200x80x6,0	kalt	200	80	6,0	24,5	31,2	1477	347	-	-	VHP	
RHP 200x80x8,0	kalt	200	80	8,0	31,4	40,0	1796	418	-	-	VHP	
RHP 200x80x10,0	kalt	200	80	10,0	38,1	48,6	2083	478	-	-	VHP	
RHP 200x100x4,0	kalt	200	100	4,0	18,0	23,0	1200	411	SHS Hybox	-	VHP	
RHP 200x100x5,0	kalt	200	100	5,0	22,3	28,4	1459	497	SHS Hybox	-	VHP	
RHP 200x100x6,0	kalt	200	100	6,0	26,4	33,6	1703	577	SHS Hybox	-	VHP	
RHP 200x100x7,0	kalt	200	100	7,0	30,1	38,4	1890	640	-	-	VHP	
RHP 200x100x8,0	kalt	200	100	8,0	34,0	43,2	2091	705	SHS Hybox	-	VHP	
RHP 200x100x10,0	kalt	200	100	10,0	41,3	52,6	2444	818	SHS Hybox	-	VHP	
RHP 200x120x4,0	kalt	200	120	4,0	19,3	24,6	1353	618	SHS Hybox	-	VHP	
RHP 200x120x5,0	kalt	200	120	5,0	23,8	30,4	1649	750	SHS Hybox	-	VHP	
RHP 200x120x6,0	kalt	200	120	6,0	28,3	36,0	1929	874	SHS Hybox	-	VHP	
RHP 200x120x7,0	kalt	200	120	7,0	32,3	41,2	2151	975	-	-	VHP	
RHP 200x120x8,0	kalt	200	120	8,0	36,5	46,4	2386	1079	SHS Hybox	-	VHP	
RHP 200x120x10,0	kalt	200	120	10,0	44,4	56,6	2806	1262	SHS Hybox	-	VHP	
RHP 200x150x4,0	kalt	200	150	4,0	21,2	27,0	1584	1021	SHS Hybox	-	VHP	
RHP 200x150x5,0	kalt	200	150	5,0	26,2	33,4	1935	1245	SHS Hybox	-	VHP	
RHP 200x150x6,0	kalt	200	150	6,0	31,1	39,6	2268	1457	SHS Hybox	-	VHP	
RHP 200x150x7,0	kalt	200	150	7,0	35,6	45,4	2542	1634	-	-	VHP	
RHP 200x150x8,0	kalt	200	150	8,0	40,2	51,2	2829	1816	SHS Hybox	-	VHP	

Querschnittswerte von warm- und kaltgefertigten Hohlprofilen												
Profilbezeichnung	Ferti- gung	Höhe H [mm]	Breite B [mm]	Dicke t [mm]	Gewicht G [kg/m]	Querschnitts- fläche A [mm ²]	Trägheitsmomente I		Herstellerbezeichnungen			
							x-Achse [cm ⁴]	y-Achse [cm ⁴]	Corus	Vallourec & Mannesmann	Voestalpine	
RHP 200x150x10,0	kalt	200	150	10,0	49,1	62,6	3348	2143	SHS Hybox	-	VHP	
RHP 220x120x4,0	kalt	220	120	4,0	20,5	26,2	1706	672	-	-	VHP	
RHP 220x120x5,0	kalt	220	120	5,0	25,4	32,4	2082	816	-	-	VHP	
RHP 220x120x6,0	kalt	220	120	6,0	30,2	38,4	2439	952	-	-	VHP	
RHP 220x120x7,0	kalt	220	120	7,0	34,5	44,0	2726	1065	-	-	VHP	
RHP 220x120x8,0	kalt	220	120	8,0	39,0	49,6	3029	1179	-	-	VHP	
RHP 220x120x10,0	kalt	220	120	10,0	47,5	60,6	3576	1383	-	-	VHP	
RHP 220x140x5,0	kalt	220	140	5,0	27,0	34,4	2313	1155	-	-	VHP	
RHP 220x140x6,0	kalt	220	140	6,0	32,1	40,8	2714	1352	-	-	VHP	
RHP 220x140x7,0	kalt	220	140	7,0	36,7	46,8	3044	1516	-	-	VHP	
RHP 220x140x8,0	kalt	220	140	8,0	41,5	52,8	3389	1685	-	-	VHP	
RHP 220x140x10,0	kalt	220	140	10,0	50,7	64,6	4017	1989	-	-	VHP	
RHP 250x100x4,0	kalt	250	100	4,0	21,2	27,0	2092	503	-	-	VHP	
RHP 250x100x5,0	kalt	250	100	5,0	26,2	33,4	2554	610	-	-	VHP	
RHP 250x100x6,0	kalt	250	100	6,0	31,1	39,6	2992	710	-	-	VHP	
RHP 250x100x8,0	kalt	250	100	8,0	40,2	51,2	3714	875	-	-	VHP	
RHP 250x100x10,0	kalt	250	100	10,0	49,1	62,6	4384	1021	-	-	VHP	
RHP 250x150x5,0	kalt	250	150	5,0	30,1	38,4	3304	1508	SHS Hybox	-	VHP	
RHP 250x150x6,0	kalt	250	150	6,0	35,8	45,6	3886	1768	SHS Hybox	-	VHP	
RHP 250x150x7,0	kalt	250	150	7,0	41,1	52,4	4375	1992	-	-	VHP	
RHP 250x150x8,0	kalt	250	150	8,0	46,5	59,2	4886	2219	SHS Hybox	-	VHP	
RHP 250x150x10,0	kalt	250	150	10,0	57,0	72,6	5825	2634	SHS Hybox	-	VHP	
RHP 250x150x12,0	kalt	250	150	12,0	66,0	84,1	6460	2930	SHS Hybox	-	-	
RHP 250x150x12,5	kalt	250	150	12,5	68,3	87,0	6630	3000	SHS Hybox	-	-	
RHP 260x140x5,0	kalt	260	140	5,0	30,1	38,4	3471	1338	-	-	VHP	
RHP 260x140x6,0	kalt	260	140	6,0	35,8	45,6	4082	1567	-	-	VHP	
RHP 260x140x8,0	kalt	260	140	8,0	46,5	59,2	5129	1964	-	-	VHP	
RHP 260x140x10,0	kalt	260	140	10,0	57,0	72,6	6113	2328	-	-	VHP	
RHP 300x100x6,0	kalt	300	100	6,0	35,8	45,6	4780	842	SHS Hybox	-	-	
RHP 300x100x8,0	kalt	300	100	8,0	46,5	59,2	5980	1040	SHS Hybox	-	-	
RHP 300x100x10,0	kalt	300	100	10,0	57,0	72,6	7110	1220	SHS Hybox	-	-	

Tabelle 10: Vorhandene und erforderliche r/t-Werte für das Schweißen in kaltgeformten Bereichen [6]

Wanddicken	vorhandener r/t-Wert nach EN 10219-2	erforderlicher minimaler r/t-Wert nach EC 3 Teil 1-8
≤ 4 mm	1,0	1,0
> 4 bis ≤ 6 mm	1,0	1,5
> 6 bis ≤ 8 mm	1,5	1,5
> 8 bis ≤ 10 mm	1,5	2,0
> 10 bis ≤ 12 mm	2,0	2,0
> 12 bis ≤ 24 mm	2,0	3,0

Quellenangaben:

- [1] ÖNORM EN 10210-2:1997 10 01:
Warme Hohlprofile für den Stahlbau aus unlegierten Baustählen und aus Feinkornbaustählen – Teil 2: Grenzabmaße, Maße und statische Werte
- [2] ÖNORM EN 10219-2:1997 10 01:
Kaltgefertigte geschweißte Hohlprofile für den Stahlbau aus unlegierten Baustählen und aus Feinkornbaustählen – Teil 2: Grenzabmaße, Maße und statische Werte
- [3] Profiltabellen von Corus: www.corusgroup.com
- [4] Profiltabellen von Vallourec & Mannesmann Tubes: www.vmtubes.de
- [5] Profiltabellen von Voestalpine Krems GmbH: www.voestalpine.com/profilform
- [6] prEN 1993-1-8:20xx vom 26.2.2002, Tabelle 4.2. (übernommen aus DIN 18800-1, Tabelle 9), www.bauenmitholz.de, www.vmtubes.de

Tabelle 11: Kennwerte der Kopfbolzendübel [1], [2]

Kopfbolzendübel							
Bezeichnung	Dübeldurchmesser		Länge l [mm]	Streckgrenze f_y [N/mm ²]	Zugfestigkeit f_u [N/mm ²]	Hersteller	
	[mm]	[Zoll]				Köster & Co	Nelson
10x30	10	3/8	30	350	450	x	-
10x50	10	3/8	50	350	450	x	x
10x75	10	3/8	75	350	450	x	x
10x100	10	3/8	100	350	450	x	x
10x125	10	3/8	125	350	450	x	x
10x150	10	3/8	150	350	450	x	x
10x175	10	3/8	175	350	450	-	x
10x250	10	3/8	250	350	450	x	-
13x50	13	1/2	50	350	450	x	x
13x75	13	1/2	75	350	450	x	x
13x100	13	1/2	100	350	450	x	x
13x125	13	1/2	125	350	450	-	x
13x150	13	1/2	150	350	450	x	x
13x175	13	1/2	175	350	450	x	x
13x200	13	1/2	200	350	450	x	-
16x50	16	5/8	50	350	450	x	x
16x75	16	5/8	75	350	450	x	x
16x100	16	5/8	100	350	450	x	x
16x125	16	5/8	125	350	450	x	x
16x150	16	5/8	150	350	450	x	x
16x175	16	5/8	175	350	450	x	x
16x200	16	5/8	200	350	450	x	x
19x60	19	3/4	60	350	450	x	x
19x75	19	3/4	75	350	450	-	x
19x80	19	3/4	80	350	450	x	x
19x90	19	3/4	90	350	450	x	-
19x100	19	3/4	100	350	450	x	x
19x125	19	3/4	125	350	450	-	x
19x150	19	3/4	150	350	450	x	x
19x175	19	3/4	175	350	450	-	x
19x200	19	3/4	200	350	450	x	x
19x250	19	3/4	250	350	450	x	-
22x75	22	7/8	75	350	450	x	x
22x90	22	7/8	90	350	450	x	x
22x100	22	7/8	100	350	450	x	x
22x125	22	7/8	125	350	450	x	x
22x150	22	7/8	150	350	450	x	x
22x175	22	7/8	175	350	450	x	x
22x200	22	7/8	200	350	450	x	x
22x225	22	7/8	225	350	450	x	-
22x250	22	7/8	250	350	450	x	x
22x300	22	7/8	300	350	450	x	x
22x350	22	7/8	350	350	450	x	x
22x400	22	7/8	400	350	450	-	x
22x525	22	7/8	525	350	450	-	x
25x75	25	1	75	350	450	x	-
25x100	25	1	100	350	450	x	x

Kopfbolzendübel							
Bezeichnung	Dübeldurchmesser		Länge [mm]	Streckgrenze f_y [N/mm ²]	Zugfestigkeit f_u [N/mm ²]	Hersteller	
	[mm]	[Zoll]				Köster & Co	Nelson
25x125	25	1	125	350	450	x	x
25x150	25	1	150	350	450	x	x
25x175	25	1	175	350	450	x	x
25x200	25	1	200	350	450	x	x
25x225	25	1	225	350	450	x	-
25x250	25	1	250	350	450	x	x
?x?	frei für die Eingabe zusätzlicher Dübel						
?x?	frei für die Eingabe zusätzlicher Dübel						
?x?	frei für die Eingabe zusätzlicher Dübel						

Quellenangaben:

[1] Lieferprogramm von Koester & Co: www.bolzenschweisstechnik.de

[2] Lieferprogramm von Nelson: www.nelson-europe.de