Die approbierte Originalversion dieser Diplom-/Masterarbeit ist an der Hauptbibliothek der Technischen Universität Wien aufgestellt (http://www.ub.tuwien.ac.at).

The approved original version of this diploma or master thesis is available at the main library of the Vienna University of Technology (http://www.ub.tuwien.ac.at/englweb/).

TU

TECHNISCHE UNIVERSITÄT WIEN

DIPLOMARBEIT

Master`s Thesis

Thema

„Beschreibung der derzeit gängigen Konstruktionen von Verbundstützen im Hochbau mit Vorbemessungsansätzen (mit MS Excel)“

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des Akademischen Grades eines Diplom-Ingenieurs unter Leitung von

Univ. Prof. DI Dr. techn. Andreas Kolbitsch

und als verantwortlich mitwirkenden Assistenten

Univ. Ass. DI Dr. techn. Ildiko Merta, M. Sc.

am

Institut für Hochbau und Technologie

eingereicht an der Technischen Universität Wien

Fakultät für Bauingenieurwesen

von

Georg Trauner

9825655

Laudongasse 34 / Stiege 2 / Top 49

A-1080 Wien

Wien, im März 2007 ……

(Georg Trauner)

Inhalt

	Seite
1 Vorwort	3
2 Kurzfassung und Abstract	3
2.1 Kurzfassung	3
2.2 Abstract	4
3 Formelzeichen	5
3.1 Große lateinische Buchstaben	5
3.2 Kleine lateinische Buchstaben	7
3.3 Kleine griechische Buchstaben	8
4 Hauptteil	9
4.1 Einleitung	9
4.2 Bemessungsverfahren	9
4.3 Das Vereinfachte Bemessungsverfahren	9
4.4 Geltungsbereiche des Vereinfachten Bemessungsverfahrens	10
4.5 Programm zu Bemessung von Verbundstützen mit MS EXCEL	11
4.5.1 Das Ausgabeblatt	13
4.5.2 Die Werkstoffkennwerte	13
4.5.3 Tabellen	13
4.5.3.1 Beispiel: Die Bewehrung des vollständig einbetonierten Querschnitt	13
4.5.4 Tabellen zur Berechnung der einzelnen Querschnitt	15
4.6 Verbundstützentypen	19
4.6.1 Einbetonierte Querschnitte	19
4.6.2 Betongefüllte Querschnitte	20
4.6.3 Teilweise einbetonierte Querschnitte	22
4.6.4 Zusätzliche Eingabeparameter	23
4.7 Nachweisführung im Vereinfachten Bemessungsverfahren	26
5 Schluss	28
6 Literaturnachweis	29
6.1 Bildnachweis	29
6.2 Quellnachweis	30

1 Vorwort

Die vorliegende Arbeit zur Dimensionierung der „gängigen Verbundstützen“ ist ein EXCEL [1] - Programm nach den Bestimmungen des EUROCODE 4 [2]. Es soll die Auswahl der Werkstoffe und die Bemessung der oben genannten Bauteile erleichtern und einen Überblick über den wirtschaftlichen und ökonomischen Einsatz dieser Materialien geben.

Gleichzeitig wird in leicht verständlicher Form die Nachvollziehbarkeit der entsprechenden Schritte für ein vereinfachtes Nachweisverfahren und die einzelnen Querschnittstragfähigkeiten gewährleistet. Ziel dieses Werkes ist es, dem Planer bei der Auswahl des optimalen Verbundstützentyps eine Grundlage zur Entscheidungsfindung zu bieten.

Dieses Programm zur Bemessung von Verbundkonstruktionen einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne schriftliche Zustimmung des Verfassers unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und Einspeicherung und/oder Verarbeitung in elektronischen Systemen, insbesondere Datenbanken und Netzwerke.

Das vorliegende Werk wurde sorgfältig erarbeitet. Dennoch übernimmt der Autor für die Richtigkeit von Angaben, Hinweise und Ergebnisse sowie für Programmfehler jeglicher Art keine Haftung.

Der Autor möchte auf diesem Weg bei all jenen bedanken, die zum guten Gelingen der Diplomarbeit beigetragen haben.

Für eventuelle Wünsche und Anregungen stehe ich gerne zur Verfügung:

Georg Trauner

Laudongasse 34 / Stiege 2 / Top 49
A-1080 Wien

Tel: 0650 / 503 203 6
E-Mail: georg.trauner@gmx.at

2 Kurzfassung und Abstract

2.1 Kurzfassung

Die Diplomarbeit behandelt die Beschreibung der derzeit gängigen Konstruktionen von Verbundstützen im Hochbau mit Vorbemessungsansätzen (auf der Basis von MS Excel) und besteht grundsätzlich aus dem Bemessungsprogramm für die drei verschiedenen Verbundstützentypen des EUROCODES 4. Grundlage für die Dimensionierung ist das „Vereinfachte Bemessungsverfahren“, welches ebenfalls dem EUROCODE 4 entnommen ist.

Ziel dieser Ausarbeitung ist es, einen einfachen Überblick über die vorgegebenen, zusammengesetzten Querschnitte zu geben, um eine wirtschaftliche und vor allem ökonomische Verwendung der einzelnen Baustoffe zu gewährleisten. Dabei dient in erster Linie das sog. „Ausgabeblatt“, welches durch seine übersichtliche Form einen Vergleich der einzelnen Typen miteinander zulässt. Verglichen werden unter anderem die Abmessungen der jeweiligen Bauteile (Stahlprofil, Bewehrung, Beton), sowie die Grenzen der Anwendbarkeit des Vereinfachten Bemessungsverfahrens und die resultierenden Kräfte (Moment, Querkraft und Normalkraft) mit den aufnehmbaren Kräften.

2.2 Abstract

The thesis concernes a description of the current composite columns for buildings and calculation of design. It consists basically of an EXCEL-program for three various types of composite columns of the EUROCODE 4. Basis for the program is the so-called “simplified calculation method” based on the EUROCODE 4 as well.

The aim of this elaboration is to get a general idea of compound cross-sections to guarantee efficiency and economy in design. In the output sheet it is possible to the dimensions of different components (steel-profile, reinforcement, concrete), the limits of applicability of the simplified calculation method as well as to compare the resultant acting forces (bending moment, shear force and axial force) with the section`s resistance.

3 Formelzeichen

Im Rahmen des Programms zur Dimensionierung der im Hochbau gängigen Verbundstützen werden folgende Formelzeichen gemäß dem EUROCODE 4 verwendet:

3.1 Große lateinische Buchstaben [3]:

A	Querschnittsfläche des wirksamen Verbundquerschnitts unter Vernachlässigung von Betonquerschnittsflächen unter Zugbeanspruchung
A_a	Querschnittsfläche des Baustahlquerschnitts
A_c	Betonquerschnittsfläche
As	Querschnittsfläche des Betonstahls
E_a	Elastizitätsmodul des Baustahls
$E_{c,eff}$	Effektiver Elastizitätsmodul des Betons
E_{cm}	Elastizitätsmodul (mittlerer Sekantenmodul) des Betons
E_s	Rechenwert des Elastizitätsmoduls für Betonstahl
$(EI)_{eff}$	Effektive Biegesteifigkeit zur Berechnung der bezogenen Schlankheit
I	Flächenmoment zweiten Grades des wirksamen Verbundquerschnittes unter Vernachlässigung von Zugbeanspruchten Bauteilen
I_a	Flächenmoment zweiten Grades des Baustahlquerschnittes
I_c	Flächenmoment zweiten Grades des ungerissenen Betonquerschnitts
I_s	Flächenmoment zweiten Grades des Betonstahlquerschnitts
M	Biegemoment
$M_{b,Rd}$	Momententragfähigkeit unter Berücksichtigung des Biegedrillknickens
M_{Sd}	Bemessungswert des einwirkenden Momentes
$M_{max,Rd}$	Maximaler Bemessungswert der Momententragfähigkeit bei gleichzeitiger Wirkung einer Normalkraft
$M_{pl,a,Rd}$	Bemessungswert der vollplastischen Momententragfähigkeit des Baustahlquerschnitts
$M_{pl,Rd}$	Bemessungswert der vollplastischen Momententragfähigkeit des Verbundquerschnitts bei vollständiger Verdübelung
$M_{pl,y,Rd}$	Bemessungswert der vollplastischen Momententragfähigkeit des Verbundquerschnitts um die y Achse bei vollständiger Verdübelung
$M_{pl,z,Rd}$	Bemessungswert der vollplastischen Momententragfähigkeit des Verbundquerschnitts um die z Achse bei vollständiger Verdübelung
$M_{y,Sd}$	Bemessungswert eines einwirkenden Biegemoments bei Biegung um die y Achse
$M_{z,Sd}$	Bemessungswert eines einwirkenden Biegemoments bei Biegung um die z

	Achse
N	Normalkraft
N_a	Bemessungswert der Normalkraft des Baustahlquerschnitts eines Verbundträgers
N_c	Bemessungswert der Drucknormalkraft des Betongurts
N_{cr}	Ideale Verzweigungslast
N_{Sd}	Bemessungswert der vollplastischen Drucknormalkratz der Bewehrung bei Zugbeanspruchung
$N_{pl,a}$	Bemessungswert der vollplastischen Normalkrafttragfähigkeit des Baustahlquerschnittes
$N_{pl,Rd}$	Bemessungswert der vollplastischen Normalkrafttragfähigkeit eines Verbundquerschnittes bei Druckbeanspruchung
$N_{pm,Rd}$	Bemessungswert der vollplastischen Normalkrafttragfähigkeit des Betonquerschnitts bei Druckbeanspruchung
$V_{a,Sd}$	Bemessungswert der auf den Baustahlquerschnitt einwirkenden anteiligen Querkraft
$V_{b,Rd}$	Bemessungswert der Schubbeultragfähigkeit des Steges des Stahlquerschnitts
V_{Sd}	Bemessungswert der auf den Verbundquerschnitt einwirkenden Querkraft
$V_{pl,Rd}$	Bemessungswert der vollplastischen Querschnittstragfähigkeit des Verbundquerschnitts
$V_{pl,a,Rd}$	Bemessungswert der vollplastischen Querschnittstragfähigkeit des Baustahlquerschnitts
V_{Rd}	Bemessungswert der Querschnittstragfähigkeit Verbundquerschnitts

3.2 Kleine lateinische Buchstaben [4]:

a	Trägerabstand, Durchmesser, Breite, Abstand
b	Flanschbreite eines Stahlquerschnitts, Breite eines Gurtes
c	Breite eines einseitig gestützten Flansches, wirksamer Umfang bei Betonstählen
c_y, c_z	Betondeckung
f_{cd}	Bemessungswert der Zylinderdruckfestigkeit des Betons
f_{ck}	Charakteristische Zylinderdruckfestigkeit des Betons
f_{cm}	Mittelwert der Zylinderdruckfestigkeit des Betons
f_{ctm}	Mittelwert der zentrischen Zugfestigkeit des Betons
f_{sd}	Bemessungswert der Streckgrenze des Betonstahls
f_{sk}	Charakteristischer Wert der Streckgrenze des Betonstahls

f_u	Nennwert der Zugfestigkeit
f_y	Nennwert der Streckgrenze des Baustahls
f_{yd}	Bemessungswert der Streckgrenze des Baustahls
h	Gesamthöhe, Dicke
h_a	Stahlprofilhöhe
h_c	Kammerbetonhöhe
h_n	Lage der plastischen Nulllinie
k	Erhöhungsfaktor zur Erfassung von Einflüssen aus Theorie II. Ordnung
lk	Knicklänge
r	Randmomentenverhältnis
t	Dicke
t_f	Flanschprofile bei Stahlprofilen
t_s	Blechdicke von Steifen
t_w	Stegdicke bei Stahlprofilen
x_{pl}	Abstand zwischen der plastischen Nulllinie und der Randfaser der Betondruckzone
y	Querschnittsachse parallel zu den Flanschen
z	Querschnittsachse senkrecht zu den Flanschen; innerer Hebelarm
z_0	Vertikaler Abstand

3.3 Kleine griechische Buchstaben [5]:

α	Faktor ,Beiwert
α_{cr}	Verzweigungslastfaktor
β	Faktor, Anpassungsbeiwert
γ_c	Teilsicherheitsbeiwert für Beton
γ_F	Teilsicherheitsbeiwert für Einwirkungen unter Berücksichtigung von Modellunsicherheiten und Abweichungen von den nominellen Abmessungen
γ_M	Teilsicherheitsbeiwert für eine Baustoffeigenschaft unter Berücksichtigung von Modelunsicherheiten und Abweichungen von den nominellen Abmessungen
γ_{M0}	Teilsicherheitsbeiwert für Baustahl nach EN 1993-1-1, 6.1(1)
γ_{M1}	Teilsicherheitsbeiwert für Baustahl bei stabilitätsgefährdeten Bauteilen nach EN 1993-1-1, 6.1(1)
γ_S	Teilsicherheitsbeiwert für Betonstahl
δ	Schlankheitsgrad
ε	$\sqrt{(235/f_y)}$ mit f_y in N/mm²
η	Beiwert

λ	Schlankheitsgrad
λ_{LT}	Schlankheitsgrad für Biegedrillknicken
μ	Faktor
μ_d	Faktor für die Bemessung von Verbundstützen bei Druck und einachsiger Biegung
μ_{dy}, μ_{dz}	Faktor μ_d *bezogen auf die Biegeachse*
ρ	Bewehrungsgrad
$\sigma_{c,Rd}$	Bemessungswert der Tragfähigkeit des Betons bei Teilflächenpressung
σ_{ct}	Maximale Betonrandzugspannungen
σ_s	Betonstahlspannung (Zug)
Φ	Stabdurchmesser von Betonstahl
χ	Abminderungsfaktor für Biegeknicken
χ_{LT}	Abminderungsfaktor für Biegedrillknicken

4 Verbundstützen

4.1 Einleitung

Verbundstützen kombinieren die günstigen Eigenschaften des Stahls mit denen des Stahlbetons und wirken in Kombination miteinander. Dabei heben sich ihre Nachteile gegenseitig in etwa auf, sodass ein deutlich gesteigertes Duktilitätsverhalten gegenüber der Stahlbetonstütze erzielt werden kann. In gleicher Weise stellt ist eine Erhöhung der Tragfähigkeit und eine Verbesserung hinsichtlich des Brandverhaltens feststellbar. Außerdem können im Gegensatz zu Stahlbetonstützen Querschnitte mit geringeren Abmessungen gewählt werden.

Aufgrund dieser günstigen Eigenschaften finden Verbundstützen immer mehr Anwendung bei jenen Baukonstruktionen, wo oben genannte Vorteile die Konstruktion bestimmen.

4.2 Bemessungsverfahren

Grundsätzlich werden im EUROCODE 4 (EC4) zwei Verfahren zur Bemessung von Verbundstützen vorgestellt. Es sind dies die genaue und die vereinfachte Berechnung. Der Unterschied in den beiden Ansätzen liegt in der Berücksichtigung von strukturellen und geometrischen Imperfektionen, welche im ersten Verfahren durch den Ansatz von geometrischen Ersatzimperfektionen mit Hilfe von Knickspannungslinien erfolgt. Im vereinfachten Verfahren sind diese Imperfektionen bereits eingearbeitet und brauchen nicht berücksichtigt werden, jedoch darf dieses Verfahren nur in einem gewissen Geltungsbereich angewendet werden.

4.3 Das Vereinfachte Bemessungsverfahren

Zur Bemessung der einzelnen Verbundstützentypen wurde das Vereinfachte Bemessungsverfahren angewendet. Auf der einen Seite stellt diese Methode einfach programmierbare Algorithmen zur Verfügung, auf der anderen Seite sind alle Prozeduren zur Nachweisführung für die oben bereits erwähnten Stützentypen im EC4 angegeben.

4.4 Geltungsbereiche des Vereinfachten Bemessungsverfahrens

Im Wesentlichen dürfen Verbundstützen nach dem „Vereinfachten Bemessungsverfahren“ bemessen werden, wenn folgende Eigenschaften [6] erfüllt sind:

a) Die Stütze ist doppeltsymmetrisch und besitzt über ihre Länge einen konstanten Querschnitt.
b) Der Faktor für den bezogenen Stahlanteil liegt innerhalb eines Wertebereichs von 0,2 und 0,9.
c) Der bezogene Schlankheitsgrad liegt unter dem Wert 2,0.
d) Weiters sind bestimmte Grenzen für die Betondeckungen in y- und z- Richtung einzuhalten.
e) Als Längsbewehrung ist maximal 4% der Betonfläche in Rechnung zu stellen.

Diese Grenzen werden in der Programmausgabe berücksichtigt. Ist eine Grenze eines Parameters über- bzw. unterschritten wird dies im Kontrollfeld direkt darunter angezeigt; andernfalls wird der Parameter mit dem Kommentar „O.K.“ quittiert.
Es ist in diesem Zusammenhang noch erwähnenswert, dass diese Werte Ausgabedaten darstellen und vom User nur indirekt – über das Eingabefeld – beeinflusst werden können. Beispielsweise hängt die bezogene Schlankheit von den Abmessungen der Stütze ab und kann daher nur über eine Variation dieser Werte im Eingabefeld verändert werden. Erscheint der Kommentar „O.K.“ befindet man sich innerhalb der Anwendungsgrenze. Bild 4.6 zeigt jenen Ausschnitt aus dem Ausgabeblatt, auf dem sich die Kontrollwerte für oben genannte Anwendungsgrenzen befinden.

4.5 Programm zu Bemessung von Verbundstützen mit MS EXCEL

Allgemein ist vorauszuschicken, dass die gesamte EXCEL - Mappe aus acht Tabellenblättern besteht. Bei den so genannten Blättern handelt es sich um:

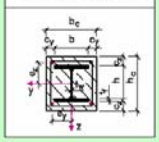
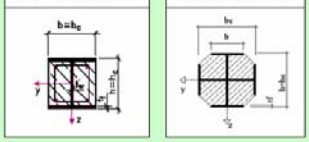
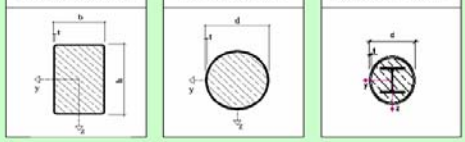
> das Ausgabeblatt,
> das Blatt für Werkstoffkennwerte,
> das Tabellenblatt,
> die Tabelle zur Berechnung vollständig einbetonierter Querschnitte,
> die Tabelle zur Berechnung teilweise einbetonierter Querschnitte,
> die Tabelle zur Berechnung von Rechteckhohlprofilen,
> die Tabelle zur Berechnung von Rundprofilen,
> die Tabelle zur Berechnung von Rundprofilen mit einem Stahlkern.

4.5.1 Das Ausgabeblatt

Das Ausgabeblatt ist das einzige Tabellenblatt, welches man zur Dimensionierung einer Verbundstütze benötigt und editieren darf. Dabei sind alle grünen Zahlenwerte veränderbar, schwarze Werte stellen jedoch Ausgabedaten dar und dürfen nicht abgewandelt werden. Es gibt auch Eingabehilfen in Form von Kommentaren, die man in den jeweiligen Feldern durch „Berühren mit dem Mauszeiger“ abrufen kann. Alle anderen Eingabewerte finden sich zusätzlich noch in einer kleinen Skizze am Kopf des Eingabeblocks wieder.

Im Folgenden ist das Ausgabeblatt abgebildet; es ist empfehlenswert, das Ausgabeformat des Druckers von A4 auf A3 zu vergrößern, da ansonsten das Schriftbild etwas klein erscheint, wie dies bereits im Bild 1 ersichtlich ist.

Programm zur Bemessung von Verbundstützen nach Eurocode 4

Knicklänge l [m]= 4,50	Beton: C50/60	Betonstahl: BSt500	Profilstahl: F360	Stütze: im Rahm.seitenweich	Umweltklasse: 3	Kombination: grundlegend
Bei zentrischer angreifender Normalkraft: $N_{Sd,zentrisch}$ [kN]= 2500	Vollst. Einb. Querschn.	Teilw. Einb. Querschn.	Teilw. Einb. Querschn.	Betongef. Querschn.	Betongef. Querschn.	Betongef. Querschn.
Bei exzentrisch angreifender Normalkraft:						
$M_{Sd\ oben,starke\ Achse}$ [kNm]= 10,00; e [m]= 0,100; N_{Sd} [kN]= 100; ständig wirkender Anteil [%]= 100	h_c [m] 0,30	h_a [m] 0,18	h_c [m] 0,15	h [m] 0,60	d [m] 0,75	d [m] 0,60
$M_{Sd\ unten,starke\ Achse}$ [kNm]= 50,00; e [m]= 0,500; N_{Sd} [kN]= 100; ständig wirkender Anteil [%]= 100	b_c [m] 0,30	b_a [m] 0,08	b_c [m] 0,59	b [m] 0,60	t [m] 0,016	t [m] 0,016
$M_{Sd\ oben,schwache\ Achse}$ [kNm]= 10,00; e [m]= 0,100; N_{Sd} [kN]= 100; ständig wirkender Anteil [%]= 100	Durchmesser Φ [mm]: 20	Durchmesser Φ [mm]: 14	*Keine Bewehrung vorgesehen!*	*Keine Bewehrung vorgesehen!*	*Keine Bewehrung vorgesehen!*	*Keine Bewehrung vorgesehen!*
$M_{Sd\ unten,schwache\ Achse}$ [kNm]= 50,00; e [m]= 0,500; N_{Sd} [kN]= 100; ständig wirkender Anteil [%]= 100	Profiltyp: I	Profiltyp: I	Profiltyp vertikal: I-B	t [m] 0,016		Minimalabstand d. Profils zum Hohlprofil [m]: 0,1 O.K.
Bei Querlasten innerhalb der Stütze: $M_{Sd\ starke\ Achse}$ [kNm]= 10; $M_{Sd\ schwache\ Achse}$ [kNm]= -10	Berechnetes Profil: 340	Gewähltes Profil: 180 O.K.	Profiltyp horizontal: HE-B			Profiltyp: HE-M
Bei Querkraftangriff: $V_{Sd,z-Richtung,oben}$ [kN]= 10; $V_{Sd,z-Richtung,unten}$ [kN]= 10; $V_{Sd,y-Richtung,oben}$ [kN]= 10; $V_{Sd,y-Richtung,unten}$ [kN]= 10	Betondeckung c_y [m]: 0,055 O.K. Betondeckung c_z[m]: 0,080 O.K.	Betondeckung c_y [m]: 0,040 O.K.	Gewähltes Profil vert.: 650 O.K. Gewähltes Profil horiz.: 650 O.K. O.K.			Gewähltes Profil: 240 O.K.

Anwendungsgrenzen für "Vereinfachtes Bemessungsverfahren" nach EC4 - Kap.4.8.3

Querschnittsparameter: 0,2 < d < 0,9	δ 0,38 O.K.	δ 0,64 O.K.	δ 0,67 O.K.	δ 0,46 O.K.	δ 0,39 O.K.	δ 0,58 O.K.
Bezogener Schlankheitsgrad: λquer < 2,0	$\lambda_{quer,starke\ Achse}$ 0,18 O.K.	$\lambda_{quer,starke\ Achse}$ #WERT! #WERT!	$\lambda_{quer,starke\ Achse}$ 0,27 O.K.	$\lambda_{quer,starke\ Achse}$ 0,26 O.K.	$\lambda_{quer,starke\ Achse}$ 0,26 O.K.	$\lambda_{quer,starke\ Achse}$ 0,24 O.K.
	$\lambda_{quer,schwache\ Achse}$ 0,50 O.K.	$\lambda_{quer,schwache\ Achse}$ #WERT! #WERT!	$\lambda_{quer,schwache\ Achse}$ 0,08 O.K.	$\lambda_{quer,schwache\ Achse}$ 0,29 O.K.	$\lambda_{quer,schwache\ Achse}$ 0,26 O.K.	$\lambda_{quer,schwache\ Achse}$ 0,30 O.K.
Bewehrungsgrad:	ρ [%] 2,37% O.K.	ρ [%] 0,00% O.K.	ρ [%] *keine Bewehrung vorgesehen*	ρ [%] *keine Bewehrung vorgesehen*	ρ [%] *keine Bewehrung vorgesehen*	ρ [%] *keine Bewehrung vorgesehen*
Nachweis für Lokales Beulen:	darf entfallen!	darf entfallen!	darf entfallen! darf entfallen!	darf entfallen!	darf entfallen!	darf entfallen!
Berechnung nach Theorie II. Ordnung einbeziehen? (falls erforderlich)	ja	ja	ja	nein	nein	ja
Günstigen Einfluß der Umschnürung berrücksichtigen?					ja O.K.	ja O.K.
Daraus resultierender Zuwachs an Tragfähigkeit der **starken** Achse [%]:					2%	0%
Daraus resultierender Zuwachs an Tragfähigkeit der **schwachen** Achse [%]:					2%	kein Zuwachs!

Nachweise

Beanspr. des Querschnitts auf Querkraftangriff in z-Richtung:	$V_{pl,Rd,z}$= 511 kN	$V_{pl,Rd,z}$= 153 kN	$V_{pl,Rd,z}$= #WERT!	$V_{pl,Rd,z}$= 2251 kN	$V_{pl,Rd,z}$= 2897 kN	$V_{pl,Rd,z}$= 3040 kN
Nachweis gegen Schubbeulen:	8% darf entfallen!	26% darf entfallen!	#WERT! #WERT! darf entfallen!	2% darf entfallen!	1% darf entfallen!	1% darf entfallen!
Beanspr. des Querschnitts auf Querkraftangriff in y-Richtung:	$V_{pl,Rd,y}$= 550 kN	$V_{pl,Rd,y}$= 191 kN	$V_{pl,Rd,y}$= #WERT!	$V_{pl,Rd,y}$= 2251 kN	$V_{pl,Rd,y}$= 2897 kN	$V_{pl,Rd,y}$= 4020 kN
Nachweis gegen Schubbeulen:	7% darf entfallen!	21% darf entfallen!	#WERT! #WERT! darf entfallen!	2% darf entfallen!	1% darf entfallen!	1% darf entfallen!
Normalkrafttragfähigkeit (zentrischer Druck):	$X^*N_{pl,Rd}$= 4148 kN 60%	$X^*N_{pl,Rd}$= #WERT! #WERT!	$X^*N_{pl,Rd}$= 9381 kN 27%	$X^*N_{pl,Rd}$= 18049 kN 14%	$X^*N_{pl,Rd}$= 20330 kN 12%	$X^*N_{pl,Rd}$= 17845 kN 14%
Tragfähigkeit für Druck & 1-achs. Biegung:	$M_{y,pl,Rd}$= 319 kNm 16%	$M_{y,pl,Rd}$= #WERT! #WERT!	$M_{y,pl,Rd}$= #WERT! #WERT!	$M_{y,pl,Rd}$= 1927 kNm 2,59%	$M_{y,pl,Rd}$= 1560 kNm 3,21%	$M_{y,pl,Rd}$= 1511 kNm 3,31%
Tragfähigkeit für Druck & 1-achs. Biegung:	$M_{z,pl,Rd}$= 115 kNm 44%	$M_{z,pl,Rd}$= #WERT! #WERT!	$M_{z,pl,Rd}$= 1153 kNm 4,34%	$M_{z,pl,Rd}$= 1924 kNm 2,60%	$M_{z,pl,Rd}$= 1560 kNm 3,21%	$M_{z,pl,Rd}$= 1126 kNm 4,44%
Tragfähigkeit für Druck & 2-achs. Biegung:	$M_{yz,pl,Rd}$ 59%	$M_{yz,pl,Rd}$ #WERT!	$M_{yz,pl,Rd}$ #WERT!	$M_{yz,pl,Rd}$ 5,19%	$M_{yz,pl,Rd}$ 6,41%	$M_{yz,pl,Rd}$ 7,75%

Technische Universität Wien

Bild 1: Ausgabeblatt

4.5.2 Die Werkstoffkennwerte

In diesem Teil werden alle allgemeinen Angaben zu den Werkstoffen gemacht. Es wird dabei zwischen den Materialien Beton, Baustahl und Betonstahl unterschieden.

4.5.3 Tabellen

Im Abschnitt Tabellen befinden sich die Tabellenwerte für die verwendbaren Profile. Diese sind die schmalen I-Träger (I-Reihe), die mittelbreiten I Träger (I PE-Reihe), die Gruppe der I B-Reihe und die Gruppe der breiten I Träger (HE-B, HE-A und HE-M).

Weiters sind noch die Algorithmen für die automatische Bewehrungsanordnung inkludiert. Dies wird anhand eines kurzen Beispiels erläutern:

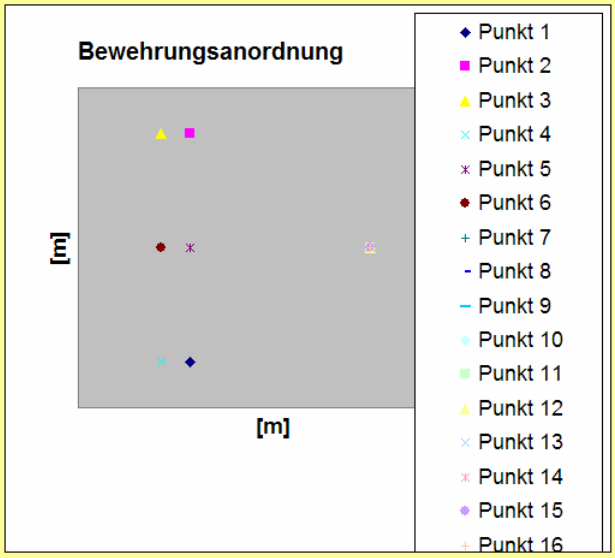
4.5.3.1 Beispiel: Die Bewehrung des vollständig einbetonierten Querschnitt

Es wird zunächst ein kleiner Querschnitt mit den Abmessungen (h/b = 0,24/0,24m) ausgewählt; für die automatische Anordnung der Bewehrung des Baustahls werden folgende Parameter benötigt:

> c_U: Mindestbetondeckung in Abhängigkeit der Umweltklassen (lt. EUROCODE 2 (EC2) Tabelle 4.2)
> c_Φ: Mindestbetondeckung in Abhängigkeit des Durchmessers Φ (lt. EC 2 Tabelle 4.4)
> a: Seitlicher Stababstand zum Baustahl (lt. EC 2, Kap. 5.2.1.1 P (3))

Unter Einhaltung dieser Mindestabstände werden nun so viele Bewehrungsstäbe in den Querschnitt eingefügt wie Platz haben. In Bild 2 ist in der Grafik erkennbar, dass beim vorgegebenen Querschnitt sechs Stäbe im Querschnitt angeordnet wurden.

Bewehrungsformatierung für vollständig einbetonierte Profile:



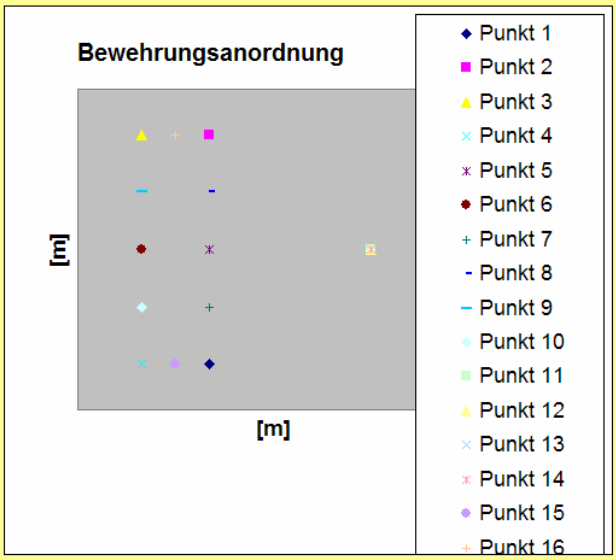
$e_{y,1}$=	0,076 m	$ez_{,1}$=	-0,143 m
$e_{y,2}$=	0,076 m	$ez_{,2}$=	0,143 m
$e_{y,3}$=	-0,076 m	$ez_{,3}$=	0,143 m
$e_{y,4}$=	-0,076 m	$ez_{,4}$=	-0,143 m
$e_{y,5}$=	0,076 m	$ez_{,5}$=	0,000 m
$e_{y,6}$=	-0,076 m	$ez_{,6}$=	0,000 m
$e_{y,7}$=	-- m	$ez_{,7}$=	-- m
$e_{y,8}$=	-- m	$ez_{,8}$=	-- m
$e_{y,9}$=	-- m	$ez_{,9}$=	-- m
$e_{y,10}$=	-- m	$ez_{,10}$=	-- m
$e_{y,11}$=	-- m	$ez_{,11}$=	-- m
$e_{y,12}$=	-- m	$ez_{,12}$=	-- m
$e_{y,13}$=	-- m	$ez_{,13}$=	-- m
$e_{y,14}$=	-- m	$ez_{,14}$=	-- m
$e_{y,15}$=	-- m	$e_{y,15}$=	-- m
$e_{y,16}$=	-- m	$e_{y,16}$=	-- m

Mindestbetondeckung in Abhängigkeit der UMweltklassen: c=	40 mm	lt. EC 2 Tabelle 4.2
Mindestbetondeckung in Abhängigkeit des Durchmessers F: c=	6 mm	lt. EC 2 Tabelle 4.4
Seitlicher Stababstand zum Baustahl: a=	20 mm	lt. EC 2 5.2.1.1 P (3)
$A_{s,min}$=	0,0002 m²	lt. EC 2: 5.4.1.2.1 (2)
		lt. EC 4: 4.8.3.1 (e)

Bild 2: Lage der Bewehrung bei vollständig einbetonierte Querschnitten

Vergrößert man nun den Querschnitt auf h/b=1,00/1,00m erhöht sich diese Anzahl auf 12 Stäbe mit regelmäßigen Abständen zueinander (siehe Bild 7.2).

Bewehrungsformatierung für vollständig einbetonierte Profile:



$e_{y,1}$=	0,175 m	$ez_{,1}$=	-0,430 m
$e_{y,2}$=	0,175 m	$ez_{,2}$=	0,430 m
$e_{y,3}$=	-0,175 m	$ez_{,3}$=	0,430 m
$e_{y,4}$=	-0,175 m	$ez_{,4}$=	-0,430 m
$e_{y,5}$=	0,175 m	$ez_{,5}$=	0,000 m
$e_{y,6}$=	-0,175 m	$ez_{,6}$=	0,000 m
$e_{y,7}$=	0,175 m	$ez_{,7}$=	-0,215 m
$e_{y,8}$=	0,175 m	$ez_{,8}$=	0,215 m
$e_{y,9}$=	-0,175 m	$ez_{,9}$=	0,215 m
$e_{y,10}$=	-0,175 m	$ez_{,10}$=	-0,215 m
$e_{y,11}$=	-- m	$ez_{,11}$=	-- m
$e_{y,12}$=	-- m	$ez_{,12}$=	-- m
$e_{y,13}$=	-- m	$ez_{,13}$=	-- m
$e_{y,14}$=	-- m	$ez_{,14}$=	-- m
$e_{y,15}$=	0,000 m	$e_{y,15}$=	-0,430 m
$e_{y,16}$=	0,000 m	$e_{y,16}$=	0,430 m

Mindestbetondeckung in Abhängigkeit der UMweltklassen: c=	40 mm	lt. EC 2 Tabelle 4.2
Mindestbetondeckung in Abhängigkeit des Durchmessers F: c=	6 mm	lt. EC 2 Tabelle 4.4
Seitlicher Stababstand zum Baustahl: a=	20 mm	lt. EC 2 5.2.1.1 P (3)
$A_{s,min}$=	0,0029 m²	lt. EC 2: 5.4.1.2.1 (2)
		lt. EC 4: 4.8.3.1 (e)

Bild 3: Lage der Bewehrung bei vollständig einbetonierte Querschnitten

4.5.4 Tabellen zur Berechnung der einzelnen Querschnitte

Am Beispiel des vollständig einbetonierten Verbundquerschnitts werden nun die einzelnen Schritte der Bemessungsprozedur erläutert. Zunächst müssen im ersten Schritt alle notwendigen Querschnittswerte und die Teilsicherheitsbeiwerte errechnet bzw. zusammengefasst werden; dies wird im Bild 7.3 verdeutlicht:

Bemessungsprozedur für Typ A:

Angaben zu Verbundquerschnitt mit vollständig einbetonierten I-Profil:

Beton:

		A_c=	1,385423 m²
h_c=	1,20	$J_{c,y}$=	0,172800 m^4
b_c=	1,20	$J_{c,z}$=	0,172800 m^4

Bewehrung:

A_s=	0,01221 m²
$J_{s,y}$=	0,022153 m^4
$J_{s,z}$=	0,005134 m^4

Baustahl:

h=	0,910000 m
b=	0,302000 m
t_w=s=	0,021000 m
t_f=t=	0,040000 m
r=	0,030000 m
A_a=	0,042363 m²
$J_{a,y}$=	0,057040 m^4
$J_{a,z}$=	0,001845 m^4

f_{ck}=	35.000 kN/m²	$f_{u,s}$=	360.000 kN/m²
$f_{y,s}$=	235.000 kN/m²	$f_{u,t}$=	360.000 kN/m²
$f_{y,t}$=	235.000 kN/m²	f_{yd}=	213636 kN/m²
f_{sk}=	550.000 kN/m²	f_{sd}=	478261 kN/m²
$f_{y,min}$=	235.000 kN/m²	f_{cd}=	19833 kN/m²

Teilsicherheitsbeiwerte:

γ_c=	1,50 []
γ_a=	1,10 []
γ_{Rd}=	1,10 []
γ_s=	1,15 []

Bild 4: Zusammenfassung der Querschnittswerte (Schritt 1)

Diese Werte sind die Grundlage für alle weiteren Berechnungen, wie z.B. des Querschnittsparameters, des Schlankheitsgrades, der Biegesteifigkeit, der Mindestbetondeckung, des Nachweises gegen lokales Beulen, der Kontrolle der Betondeckung und des Bewehrungsgrades und der Festlegung von γ_{Ma} im weiteren Schritt (Schritt 2) Bild 5a & 5b.

Querschnittsparameter:	δ=	0,21	[]	
	$N_{pl,Rd}$=	42369,46	kN	
Schlankheitsgrad:	$l_{quer,starke\ Achse}$=	0,04	[]	
	$l_{quer,schwache\ Achse}$=	0,07	[]	0,04
	$l_{quer,starke\ Achse,LZV}$=	0,03	[]	0,07
	$l_{quer,schwache\ Achse,LZV}$=	0,07	[]	
	$N_{cr,starke\ Achse}$=	41034098	kN	
	$N_{cr,starke\ Achse,LZV}$=	49498270	kN	
	$N_{cr,schwache\ Achse}$=	12080443	kN	
	$N_{cr,schwache\ Achse,LZV}$=	12080443	kN	
	$N_{pl,R}$=	57890	kN	
Biegesteifigkeit	$(EI)_{e,starke\ Achse}$=	16630493	kNm²	
	$(EI)_{e,schwache\ Achse}$=	4896019	kNm²	
	$(EI)_{e,starke\ Achse,LZV}$=	20060893	kNm²	
	$(EI)_{e,schwache\ Achse,LZV}$=	4896019	kNm²	
	E_a=	210.000.000	kN/m²	
	E_s=	210.000.000	kN/m²	
	E_{cm}=	33.500.000	kN/m²	

Bild 5a: Berechnungen im 2. Schritt der Bemessungsprozedur

E_{cd}=	**24814815**	**kN/m²**
$E_{c,st.A.o.}$=	12407407	kN/m²
$E_{c,st.A.u.}$=	12407407	kN/m²
$E_{c,schw.A.o.}$=	12407407	kN/m²
$E_{c,schw.A.u.}$=	24814815	kN/m²
$E_{cd,gew,st.A.}$=	12407407	**kN/m²**
$E_{cd,gew,schw.A.}$=	12407407	**kN/m²**

$N_{G,Sd,st.A.o.}$=	100
$N_{G,Sd,st.A.u.}$=	60
$N_{G,Sd,schw.A.o.}$=	-100
$N_{G,Sd,schw.A.u.}$=	0

Mindestbetondeckung:

In y Richtung:	c_y=	0,112	m
In z Richtung:	c_z=	0,112	m
Bewehrungsgrad:	ρ=	0,01	%

Nachweis gegen lokales Beulen: darf entfallen!

Kontrolle der Betondeckung und des Bewehrungsgrades:

Festlegung von γ_{Ma}: γ_{Ma}= 1,10 []

Bild 5b: Berechnungen im 2. Schritt der Bemessungsprozedur

Nach der Berechnung der Biegemomente im dritten Schritt (gegebenenfalls durch die Theorie II. Ordnung) werden nun der Nachweise der Normalkrafttragfähigkeit und der Querkrafttragfähigkeit in beiden Achsenrichtungen geführt. Das erfolgt mit folgenden Tabellen:

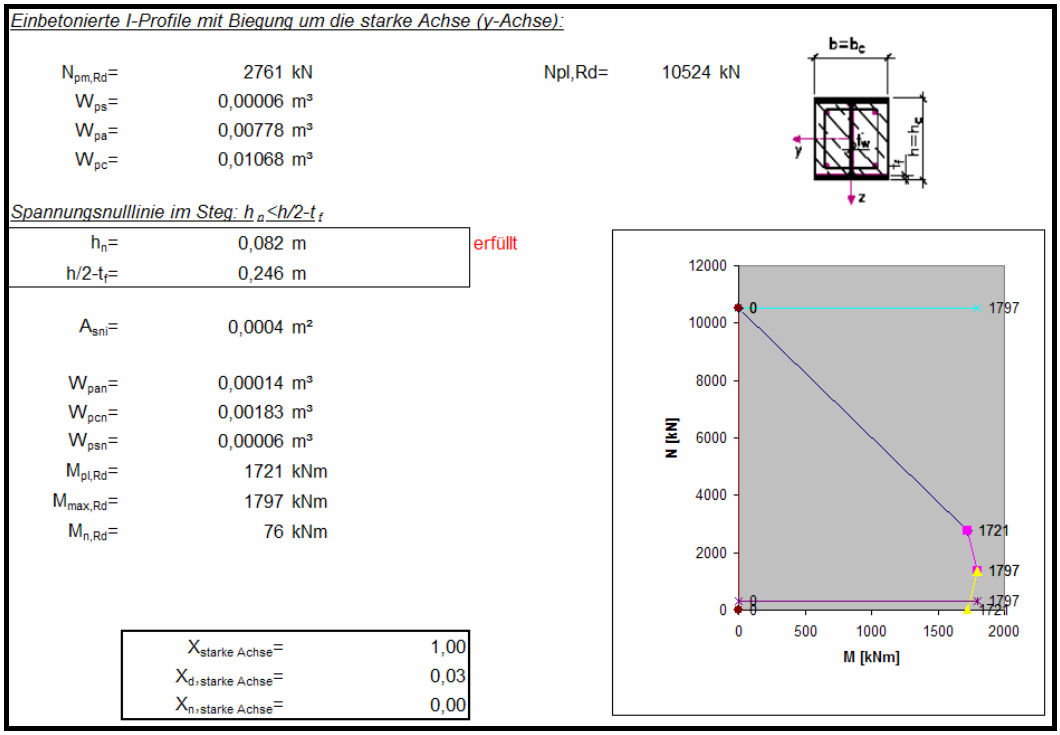
Normalkrafttragfähigkeit:			
	$N_{pl,Rd}$=		**42369** kN
Auslastung:	N_{Sd}=		300 kN
1%	$X_{st.A.}*N_{pl,Rd}$=		**42369** kN
1%	$X_{schw.A.}*N_{pl,Rd}$=		**42369** kN
	$X_{starke\ Achse}$=		1,00 []
	$X_{schwache\ Achse}$=		1,00 []
	$\Phi_{starke\ Achse}$=		0,47 []
	$\Phi_{schwache\ Achse}$=		0,47 []
	$\alpha_{starke\ Achse}$=		0,34 []
	$\alpha_{schwache\ Achse}$=		0,49 []
	$\lambda_{quer,st.A.,gew.}$=		0,04 []
	$\lambda_{quer,schw.A.,gew.}$=		0,07 []
	Knickspannungslinie$_{starke\ Achse}$=	b	[]
	Knickspannungslinie$_{schwache\ Achse}$=	c	[]

Bild 6: Nachweis der Normalkrafttragfähigkeit (Schritt 3)

Beanspruchbarkeit der Querschnitte auf Querkraft (einachsige Biegung):		
$A_{v,z\text{-}Richtung}$=	0,02144 m²	
$A_{v,y\text{-}Richtung}$=	0,02092 m²	
γ_{M0}=	1,10 []	
$V_{Sd,z\ [kN]}$=	10,00 kN	
$V_{Sd,y\ [kN]}$=	10,00 kN	
$V_{pl,Rd,z}$=	2644,79 kN	
$V_{pl,Rd,y}$=	2580,34 kN	
Interaktionsbed.,z:	O.K.	1%
Interaktionsbed.,y:	O.K.	1%
Schubbeulnachweis$_z$:	darf entfallen!	d/t_w= 37
		124ε= 124
Schubbeulnachweis$_y$:	darf entfallen!	b/t_f= 8
		124ε= 124

Bild 7: Nachweis der Querkrafttragfähigkeit (Schritt 3)

Beim Nachweis der Beanspruchung auf Druck und einachsige [7] bzw. zweiachsige [8] Biegung wird, wie oben schon angedeutet, eine Abminderung zufolge Interaktion mitberücksichtigt. Sehr hilfreich in diesem Zusammenhang war der Anhang C [9] des EC4, der genaue Algorithmen für das Berechnen der Lage der Nulllinie liefert. Anschließend konnte die Interaktionskurven programmiert werden, welche in den Bildern 8 und 9 dargestellt sind.



Einbetonierte I-Profile mit Biegung um die starke Achse (y-Achse):

$N_{pm,Rd}$=	2761	kN	Npl,Rd=	10524 kN
W_{ps}=	0,00006	m³		
W_{pa}=	0,00778	m³		
W_{pc}=	0,01068	m³		

Spannungsnulllinie im Steg: h_n<h/2-t_f

h_n=	0,082	m	erfüllt
h/2-t_f=	0,246	m	

A_{sni}=	0,0004	m²
W_{pan}=	0,00014	m³
W_{pcn}=	0,00183	m³
W_{psn}=	0,00006	m³
$M_{pl,Rd}$=	1721	kNm
$M_{max,Rd}$=	1797	kNm
$M_{n,Rd}$=	76	kNm

$X_{starke\ Achse}$=	1,00
$X_{d,starke\ Achse}$=	0,03
$X_{n,starke\ Achse}$=	0,00

Bild 8: Programmierung der Interaktionskurven

Punkt A:	22030	0		Y	X	Y	X
Punkt C:	6061	2207	A-C ∩ X	22030	0	22030	0
Punkt D:	3030	2435	C-D ∩ X	22030	1011		
Punkt B:	0	2207	D-B ∩ X	22030	3858		
X=	22030	0	A-C ∩ X_d	300	3004	300	2230
X=	22030	2435	C-D ∩ X_d	300	2639		
X_d=	300	0	D-B ∩ X_d	300	2230		
X_d=	300	2435					
			X_d ∩ X_n	300	#DIV/0!	300	#DIV/0!
X_n=	0	0					
X_n=	22030	0	$M_{pl,Rd,y}$=	2007 kNm			
			$M_{Sd,y}$=	30 kNm			
				O.K.	1,49%		

Bild 9: Punkte und Schnittstellenberechnung

Bild 9 zeigt jenen Teil der Bemessungstabelle, der zur Einrechnung der einzelnen Punkte A bis D der Interaktionskurve und der Schnittpunkte von Nöten sind. Mit diesen bestimmt man anschließend die Beiwerte zur Abminderung der Widerstandsmomente. Der

letzte Nachweis ist der Nachweis „Druck und zweiachsige Biegung“. Bild 9 zeigt jenen Ausschnitt, in dem dieser geführt wird.

Einbetonierte I-Profile mit Biegung um beide Achsen (yz-Achse):

$M_{pl,Rd,yz}$=	0,0412	kNm
Auslastung:	4,12%	
Anm.:	O.K.	

Bild 10: Nachweis Druck und zweiachsige Biegung

4.6 Die Verbundstützentypen

Laut EC4 (ENV 1994-1-1: 1992,Seite 68f.) gibt es folgende, typische doppelt-symmetrischen Verbundstützentypen.

4.6.1 Einbetonierte Querschnitte

Bei diesem Typ ist das Stahlprofil vollständig vom Beton umgeben. Wie im Eingabebereich des Bemessungsprogramms ersichtlich ist, sind alle grün eingefärbten Schriftzüge einzugeben:

1.) Höhe und Breite des Querschnittes
2.) Durchmesser der Längsbewehrung
3.) Es stehen verschiedene Profiltypen zur Auswahl

Nicht eingegeben werden die Profilgröße und die Betondeckung, da diese Werte auf die die Abmessungen automatisch rückgerechnet werden, um die geometrische Konsistenz [10] zu gewährleisten.

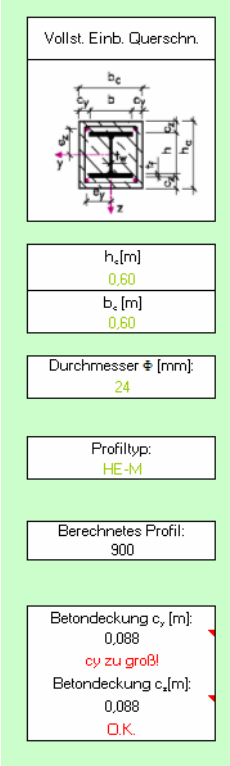


Bild 4.1: Eingabefeld für Vollständig einbetonierte Querschnitte

Zur Bewehrungsanordnung ist noch hinzuzufügen, dass diese regelmäßig auf den Querschnitt verteilt wird. Dies erfolgt automatisch durch das Programm und es ist nicht möglich, sie individuell zu platzieren. Sollte dadurch ein zu hoher Bewehrungsgrad entstehen, kann dem durch die Wahl eines kleineren Stabdurchmessers entgegengewirkt werden.

4.6.2 Betongefüllte Querschnitte

Bei diesem Stützenquerschnitt wird der Beton vollständig vom Stahlprofil umgeben; es sind hier drei verschiedene Ausführungsmöglichkeiten berechenbar:

a) Das rechteckige und das runde Hohlprofil (betongefüllt):

Anzugeben sind bei diesem Querschnitt nur mehr noch:

> Höhe und Breite bzw. Außendurchmesser der Verbundstütze
> Dicke des verwendeten Hohlprofils

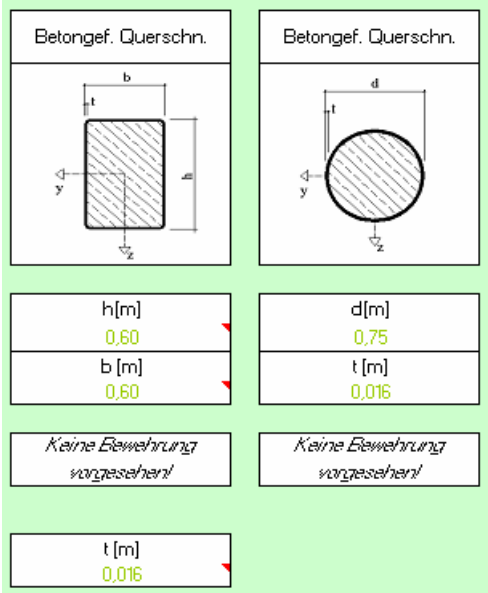


Bild 4.2: Eingabefeld für betongefüllte Hohlprofile

b) Das betongefüllte Rundprofil mit einem vollständig einbetonierten I-Profil:

Auch hier sind alle grünen Felder für die Eingabe vorgesehen; es ist aber noch darauf hinzuweisen, dass der Außendurchmesser errechnet wird. Dieser wird bestimmt durch die Profilgröße und dem Minimalabstand des Profils zum Hohlprofil.

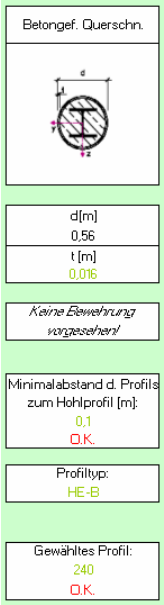


Bild 4.3: Eingabefeld für betongefüllte Rundprofile mit einbetoniertem Profil

4.6.3 Teilweise einbetonierte Querschnitte

Der teilweise einbetonierte Verbundquerschnitt ist in Abbildung 4.4 ersichtlich. Ähnlich dem betongefüllten Rundprofil mit einbetoniertem Stahprofil wird auch hier automatisch auf die Außenabmessungen rückgerechnet.

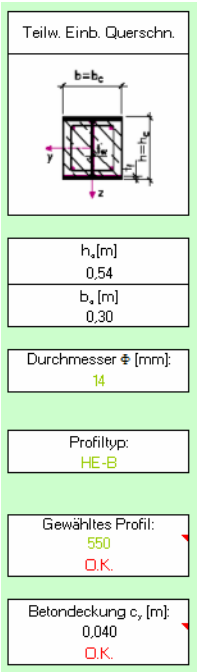


Bild 4.4: Eingabefeld für teilweise einbetonierte Querschnitte

Es kann noch ein weiterer doppeltsymmetrischer Verbundstützentyp in spezieller Ausführung dimensioniert werden, wie in Bild 4.5 ersichtlich. Um diesen dimensionieren zu können, werden lediglich Angaben über die Profiltypen in horizontaler und vertikaler Richtung und deren Größe benötigt. Wichtig in diesem Zusammenhang ist ein weiteres Mal die Geometrische Konsistenz beider Profile. Passen sie zueinander, wird dies mit dem Kommentar „O.K.“ im untersten Kontrollfeld bestätigt.

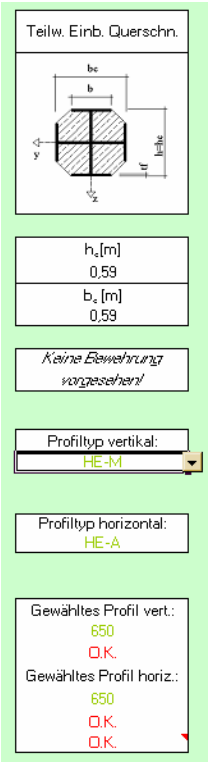


Bild 4.5: Eingabefeld für spezielle, teilweise einbetonierte Querschnitt

4.6.4 Zusätzliche Eingabeparameter

Zusätzlich zu den erforderlichen Daten für die jeweiligen Verbundstützentypen müssen von Seiten der Belastung noch Angaben getätigt werden; dies erfolgt über den Block im oberen Teil des Ausgabeblattes. Anzugeben sind die jeweiligen Beträge aus Normalkraft, Moment und Querkraft sowohl am Kopfteil der Stütze als auch am Fußteil des Bauteils. Bei Querlasten, die innerhalb der Stützen wirken, ist lediglich das resultierende Moment einzutragen, welches eigenständig zu berechnen ist.

Diese Kräfte gelten für alle Verbundstützentypen, um die Vergleichbarkeit zu gewährleisten.

In diesem Block befindet sich – ebenfalls für alle Stützentypen gleich – die Knicklänge, welche inklusive dem Eulerfaktor einzugeben ist.

Knicklänge l [m]=	3,50
Bei zentrischer angreifender Normalkraft:	
$N_{Sd,zentrisch}$ [kN]=	3000
Bei exzentrisch angreifender Normalkraft:	
$M_{Sd\,oben,starke\,Achse}$ [kNm]=	20,00
e [m]=	0,100
N_{Sd} [kN]=	200
ständig wirkender Anteil [%]=	100
$M_{Sd\,unten,starke\,Achse}$ [kNm]=	-281,50
e [m]=	0,500
N_{Sd} [kN]=	-563
ständig wirkender Anteil [%]=	100
$M_{Sd\,oben,schwache\,Achse}$ [kNm]=	-20,00
e [m]=	0,100
N_{Sd} [kN]=	-200
ständig wirkender Anteil [%]=	100
$M_{Sd\,unten,schwache\,Achse}$ [kNm]=	-281,50
e [m]=	0,500
N_{Sd} [kN]=	-563
ständig wirkender Anteil [%]=	100
Bei Querlasten innerhalb der Stütze:	
$M_{Sd,starke\,Achse}$ [kNm]=	200
$M_{Sd,schwache\,Achse}$ [kNm]=	-200
Bei Querkraftangriff:	
$V_{Sd,z\text{-}Richtung,oben}$ [kN]=	70
$V_{Sd,z\text{-}Richtung,unten}$ [kN]=	123
$V_{Sd,y\text{-}Richtung,oben}$ [kN]=	-70
$V_{Sd,y\text{-}Richtung,unten}$ [kN]=	-123

Bild 4.6: Eingabefeld für Belastungen

Weitere Eingabeoptionen stehen dem Planer im unten angeführte Block zur Verfügung. Auszuwählen sind vorgegebene Werte für Stahlgüten, spezielle Angaben zur Positionierung der Stütze (ob im Rahmen oder freistehend), Umweltklasse (1 bis 5) und die Einwirkungskombination (grundlegend oder außergewöhnlich).

Betonstahl:	Profilstahl:	Stütze:	Umweltklasse:	Kombination:
BSt500	F360	im Rahm,seitenweich	3	grundlegend

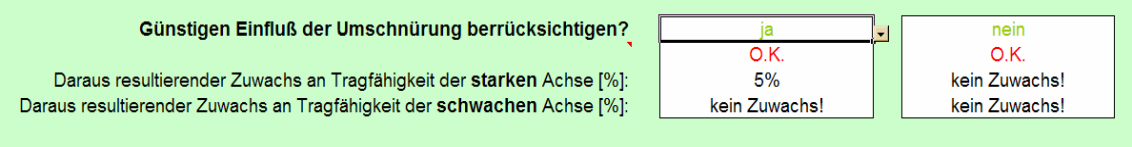
Bild 4.7: Eingabefeld für allgemeine Angaben

Anwendungsgrenzen für "Vereinfachtes Bemessungsverfahren" nach EC4 - Kap.4.8.3

Querschnittsparameter: 0,2 < δ < 0,9	δ 0,45 O.K.	δ 0,50 O.K.	δ 0,60 O.K.	δ 0,46 O.K.	δ 0,39 O.K.	δ 0,51 O.K.
Bezogener Schlankheitsgrad: λquer < 2,0	$\lambda_{quer,starke\ Achse}$ 0,05 O.K.	$\lambda_{quer,starke\ Achse}$ 0,08 O.K.	$\lambda_{quer,starke\ Achse}$ 0,09 O.K.	$\lambda_{quer,starke\ Achse}$ 0,20 O.K.	$\lambda_{quer,starke\ Achse}$ 0,20 O.K.	$\lambda_{quer,starke\ Achse}$ 0,23 O.K.
	$\lambda_{quer,schwache\ Achse}$ 0,18 O.K.	$\lambda_{quer,schwache\ Achse}$ 0,23 O.K.	$\lambda_{quer,schwache\ Achse}$ 0,07 O.K.	$\lambda_{quer,schwache\ Achse}$ 0,22 O.K.	$\lambda_{quer,schwache\ Achse}$ 0,20 O.K.	$\lambda_{quer,schwache\ Achse}$ 0,26 O.K.
Bewehrungsgrad:	ρ [%] 1,74% O.K.	ρ [%] 0,88% O.K.	ρ [%] keine Bewehrung vorgesehen	ρ [%] keine Bewehrung vorgesehen	ρ [%] keine Bewehrung vorgesehen	ρ [%] keine Bewehrung vorgesehen
Nachweis für Lokales Beulen:	darf entfallen!	darf entfallen!	darf entfallen! darf entfallen!	darf entfallen!	darf entfallen!	darf entfallen!
Berechnung nach Theorie II.O. einbeziehen? (falls erforderlich)	ja O.K.	ja O.K.	ja O.K.	ja O.K.	ja O.K.	ja O.K.
Günstigen Einfluß der Umschnürung berrücksichtigen?					nein O.K.	nein O.K.
Daraus resultierender Zuwachs an Tragfähigkeit der **starken** Achse [%]:					kein Zuwachs!	kein Zuwachs!
Daraus resultierender Zuwachs an Tragfähigkeit der **schwachen** Achse [%]:					kein Zuwachs!	kein Zuwachs!

*Bild 4.8: Auszug aus dem Ausgabeblatt des Bemessungsprogramms: „Anwendungsgrenzen für das „Vereinfachte Bemessungsverfahren“ nach EC4 – Kap. 4.8.*3.

Im Zusammenhang mit den Anwendungsgrenzen für eine vereinfachte Bemessungsmethode kann bei runden, betongefüllten Hohlprofilen der „günstige Einfluss der Umschnürung durch das Stahlrohr“ [11] in Rechnung gestellt werden. Im Falle der Antwort „ja“ wird der Betrag des resultierenden Zuwachses an Tragfähigkeit in [%]für beide Richtungen getrennt angegeben.



Günstigen Einfluß der Umschnürung berrücksichtigen?	ja	nein
	O.K.	O.K.
Daraus resultierender Zuwachs an Tragfähigkeit der **starken** Achse [%]:	5%	kein Zuwachs!
Daraus resultierender Zuwachs an Tragfähigkeit der **schwachen** Achse [%]:	kein Zuwachs!	kein Zuwachs!

*Bild 4.9: Auszug aus dem Ausgabeblatt des Bemessungsprogramms: „Günstiger Einfluss der Umschnürung“ nach EC4 – Kap. 4.8.*3.3 (3), Seite 76.

Falls erforderlich, kann wahlweise auch noch die Berechnung der Biegemomente nach Theorie II. Ordnung (gemäß EC4, Kapitel 4.8.3.10, Seite 80f.) durchgeführt werden.

4.7 Nachweisführungen im Vereinfachten Bemessungsverfahren

Auch hier wird durch den EC4 [12] eine Reihenfolge vorgegeben, die man beim Bemessen einer Verbundstütze einhalten sollte.

a) Kontrolle der Anwendungsgrenzen[13]
b) Nachweis gegen lokales Beulen
c) Kontrolle der Betondeckung und des Bewehrungsgrades
d) Berechnung von N_{cr} und λ_{quer}, sowie Festlegung von γ_{MA}
e) Kontrolle, ob eine Berechnung nach Theorie II. Ordnung erforderlich ist
f) Nachweis der Tragfähigkeit der Stütze hinsichtlich:
   > Normalkrafttragfähigkeit,
   > Tragfähigkeit der Stütze für zentrische Druckkräfte,
   > Nachweis für Druck und Biegung,
   > Querschnittstragfähigkeit für Druck und einachsige Biegung,
   > Einfluss von Querkräften,
   > Tragfähigkeit für Druck und einachsige Biegung
   > Druck und zweiachsige Biegung.

Das Bemessungsprogramm liefert keinen Nachweis der Lasteinleitung und der Grenzquerkraft, wie dies im Punkt g) erforderlich ist! Grund dafür ist sicherlich ein relativ hoher Programmieraufwand und die Tatsache, dass man vom eigentlichen Thema der Diplomarbeit abweicht.

Hier sieht man im Bild 4.10 einen Auszug aus dem Bemessungsblatt des EXCEL – Programms, der für jeden Verbundstützentyp gleich ist.

Zu Beginn wird die Querkraft V in y- und in z- Richtung nachgewiesen; angegeben wird die Größe der Querkraft und - zur Orientierung – der Auslastungsfaktor in [%]. Die beiden Felder darunter geben an, ob der Nachweis gegen Schubbeulen entfallen darf oder nicht; im linken Falle bedeutet dies beispielsweise, dass eine beliebige Verbundstütze in z-Richtung bei einer maximal aufnehmbaren Belastung von 2980kN zu 17% ausgenutzt ist, weiters dass dieser Wert in Ordnung ist und der Nachweis gegen Schubbeulen nicht geführt werden braucht.

Ähnlich verhält es sich bei Auftreten von Normalkraft und Momenten – Beanspruchung. Mit dabei berücksichtigt ist die Abminderung durch Interaktion bei gleichzeitigem Auftreten von Druck und einachsiger bzw. bei Druck und zweiachsiger Biegung.

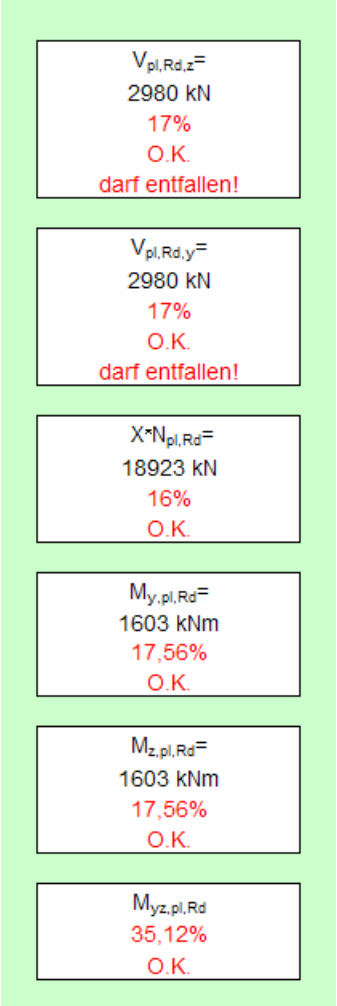


Bild 4.10: Eingabefeld für spezielle, teilweise einbetonierte Querschnitte

5 Zusammenfassung

Diese Diplomarbeit ist im Wesentlichen ein Programm zur Bemessung von den gängigen Verbundstützentypen und basiert auf MS EXCEL. Ziel der Arbeit war nicht nur eine Vereinfachung bei der Bemessung, sondern auch eine überschaubare Nachweisführung. Daher wurde besonderen Wert auf die Struktur bzw. den Aufbau gelegt, um diesen Anforderung gerecht werden zu können.

Es sei noch gesagt, dass der Inhalt der Diplomarbeit eine Grundlage für Überlegungen zum effizienten Einsatz der Materialien Stahl und Beton ist. Dies mag sicherlich ein Vorteil im Entwurfsstadium bei der Bemessung von Projekten mit Verbundstützen sein; nachteilig auf die Dimensionierung wirkt sich aber unter Umständen die allgemeine Bewehrungslage (siehe auch Anhang, Seite 20f.), die geringe Auswahl an Profilen und die Tatsache aus, dass es noch eine große Vielfalt an Ausführungsmöglichkeiten von Verbundstützen gibt, die in dieser Arbeit nicht ausgearbeitet wurden (beispielsweise runde Kerne im Querschnitt).

Diese Überlegungen deuten klar auf die Ausbaufähigkeit des Bemessungsprogramms hin, welche aber durchaus durchführbar sind. Denkbar wäre eine „grafische Eingabeform“; dies bringt vor allem bei der Querschnittsgestaltung besondere Vorteile, ist aber mit einem erheblichen Mehraufwand an Programmierstunden verbunden, so dass es den Rahmen einer Diplomarbeit sprengen würde.

Im Laufe der Diplomarbeit ist aufgefallen, dass mit zunehmender Komplexität des Programms der Aufwand an Kontrollen erheblich steigt. Diese wurde ich zwar durchgeführt, kann aber – wie zu Beginn bereits erwähnt – keine Garantie auf Richtigkeit und Vollständigkeit geben, da auch bei der Kontrolle Fehler unterlaufen können – egal wer diese durchführt. Aus diesem Grund will der Autor nicht für die Ergebnisse haften bzw. haftbar gemacht werden.

6 Nachweise

6.1 Bildnachweis

	Seite
Bild 1 Ausgabeblatt	12
Bild 2: Lage der Bewehrung bei vollständig einbetonierte Querschnitten	14
Bild 3: Lage der Bewehrung bei vollständig einbetonierte Querschnitten	14
Bild 4: Zusammenfassung der Querschnittswerte	15
Bild 5a: Berechnungen im 2. Schritt der Bemessungsprozedur	16
Bild 5b: Berechnungen im 2. Schritt der Bemessungsprozedur	16
Bild 6: Nachweis der Normalkrafttragfähigkeit	17
Bild 7: Nachweis der Querkrafttragfähigkeit	17
Bild 8: Programmierung der Interaktionskurven	18
Bild 9: Punkte und Schnittstellenberechnung	18
Bild 10: Nachweis Druck und zweiachsige Biegung	19
Bild 4.1: Eingabefeld für Vollständig einbetonierte Querschnitte	20
Bild 4.2: Eingabefeld für betongefüllte Hohlprofile	21
Bild 4.3: Eingabefeld für betongefüllte Rundprofile mit einbetoniertem Profil	21
Bild 4.4: Eingabefeld für teilweise einbetonierte Querschnitte	22
Bild 4.5: Eingabefeld für spezielle, teilweise einbetonierte Querschnitte	23
Bild 4.6: Eingabefeld für Belastungen	24
Bild 4.7: Eingabefeld für allgemeine Angaben	24
Bild 4.8: Auszug aus dem Ausgabeblatt des Bemessungsprogramms: „Anwendungsgrenzen für das „Vereinfachte Bemessungsverfahren“ nach EC4 – Kap. 4.8.3.	25
Bild 4.9: Auszug aus dem Ausgabeblatt des Bemessungsprogramms: „Günstiger Einfluss der Umschnürung“ nach EC4 – Kap. 4.8.3.3 (3), Seite 76.	25
Bild 4.10: Eingabefeld für spezielle, teilweise einbetonierte Querschnitte	27

6.2 Quellennachweis

[1] Microsoft Office™, Excel, 2004

[2] EUROCODE 4: Bemessung und Konstruktion von Verbundtragwerken aus Stahl und Beton, ENV 1994-1-1:1992

[3] EUROCODE 4: Bemessung und Konstruktion von Verbundtragwerken aus Stahl und Beton, EN 1994-1-1:2004, Seite 15 bis Seite 18

[4] EUROCODE 4: Bemessung und Konstruktion von Verbundtragwerken aus Stahl und Beton, EN 1994-1-1:2004, Seite 18 bis Seite 20

[5] EUROCODE 4: Bemessung und Konstruktion von Verbundtragwerken aus Stahl und Beton, EN 1994-1-1:2004, Seite 21 bis Seite 22

[6] EUROCODE 4: Bemessung und Konstruktion von Verbundtragwerken aus Stahl und Beton, ENV 1994-1-1:1992, Kapitel 4.8.3.1, Seite 74f

[7] EUROCODE 4: Bemessung und Konstruktion von Verbundtragwerken aus Stahl und Beton, ENV 1994-1-1:1992, Kapitel 4.8.3.13, Seite 83f

[8] EUROCODE 4: Bemessung und Konstruktion von Verbundtragwerken aus Stahl und Beton, ENV 1994-1-1:1992, Kapitel 4.8.3.14, Seite 84f

[9] EUROCODE 4: Bemessung und Konstruktion von Verbundtragwerken aus Stahl und Beton, ENV 1994-1-1:1992, Anhang C, Seite 13ff

[10] EUROCODE 4: Bemessung und Konstruktion von Verbundtragwerken aus Stahl und Beton, ENV 1994-1-1:1992, Kapitel 4.8.3.3 (3), Seite 76.

[11] EUROCODE 4: Bemessung und Konstruktion von Verbundtragwerken aus Stahl und Beton, ENV 1994-1-1:1992, Kapitel 4.8.3.1 (5),Punkte (a) bis (g), Seite 75.