

Technische Dokumentation 603
Kurzfassung

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-Information-Zentrum

0. Inhaltsverzeichnis

0.	Inhaltsverzeichnis.....	1
1.	Einleitung und Problemstellung.....	2
2.	Bezeichnungen.....	3
3.	Bemessungshilfen.....	4
4.	Anwendungsbeispiel.....	20
5.	Zusatznachweise des Tragwerksplaners.....	21
6.	Schluß.....	21
7.	Literatur.....	22

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.

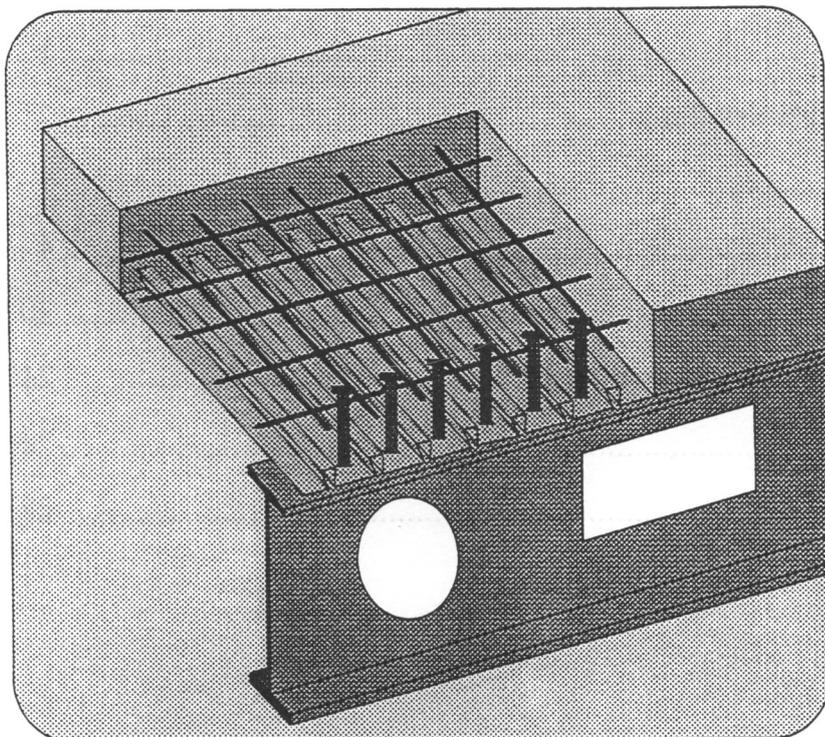


Bild 1: Geschosdecke mit Stegausschnitten

Sieht man eine Geschosdecke 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.

Nachfolgend sind Diagramme aufgestellt, mit deren Hilfe verschiedenen Ausschnittsanordnungen die maximalen Schnittgrößen, wie das Biegemoment M_D und Querkraft V_D in Ausschnittsmitte zugeordnet werden können. In den Diagrammen sind die Zusatzbeanspruchungen, die aus den Stegausschnitten resultieren, bereits berücksichtigt.

Die den Diagrammen zugrunde liegenden Stegausschnitte sind in jedem Fall realisierbar. Allerdings muß der Tragwerksplaner bei der endgültigen Detaillierung des Öffnungsbereiches ergänzende Nachweise führen. Diese betreffen unter anderem das Stegbeulen, die Dübelverteilung und die Bewehrungsführung im Betongurt. Damit sind auch unter Umständen konstruktive Maßnahmen, wie die Anordnung von Lochrandverstärkungen verbunden. Sie ändern jedoch in aller Regel nicht die Lage, Form und Größe der vorgesehenen Stegausschnitte.

2. Bezeichnungen

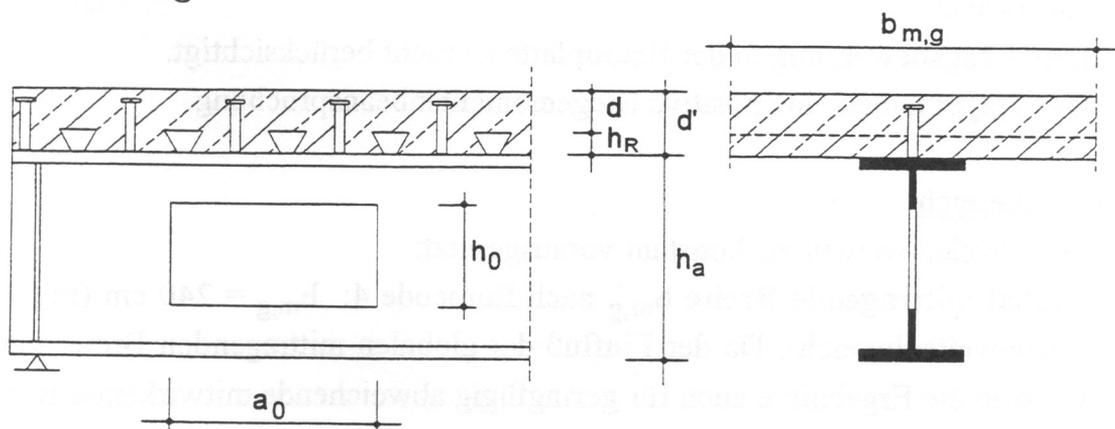


Bild 2: Bezeichnungen

a_0	Länge des Stegausschnittes	d	Dicke über den Sicken
$b_{m,g}$	tatsächliche, aber nicht mehr als die mittragende Breite des Betongurtes	h_a	Höhe des Stahlprofils
d'	Gesamtdicke der Betonplatte	h_0	Höhe des Stegausschnittes
		h_R	Rippenhöhe des Profilbleches

3. Bemessungshilfen

Mit Hilfe des EDV-Programms "TMA" [6,7] wurde die Tragfähigkeit von verschiedenen Verbundträgern mit Stegausschnitten ermittelt. Die Ergebnisse wurden anschließend in insgesamt 24 Diagrammen dargestellt (Seite 7-18). Die Biegetragfähigkeit M_{Rd} und die Querkrafttragfähigkeit V_{Rd} sind Bemessungswerte der Tragfähigkeit nach Eurocode 4 [1]. Sie wurden auf die Mitte der Stegausschnitte bezogen. Die gleichzeitig wirkenden Bemessungsschnittgrößen M_d und V_d (früher Q_d) dürfen diese Tragfähigkeiten nicht überschreiten. Die Gebrauchsschnittgrößen M und V werden ermittelt, indem man die Bemessungswerte M_d und V_d vereinfacht durch den Faktor 1,5 dividiert:

$$M \cong \frac{M_d}{1,5} \quad ; \quad V \cong \frac{V_d}{1,5}$$

Auf diese Weise können auch die gleichzeitig auftretenden, zulässigen Schnittgrößen M und V (früher Q) ermittelt werden. Damit ist es möglich, die maximale Größe des Ausschnittes auch dann abzuschätzen, wenn nach anderen Normen, wie z.B. nach der Verbundträger-Richtlinie [4] zusammen mit DIN 18800 [5] bemessen wird.

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 Ø 22/150**. Die Dübeltragfähigkeit wurde nach der DASt-Richtlinie 104 (Anwendungsrichtlinie für den Eurocode 4), Ausgabe 2/1994 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 3). Die Querschnittsfläche der Steifen entspricht der des Stegausschnittes ($A_{\text{Steife}} = h_0 \cdot s$). Die Dicke der Steifen ist gleich der Flanschdicke ($b_{\text{Steife}} = b_{\text{fl}}$).

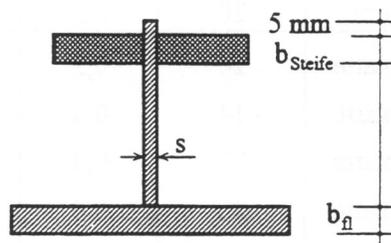


Bild 3: Versteifter unterer Restquerschnitt

Die nachfolgenden Diagramme basieren auf den zuvor aufgeführten Parametern. Sind diese Parameter nicht eingehalten, so ist ein genauere Nachweis zu führen (siehe [8]).

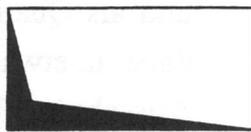
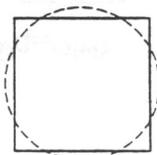
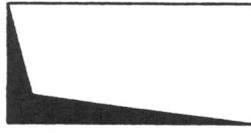
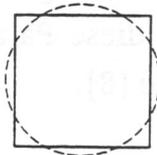
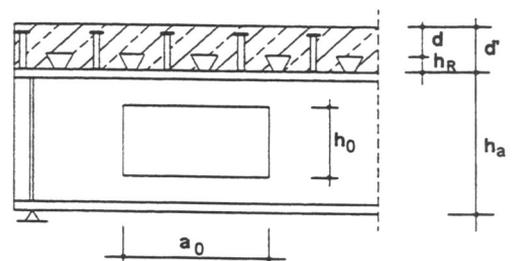
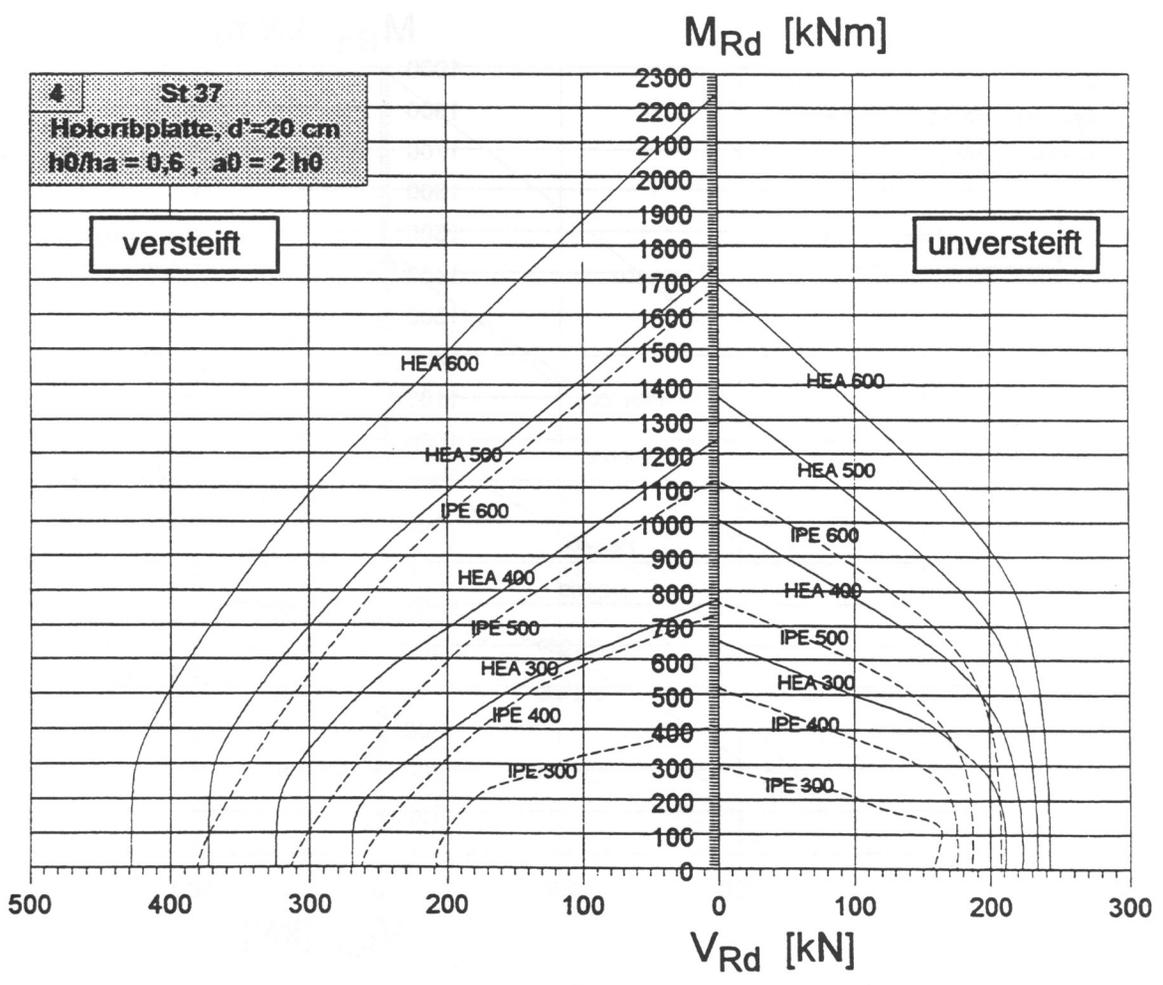
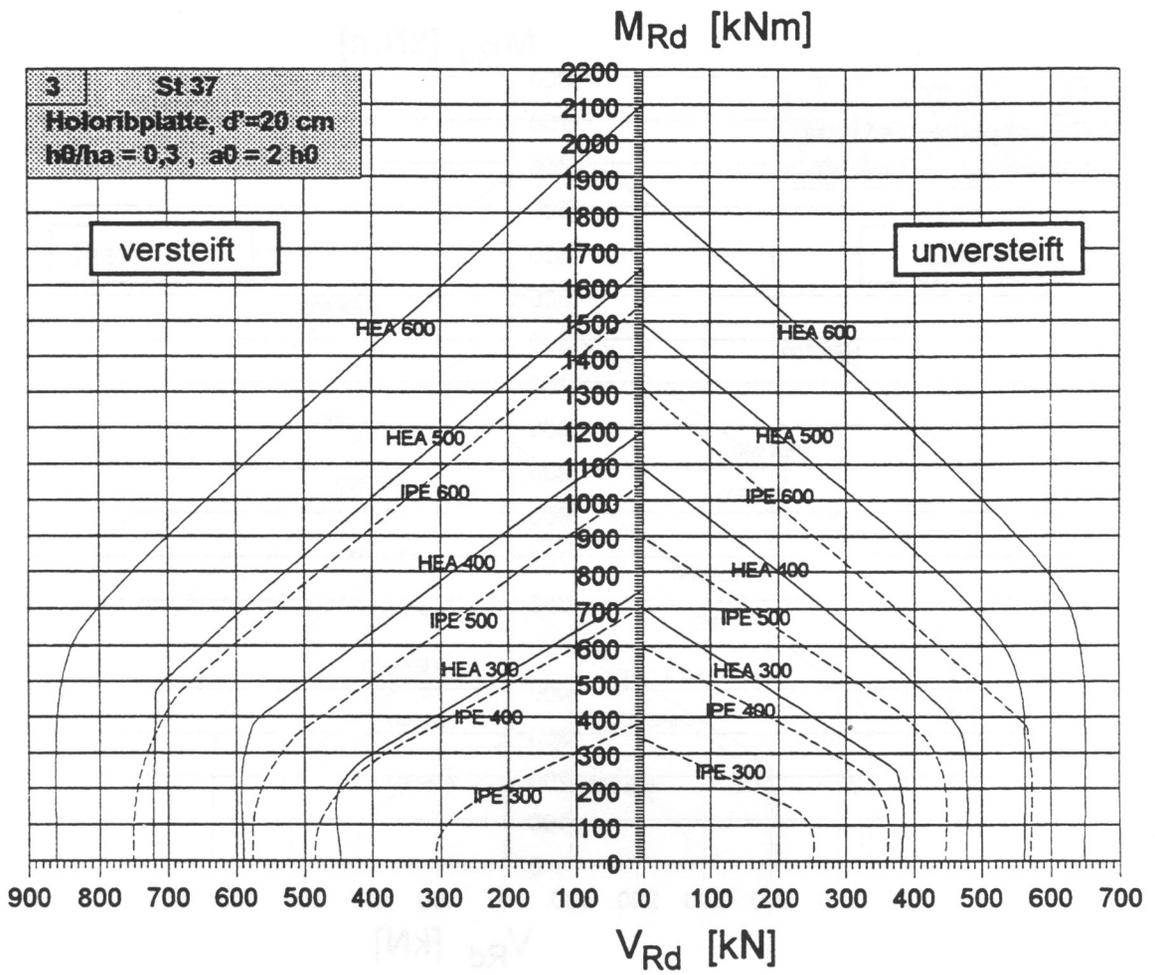
Nr.	Stahl- sorte	Deckenplatte		Stegausschnitt		
		Typ	Dicke d' [cm]	h_0 / h_a	a_0 / h_0	Skizze
1	St 37	Holoribplatte	14	0,3	2	
2	St 37	Holoribplatte	14	0,6	2	
3	St 37	Holoribplatte	20	0,3	2	
4	St 37	Holoribplatte	20	0,6	2	
5	St 37	Vollplatte	14	0,3	2	
6	St 37	Vollplatte	14	0,6	2	
7	St 37	Vollplatte	20	0,3	2	
8	St 37	Vollplatte	20	0,6	2	
9	St 37	Holoribplatte	14	0,5	1	
10	St 37	Holoribplatte	20	0,5	1	
11	St 37	Vollplatte	14	0,5	1	
12	St 37	Vollplatte	20	0,5	1	
13	St 52	Holoribplatte	14	0,3	2	
14	St 52	Holoribplatte	14	0,6	2	
15	St 52	Holoribplatte	20	0,3	2	
16	St 52	Holoribplatte	20	0,6	2	
17	St 52	Vollplatte	14	0,3	2	
18	St 52	Vollplatte	14	0,6	2	
19	St 52	Vollplatte	20	0,3	2	
20	St 52	Vollplatte	20	0,6	2	
21	St 52	Holoribplatte	14	0,5	1	
22	St 52	Holoribplatte	20	0,5	1	
23	St 52	Vollplatte	14	0,5	1	
24	St 52	Vollplatte	20	0,5	1	

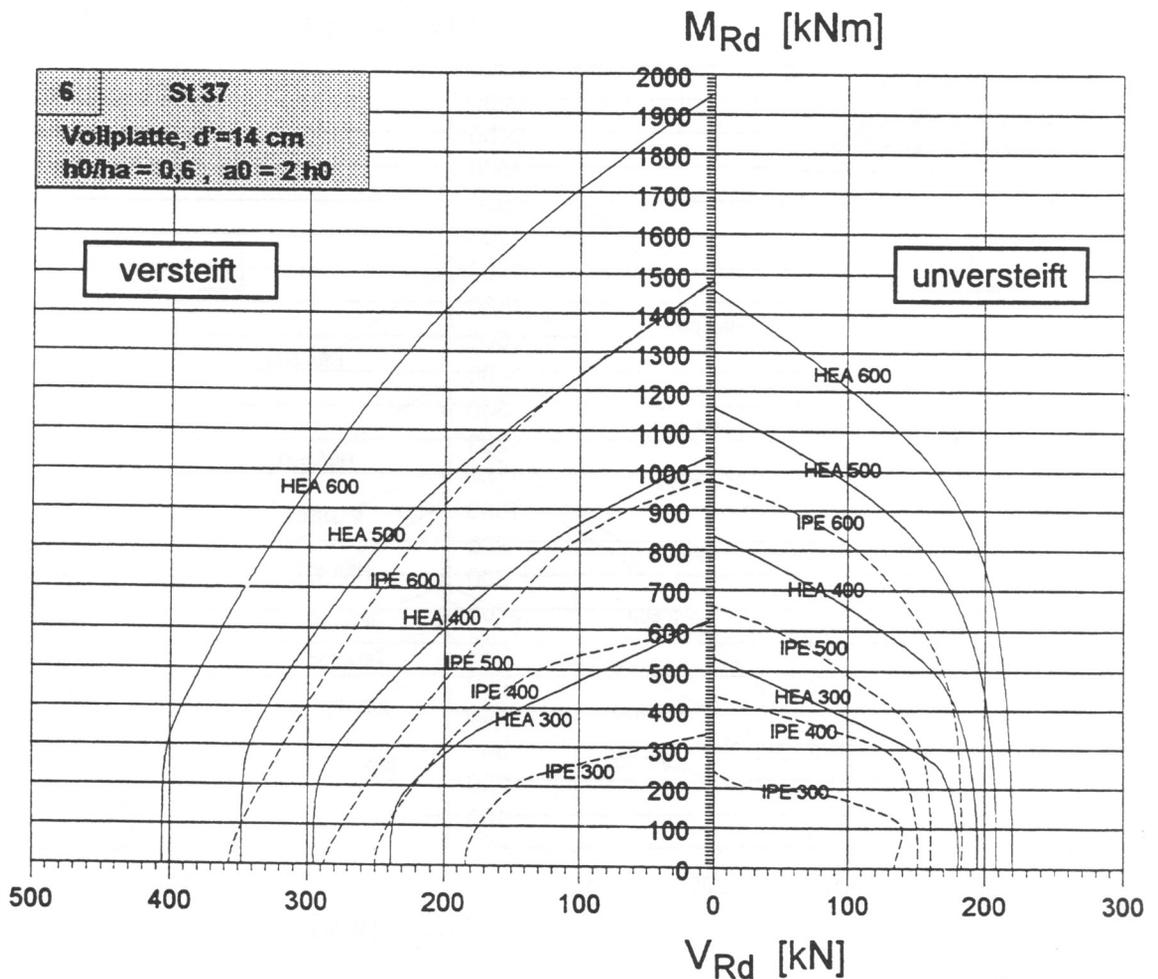
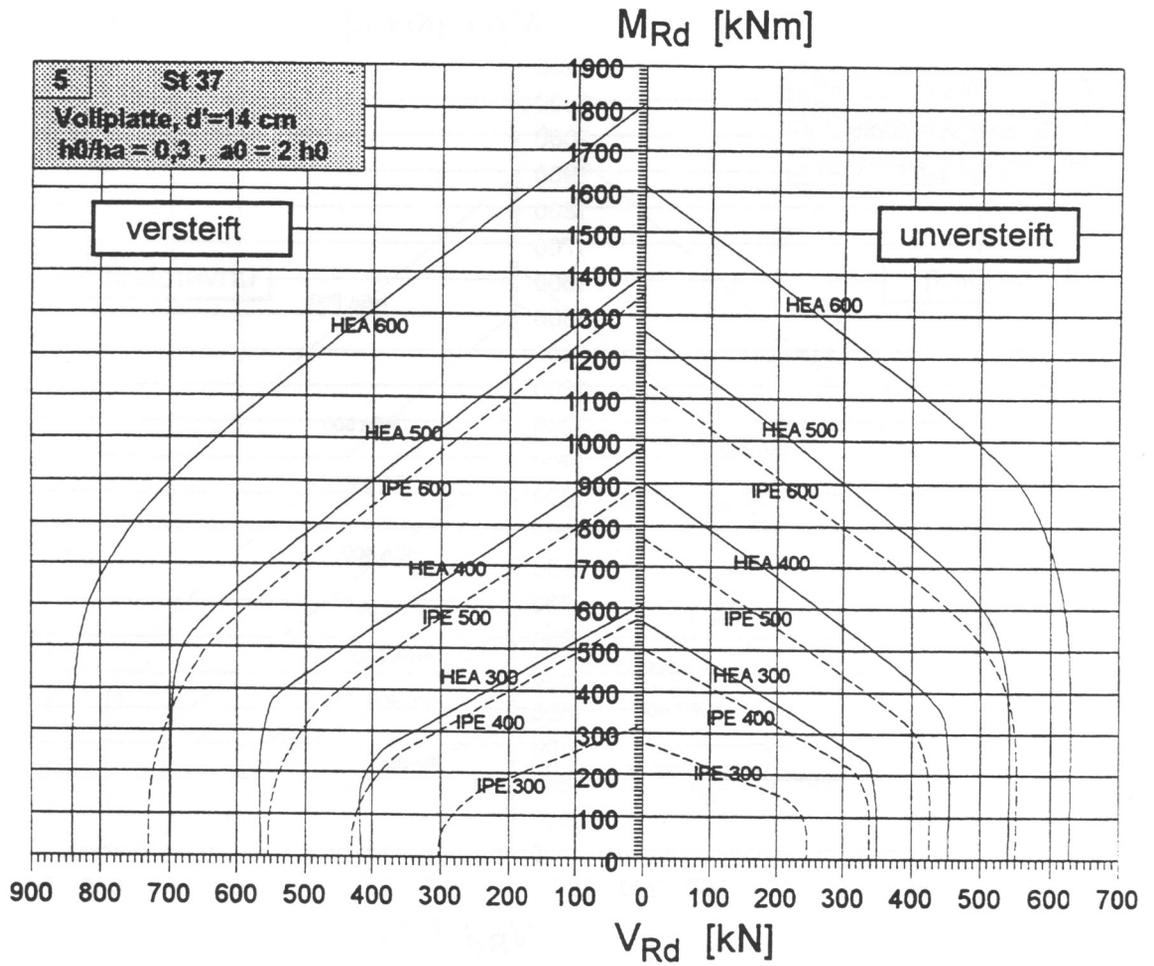
Tabelle 1: Übersicht der Diagramme

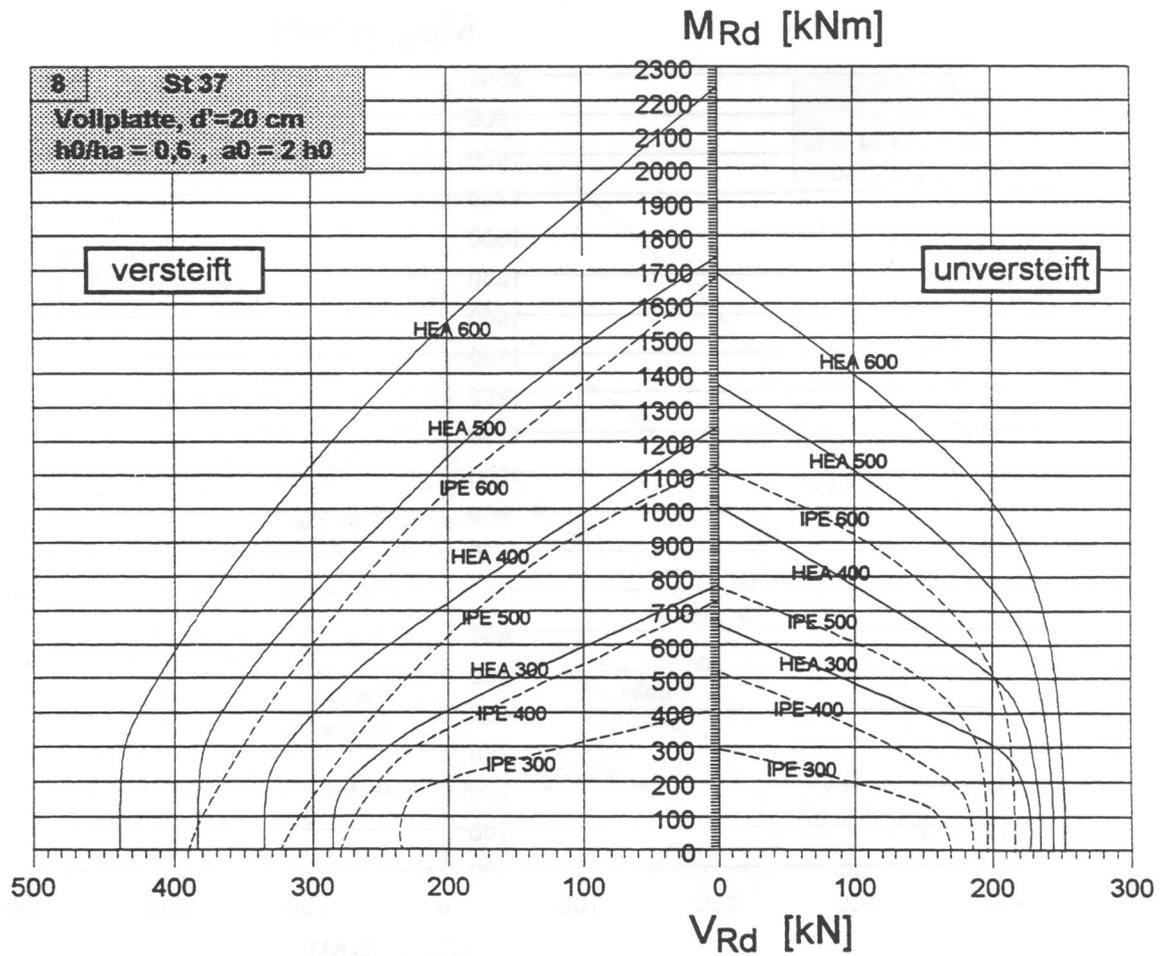
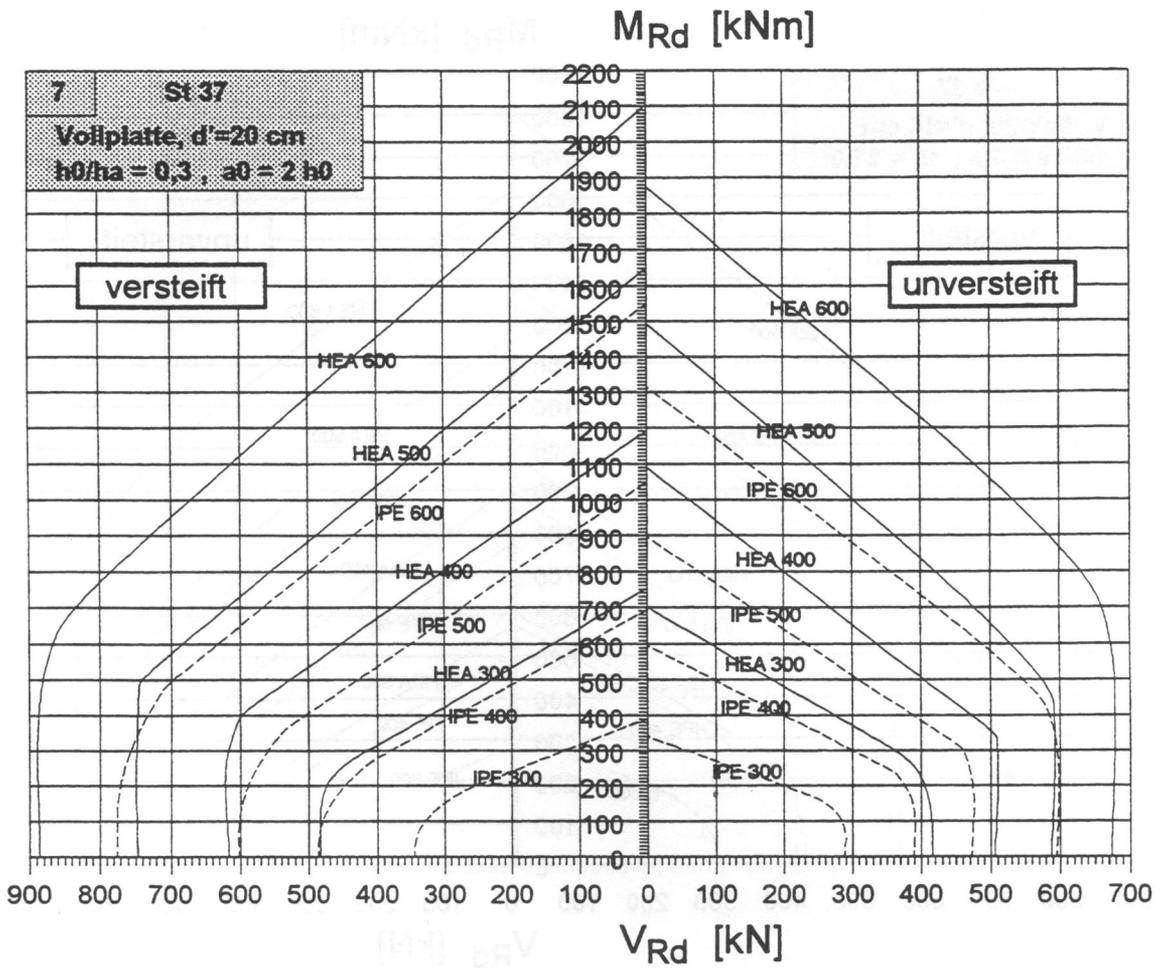
$h_0 / h_a = \text{Verhältnis Öffnungshöhe/Trägerhöhe}$

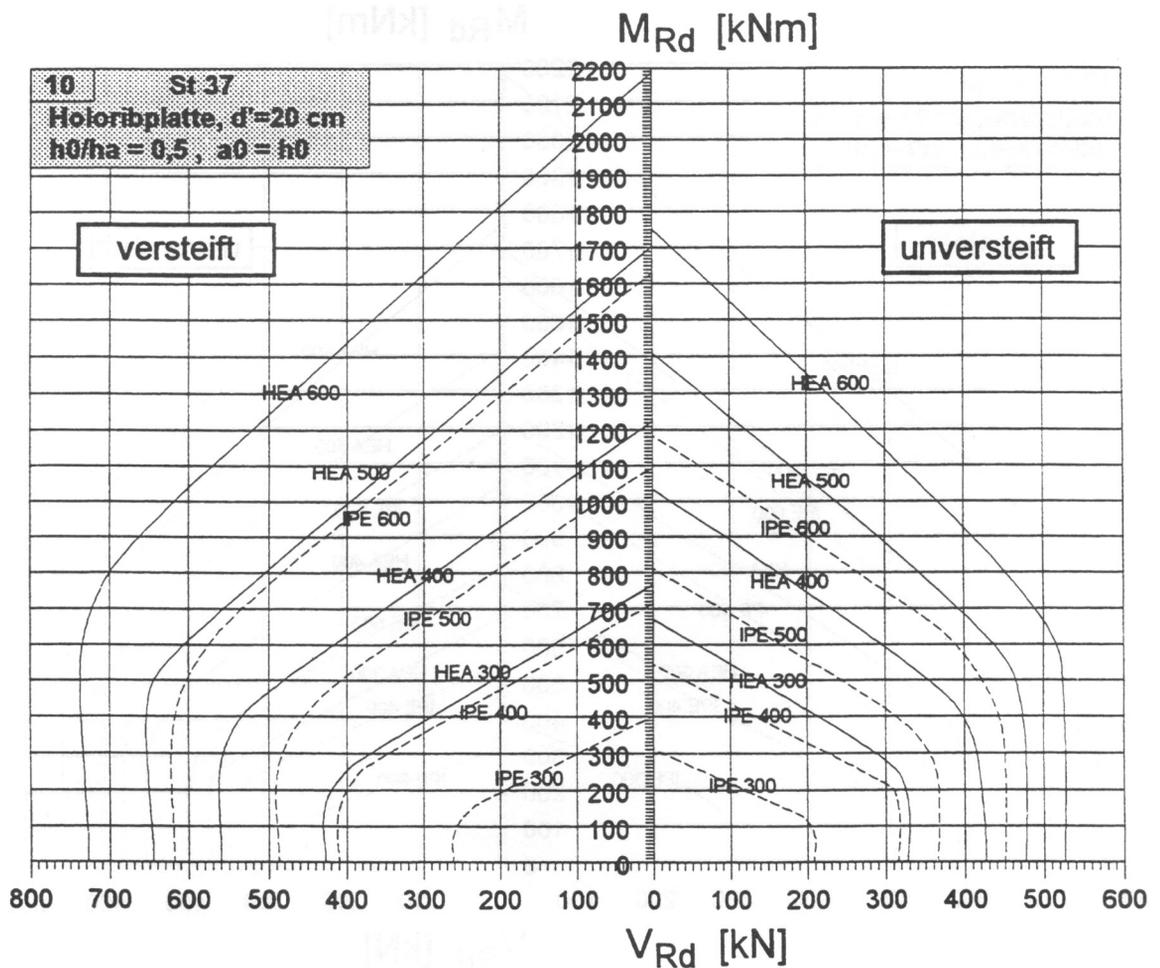
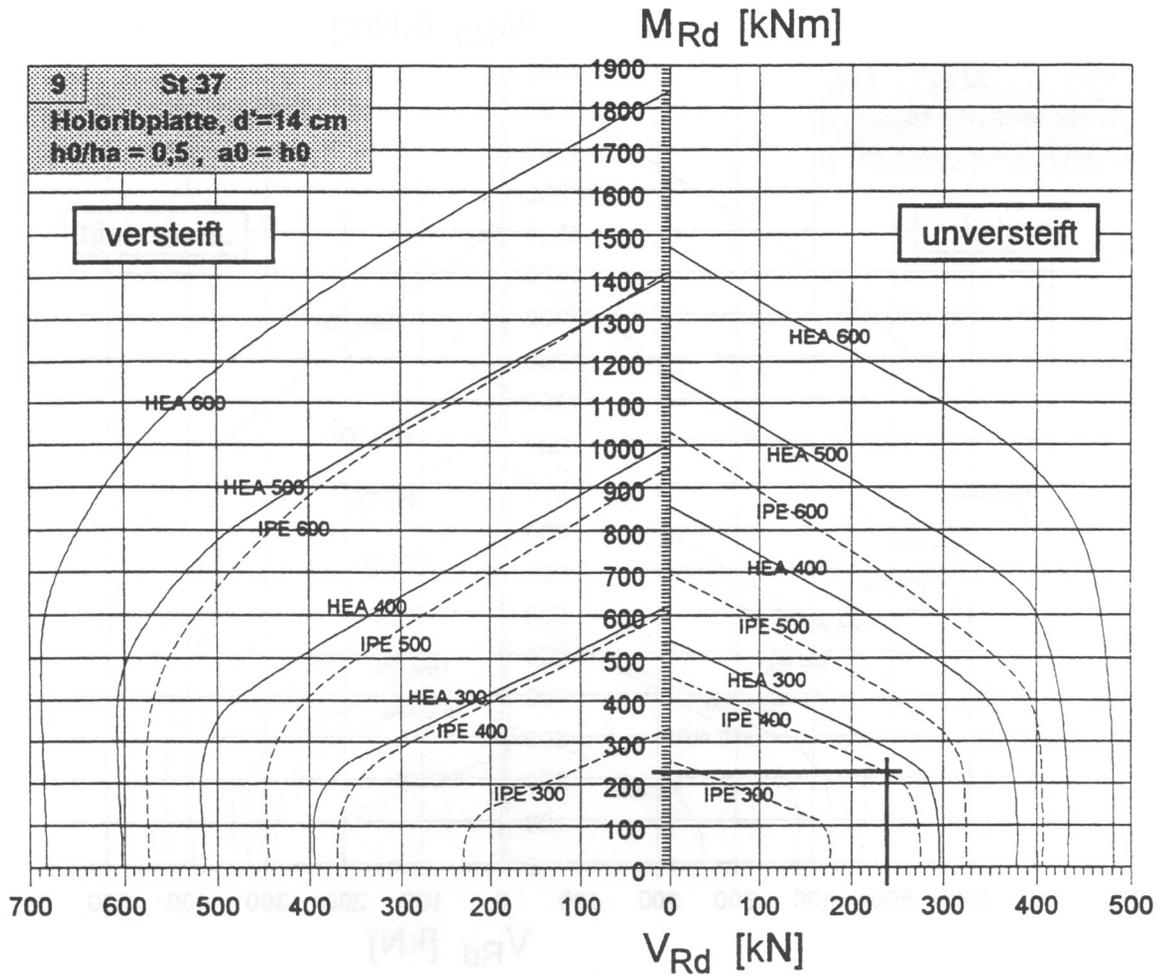
$a_0 / h_0 = \text{Verhältnis Öffnungslänge/Öffnungshöhe}$

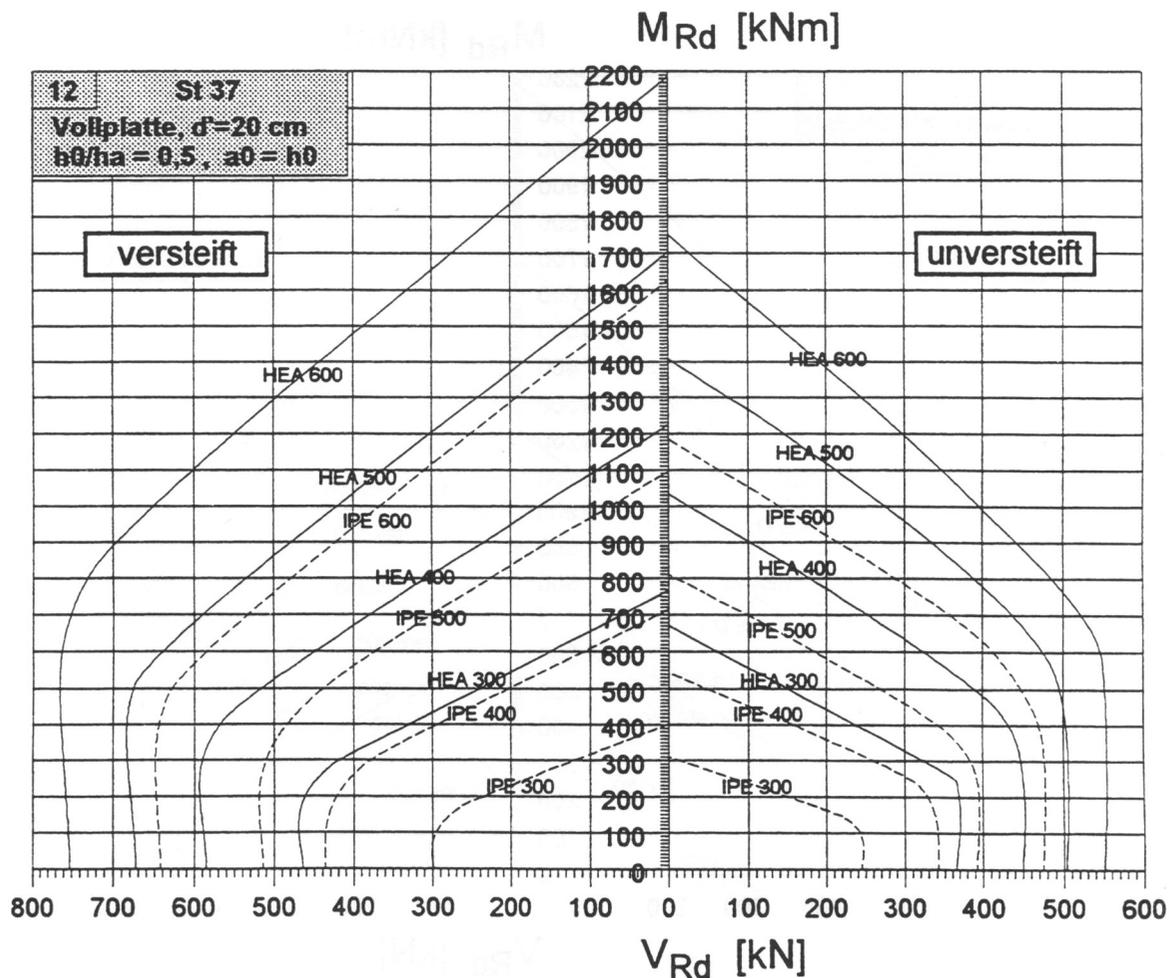
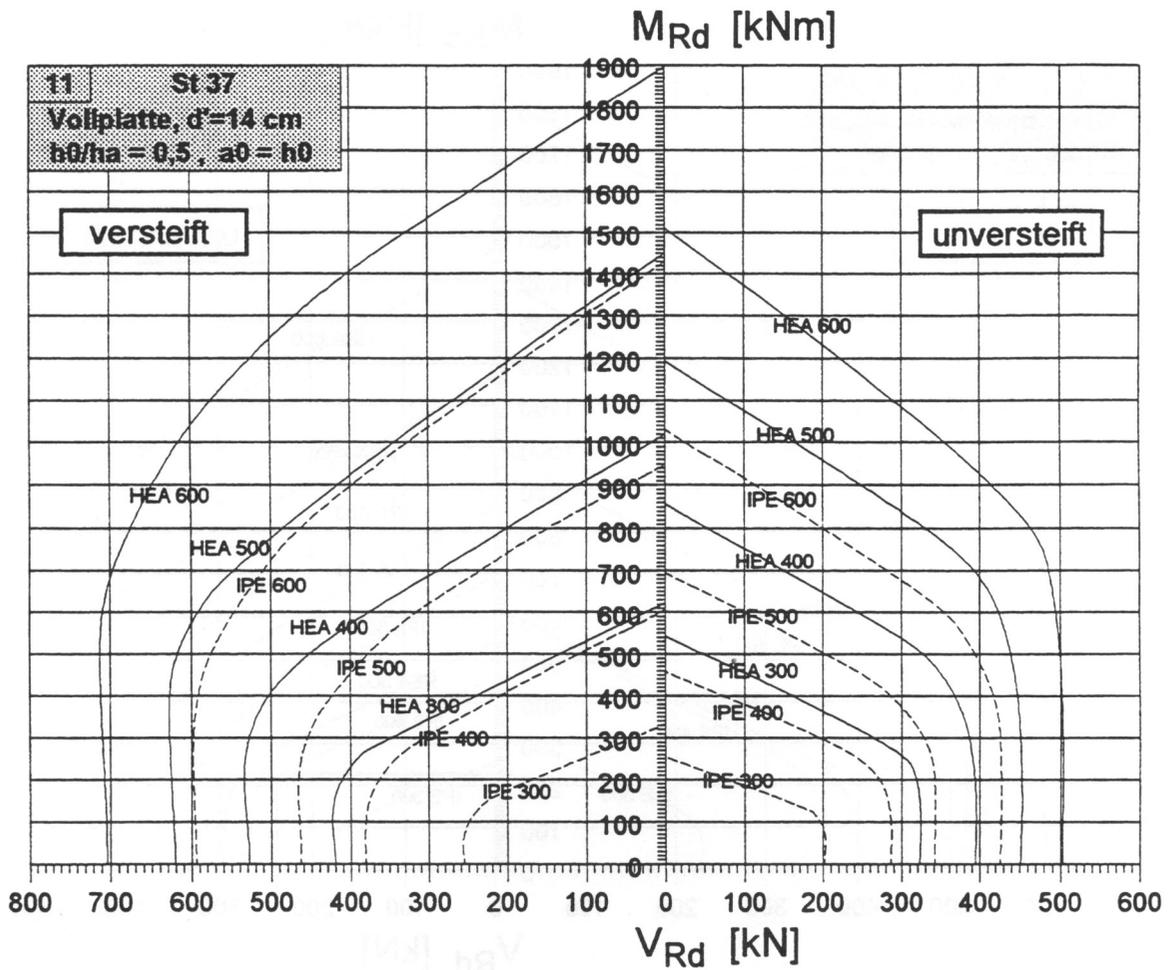


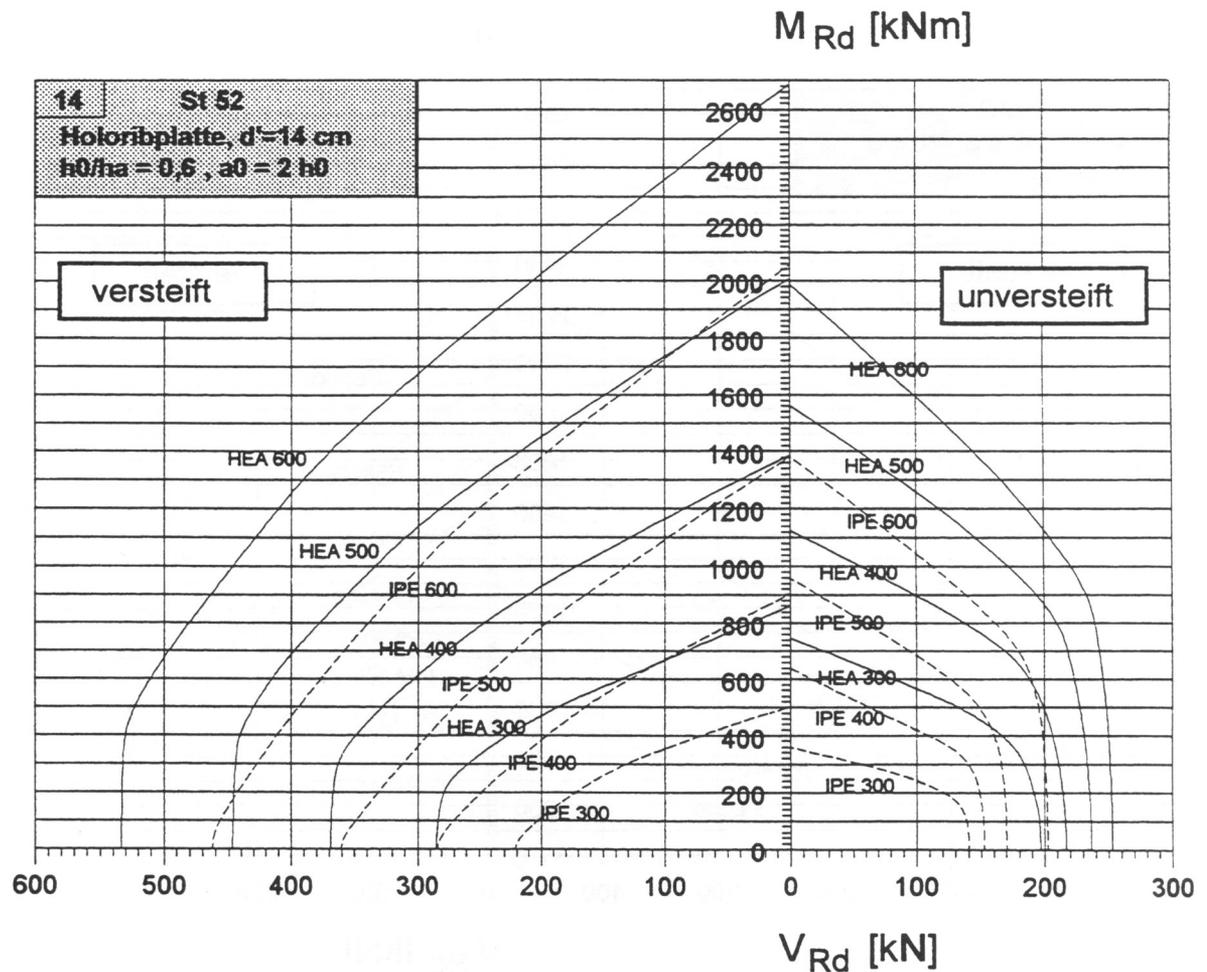
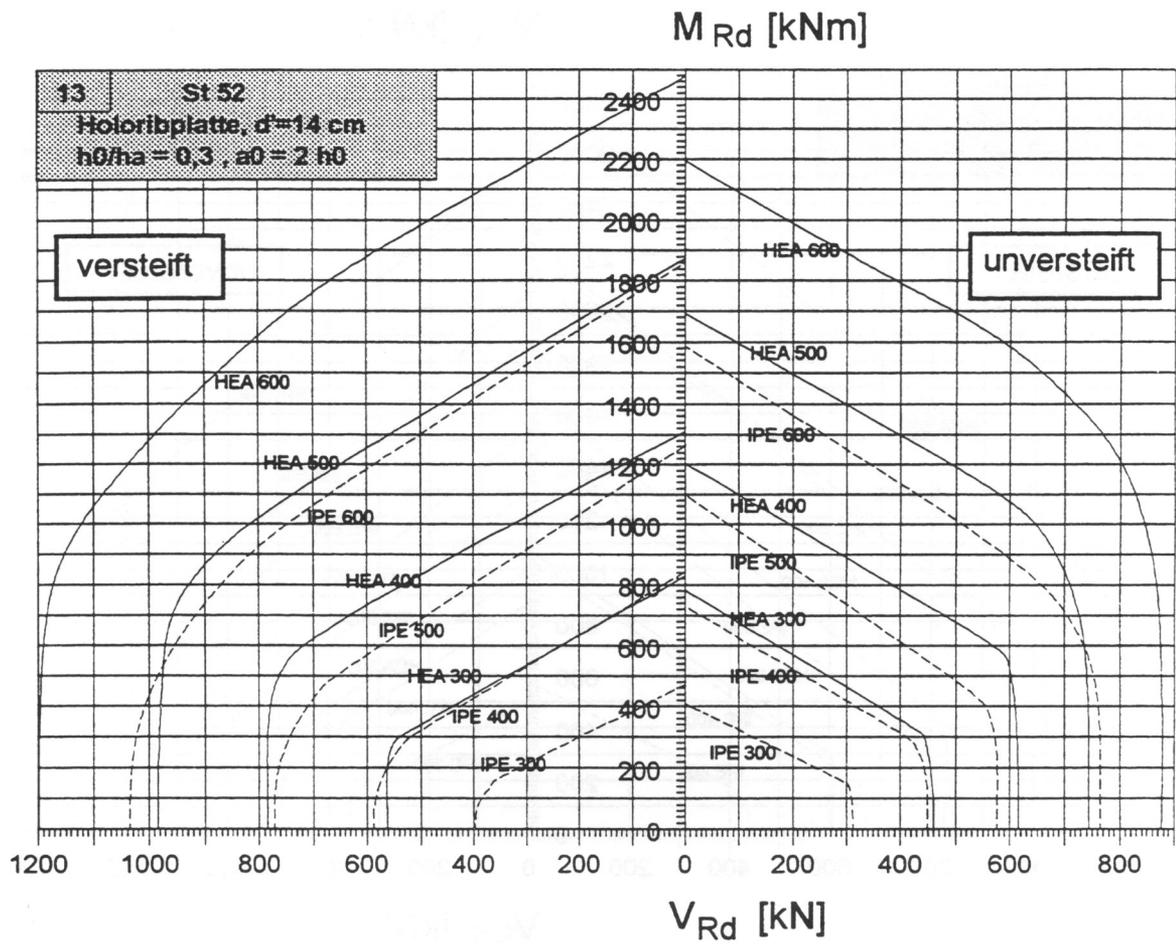




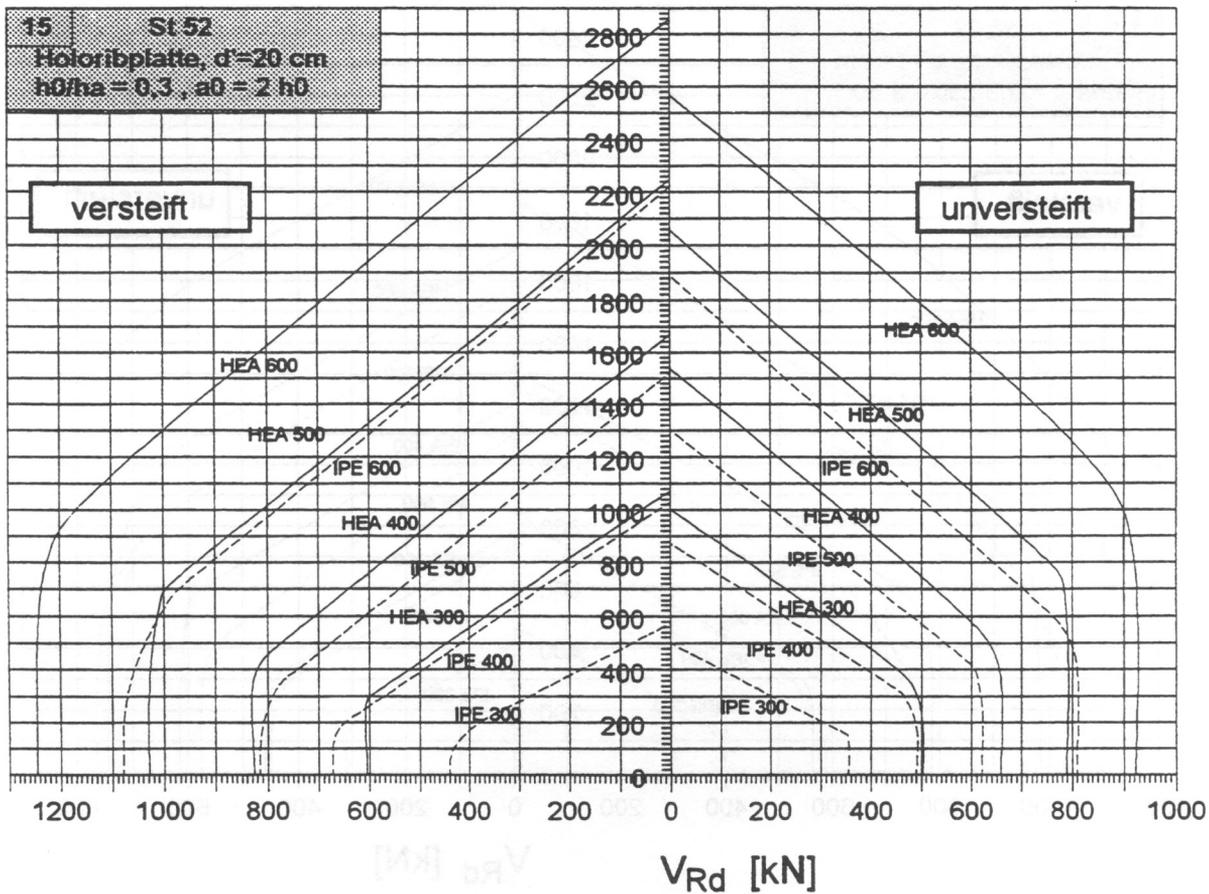




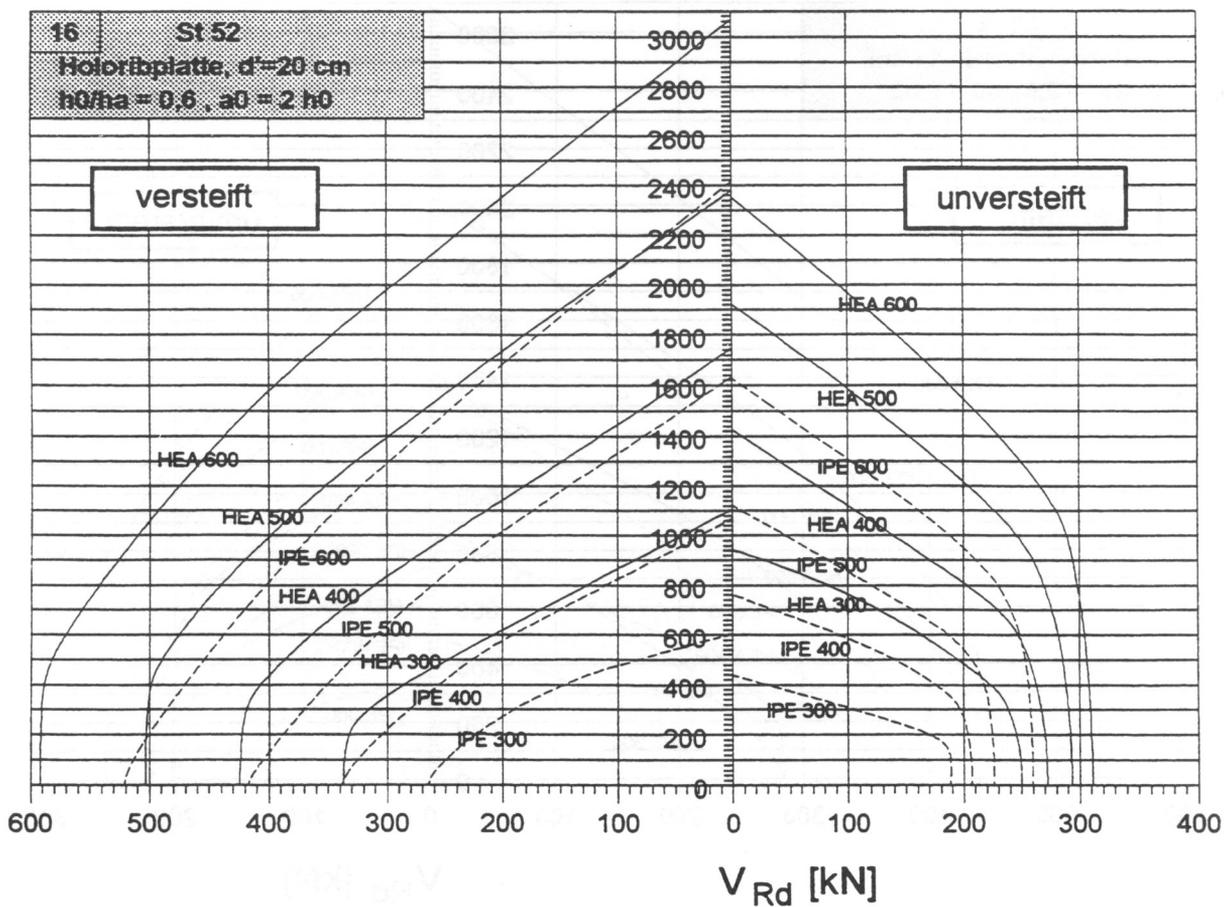


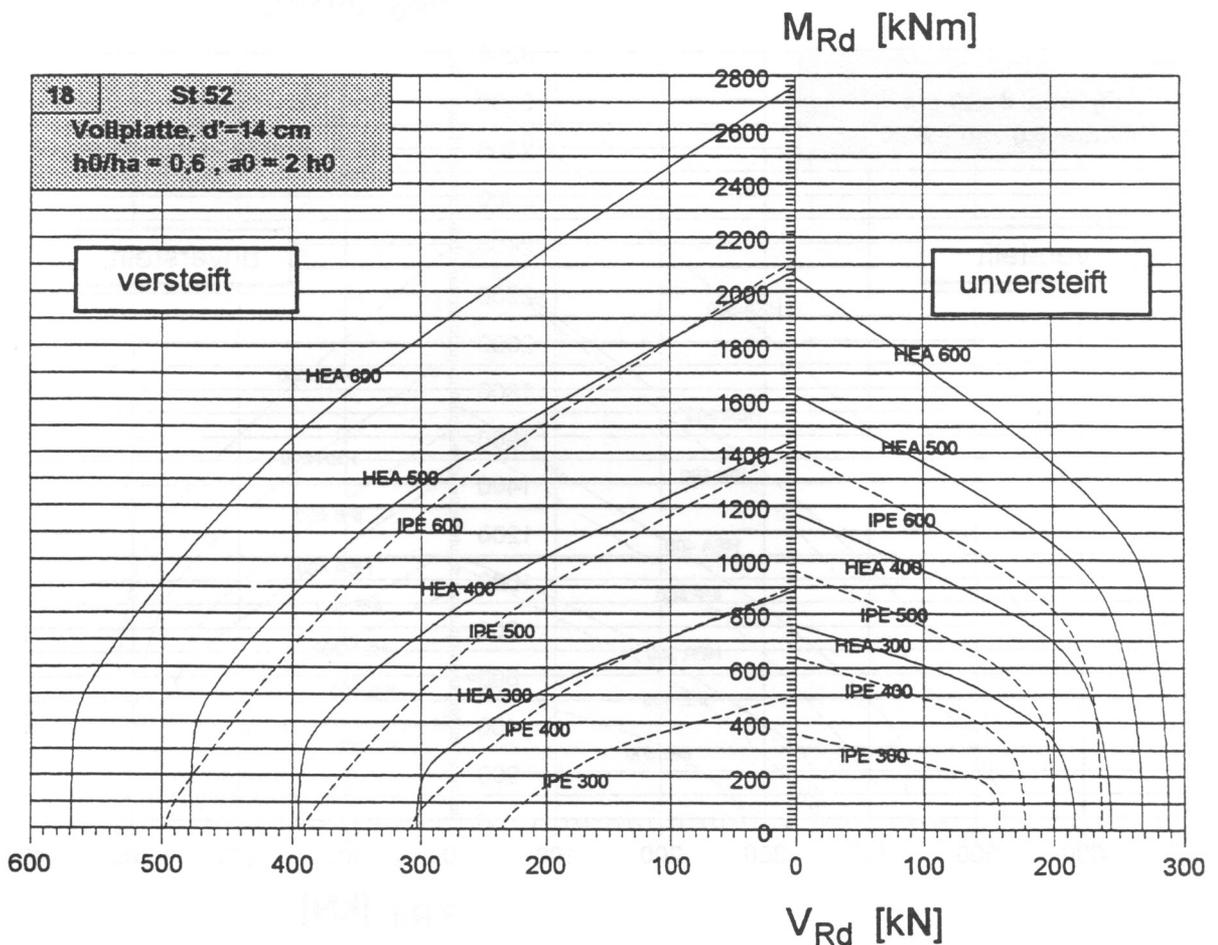
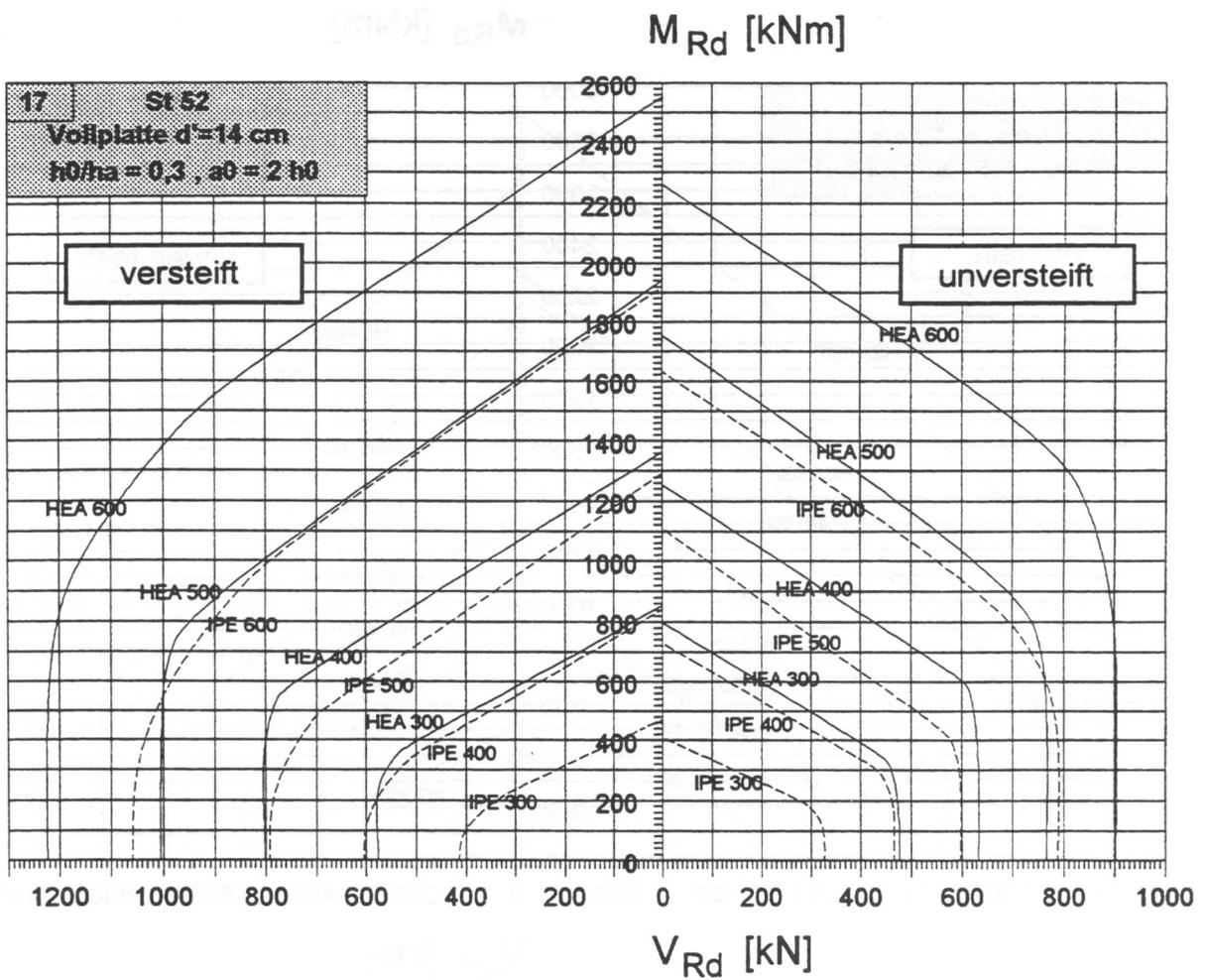


M_{Rd} [kNm]

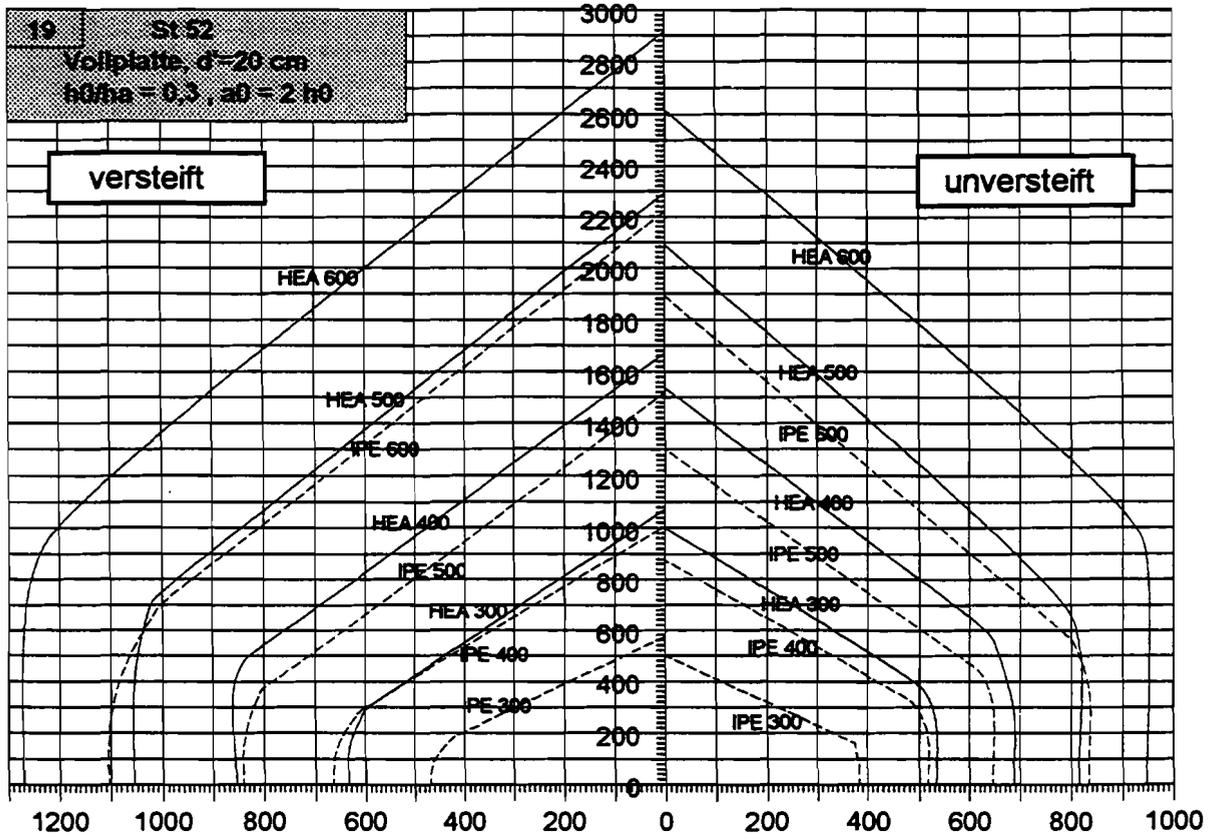


M_{Rd} [kNm]



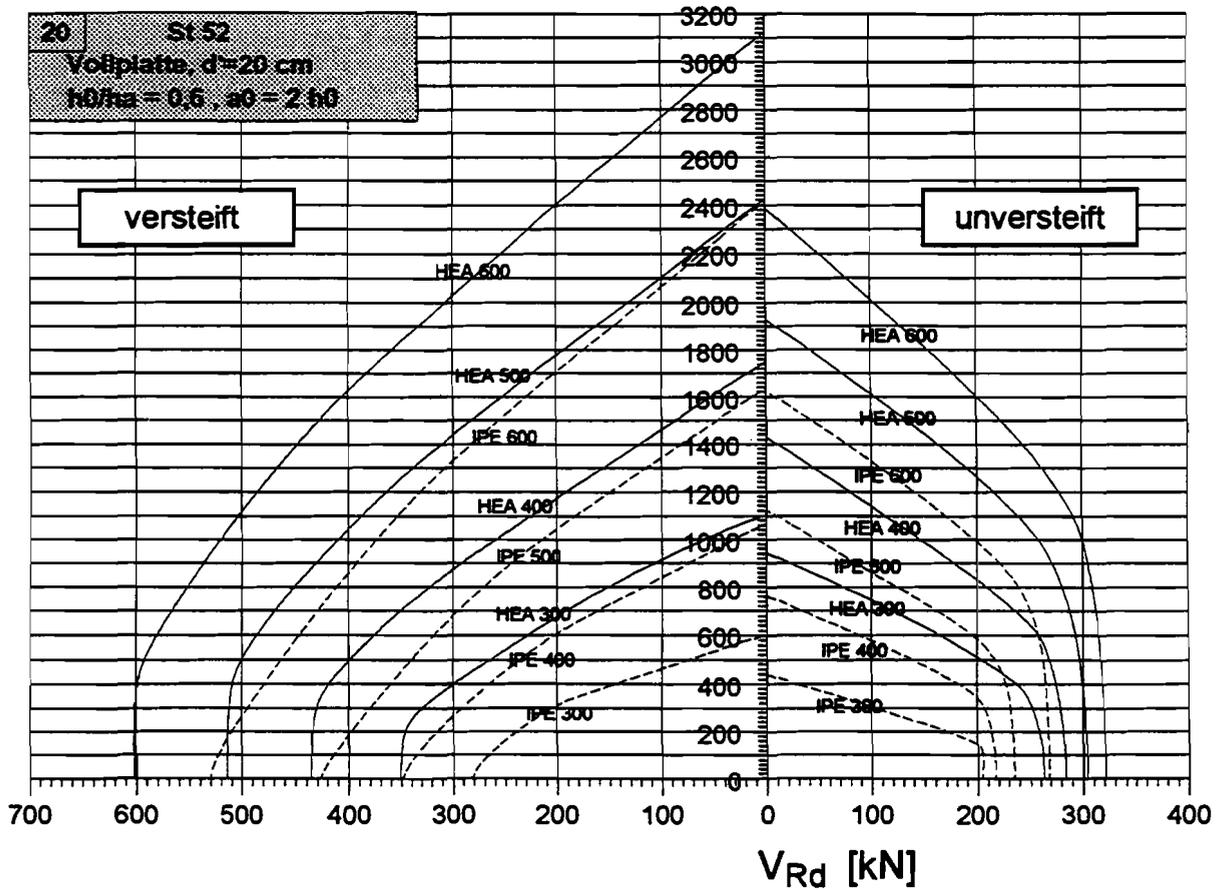


M_{Rd} [kNm]



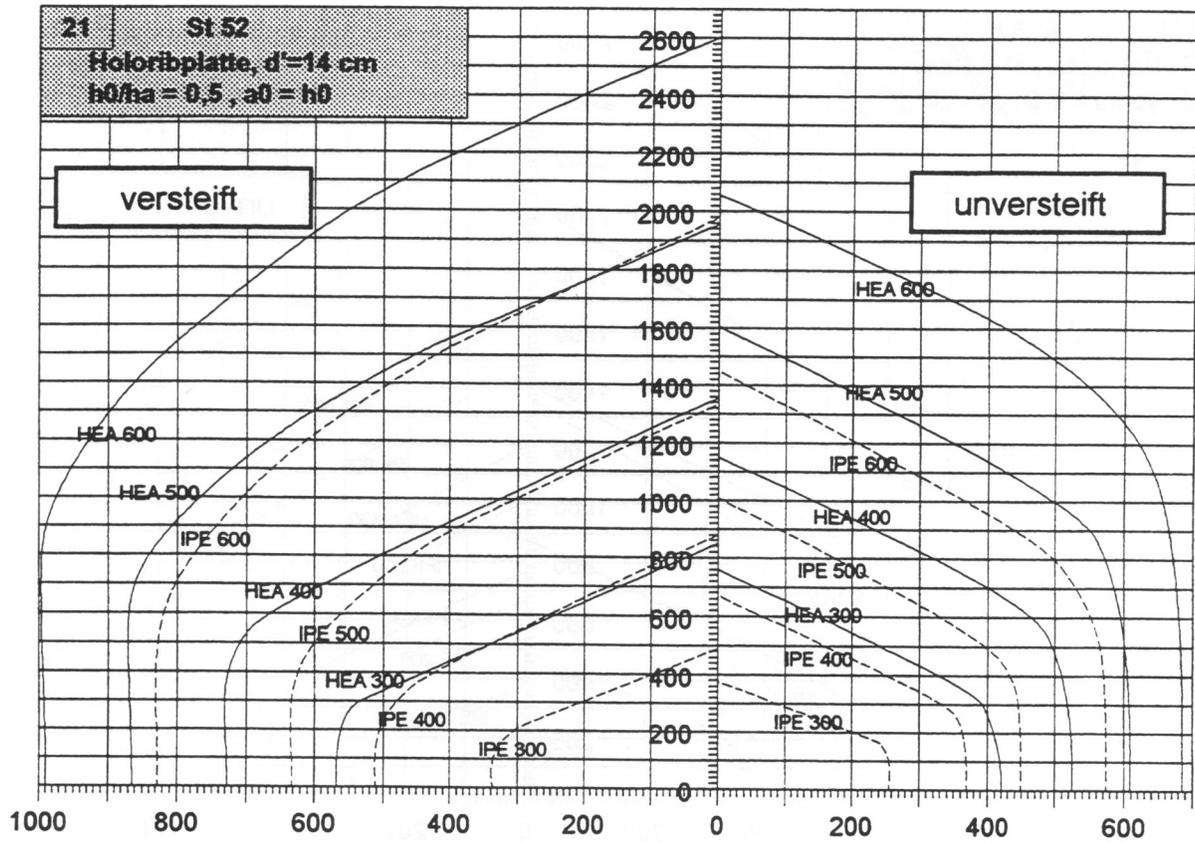
V_{Rd} [kN]

M_{Rd} [kNm]



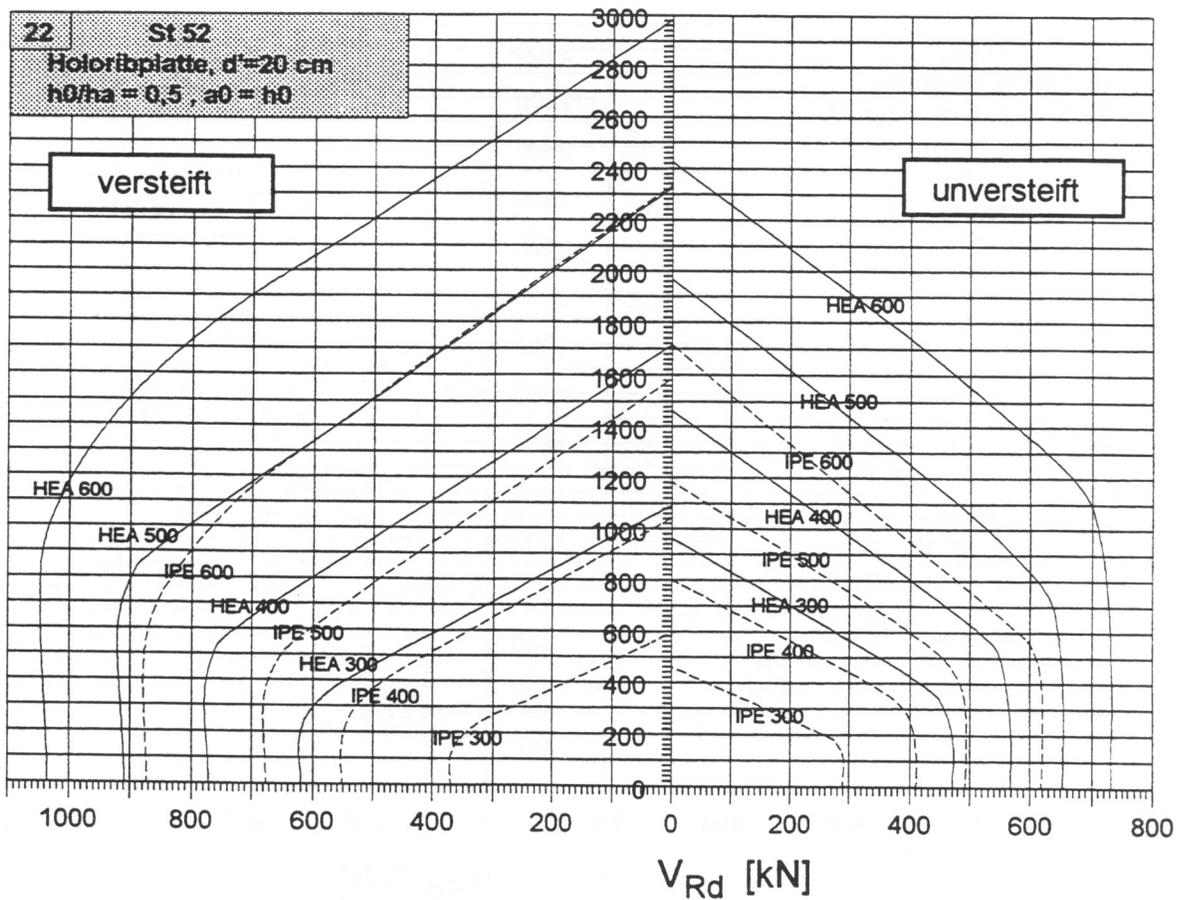
V_{Rd} [kN]

M_{Rd} [kNm]

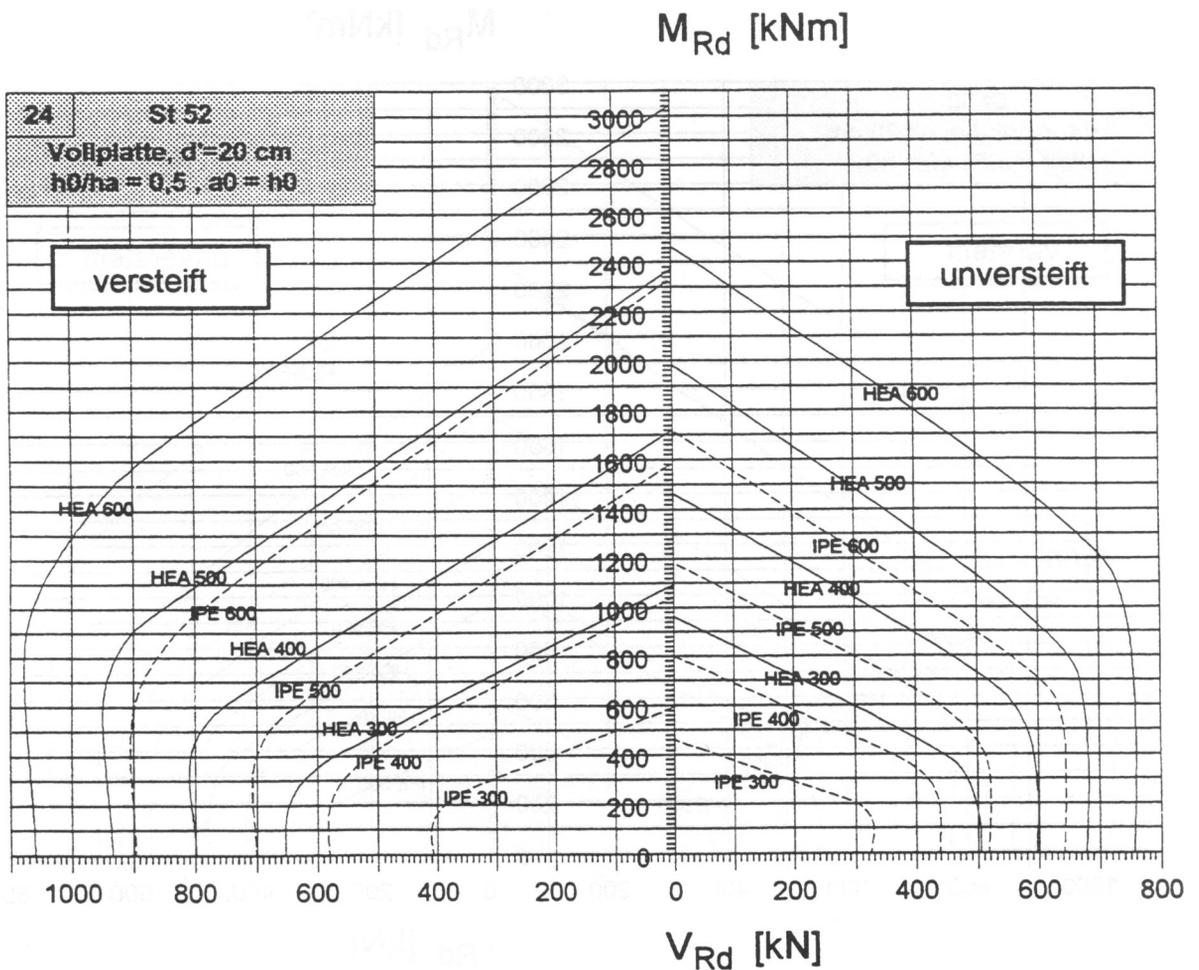
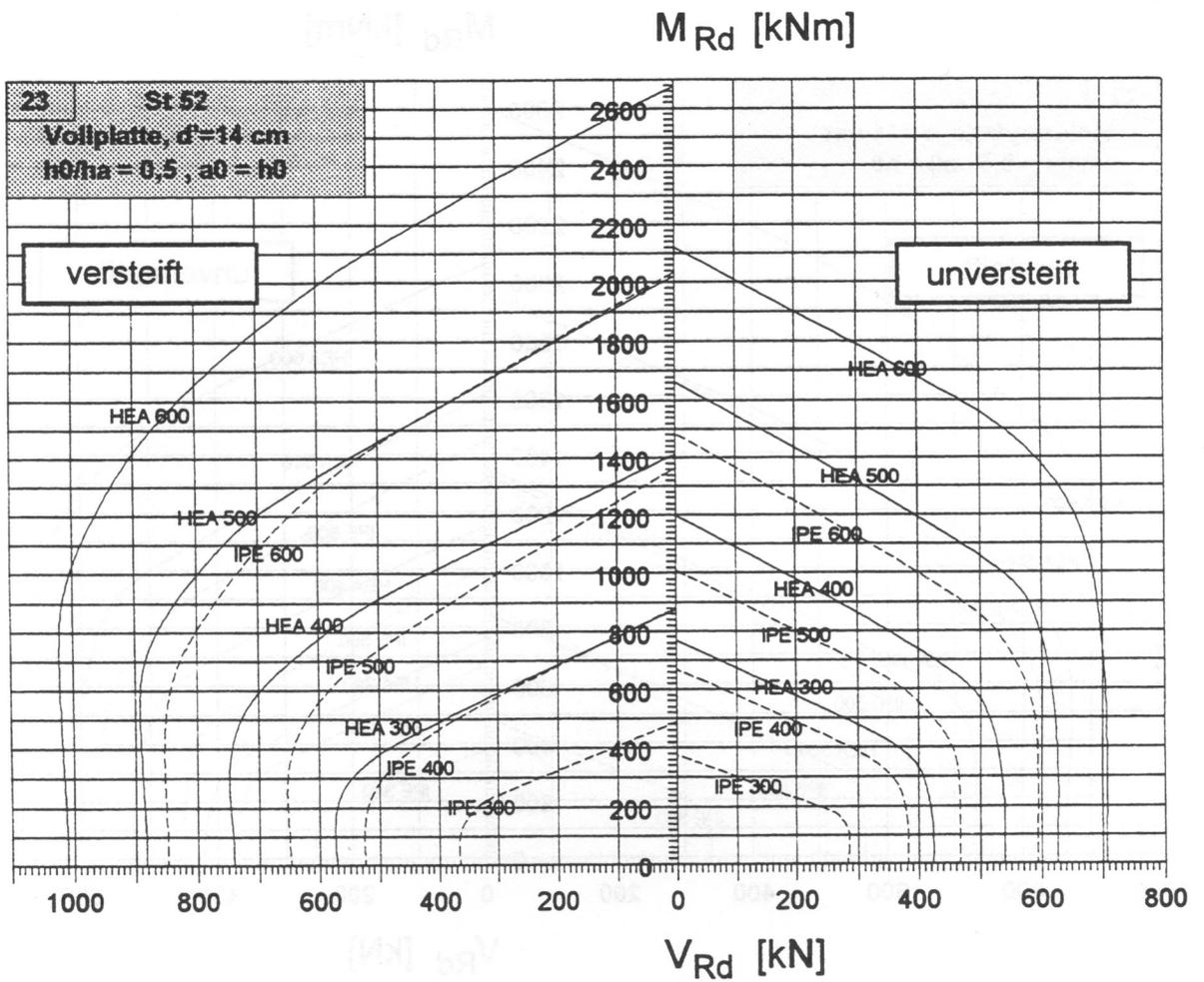


V_{Rd} [kN]

M_{Rd} [kNm]



V_{Rd} [kN]



4. Anwendungsbeispiel (Diagramm 9, Seite 11)

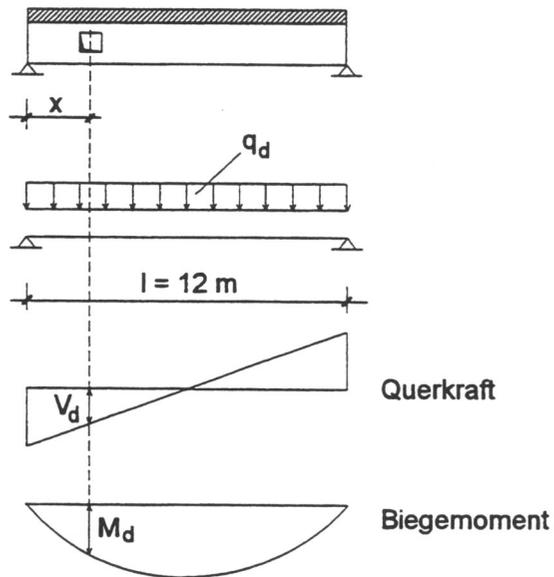
Belastung: $g = 15,9 \text{ kN/m}$
 $p = 15,0 \text{ kN/m}$
 $q = 30,9 \text{ kN/m}$
 $q_d = 1,35 \cdot g + 1,5 \cdot p$
 $= 44,0 \text{ kN/m}$

System: Einfeldträger, $l = 12,0 \text{ m}$

Stahlprofil: IPE 400 ; $h_a = 400 \text{ cm}$;
 St 37 (Fe 360)

Betonplatte: $b = 300 \text{ cm}$; $d' = 14,0 \text{ cm}$
 $h_R = 5,1 \text{ cm}$; $d = 8,9 \text{ cm}$
 C 25/30 (B 35), vgl. S. 4

Kopfbolzen: 1 $\varnothing 22$ je Sicke
 ($e = 150 \text{ mm}$), vgl. S. 4



- Stegausschnitt:
- in Stegmitte des Stahlträgers
 - Ausschnittsachse: $x = 0,60 \text{ m}$ vom linken Auflager entfernt
 - unversteift
 - $h_0 / h_a = 200 / 400 = 0,5$
 - $a_0 = h_0 = 200 \text{ mm}$ (quadratisch)

Bemessungsschnittgrößen:

$$M_d = q_d \cdot \frac{l^2}{2} \cdot \left(\frac{x}{l} - \left(\frac{x}{l} \right)^2 \right) = 44 \cdot \frac{12^2}{2} \cdot \left(\frac{0,6}{12} - \left(\frac{0,6}{12} \right)^2 \right) = 150,5 \text{ kNm}$$

$$V_d = q_d \cdot l \cdot \left(0,5 - \frac{x}{l} \right) = 44 \cdot 12 \cdot \left(0,5 - \frac{0,6}{12} \right) = 237,6 \text{ kN}$$

Gebrauchsschnittgrößen (s. Seite 4): $M \cong \frac{M_d}{1,5} = 100,3 \text{ kNm}$; $V \cong \frac{V_d}{1,5} = 158,4 \text{ kN}$

Tragfähigkeiten:

Mit Hilfe des Diagramms Nr. 9, Seite 11 (rechte Hälfte) wird die Tragfähigkeit des Trägers im Ausschnittsbereich überprüft. Dazu muß erfüllt sein:

$$\begin{array}{lll} V_d \leq V_{Rd} & \text{und} & M_d \leq M_{Rd} : \\ V_d = 237,6 \text{ kN} & < & V_{Rd} = 240 \text{ kN} \\ M_d = 150,5 \text{ kNm} & < & M_{Rd} = 230 \text{ kNm} \end{array} \Rightarrow$$

Ergebnis: Der definierte Stegausschnitt ist möglich.

5. Zusatznachweise des Tragwerksplaners

Die hier vorliegende Kurzfassung dient ausschließlich der schnellen, überschlägigen Vorbemessung. Um einen ausführlichen statischen Nachweis zu führen, werden im wesentlichen noch folgende Untersuchungen und Maßnahmen erforderlich:

- a) **Beuluntersuchung** der freien Stegränder. Der Nachweis kann in vielen Fällen über die b/t -Verhältnisse nach Eurocode 3 geführt werden.
- b) **Biegedrillknicknachweis** des Rest-Untergurtes im Bereich negativer Träger-Biegemomente (der Untergurt liegt dann in der Druckzone des Trägers).
- c) **Hochhängen der anteiligen Querkraft** vor der Stegöffnung (auflagerferne Seite) durch Kopfbolzen und eventuell Zusatzschlaufen im Betongurt.
- d) **Berücksichtigung des lokalen Horizontalschubs** im Bereich der Stegöffnungen, der evtl. durch zusätzliche Kopfbolzendübel aufzunehmen ist.
- e) **Untersuchung des Querkraftschubs** im Betongurt unter Berücksichtigung der Normalkräfte aus der Trägerbiegung.
- f) **Nachweis der 'Pfosten'** bei mehreren, hintereinander angeordneten Stegausschnitten, insbesondere dann, wenn deren Abstände gering sind.

6. Schluß

Die Kurzfassung der Dokumentation über Stahlverbundträger mit großen Stegausschnitten wendet sich in erster Linie an Architekten und Planer. Sie dient der schnellen Vorbemessung von Stegöffnungen, die mit Hilfe von Diagrammen ermöglicht wird. Für die endgültige Detaillierung ist die Beachtung weiterer konstruktiver Regeln sowie ein genauer statischer Nachweis durch den Tragwerksplaner erforderlich. Die notwendigen Hinweise und genauen Bemessungsregeln enthält die ausführliche Fassung der Dokumentation 'Stahlverbundträger mit großen Stegausschnitten' der Bauberatung Stahl [8].

7. 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., Stengel, J., Künzel, R.: Stahlverbundträger mit großen Stegausschnitten. Der Stahlbau, Heft 1 und 2 (1994)
- [8] **Bode, H., Stengel, J.: Stahlverbundträger mit großen Stegausschnitten. Ausführliche Fassung der Technische Dokumentation, Bauberatung Stahl (1/1995)**
- [9] Kanning, W.: Merkblatt Nr. 361 der Beratungsstelle für Stahlanwendung: Wabenträger
- [10] Stahl-Informations-Zentrum: Brandschutztechnische Konstruktion und Bemessung von Stahlverbundbauteilen. Merkblatt 117, 1. Auflage (1991)

* 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