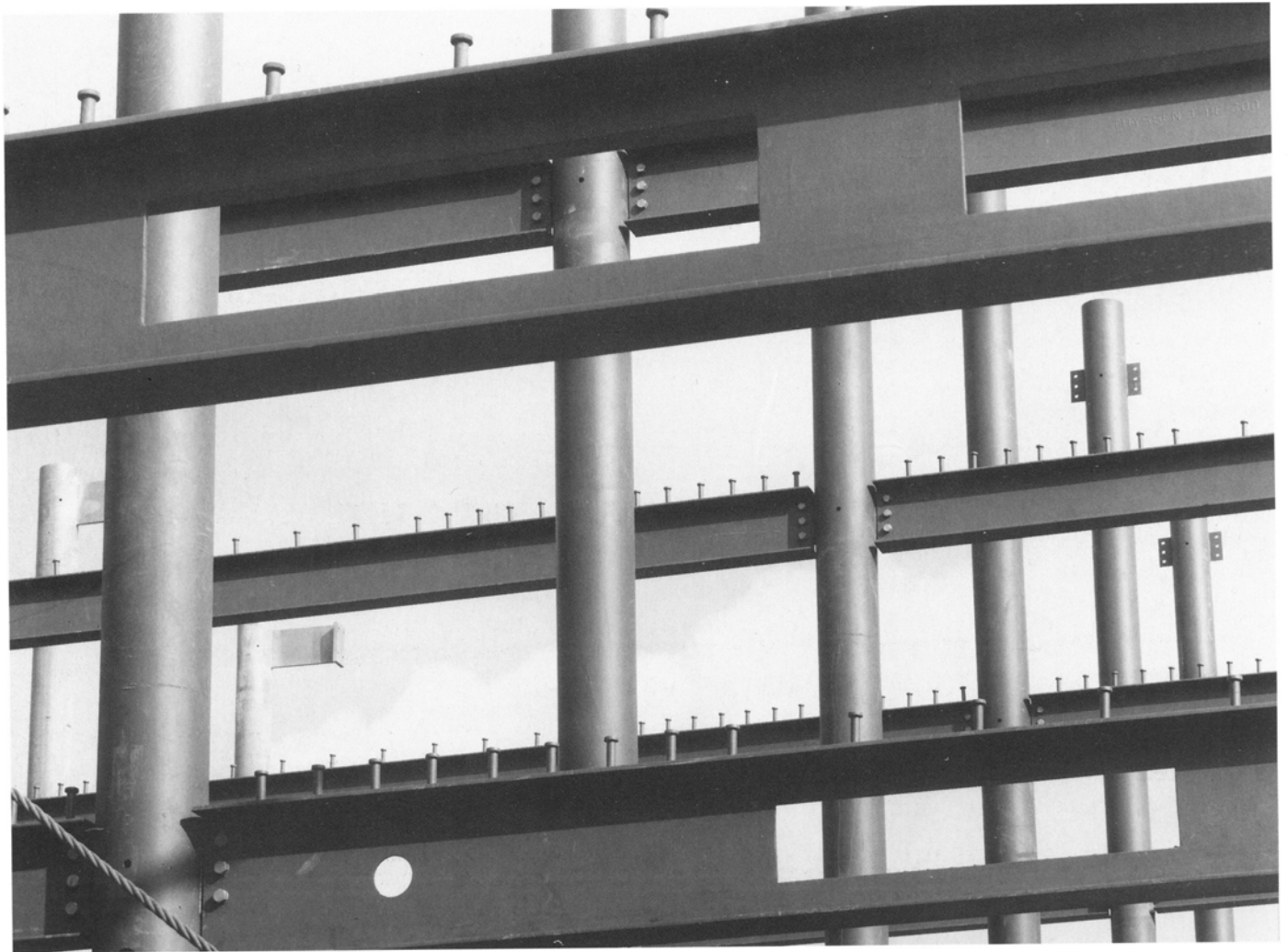


Stahlverbundträger mit großen Stegausschnitten

von Helmut Bode und Jochen Stengel
Universität Kaiserslautern, Bauingenieurwesen - Stahlbau



Eine Gemeinschaftsorganisation von
stahlerzeugenden Unternehmen und
dem Deutschen Stahlbau-Verband DSTV

BAUEN MIT STAHL

BAUEN MIT STAHL ist eine Gemeinschaftsorganisation von stahlerzeugenden Unternehmen und dem Deutschen Stahlbau-Verband DSTV.

Ihre **Aufgaben** sind die verkaufsunabhängige, firmenneutrale und kostenfreie Information der maßgeblichen Bauentscheidungsträger, Schulung und Nachwuchsförderung sowie eine imagefördernde Öffentlichkeitsarbeit.

Zielgruppen sind alle Bauentscheidungsträger und am Bau beteiligte Gruppen des privaten und öffentlichen Hoch- und Brückenbaus, Planer und Investoren, Architekten und Bauingenieure, Universitäten und Hochschulen, sowie die fachinteressierte Öffentlichkeit.

Informationsschwerpunkte sind:

- Gestalterische Möglichkeiten mit Stahltragwerken
- Neue Technologien und Einsatzbereiche für den Stahlbau
- Technische Vorteile des Stahlbaus
- Wirtschaftlicher Nutzen für den Anwender

Die Informationen sind objektbezogen, individuell ausgerichtet und umfassen folgende Themenbereiche:

- Tragwerkswahl
- Konstruktive Ausführungsmöglichkeiten
- Statische Aspekte
- Verbundkonstruktionen
- Deckensysteme
- Dach- und Wandsysteme
- Brandschutz
- Korrosionsschutz
- Fertigungsverfahren
- Montagekonzepte
- Montagezeiten/Gesamtbauzeit
- Qualitätsstandard
- Ausschreibungen
- Kostenschätzungen/Kostenvergleiche
- Einflußfaktoren Gesamtbaukosten
- Ökologische Aspekte

Über Regionalbüros geben erfahrene Stahlbauingenieure vor Ort objektspezifische, fachliche Unterstützung schon in der Projektierungsphase. Sie erstellen schriftliche Ausarbeitungen von Alternativen und vermitteln bei Bedarf Experten für spezielle Begutachtungen.

Darüber hinaus zählt zum Leistungsumfang von BAUEN MIT STAHL:

- Schulung und Nachwuchsförderung
- Vorträge an Hochschulen
- Ausrichtung von Tagungen und Seminaren
- Ausstellungen und Messen
- Herausgabe von technischen Broschüren
- Publikation von beispielhaften Stahlbauwerken
- Führung von Baustellen- und Objektbesichtigungen
- Ausrichtung von Architekturwettbewerben
- Einbeziehung deutscher und europäischer Fachinstitute
- Kontaktpflege zu allen bauinvolvierten Gruppen

Impressum

Stahlverbundträger mit großen Stegausschnitten
von Helmut Bode und Jochen Stengel
Universität Kaiserslautern
Bauingenieurwesen-Stahlbauwesen

Herausgeber:

BAUEN MIT STAHL

Sohnstr. 65
40237 Düsseldorf
Postfach 10 48 42
40039 Düsseldorf
Telefon + 49(0) 211/6707-828
Telefax + 49(0) 211/6707-829
Internet: www.bauen-mit-stahl.de
Email: zentrale@bauen-mit-stahl.de

3. überarbeitete Auflage, August 1998

Ein Nachdruck dieser Veröffentlichung ist - auch auszugsweise - nur mit schriftlicher Genehmigung des Herausgebers und bei deutlicher Quellenangabe gestattet.

Die zugrunde liegenden Informationen wurden mit größter Sorgfalt recherchiert und redaktionell bearbeitet. Eine Haftung ist jedoch ausgeschlossen.

Bildnachweis

Aus Sonderdruck „Das neue Eisenhüttenhaus „
Stahl-Informations-Zentrum

0. Inhaltsverzeichnis

0.	Inhaltsverzeichnis	1
1.	Einleitung und Problemstellung	2
2.	Bezeichnungen	4
3.	Tragfähigkeit: Versuche und Theorie	6
3.1	Allgemeines	6
3.2	DFG- und AiF-Versuchsprogramm	6
3.3	Rechenmodell	9
3.4	Vergleich Versuch - Theorie	15
4.	Bemessungsverfahren	17
5.	Bemessungshilfen	18
5.1	Allgemeines	18
5.2	Tragfähigkeitstabellen	18
5.3	M-V-Bemessungsdiagramme	37
5.4	M-N-Interaktionsdiagramm für den oberen Teilquerschnitt	50
5.5	Stahlträger ohne Verbund	50
6.	Beispiele	51
6.1	Berechnung von Hand mit allen Einzelschritten	51
6.2	Bemessung mit Hilfe der Tabellen	56
6.3	Bemessung mit Hilfe der M-V-Diagramme	57
6.4	Berechnung der Tragfähigkeit mit dem EDV-Programm "TMA"	57
6.5	Vergleich der Bemessungsverfahren	57
6.6	Mehrere Ausschnitte hintereinander	58
6.7	Runde Ausschnitte	60
7.	Zusätzliche statische Nachweise und Hinweise auf die konstruktive Ausbildung	61
8.	Normen und Literatur	66
9.	Schluß	68

1. Einleitung und Problemstellung

Bei Gebäuden mit Unterzugdecken müssen in aller Regel horizontale Installationen unter den Unterzügen verlegt werden. Um nicht zu viel an Raumhöhe zu verlieren, bietet sich als Alternative an, die Leitungen und Kanäle durch die Stege der Unterzüge hindurch zu führen.

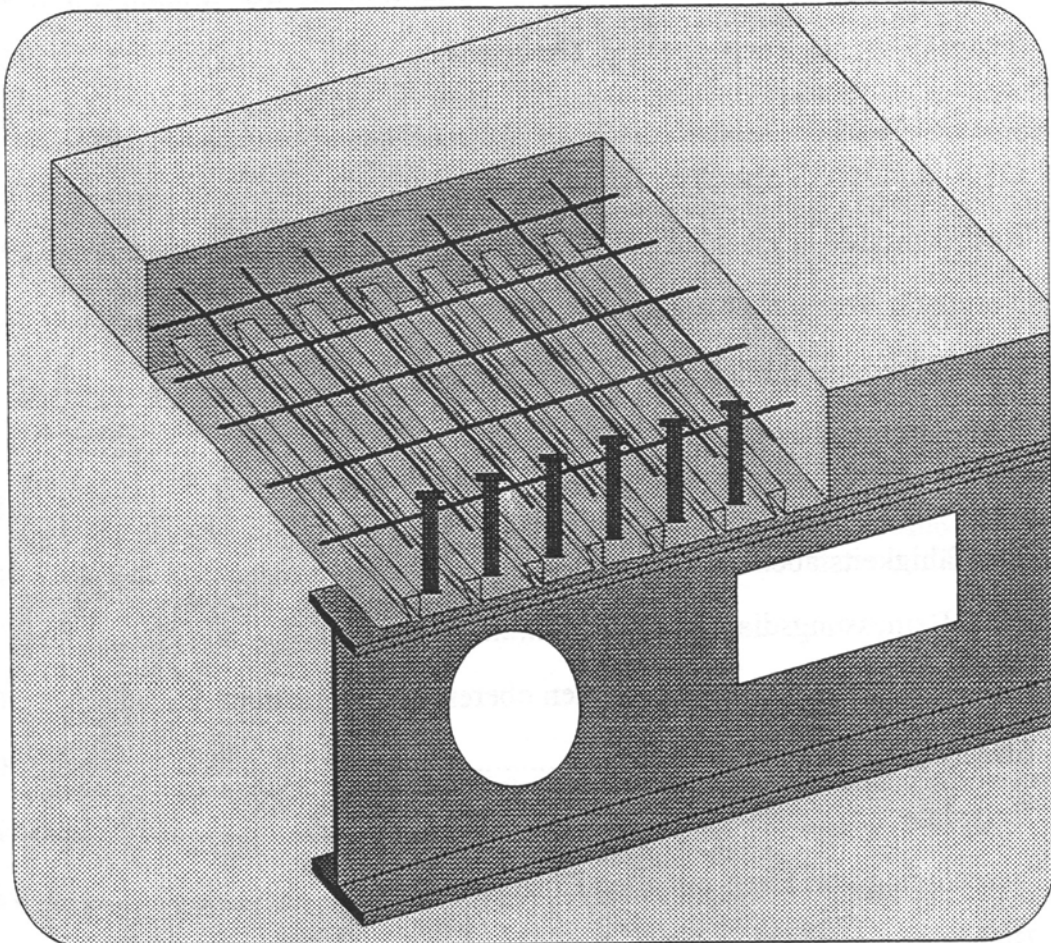


Bild 1: Geschoßdecke mit Stegausschnitten

Sieht man eine Geschoßdecke in Stahlverbundbauweise vor, ist es möglich, selbst große Stegausschnitte in den Deckenträgern anzuordnen. Da im Bereich dieser Stegöffnungen jedoch nur noch reduzierte Querschnitte zur Verfügung stehen, werden zusätzliche statische Nachweise erforderlich.

Befinden sich die Öffnungen nahe am Auflager, sind die Zusatzbeanspruchungen aufgrund der dort auftretenden großen Querkräfte hoch. Es ist daher im allgemeinen anzustreben, große rechteckige Stegöffnungen nicht in Auflagernähe anzuordnen. Bei einem Verbundträger trägt im Öffnungsbereich der Stahlbetongurt jedoch mit. Dadurch ergibt sich eine hohe Tragfähigkeit, so daß sogar noch in Auflagernähe die Anordnung großer Stegöffnungen möglich ist.

Der genaue statische Nachweis erfordert mehrere Berechnungsschritte und ist daher umfangreich. Außerdem müssen Stabilitätsbetrachtungen angestellt werden, wenn die Stege unversteift sind und kein Kammerbeton vorgesehen wird. Um schon in der frühen Planungsphase Lage, Form und Größe von Stegausschnitten festlegen zu können, wurden auf Grundlage genauer Berechnungen einfache Bemessungsdiagramme ausgearbeitet. Damit wird bereits im Planungsstadium eine schnelle Vorbemessung des Öffnungsbereiches ermöglicht.

Das Problem bei der Bemessung entsteht dadurch, daß ein gelochter Nettoquerschnitt vorliegt, der reduzierte Biege- und Querkrafttragfähigkeiten aufweist. Bei Querkraftbeanspruchung kommt hinzu, daß die Querkraft im Bereich des Stegausschnittes zusätzliche, sogenannte sekundäre oder lokale Biegemomente hervorruft, wie sie aus der Berechnung von Rahmen- und Vierendeelträgern bekannt sind. Diese müssen dann zusammen mit der "globalen" Beanspruchung von den verbliebenen Restquerschnitten "lokal" aufgenommen werden (Bild 2). Wenn die Stegausschnitte im Bereich großer Querkräfte angeordnet werden, sind dieser lokale Einfluß und die sich daraus ergebende Traglastminderung besonders stark.

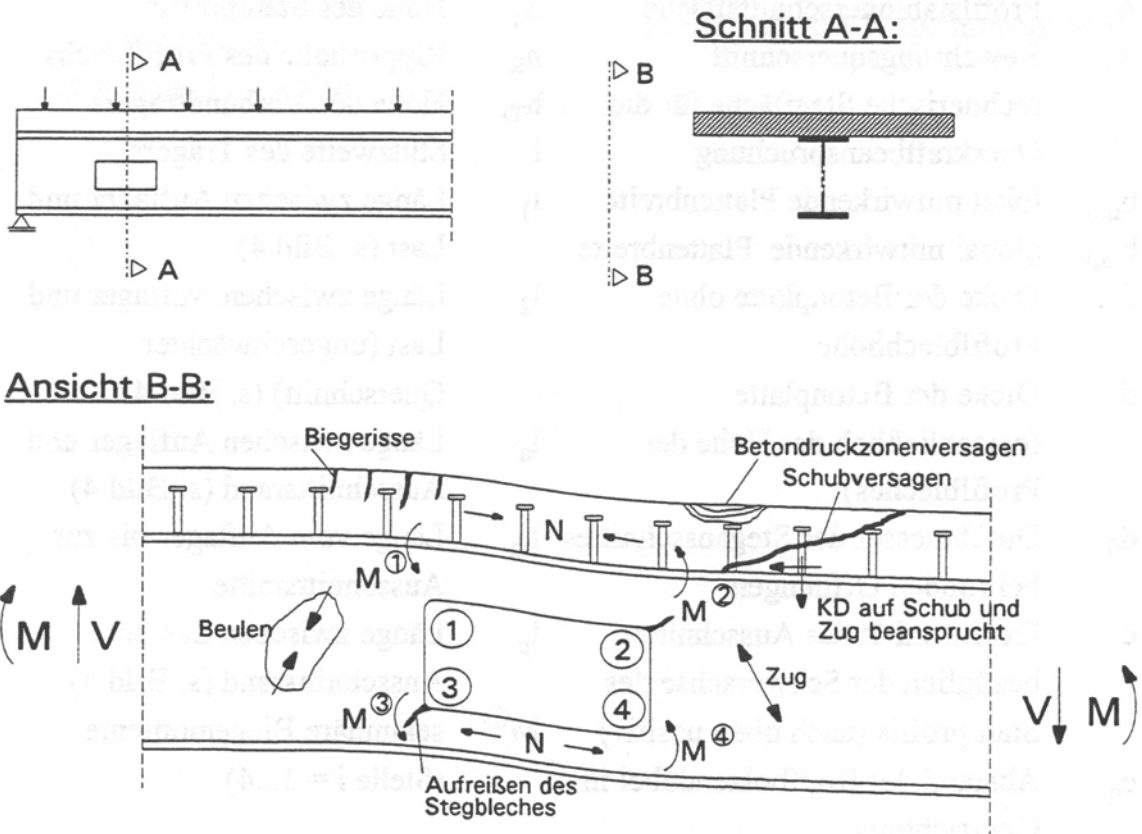


Bild 2: Veranschaulichung von Kraft- und Verformungsgrößen und der möglichen Versagensarten

2. Bezeichnungen

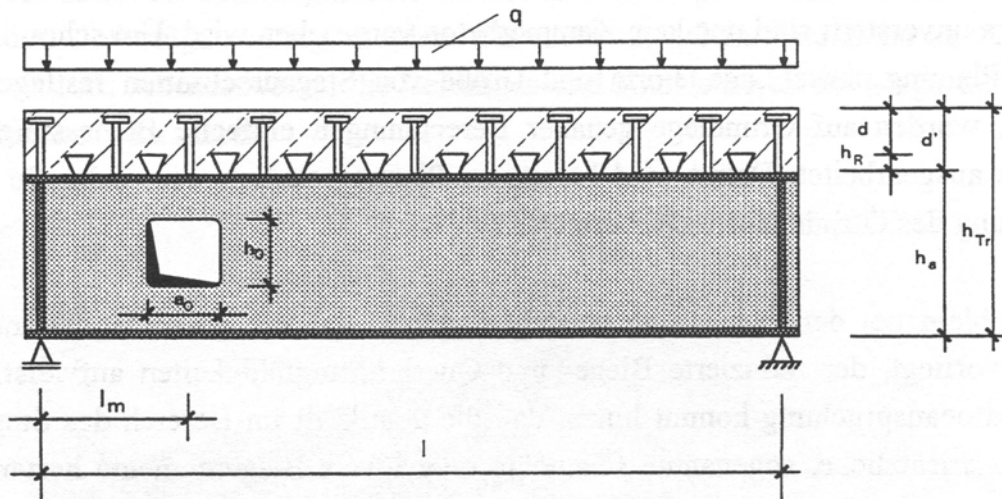


Bild 3: Bezeichnungen

a	Abstand zwischen zwei Ausschnitten	$f_{y,d}$	Bemessungswert der Streckgrenze
a_0	Länge des Stegausschnittes	h_0	Höhe des Ausschnittes
A_a	Profilstahlquerschnittsfläche	h_a	Höhe des Stahlprofils
A_S	Bewehrungsquerschnitt	h_R	Rippenhöhe des Profilblechs
A_V	rechnerische Stegfläche für die Querkraftbeanspruchung	h_{Tr}	Höhe des Verbundträgers
$b_{m,l}$	lokal mitwirkende Plattenbreite	l	Stützweite des Trägers
$b_{m,g}$	global mitwirkende Plattenbreite	l_1	Länge zwischen Auflager und Last (s. Bild 4)
d	Dicke der Betonplatte ohne Profilblechhöhe	l_2	Länge zwischen Auflager und Last (ungeschwächter Querschnitt) (s. Bild 4)
d'	Dicke der Betonplatte (einschließlich der Höhe des Profilbleches)	l_a	Länge zwischen Auflager und Ausschnittsrand (s. Bild 4)
d_0	Durchmesser des Stegausschnittes bei runden Öffnungen	l_m	Länge vom Auflager bis zur Ausschnittsmitte
e	Exzentrizität des Ausschnittes bezüglich der Schwerachse des Stahlprofils (nach oben positiv)	l_p	Länge zwischen Last und Ausschnittsrand (s. Bild 4)
e_q	Abstand der Kopfbolzendübel in Querrichtung	$M^{(i)}$	sekundäre Biegemomente (Stelle $i = 1...4$)

Bezeichnungen

$M_{pl,N,V}$	plastische Biegemomenten- tragfähigkeit unter Berücksichti- gung von Normalkraft und Querkraft	s_{red}	reduzierte Stegdicke
N^o	Normalkraft im oberen Teilquerschnitt	TMA	Abkürzung für: (Verbund-) Träger mit Ausschnitten
N^u	Normalkraft im unteren Teilquerschnitt	V_c	Querkrafttragfähigkeit der Betonplatte
N_g	global wirkende Normalkraft	$V_{L,1}^{\textcircled{1}}$	Lokaler Horizontalschub an der Stelle ①
N_l	lokal wirkende Normalkraft	$V_{L,1}^{\textcircled{2}}$	Lokaler Horizontalschub an der Stelle ②
n_g	Anzahl der Kopfbolzen zur Abtragung des globalen Schubs	V^o	Querkraft im oberen Teilquerschnitt
n_l	Anzahl der Kopfbolzen zur Abtragung des lokalen Schubs	V_{pl}	plastische Querkrafttragfähigkeit
N_{pl}	plastische Normalkraft	V^u	Querkraft im unteren Teilquerschnitt
P	Pressenlast (Einzellast)	V_u	Querkrafttragfähigkeit im Grenzzustand
P_{calc}	rechnerische Traglast	V_w	Querkrafttragfähigkeit des Stahlsteges
P_{exp}	Traglast im Versuch	z	Innerer Hebelarm der Normal- kräfte aus dem Biegemoment M
P_{Rd}	Schubtragfähigkeit der Kopfbolzendübel		
P_u	maximale Pressenlast		

3. Tragfähigkeit: Versuche und Theorie

3.1 Allgemeines

Bevor die Bemessungshilfen dieser Dokumentation aufgestellt werden konnten, sind an der Universität Kaiserslautern umfangreiche Untersuchungen der Tragfähigkeit von Verbundträgern im Bereich großer Stegausschnitte durchgeführt worden. Hierzu zählen:

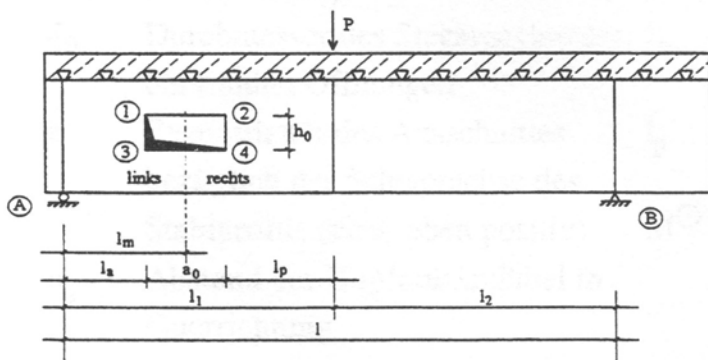
- Traglastversuche im Rahmen eines DFG-Forschungsvorhabens [7]
- Traglastversuche im Rahmen eines AiF-Forschungsvorhabens [6]
- FEM-Berechnungen
- Physikalisch nichtlineare Berechnungen auf der Basis der Stabwerkstheorie.

Im folgenden werden die wichtigsten Versuchsparameter zusammengestellt, um den Versuchsumfang und den damit abgedeckten Parameterbereich zu dokumentieren. Vergleichend erfolgt die physikalisch nichtlineare Berechnung in etwas vereinfachter Form mit Berücksichtigung verschiedener Versagenskriterien.

Der abschließende Vergleich der experimentell und rechnerisch ermittelten Tragfähigkeiten zeigt eine sehr gute Übereinstimmung. Das gilt auch dann noch, wenn man weitere 15 nordamerikanische Versuche [9] in die Auswertung mit einbezieht. Die Versuchsergebnisse zeigen aber auch, daß die Verformbarkeit im Öffnungsbereich eingeschränkt ist (z.B. bei Schubversagen im Betongurt), so daß Stahlverbundträger mit großen Stegausschnitten nicht mit Hilfe der Fließgelenktheorie bemessen werden sollten. Weitere Angaben und Bemerkungen zum Trag- und Versagensverhalten können dem AiF-Forschungsbericht [6] und der Stahlbau-Veröffentlichung [8] entnommen werden.

3.2 DFG- und AiF-Versuchsprogramm

Von den insgesamt 14 Versuchen des DFG-Projektes wurden 13 mit rechteckigen Stegausschnitten und einer (Versuch A1) mit rundem Stegausschnitt $\varnothing 200$ mm in Stegmitte durchgeführt. Die Träger wurden so variiert, daß 4 Versuche außermittig



Zur Bezeichnung der 4 Ecken: Stelle ①: oberer Teilquerschnitt, lokales negatives Moment
 Stelle ②: oberer Teilquerschnitt, lokales positives Moment
 Stelle ③: unterer Teilquerschnitt, lokales negatives Moment
 Stelle ④: unterer Teilquerschnitt, lokales positives Moment

angeordnete Ausschnitte hatten und 5 Versuchsträger mit Holoribblechen (als verlorene Schalung, die den Obergurt jedoch profiliert) und unterbrochener Verbundfuge hergestellt waren. 2 Träger waren sehr hoch bzw. niedrig verdübelt, und 2

Bild 4: Versuchsaufbau und Bezeichnungen

waren mit Längsaussteifungen am unteren Rand des Ausschnitts versehen. Diese beiden Versuche D1 und D2 stellten bereits den Übergang zum AiF-Projekt dar. In Bild 4 ist der Versuchsaufbau dargestellt, Tabelle 1 gibt die wichtigsten Kenngrößen an. Das Versuchsprogramm umfaßt damit:

- massive Betongurte (Gruppe A, C und D),
- Betongurte mit unterbrochener Verbundfuge auf Holoribblech (Gruppe B),
- im Steg exzentrisch angeordnete Ausschnitte (Gruppe C) und
- zwei Vorversuche mit versteiften Längsrändern (Gruppe D).

Außerdem wurden variiert:

- die Lage des Ausschnittes: randnah ($M/V \leq 1$) und im Feld ($M/V > 1$),
- Versuch A1 mit kreisrundem Ausschnitt,
- Stahlprofile der Reihen HEA und IPE aus St 37 und St 52,
- Betonfestigkeiten (diese wurden nicht gezielt variiert),
- Ausschnittsgrößen zwischen 300 und 1200 cm²,
- Ausschnittsbreiten a_0 zwischen 200 und 600 mm,
- Ausschnittshöhen h_0 zwischen 200 und 250 mm ($h_0/h_a \cong 0,6$),
- die Verdübelung sowie
- die Stahlbetonbewehrung, siehe [10].

Nr.	Bez.	Stahlprofil	Betongurt b/d'	Ausschnitt h_0/a_0	Kopfbolzen			Lage des Ausschnitts			Variante
					\varnothing	h_d	e_1	l_a	l_p	l_1	
			[cm]	[cm]		[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	
1	A1	HE 300A	100/16	$d_0=20$	2 \varnothing 7/8"	15	10	60	40	120	Rundausschnitt
2	A2	HE 300A	100/16	20/40	2 \varnothing 7/8"	15	10	40	40	120	Grundversuch
3	A3	HE 300A	100/16	20/40	5 \varnothing 7/8"	15	10	40	40	120	Verdübelungsgrad
4	A4	IPE 360	100/10	20/60	1 \varnothing 5/8"	7,5	14	40	40	140	Verdübelungsgrad
5	B1	HE 300A	150/16	20/40	2 \varnothing 7/8"	15	15	40	130	210	Holoribplatte
6	B2	HE 300A	150/16	20/40	2 \varnothing 7/8"	15	15	40	130	210	Holoribplatte
7	B3	IPE 400	100/16	25/45	2 \varnothing 7/8"	15	15	45	60	150	Holorib, bewehrt
8	B4	IPE 400	100/16	25/45	2 \varnothing 7/8"	15	15	45	60	150	Holorib, bewehrt
9	B5	IPE 400	100/16	25/45	2 \varnothing 7/8"	15	15	135	60	240	Holorib, bewehrt
10	C1	IPE 400	100/16	24/48	2 \varnothing 7/8"	15	12	40	40	128	exzent. untenliegend
11	C2	IPE 400	100/16	24/48	2 \varnothing 7/8"	15	12	40	40	128	exzent. obenliegend
12	C3	IPE 400	100/16	24/48	2 \varnothing 7/8"	10	18	150	40	238	zentrisch, M/V-Verh.
13	D1	IPE 400	120/10	24/48	2 \varnothing 7/8"	10	16	72	96	216	Aussteifung
14	D2	IPE 400	120/10	24/48	2 \varnothing 7/8"	10	16	72	96	216	Aussteifung

Tabelle 1: Versuchsdaten des DFG-Projektes

Im Rahmen des AiF-Vorhabens [6] wurden praxisgerechte Versteifungen und Verstärkungsmaßnahmen untersucht. Dazu zählen:

- horizontale Steifen (am unteren Rand des Ausschnittes),
- horizontale und vertikale Steifen (Versuch S4),
- Verstärkung des Betongurtes (Breite, Dicke, Bewehrungsmenge),
- Kammerbeton (mit Brandschutzbewehrung) und
- zusätzlich aufgeschweißte Kopfbolzendübel.

Dabei unterscheiden sich die Möglichkeiten der Versteifung des Ausschnittsbereichs im Stahlverbundbau nicht von denen des reinen Stahlbaus (vgl. z.B. [3]). Sie dienen vor allem dazu, die Restquerschnitte möglichst biegesteif und -tragfähig auszubilden.

Insgesamt wurden 15 großmaßstäbliche Traglastversuche an Einfeldträgern mit Stegausschnitten durchgeführt. Es wurden erstmalig auch Ausschnitte im Bereich negativer Biegemomente untersucht, die bei Krag- und Durchlaufträgern auftreten können.

Nr.	Bez.	Stahlprofil	Beton- gurt b/d'	Aus- schnitt h ₀ /a ₀	Kopfbolzen			Lage des Aus- schnitts			Variante
					∅	h _d	e ₁	l _s	l _p	l ₁	
			[cm]	[cm]		[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	
1	S1	IPE 400	120/15	24/48	2 ∅ 7/8"	15	15	72	96	216	horizontale Steife
2	S2	IPE 400	120/15	24/72	2 ∅ 7/8"	15	15	60	84	216	hor. Steife, großes a ₀
3	S3	IPE 400	120/15	24/72	2 ∅ 7/8"	15	15	60	84	216	hor. Steife, großes a ₀
4	S4	IPE 400	120/15	24/48	2 ∅ 7/8"	15	15	72	96	216	hor. u. vertikale Steife
5	P1	IPE 400	120/21	24/48	2 ∅ 7/8"	20	15	72	96	216	hor. Steife, Plattendicke
6	P2	IPE 400	120/21	24/48	2 ∅ 7/8"	20	15	72	96	216	hor. Steife, Plattendicke
7	P3	IPE 400	250/15	24/48	2 ∅ 7/8"	15	15	72	96	216	hor. Steife, Plattenbreite
8	P4	IPE 400	250/15	24/48	2 ∅ 7/8"	15	15	72	96	216	hor. Steife, Plattenbreite
9	P5	IPE 400	120/15	24/48	3 ∅ 7/8"	15	15	72	96	216	Bewehrung, zus. Dübel
10	P6	IPE 400	120/15	24/48	3 ∅ 7/8"	15	15	72	96	216	Bewehrung, zus. Dübel
11	P12	IPE 400	120/21	33/50	2 ∅ 7/8"	20	15	58	82	190	Ausschnittshöhe
12	K1	IPE 400	120/15	24/48	2 ∅ 7/8"	15	15	72	96	216	Kammerbeton
13	K2	IPE 400	120/15	24/48	2 ∅ 7/8"	15	15	72	96	216	Kammerbeton
14	K3	IPE 400	120/15	d ₀ =24	2 ∅ 7/8"	15	15	84	108	216	" , runder Ausschnitt
15	K4	IPE 400	120/15	d ₀ =24	2 ∅ 7/8"	15	15	116	76	216	" , zwei runde Aus- schnitte
								52	140		

Tabelle 2: Versuchsdaten des AiF-Projektes

Tabelle 2 enthält die wichtigsten Versuchsdaten. Die gesamte Versuchsreihe untergliederte sich in die 3 Teilsereien:

1. Serie **S**: Untersuchung des Einflusses der stahlbaumäßigen Verstärkung der Ausschnitte durch horizontale bzw. horizontale und vertikale Steifen.
2. Serie **P**: Variation der Stahlbetonplatte:
 - Plattendicke,
 - Plattenbreite und
 - Längsbewehrungsgrad mit gleichzeitig hoher Verdübelung.
3. Serie **K**: Durch Kammerbeton verstärkte, rechteckige und runde Ausschnitte. Dabei war der Kammerbeton nach dem Brandschutz-Merkblatt 117 [22] für den Brandfall bewehrt.

Mit Ausnahme der Versuche P5 und P6 hatten alle Betongurte eine zweilagige Längs- und Querbewehrung. Die Längsbewehrung bestand aus Stabstahl $\varnothing 10$ (Längsbewehrungsgrad $\mu_1 \approx 0,8 \%$), die Querbewehrung aus Stabstahl $\varnothing 12/150$.

3.3 Rechenmodell

Das Rechenmodell beruht auf der Stabwerkstheorie und lehnt sich an die übliche Berechnung von Trägern mit Stegausschnitten, z.B. für reine Stahlträger nach Sahmel [16], an. Konsequenterweise liefert es die maßgebenden Kraftgrößen, die verfolgt und hinsichtlich der Beanspruchbarkeit überprüft werden müssen. Das Modell gilt für die rechnerische Erfassung des Bruchzustandes auf der Basis plastischer Querschnittstragfähigkeiten mit vollständiger Umlagerung der örtlichen Momente im Öffnungsbereich. Im wesentlichen erfolgt die Berechnung in 5 Schritten:

1. Zerlegung des globalen Biegemoments M in eine Druck- und Zugkraft, die im Abstand z in den plastischen Schwerachsen der Restquerschnitte wirkend angenommen werden.
2. Berechnung der am Rahmensystem aus der Querkraft entstehenden Sekundärmomente $M^{\textcircled{1}}$ bis $M^{\textcircled{4}}$ (Vierendeelmechanismus), wobei an jeder Stelle eine unterschiedliche Schnittgrößenkombination aus Biegemoment, Querkraft und Normalkraft wirksam ist (vgl. Bild 5). Daher erfordert die Berechnung der Biegetragfähigkeiten an diesen Stellen M-N-V-Interaktionen.
3. Kontrolle der Gleichgewichtsbedingungen:

$$V = V^o + V^u$$

$$V^o \cdot a_0 = M^{\textcircled{1}} + M^{\textcircled{2}}$$

$$V^u \cdot a_0 = M^{\textcircled{3}} + M^{\textcircled{4}}$$

4. Nachweise mit den möglichen Versagenskriterien.

5. Gegebenenfalls sind weitere Iterationsschritte erforderlich, wenn die Tragfähigkeiten der Restquerschnitte nicht ausgenutzt sind.

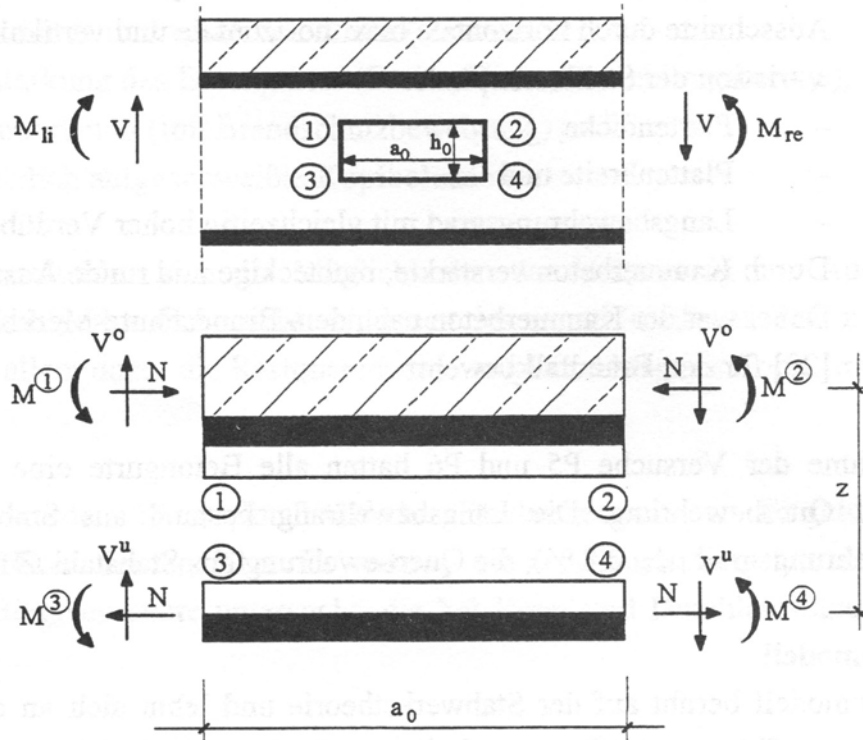


Bild 5: Globale und lokale Stabendschnittgrößen am Stegausschnitt

Die richtige Berechnung der Tragfähigkeit ist also hauptsächlich abhängig von der möglichst genauen Erfassung des Einflusses von Normalkraft und Querkraft auf die örtlichen Biegetragfähigkeiten unter Berücksichtigung verschiedener, für Verbundträger mit Stegausschnitten typischer Versagenskriterien.

Das Verfahren ist anwendbar für weitgehend beliebige Verbundträger mit rechteckigen und runden Stegausschnitten im Bereich positiver und negativer Momente. Neben Querschnitts- und Systemdaten werden die Einflüsse aus der Ausschnittsgeometrie, aus den Längsverstärkungen sowie aus der Tragfähigkeit und Anordnung der Kopfbolzen erfaßt. Da keine gezielte Versuchserfahrungen mit dynamischer Belastung vorliegen, gilt das Verfahren nur für vorwiegend ruhende Belastung. Weiterhin dürfen direkt über dem Ausschnitt keine großen Einzellasten angreifen, da die daraus entstehende örtliche Biegung Einfluß auf das Tragverhalten hat. In den nachfolgenden Ausführungen wird das Rechenmodell näher beschrieben.

Die Verwendung eines Stabwerkmodells erfordert Annahmen über die mittragende Breite b_m der Betonplatte. Es wird zwischen den lokalen (Index "l") und globalen (Index "g") Tragwirkungen unterschieden:

$$b_{m,l} = e_q + 3,5 \cdot d$$

$$b_{m,g} = l_0/4$$

mit e_q = Abstand der Kopfbolzen in Querrichtung

l_0 = Abstand der Momentennullpunkte

d = Dicke der Betonplatte ohne Profilblechhöhe.

Mit Hilfe der lokal mitwirkenden Plattenbreite werden bei der Berechnung der plastischen Biegetragfähigkeit die Momente an den Stellen ① und ② unter Berücksichtigung der anteiligen Normalkraft bestimmt. Diese berechnet sich aus dem Verhältnis zwischen lokaler und globaler Plattenbreite. Bild 6 zeigt für den oberen Teilquerschnitt ein typisches M-N-Interaktionsdiagramm, aus dem die Abhängigkeit der Biegetragfähigkeit von der Normalkraft deutlich wird.

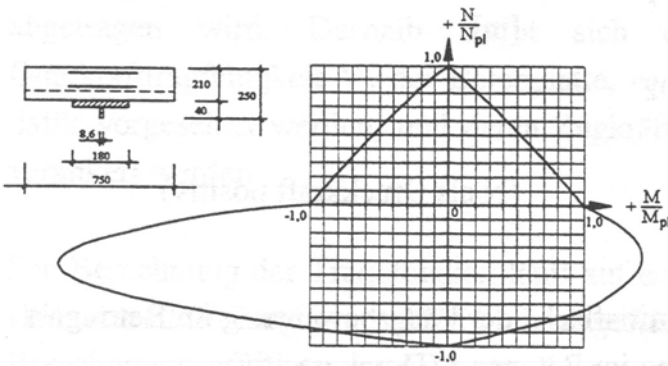


Bild 6: M-N-Interaktion für den oberen Teilquerschnitt des Versuchsträgers P1 und P2

Während im Zugbereich (obere Hälfte des Diagramms) die plastische Biegetragfähigkeit ungefähr linear mit der Normalkraft abnimmt, wird sie durch eine gleichzeitig vorhandene Druckkraft z.T. erheblich gesteigert. Für den unteren Teilquerschnitt (Stellen ③ und ④) gestaltet sich die Berechnung insofern einfacher,

als (mit Ausnahme von Kammerbetonträgern) die Tragfähigkeiten von T- und I-Querschnitten aus Baustahl allein bestimmt wird.

Der Einfluß der Querkraft auf die Biegetragfähigkeit wird nach nationalen Normen rechnerisch durch die Reduktion der Stegdicke s erfaßt:

$$s_{red} = s \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{V}{V_{pl}} \right)^2}$$

Dies hat - im Gegensatz zur Abminderung der Fließspannung - den Vorteil, daß mit konstanter Streckgrenze f_y gerechnet werden kann, stimmt aber in dieser Form nicht ganz mit dem Eurocode 4 [1] überein.

Im Verbundbau wird die Querkraft rechnerisch üblicherweise dem Stahlträgersteg zugeordnet (vgl. u.a. Bild 3 in [4]). Diese Näherung führt bei Trägern mit Stegausschnitten zu Ergebnissen, die im Vergleich mit Traglastversuchen z.T. weit auf der sicheren Seite liegen. Außerdem wird in Traglastversuchen häufig ein Schubversa-

gen der Betonplatte beobachtet und für das Versagen maßgebend. Insbesondere bei großen Stegausschnitten und bei Verbundträgern mit dicken Vollplatten stellt das Mitwirken des Betongurts bei der Abtragung der Querkraft einen wesentlichen Traganteil dar. So liegt bei den Versuchen A1-A3 und C1-C3 der rechnerische Anteil der Querkrafttragfähigkeit der Betonplatte V_c bezogen auf die Gesamtquerkraft V bei ca. 50%. Die Schubtragfähigkeit in den Versuchen wurde dabei nach Abschnitt 4.3.2, Eurocode 2 [2] (ohne Teilsicherheitsfaktoren) berechnet:

$$V_c = (\tau_c \cdot k \cdot (1,2 + 40 \cdot \rho_l) + 0,15 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d$$

mit $b_w = b_{m,l}$

$$k = 1,6 - d \geq 1 \quad [m]$$

$$\rho_l = \frac{A_{sl}}{b_w \cdot d} \leq 0,02$$

$$\sigma_{cp} = \frac{N}{A_c} \quad (N \text{ als Druckkraft positiv})$$

wobei A_{sl} = Querschnittsfläche der Längsbewehrung im Betongurt

σ_{cp} = Spannung im Betongurt (Druck positiv)

Dies Vorgehen hat den Vorteil, daß eine Vielzahl von Parametern berücksichtigt werden kann. Herauszuheben ist dabei die Abhängigkeit der Schubtragfähigkeit von einer gleichzeitig vorhandenen "globalen" Drucknormalkraft N_g .

Infolge der Sekundärmomente $M^{\textcircled{1}}$ und $M^{\textcircled{2}}$ im oberen Teilquerschnitt entsteht zwischen dem Betongurt und dem Obergurt des Stahlträgers lokaler Horizontalschub. Dieser Schub, der sich aus den Normalkraftanteilen der Biegespannungen im Betongurt errechnet, muß im Ausschnittsbereich von den Kopfbolzen übertragen werden. Wie FEM- und Vergleichsberechnungen gezeigt haben, können aufgrund einer gewissen Auflagertiefe der Restquerschnitte im ungeschwächten Verbundquerschnitt mehr Kopfbolzen bei der Schubabtragung mitwirken, als direkt über dem Ausschnitt vorhanden sind. Wegen der unterschiedlichen Steifigkeit des Betongurts unterscheidet sich die Auflagertiefe und somit die Dübelanzahl bei globaler positiver bzw. negativer Momentenbeanspruchung. Bei den in den Versuchen gewählten, äquidistanten Dübelabständen können im positiven Momentenbereich rechts und links des Ausschnitts jeweils 2, im negativen jeweils 1 zusätzlicher Dübel (oder Dübelpaare) rechnerisch angesetzt werden.

Nicht nur Querkräfte in der Betonplatte, sondern auch Zug in den Kopfbolzen sind Tragwirkungen, die bei der Bemessung von Verbundträgern mit konstanten Querschnitten ohne Stegausschnitte planmäßig keine Rolle spielen. Der Bolzenzug bei Trägern mit Stegausschnitten entsteht durch das Hochhängen der Querkraft in die Betonplatte auf der lastnahen Ausschnittsseite (Stelle ②). Die Zugbeanspruchung wird dadurch noch verstärkt, daß die steife Betonplatte die großen Verformungen des Stahlträgers infolge der Ausbildung von plastischen Gelenken nicht ohne weiteres mitmachen kann. Angesichts des sehr komplexen Beanspruchungszustands an der Stelle ② konnte jedoch nicht abschließend geklärt werden, wie groß die zusätzliche Zugbeanspruchung in den Kopfbolzen tatsächlich ist, weil nicht klar ist, wie groß der Anteil der Querkraft ist, der schon von vornherein vom Betongurt abgetragen wird. Deshalb ergibt sich der Zug aus der rechnerischen Querkrafttragfähigkeit V_c der Betonplatte, es müssen dafür i.a. zusätzliche Dübel dafür vorgesehen werden, und deren Zugkräfte müssen im Betongurt angemessen verankert werden.

Die Berechnung der Tragfähigkeit läuft auf eine Iterationsrechnung hinaus, die mit Hilfe des EDV-Programms "TMA" durchgeführt wurde [6, 8]. Der Algorithmus des Berechnungsverfahrens ist in Form eines vereinfachten Flußdiagramms in Bild 7 dargestellt.

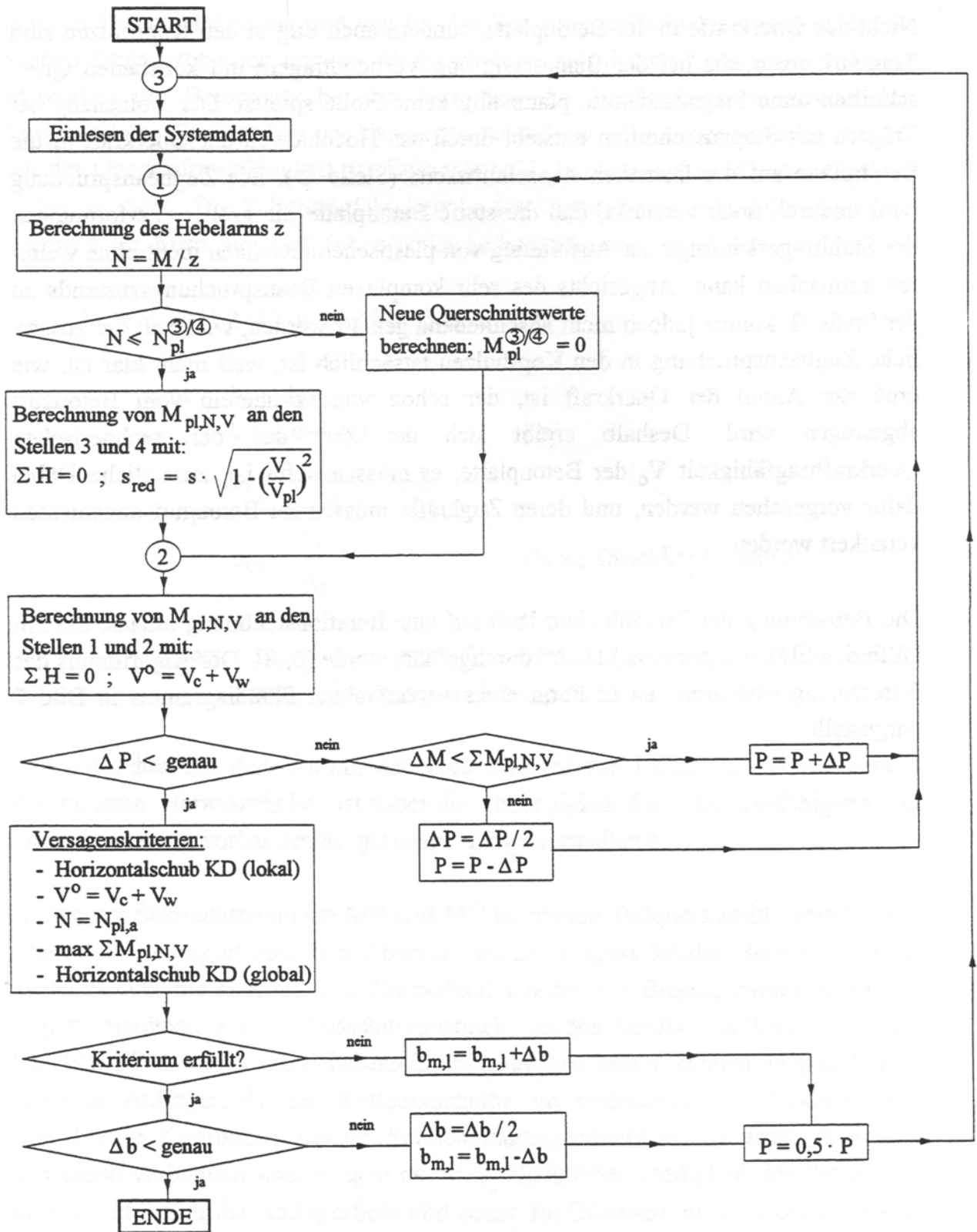


Bild 7: Flußdiagramm (aus [6]) zur Berechnung der Tragfähigkeit

Die Tragfähigkeit ist genau dann erreicht, wenn eines der folgenden Versagenskriterien erfüllt ist:

Kurzbezeichnung	Bedeutung
KD (lokal):	Der lokale Horizontalschub $V_{L,1}$ kann durch die Kopfbolzen im Ausschnittsbereich nicht mehr aufgenommen werden.
KD (global):	Die globale Schubbeanspruchung, überlagert mit der lokalen, wird traglastbestimmend. Betrachtet wird der Bereich zwischen dem lastnahen Ausschnittsrand und dem Auflager.
$V^0 = V_c + V_w$:	Die maximale Querkrafttragfähigkeit (in der Betonplatte V_c und im Stahlsteg V_w) des oberen Teilquerschnitts ist erreicht.
$N = N_{pl,a}$:	Der Nettoquerschnitt des Stahlträgers ist vollplastisch durch Zug ausgenutzt (bei Trägern mit großem M/V-Verhältnis).
$\max \sum_{i=1}^4 M^{\textcircled{i}}_{pl,N,V}$:	Die Summe der Biegetragfähigkeiten in den Ecken ① bis ④ wird erreicht (vollständige "lokale" Momentenumlagerung).

3.4 Vergleich: Versuch - Theorie

Die Ergebnisse der Vergleichsberechnungen sind in Bild 8 dargestellt. Für die einzelnen Versuche ist durch unterschiedliche Symbole die rechnerische Versagensart kenntlich gemacht. Es wurden außer den 15 Versuchen des AiF-Projektes [6] und den 14 aus dem DFG-Projekt [8] auch 15 nordamerikanische Versuche [9] nachgerechnet. Wie Bild 8 zeigt, liegen die berechneten Traglasten P_{calc} recht nah bei den Versuchstraglasten P_{exp} .

4. Bemessungsverfahren

Das im Abschnitt 3 dargestellte Rechenverfahren auf der Basis der Stabwerkstheorie wird im folgenden verwendet, um Bemessungshilfen zu erarbeiten. Dem hierzu verwendeten EDV-Rechenprogramm "TMA" liegt das Flußdiagramm zugrunde, das in Bild 7 dargestellt ist. Anstelle der wahrscheinlichen Festigkeiten (für die Versuchsnachrechnung) werden jetzt allerdings Bemessungswerte nach Eurocode 4 [1] verwendet. Außerdem ist berücksichtigt, daß die Momentensumme auf 90% reduziert werden sollte. Stabilitätsnachweise sind in "TMA" bisher nicht enthalten, sie müssen als eigene Versagenskriterien ergänzt werden. Wenn bei der steifenlosen Bauweise der Versuchsbereich nicht verlassen wird, so kann man jedoch davon ausgehen, daß örtliche Instabilitäten nicht maßgebend werden.

Obwohl die Berechnungen auf der Basis des Eurocode 4 erfolgten, dürfte eine nach der Verbundträger-Richtlinie nicht wesentlich davon abweichen, wenn die Tragfähigkeiten M_d und V_d wie folgt umgerechnet werden:

1. Schritt: Schnittgrößen im Gebrauchszustand:

$$M \cong M_d / 1,5$$

$$V \cong V_d / 1,5$$

2. Schritt: Schnittgrößen unter rechnerischer Bruchlast nach der Verbundträger-Richtlinie:

$$M_u = 1,7 \cdot M$$

$$V_u = 1,7 \cdot V$$

Die Rechenergebnisse werden verwendet, um verschiedene Bemessungshilfen zu erstellen:

- a) Tabellen mit den direkt berechneten Werten und Tragfähigkeiten für Träger aus St 37 und St 52,
- b) M-V-Diagramme für Träger, die z.T. mit denselben Rechenergebnissen gezeichnet wurden und die Interpolation erleichtern sollen,
- c) M-N-Interaktionsdiagramme für die oberen Teilquerschnitte (Verbundquerschnitt, einfachsymmetrisch).

Während sich die Tabellen und M-V-Diagramme für den Träger auf vorgegebene, hoffentlich häufige Problemstellungen beziehen und die lineare Interpolation zulassen, sollen die M-N-Interaktionsdiagramme dazu dienen, auch Sonderfälle zu betrachten, die vielleicht seltener vorkommen.

Im Abschnitt 6 wird die Anwendung dieser Bemessungshilfen an einem Beispiel erläutert. Die erforderlichen weiteren Nachweise im Abschnitt 7 sind zu beachten.

5. Bemessungshilfen

5.1 Allgemeines

In diesem Abschnitt werden verschiedene Hilfen zur Bemessung von Verbundträgern mit großen Stegausschnitten gegeben. Sie wurden eigens für diese Dokumentation aufgestellt und entwickelt. Die Bemessungshilfen unterscheiden sich dabei sowohl im Aufwand als auch in der Genauigkeit, mit der die Tragfähigkeit von Stegausschnitten berechnet werden kann.

Mit dem EDV-Programm "TMA" wurden für den in Abschnitt 5.2 angegebenen Parameterbereich die Bemessungswerte der Tragfähigkeit ermittelt. Bedingt durch die Entwicklungsgeschichte des Tragmodells war eine vollständige Übertragung auf den Eurocode 4 [1] in zwei Punkten nicht möglich. So entspricht die Reduktion der Stegdicke s zur Berücksichtigung der Querkraft und die vergrößerte rechnerische Stegfläche nach der Verbundträger-Richtlinie zur Aufnahme der Querkraft nicht den Regeln des Eurocode 4. Eine komplette Übertragung hätte jedoch zur Folge, daß sich die Ergebnisse der Versuchsnachrechnungen (vgl. Bild 8) im Vergleich zu den Versuchsergebnissen verschlechtern. Daher wurden die Bemessungshilfen mit dem nicht vollständig an den Eurocode 4 angepaßten, aber an vielen Versuchen kalibrierten Tragmodell erstellt und die Momentensumme auf 90 % reduziert. Die Rechenergebnisse sind in Tabellenform (Seite 21-36) und für einen erweiterten M/V -Bereich in Diagrammen (Seite 38-49) wiedergegeben. Mit beiden Bemessungshilfen läßt sich die Tragfähigkeit sehr schnell ermitteln. Die Verwendung der Tabellen erlaubt darüber hinaus eine gezielte Verstärkung der Stegausschnitte, da jeweils die maßgebende Versagensart angegeben ist.

Die Tragfähigkeit ist insbesondere bei unverteiften Stegausschnitten stark abhängig von der des oberen Teilquerschnittes. Dessen Biegetragfähigkeit unter Berücksichtigung einer gleichzeitig angreifenden Normalkraft ist in Bild 6 dargestellt. M - N -Interaktionsdiagramme, die als polygonale Näherung von Hand oder exakter mittels EDV-Programmen aufgestellt wurden, sind eine Hilfe zur Bestimmung der Tragfähigkeit des geschwächten Querschnitts (vgl. [1]).

5.2 Tragfähigkeitstabellen

Die Tabellenwerte geben in Abhängigkeit der Ausschnittsform und -größe die Biege- und Querkrafttragfähigkeiten M_{RD} und V_{RD} in Mitte des Ausschnittes für jeweils drei verschiedene M/V -Verhältnisse an. In zwei weiteren Spalten ist dazu die Größe des zusätzlich auftretenden lokalen Horizontalschubes $V_{L,1}$ und die rechneri-

sche Versagensart angegeben. Die Kurzschreibweise entspricht dabei im wesentlichen derjenigen aus Kapitel 3.3 ($KD = KD$ (lokal)).

Grundlagen und Voraussetzungen:

- Die Berechnungen erfolgten auf der Basis des Eurocode 4 [1].
- Für die Stahlträger wird kein Kammerbeton im Öffnungsbereich angesetzt.
- Die Ausschnitte im Trägersteg sind zentrisch zur Schwerachse der Walzträger angeordnet.
- Eine Längsbewehrung in der Betonplatte ist nicht berücksichtigt.
- Die Träger haben eine positive Biegemomentenbeanspruchung.

Parameterbereich:

Folgende Größen werden als konstant vorausgesetzt:

- **Global mittragende Breite $b_{m,g}$** nach Eurocode 4: $b_{m,g} = 240$ cm (mittlerer Spannweitenbereich). Da der Einfluß der globalen mittragenden Breite gering ist, sind die Ergebnisse auch für geringfügig abweichende mitwirkende Breiten ausreichend genau.
- **Betonfestigkeit mindestens C 25/30** (das entspricht der Betonfestigkeitsklasse B 35).
- **Kopfbolzendübel mindestens 1 \varnothing 22/150**. Die Dübeltragfähigkeit wurde nach der DASt-Richtlinie 104 (Anwendungsrichtlinie für den Eurocode 4) [23] berechnet und beträgt:
 - bei Vollplatten: 98,1 kN und
 - bei Holoribplatten: 73,6 kN je Dübel bei einreihiger Anordnung.

Variiert wurden:

- **Plattendicke:** $d' = 14$ und 20 cm
- **Betongurt:** als Vollplatte bzw. mit Holoribblech 51/150 (Rippen quer zur Trägerlängsrichtung)
- **Stahlprofile:** Walzträger der Reihe IPE und HEA, jeweils mit 300 / 400 / 500 und 600 mm Trägerhöhe
- **Stahlsorte:** Fe 360 (das entspricht St 37) und Fe 510 (das entspricht St 52)
- **Ausschnittsform und -größe:** Als Rechteck ($a_0=2 \cdot h_0$) mit $h_0/h_a = 0,3$ und $0,6$; und als Quadrat ($a_0=h_0$) mit $h_0/h_a = 0,5$. Die quadratische Öffnung entspricht dabei in etwa einer runden mit dem Durchmesser $d_0 = 0,6 \cdot h_a$.
- **Ausschnitt:** Unversteift und versteift. Die Aussteifung der Öffnung erfolgt durch Anordnung von horizontalen Steifen an der Unterkante des Ausschnittes (siehe Bild 9). Die Querschnittsfläche der Steifen entspricht der des Steg-

schnittes ($A_{\text{Steife}} = h_0 \cdot s$). Die Dicke der Steifen ist gleich der Flanschdicke ($b_{\text{Steife}} = b_{\text{fl}}$).

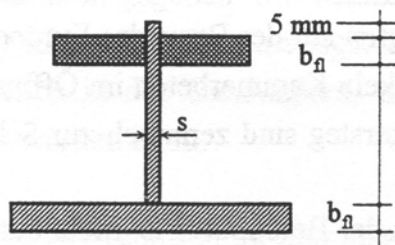


Bild 9: Versteifter unterer Teilquerschnitt

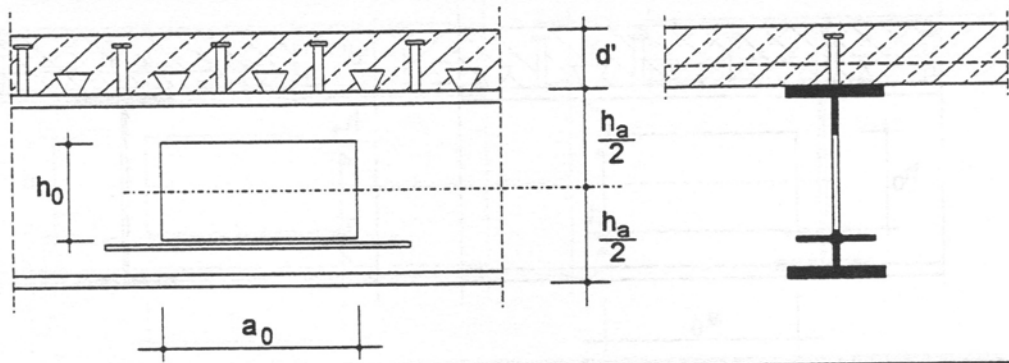
- Beanspruchung:** In den Tabellen Seite 21-36 sind für jeden Ausschnitt die Tragfähigkeiten M_{Rd} und V_{Rd} als Bemessungswerte der Tragfähigkeit in Ausschnittsmitte für drei verschiedene M/V-Verhältnisse angegeben. Sie liegen bei etwa $M/V = 0,5$, $1,5$ und 5 m.

1 St 37, Holoribplatte, $d' = 14 \text{ cm}$, Ausschnitt unversteift													
$a_0 = h_0$					$a_0 = 2 \cdot h_0$								
$h_0/h_a = 0,5$					$h_0/h_a = 0,3$				$h_0/h_a = 0,6$				
Stahlprofil	M_{Rd} kNm	V_{Rd} kN	$V_{L,I}$ kN	Ver-sagens-art	M_{Rd} kNm	V_{Rd} kN	$V_{L,I}$ kN	Ver-sagens-art	M_{Rd} kNm	V_{Rd} kN	$V_{L,I}$ kN	Ver-sagens-art	
IPE 300	79	176	202	V	95	217	295	V	42	115	394	M	
	150	104	160	V	168	118	223	V	144	106	394	M	
	224	45	346	V	249	50	318	N	201	41	394	M	
400	119	273	393	KD	140	321	394	M	46	125	394	M	
	291	204	393	KD	312	217	394	M	165	122	394	M	
	401	80	393	KD	446	90	394	M	368	75	394	M	
500	144	324	394	M	181	406	394	M	50	133	394	M	
	394	275	394	M	442	307	394	M	179	131	394	M	
	596	120	394	M	599	121	367	V	455	94	394	M	
600	185	406	394	M	241	528	394	M	60	151	394	M	
	528	367	394	M	619	429	394	M	207	150	394	M	
	787	160	394	M	856	174	394	M	602	124	394	M	
HEA 300	135	294	288	V	151	336	380	KD	64	162	394	M	
	324	223	304	V	335	232	380	KD	215	154	394	M	
	486	98	366	KD	508	103	380	KD	438	90	394	M	
400	172	378	390	KD	199	436	394	M	68	169	394	M	
	479	331	390	KD	515	356	394	M	231	165	394	M	
	701	140	316	V	697	140	320	V	569	117	394	M	
500	200	433	394	M	241	519	394	M	73	178	394	M	
	592	409	394	M	677	469	394	M	246	175	394	M	
	919	186	337	V	937	190	394	M	719	147	394	M	
600	224	482	394	M	283	604	394	M	78	185	394	M	
	677	467	394	M	816	566	394	M	259	184	394	M	
	1169	237	394	M	1234	250	394	M	808	166	394	M	

2 St 37, Holoribplatte, $d' = 14 \text{ cm}$, Ausschnitt versteift													
$a_0 = h_0$							$a_0 = 2 \cdot h_0$						
$h_0/h_a = 0,5$					$h_0/h_a = 0,3$				$h_0/h_a = 0,6$				
Stahlprofil	M_{Rd} kNm	V_{Rd} kN	$V_{L,I}$ kN	Ver-sagens-art	M_{Rd} kNm	V_{Rd} kN	$V_{L,I}$ kN	Ver-sagens-art	M_{Rd} kNm	V_{Rd} kN	$V_{L,I}$ kN	Ver-sagens-art	
IPE 300	104	224	204	V	112	251	304	V	63	151	369	M	
	208	143	214	V	202	140	270	V	169	121	369	M	
	299	60	354	N	281	56	383	KD	253	51	369	M	
400	166	363	393	KD	173	387	394	M	85	200	394	M	
	367	253	393	KD	355	246	394	M	233	165	394	M	
	539	108	393	KD	499	100	394	M	446	92	394	M	
500	214	450	394	M	232	511	394	M	110	244	394	M	
	515	352	394	M	513	352	394	M	300	207	394	M	
	741	150	348	V	690	140	394	M	628	128	394	M	
600	283	578	394	M	314	683	394	M	148	308	394	M	
	713	483	394	M	729	498	394	M	396	268	394	M	
	1114	225	394	M	1035	210	394	M	866	175	394	M	
HEA 300	181	392	294	V	183	406	380	KD	92	219	394	M	
	371	255	312	V	361	249	380	KD	264	187	394	M	
	552	111	366	KD	540	109	380	KD	499	100	394	M	
400	239	519	390	KD	250	549	394	M	118	269	394	M	
	573	392	390	KD	567	390	394	M	344	242	394	M	
	743	150	232	V	740	149	290	V	692	188	394	M	
500	282	607	394	M	309	673	394	M	142	316	394	M	
	753	515	394	M	766	527	394	M	421	294	394	M	
	1126	228	394	M	1050	212	394	M	914	186	394	M	
600	324	687	394	M	373	813	394	M	171	371	394	M	
	913	623	394	M	951	654	394	M	495	343	394	M	
	1488	300	394	M	1397	282	394	M	1124	228	394	M	

3 St 37, Holoribplatte, $d' = 20 \text{ cm}$, Ausschnitt unversteift													
$a_0 = h_0$					$a_0 = 2 \cdot h_0$								
$h_0/h_a = 0,5$					$h_0/h_a = 0,3$				$h_0/h_a = 0,6$				
Stahlprofil	M_{Rd} kNm	V_{Rd} kN	$V_{L,I}$ kN	Ver-sagens-art	M_{Rd} kNm	V_{Rd} kN	$V_{L,I}$ kN	Ver-sagens-art	M_{Rd} kNm	V_{Rd} kN	$V_{L,I}$ kN	Ver-sagens-art	
IPE 300	92	209	200	V	107	249	281	V	59	162	437	M	
	157	110	127	V	178	125	181	V	166	122	438	V	
	253	51	350	N	276	55	383	KD	241	49	438	N	
400	136	319	390	V	154	362	412	KD	58	176	530	KD	
	320	225	367	V	339	240	412	KD	226	170	530	KD	
	454	92	393	KD	492	100	412	KD	397	81	530	KD	
500	159	368	417	KD	195	449	442	KD	60	187	589	KD	
	433	305	417	KD	480	336	442	KD	243	185	589	KD	
	661	133	417	KD	715	144	442	KD	581	120	589	KD	
600	199	452	442	KD	255	574	471	KD	68	208	648	KD	
	575	403	442	KD	663	463	471	KD	271	206	648	KD	
	924	187	442	KD	920	188	471	KD	750	157	648	KD	
HEA 300	150	331	270	V	170	385	375	V	80	212	465	KD	
	332	230	238	V	353	246	324	V	276	201	465	KD	
	559	113	366	KD	576	117	380	KD	488	100	465	KD	
400	188	422	390	KD	214	479	409	KD	83	224	524	KD	
	520	362	390	KD	551	384	409	KD	297	217	524	KD	
	849	171	390	KD	885	180	409	KD	696	142	524	KD	
500	216	479	415	KD	255	565	439	KD	85	234	583	KD	
	647	450	415	KD	723	504	439	KD	313	230	583	KD	
	1087	219	415	KD	1070	217	439	KD	856	177	583	KD	
600	239	529	439	KD	297	651	468	KD	86	243	642	KD	
	740	515	439	KD	869	607	468	KD	325	241	642	KD	
	1226	249	439	KD	1279	260	468	KD	996	206	642	KD	

4 St 37, Hohlribplatte, $d' = 20 \text{ cm}$, Ausschnitt versteift



$a_0 = h_0$

$a_0 = 2 \cdot h_0$

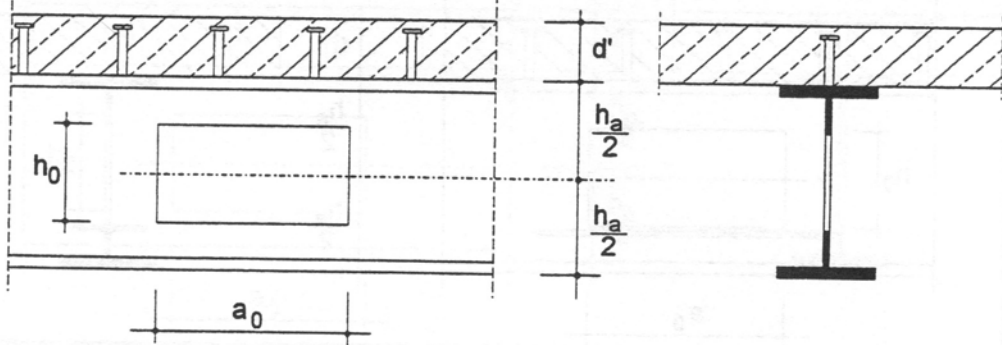
$h_0/h_a = 0,5$

$h_0/h_a = 0,3$

$h_0/h_a = 0,6$

Stahlprofil	M_{Rd}	V_{Rd}	$V_{L,I}$	Ver-sagens-art	M_{Rd}	V_{Rd}	$V_{L,I}$	Ver-sagens-art	M_{Rd}	V_{Rd}	$V_{L,I}$	Ver-sagens-art
	kNm	kN	kN		kNm	kN	kN		kNm	kN	kN	
IPE 300	117	256	203	V	124	281	284	V	81	204	439	V
	222	154	188	V	213	150	221	V	238	171	438	V
	334	67	368	KD	322	64	370	N	346	70	438	N
400	183	409	393	KD	199	449	412	KD	98	250	530	KD
	406	283	393	KD	401	280	412	KD	286	208	530	KD
	598	120	393	KD	589	120	412	KD	571	116	530	KD
500	228	494	417	KD	246	555	442	KD	121	298	589	KD
	557	385	417	KD	552	383	442	KD	355	255	589	KD
	894	180	417	KD	842	170	442	KD	758	157	589	KD
600	298	625	442	KD	327	729	471	KD	157	364	648	KD
	762	521	442	KD	775	534	471	KD	452	318	648	KD
	1180	240	442	KD	1088	221	471	KD	1014	208	648	KD
HEA 300	195	427	274	V	203	459	380	KD	108	269	465	KD
	401	277	300	V	392	272	364	V	316	227	465	KD
	645	130	366	KD	608	123	380	KD	586	120	465	KD
400	257	565	390	KD	265	594	409	KD	132	324	524	KD
	613	423	390	KD	604	418	409	KD	401	288	524	KD
	1002	201	390	KD	948	190	409	KD	785	161	524	KD
500	299	654	415	KD	324	720	439	KD	154	373	583	KD
	800	551	415	KD	810	560	439	KD	479	343	583	KD
	1237	250	415	KD	1132	230	439	KD	1050	216	583	KD
600	339	735	439	KD	387	861	468	KD	180	428	642	KD
	966	663	439	KD	1001	692	468	KD	554	394	642	KD
	1550	314	439	KD	1467	298	468	KD	1277	262	642	KD

5 St 37, Vollplatte, $d' = 14 \text{ cm}$, Ausschnitt unversteift



$a_0 = h_0$

$a_0 = 2 \cdot h_0$

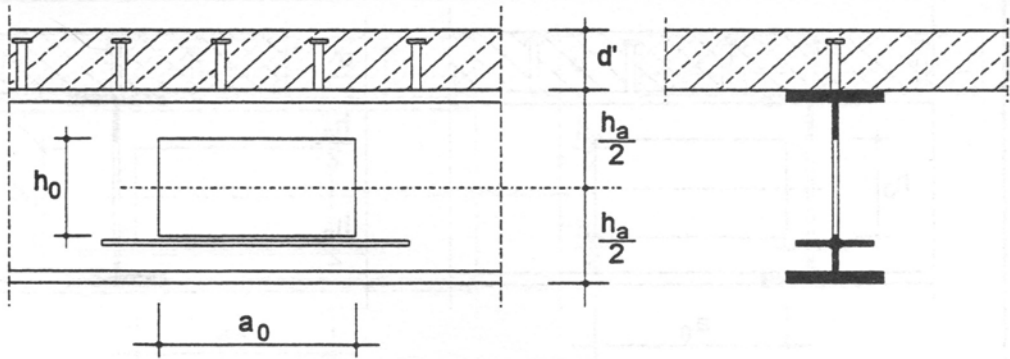
$h_0/h_a = 0,5$

$h_0/h_a = 0,3$

$h_0/h_a = 0,6$

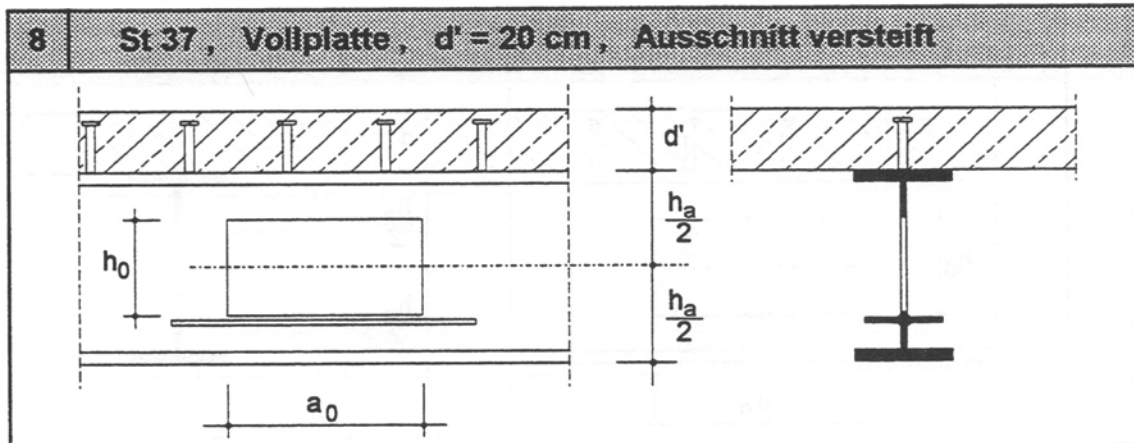
Stahlprofil	M_{Rd}	V_{Rd}	$V_{L,I}$	Ver-sagens-art	M_{Rd}	V_{Rd}	$V_{L,I}$	Ver-sagens-art	M_{Rd}	V_{Rd}	$V_{L,I}$	Ver-sagens-art
	kNm	kN	kN		kNm	kN	kN		kNm	kN	kN	
IPE 300	90	203	362	V	105	242	506	V	50	138	438	M
	151	105	219	V	170	119	301	V	155	113	438	V
	202	40	294	N	234	47	298	N	197	40	398	N
400	125	287	523	KD	148	338	549	KD	56	166	682	M
	298	208	523	KD	315	220	549	KD	222	166	682	M
	398	80	398	N	431	87	497	N	375	77	682	N
500	152	343	556	KD	190	427	589	KD	56	161	785	KD
	409	285	556	KD	459	319	589	KD	212	159	785	KD
	620	125	556	N	644	130	589	N	482	100	785	KD
600	193	427	589	KD	250	553	628	KD	65	183	863	KD
	550	383	589	KD	643	446	628	KD	244	182	865	KD
	803	163	589	KD	883	180	628	KD	687	142	863	KD
HEA 300	147	324	456	V	157	348	506	KD	71	181	620	KD
	324	223	409	V	334	232	506	KD	238	171	620	KD
	460	92	419	N	482	96	506	N	428	86	620	KD
400	180	395	520	KD	208	455	545	KD	75	195	699	KD
	493	341	520	KD	529	365	545	KD	263	190	699	KD
	736	148	520	KD	751	151	545	KD	605	124	699	KD
500	208	452	553	KD	250	542	585	KD	80	208	777	KD
	617	427	553	KD	700	485	585	KD	283	206	777	KD
	994	200	553	KD	953	193	585	KD	800	164	777	KD
600	233	504	585	KD	293	630	624	KD	83	219	855	KD
	710	491	585	KD	848	589	624	KD	299	218	855	KD
	1181	240	585	KD	1263	257	624	KD	927	191	855	KD

6 St 37, Vollplatte, $d' = 14 \text{ cm}$, Ausschnitt versteift

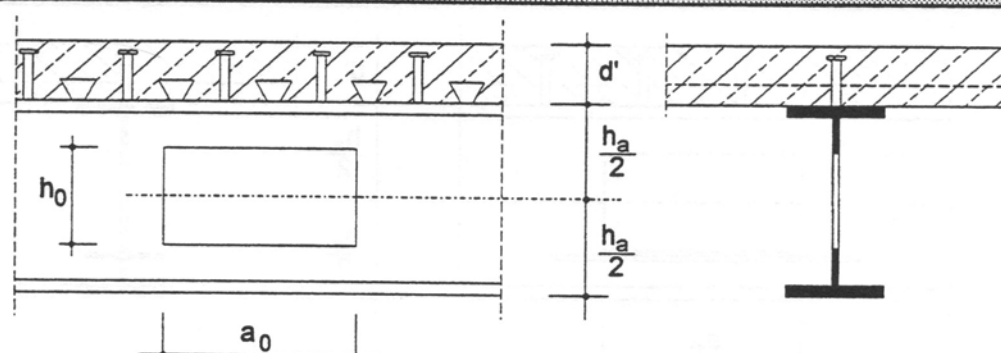


Stahlprofil	$a_0 = h_0$				$a_0 = 2 \cdot h_0$							
	$h_0/h_a = 0,5$				$h_0/h_a = 0,3$				$h_0/h_a = 0,6$			
	M_{Rd} kNm	V_{Rd} kN	$V_{L,I}$ kN	Ver-sagens-art	M_{Rd} kNm	V_{Rd} kN	$V_{L,I}$ kN	Ver-sagens-art	M_{Rd} kNm	V_{Rd} kN	$V_{L,I}$ kN	Ver-sagens-art
IPE 300	114	249	357	V	122	273	507	V	72	179	438	M
	212	147	318	V	202	141	371	V	207	149	438	M
	286	57	323	N	260	52	388	N	289	59	438	N
400	172	376	523	KD	181	402	549	KD	96	241	682	M
	375	259	523	KD	363	252	549	KD	283	204	682	M
	531	107	497	N	498	100	549	KD	540	110	682	M
500	221	468	556	KD	240	531	589	KD	116	271	785	KD
	530	363	556	KD	529	364	589	KD	328	231	785	KD
	794	160	556	KD	729	148	589	KD	693	142	785	KD
600	292	600	589	KD	323	708	628	KD	153	340	863	KD
	735	500	589	KD	753	516	628	KD	429	297	863	KD
	1135	230	589	KD	1047	212	628	KD	950	194	863	KD
HEA 300	192	420	465	V	189	421	506	KD	99	238	620	KD
	387	266	487	KD	365	252	506	KD	281	200	620	KD
	538	108	485	N	522	105	506	KD	504	101	620	KD
400	248	537	520	KD	258	569	545	KD	125	295	699	KD
	585	401	520	KD	581	400	545	KD	371	263	699	KD
	865	173	520	KD	830	167	545	KD	743	152	699	KD
500	291	628	553	KD	318	697	585	KD	149	347	777	KD
	773	529	553	KD	787	542	585	KD	453	321	777	KD
	1137	230	553	KD	1068	216	585	KD	988	202	777	KD
600	333	710	585	KD	382	840	624	KD	177	405	855	KD
	940	642	585	KD	979	674	624	KD	531	374	855	KD
	1531	310	585	KD	1433	290	624	KD	1216	248	855	KD

7 St 37, Vollplatte, d' = 20 cm, Ausschnitt unversteift													
$a_0 = h_0$					$a_0 = 2 \cdot h_0$								
$h_0/h_a = 0,5$					$h_0/h_a = 0,3$				$h_0/h_a = 0,6$				
Stahlprofil	M_{Rd} kNm	V_{Rd} kN	$V_{L,l}$ kN	Ver-sagens-art	M_{Rd} kNm	V_{Rd} kN	$V_{L,l}$ kN	Ver-sagens-art	M_{Rd} kNm	V_{Rd} kN	$V_{L,l}$ kN	Ver-sagens-art	
IPE 300	107	245	328	V	122	284	507	V	71	195	438	M	
	226	150	462	V	229	156	506	V	211	143	438	M	
	230	46	302	N	253	51	377	N	233	47	438	N	
400	145	341	523	KD	167	390	549	KD	76	241	682	M	
	325	229	462	V	343	243	549	KD	322	240	682	M	
	439	88	519	N	465	93	549	KD	426	86	682	N	
500	171	396	556	KD	206	477	589	KD	63	196	785	KD	
	454	319	556	KD	498	349	589	KD	253	193	785	KD	
	646	130	556	KD	696	141	589	KD	580	120	785	KD	
600	210	477	589	KD	265	560	628	KD	69	216	863	KD	
	599	420	589	KD	685	479	628	KD	280	214	863	KD	
	938	190	589	KD	928	190	628	KD	761	160	863	KD	
HEA 300	167	372	404	V	180	410	506	KD	86	228	620	KD	
	333	230	302	V	359	250	404	V	292	212	620	KD	
	525	105	382	N	551	110	462	N	494	100	620	KD	
400	202	453	520	KD	228	510	545	KD	86	235	699	KD	
	545	379	520	KD	571	397	545	KD	311	228	699	KD	
	835	169	520	KD	864	176	545	KD	709	145	699	KD	
500	228	507	553	KD	267	593	585	KD	87	244	777	KD	
	680	473	553	KD	748	522	585	KD	325	241	777	KD	
	1100	221	553	KD	1086	220	585	KD	868	180	777	KD	
600	251	555	585	KD	308	678	624	KD	88	252	855	KD	
	776	541	585	KD	898	627	624	KD	336	250	855	KD	
	1236	251	585	KD	1291	263	624	KD	1022	212	855	KD	



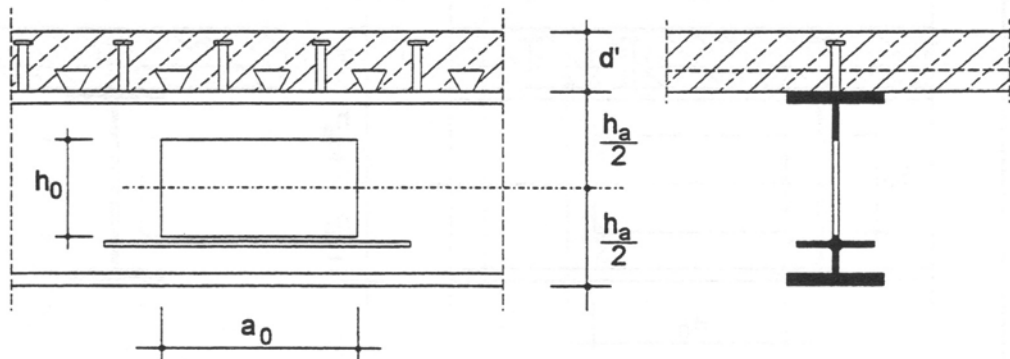
Stahlprofil	$a_0 = h_0$				$a_0 = 2 \cdot h_0$							
	$h_0/h_a = 0,5$				$h_0/h_a = 0,3$				$h_0/h_a = 0,6$			
	M_{Rd} kNm	V_{Rd} kN	$V_{L,I}$ kN	Ver-sagens-art	M_{Rd} kNm	V_{Rd} kN	$V_{L,I}$ kN	Ver-sagens-art	M_{Rd} kNm	V_{Rd} kN	$V_{L,I}$ kN	Ver-sagens-art
IPE 300	131	289	327	V	137	313	506	V	93	236	438	M
	225	156	238	V	221	155	288	V	260	188	437	V
	306	61	345	N	294	59	399	N	314	63	439	N
400	191	429	523	KD	199	452	549	KD	117	318	682	M
	421	294	523	KD	399	280	549	KD	393	287	682	M
	574	115	523	KD	546	110	549	KD	599	120	681	N
500	240	522	556	KD	256	578	589	KD	123	306	785	KD
	579	400	556	KD	570	396	589	KD	363	261	785	KD
	882	178	556	KD	827	167	589	KD	772	160	785	KD
600	310	652	589	KD	338	753	628	KD	158	373	863	KD
	787	539	589	KD	796	549	628	KD	460	325	863	KD
	1181	240	589	KD	1101	224	628	KD	1032	212	863	KD
HEA 300	211	466	413	V	212	482	506	KD	114	285	620	KD
	405	280	373	V	395	275	456	V	327	236	620	KD
	611	122	420	N	597	119	490	N	590	120	620	KD
400	271	598	520	KD	279	626	545	KD	135	335	699	KD
	637	440	520	KD	623	432	545	KD	412	297	699	KD
	985	200	520	KD	931	190	545	KD	802	165	699	KD
500	312	684	553	KD	336	748	585	KD	156	383	777	KD
	828	570	553	KD	834	577	585	KD	490	352	777	KD
	1253	253	553	KD	1154	234	585	KD	1071	220	777	KD
600	351	762	585	KD	398	890	624	KD	181	438	855	KD
	995	684	585	KD	1027	710	624	KD	563	403	855	KD
	1576	320	585	KD	1477	300	624	KD	1300	267	855	KD

9 St 52, Holoribplatte, $d' = 14 \text{ cm}$, Ausschnitt unversteift													
													
$a_0 = h_0$					$a_0 = 2 \cdot h_0$								
$h_0/h_a = 0,5$					$h_0/h_a = 0,3$				$h_0/h_a = 0,6$				
Stahlprofil	M_{Rd} kNm	V_{Rd} kN	$V_{L,I}$ kN	Ver-sagens-art	M_{Rd} kNm	V_{Rd} kN	$V_{L,I}$ kN	Ver-sagens-art	M_{Rd} kNm	V_{Rd} kN	$V_{L,I}$ kN	Ver-sagens-art	
IPE 300	115	257	288	V	135	307	382	KD	53	140	394	M	
	228	158	239	V	253	176	332	V	179	130	394	M	
	332	66	368	KD	359	72	383	KD	297	60	394	M	
400	165	367	393	KD	202	447	394	M	60	152	394	M	
	406	281	393	KD	441	304	394	M	206	149	394	M	
	596	120	393	KD	615	124	394	M	437	90	394	M	
500	206	449	394	M	265	577	394	M	69	170	394	M	
	556	384	394	M	637	439	394	M	234	168	394	M	
	793	160	386	V	835	170	394	M	627	129	394	M	
600	268	573	394	M	357	765	394	M	87	203	394	M	
	757	522	394	M	904	622	394	M	284	201	394	M	
	1151	233	394	M	1244	251	394	M	835	171	394	M	
HEA 300	190	411	366	KD	209	455	380	KD	82	196	394	M	
	457	314	366	KD	473	325	380	KD	265	188	394	M	
	658	132	366	KD	653	131	316	V	553	111	394	M	
400	244	522	390	KD	288	614	394	M	93	217	394	M	
	674	463	390	KD	739	508	394	M	301	212	394	M	
	908	183	390	V	938	190	317	V	785	160	394	M	
500	288	608	394	M	353	744	394	M	104	236	394	M	
	839	575	394	M	979	674	394	M	334	233	394	M	
	1303	263	394	M	1373	278	394	M	986	201	394	M	
600	327	685	394	M	420	878	394	M	114	253	394	M	
	969	664	394	M	1188	820	394	M	361	251	394	M	
	1715	347	394	M	1815	367	394	M	1118	228	394	M	

10 St 52, Holoribplatte, $d' = 14 \text{ cm}$, Ausschnitt versteift													
$a_0 = h_0$					$a_0 = 2 \cdot h_0$								
$h_0/h_a = 0,5$					$h_0/h_a = 0,3$				$h_0/h_a = 0,6$				
Stahlprofil	M_{Rd} kNm	V_{Rd} kN	$V_{L,I}$ kN	Ver-sagens-art	M_{Rd} kNm	V_{Rd} kN	$V_{L,I}$ kN	Ver-sagens-art	M_{Rd} kNm	V_{Rd} kN	$V_{L,I}$ kN	Ver-sagens-art	
IPE 300	154	331	292	V	161	356	383	KD	88	206	394	M	
	308	212	306	V	295	204	383	KD	229	162	394	M	
	441	89	368	KD	413	83	383	KD	426	87	394	M	
400	237	504	393	KD	251	547	394	M	119	266	394	M	
	516	352	393	KD	504	345	394	M	315	219	394	M	
	697	140	278	V	673	135	339	V	616	126	394	M	
500	310	636	394	M	341	736	394	M	160	338	394	M	
	736	498	394	M	741	505	394	M	422	287	394	M	
	1072	217	394	M	978	198	394	M	876	177	394	M	
600	416	832	394	M	466	999	394	M	220	440	394	M	
	1035	697	394	M	1065	723	394	M	571	382	394	M	
	1628	328	394	M	1492	301	394	M	1238	249	394	M	
HEA 300	258	557	366	KD	258	562	380	KD	124	219	394	M	
	522	357	366	KD	510	349	380	KD	349	187	394	M	
	648	130	181	V	634	127	223	V	616	100	394	M	
400	345	734	390	KD	364	786	394	M	168	269	394	M	
	812	553	390	KD	813	556	394	M	480	242	394	M	
	1089	220	316	V	1048	211	393	V	961	188	394	M	
500	411	870	394	M	456	977	394	M	208	316	394	M	
	1080	736	394	M	1107	759	394	M	602	294	394	M	
	1638	330	394	M	1538	310	394	M	1299	186	394	M	
600	477	995	394	M	554	1194	394	M	254	371	394	M	
	1319	897	394	M	1385	949	394	M	720	343	394	M	
	2603	438	394	M	2064	415	394	M	1622	228	394	M	

11 St 52, Holoribplatte, $d' = 20 \text{ cm}$, Ausschnitt unversteift													
$a_0 = h_0$					$a_0 = 2 \cdot h_0$								
$h_0/h_a = 0,5$					$h_0/h_a = 0,3$				$h_0/h_a = 0,6$				
Stahlprofil	M_{Rd} kNm	V_{Rd} kN	$V_{L,I}$ kN	Ver-sagens-art	M_{Rd} kNm	V_{Rd} kN	$V_{L,I}$ kN	Ver-sagens-art	M_{Rd} kNm	V_{Rd} kN	$V_{L,I}$ kN	Ver-sagens-art	
IPE 300	130	292	268	V	153	353	383	KD	68	189	471	KD	
	234	162	192	V	265	185	269	V	227	167	471	KD	
	459	76	368	KD	415	83	383	KD	343	70	471	KD	
400	181	410	393	KD	217	491	412	KD	74	207	530	KD	
	440	306	393	KD	472	328	412	KD	271	201	530	KD	
	672	136	393	KD	706	142	412	KD	569	116	530	KD	
500	221	494	417	KD	280	623	442	KD	81	226	589	KD	
	599	417	417	KD	677	470	442	KD	300	223	589	KD	
	950	191	417	KD	937	190	442	KD	723	150	589	KD	
600	283	621	442	KD	371	813	471	KD	95	260	648	KD	
	807	560	442	KD	951	658	471	KD	348	257	648	KD	
	1210	247	442	KD	1316	268	471	KD	994	206	648	KD	
HEA 300	215	471	366	KD	227	501	380	KD	99	250	465	KD	
	497	342	362	V	500	346	380	KD	330	237	465	KD	
	804	163	366	KD	825	167	380	KD	720	147	465	KD	
400	262	568	390	KD	305	661	409	KD	107	272	524	KD	
	722	498	390	KD	780	538	409	KD	368	265	524	KD	
	1153	231	390	KD	1126	226	409	KD	874	180	524	KD	
500	305	655	415	KD	369	793	439	KD	116	293	583	KD	
	901	621	415	KD	1035	716	439	KD	401	289	583	KD	
	1397	283	415	KD	1427	290	439	KD	1154	237	583	KD	
600	343	734	439	KD	435	927	468	KD	122	311	642	KD	
	1037	715	439	KD	1254	869	468	KD	427	308	642	KD	
	1753	355	439	KD	1866	378	468	KD	1331	274	642	KD	

12 St 52, Holoribplatte, $d' = 20 \text{ cm}$, Ausschnitt versteift



$$a_0 = h_0$$

$$a_0 = 2 \cdot h_0$$

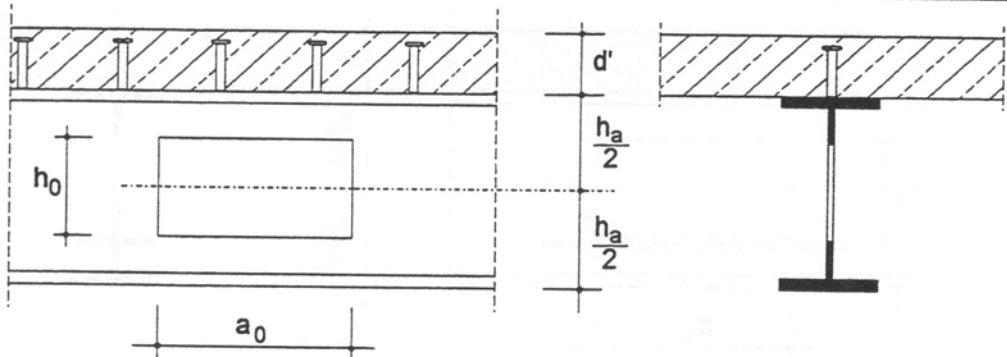
$$h_0/h_a = 0,5$$

$$h_0/h_a = 0,3$$

$$h_0/h_a = 0,6$$

Stahlprofil	M_{Rd}	V_{Rd}	$V_{L,I}$	Ver-sagens-art	M_{Rd}	V_{Rd}	$V_{L,I}$	Ver-sagens-art	M_{Rd}	V_{Rd}	$V_{L,I}$	Ver-sagens-art
	kNm	kN	kN		kNm	kN	kN		kNm	kN	kN	
IPE 300	167	364	273	V	178	401	383	KD	100	250	471	KD
	332	230	281	V	317	221	326	V	276	199	471	KD
	498	100	368	KD	480	97	383	KD	484	100	471	KD
400	253	548	393	KD	283	620	412	KD	133	319	530	KD
	555	382	393	KD	558	385	412	KD	370	264	530	KD
	861	173	393	KD	838	169	412	KD	708	146	530	KD
500	326	684	417	KD	356	782	442	KD	172	393	589	KD
	782	534	417	KD	783	538	442	KD	479	335	589	KD
	1131	229	417	KD	1040	211	442	KD	1011	207	589	KD
600	433	882	442	KD	481	1047	471	KD	229	497	648	KD
	1088	737	442	KD	1118	763	471	KD	629	433	648	KD
	1705	346	442	KD	1570	318	471	KD	1391	283	648	KD
HEA 300	281	614	366	KD	276	610	380	KD	141	336	465	KD
	563	388	366	KD	542	374	380	KD	402	286	465	KD
	908	183	366	V	859	173	380	KD	808	162	465	KD
400	364	783	390	KD	381	833	409	KD	182	423	524	KD
	862	590	390	KD	859	590	409	KD	537	380	524	KD
	1243	250	390	V	1191	240	409	KD	1081	221	524	KD
500	429	920	415	KD	473	1027	439	KD	220	503	583	KD
	1142	780	415	KD	1168	802	439	KD	662	466	583	KD
	1682	340	415	KD	1588	321	439	KD	1441	294	583	KD
600	494	1045	439	KD	570	1244	468	KD	263	591	642	KD
	1391	949	439	KD	1456	1000	468	KD	779	546	642	KD
	2257	455	439	KD	2127	430	468	KD	1781	363	642	KD

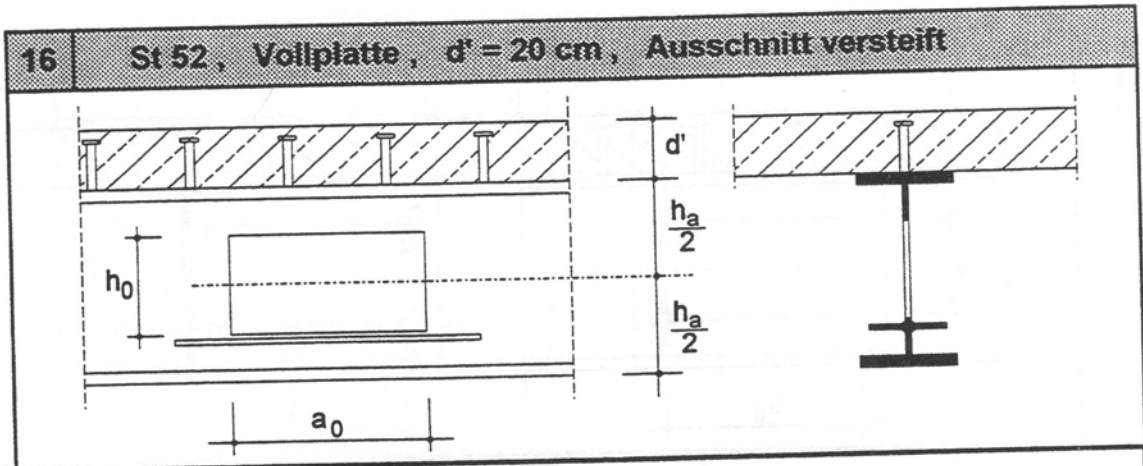
13 St 52, Vollplatte, d' = 14 cm, Ausschnitt unversteift



Stahlprofil	$a_0 = h_0$				$a_0 = 2 \cdot h_0$							
	$h_0/h_a = 0,5$				$h_0/h_a = 0,3$				$h_0/h_a = 0,6$			
	M_{Rd} kNm	V_{Rd} kN	$V_{L,I}$ kN	Ver-sagens-art	M_{Rd} kNm	V_{Rd} kN	$V_{L,I}$ kN	Ver-sagens-art	M_{Rd} kNm	V_{Rd} kN	$V_{L,I}$ kN	Ver-sagens-art
IPE 300	127	285	461	V	143	322	510	KD	60	159	628	KD
	229	159	325	V	253	176	453	V	197	144	628	KD
	306	61	336	N	342	68	398	N	296	60	497	N
400	172	381	523	KD	210	466	549	KD	66	177	706	KD
	414	286	523	KD	451	311	549	KD	236	173	706	KD
	582	117	523	KD	609	122	549	KD	493	101	706	KD
500	213	467	556	KD	274	600	589	KD	75	200	785	KD
	573	396	556	KD	656	452	589	KD	270	197	785	KD
	845	170	556	KD	837	170	589	KD	685	141	785	KD
600	277	595	589	KD	367	791	628	KD	92	236	863	KD
	781	539	589	KD	930	641	628	KD	322	234	865	KD
	1179	240	589	KD	1282	260	628	KD	931	192	863	KD
HEA 300	195	421	487	KD	218	473	506	KD	88	215	620	KD
	465	319	487	KD	480	329	506	KD	289	205	620	KD
	678	137	487	KD	688	140	506	N	597	120	620	KD
400	252	538	520	KD	297	634	545	KD	100	243	699	KD
	691	474	520	KD	756	519	545	KD	334	237	699	KD
	999	200	520	KD	1002	202	545	KD	832	170	699	KD
500	296	628	553	KD	363	769	585	KD	111	268	777	KD
	867	595	553	KD	1010	696	585	KD	372	264	777	KD
	1335	270	553	KD	1385	280	585	KD	1086	223	777	KD
600	336	708	585	KD	430	905	624	KD	119	288	855	KD
	1005	690	585	KD	1231	851	624	KD	402	286	855	KD
	1731	350	585	KD	1833	370	624	KD	1253	257	855	KD

14 St 52, Vollplatte, $d' = 14 \text{ cm}$, Ausschnitt versteift													
$a_0 = h_0$					$a_0 = 2 \cdot h_0$								
$h_0/h_a = 0,5$					$h_0/h_a = 0,3$				$h_0/h_a = 0,6$				
Stahlprofil	M_{Rd} kNm	V_{Rd} kN	$V_{L,I}$ kN	Ver-sagens-art	M_{Rd} kNm	V_{Rd} kN	$V_{L,I}$ kN	Ver-sagens-art	M_{Rd} kNm	V_{Rd} kN	$V_{L,I}$ kN	Ver-sagens-art	
IPE 300	164	357	473	V	167	369	510	KD	92	220	628	KD	
	319	220	477	V	293	204	510	KD	244	173	628	KD	
	411	82	412	N	396	79	441	N	400	81	628	KD	
400	243	518	523	KD	258	562	549	KD	125	289	706	KD	
	525	359	523	KD	514	353	549	KD	339	238	706	KD	
	748	150	523	KD	701	141	549	KD	657	135	706	KD	
500	318	656	556	KD	350	758	589	KD	167	367	785	KD	
	753	511	556	KD	760	519	589	KD	452	312	785	KD	
	1085	220	556	KD	995	201	589	KD	946	193	785	KD	
600	425	855	589	KD	476	1025	628	KD	226	473	863	KD	
	1060	715	589	KD	1096	745	628	KD	606	412	863	KD	
	1652	333	589	KD	1532	310	628	KD	1328	269	863	KD	
HEA 300	263	568	487	KD	266	581	506	KD	130	301	620	KD	
	532	364	487	KD	517	354	506	KD	368	259	620	KD	
	768	166	487	KD	739	150	506	KD	660	133	620	KD	
400	353	751	520	KD	373	806	545	KD	175	394	699	KD	
	832	567	520	KD	834	570	545	KD	508	355	699	KD	
	1178	237	520	KD	1091	220	545	KD	1019	207	699	KD	
500	421	891	553	KD	466	1002	585	KD	215	478	777	KD	
	1112	757	553	KD	1144	784	585	KD	636	444	777	KD	
	1650	333	553	KD	1554	314	585	KD	1380	280	777	KD	
600	487	1019	585	KD	565	1225	624	KD	260	568	855	KD	
	1362	927	585	KD	1433	982	624	KD	757	525	855	KD	
	2210	445	585	KD	2087	421	624	KD	1720	349	855	KD	

15 St 52, Vollplatte, $d' = 20 \text{ cm}$, Ausschnitt unversteift													
$a_0 = h_0$					$a_0 = 2 \cdot h_0$								
$h_0/h_a = 0,5$					$h_0/h_a = 0,3$				$h_0/h_a = 0,6$				
Stahlprofil	M_{Rd} kNm	V_{Rd} kN	$V_{L,l}$ kN	Ver-sagens-art	M_{Rd} kNm	V_{Rd} kN	$V_{L,l}$ kN	Ver-sagens-art	M_{Rd} kNm	V_{Rd} kN	$V_{L,l}$ kN	Ver-sagens-art	
IPE 300	1467	330	403	V	162	374	510	KD	74	205	628	KD	
	262	182	282	V	268	188	341	V	232	171	628	KD	
	347	69	338	N	382	76	426	N	324	65	628	KD	
400	194	440	523	KD	229	518	549	KD	77	217	706	KD	
	453	317	523	KD	478	333	549	KD	283	210	706	KD	
	642	129	523	KD	693	140	549	KD	556	113	706	KD	
500	233	522	556	KD	291	651	589	KD	83	235	785	KD	
	622	433	556	KD	698	484	589	KD	311	232	785	KD	
	933	188	556	KD	9646	195	589	KD	728	151	785	KD	
600	294	646	589	KD	382	840	628	KD	97	269	863	KD	
	834	579	589	KD	976	675	628	KD	359	266	863	KD	
	1213	247	589	KD	1326	270	628	KD	1016	211	863	KD	
HEA 300	225	496	487	KD	242	535	506	KD	104	263	620	KD	
	502	347	451	V	515	356	506	KD	347	249	620	KD	
	792	158	487	N	800	161	506	KD	680	140	620	KD	
400	275	599	520	KD	318	691	545	KD	111	283	699	KD	
	750	517	520	KD	803	554	545	KD	383	276	699	KD	
	1167	237	520	KD	1171	235	545	KD	874	180	699	KD	
500	317	684	553	KD	381	821	585	KD	118	304	777	KD	
	938	647	553	KD	1063	735	585	KD	414	300	777	KD	
	1433	290	553	KD	1430	290	585	KD	1180	243	777	KD	
600	354	761	585	KD	446	955	624	KD	124	321	855	KD	
	1077	744	585	KD	1287	892	624	KD	439	318	855	KD	
	1774	360	585	KD	1879	380	624	KD	1364	281	855	KD	



$a_0 = h_0$	$a_0 = 2 \cdot h_0$		
$h_0/h_a = 0,5$	$h_0/h_a = 0,3$		$h_0/h_a = 0,6$

Stahlprofil	M_{Rd}	V_{Rd}	$V_{L,I}$	Ver-sagens-art	M_{Rd}	V_{Rd}	$V_{L,I}$	Ver-sagens-art	M_{Rd}	V_{Rd}	$V_{L,I}$	Ver-sagens-art
	kNm	kN	kN		kNm	kN	kN		kNm	kN	kN	
IPE 300	182	400	414	V	186	420	510	KD	106	265	629	KD
	334	231	352	V	319	223	412	V	289	209	629	KD
	453	90	391	N	444	89	426	N	452	91	629	KD
400	264	574	523	KD	278	615	549	KD	136	329	706	KD
	574	396	523	KD	557	385	549	KD	379	271	706	KD
	842	170	523	KD	796	160	549	KD	728	150	706	KD
500	338	711	556	KD	367	806	589	KD	174	402	785	KD
	805	551	556	KD	804	553	589	KD	487	343	785	KD
	1159	235	556	KD	1050	214	589	KD	1029	211	785	KD
600	444	908	589	KD	492	1072	628	KD	230	505	863	KD
	1115	756	589	KD	1142	780	628	KD	638	441	863	KD
	1712	347	589	KD	1579	320	628	KD	1412	288	863	KD
HEA 300	291	636	487	KD	292	646	506	KD	146	349	620	KD
	580	399	487	KD	552	381	506	KD	415	295	620	KD
	915	184	487	KD	875	177	506	KD	819	167	620	KD
400	378	816	520	KD	395	866	545	KD	185	435	699	KD
	888	608	520	KD	880	605	545	KD	549	389	699	KD
	1342	269	520	KD	1222	246	545	KD	1101	226	699	KD
500	442	949	553	KD	484	1056	585	KD	223	514	777	KD
	1171	800	553	KD	1194	820	585	KD	673	475	777	KD
	1701	344	553	KD	1617	328	585	KD	1465	299	777	KD
600	506	1073	585	KD	582	1273	624	KD	265	601	855	KD
	1422	971	585	KD	1484	1020	624	KD	790	555	855	KD
	2302	466	585	KD	2148	434	624	KD	1806	368	855	KD

5.3 M-V-Bemessungsdiagramme

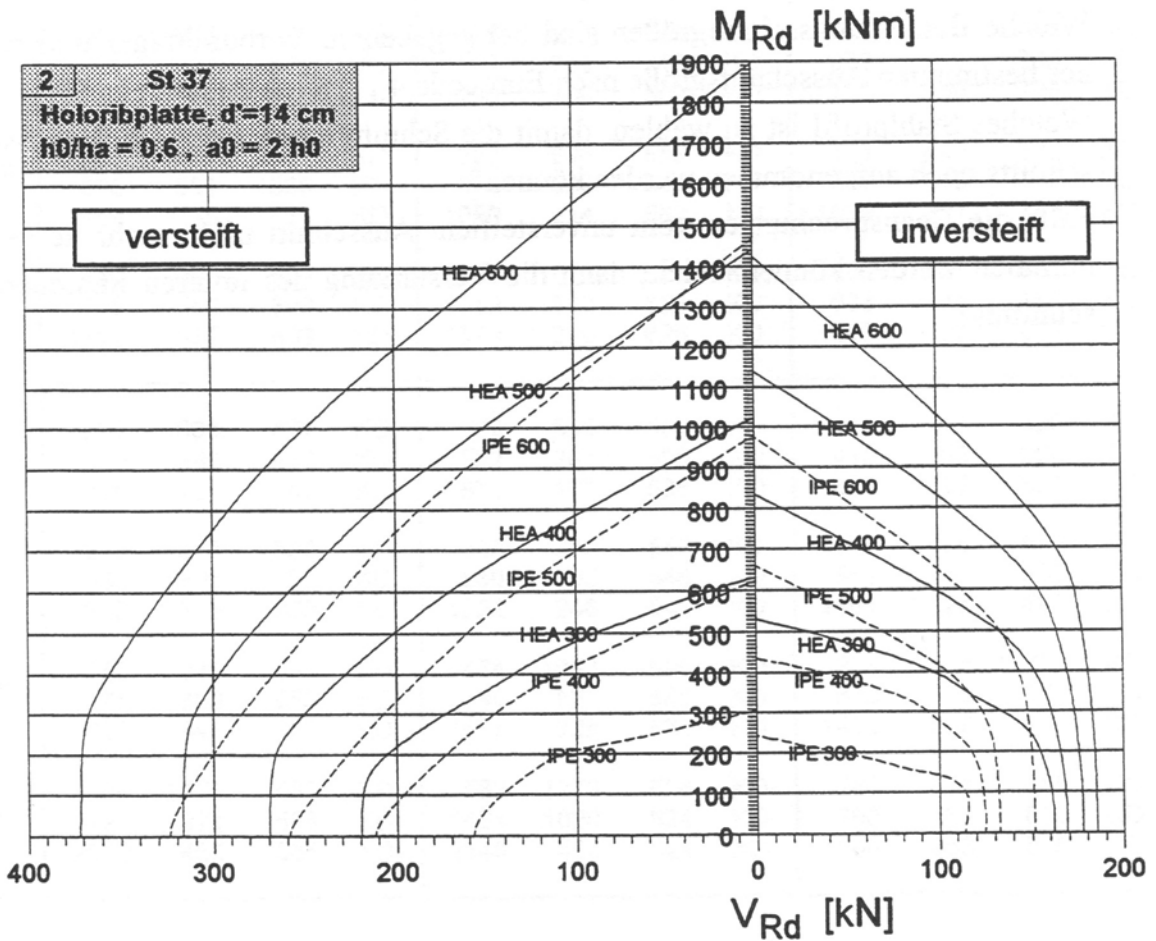
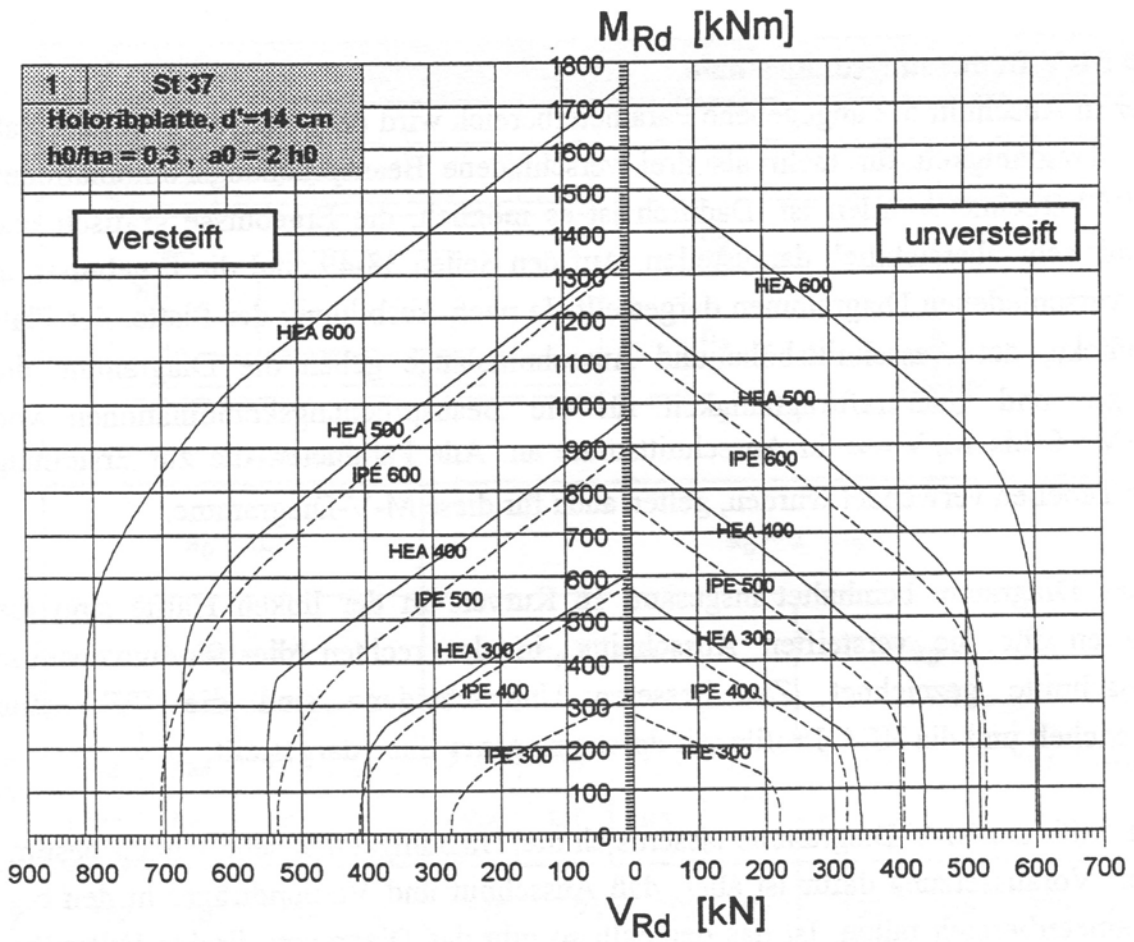
Der in Abschnitt 5.2 angegebene Parameterbereich wird dahingehend erweitert, daß die Tragfähigkeit für mehr als drei verschiedene Beanspruchungskombinationen M/V berechnet worden ist. Dadurch ist es möglich, die Ergebnisse grafisch und damit sehr übersichtlich darzustellen. Auf den Seiten 38-49 sind die Ergebnisse in 24 verschiedenen Diagrammen dargestellt. Je nach Ausbildung der Platte, der Plattendicke, der Ausschnittshöhe und Ausschnittslänge geben die Diagramme die Biege- und Querkrafttragfähigkeit für die Beanspruchungskombinationen von $M/V=0$ bis $M/V=\infty$ in Ausschnittsmittle an. Alle Parameter, die zur Erstellung der Tabellen verwendet wurden, gelten auch für diese M-V-Diagramme.

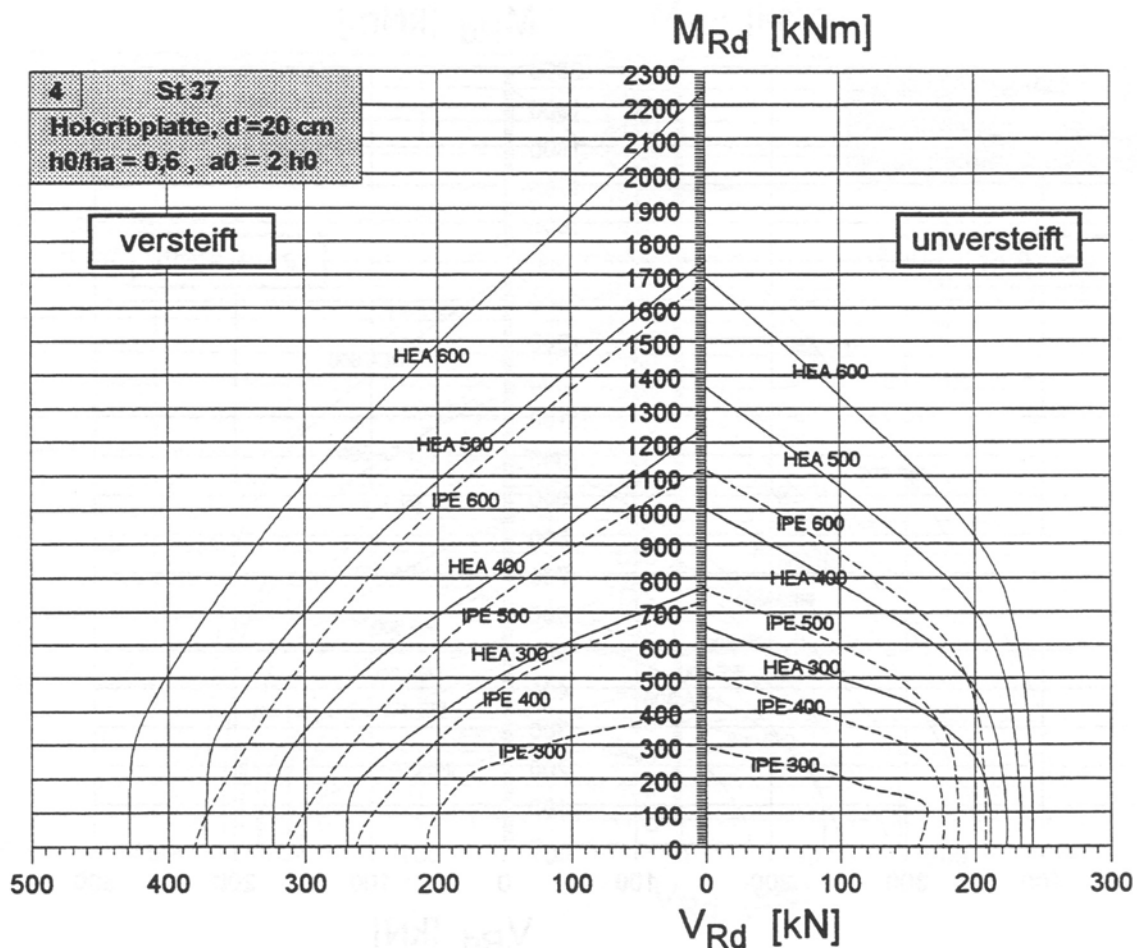
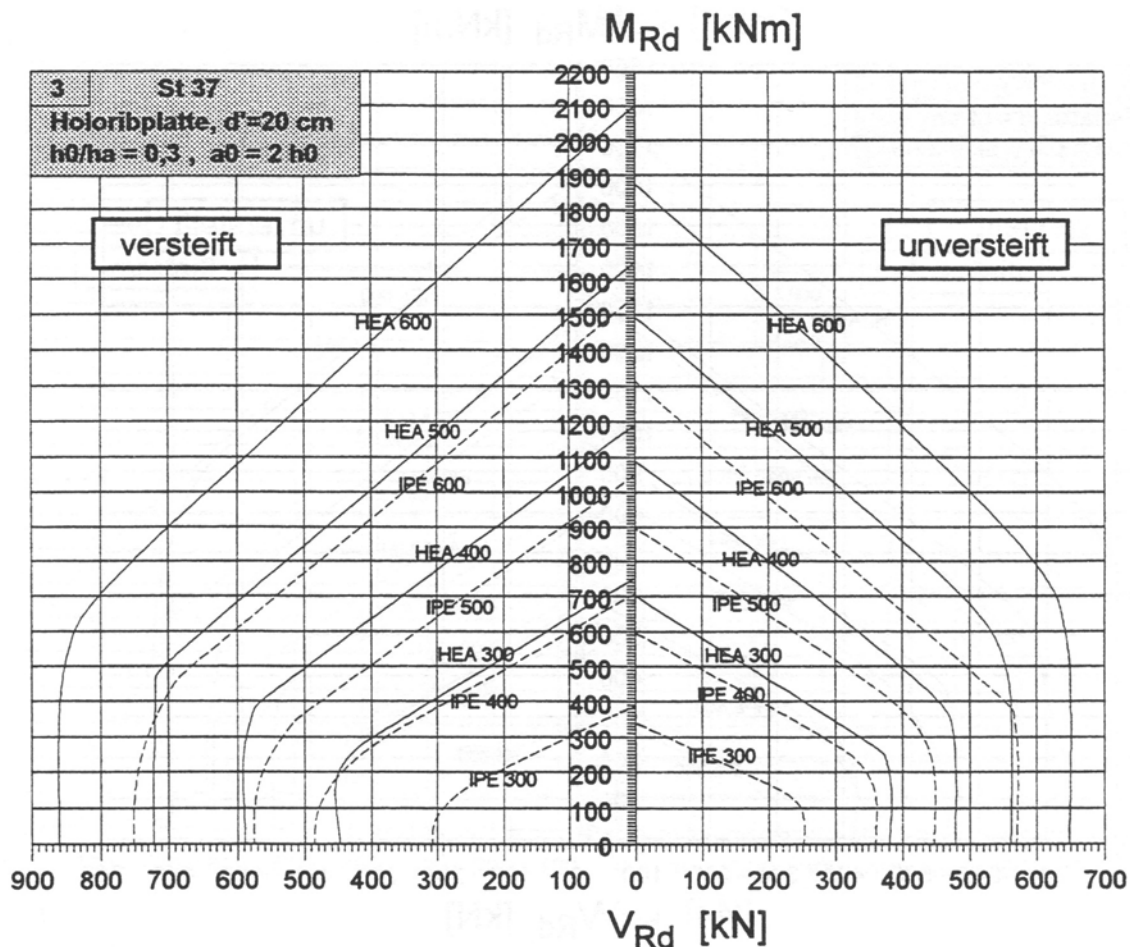
Jedes Diagramm beinhaltet insgesamt 16 Kurven. In der linken Hälfte sind die Kurven für die versteiften Ausschnitte, in der rechten die für unversteifte Ausschnitte gezeichnet. Zur besseren Unterscheidung sind die IPE-Profile gestrichelt und die HEA-Profile mit durchgezogener Linie dargestellt.

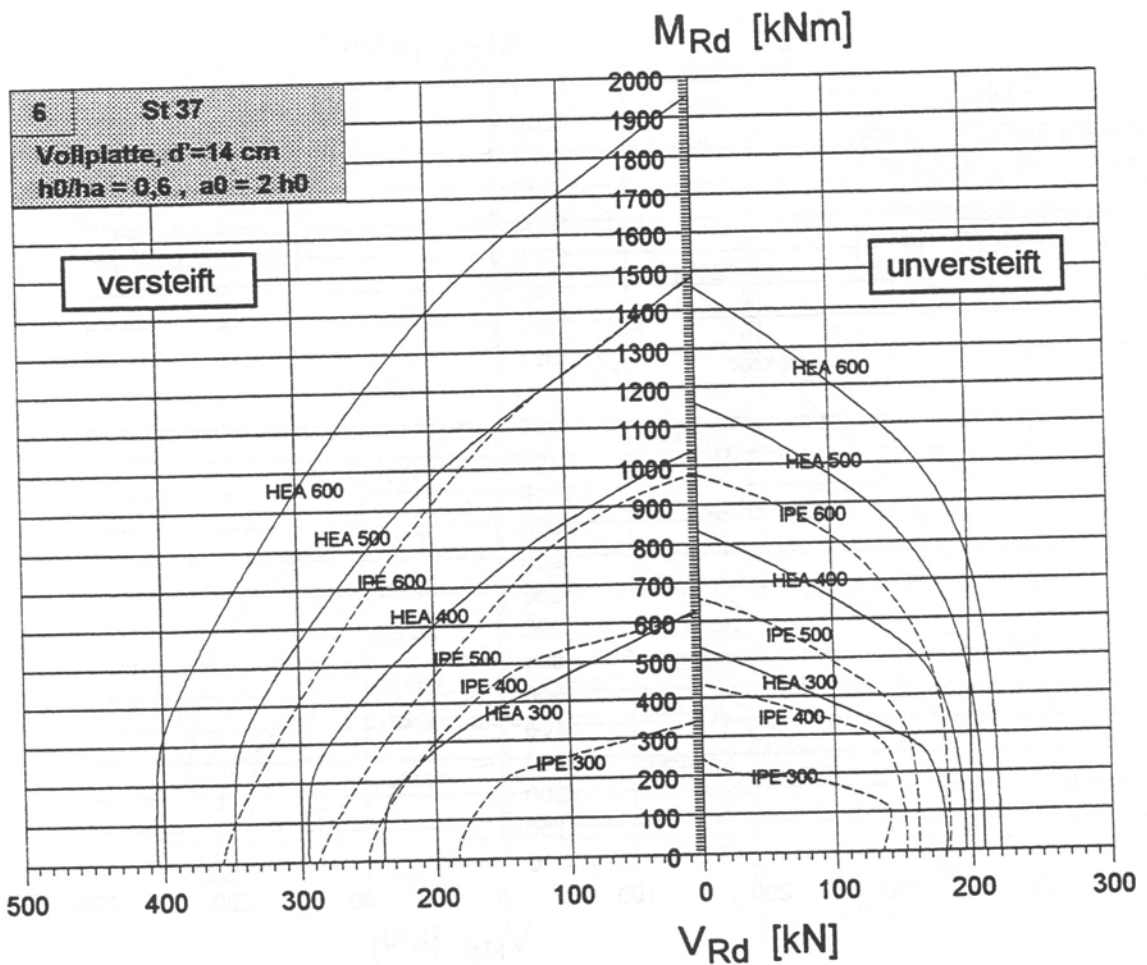
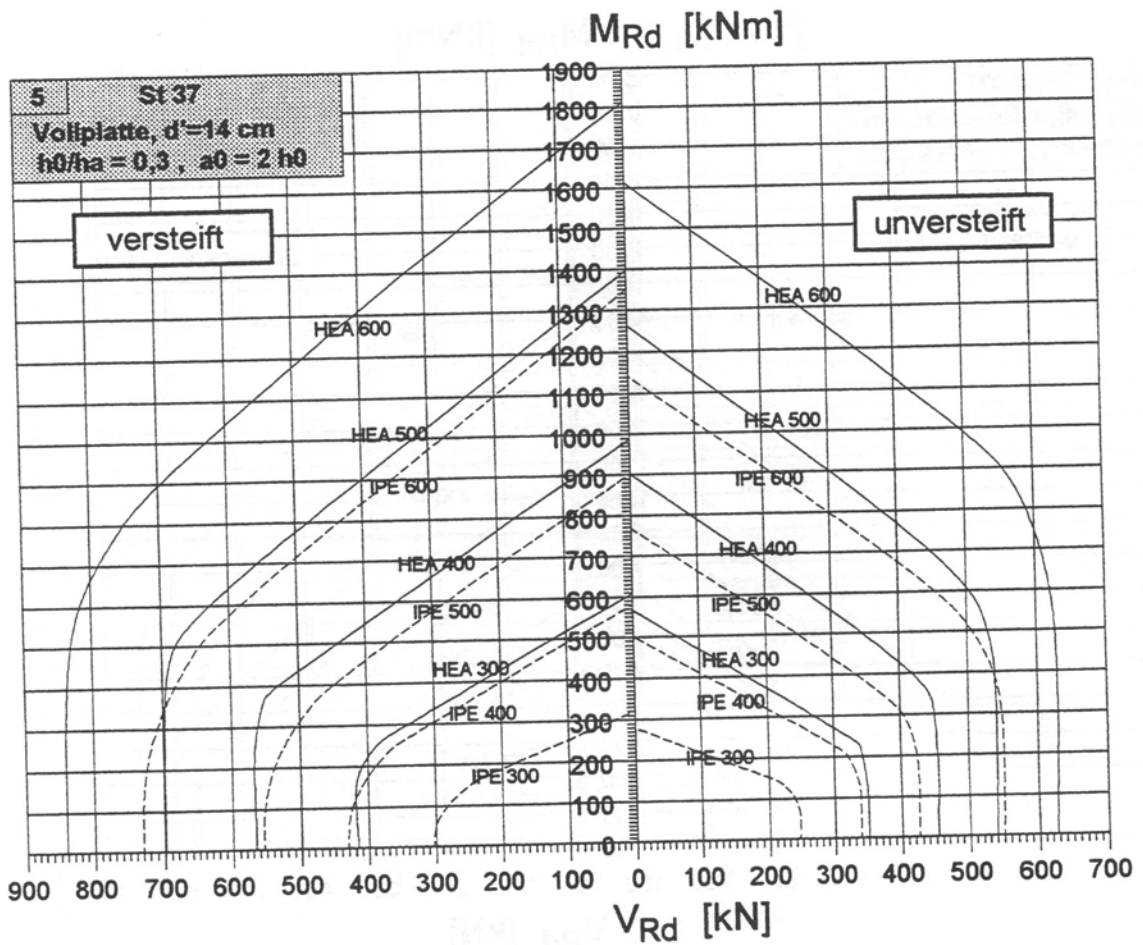
Mit Hilfe der M-V-Diagramme lassen sich die Tragfähigkeiten sehr schnell bestimmen. Voraussetzung dafür ist aber, daß Ausschnitt und Verbundträger in den o.g. Parameterbereich fallen. Ist das der Fall, so gibt das Diagramm direkte Hilfen bei der frühen Bemessung, je nachdem, was gesucht ist:

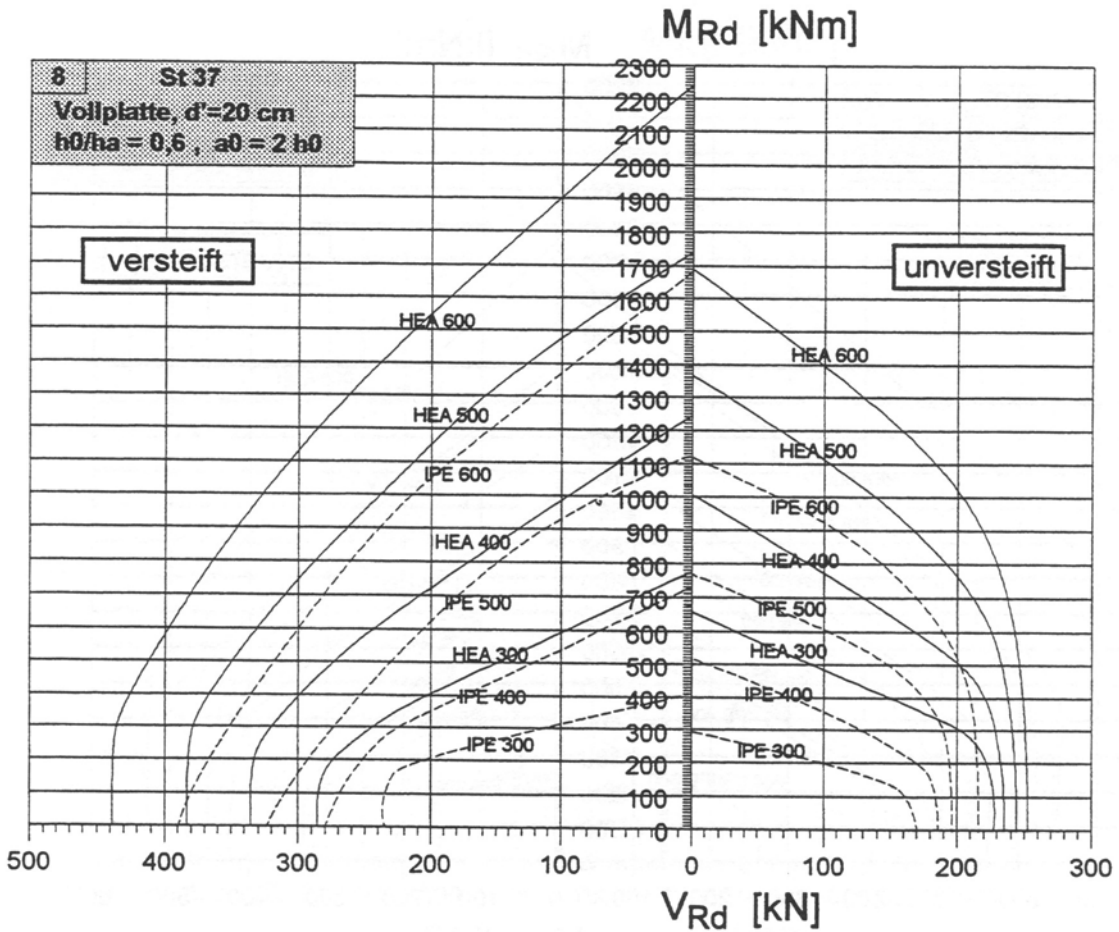
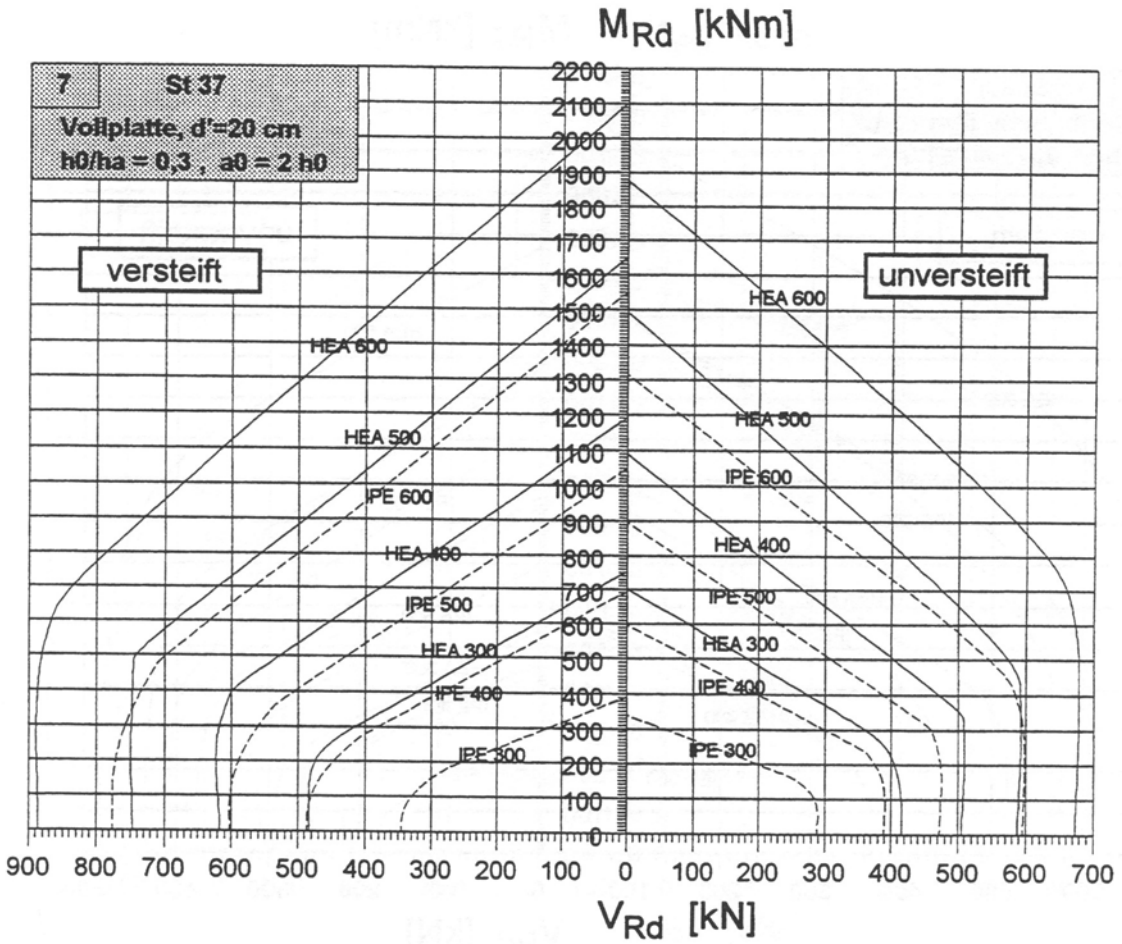
- Welche Bemessungsschnittgrößen sind bei gegebenem Verbundträger und einer bestimmten Ausschnittsgröße nach Eurocode 4 [1] noch aufnehmbar?
- Welches Stahlprofil ist zu wählen, damit die Schnittgrößen trotz des Stegausschnitts noch aufgenommen werden können?
- Falls die Beanspruchungen vom unversteiftem Ausschnitt nicht mehr aufgenommen werden können: reicht dann die Verstärkung des unteren Restquerschnittes?

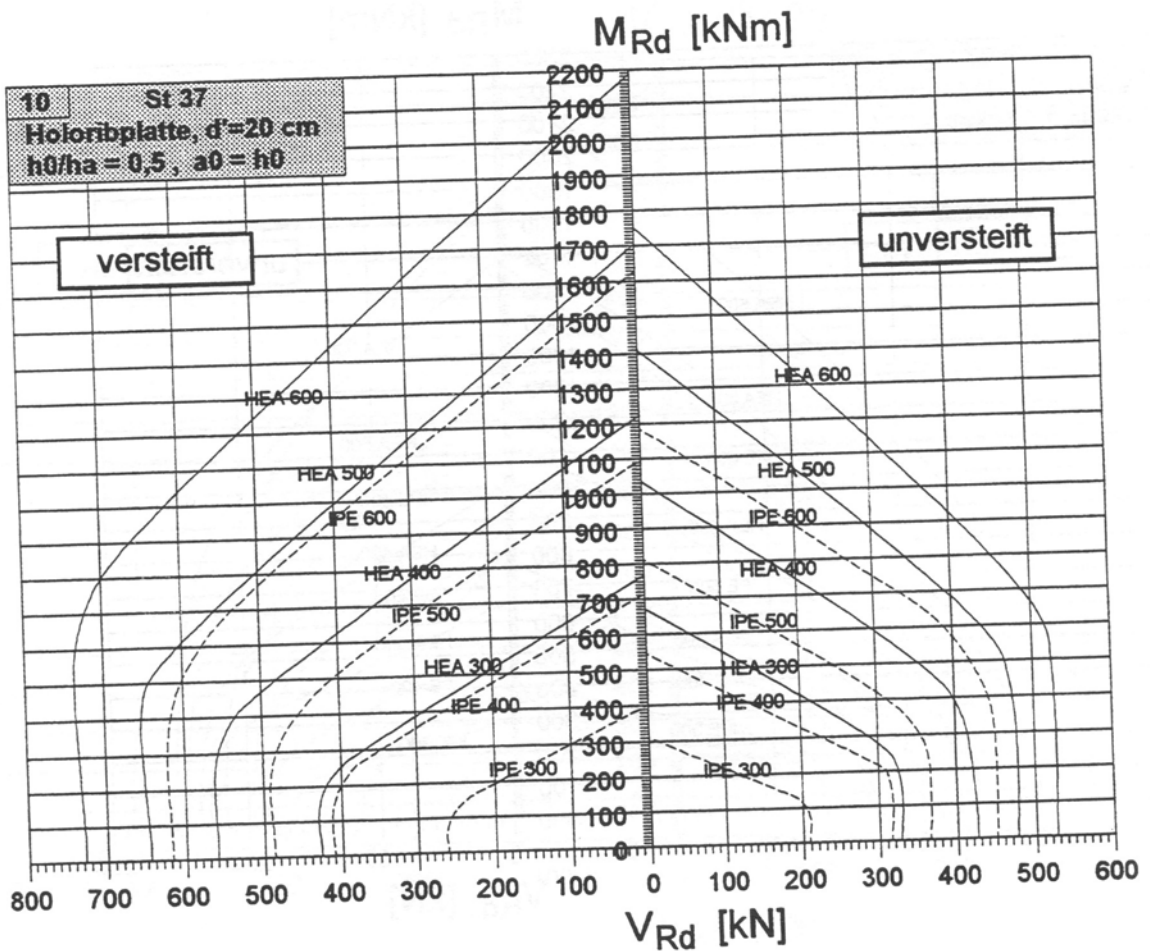
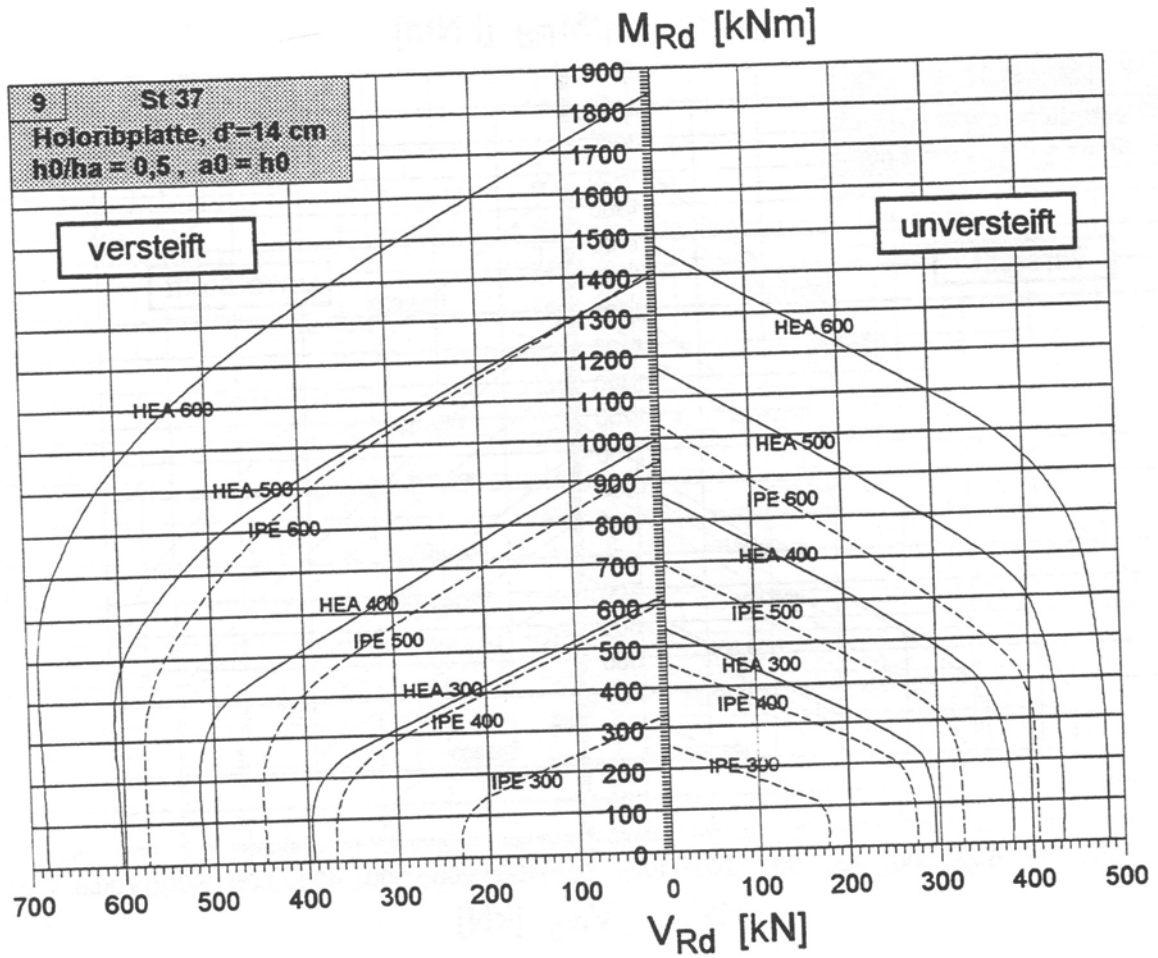
Bemessungshilfen

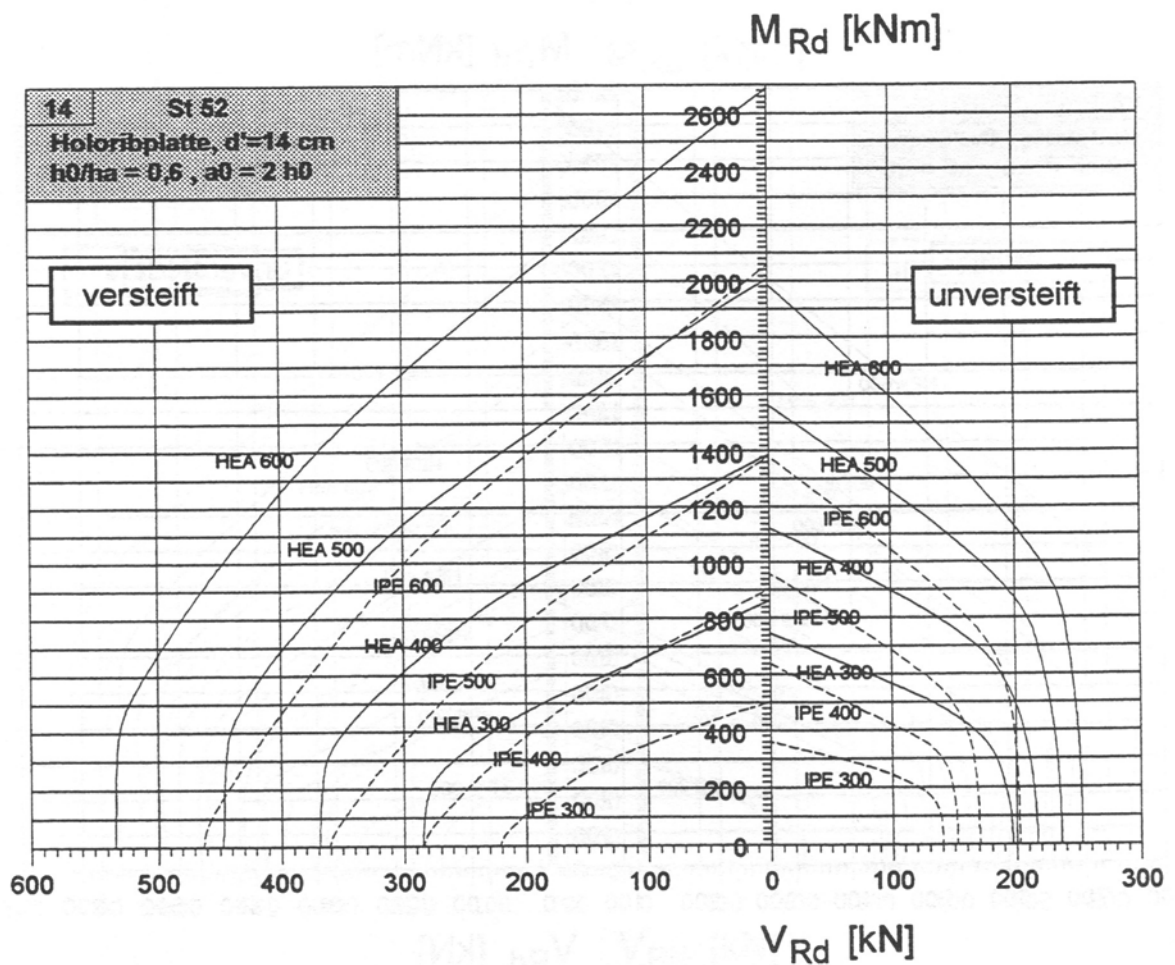
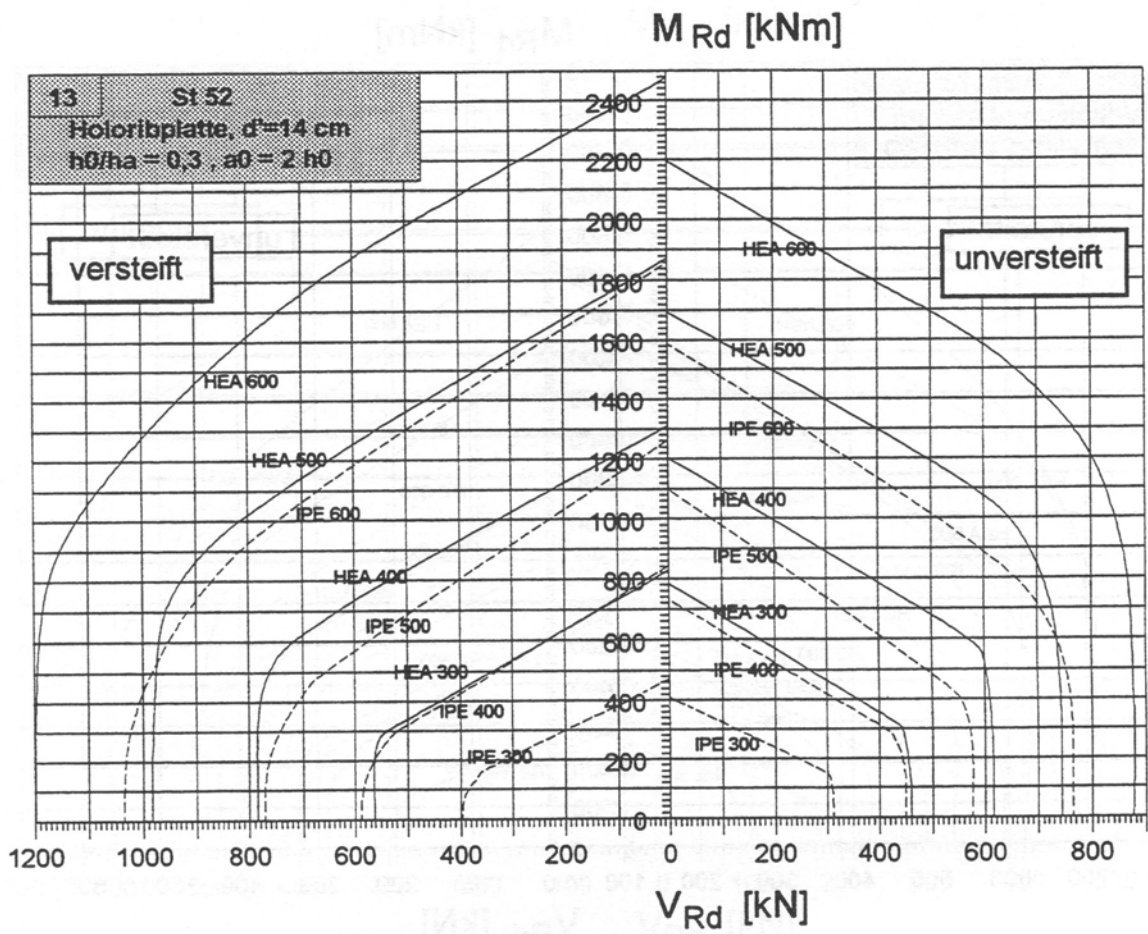


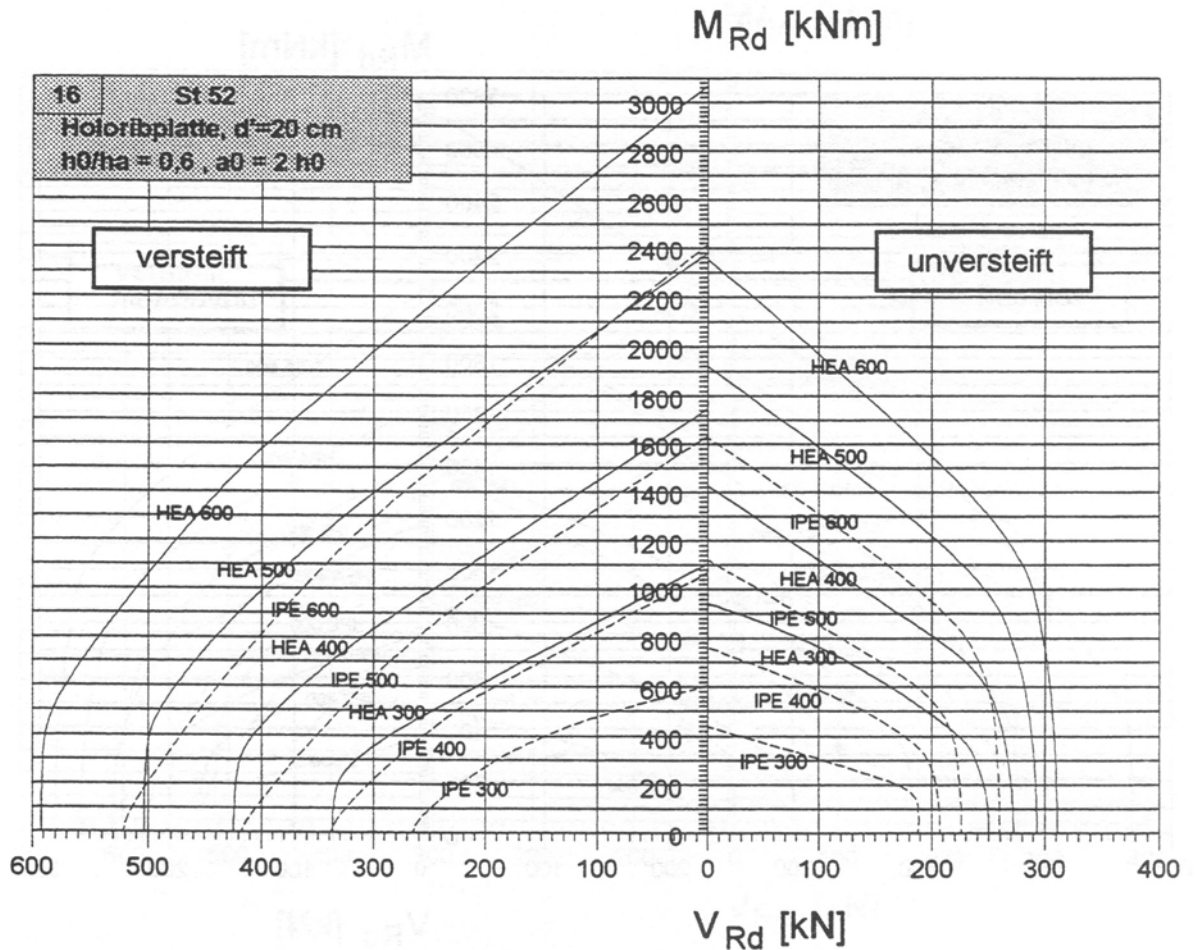
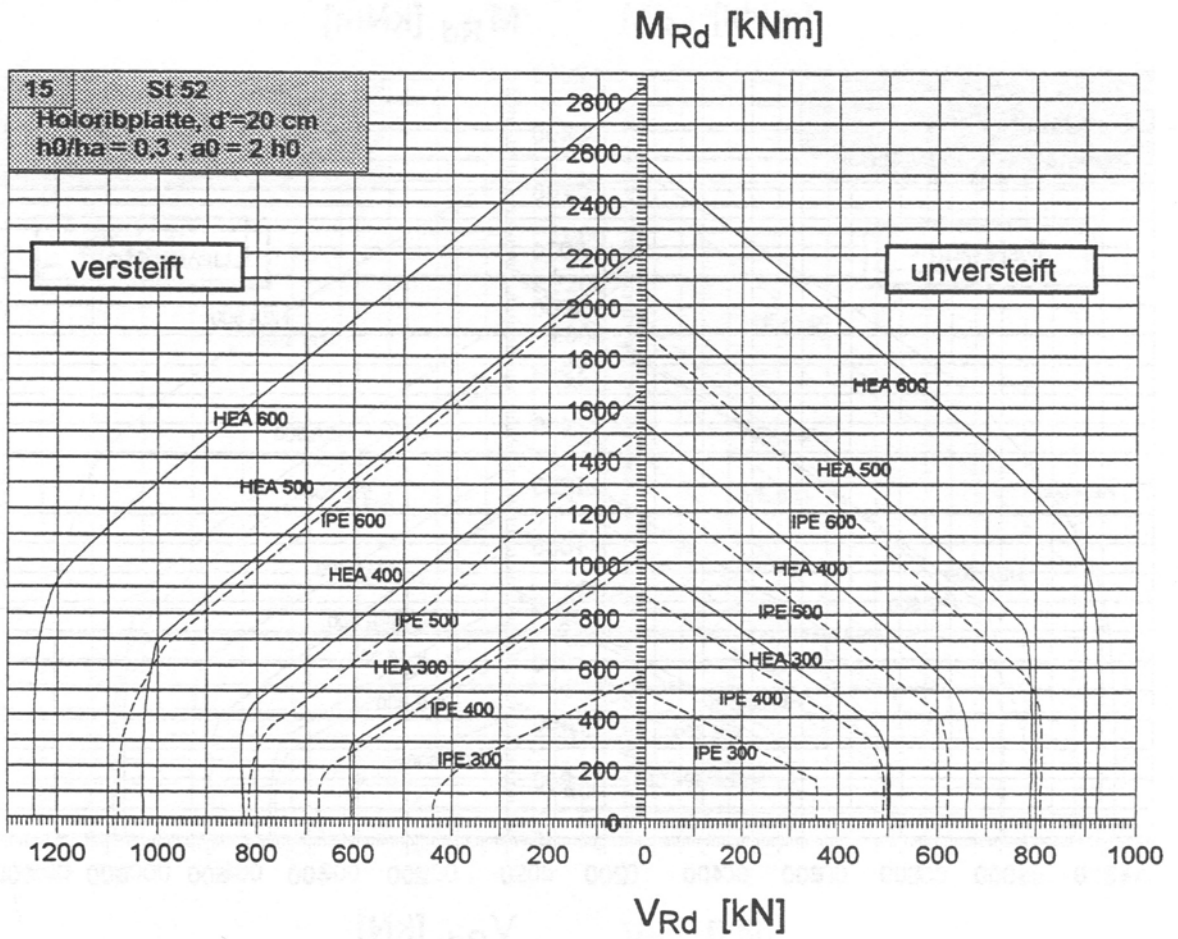




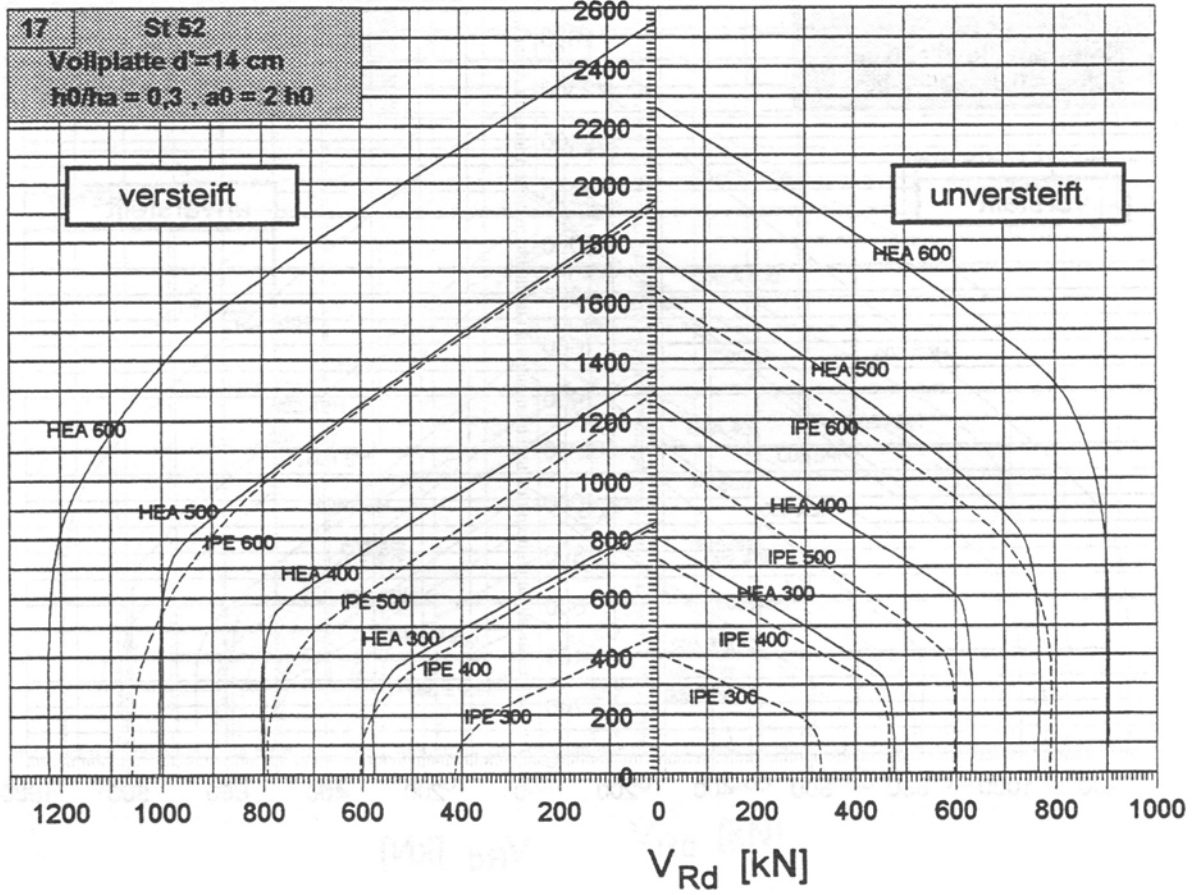




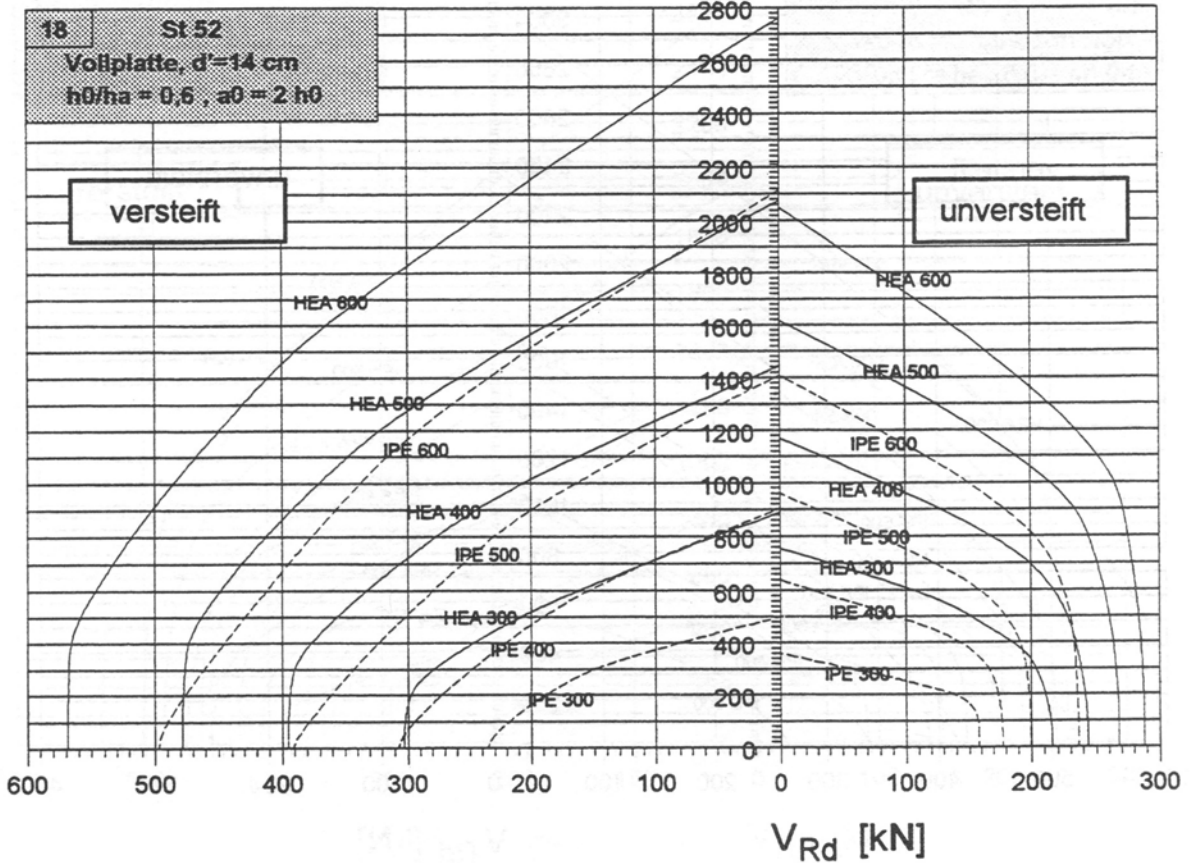


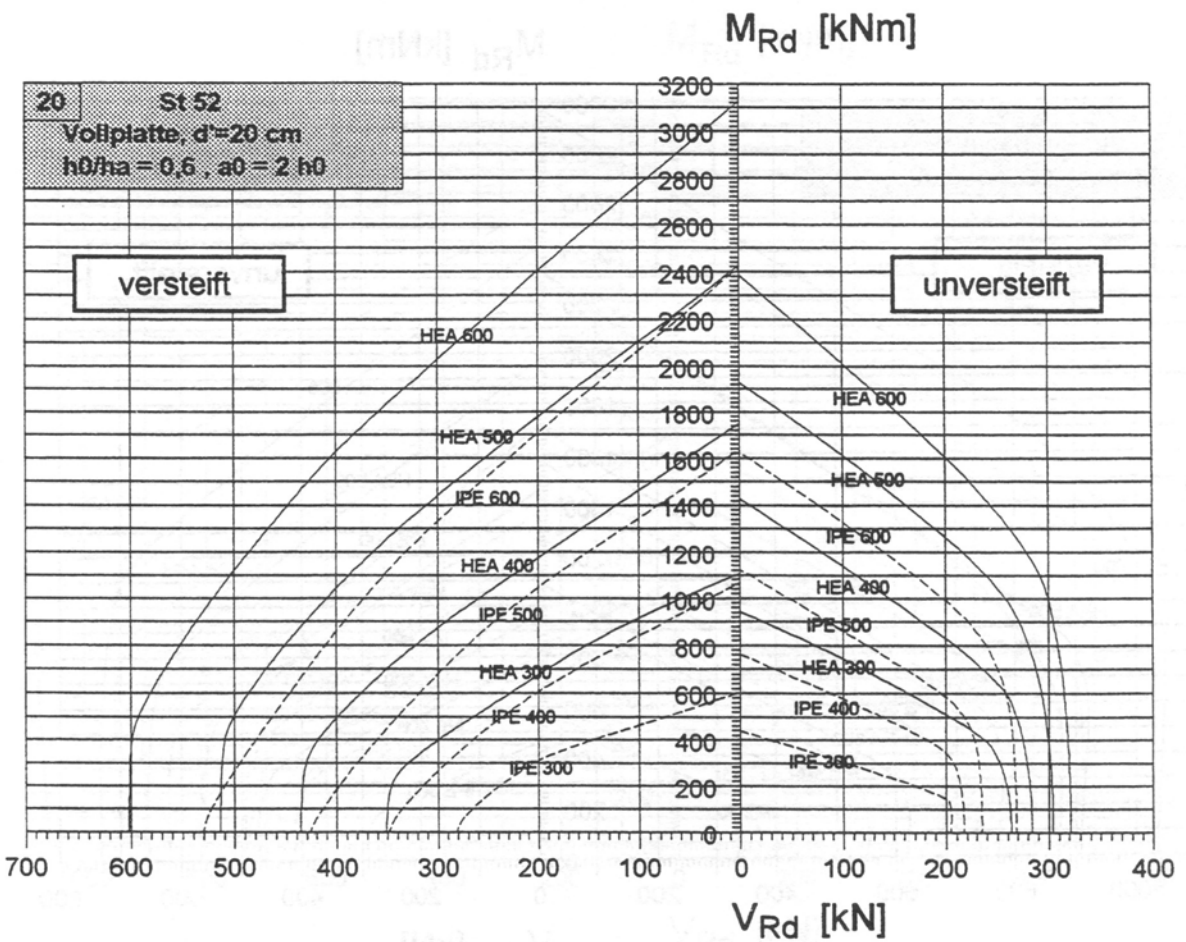
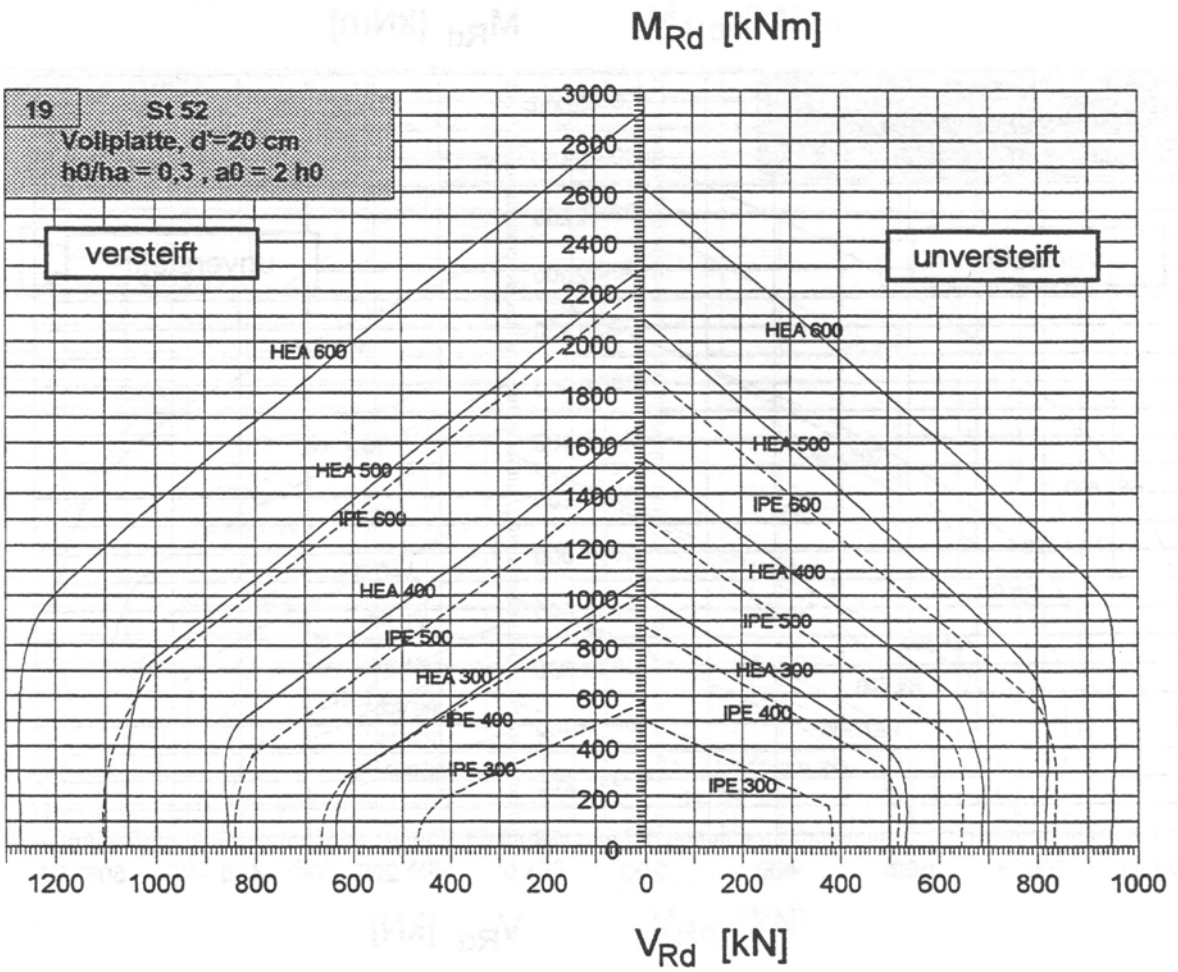


M_{Rd} [kNm]

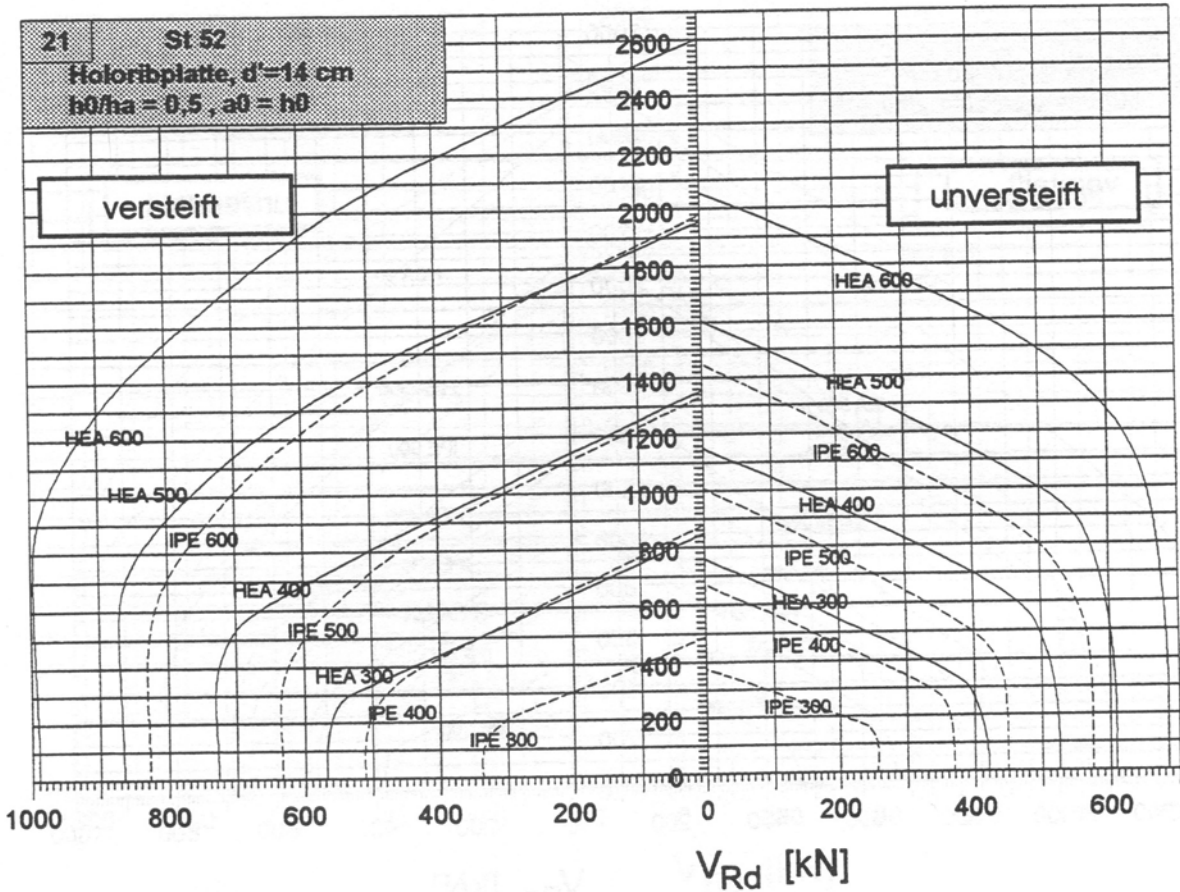


M_{Rd} [kNm]

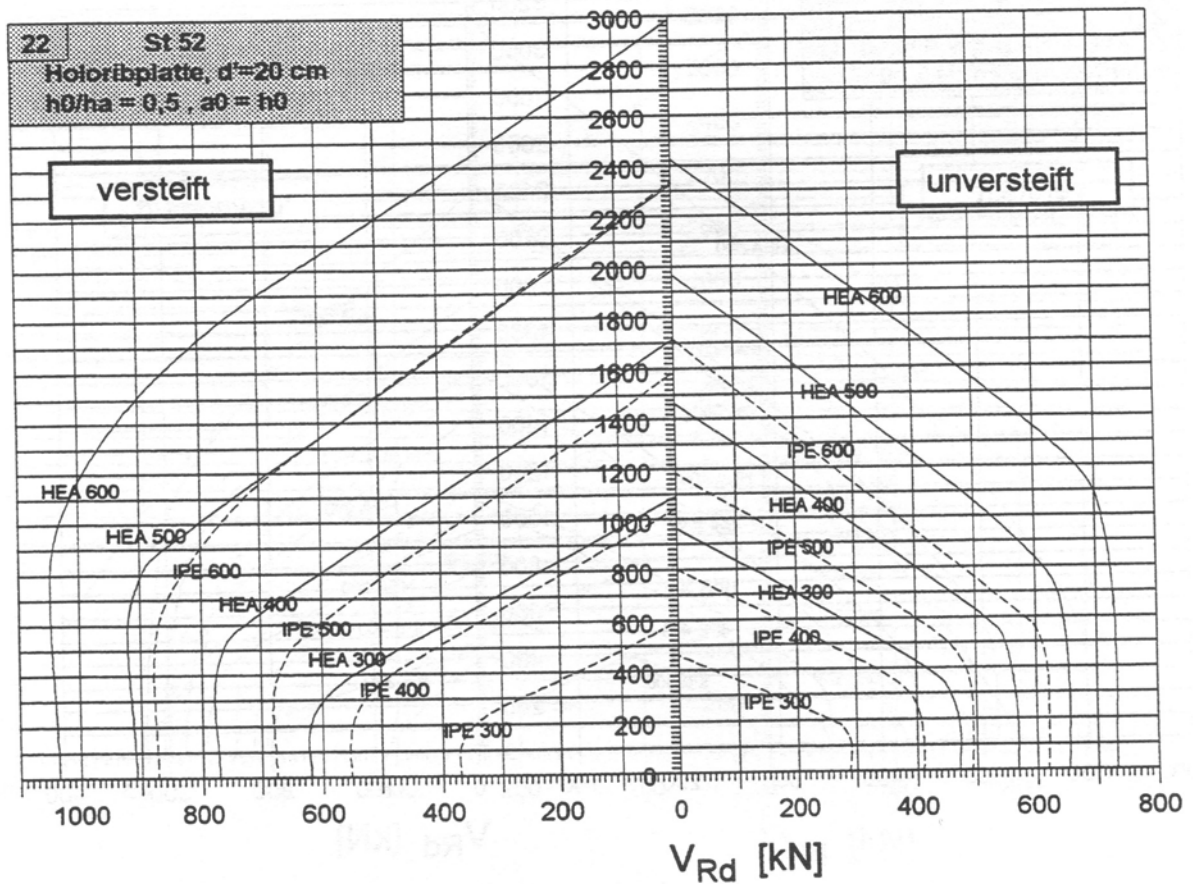




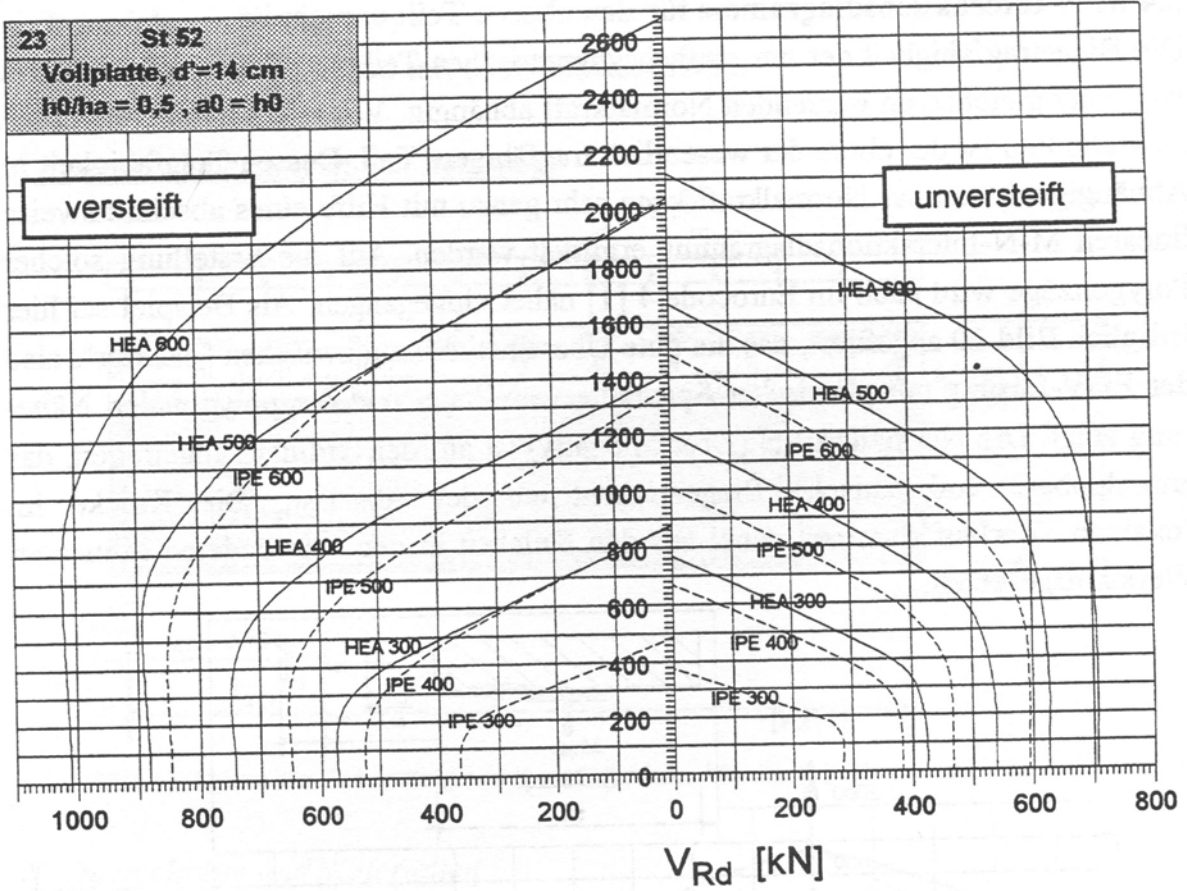
M_{Rd} [kNm]



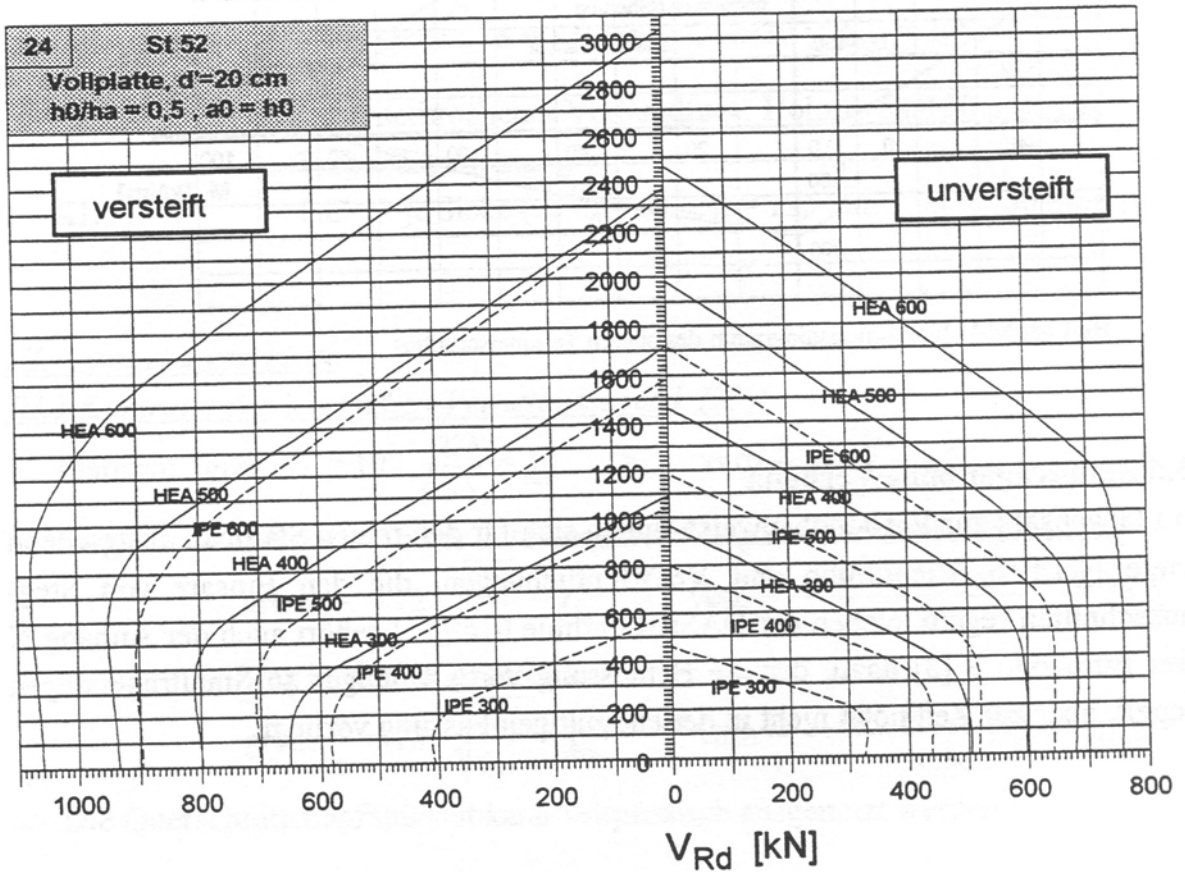
M_{Rd} [kNm]



M_{Rd} [kNm]



M_{Rd} [kNm]



5.4 M-N-Interaktionsdiagramme für den oberen Teilquerschnitt

Die Biegetragfähigkeit der nur einfachsymmetrischen Teilquerschnitte ist sehr stark von einer gleichzeitig wirkenden Normalkraft abhängig. Vor allem bei unversteiften Ausschnitten ist der obere der wesentlich tragfähigere Teil. Dessen Tragfähigkeit in Abhängigkeit von der Normalkraft kann sehr genau mit Hilfe eines abschnittsweise linearen M-N-Interaktionsdiagramms ermittelt werden. Auf die Erstellung solcher Polygonzüge wird auch im Eurocode 4 [1] näher eingegangen. Als Beispiel sei hier lediglich Bild 10 angeführt, das die gute Übereinstimmung zwischen "exakter", also der EDV-Lösung mit plastischer Spannungsverteilung, und der polygonalen Näherung zeigt. Die Normalkraft N (Druck negativ) ist auf der Ordinate abgetragen, das aufnehmbare vollplastische Biegemoment auf der Abszisse. Die Knicke im "exakten" Verlauf stammen dabei aus den Knicken in den verwendeten bilinearen Werkstoffgesetzen.

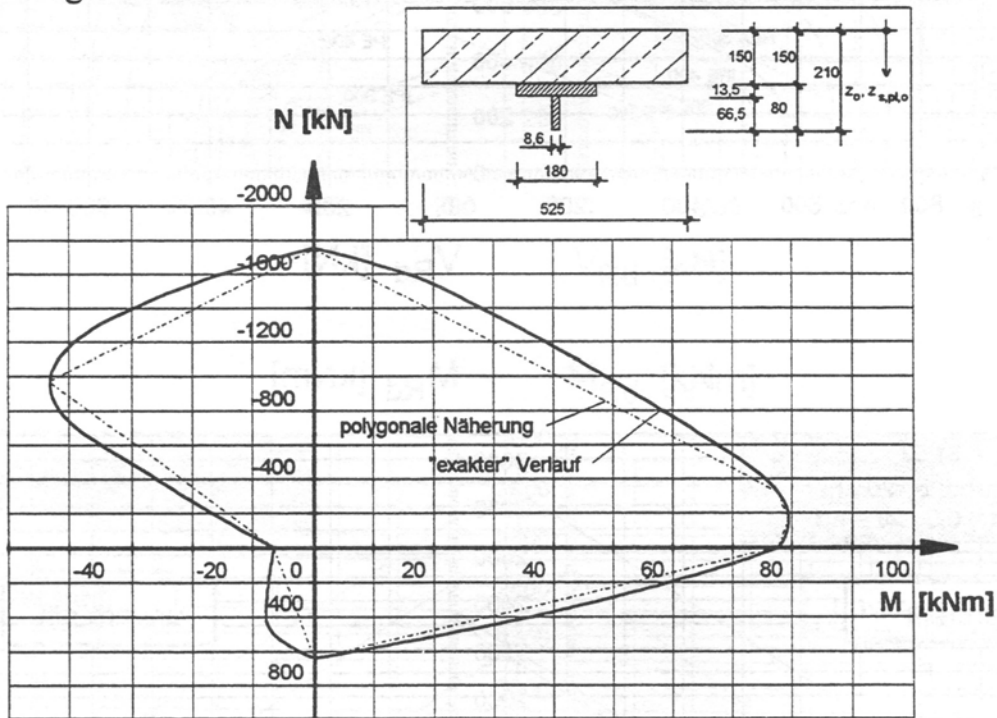


Bild 10: M-N-Interaktionsdiagramm des oberen Teilquerschnittes

5.5 Stahlträger ohne Verbund

Im Gegensatz zur Verbundbauweise finden sich für den reinen Stahlbau ausreichend viele Normen, Richtlinien und Veröffentlichungen, die den Einsatz von Stegausschnitten regeln. Neben der DASt-Richtlinie 015 [15] gehört auch der Anhang N des Eurocode 3 [3] dazu, der die Bemessung von Öffnungen in Stahlträgerstegen regelt, aber zur Zeit noch nicht in der endgültigen Fassung vorliegt.

6. Beispiele

6.1 Berechnung von Hand mit allen Einzelschritten

I. System, Abmessungen und Belastung

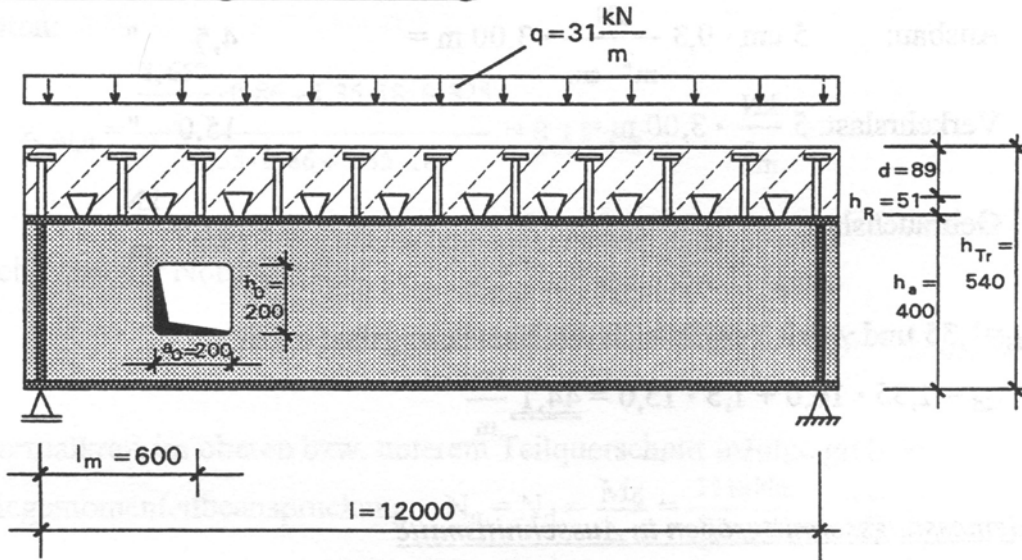


Bild 11: Skizze des Verbundträgers mit quadratischem Ausschnitt (nicht maßstäblich)

II. Querschnitte und Materialien

- Ausschnitt: quadratisch: $a_0 = h_0 = 200 \text{ mm}$; mittig im Stahlträger
- Stahlprofil: IPE 400 ; Fe 360 (\cong St 37) ; $f_{y,d} = 24 / 1,1 = 21,36 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$
- Betonplatte: $b = 300 \text{ cm}$; $d = 8,9 \text{ cm}$; C 25/30 ; $f_{c,d} = 1,42 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$
mit unterbrochener Verbundfuge: Holorib 51/150 quer zur Trägerlängsrichtung
- KD: 1 Ø 22 je Sicke ($\Rightarrow e_q = 0$) ; $h = 125 \text{ mm}$; $e_1 = 150 \text{ mm}$

III. Bemessungsschritte

III.1 Kontrolle der b/t- und c/t-Verhältnisse nach EC 4

- Flansch: $\text{grenz } \frac{c}{t} = 10 \cdot \sqrt{\frac{235}{f_{y,k}}} = \underline{10} > \text{vorh } \frac{c}{t} = \frac{18/2}{1,35} = \underline{6,7}$
- Steg:
 - Gesamter Träger unter negativer Biegemomentenbeanspruchung:
 $\text{grenz } \frac{b}{t} = 72 \cdot \sqrt{\frac{235}{f_{y,k}}} = \underline{72} > \text{vorh } \frac{b}{t} = \frac{40 - 2 \cdot 1,35 - 2 \cdot 2,1}{0,86} = \underline{38,5}$
 - Steg im Öffnungsbereich:
 $\text{grenz } \frac{c}{t} = 10 \cdot \sqrt{\frac{235}{f_{y,k}}} = \underline{10} \cong \text{vorh } \frac{c}{t} = \frac{(40 - 20 - 1,35)/2}{0,86} = \underline{10,8}$

\Rightarrow Die Querschnittstragfähigkeit kann vollplastisch ausgenutzt werden.

III.2 Belastung

g_1 : Platte: $3,00 \text{ m} \cdot 0,14 \text{ m} \cdot 25 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} = 10,5 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$
 Stahlträger: $1,0 \text{ ''}$
 g_2 : Ausbau: $5 \text{ cm} \cdot 0,3 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2 \cdot \text{cm}} \cdot 3,00 \text{ m} = 4,5 \text{ ''}$
 p : Verkehrslast: $5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot 3,00 \text{ m} = 15,0 \text{ ''}$
 \Rightarrow Gebrauchslast: $q = 31,0 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$

Mit $\gamma_G=1,35$ und $\gamma_Q=1,5$ ergibt sich die Bemessungslast q_d zu:

$$q_d = 1,35 \cdot 16,0 + 1,5 \cdot 15,0 = \underline{\underline{44,1 \frac{\text{kN}}{\text{m}}}}$$

III.3 Bemessungsschnittgrößen in Ausschnittsmitte

$$\Rightarrow V_d = q_d \cdot (l/2 - l_m) = 44,1 \cdot (12/2 - 0,6) = \underline{\underline{238 \text{ kN}}}$$

$$M_d = q_d \cdot l_m/2 \cdot (l - l_m) = 44,1 \cdot 0,6/2 \cdot (12 - 0,6) = \underline{\underline{151 \text{ kNm}}}$$

III.4 Mittragende Breiten

- global: $b_{m,g} = b = \underline{\underline{300 \text{ cm}}} \leq \frac{l_0}{4} = \frac{1200}{4} = 300 \text{ cm}$ (Deckenträgerabstand)
- lokal: $b_{m,l} = 3,5 \cdot d + e_q = 3,5 \cdot 8,9 + 0 = \underline{\underline{31,15 \text{ cm}}}$

III.5 Normalkräfte in den Teilquerschnitten

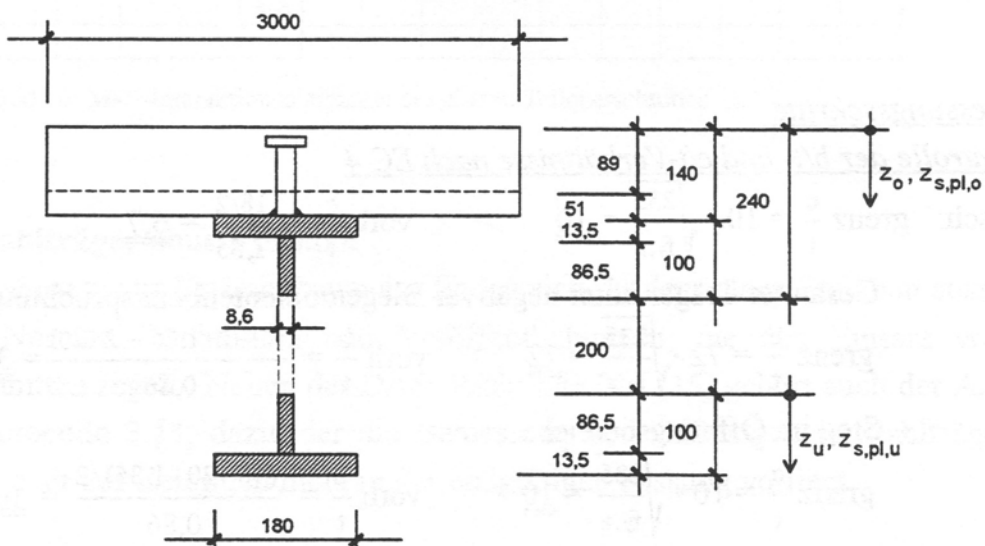


Bild 12: Oberer und unterer Teilquerschnitt (nicht maßstäblich)

- oben:

$$z_{s,pl,o} = \frac{\frac{8,9^2}{2} \cdot 300 \cdot 1,42 + (1,35 \cdot 18 \cdot 14,675 + 8,65 \cdot 0,86 \cdot 19,675) \cdot 21,36}{8,9 \cdot 300 \cdot 1,42 + (1,35 \cdot 18 + 8,65 \cdot 0,86) \cdot 21,36} = \underline{\underline{6,18 \text{ cm}}}$$

- unten:

$$z_{s,pl,u} = \frac{\frac{8,65^2}{2} \cdot 0,86 + 1,35 \cdot 18 \cdot 9,325}{8,65 \cdot 0,86 + 1,35 \cdot 18} = \underline{\underline{8,15 \text{ cm}}}$$

⇒ Hebelarm der Normalkräfte:

$$z = h_{Tr} - z_{s,pl,o} - h_u + z_{s,pl,u} = 54,0 - 6,18 - 10,0 + 8,15 = \underline{\underline{45,97 \text{ cm}}}$$

⇒ Normalkraft im oberen bzw. unterem Teilquerschnitt infolge globaler

$$\text{Biegemomentenbeanspruchung: } N_g = N_d = \frac{M_d}{z} = \frac{151 \text{ kNm}}{0,4597 \text{ m}} = \underline{\underline{328 \text{ kN}}}$$

III.6 M-N-Interaktion an den Stellen ① und ②

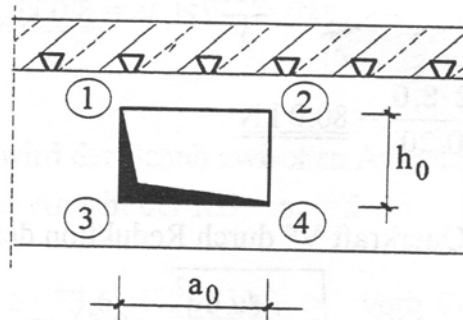


Bild 13: Bezeichnungen im Ausschnittsbereich

Mit Hilfe des Interaktionsdiagramms (Bild 14) für den oberen Teilquerschnitt (siehe Bild 12) ergeben sich folgende Biegetragfähigkeiten:

$$\text{Anteilige Normalkraft: } N_1 = N_g \cdot \frac{b_{m,1}}{b_{m,g}} = 328 \cdot \frac{31,15}{300} = \underline{\underline{34 \text{ kN}}}$$

Aus der Interaktionskurve (Bild 14) ergibt sich: $M^{\textcircled{1}}_{pl,N,V} = (-) \underline{\underline{4,3 \text{ kNm}}}$

$$M^{\textcircled{2}}_{pl,N,V} = \underline{\underline{38,6 \text{ kNm}}}$$

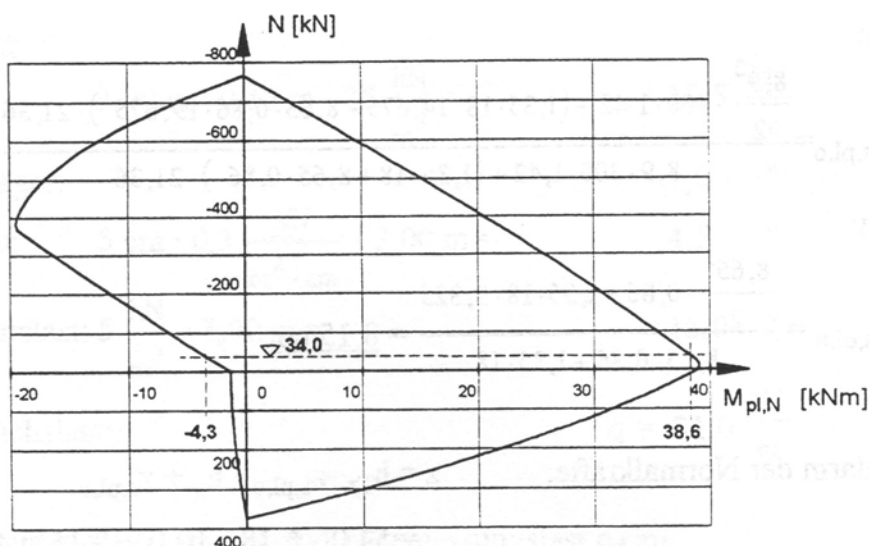


Bild 14: M-N-Interaktionsdiagramm für den oberen Teilquerschnitt

III.7 M-N-Interaktion an den Stellen ③ und ④

Steghöhe h des unteren Restquerschnittes: $h = 9,325 \text{ cm}$

$$N_{pl} = A_a \cdot f_{y,d} = 31,74 \cdot 21,36 = \underline{678 \text{ kN}}$$

$$V_{pl,a} = h \cdot s \cdot \frac{f_{y,d}}{\sqrt{3}} = 9,325 \cdot 0,86 \cdot \frac{21,36}{\sqrt{3}} = \underline{98,9 \text{ kN}}$$

$$M^{\textcircled{3}}_{pl} = M^{\textcircled{4}}_{pl} = h^2 \cdot \frac{s}{2} \cdot f_{y,d} = 9,325^2 \cdot \frac{0,86}{2} \cdot 21,36 = \underline{8,0 \text{ kNm}}$$

$$V^u = \frac{M^{\textcircled{3}}_{pl,N} + M^{\textcircled{4}}_{pl,N}}{a_0} = \frac{2 \cdot 8,0}{0,20} = \underline{80,0 \text{ kN}}$$

Berücksichtigung der Querkraft V^u durch Reduktion der Stegdicke s :

$$s_{red} = s \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{V^u}{V_{pl}}\right)^2} = 0,86 \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{80,0}{98,9}\right)^2} = \underline{0,51 \text{ cm}} \Rightarrow$$

$$A_{a,red} = 0,51 \cdot 9,325 + 18,0 \cdot 1,35 = \underline{29,05 \text{ cm}^2}$$

$$\delta_v = \frac{s_{red} \cdot h}{A_{a,red}} = \frac{0,51 \cdot 9,325}{29,05} = \underline{0,164}$$

$$N_{pl,red} = A_{a,red} \cdot f_{y,d} = 29,05 \cdot 21,36 = \underline{621 \text{ kN}}$$

Mit $M = h \cdot N_{pl,red} \cdot \frac{1}{2} \delta_v \cdot \left(1 \pm \frac{N}{N_{pl,red}}\right)$ ergibt sich:

$$M^{\textcircled{3}}_{pl,N,V} = 9,325 \cdot 621 \cdot \frac{1}{2} \cdot 0,164 \cdot \left(1 + \frac{328}{621}\right) = \underline{7,3 \text{ kNm}}$$

$$M^{\textcircled{4}}_{pl,N,V} = 9,325 \cdot 621 \cdot \frac{1}{2} \cdot 0,164 \cdot \left(1 - \frac{328}{621}\right) = \underline{2,3 \text{ kNm}}$$

III.8 Gleichgewicht am Stegausschnitt (Zusatzmomente)

Zur Berücksichtigung bestimmter ungünstig wirkender Einflüsse (Dehnungsbegrenzung, Rißbildung, Rechenmodell) sollte beim Nachweis der Tragfähigkeit an den Stellen ① bis ④ die Summe der plastischen Biegetragfähigkeiten nur zu 90% ausgenutzt werden (vgl. [1]). Dadurch verschiebt sich im Vergleich Versuch-Berechnung im Bild 8 das Niveau nach unten auf die sichere Seite:

$$\begin{aligned}
 V_d \cdot a_0 &\leq 0,9 \cdot \sum_{i=1}^4 M_{pl,N,V}^{(i)} && \Leftrightarrow \\
 238 \cdot 0,20 &\leq 0,9 \cdot (4,3 + 38,6 + 7,3 + 2,3) && \Leftrightarrow \\
 \underline{47,6} &\cong \underline{47,3}
 \end{aligned}$$

⇒ Keine Iteration erforderlich!

III.9 Horizontalschubnachweis

- lokal: Bei der lokalen Schubabtragung können alle Kopfbolzen über der Öffnung sowie rechts und links jeweils 2 angesetzt werden:

$$n_l = \frac{a_0}{e_l} + 4 = \frac{20}{15} + 4 = 5,33 \quad ; \quad P_{Rd} = 73,6 \text{ kN}$$

$$n_l \cdot P_{Rd} = 5,33 \cdot 73,6 = \underline{392,5 \text{ kN}} > \text{vorh } V_{L,1} = V_L^{(1)} + V_L^{(2)} = 0 + 359 = \underline{359 \text{ kN}}$$

$$\text{mit } V_L^{(1)} = A_s \cdot \beta_{s,s} = \underline{0 \text{ kN}}$$

$$V_L^{(2)} = N_{pl,c,1} - N_1 = 394 - 34 = \underline{359 \text{ kN}}$$

- global: Betrachtet wird der Schub zwischen Ausschnittsmitte und Auflager:
rechnerische Anzahl der KD: $n_g = 5$

$$n_g \cdot P_{Rd} = 5 \cdot 73,6 = \underline{368 \text{ kN}} > \text{vorh } V_{L,1} = N_g + V_L^{(1)} = 328 + 0 = \underline{328 \text{ kN}}$$

III.10 Nachweis der Querkrafttragfähigkeit für den oberen Teilquerschnitt

Querkrafttragfähigkeit der Betonplatte V_c nach EC 2:

$$k = 1,6 - d = 1,6 - 0,089 = 1,511 \geq 1$$

$$\rho_L = \frac{A_{s,1}}{b_{m,1} \cdot d} = \frac{0}{31,15 \cdot 8,9} = 0 \leq 0,02$$

$$\tau_{R,d} = 0,0263 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{cp} = \frac{N_1}{b_{m,1} \cdot d} = \frac{34}{31,15 \cdot 8,9} = 0,123 \text{ kN/cm}^2$$

$$\begin{aligned} \Rightarrow V_c &= [\tau_{R,d} \cdot k \cdot (1,2 + 40 \cdot \rho_L) + 0,15 \cdot \sigma_{cp}] \cdot b_{m,l} \cdot d \\ &= [0,0263 \cdot 1,511 \cdot (1,2 + 40 \cdot 0) + 0,15 \cdot 0,123] \cdot 31,15 \cdot 8,9 \\ &= \underline{18,3 \text{ kN}} \end{aligned}$$

Die Querkrafttragfähigkeit der Betonplatte V_c ist in diesem Beispiel sehr gering. Deshalb bleibt die zusätzliche Anordnung von Kopfbolzendübeln, die diese Kraft über Zug in die Platte einleiten (Hochhängen der Querkraft), unberücksichtigt.

$$\Rightarrow V_d = V^o = \frac{M_{pl,N,V}^{\textcircled{1}} + M_{pl,N,V}^{\textcircled{2}}}{a_0} = \frac{4,3 + 38,6}{0,20} = \underline{214,5 \text{ kN}} <$$

$$V_{R,d} = V^o_{pl,a} + V_c = 199 + 18 = \underline{217 \text{ kN}}$$

(Berechnung von $V^o_{pl,a}$ mit der vergrößerten Stegfläche nach [4].)

Nachweis erfüllt! (Anm.: In Feldmitte müßte der Untergurt zur Aufnahme des Biegemomentes verstärkt werden: Lasche 12x170.)

6.2 Bemessung mit Hilfe der Tabellen

Die Tragfähigkeit ergibt sich mit folgenden Parametern aus Tabelle 1 auf S. 21:

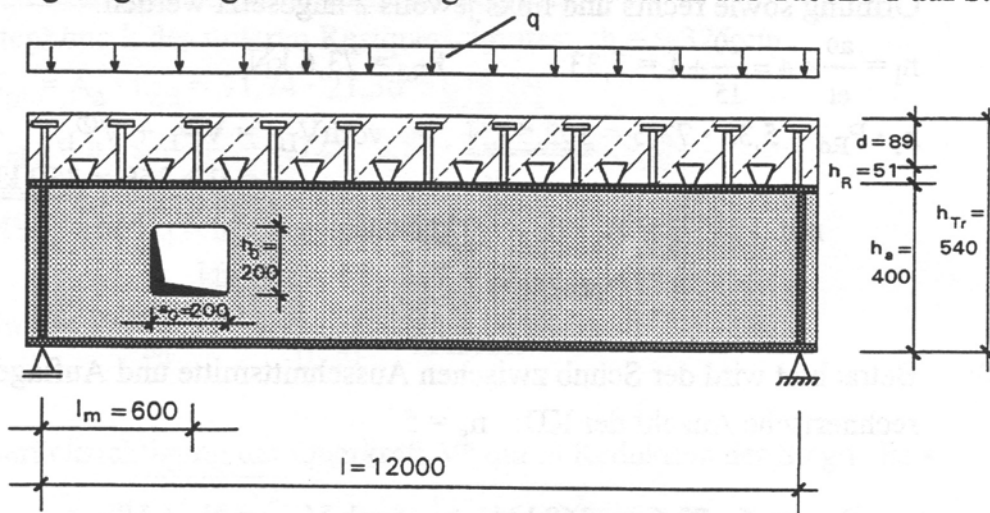


Bild 15: Skizze des Verbundträgers mit quadratischem Ausschnitt (nicht maßstäblich)

- Holoribplatte mit $d' = 14 \text{ cm}$,
- unversteifter quadratischer Ausschnitt mit $a_0 = h_0 = 200 \text{ mm}$,
- Stahlprofil IPE 400 (St 37),
- $h_0/h_a = 200 / 400 = 0,5$,
- Bemessungsschnittgrößen in der Mitte der Öffnung (s. S. 52):
 $M_d = 151 \text{ kNm}$ und $V_d = 238 \text{ kN}$: $\Rightarrow M/V = 151 / 238 = 0,63 \text{ m}$.

Mögliche Schnittgrößenkombinationen aus Tabelle 1:

$$M_{Rd} = 119 \text{ kNm} \quad \text{und} \quad V_{Rd} = 273 \text{ kN},$$

$$M_{Rd} = 291 \text{ kNm} \quad \text{und} \quad V_{Rd} = 204 \text{ kN}.$$

Nach linearer Interpolation ergibt sich:

$$M_{Rd} = 152 \text{ kNm} > M_d = 151 \text{ kNm} \quad \text{und}$$

$$V_{Rd} = 259 \text{ kN} > V_d = 238 \text{ kN} .$$

Der Nachweis der Tragfähigkeit ist erfüllt. Die Schnittgrößen $M_{Rd} = 152 \text{ kNm}$ und $V_{Rd} = 259 \text{ kN}$ entsprechen einer zulässigen Last von $q = 31,4 \text{ kN/m}$ im Gebrauchszustand.

6.3 Bemessung mit Hilfe der M-V-Diagramme

Für die in Abschnitt 6.2 aufgezählten Parameter ergibt sich die Tragfähigkeit aus dem M-V-Diagramm Nr. 9 auf Seite 42 (rechte Hälfte) mit

$$h_0 / h_a = 200 / 400 = 0,5 \quad \text{und} \quad a_0 = h_0 :$$

$$M_{Rd} = 165 \text{ kNm} > M_d = 151 \text{ kN} \quad \text{und}$$

$$V_{Rd} = 265 \text{ kN} > V_d = 238 \text{ kN} .$$

Der Nachweis der Tragfähigkeit ist erfüllt. Die Schnittgrößen $M_{Rd} = 165 \text{ kNm}$ und $V_{Rd} = 265 \text{ kN}$ entsprechen einer zulässigen Last von $q = 33,9 \text{ kN/m}$ im Gebrauchszustand.

6.4 Berechnung der Tragfähigkeit mit dem EDV-Programm "TMA"

Mit dem Programm "TMA" wird die Tragfähigkeit an den vier Eckpunkten des Ausschnitts iterativ (entsprechend Abschnitt 3.3) berechnet. Zur Berücksichtigung ungünstiger Einflüsse (siehe Kapitel 7) wird (wie bei allen anderen Berechnungen auch) die Biegetragfähigkeit an den Stellen ① bis ④ nur zu 90% ausgenutzt:

$$\text{Ergebnis: } M_{Rd} = 168,9 \text{ kNm} \quad \text{und} \quad V_{Rd} = 267,8 \text{ kN} .$$

Dies entspricht einer Gleichstreckenlast im Gebrauchszustand von $q = 34,7 \text{ kN/m}$.

Das EDV-Programm wurde ausschließlich für das Forschungsprogramm erstellt und ist nicht im Handel erhältlich.

6.5 Vergleich der Bemessungsverfahren

Alle Ergebnisse stimmen gut miteinander überein. Zur Genauigkeit der einzelnen Verfahren läßt sich folgendes sagen:

1. Die mit dem EDV-Programm "TMA" errechnete Tragfähigkeit liegt erwartungsgemäß am höchsten, da sie iterativ ermittelt wurde.
2. Die Ergebnisse aus der Handrechnung müßten theoretisch mit denen aus der EDV-Berechnung exakt übereinstimmen. Dies wäre jedoch nur mit einem sehr hohen Rechenaufwand zu erreichen.
3. Aus dem M-V-Diagramm Nr. 9 ergibt sich aufgrund von Ableseungenauigkeiten eine etwas geringere Tragfähigkeit. Im allgemeinen ist die Genauigkeit jedoch davon abhängig, inwieweit der Träger mit dem übereinstimmt, für den das Diagramm aufgestellt wurde.

a) Nachweis der Querkraft:

Näherungsweise berechnet sich die Querkraft im Pfosten V_{Pf} wie folgt:

$$V_{Pf} \cong V \cdot \frac{\frac{a_{0,li}}{2} + a + \frac{a_{0,re}}{2}}{z} \quad \text{mit} \quad V = V^o + V^u = V_g \text{ in Pfostenmitte}$$

$a_{0,li}$ = Länge des linken Ausschnitts

$a_{0,re}$ = Länge des rechten Ausschnitts

a = Abstand zwischen den beiden Ausschnitten

z = Hebelarm der Normalkraft N

$$\Rightarrow V_{Pf} = 229 \cdot \frac{0,1+0,2+0,1}{0,4597} = \underline{\underline{199 \text{ kN}}} >$$

$$V_{pl} = A_w \cdot \frac{f_{y,d}}{\gamma_{M1} \cdot \sqrt{3}} = 20 \cdot 0,86 \cdot \frac{21,36}{1,1 \cdot \sqrt{3}} = \underline{\underline{193 \text{ kN}}}$$

Der Nachweis ist um ca. 3% überschritten. Es sind dementsprechend um 3% geringere Kräfte aufnehmbar.

b) Nachweis der Biegetragfähigkeit:

Annahme (zur sicheren Seite hin): Der Pfosten nimmt die Biegemomente M^o und M^u (siehe Bild 16) alleine auf:

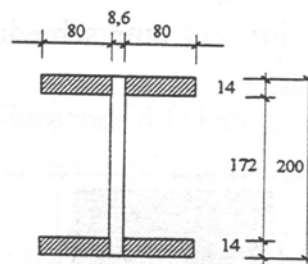
$$M^o = V_{Pf} \cdot z^o = 199 \cdot 0,3657 = 72,8 \text{ kNm}$$

$$M^u = V_{Pf} \cdot z^u = 199 \cdot 0,0940 = 18,7 \text{ kNm}$$

$$\text{mit} \quad z^o = z \cdot \frac{V^o}{V^o + V^u} = 0,4597 \cdot \frac{210}{210+54} = 0,3657 \text{ m}$$

$$z^u = z \cdot \frac{V^u}{V^o + V^u} = 0,4597 \cdot \frac{54}{210+54} = 0,0940 \text{ m} \quad (\text{siehe Bild 16})$$

\Rightarrow gewählt: 2 Steifen 80x14 je Seite:



$$M_{pl,Steifen} = W_{pl} \cdot \frac{f_{y,d}}{\gamma_{M1}} = 417 \cdot \frac{21,36}{1,1} = \underline{\underline{80,9 \text{ kNm}}} > M^o = \underline{\underline{72,8 \text{ kNm}}}$$

$$\text{mit} \quad \text{grenz } c/t = 9 \cdot \varepsilon = \underline{\underline{9,0}} > \text{vorh } c/t = 80/14 = \underline{\underline{5,7}} \Rightarrow$$

Die Querschnittstragfähigkeit kann vollplastisch ausgenutzt werden.

Auf Grund des geringen Abstandes a zwischen den beiden Ausschnitten muß ein neuer Nachweis des lokalen Horizontalschubs geführt werden, da rechnerisch weniger Kopfbolzen angesetzt werden können: $n_{1,neu} = 4 \Rightarrow$

$$n_{1,neu} \cdot P_{Rd} = 4 \cdot 73,6 = 294 \text{ kN} < \text{vorh } V_{L,1} = 360 \text{ kN}$$

Zur Verringerung des lokalen Horizontalschubs muß die Biegetragfähigkeit an der Stelle ② abgemindert werden:

$$\max N_{c,1} = n_{1,neu} \cdot P_{Rd} + N_1 = 294 + 34 = 328 \text{ kN}$$

$$x_{pl} = \frac{328}{31,15 \cdot 1,42} = 7,4 \text{ cm}$$

$$z = 14 + 1,35/2 - 7,4/2 = 11,0 \text{ cm}$$

$$\Rightarrow M_{pl,N,V}^{\textcircled{2}} = 328 \cdot 0,11 = 36,1 \text{ kNm}$$

Damit ergibt sich eine reduzierte Tragfähigkeit am linken Stegausschnitt:

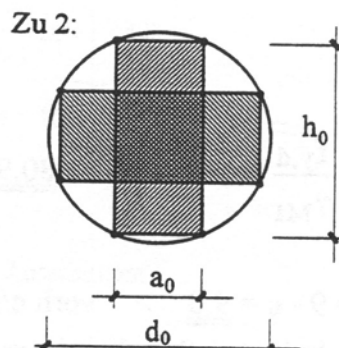
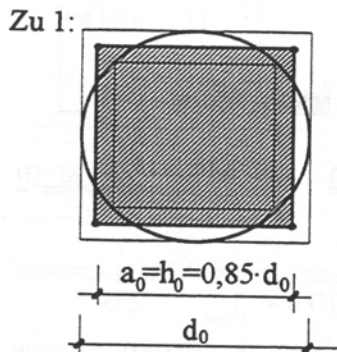
$$V = \frac{0,9 \cdot (4,3 + 36,1 + 7,3 + 2,3)}{0,20} = 225,0 \text{ kN}$$

Dies entspricht einer Streckenlast im Gebrauchszustand von $q = 29,3 \text{ kN/m}$.

6.7 Runde Stegausschnitte

Runde Stegausschnitte werden näherungsweise genauso behandelt wie rechteckige, obgleich das Tragverhalten bei kleineren runden Öffnungen ganz anders ist als bei großen rechteckigen. Anstelle eines Rahmenträgers im Bereich von rechteckigen Ausschnitten stellt sich bei runden eher ein Fachwerk ein. Der Nachweis von runden Stegausschnitten mit dem Rechenmodell nach Abschnitt 3.3 liefert jedoch gute Ergebnisse. Runde Stegausschnitte können wie folgt nachgewiesen werden:

1. Annäherung an die runde Ausschnittsform durch ein Quadrat, dessen Kantenlänge zwischen derjenigen eines ein- und eines umschriebenen Quadrates liegt: $a_0 = h_0 = 0,85 \cdot d_0$, oder
2. etwas günstiger durch ein einbeschriebenes Achteck. Hieraus ergeben sich zwei Ausschnitte mit unterschiedlichen Abmessungen, die beide nachgewiesen werden müssen.



7. Zusätzliche statische Nachweise und Hinweise auf die konstruktive Ausbildung

Hinweise auf Normen, Vorschriften und Richtlinien:

- Eurocode 4 [1]
- Eurocode 2 [2] (Nur in Bezug auf die Querkrafttragfähigkeit von Betonplatten)
- DIN 1055: Lastannahmen für Bauten (7/1978)
- DASt-Richtlinie 015 [15] (Nur in Bezug auf Kapitel 5: Mehrere Ausschnitte)

Werkstoffe:

- Beton: Festigkeitsklasse B 25 bis B 55 (C 20/25 bis C 35/45)
- Profilstahl: St 37 und St 52 bzw. Fe 360, Fe 430 und Fe 510
- Betonstahl: Stabstahl BSt 500 S (IV S)
- Verbundmittel: Kopfbolzendübel St 37-3 K, \varnothing 19 und 22 mm

Belastung:

- Die Bemessung gilt für vorwiegend ruhende Belastung.
- Werden Ausschnitte in Trägern, die nicht ruhend belastet sind, angeordnet, so sind die Ränder i.a. zu versteifen. Der Betriebsfestigkeitsnachweis kann dann z.B. mit dem örtlichen Konzept unter Verwendung von FEM-Programmen zur genauen Spannungsberechnung geführt werden.
- Direkt über dem Ausschnitt (Länge a_0) sowie rechts und links der Ausschnittsränder im Abstand der zweifachen Höhe ($2 \cdot h_0$) sollten keine konzentrierten Einzellasten angreifen. Dieser Mindestabstand sollte eingehalten werden, da über geringere Abstände keine Versuchserfahrungen vorliegen.
- Die für den Stegausschnitt maßgebenden Schnittgrößen ergeben sich beim Einfeldträger u.U. nicht nur aus der Vollbelastung, sondern eventuell aus der einseitigen Belastung, da die Querkraft in Feldmitte dann nicht mehr Null ist.

Nachweise:

- Die Teilsicherheitsbeiwerte sind entsprechend Eurocode 4 [1] anzusetzen.
- Der Nachweis im Bereich des Stegausschnittes erfolgt im Grenzzustand der Tragfähigkeit.
- Er ist nur für den Ausschnittsbereich gültig. Alle anderen für Verbundträger erforderlichen Nachweise müssen zusätzlich geführt werden.
- Die Überprüfung der b/t -Verhältnisse für eine plastische Bemessung erfolgt
 - nach Eurocode 4 [1] für Verbundquerschnitte und
 - nach Eurocode 3 oder DIN 18800 [5] für reine Stahlbereiche.

- Die Berechnung der Biegetragfähigkeiten an den Stellen ① bis ④ (siehe Bild 8) erfolgt unter Annahme einer vollplastischen Spannungsverteilung.
- Zur Berücksichtigung bestimmter ungünstig wirkender Einflüsse (Dehnungsbegrenzung am Rand von Betonquerschnitten, Ribbildung, Rechenmodell) sollte beim Nachweis der Tragfähigkeit an den Stellen ① bis ④ die Summe der plastischen Biegetragfähigkeiten nur zu 90% ausgenutzt werden (vgl. [1] bzw. [6]).

$$V \cdot a_0 \leq 0,9 \cdot \sum_{i=1}^4 M_{pl,N,V}^{①}$$

- Die gleichzeitig vorhandene Querkraft kann bei der Berechnung der Biegetragfähigkeiten an den Stellen ① bis ④ (im Unterschied zu den Regelungen des Eurocode 4) durch die Reduktion der Stegdicke berücksichtigt werden (das führt zu nur geringen Abweichungen im Ergebnis):

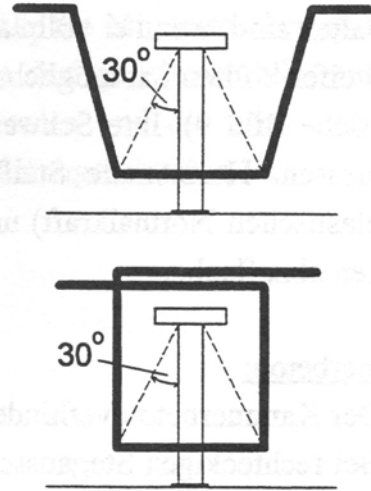
$$s_{red} = s \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{V}{V_{pl}} \right)^2}$$

- Ist der Verbundträger durch ein globales, negatives Biegemoment beansprucht, so
 - ist für den unteren Teilquerschnitt (Stelle ③/④) zusätzlich der Stabilitätsnachweis (Knicken, Biegedrillknicken) zu führen. Das ergibt gegebenenfalls die Notwendigkeit, Vertikalsteifen anzuordnen (Gabellagerung, Einspannung), die wegen der Durchstanzgefahr oben an der Stelle ① möglichst nicht eingepaßt werden sollten;
 - kann der Beitrag der Betonplatte zur Aufnahme der Querkraft i.a. vernachlässigt werden.

Verbundmittel:

- Die Berechnung der Tragfähigkeit der Kopfbolzendübel auf Schub erfolgt nach dem Eurocode 4 [1] unter Beachtung des nationalen Anwendungsdokuments [23].
- Aufgrund der Auflagertiefe der Restquerschnitte im ungeschwächten Verbundquerschnitt können mehr Kopfbolzen bei der lokalen Schubabtragung mitwirken, als direkt über dem Ausschnitt vorhanden sind (siehe [8]). Wegen der unterschiedlichen Steifigkeit des Betongurts unterscheidet sich die Auflagertiefe und somit die Dübelanzahl bei positiver bzw. negativer (globaler) Momentenbeanspruchung. Bei den in den Versuchen gewählten, äquidistanten Dübelabständen von ca. 15 cm konnten als maximale Dübelanzahl n_1 angesetzt werden:

- bei positiver Momentenbeanspruchung: $n_1 = a_0/e_1 + 4$,
- bei negativer " " : $n_1 = a_0/e_1 + 2$.
- Wird der Schub V_c in der Betonplatte in Rechnung gestellt, so sollten Kopfbolzen an der Stelle ② angeordnet werden, die über Zug diese Kraft V_c in die Betonplatte einleiten (siehe Bild 2). Da die Interaktion Schub-Zug nicht abschließend geregelt ist, sollten die Kopfbolzen für Zug zusätzlich angeordnet werden. Die Zugtragfähigkeiten könnten bei Vollplatten nach [14] und bei Holoribplatten nach [24] berechnet werden.
- Da die Zugtragfähigkeit der Kopfbolzen mit deren Länge zunimmt, sollten sie möglichst lang sein. Sie sollten mindestens so lang gewählt werden, daß sie in der lastabgewandten Seite der Platte verankert werden können (vgl. dazu z.B. Zulassungsbescheid für Nelson-Kopfbolzen). Am zuverlässigsten ist die kombinierte Verwendung von Kopfbolzen und Schlaufen (siehe die Bilder rechts).



Querkrafttragfähigkeit:

- Sowohl der Reststahlsteg als auch die Betonplatte stehen zur Querkraftaufnahme zur Verfügung. Schubbewehrung, die innerhalb der lokal mitwirkenden Plattenbreite $b_{m,1}$ angeordnet ist, darf rechnerisch mit herangezogen werden.

Stegausschnitt:

- Die Abmessungen des Stegausschnittes sind gemäß den folgenden Bedingungen, die die Grenzen des experimentell untersuchten Bereiches repräsentieren, zu begrenzen:

$$h_0 \leq 0,8 \cdot h_a$$

$$a_0 \leq 3,0 \cdot h_0$$

- Liegt die Öffnungsgröße im Bereich der Grenzabmessungen, so ist mit beträchtlichen Tragfähigkeitsverlusten gegenüber dem Träger ohne Stegausschnitte zu rechnen.
- Die Ecken von rechteckigen Stegausschnitten sind auszurunden. Der minimale Ausrundungsradius beträgt 30 mm.
- Es können auch mehrere Ausschnitte hintereinander angeordnet werden. Wenn keine Wechselwirkungen zwischen mehreren Ausschnitten berücksichtigt werden soll, sollte der Abstand zwischen den Rändern zweier benachbarter Aus-

- schnitte mindestens gleich der zweifachen Höhe ($2 \cdot h_0$) sein (in Anlehnung an [15]).
- Der Abstand zwischen zwei Ausschnitten kann verringert werden, wenn diese vertikal versteift werden. Wie in [15] dargestellt, ist der Restquerschnitt zwischen den Ausschnitten dann wie für einen Pfosten nach dem Vierendeel-Modell für die sekundären Biegemomente und die resultierende Schubkraft zu bemessen (vgl. dazu Abschnitt 6.6). Der Pfostenquerschnitt muß so dimensioniert sein, daß die b/t - und c/t -Verhältnisse für die Querschnittsklasse 1 eingehalten sind, wenn er vollplastisch ausgenutzt wird.
 - Steifen sollten i.a. möglichst nahe am Rand des Ausschnitts angeordnet werden (siehe Bild 9). Ihre Schweißnähte entlang der Flanken sind auf Schub zu bemessen. Horizontale Steifen sind ausreichend vorzubinden (Einleitung der plastischen Normalkraft) und an den Enden zur Minderung der Kerbspannungen abzuflachen.

Kammerbeton:

- Der Kammerbeton verhindert das Beulen des Steges (vgl. [1]).
- Bei rechteckigen Stegausschnitten sollten zusätzlich horizontale Steifen vorgesehen werden, um örtliches Betonversagen an den Stellen ③ und ④ (plastische Gelenke mit großen Verformungen) zu verhindern. Andernfalls ist elastisch mit Dehnungsbegrenzung zu bemessen, oder der Kammerbeton bleibt rechnerisch unberücksichtigt.

Weitere konstruktive Hinweise:

- Je höher die Öffnung im Stahlträger angeordnet ist, desto größer ist im allgemeinen die Tragfähigkeit im Bereich des Stegausschnittes (siehe [6]). Die exzentrisch nach oben verschobene Öffnung hat weiterhin den Vorteil, daß dann i.a. die c/t -Verhältnisse des oberen Reststeges leichter eingehalten werden können.
- Zur Vermeidung einer frühzeitigen Ribbildung sollte über dem Ausschnitt im Betongurt eine ausreichende Längs- und Querbewehrung vorgesehen werden, und zwar insbesondere an der Stelle ①, also dort, wo sich das lokale negative Biegemoment bildet.
- Folgende Verstärkungsmaßnahmen wirken sich günstig auf die Tragfähigkeit aus:
 - horizontale Steifen (siehe Bild 9 auf Seite 20),
 - vertikale Steifen (Verhinderung des Beulens, Gabellagerung gegen Biegedrillknicken),

- höherer Längsbewehrungsgrad,
 - stärkere Verdübelung (falls maßgebend),
 - längere Dübel (falls maßgebend),
 - dickerer Aufbeton.
- Werden statt Betonplatten mit unterbrochener Verbundfuge Vollplatten angeordnet, so wirkt sich dies ebenfalls günstig auf die Tragfähigkeit aus, da dann die gesamte Dicke der Platte in Rechnung gestellt werden kann.
 - Grundsätzlich sollte bei allen unversteiften Öffnungen ein Stabilitätsnachweis geführt werden. Dieser kann in vielen Fällen über die Minstdicken (b/t-Verhältnisse) geführt werden. Bei dünnen Blechen darf gegebenenfalls nicht mit der vollen Momentenumlagerung gerechnet werden und die Bemessung der Restquerschnitte kann nicht mehr vollplastisch durchgeführt werden.

8. Normen und Literatur

- [1] DIN V ENV 1994 Teil 1-1, Eurocode 4: Bemessung und Konstruktion von Verbundtragwerken aus Stahl und Beton, Teil 1: Allgemeine Bemessungsregeln, Bemessungsregeln für den Hochbau (2/1994)
- [2] DIN V ENV 1992 Teil 1-1, Eurocode 2: Planung von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken, Teil 1: Grundlagen und Anwendungsregeln für den Hochbau (6/1992)
- [3] Eurocode No. 3 Part 1.1, Annex N - Opening in webs. Final draft (3/1994)
- [4] Richtlinien für die Bemessung und Ausführung von Stahlverbundträgern. (3/1981)
- [5] DIN 18800 Teil 1-3: Stahlbauten (11/1990)
- [6] * Bode, H., Stengel, J.: Verstärkte Stahlverbundträger für den Industriebau mit großen Stegöffnungen. Schlußbericht zum AiF-Forschungsvorhaben Nr. 8173, Universität Kaiserslautern, Fachgebiet Stahlbau (7/1993)
- [7] Bode, H., Künzel, R.: Stahlverbundträger mit großen Stegöffnungen. Abschlußbericht zum DFG-Forschungsvorhaben Bo 733/6-1, Universität Kaiserslautern, Fachgebiet Stahlbau (1991)
- [8] Bode, H., Stengel, J., Künzel, R.: Stahlverbundträger mit großen Stegausschnitten. Stahlbau Heft 1 und 2 (1994)
- [9] Darwin, D., Donahey, R. C.: Performance and Design of Composite Beams with Web Openings. AISC Research Project 21.82. Structural Engineering and Engineering Materials, SM Report No. 18 (1986)
- [10] Darwin, D.: Steel and Composite Beams with Web Openings. Steel Design Guide Series 2, AISC (1989)
- [11] Lawson, R. M.: Design for Openings in the Webs of Composite Beams. SCI Publication 068 (1987)
- [12] Lange, J., Kurz, W.: Verbundträger mit unausgesteiften Stegausschnitten. Stahlbau 59, S. 123-125 (4/1990)
- [13] Bode, H., Hanenkamp, W.: Zur Tragfähigkeit von Kopfbolzen bei Zugbeanspruchung. Bauingenieur 60 (1985)
- [14] Eligehausen, R.: Tragverhalten von Kopfbolzenverankerungen bei zentrischer Zugbeanspruchung. Bauingenieur 67, S. 183-196 (1992)
- [15] DASt-Richtlinie 015: Träger mit schlanken Stegen (1990)
- [16] Sahmel, P.: Konstruktive Ausbildung und Näherungsberechnung geschweißter Biegeträger und Torsionsstäbe mit großen Stegausnehmungen. Schweißen und Schneiden, S. 116-122 (3/1969)

- [17] Schories, K.: Berechnung schlanker Stegbleche mit rechteckigen Öffnungen. Stahlbau, S. 26-28 (1/1986)
- [18] Schories, K.: Berechnung schlanker Stegbleche mit rechteckigen und ausmittigen Öffnungen. Stahlbau Heft 1 und 7 (1986)
- [19] Bode, H.: Stub-Girder cut steel use - die neue Bauweise? Kurzbericht, Der Bauingenieur 56 (1981)
- [20] Bode, H.: Schubtragfähigkeit des Stub-Girder Systems. Stahlbau 55 (1986)
- [21] Kanning, W.: Merkblatt Nr. 361 der Beratungsstelle für Stahlanwendung: Wabenträger.
- [22] Stahl-Information-Zentrum: Brandschutztechnische Konstruktion und Bemessung von Stahlverbundbauteilen. Merkblatt 117, 1. Auflage (1991)
- [23] DASt-Richtlinie 104: Anwendungsrichtlinie für den Eurocode 4 (2/1994)
- [24] Bode, H., Künzel, R.: Zur Traglast von Verbundträgern unter besonderer Berücksichtigung einer nachgiebigen Verdübelung. Abschlußbericht zum DFG-Forschungsvorhaben Bo 733/3-2, Universität Kaiserslautern, Fachgebiet Stahlbau (1988)

* Das Forschungsprojekt P197 wurde im Auftrag der Studiengesellschaft Stahlanwendung e.V., Düsseldorf, durchgeführt. Der Forschungsbericht umfaßt 210 Seiten und enthält 278 Abbildungen/Tabellen. Gegen eine Schutzgebühr in Höhe von DM 50,- kann der Bericht bestellt werden.

Verlag und Vertriebsgesellschaft mbH, Postfach 105127, 40042 Düsseldorf, Faxnr. 0211 /829-518

9. Schluß

Bei Geschoßdecken in Stahlverbundbauweise läßt sich die horizontale Leitungsführung durch die Anordnung von Stegausschnitten in den Decken- und/oder Hauptträgern optimieren. Dadurch werden jedoch statische Zusatznachweise erforderlich. Sie sind Teil dieser Technischen Dokumentation.

Auf der Grundlage von Ergebnissen aus mehreren Forschungsprojekten wurde ein auf der Stabwerkstheorie basierendes Rechenmodell entwickelt, mit dem sich die Versagensart und die Tragfähigkeit von Verbundträgern mit Stegausschnitten berechnen läßt. Mit diesem Modell wurden auf der Grundlage des Eurocode 4 Diagramme erstellt. Sie ermöglichen im Rahmen eines definierten Parameterbereiches (vgl. Seite 19) eine schnelle Vorbemessung und geben für alle M/V-Verhältnisse die Biege- und Querkrafttragfähigkeiten in Ausschnittsmitte an.

Die Vorbemessung kann auch mit Hilfe der Tabellen durchgeführt werden. Sie geben zwar nur für drei verschiedene Beanspruchungskombinationen die Tragfähigkeiten wieder, gestatten jedoch eine gezielte Verstärkung des Ausschnittes, da die entsprechende rechnerische Versagensart angegeben wird.

Die ausführliche Berechnung von Hand, die in allen Einzelschritten dargestellt ist, beinhaltet sowohl wichtige konstruktive Regeln als auch die zusätzlich erforderlichen statischen Nachweise.

BAUEN MIT STAHL e.V.

Sohnstraße 65 • 40237 Düsseldorf
Postfach 10 48 42 • 40039 Düsseldorf
Telefon (0211) 6707-828
Telefax (0211) 6707-829
Internet www.bauen-mit-stahl.de
E-mail zentrale@bauen-mit-stahl.de