

Vergleichsrechnungen zum Eurocode 3,
Anhang 5

Abschlußbericht über Erweiterung des
Forschungsvorhabens

T 2065

T 2065

Dieser Forschungsbericht wurde mit modernsten Hochleistungskopierern auf Einzelanfrage hergestellt.

Die in dieser Forschungsarbeit enthaltenen Darstellungen und Empfehlungen geben die fachlichen Auffassungen der Verfasser wieder. Diese werden hier unverändert wiedergegeben, sie geben nicht unbedingt die Meinung des Zuwendungsgebers oder des Herausgebers wieder.

Die Originalmanuskripte wurden reprototechnisch, jedoch nicht inhaltlich überarbeitet. Die Druckqualität hängt von der reprototechnischen Eignung des Originalmanuskriptes ab, das uns vom Autor bzw. von der Forschungsstelle zur Verfügung gestellt wurde.

© by Fraunhofer IRB Verlag

Vervielfältigung, auch auszugsweise,
nur mit ausdrücklicher Zustimmung des Verlages.

Fraunhofer IRB Verlag

Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau

Postfach 80 04 69
70504 Stuttgart

Nobelstraße 12
70569 Stuttgart

Telefon (07 11) 9 70 - 25 00
Telefax (07 11) 9 70 - 25 08

E-Mail irb@irb.fraunhofer.de

www.baufachinformation.de

**Abschlußbericht
über die Erweiterung des
Forschungsvorhabens**

**Vergleichsrechnungen zum Eurocode 3
Annex A**

Erstellt am Institut für Statik
Prof. Dr.-Ing. R. Schardt
Technische Hochschule Darmstadt

Bearbeiter: J. Kornas

Inhaltsverzeichnis

1 Grundlagen zur Bemessung dünnwandiger Bauteile	
1.1 Wirksame Querschnitte	1
1.2 Zweiseitig gelagertes Element	2
1.3 Zweiseitig gelagertes Element	3
1.4 Einseitig gelagertes Element	7
1.4.1 Beulwert k_σ	7
2 Vereinfachte Nachweise für Pfetten	
2.1 Vergleich der Bemessungsvorschläge mit Versuchsergebnissen (Z-Pfetten)	12
3 Vergleich der Bemessungsvorschläge mit Versuchsergebnissen (U-Profil)	
3.1 Druckbeanspruchte Stäbe	22
3.2 Stab unter Querlast	27
4 Dünnwandige Kastenträger	
4.1 Rechnerische Ermittlung der Tragfähigkeit zentrisch gedrückter Kastenprofile	28
4.2 Kastenträger unter Biegemomentenbeanspruchung	36
5 Differenzierte Auswertung des Vergleichs Rechnungen/Versuche zentrisch und exzentrisch gedrückter C-Profile	

Vorbemerkung

Nach Beendigung des Forschungsvorhabens "Vergleichsrechnungen zum Eurocode 3, Annex A, Teil I" war die Arbeit in den Normenausschüssen noch nicht abgeschlossen, so daß einige Formeln, speziell für die Bestimmung der wirksamen Breiten, noch modifiziert wurden. Demzufolge mußten einige Parameterbetrachtungen im oben genannten Forschungsvorhaben überarbeitet werden.

Das hauptsächliche Ziel der vorliegenden Arbeit ist, Beurteilungskriterien zu liefern, wie genau die Ingenieurmodelle die physikalischen Phänomene wiedergeben. Dazu werden die vorliegenden Versuchsergebnisse mit den Regelwerken EKS, Eurocode 3 und DASt nachgerechnet, wobei stets die neuesten Fassungen der Entwürfe berücksichtigt werden.

1 Grundlagen zur Bemessung dünnwandiger Bauteile

1.1 Allgemeines

Kaltprofile werden in einer Vielfalt von Formen hergestellt. Nur wenige Standardformen können mit drei Parametern vollständig beschrieben werden. Für allgemeine Querschnitte ist es aber nicht mehr möglich, die Beulspannung oder die effektiven Steifigkeiten des Querschnitts explizit anzugeben. In den Regelwerken wird daher für die Erfassung des lokalen Beulens ein Weg gewählt, der die einzelnen ebenen Teile des Querschnitts isoliert behandelt. Statt der Übergangsbedingungen, die das elastische Zusammenwirken erfassen, werden vereinfachte Randbedingungen gewählt. Da sie auf der sicheren Seite liegen müssen, können sie nicht die wirkliche Tragfähigkeit ausschöpfen.

In den Richtlinien werden für druckbeanspruchte Bauteile bezüglich der Art der Lasteinleitung keine Unterschiede gemacht. Wenn man jedoch die Tragreserven besser ausnutzen will, so kann man in der Praxis die Belastungsart zwischen den folgenden beiden Grenzfällen einordnen:

Fall 1: statisch bestimmte Lasteinleitung (constant stress)

Bei statisch bestimmter Lasteinleitung bleibt die Lastausmitte e , d.h. das Verhältnis der Schnittgrößen M und N während des gesamten Belastungsvorgangs konstant. Auch nach erfolgter Spannungsumlagerung ändert sich die resultierende Wirkungsweise der äußeren Last nicht. Die Resultierende der Spannungen aus äußerer Last und die Resultierende der umgelagerten Spannungen bleiben nach Größe und Wirkungslinie gleich.

Fall 2: geometrisch bestimmte Lasteinleitung (constant strain)

Die geometrisch bestimmte Lasteinleitung hält dagegen das Verhältnis zwischen Krümmung und Dehnung (Normalkraftverformung) fest, d.h. die Nulllinie verändert ihre Lage während der Laststeigerung nicht. Das Randdehnungsverhältnis bleibt erhalten. Durch die Spannungsumlagerung kann sich die Außermittheit der Last verändern.

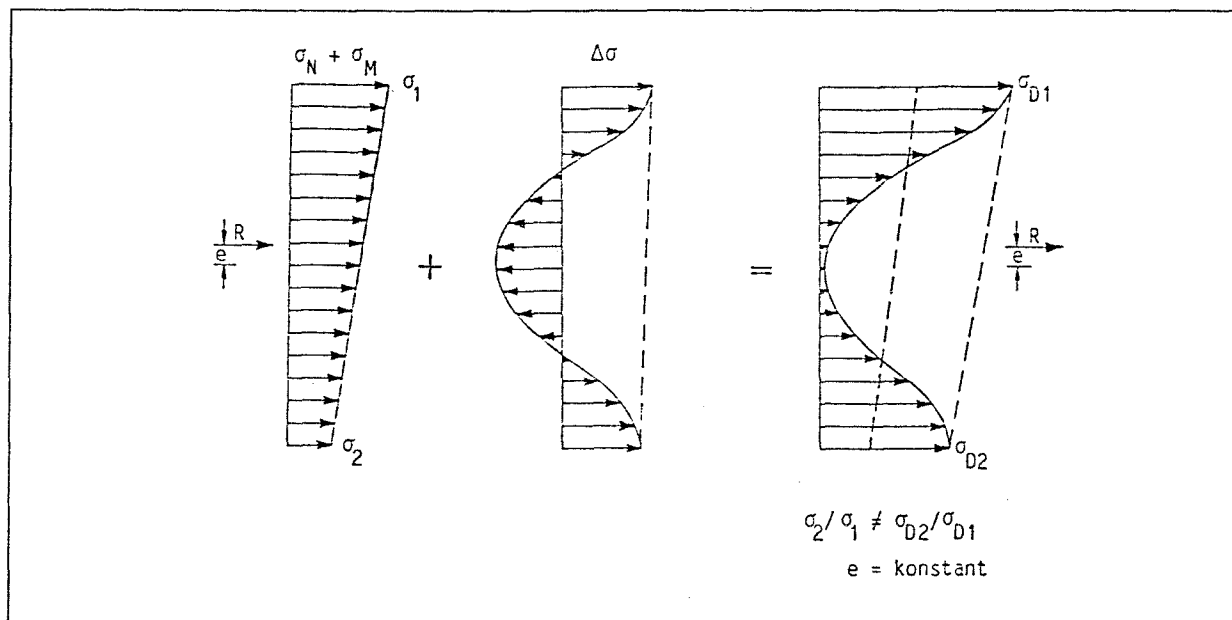


Bild 1.1 Spannungsumlagerung bei statisch bestimmter Lasteinleitung

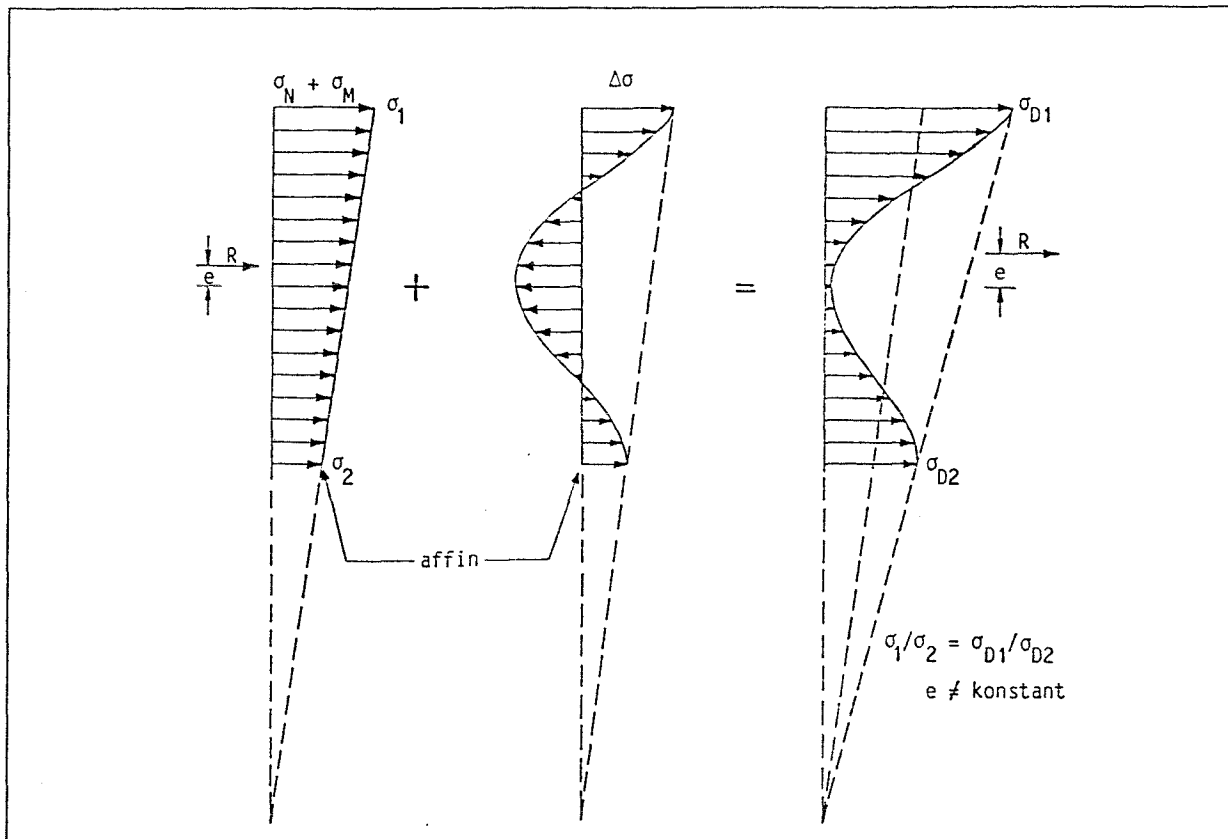


Bild 1.2 Spannungumlagerung bei geometrisch bestimmter Lasteinleitung

1.2 Wirksame Querschnitte

Nach dem lokalen Beulen der ebenen Querschnittselemente entziehen sich diese Teile teilweise der Lastabtragung und es findet eine Spannungumlagerung meist zu steiferen Querschnittsbereichen mit kleineren Beulverschiebungen statt. Dies gilt vor allem für den Fall geometrisch bestimmter Belastung. Die Last kann nun über die Beullast hinaus gesteigert werden, bis in den weniger beulbeanspruchten Querschnittsteilen die Fließspannung erreicht wird. Dieser Ausfall der Querschnittsteile wird mit dem Modell der wirksamen Breiten behandelt.

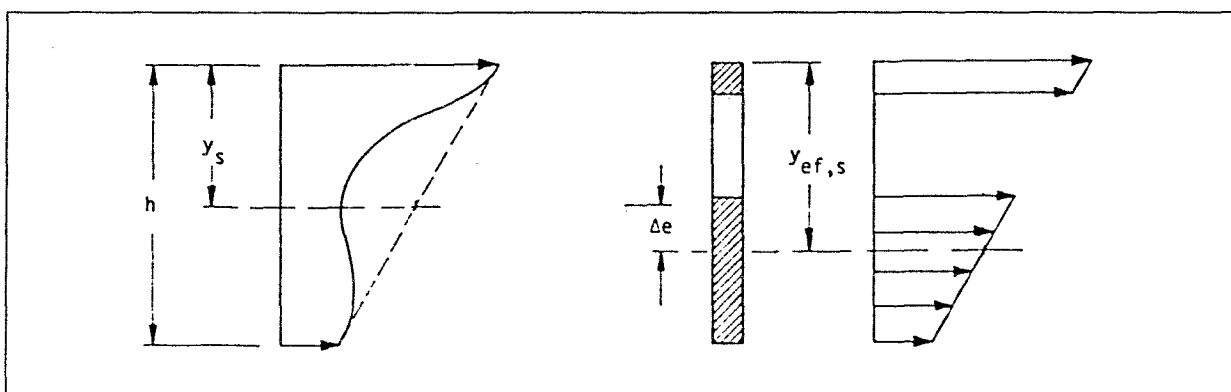


Bild 1.3 Randspannungen bei wirksamen Steifigkeiten und bei mitwirkenden Breiten

1.3 Zweiseitig gelagertes Element

Die Vorschläge nach DASt-Ri 016 und EC3/EKS beziehen sich auf gelenkige Lagerung des Elementes. In Bild 1.4 sind das Randspannungsverhältnis und die Anordnung der wirksamen Breiten dargestellt. Im Sonderfall $\psi = 1$ (mittig gedrückt) gibt es keinen Unterschied zwischen den beiden Lastarten, woraus sich die gute Übereinstimmung sowohl zwischen den verschiedenen Regelwerken als auch im Vergleich mit Versuchen erklärt. Für von 1 abweichende ψ -Werte ist der Unterschied nicht sehr groß, weil wegen der beidseitigen Längsrandlagerung das Verhältnis der Randspannungen und der Randdehnungen gleich ist. Die Regelungen beziehen sich auf den ungünstigeren Fall der statisch bestimmten Belastung.

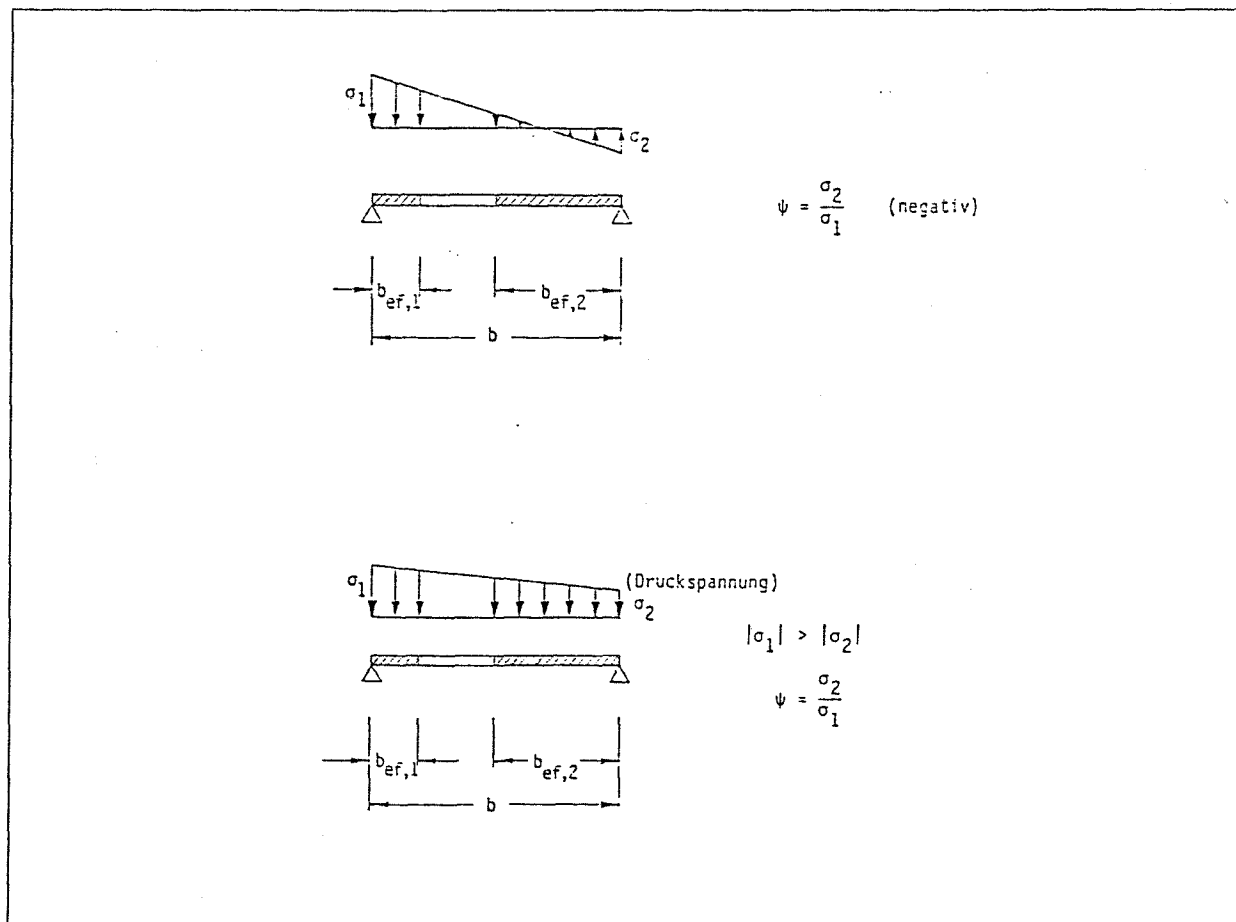


Bild 1.4 Wirksame Breiten für beidseitig gelagerte Elemente

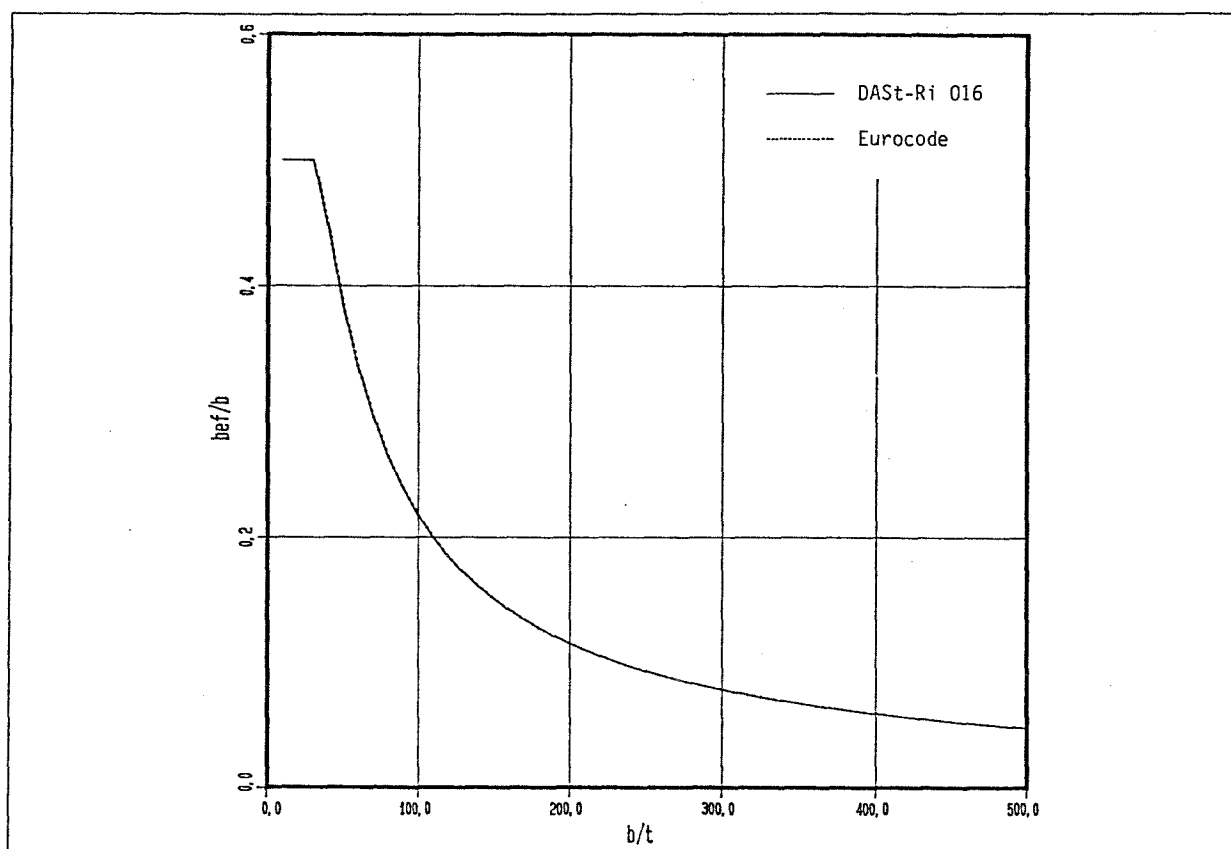
In Tabelle 1.1 werden die Formeln zur Bestimmung der wirksamen Breiten gegenübergestellt. Im Gegensatz zum EC3/EKS muß bei der Berechnung nach DASt nur eine Fallunterscheidung getroffen werden, nämlich, ob Zugspannungen auftreten oder nicht. In EC3/EKS wurden bei vorhandenen Zugspannungen für die Berechnung von k_σ zusätzlich die Gültigkeitsbereiche $\psi \leq -0.5$ und $-0.5 < \psi < 0$ unterschieden. Es werden ebenfalls für die Berechnung des Vorfaktors k_1 bzw. k_2 für ein positives und ein negatives Randspannungsverhältnis zwei Formeln geliefert.

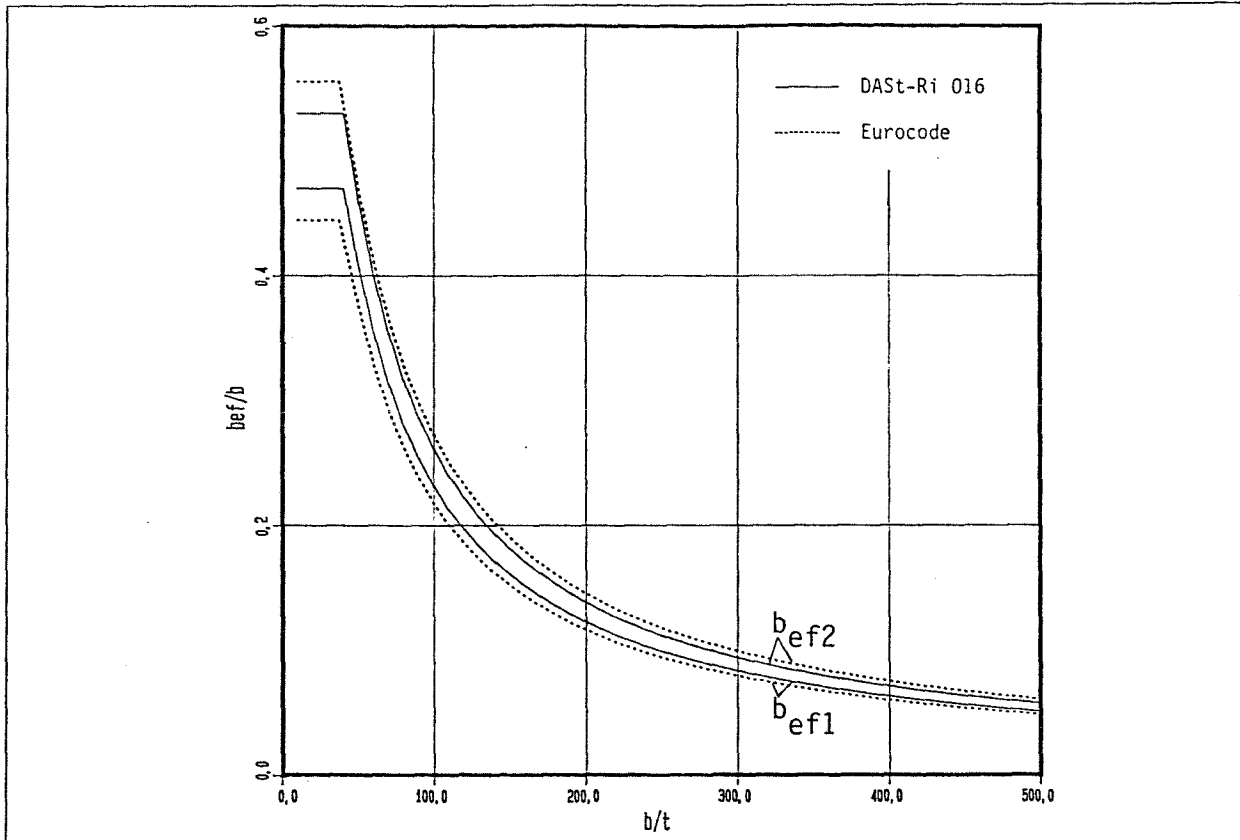
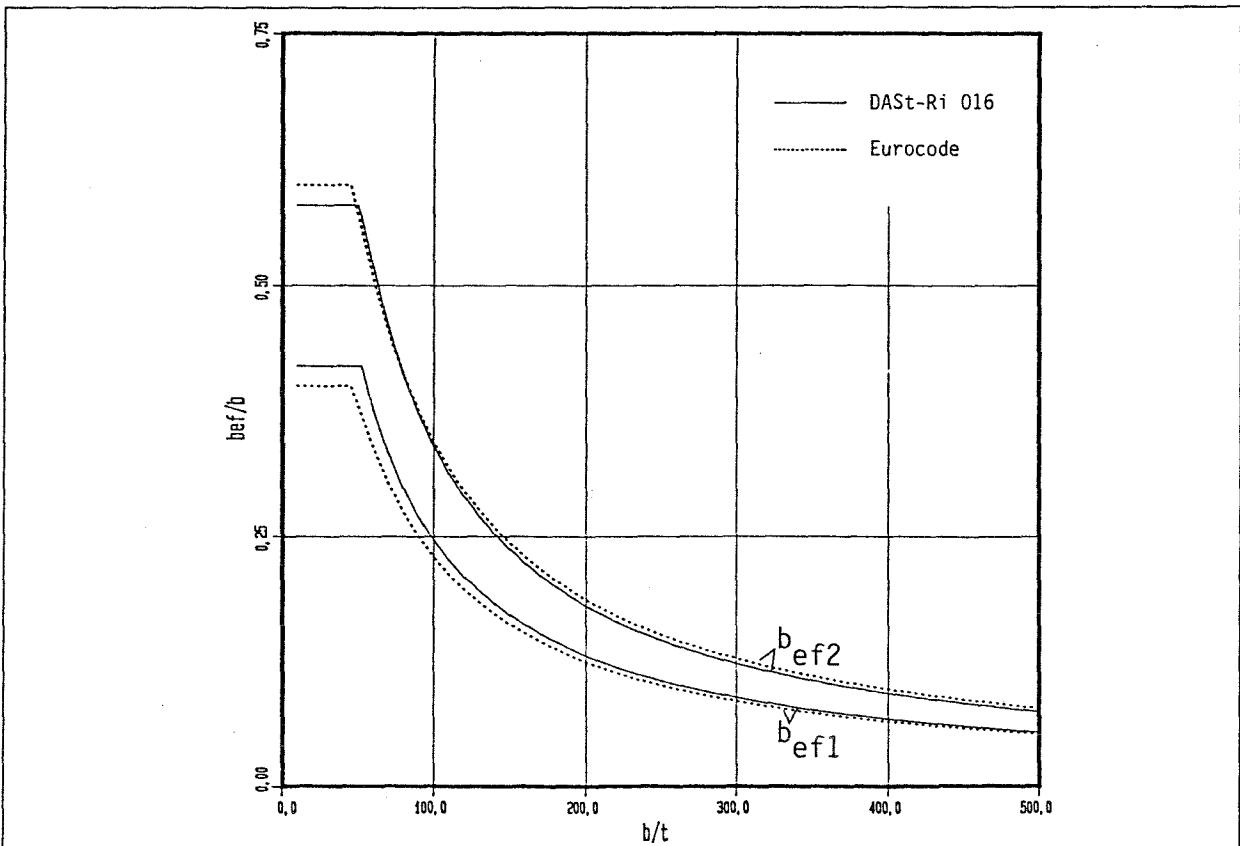
In den folgenden Bildern werden die wirksamen Breiten über dem Randspannungsverhältnis ψ aufgetragen. Man erkennt, daß die Abweichungen im Betrag der wirksamen Breiten für positive Randspannungsverhältnisse klein sind. Für teilweise gezogene Elemente ($\psi < 0$) sind die mitwirkende Teilbereiche nach EC3/EKS zum Teil wesentlich größer. Bei der Berechnung der effektiven Trägheitsmomente verringern sich die Unterschiede allerdings.

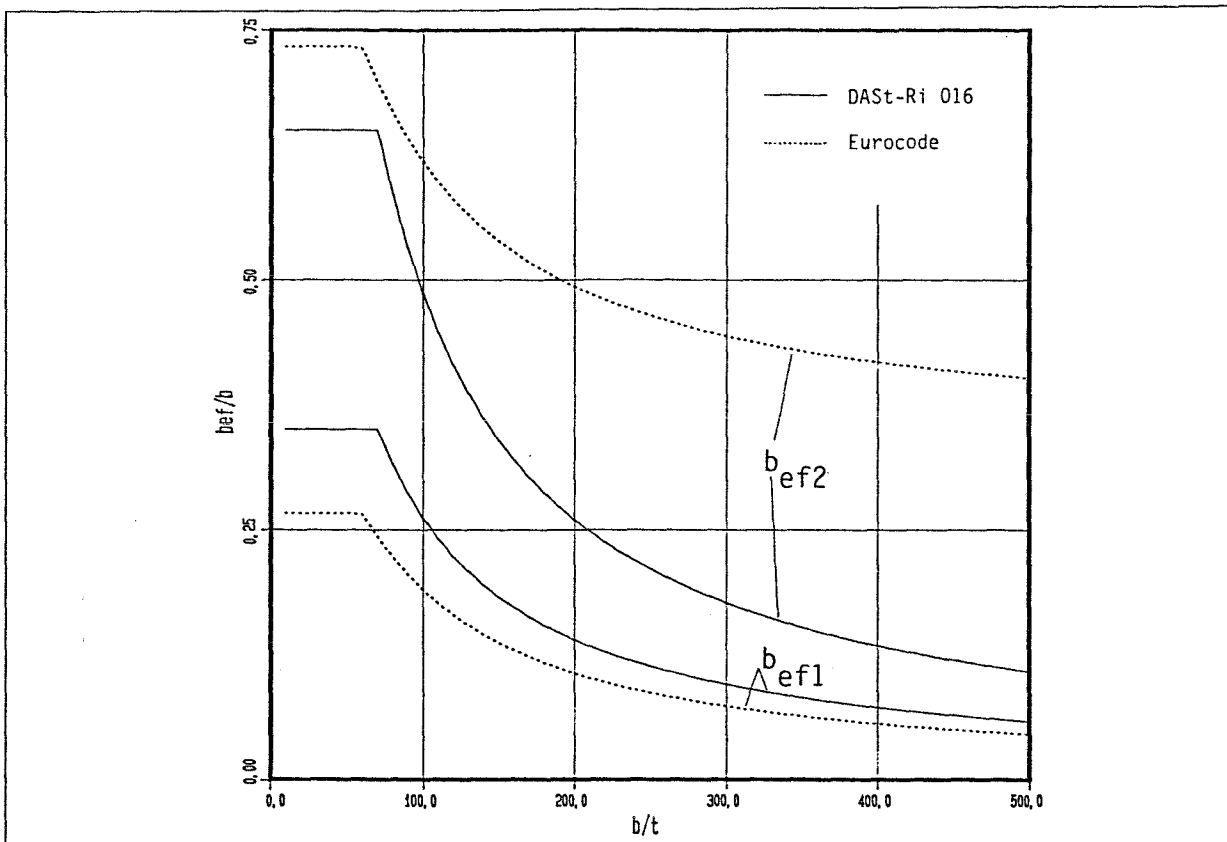
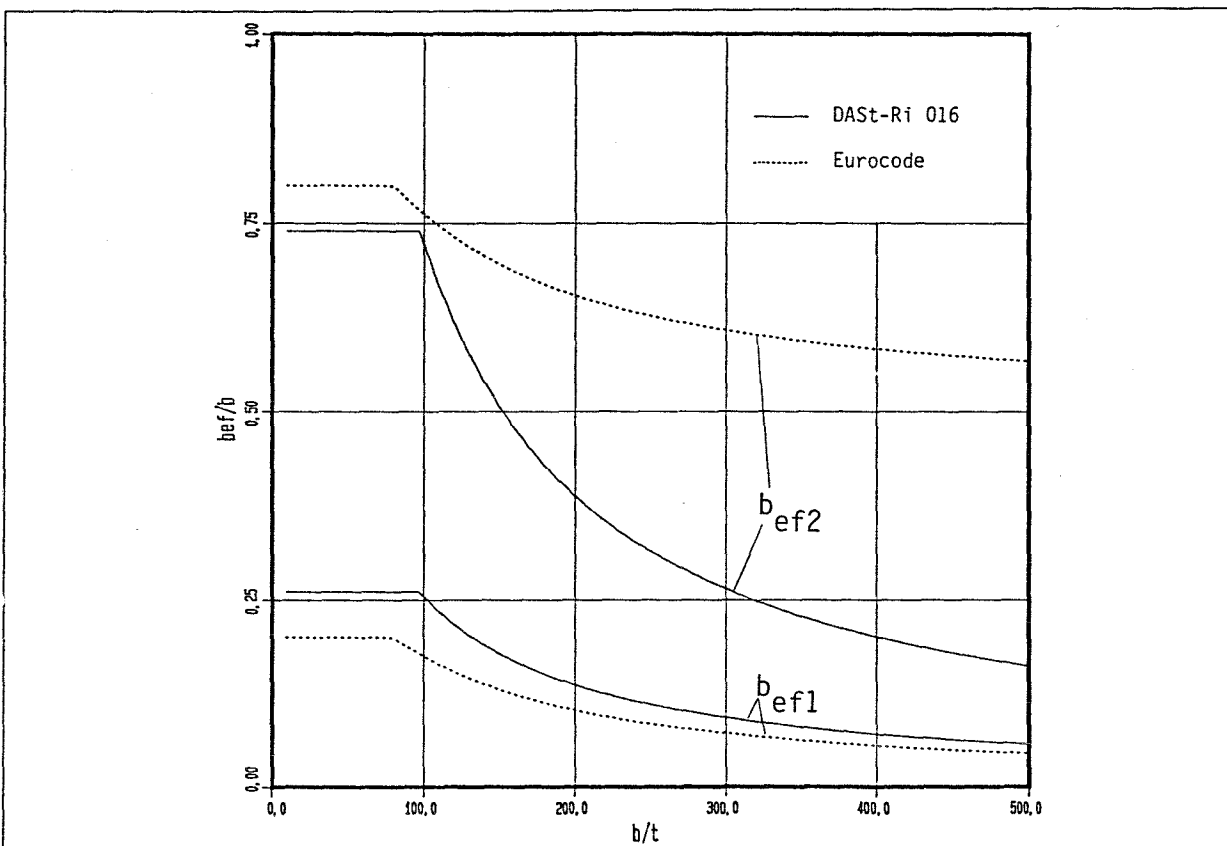
Diese Unterschiede sollten auch unter dem Aspekt der Traglastermittlung des Gesamtquerschnitts beurteilt werden, denn dort werden unterschiedliche Nachweisformeln angewendet. Zum Beispiel bei der Bemessung von Druckstäben gehen in der DASt-Richtlinie die wirksamen Querschnittswerte direkt ein, während die Bemessungsformeln in EC3/EKS auf dem allgemeineren Verhältniswert Q (wirksame Fläche/Bruttoquerschnittsfläche) basieren.

Tabelle 1.1 Bemessungsformeln zur Bestimmung der wirksamen Breiten

	DAST	Eurocode 3, EKS
	$b_{ef,1} = k_1 \rho b_p$ $b_{ef,2} = k_2 \rho b_p$	$b_{ef,1} = k_1 \rho b_p$ $b_{ef,2} = k_2 \rho b_p$
$\bar{\lambda}_p > 0.673$	$\rho = \frac{0.97 + 0.03 \times \psi}{\lambda_p} - \frac{0.16 + 0.06 \times \psi}{\lambda_p^2}$	$\rho = \frac{1}{\lambda_p} - \frac{0.22}{\lambda_p^2}$
$0 \leq \psi \leq 1$	$k_1 = -0.04\psi^2 + 0.12\psi + 0.42$ $k_2 = 0.04\psi^2 - 0.12\psi + 0.58$	$k_1 = \frac{1}{2.5 - 0.5\psi}$ $k_2 = \frac{1.5 - 0.5\psi}{2.5 - 0.5\psi}$
$\psi < 0$		$k_1 = \frac{0.4\psi}{\psi - 1}$ $k_2 = \frac{1 - 0.6\psi}{1 - \psi}$
$0 \leq \psi \leq 1$	$k_\sigma = \frac{8.2}{1.05 + \psi}$	$k_\sigma = \frac{8.4}{1.1 + \psi}$
$-0.5 < \psi < 0$	$k_\sigma = 7.81 - 6.29\psi + 9.78\psi^2$	$k_\sigma = \left(\frac{1 - \psi}{0.362 - 0.103\psi}\right)^2$
$\psi \leq -0.5$		$k_\sigma = 5.85(1 - \psi)^2$

Bild 1.5 $\psi = 1$

Bild 1.6 $\psi = 0.5$ Bild 1.7 $\psi = 0$

Bild 1.8 $\psi = -0.5$ Bild 1.9 $\psi = -1$

1.4 Einseitig gelagertes Element

Beim einseitig gelagerten Element sind die Unterschiede zwischen den beiden Belastungsarten sehr groß. Bei einer geometrisch bestimmten Lasteinleitung findet die Spannungsumlagerung zur gelagerten Kante hin statt, womit sich auch die Lastresultierende günstig verschiebt. Diese Spannungsumlagerung wirkt sich entlastend auf das Beulen des freien Randes aus. Für die in der Praxis vorkommenden Fälle z.B. beim U-Querschnitt ist eine stärkere Annäherung an die statisch bestimmte Lasteinleitung zu erwarten, d.h. die Lage der äußeren Resultierenden im Querschnitt verschiebt sich kaum.

In [4] wurde für Z- und U-Profile bei statisch bestimmter Lasteinleitung die Spannungsumlagerung (siehe Bild 1.10) unter mittiger Belastung bestimmt.

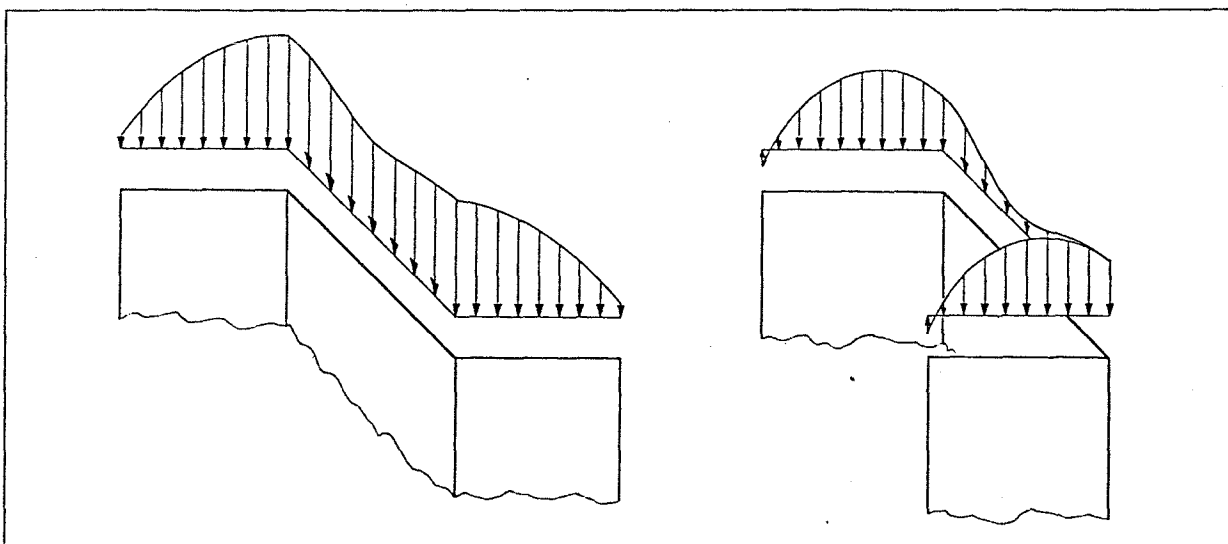


Bild 1.10 Spannungsumlagerung im zentrisch gedrückten Z- bzw. U-Profil

Es fällt auf, daß die Spannungsumlagerung beim einfachsymmetrischen U-Profil nicht die günstige Spannungskonzentration in der gelagerten Kante hat, wie das beim Z-Profil der Fall ist. Das U-Profil ist nach der statisch bestimmten Lastart, das Z-Profil nach der geometrisch bestimmten zu beurteilen. Um dieses physikalische Phänomen wirklichkeitsnah zu erfassen, müssen die wirksamen Breiten an den Stellen der größten Spannungskonzentration angeordnet werden.

Nach Vergleichsrechnungen mit der VTB in [4] hat sich im Falle der statisch bestimmten Belastung die Anordnung der wirksamen Breiten in Elementmitte als eine gute Näherung erwiesen. Dadurch wird nicht nur die Traglast des Querschnitts (stubb column) sondern auch die Steifigkeit, die beim Knicknachweis des Stabes wichtig ist, gut beschrieben.

In [9] behandelt Zhang die Traglastbestimmung von U-Profilen, wobei er von der bisherigen Anordnung der wirksamen Flanscbreite an der gelagerten Kante abgeht. Hierzu hat er eine Reihe von Versuchen durchgeführt. Diese wurden im Kapitel 3 mit verschiedenen Berechnungsmodellen nachgerechnet.

1.4.1 Beulwert k_σ

Für die Ermittlung der Beulwerte spielt die Belastungsart keine Rolle. Die Beulwerte k_σ in EC3/EKS und in DASt gelten für gelenkige Lagerung des angeschlossenen Längsrandes. Sie werden jedoch in den beiden Entwürfen unterschiedlich bestimmt (s. Tabelle 1.2).

Sowohl in DASt als auch in EC3/EKS wird die Abhängigkeit des Beulwertes k_σ von dem Abmessungsverhältnis $\alpha = l/b$ nicht berücksichtigt.

Zur Veranschaulichung, in welchem Maße die Beulwerte von α abhängen, wurden Berechnungen mit VTB-Programmen an einem dreiseitig gelenkig gelagerten Element durchgeführt. Als Begrenzung des Verhältniswertes α wurde einerseits die quadratische Platte $\alpha = 1$ und andererseits der unendlich lange Plattenstreifen $\alpha = \infty$ gewählt, wobei für $\alpha > 20$ der Beulwert k_σ sich kaum noch ändert, so daß man für die unendlich lange Platte mit $\alpha = 20$ sehr gute Ergebnisse erzielt. Die erzielten Ergebnisse konnten durch folgende Formeln angenähert werden:

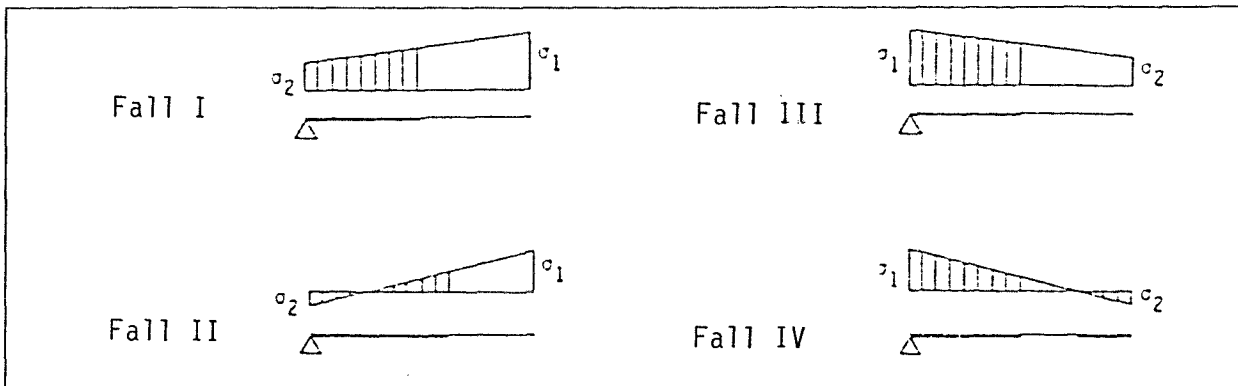


Bild 1.11 Spannungsverteilung

Tabelle 1.2 Bemessungsformeln zur Bestimmung der wirksamen Breiten

Fall		DAST	EC3/EKS
I		$0 \leq \psi \leq 1$	$0 \leq \psi \leq 1$
	k_σ	$0.57 - 0.21\psi + 0.07\psi^2$	$\frac{1.968}{3+\psi}$
	$\frac{b_{ef}}{b}$	ρ	ρ
II		$-1 \leq \psi \leq 0$	$\psi < 0$
	k_σ	$0.57 - 0.21\psi + 0.07\psi^2$	$0.655 \times (1 - \psi)^2$
	$\frac{b_{ef}}{b}$	ρ	$\frac{\rho - \psi}{1 - \psi}$
III		$0 \leq \psi \leq 1$	$0 \leq \psi \leq 1$
	k_σ	$\frac{0.578}{\psi + 0.34}$	$\frac{1.968}{1 + 3\psi}$
	$\frac{b_{ef}}{b}$	ρ	ρ
IV		$-1 \leq \psi \leq 0$	$\psi < 0$
	k_σ	$1.7 - 5\psi + 17.1\psi^2$	$1.968 \times (1 - \psi)^2$
	$\frac{b_{ef}}{b}$	ρ	$\frac{\rho}{1 - \psi}$
		$\bar{\lambda}_p = \frac{1.052 b}{\sqrt{k_\sigma} t} \sqrt{\frac{\beta_s}{E}}$	$\bar{\lambda}_p = \frac{1.052 b}{\sqrt{k_\sigma} t} \sqrt{\frac{\beta_s}{E}}$
		$\rho = \frac{0.7}{\lambda_p}$	$\rho = \frac{1}{\lambda_p} - \frac{0.22}{\lambda_p^2}$

Fall I und II:

$$k_\sigma = \left(\frac{1}{\alpha^2} + 0.4 \right) \times \frac{4}{3 + \psi}$$

$$\text{für } -2 \leq \psi \leq 1$$

Fall III und IV:

$$k_\sigma = \left(\frac{1}{\alpha^2} + 0.4 \right) \times \frac{4}{3\psi + 1}$$

$$\text{für } 0 \leq \psi \leq 1$$

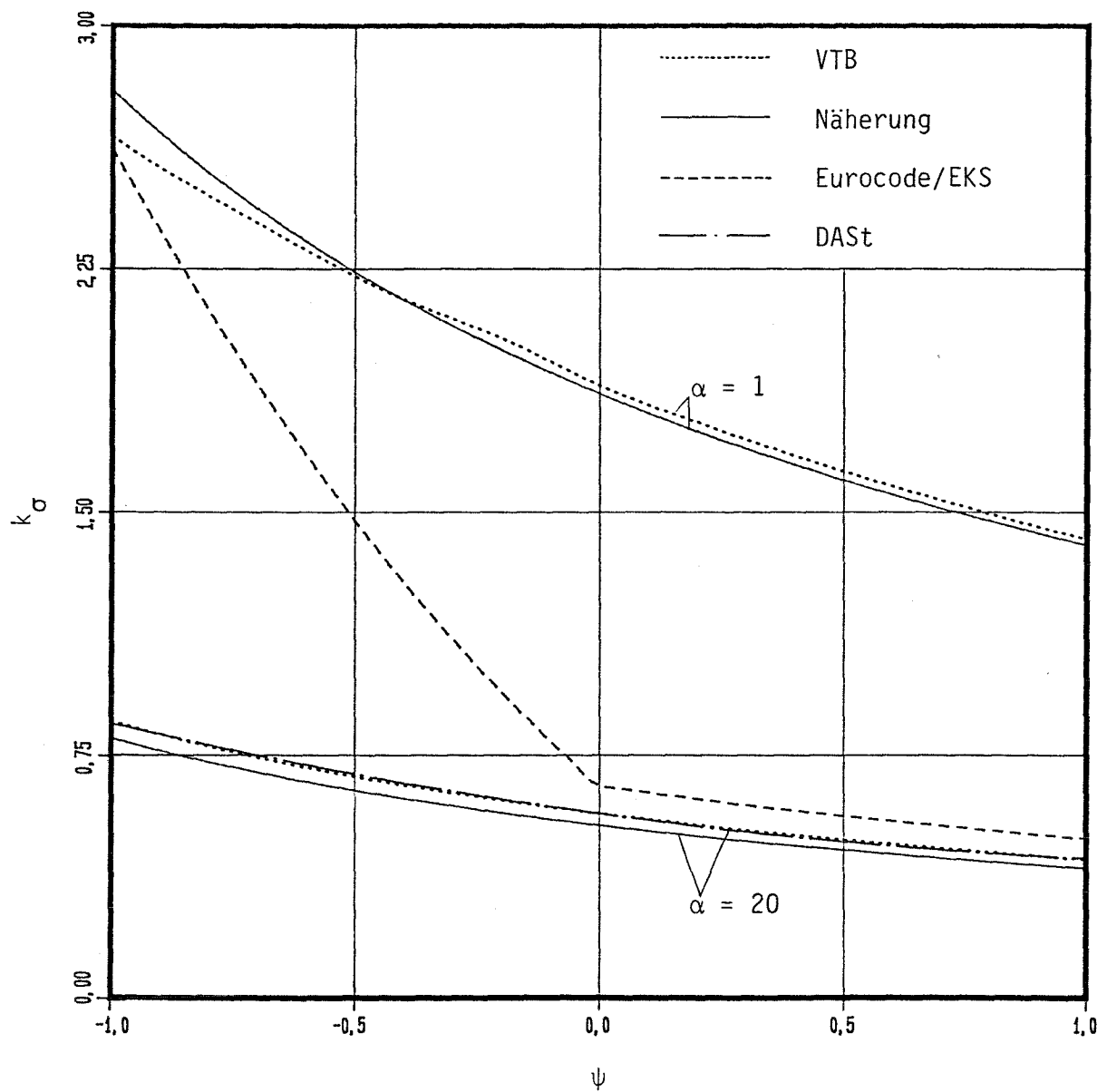
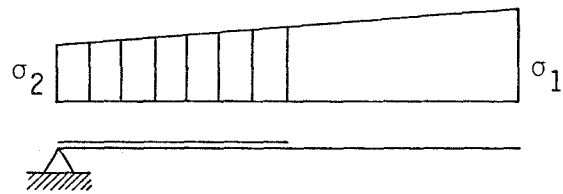
mit

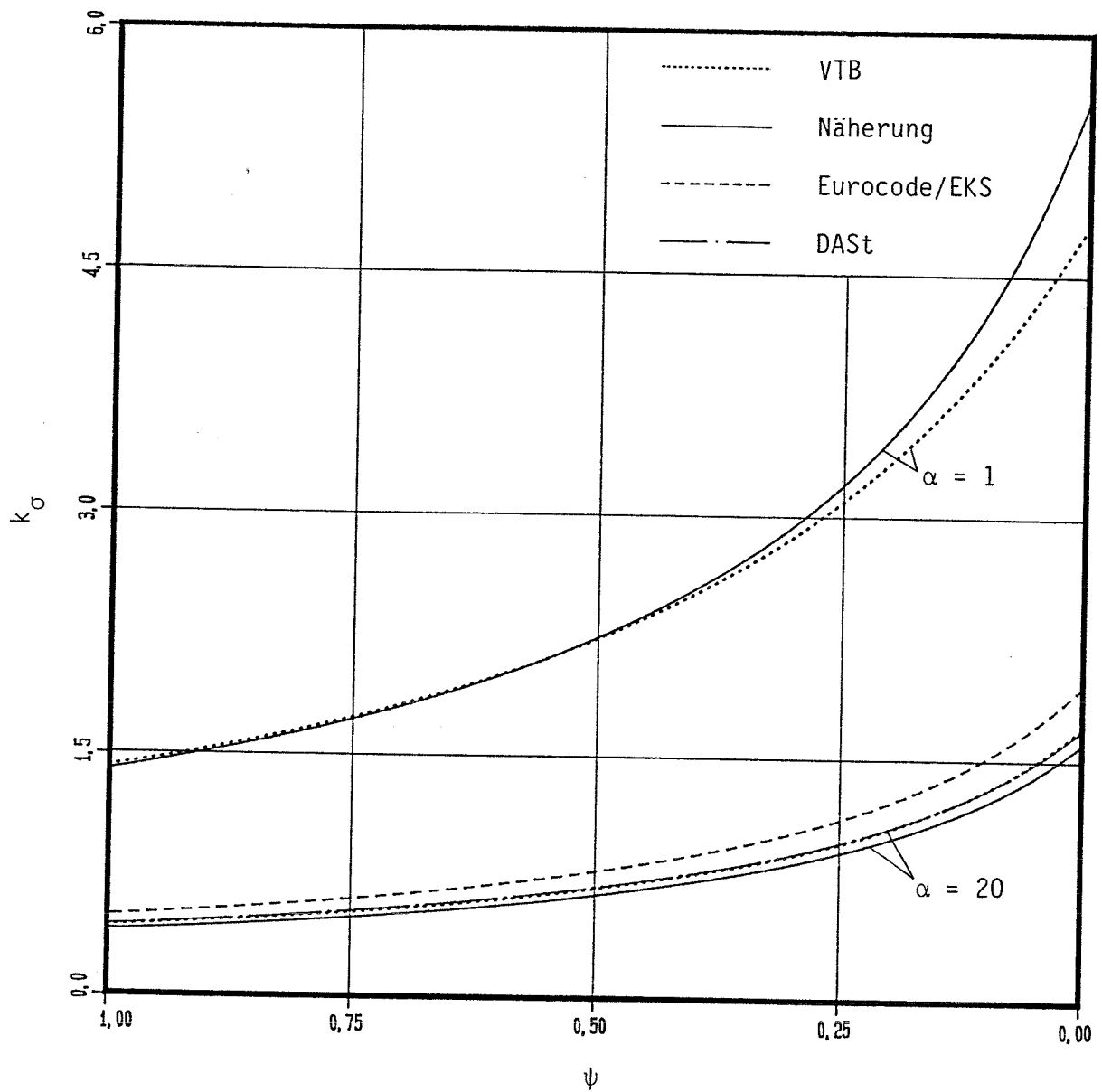
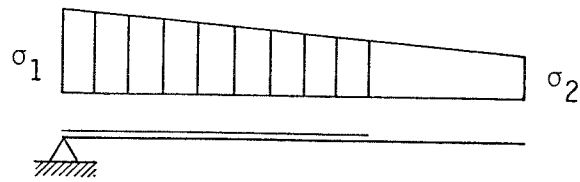
$$\psi = \frac{\sigma_2}{\sigma_1}$$

Der Verlauf von k_σ nach VTB und der angenäherte Verlauf sind für den Wert $\alpha = 1$ und 20 in Bild 1.12a und 1.12b dargestellt. Man sieht, daß die Näherung die wirklichen Beulwerte sehr gut wiedergibt.

Weiterhin werden in den oben genannten Bildern den bereits erwähnten Verläufen die Beulwertverläufe nach DAST und EC3/EKS gegenübergestellt. Für die Fälle I und III herrscht eine gute Übereinstimmung mit der Rechnung nach VTB ($\alpha = 20$). Bei auftretenden Zugspannungen (Fall II und IV) wird in EC3/EKS zusätzlich das Verhältnis b_{ef}/b mit einem ψ -abhängigen Faktor beaufschlagt. Während der Verlauf nach DAST weiterhin gut übereinstimmt, weicht der Verlauf nach EC3/EKS erheblich ab.

Da die Verläufe in beiden Entwürfen mit dem wirklichen Beulwertverlauf für unendlich lange Scheiben übereinstimmen — mit der Ausnahme EC3/EKS Fall II und IV —, liegen die Beulwerte auf der sicheren Seite. Es muß aber angemerkt werden, daß bei kleiner werdendem α die Beulwerte nach DAST und EC3/EKS von den wirklichen Beulwerten immer mehr abweichen, und für den Fall der quadratischen Scheibe ca. nur ein Drittel der wirklichen Beulwerte betragen.

Bild 1.12a Beulwerte k_σ

Bild 1.12b Beulwerte k_σ

2. Vereinfachte Nachweise für Pfetten

In DASt-Ri 016 und EKS sind Rechenmodelle enthalten, die eine vereinfachte Bemessung der Pfetten ermöglichen. Dabei werden in der DASt-Richtlinie Z-, C- und Σ -Pfetten, die an einem Flansch mit der Dacheindeckung verbunden sind, berücksichtigt. EKS berücksichtigt lediglich Z-Pfetten, die jedoch an beiden Flanschen angeschlossen werden können. Der Winkel zwischen dem Flansch und der Lippe beträgt nach DASt $90^\circ \pm 45^\circ$ und nach EKS $90^\circ + 30^\circ$.

Das Bemessungsverfahren nach EKS setzt voraus:

- 1) beim Lastfall Unterwind oder Windsog ein Versagen des gedrückten, nicht gehaltenen Flansches in Feldmitte und
- 2) beim Lastfall Auflast ein Versagen des gedrückten Flansches über der Stütze.

Aufgrund dieser Tatsache ist die Berücksichtigung einer Einfeldpfette unter Auflast (z.B. Schnee, Eigengewicht) nicht möglich. Ebenfalls kann die Bettung aus der Verformung der Anschlußbereiche nur aus Versuchen bestimmt werden.

In DASt werden die Drehbettungswerte aus der Verbindung mit der Dachhaut, allerdings nur für Stahltrapezbleche, in einer Tabelle angegeben.

Werden bei Durchlaufpfetten mehrere Pfetten zusammengefügt, so geht in keine der beiden Richtlinien der Einfluß der Verbindungsart (z.B. überlappt, gelascht) ein.

Rechenmodell nach DASt

Die Gültigkeit dieses Verfahrens wird durch Abmessungsverhältnisse eingeschränkt. Bei der Berechnung des Tragmomentes werden die wirksamen Querschnittswerte berücksichtigt. Mittels des Faktors κ_M (Abminderungsfaktor für das Biegedrillknicken mit gebundener Drehachse) und des Beiwertes k_d (Beiwert zur Berücksichtigung der Wirkung des nicht gestützten Druckbereiches) muß gegebenenfalls das Tragmoment abgemindert werden.

Rechenmodell nach EKS

Der Berechnung des Tragmomentes werden die wirksamen Querschnittswerte zugrunde gelegt, wobei das frühzeitige Beulen des gedrückten, nicht gehaltenen Flansches durch den Faktor κ_f berücksichtigt wird. Zu dessen Berechnung wird der gedrückte Querschnittsbereich als Balken auf elastischer Bettung betrachtet.

Die Lastfälle Unterwind/Windsog und Auflast werden getrennt behandelt. Dabei werden äquivalente Stützweiten benötigt, die sich aus der Momentlinie (Unterwind/Windsog: Feldbereich, Auflast: Stützenbereich) ergeben.

2.1 Vergleich der Bemessungsvorschläge mit Versuchsergebnissen (Z-Pfetten)

Um die Qualität der Rechenmodelle beurteilen zu können, wurden die Rechenergebnisse den Versuchsergebnissen gegenübergestellt. Es wurden Versuche an Einfeld-, Zweifeld- und Durchlaufpfetten unter Windsog und unter Auflast ausgewertet, wobei die Durchlaufpfetten durch Einfeldpfetten mit zwei Kra-garmen simuliert wurden. Für die Auswertung wurden zusätzlich Ersatzträgerversuche herangezogen.

Die vorliegenden Versuche, die aufgrund der Einschränkungen für die Bemessungsverfahren außer acht zu lassen wären, wurden trotzdem nachgerechnet, um die Berechtigung der Grenzen der Parameterbereiche zu überprüfen. Diese Ergebnisse wurden in Tabelle 2.4 eingeklammert dargestellt. Sie sind bei der statistischen Auswertung weggelassen worden. Die Tabelle 2.1 enthält die Zusammenstellung der nachgerechneten Versuche.

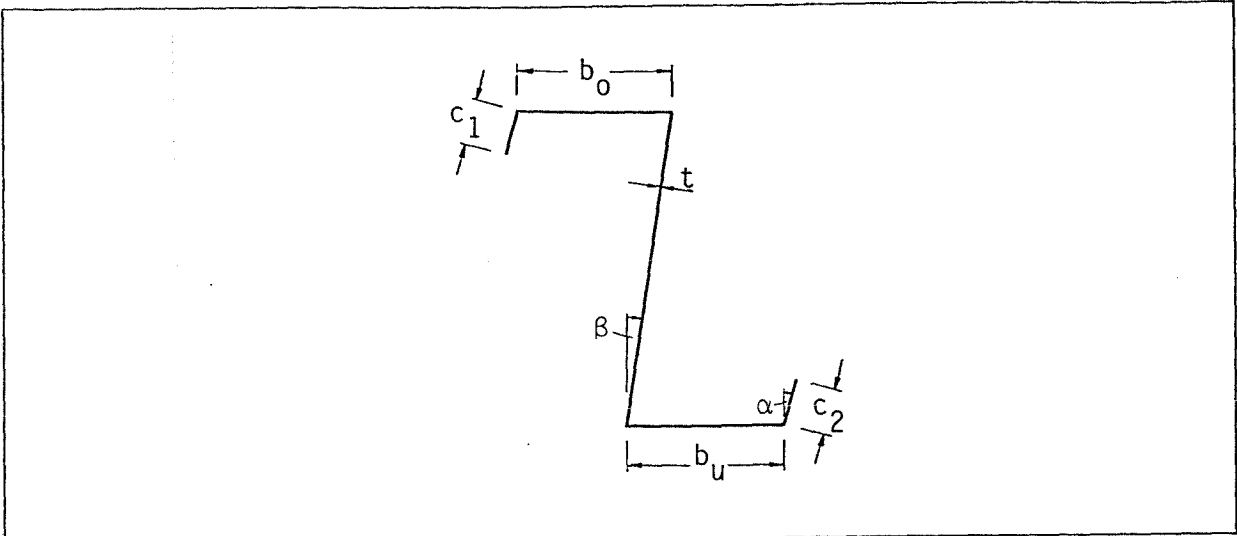


Bild 2.1 Querschnittsabmessungen

Tabelle 2.1 Versuche

Herstellerfirma	Kurzbez.	Vers.-Anzahl
Metal Trim Ltd Versuchsbericht Nr.8/78 TH Darmstadt	8/78	2
Wuppermann GmbH Versuchsbericht Nr.1/80 TH Darmstadt	1/80	2
Wuppermann GmbH Versuchsbericht Nr.2/81 TH Darmstadt	2/81	4
PEM-BAU GmbH Versuchsbericht Nr.4/80 TH Darmstadt	4/80	1
Nordisk Byggemontage as Versuchsbericht Nr.5/80 TH Darmstadt	5/80	2
METSEC Gutachten Nr.54/78 TH Darmstadt	54/78	13
Prüfungszeugnis-Nr.1012/75-De/Eg TU Hannover	1012/75	3
Prüfungszeugnis-Nr.407/74/831-Cd/Eg TU Hannover	407/74	2
Prüfungsbericht S 12328/We/Lö Universität Stuttgart	12328	1
Prüfungsbericht S 12328/We/J Universität Stuttgart	12328	1
Prüfungsbericht S 12273/We/Kei Universität Stuttgart	12273	1
		Σ32

Tabelle 2.2 Abmessungen und Materialeigenschaften (* Ersatzlänge)

Versuch	l [m]	β_s [N/mm ²]	α [°]	β [°]	h [mm]	b_o [mm]	b_u [mm]	c_1 [mm]	c_2 [mm]	t [mm]
8/78 1	7.3	310.0	0	0	240.0	76.0	68.5	16.0	20.0	2.00
2	7.3	310.0	0	0	240.0	76.0	68.5	16.0	20.0	2.00
1/80 1	9.0	301.0	30	10	240.0	68.0	60.0	15.0	15.0	2.50
3	9.0	274.0	30	13	300.0	90.0	81.0	25.0	37.0	3.00
2/81 1.1	*4.0	301.0	30	10	240.0	60.0	68.0	15.0	15.0	2.50
1.2	*3.1	301.0	30	10	240.0	60.0	68.0	15.0	15.0	2.50
2.1	*4.0	274.0	30	13	300.0	81.0	90.0	25.0	25.0	3.00
2.2	*3.1	274.0	30	13	300.0	81.0	90.0	25.0	25.0	3.00
4/80 1	9.0	437.0	0	0	300.0	97.0	88.0	26.0	26.0	2.50
5/80 1	7.2	340.0	0	0	200.0	65.0	58.0	20.0	20.0	1.50
2	7.2	348.0	0	0	200.0	65.0	58.0	20.0	20.0	1.50
54/78 1.1	5.0	292.5	0	0	142.0	54.0	49.0	19.0	21.0	1.46
2.1	5.0	297.6	0	0	142.0	54.0	49.0	19.0	21.0	1.47
5.1.2	7.5	299.1	0	0	262.0	80.0	72.0	19.0	21.0	2.83
5.2.1	7.5	282.0	0	0	232.0	76.0	69.0	19.0	21.0	1.80
5.2.2	7.5	273.6	0	0	232.0	76.0	69.0	19.0	21.0	2.24
5.3.1	6.0	306.2	0	0	202.0	65.0	60.0	19.0	21.0	2.35
5.3.2	6.0	309.7	0	0	202.0	65.0	60.0	19.0	21.0	1.82
5.3.3	6.0	304.0	0	0	202.0	65.0	60.0	19.0	21.0	1.97
5.4.1	6.0	284.0	0	0	172.0	65.0	60.0	19.0	21.0	1.46
5.4.3	6.0	285.5	0	0	172.0	65.0	60.0	19.0	21.0	1.45
5.5.1	6.0	291.7	0	0	142.0	54.0	49.0	19.0	21.0	1.47
5.5.2	6.0	275.2	0	0	142.0	54.0	49.0	19.0	21.0	1.71
5.5.3	6.0	296.4	0	0	142.0	54.0	49.0	19.0	21.0	1.45
1012/75 1	*2.2	366.0	40	0	203.0	64.0	64.0	18.1	18.1	1.61
2	*2.2	368.0	40	0	203.0	64.0	64.0	18.1	18.1	1.61
3	*6.0	385.0	40	0	203.0	64.0	64.0	18.1	18.1	1.63
407/74 1	5.9	433.6	40	0	203.0	89.0	89.0	24.0	24.0	2.67
2	5.9	398.8	40	0	203.0	64.0	64.0	18.1	18.1	1.52
12328 1	*6.0	393.2	40	0	203.0	89.0	89.0	24.0	24.0	2.77
2	*6.0	307.0	40	0	203.0	64.0	64.0	18.1	18.1	1.52
12273 1	7.62	427.0	40	0	203.0	64.0	64.0	18.1	18.1	1.52

Tabelle 2.3 Versuchsbeschreibende Angaben

Versuch	Verbindungsart	Belastung	Anzahl der Felder	Dachneigung [°]	Versagen	Bemerkung
8/78 1	<i>s</i>	<i>d</i>	<i>cp</i>	0	<i>sp</i>	$M = 0.97$
2	<i>o</i>	<i>d</i>	<i>cp</i>	0	<i>su</i>	$M = 2.16$
1/80 1	<i>o</i>	<i>d</i>	<i>cp</i>	1.6	<i>sp</i>	$M = 1.59$
3	<i>o</i>	<i>d</i>	<i>cp</i>	1.6	<i>sp</i>	$M = 2.20$
2/81 1.1	<i>c</i>	<i>d</i>	(<i>cp</i>)	0	(<i>su</i>)	*
1.2	<i>c</i>	<i>d</i>	(<i>cp</i>)	0	(<i>su</i>)	*
2.1	<i>c</i>	<i>d</i>	(<i>cp</i>)	0	(<i>su</i>)	*
2.2	<i>c</i>	<i>d</i>	(<i>cp</i>)	0	(<i>su</i>)	*
4/80 1	<i>o</i>	<i>d</i>	<i>cp</i>	1.6	<i>su</i>	$M = 1.85$
5/80 1	<i>o</i>	<i>d</i>	<i>cp</i>	0	<i>su</i>	$M = 1.82$
2	<i>o</i>	<i>w</i>	<i>cp</i>	0	<i>sp</i>	$M = 1.82$
54/78 1.1	—	<i>d</i>	1	0	<i>sp</i>	
2.1	—	<i>d</i>	1	12.0	<i>sp</i>	
5.1.2	<i>o</i>	<i>d</i>	2	12.0	<i>su</i>	
5.2.1	<i>s</i>	<i>d</i>	2	12.0	<i>su</i>	
5.2.2	<i>o</i>	<i>d</i>	2	12.0	<i>su</i>	
5.3.1	<i>s</i>	<i>d</i>	2	12.0	<i>sp</i>	
5.3.2	<i>o</i>	<i>d</i>	2	12.0	<i>su</i>	
5.3.3	<i>c</i>	<i>d</i>	2	12.0	<i>su</i>	
5.4.1	<i>s</i>	<i>d</i>	2	12.0	<i>sp</i>	
5.4.3	<i>c</i>	<i>d</i>	2	12.0	<i>su</i>	
5.5.1	<i>s</i>	<i>d</i>	2	12.0	<i>sp</i>	
5.5.2	<i>o</i>	<i>d</i>	2	12.0	<i>su</i>	
5.5.3	<i>c</i>	<i>d</i>	2	12.0	<i>su</i>	
1012/75 1	<i>o</i>	<i>d</i>	(<i>cp</i>)	0	(<i>su</i>)	*
2	<i>o</i>	<i>d</i>	(<i>cp</i>)	0	(<i>su</i>)	*
3	<i>o</i>	<i>d</i>	(<i>cp</i>)	0	(<i>su</i>)	*
407/74 1	—	<i>w</i>	1	0	<i>sp</i>	
2	—	<i>w</i>	1	0	<i>sp</i>	
12328 1	<i>o</i>	<i>d</i>	(<i>cp</i>)	0	(<i>su</i>)	*
2	<i>o</i>	<i>d</i>	(<i>cp</i>)	0	(<i>su</i>)	*
12273 1	<i>s</i>	<i>d</i>	2	4.8	<i>su</i>	$M = 1.36$

Es bedeuten:

s: gelascht*w*: Windsog*sp*: Feld*o*: überlappt*d*: Auflast*su*: Stütze*c*: durchlaufend*M*: Stützmoment/Feldmoment *cp*: Durchlaufpfette

*: Ersatzträgerversuch

Tabelle 2.4 Tragmomente

Versuch	M_{Ver} [kNm]	M_{DASt} [kNm]	M_{EKS} [kNm]	b_{DASt} [-]	b_{EKS} [-]
8/78 1	15.10	13.45	12.82	1.123	1.178
2	25.13	13.40	13.72	1.875	1.832
1/80 1	24.29	(17.90)	16.42	(1.357)	1.479
3	33.09	(33.89)	32.20	(0.976)	1.028
2/81 1.1	20.90	(13.80)	15.31	(1.514)	1.365
1.2	20.20	(13.95)	16.35	(1.448)	1.235
2.1	38.00	(28.56)	31.51	(1.331)	1.206
2.2	35.70	(28.85)	33.09	(1.237)	1.079
4/80 1	36.77	30.07	25.08	1.223	1.466
5/80 1	7.66	6.85	7.80	1.118	0.982
2	6.90	6.80	5.93	1.015	1.164
54/78 1.1	4.92	5.31	—	0.927	—
2.1	6.11	5.38	—	1.136	—
5.1.2	36.11	26.78	25.83	1.348	1.398
5.2.1	15.51	10.62	11.56	1.460	1.342
5.2.2	21.64	15.36	15.12	1.409	1.431
5.3.1	17.89	14.83	14.31	1.206	1.250
5.3.2	14.78	9.85	10.36	1.501	1.427
5.3.3	13.84	11.19	11.33	1.237	1.222
5.4.1	7.96	5.56	6.04	1.432	1.318
5.4.3	6.86	5.47	5.99	1.254	1.145
5.5.1	6.45	4.77	4.61	1.352	1.399
5.5.2	8.24	5.48	5.32	1.504	1.549
5.5.3	5.15	4.64	4.59	1.110	1.122
1012/75 1	9.53	7.74	(9.46)	1.231	(1.007)
2	10.22	7.76	(9.49)	1.317	(1.077)
3	9.04	7.99	(6.94)	1.131	(1.303)
407/74 1	15.68	12.53	(18.99)	1.251	(0.826)
2	5.81	4.98	(5.51)	1.167	(1.054)
12328 1	25.90	18.26	(19.77)	1.418	(1.310)
2	8.69	6.57	(5.84)	1.323	(1.488)
12273 1	9.07	7.46	(9.05)	1.216	(1.002)

Statistische Auswertungsmethode und Ergebnisse

Die statistische Auswertung erfolgte nach dem in [7] und [8] beschriebenen Verfahren. Hierbei wurde der Zwangspunkt (0/0) für die Mittelwertgerade berücksichtigt. Folgende Beziehungen kamen zur Anwendung:

Korrelationskoeffizient:

$$\rho = \frac{\sum r v_i r_{ti} - n \bar{r} \bar{v}_t}{(n-1) s_r v s_{rt}}$$

mit

$$\bar{r} = \frac{\sum r}{n}$$

$$s_r = \sqrt{\frac{\sum r_i^2 - n \bar{r}^2}{n-1}}$$

5%-Fraktile:

$$\bar{b} \times \delta_k$$

mit

$$\delta_k = \exp(-k_s \sigma_{lnr} - 0.5 \sigma_{lnr}^2)$$

$$\sigma_{lnr} = \sqrt{\ln(V_r^2 + 1)}$$

Nach der Bestimmung des 5%-Fraktilwertes kann die Auswertung auf die Ermittlung des Teilsicherheitsfaktors γ_M für einen vorgegebenen Sicherheitsindex β ausgedehnt werden.

Es gilt:

$$\gamma_M = \frac{\exp(-1.64 \alpha_{rt} \sigma'_{rt} - k_s \alpha_\delta \sigma'_\delta - 0.5 \sigma_{lnr}^2)}{\exp(-3.04 \alpha_{rt} \sigma'_{rt} - k_d \alpha_\delta \sigma'_\delta - 0.5 \sigma_{lnr}^2)}$$

α : Wichtungsfaktor

Bei der Bestimmung des Korrelationskoeffizienten für die Rechenmethode nach DAST und nach EKS konnten wegen der anfangs genannten Gründe nicht alle Versuche verwertet werden. Die fehlenden Angaben zur Bettung aus der Verformung der Anschlußbereiche, die für das Rechenmodell nach EKS notwendig sind, wurden aus den in der DAST-Ri 016 angegebenen Drehbettungswerten bestimmt. Es ergaben sich folgende statistische Kennwerte:

Tabelle 2.5 Auswertung

statistische Werte	DAST	EKS
Mittelwert \bar{b}	1.280	1.301
Korrelationskoeffizient ρ	0.974	0.959
Variationskoeffizient V_r	0.157	0.158
Korrekturstreugröße δ_k	0.735	0.730
5%-Fraktile	0.941	0.950
γ_M -Faktor	1.270	1.274

Die Auswertung wurde im Bild 2.2 und 2.3 graphisch dargestellt.

Wertung

Man sieht, daß die Korrelation in beiden Fällen ausreichend ist ($\rho > 0.9$). Die eigentliche globale Korrekturstreugröße ist die 5%-Fraktile, die in beiden Fällen nahezu mit der Geraden des Idealfalles zusammenfällt. Dieses Ergebnis bestätigt die Berechnungsmodelle.

Die Teilsicherheitsfaktoren γ_M beziehen sich auf die 5%-Fraktile und sind bei einer Aussagewahrscheinlichkeit von 75% in beiden Fällen gleich.

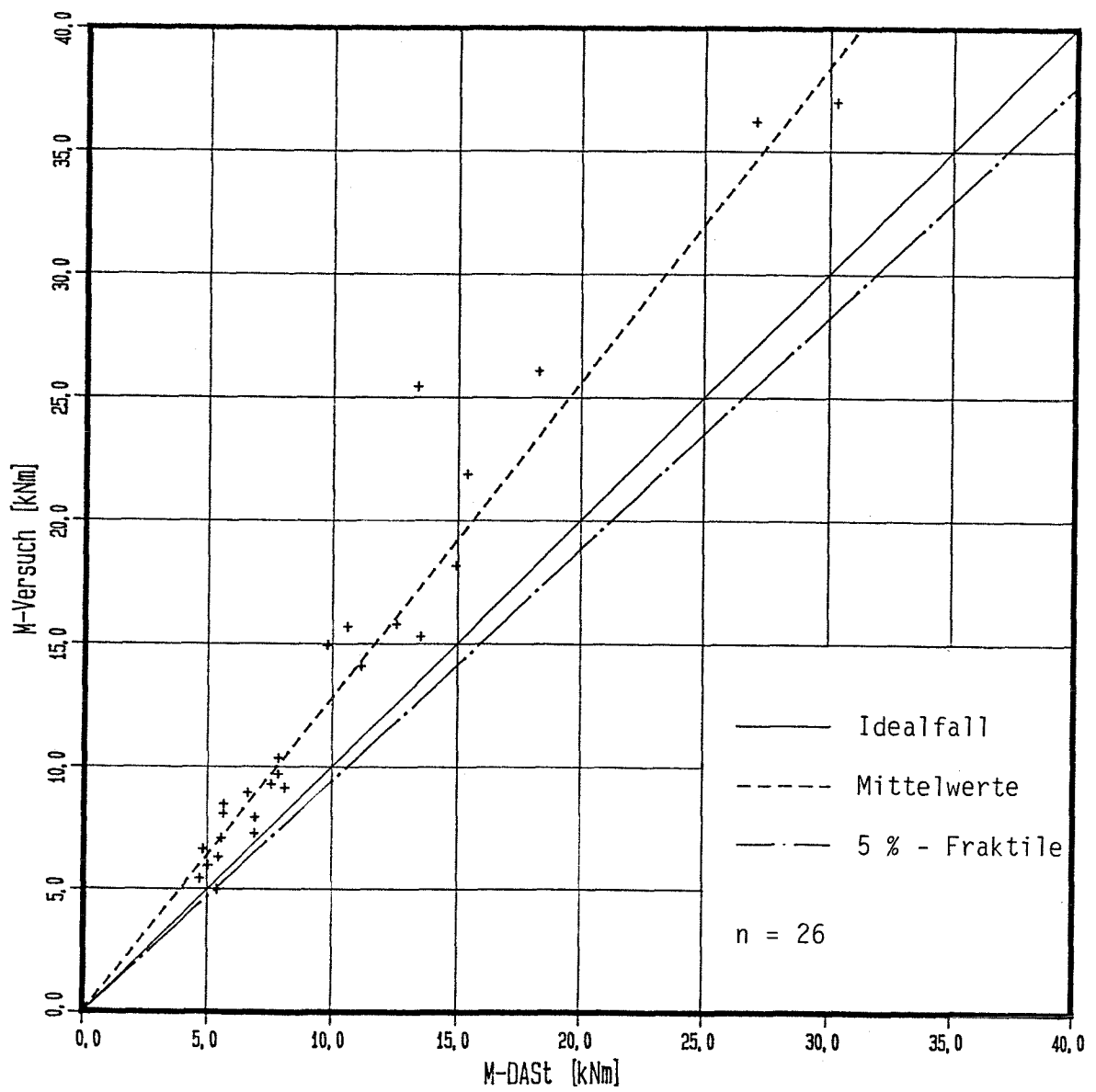


Bild 2.2 Auswertung: DAST-Ri 016

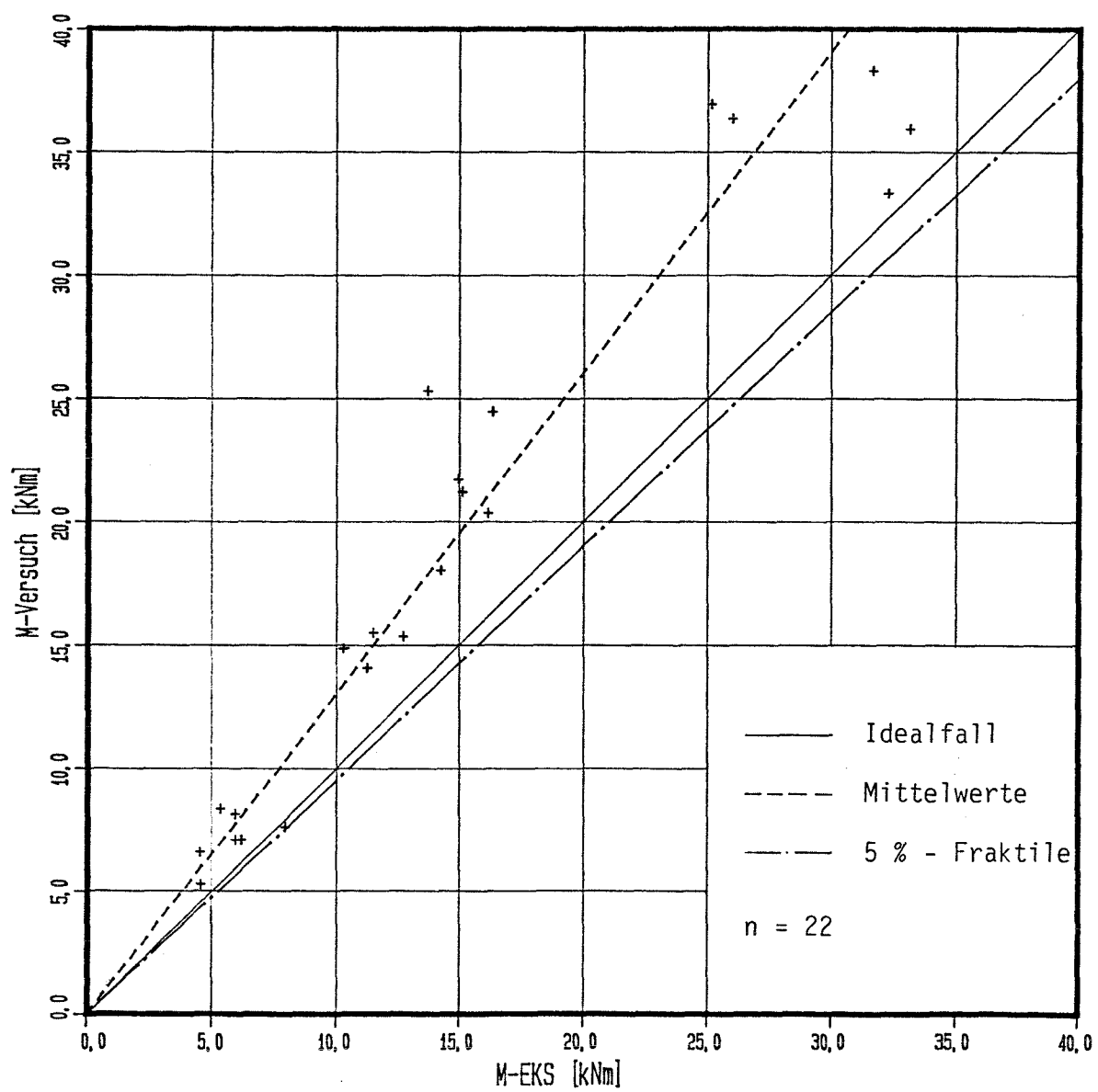


Bild 2.3 Auswertung: EKS

Anmerkung

Es fiel auf, daß bei einigen Versuchen das Versagen an einer anderen Stelle eintrat, als es in dem Rechenmodell nach EKS vorausgesetzt worden war. Da in diesen Fällen die Tragmomente an zwei verschiedenen Stellen miteinander verglichen werden, muß man die Vollständigkeit dieses Rechenmodells anzweifeln.

Die unter Verletzung der Voraussetzungen von den Bemessungsvorschlägen errechneten Tragmomente sind in fast allen Fällen kleiner als die in Versuchen ermittelten Tragmomente, d. h. die Grenze ist auf der sicheren Seite.

DAST: Hier wurden die Verhältnisse h/b um maximal 17% und b/c um ca. 13% überschritten. Bis auf ein rechnerisches Tragmoment, das nur knapp über $M_{u,Ver}$ liegt, sind die Ergebnisse zufriedenstellend. Diese Erkenntnis läßt vermuten, daß der Parameterbereich für das vereinfachte Verfahren erweitert werden könnte.

EKS: Die Nichterfüllung der Voraussetzungen war hier durch zu große Neigung der Lippen gegen die Gurte gegeben. Bis auf einen Wert sind alle rechnerischen Tragmomente kleiner als $M_{u,Ver}$, allerdings beträgt P_{Ver}/P_{EKS} in den meisten Fällen nahezu 1, so daß die Parameterbereichsgrenze erreicht zu sein scheint.

3. Vergleich der Bemessungsvorschläge mit Versuchsergebnissen (U-Profil)

Wie schon im Abschnitt 1.4 erwähnt, spielt die Anordnung der wirksamen Breiten bei einem U-Profil eine wichtige Rolle. Da sowohl DASt als auch EC3/EKS der Bemessung die Anordnung der wirksamen Flanschbreite an der gelagerten Kante zugrunde legt, sollen die Richtlinien anhand von vorliegenden Versuchsergebnissen an U-Profilträgern untersucht werden.

Für den Vergleich Versuche/Rechnungen konnten insgesamt 9 Versuche verwendet werden. Bei 8 Versuchen wurde bei einer axialen Belastung, die statisch bestimmt eingeleitet worden ist, die Ausmitte auf der Symmetrieachse variiert. Der letzte Versuch diente zur Untersuchung der Tragfähigkeit bei reiner Biegung. Alle Versuchskörper hatten den gleichen Querschnitt (U-100-75-2) und die Fließspannung β_s betrug stets 32.8 kN/cm^2 .

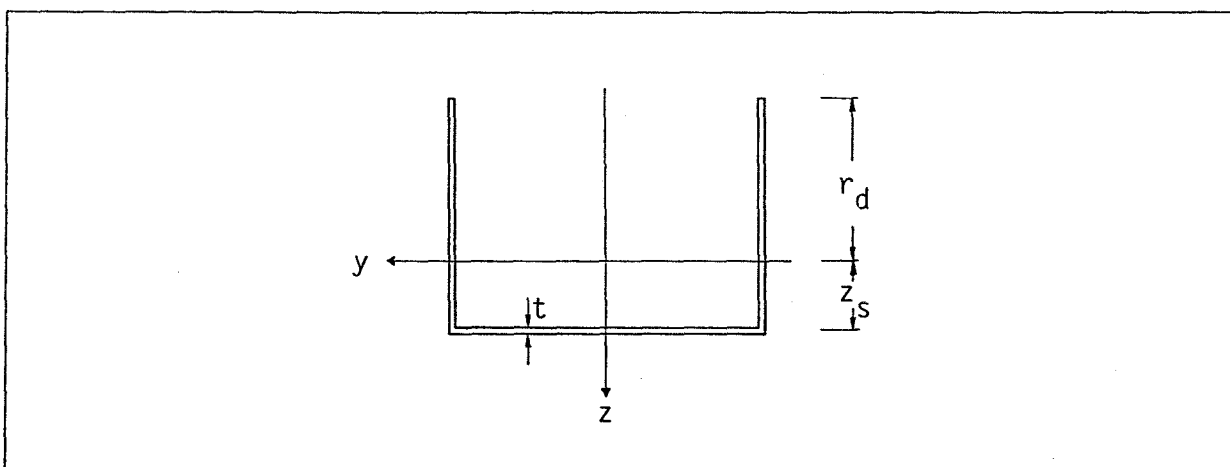


Bild 3.1 U-Profil aller Versuchskörper (U-100-75-2)

$$A = 500 \text{ mm}^2$$

$$I_y = 309448 \text{ mm}^4$$

$$I_z = 916777 \text{ mm}^4$$

$$i_y = 24.88 \text{ mm}$$

$$i_z = 42.82 \text{ mm}$$

$$z_s = 22.5 \text{ mm}$$

$$r_d = 52.5 \text{ mm}$$

3.1 Druckbeanspruchte Stäbe

Die Versuchsergebnisse sind mit Bemessungsmodellen nach EC3, EKS und DASt nachgerechnet worden. Da alle Versuchskörper durch Ausknicken in der Symmetrieebene versagten (Druckzone an den freien Rändern), konnten zum Vergleich die Traglasten zusätzlich nach Zhang [9] bestimmt werden, obwohl hier nur das Biegeknicken in der Symmetrieebene untersucht worden ist. Dieser Bemessung wurde die der DIN 18800 entsprechende Ersatzimperfektion $w_0 = l/300$ zugrunde gelegt. Die Rechenergebnisse sind in Tabelle 3.1 zusammengestellt.

Tabelle 3.1 Traglasten

Ver- such	β_s [kN/ cm ²]	Länge [cm]	e [cm]	N_{Ver} [kN]	N_{DASt} [kN]	$N_{EC3,EKS}$ [kN]	N_{Zhang} [kN]
(3)	32.8	100	—	50.0	8.5	27.1	44.9
(4)	32.8	100	—	53.0	8.5	27.1	44.9
(5)	32.8	100	—	53.0	8.5	27.1	44.9
(6)	32.8	100	—	50.5	8.5	27.1	44.9
(7)	32.8	100	-0.5	40.0	4.6	23.0	38.8
(8)	32.8	100	0.5	80.5	5.7	33.1	53.7
(9)	32.8	100	-0.9	35.0	4.2*)	20.6	34.9
(10)	32.8	100	0.9	82.5	6.3	40.5	65.1

*) Obwohl die Versagensursache im Versuch das Biegeknicken war, wird laut Bemessungsverfahren das Biegedrillknicken maßgebend.

Statistische Auswertung

Die statistische Auswertung erfolgte nach dem im Kapitel 2.2 näher beschriebenen Verfahren.

Tabelle 3.2 Auswertung

statistische Werte	DASt	EC3,EKS	Zhang
Mittelwert \bar{b}	8.568	1.941	1.175
Korrelationskoeffizient ρ	0.088	0.953	0.951
Variationskoeffizient V_r	0.389	0.128	0.142
Korrekturstreugröße δ_k	0.410	0.750	0.727
5%-Fraktile	3.510	1.456	0.854
γ_M -Faktor	1.934	1.243	1.275

Wertung

Da dieser Auswertung nur 8 Versuche am gleichen Versuchskörper vorlagen, kann anhand der statistischen Kennwerte vorläufig keine endgültige Aussage gemacht werden. Man erkennt jedoch, daß die Ergebnisse nach Eurocode und EKS im Mittel ca. 50% der Versuchsergebnisse betragen.

Die mit der DASt-Richtlinie ermittelten Traglasten betragen durchschnittlich nur 12% der Bruchlasten im Versuch. Die statistischen Kennwerte verdeutlichen dieses schlechte Ergebnis, z.B. $\rho = 0.088 \neq 0.9$.

Diese niedrigen rechnerischen Traglasten sind vorwiegend auf die ungünstig angeordneten wirksamen Flanscbreiten zurückzuführen.

Der Mittelwert $\bar{b} = 1.175$ für das in [9] vorgestellte Verfahren bescheinigt dagegen eine gute Übereinstimmung zwischen den berechneten und den Versuchslasten. Hier sei angemerkt, daß dieses Verfahren kein Bemessungsmodell darstellt, sondern eine theoretische Traglastbestimmung ohne Berücksichtigung statistischer Korrekturgrößen ermöglicht.

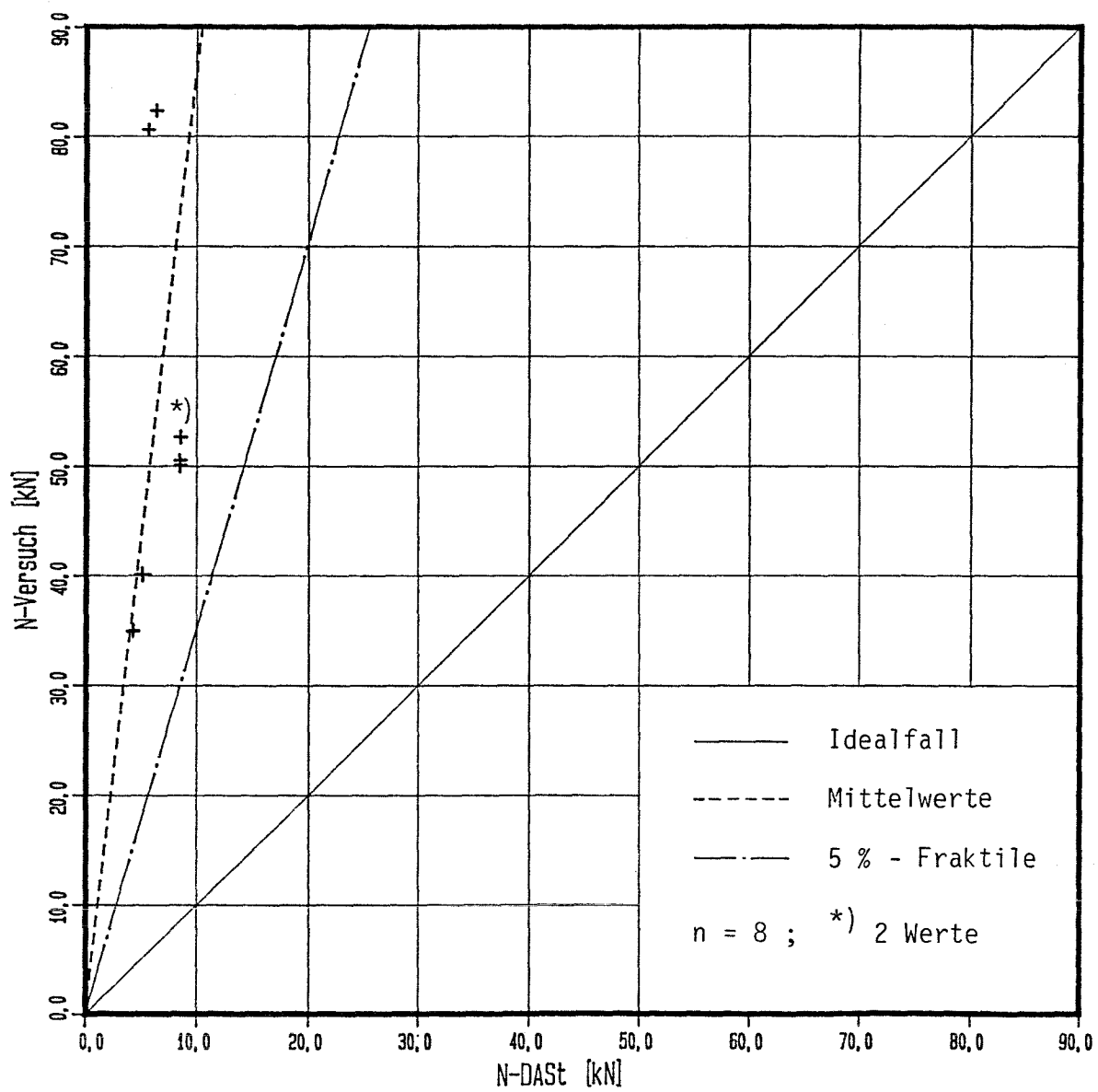


Bild 3.2 Auswertung: DAST-Ri 016

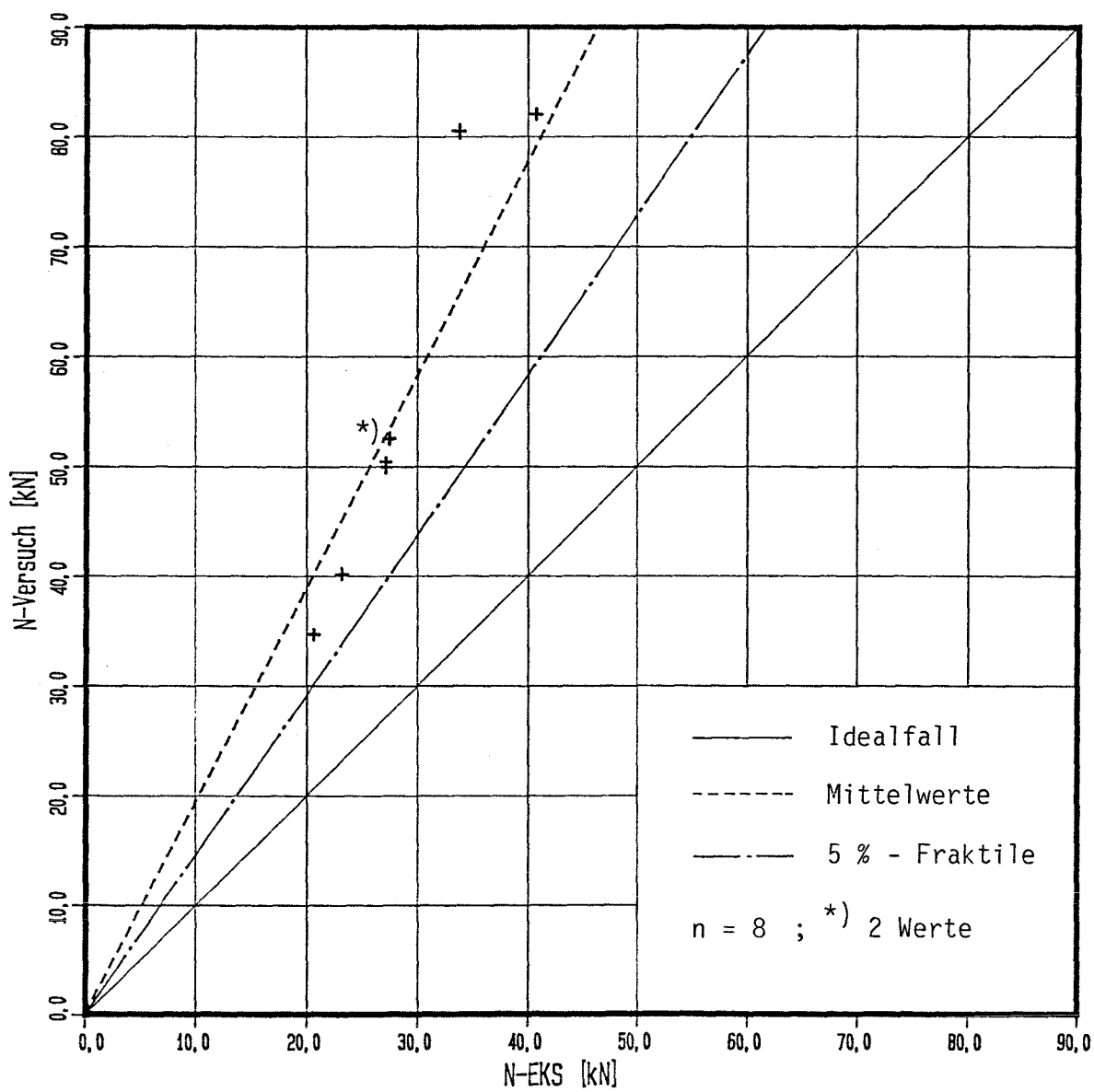


Bild 3.3 Auswertung: EKS

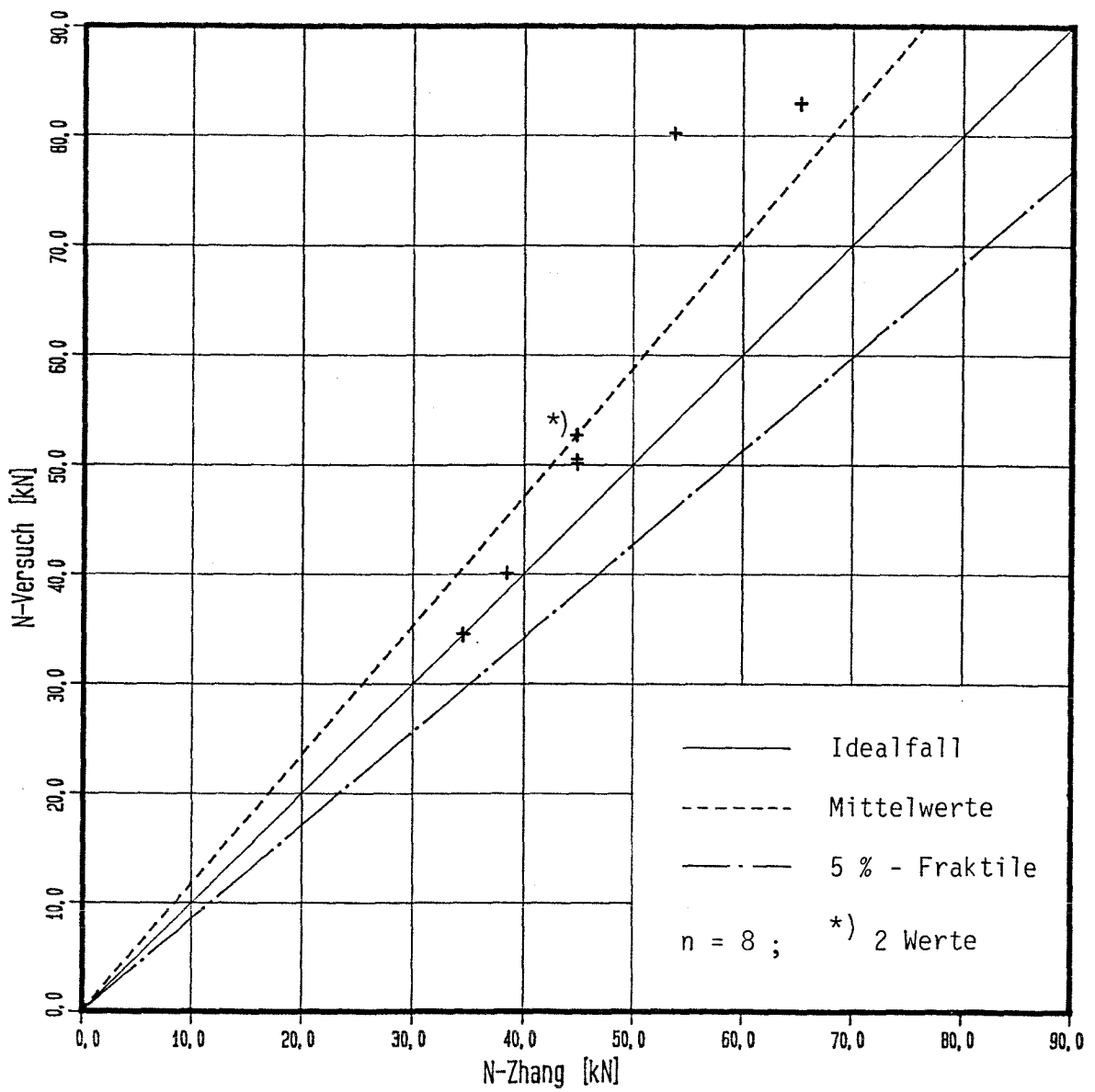


Bild 3.4 Auswertung: Zhang [9]

3.2 Stab unter Querlast

Durch zwei in Querrichtung angreifende Einzellasten konnte das Bruchmoment des U-Profilstabes unter reiner Biegung (Steg liegt in der Zugzone) bestimmt werden. Die Berechnung des Bruchmomentes mit den Bemessungsformeln nach DAST und EC3/EKS ergab folgende Werte:

$$M_{u,Ver} = 1.01kNm$$

$$M_{u,DAST} = 0.26kNm$$

$$M_{u,EC3/EKS} = 0.38kNm$$

Wie man sieht, liefern die Regelwerke auch für diesen Lastfall nicht zufriedenstellende Ergebnisse. Da man aber für die Zukunft eine wirtschaftliche Bemessung anstrebt, können die jetzigen Bemessungsformeln bei der Bemessung von Stäben mit einem U-Profil nur als eine vorübergehende Lösung angesehen werden.

4. Dünnwandige Kastenträger

4.1 Rechnerische Ermittlung der Tragfähigkeit zentrisch gedrückter Kastenprofile

In [1] wurden Versuchsergebnisse zusammengestellt, die an kaltgeformten, dünnwandigen Druckstäben mit einem Kastenquerschnitt durchgeführt worden sind. Diesen Versuchen wurden Rechnungen nach dem Entwurf DASt-Ri 016 gegenübergestellt. Dabei wurde bei zentrisch gedrückten Stäben nur beim oberen Gurt die Breite abgemindert, während beim unteren Gurt die volle Gurtbreite als wirksame Breite angesetzt worden ist. Dieses Vorgehen entspricht zwar der DASt-Ri 016, nicht aber dem wirklichen Verhalten, denn der untere Gurt wird ebenfalls gedrückt und somit muß auch dieser im Falle $\lambda_p > 0.673$ abgemindert werden. Für σ_D sollte hierbei $\psi \times \beta_s$ eingesetzt werden.

Da hier nur die obere Gurtbreite reduziert wird, verschiebt sich die Schwerachse des effektiven Querschnitts zum unteren Gurt hin. Dadurch erhält man eine zu große Exzentrizität und damit ein zu großes Moment. Der zu großen Ausmitte folgt ein zu kleiner κ -Wert, so daß der Fehler sich größtenteils aufhebt und die berechneten Traglasten N_u auf der sicheren Seite liegend richtige Ergebnisse vortäuschen.

Es können aber durchaus Fälle auftreten, bei denen sich der Fehler einseitig auswirkt und damit ganz falsche, ja sogar unsichere Ergebnisse erzielt werden.

Es wurden nun Berechnungen nach den Entwürfen EC3/EKS und DASt-Ri 016 und dem Bemessungsverfahren Schardt/Issmer [4] durchgeführt und den Versuchsergebnissen mittig gedrückter Stäbe gegenübergestellt. Aus den zuvor erwähnten Gründen wurden bei der Berechnung nach Bedingung (440) der DASt-Ri 016 ebenfalls beide Gurte, soweit erforderlich, abgemindert. Eine zusätzliche Vorverformung w_0 wurde nicht angesetzt, da diese in den Nachweisen nach Abschnitt 4 der Richtlinie bereits berücksichtigt ist. Im Folgenden werden diese Ergebnisse unter "DASt*)" zusammengefaßt. Bei der Berechnung nach dem Bemessungsverfahren Schardt/Issmer wurde laut DIN 18800 eine Vorverformung von $w_0 = l/450$ angesetzt.

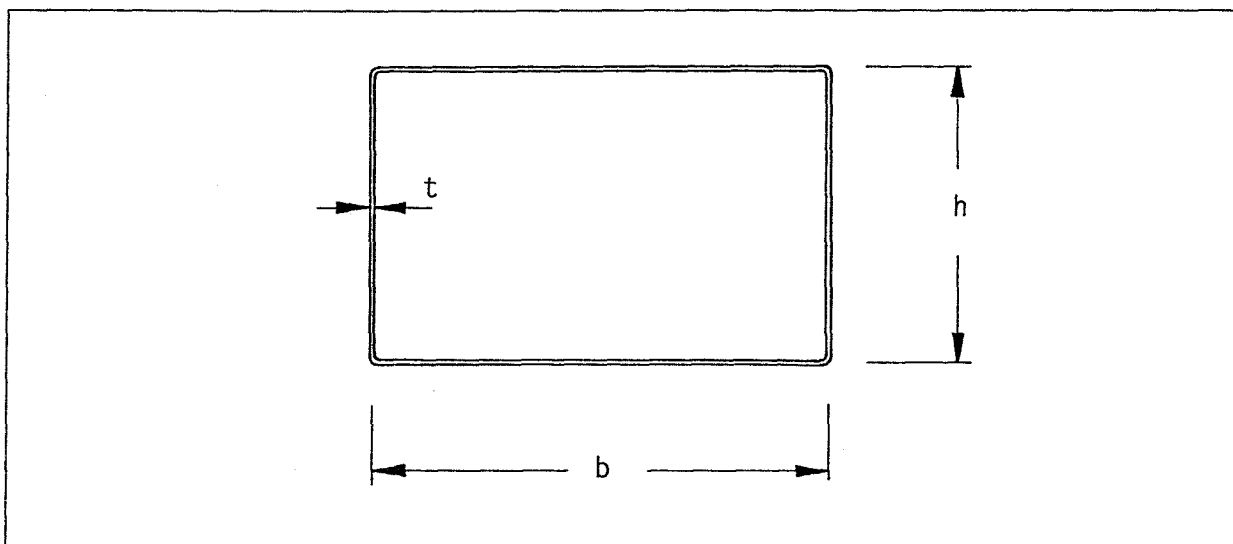


Bild 4.1 Querschnittsabmessungen

$$E = 21000 \text{ kN/cm}^2$$

$$\mu = 0.3$$

Tabelle 4.1 Querschnittswerte

	h [cm]	b [cm]	t [cm]	A [cm ²]	I [cm ⁴]	i [cm]
S1	20.0	33.0	0.405	41.62	2980.0	8.46
S2	26.5	26.5	0.404	41.52	4676.0	10.61
S4	10.0	30.0	0.490	37.28	703.5	4.34
S6	20.0	30.0	0.498	47.81	3315.0	8.33
S7	14.0	22.0	0.295	20.54	711.8	5.89
S9	15.05	25.05	0.484	37.02	1465.0	6.29
S10	15.05	25.05	0.485	37.02	1465.0	6.29

Tabelle 4.2 Traglasten

	β_s [kN/ cm ²]	Länge [cm]	$\bar{\lambda}$ [-]	Versuch [kN]	DAST [kN]	DAST*) [kN]	EC3 [kN]	Issmer [kN]
S1	41.6	425.0	0.712	865.0 893.0 879.0 890.0 817.0 873.0 862.0 882.0	758.4	821.6	745.7	806.4
S1	41.6	637.0	1.066	863.0 795.0 799.0 810.0 741.0 809.0	579.4	598.4	584.4	622.5
S1	41.6	850.0	1.423	693.0 604.0 618.0 655.0 703.0 672.0 640.0 583.0	418.5	391.5	441.7	464.0
S2	43.6	533.5	0.729	839.0 835.0 830.0 830.0 795.0 805.0 807.0 798.0	824.9	871.4	763.1	788.3
S2	43.6	800.0	1.093	758.0 690.0 708.0 745.0 711.0 736.0 720.0 746.0	643.3	663.8	592.9	644.3

Fortsetzung Tabelle 4.2 Traglasten

	β_s [kN/ cm ²]	Länge [cm]	$\bar{\lambda}$ [-]	Versuch [kN]	DASt [kN]	DASt*) [kN]	EC3 [kN]	Issmer [kN]
S2	43.6	1067.0	1.458	550.0 561.0 609.0 607.0 533.0 544.0 591.0 593.0	466.7	446.5	445.2	494.7
S4	38.6	217.0	0.682	970.0 975.0 960.0 1000.0 950.0 900.0 950.0 980.0	792.9	861.0	818.7	780.3
S4	38.6	325.0	1.021	910.0 890.0 780.0 970.0 880.0 890.0 950.0 950.0	606.2	632.6	642.7	589.5
S4	38.6	435.0	1.367	662.0 626.0 711.0 727.0 685.0 658.0 685.0 662.0	431.6	414.7	472.4	430.5
S6	27.0	421.0	0.577	1200.0 1005.0 940.0 1000.0 1010.0 1000.0 1030.0 1040.0	901.4	943.6	915.3	861.6

Fortsetzung Tabelle 4.2 Traglasten

	β_s [kN/ cm ²]	Länge [cm]	$\bar{\lambda}$ [-]	Versuch [kN]	DAS _t [kN]	DAS _t ^{*)} [kN]	EC3 [kN]	Issmer [kN]
S6	27.0	624.0	0.855	921.0 865.0 874.0 880.0 869.0 859.0 876.0 924.0	750.9	787.6	771.5	716.7
S6	27.0	833.0	1.142	731.0 737.0 752.0 683.0 759.0 738.0 776.0 695.0	571.9	575.5	599.7	558.4
S7	48.1	300.0	0.776	500.0 510.0 505.0 520.0 500.0 545.0 490.0 480.0	418.0	452.7	409.4	455.6
S7	48.1	447.0	1.157	360.0 355.0 385.0 365.0 375.0 385.0 420.0	308.3	311.2	311.9	345.5
S7	48.1	590.0	1.527	280.0 294.0 315.0 287.0 280.0 304.0 272.0 287.0	219.3	201.3	232.3	254.0

Fortsetzung Tabelle 4.2 Traglasten

	β_s [kN/ cm ²]	Länge [cm]	$\bar{\lambda}$ [-]	Versuch [kN]	DASt [kN]	DASt*) [kN]	EC3 [kN]	Issmer [kN]
S9	37.4	318.0	0.679	1180.0 1200.0 1190.0 1180.0 1150.0 1130.0 1175.0 1165.0	904.2	960.5	934.3	882.3
S9	37.4	475.0	1.014	1180.0 900.0 1145.0 1180.0 1180.0 1130.0 1160.0 1185.0	691.1	712.7	728.3	683.8
S9	37.4	627.0	1.339	657.0 673.0 616.0 660.0 651.0 674.0 710.0 730.0	493.3	480.3	529.0	502.2
S10	38.8	318.0	0.692	1170.0 1110.0	920.7	983.3	956.3	913.8
S10	38.8	475.0	1.033	1000.0	696.5	718.4	738.6	702.7

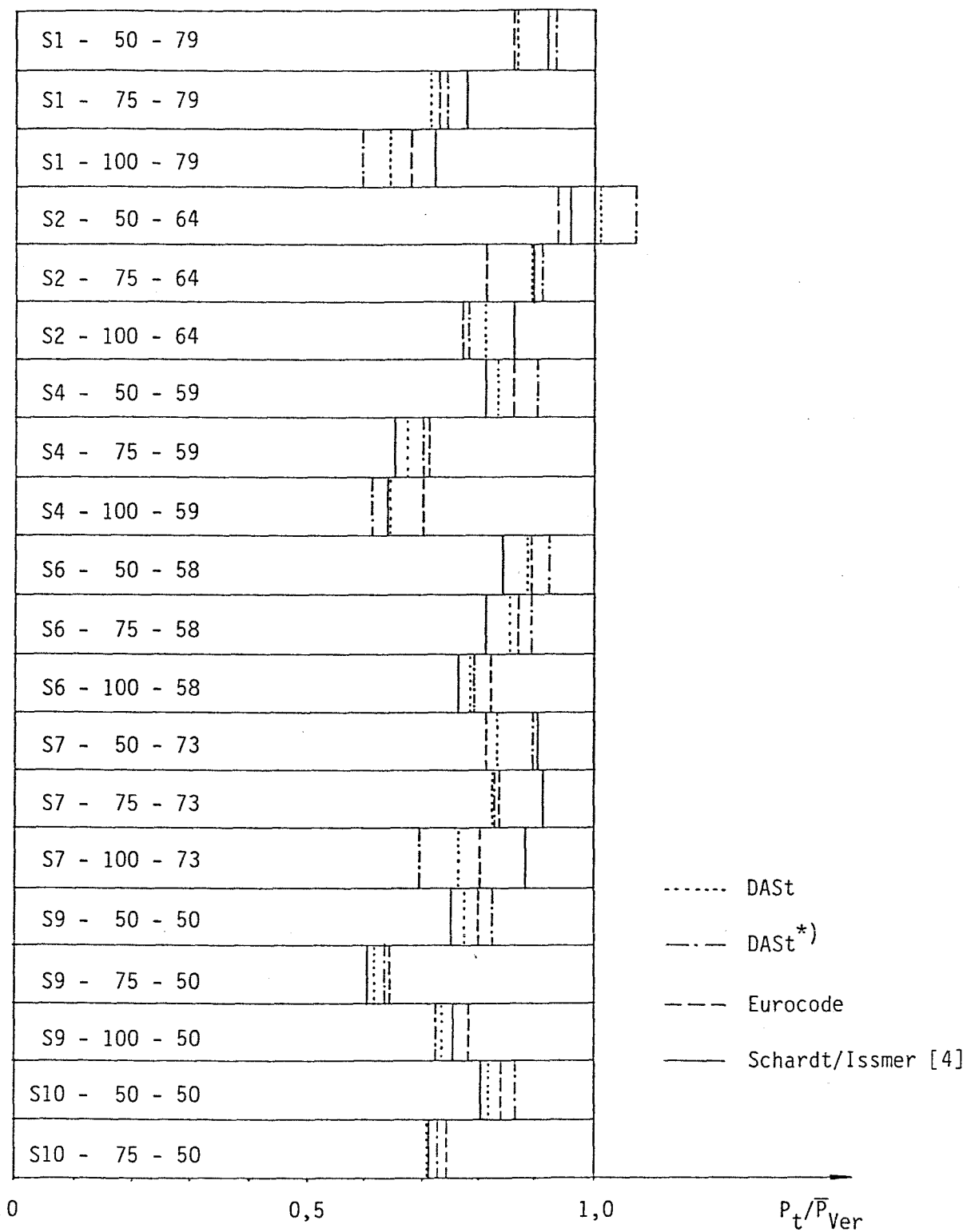


Bild 4.2 Gegenüberstellung der Traglasten nach den verschiedenen Bemessungsverfahren und den gemittelten Versuchslasten

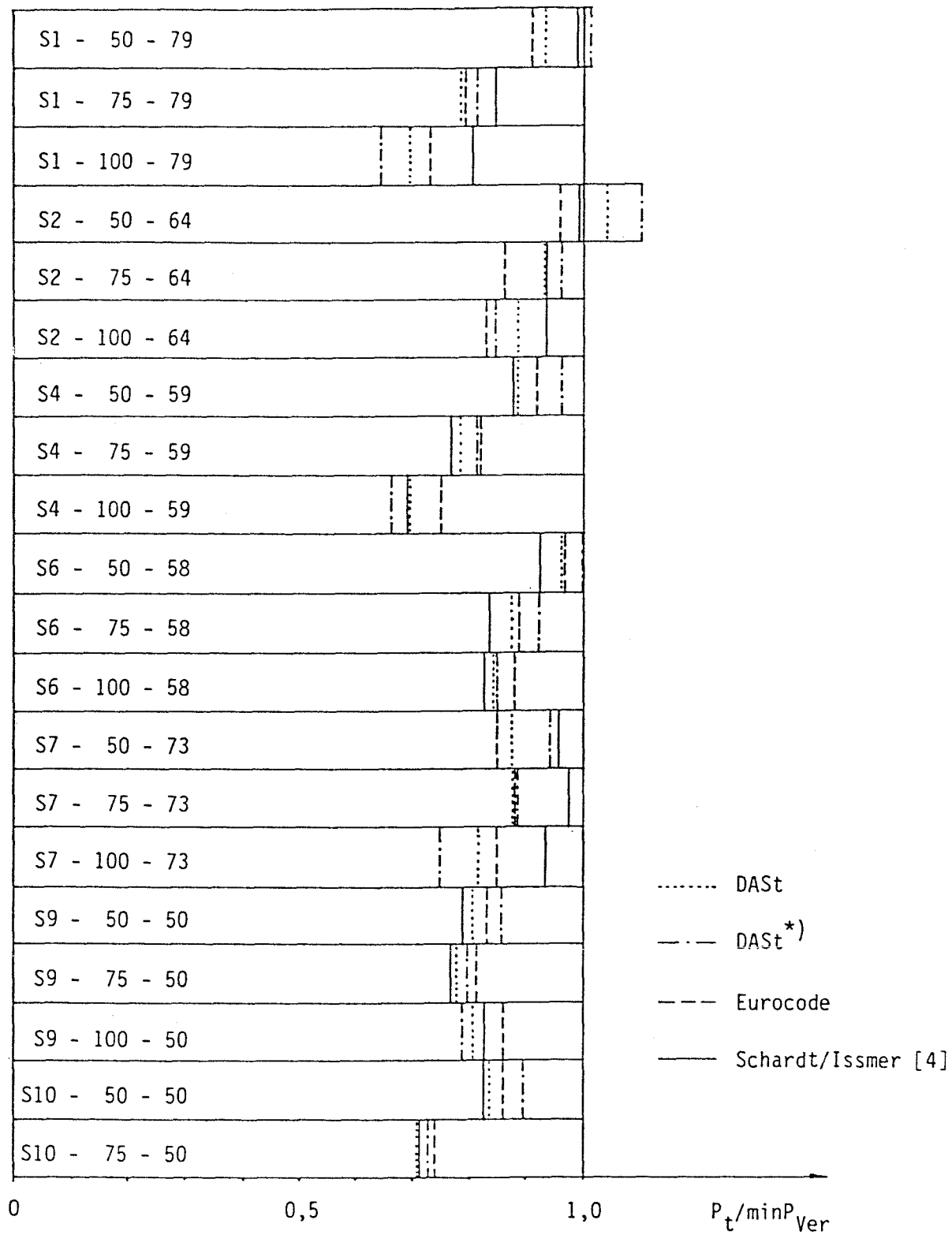


Bild 4.3 Gegenüberstellung der Traglasten nach den verschiedenen Bemessungsverfahren und den kleinsten Versuchslasten

Statistische Auswertung Kastenprofil

Tabelle 4.3 Auswertung

statistische Werte	DASt	DASt ^{*)}	EC3,EKS	Issmer
Mittelwert \bar{b}	1.297	1.277	1.269	1.270
Korrelationskoeffizient ρ	0.890	0.878	0.927	0.882
Variationskoeffizient V_r	0.148	0.175	0.121	0.154
Korrekturstreugröße δ_k	0.777	0.741	0.815	0.769
5%-Fraktile	1.007	0.946	1.034	0.977
γ_M -Faktor	1.229	1.276	1.184	1.239

Wertung

Generell kann gesagt werden, daß mit zunehmender Stabschlankheit die Bemessungsverfahren immer mehr auf der sicheren Seite liegende Traglasten liefern.

Aus den statistischen Kennwerten ist ersichtlich, daß außer für das Verfahren nach EC3/EKS die Korrelationskoeffizienten ρ knapp unter 0.9 liegen und somit ein nicht ganz zufriedenstellendes Ergebnis anzeigen.

4.2 Kastenträger unter Biegemomentenbeanspruchung

In [12] wurden Versuche beschrieben, in denen die Kastenträger B1, B4 und B7 durch Querkraftbiegung bis zum Bruch beansprucht worden sind. Die Kastenträger wurden jeweils aus vier Einzelblechen durch Aufbringen der Schweißnähte zu einem geschlossenen Hohlprofil verbunden.

Infolge des Schweißens bei der Herstellung der dünnwandigen Kastenträger entstanden große Vorbeulen.

Die Abmessungen der Versuchskörper variierten nur in der Höhe der Stegbleche. Die Tabelle 4.4 enthält außer den Abmessungen und den Querschnittswerten, die am unbelasteten Träger gemessenen mittleren Fließgrenzen. Die Querschnitte der Versuchskörper sind im Bild 4.4 dargestellt.

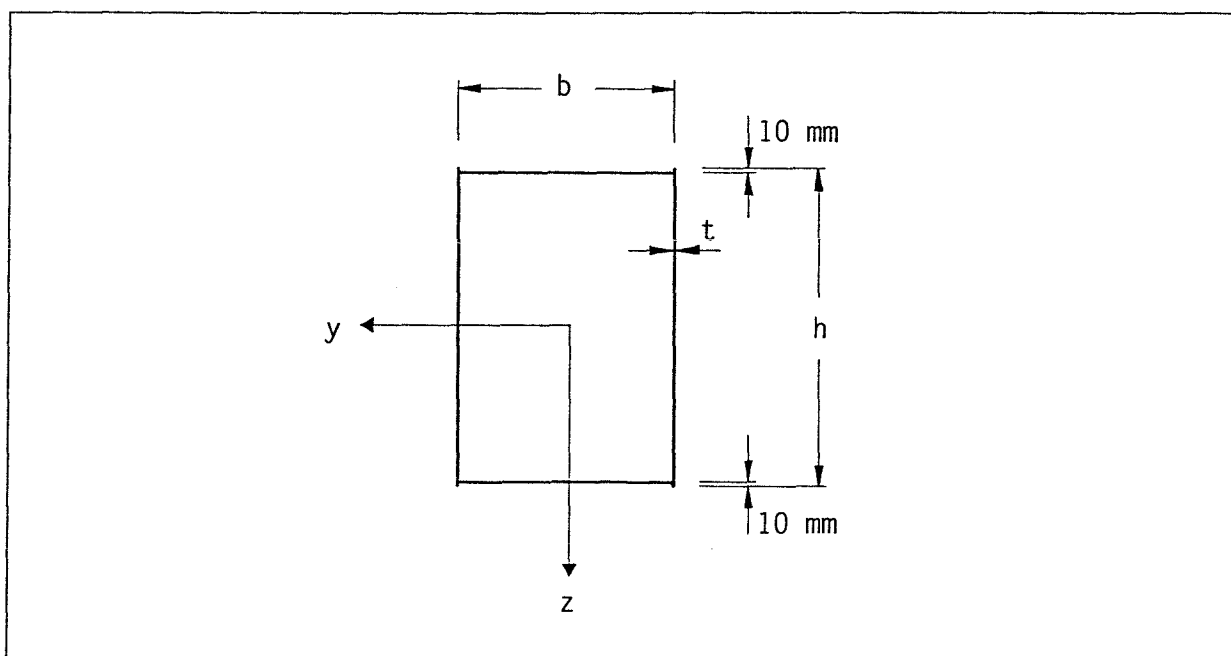


Bild 4.4 Querschnittsabmessungen

Tabelle 4.4 Abmessungen, Querschnittswerte, Fließspannungen

	l [cm]	h [cm]	b [cm]	t [cm]	A [cm ²]	I_y [cm ⁴]	β_s [kN/cm ²]
B1	500	60.0	40.0	0.4	80.0	40943	27.20
B4	500	40.0	40.0	0.4	64.0	15577	28.05
B7	500	30.0	40.0	0.4	56.0	7895	28.95

Tabelle 4.5 Gegenüberstellung von experimentell und theoretisch ermittelten Tragmomenten

Versuch	M_{Ver} [kNm]	M_{DASt} [kNm]	$M_{EC3,EKS}$ [kNm]
B1	240.0	228.1	222.6
B4	153.0	147.7	143.0
B7	110.0	100.5	100.1

Die experimentell ermittelten Traglasten enthält Tabelle 4.5. Diesen Werten wurden rechnerisch ermittelte Traglasten gegenübergestellt.

Die Bemessungsvorschläge nach DASt und EC3/EKS gestatten eine Berechnung der Traglasten mit einer Genauigkeit von ca. 9%, bezogen auf die Versuchsergebnisse. Im Gegensatz zur Bemessung des U-Profilträgers liefern dieselben Bemessungsmodelle zufriedenstellende Ergebnisse.

5. Differenzierte Auswertung des Vergleichs Rechnungen/Versuche zentrisch und exzentrisch gedrückter C-Profile

Die in [5] durchgeführte Gegenüberstellung Versuche/Rechnungen wurde zum Zwecke der besseren Aussagefähigkeit in Gruppen unterteilt und der Quotient $P_{Versuch}/P_{DAS,t}$ über die Stabschlankheit λ_y aufgetragen. Das Gruppenkriterium sind die Abmessungsverhältnisse der Querschnittselemente. Die Tabellen 5.1 bis 5.8 enthalten die Versuche, die jeweils zu einer Gruppe zusammengefaßt wurden.

In den Bildern 5.2 bis 5.9 wurde noch zusätzlich nach der Richtung der Lastexzentrizität unterschieden. Es ist auch zu ersehen, aus welcher Versuchsreihe die einzelnen Ergebnisse stammen. Um den Einfluß der Dicke t auf die Ergebnisse erkennbar zu machen, wurden die von der angegebenen Dicke abweichenden Dicken unmittelbar an die Ergebnisse drangeschrieben.

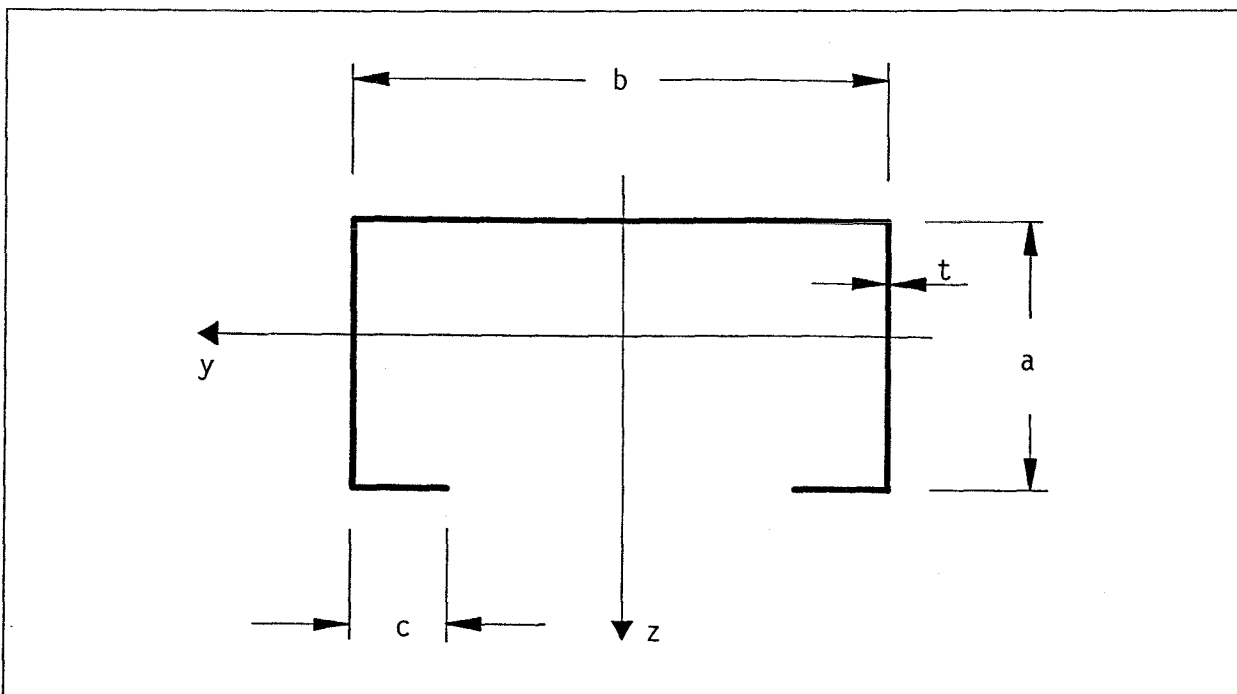


Bild 5.1 Querschnittsabmessungen

Tabelle 5.1 Gruppe I

l [mm]	a [mm]	b [mm]	c [mm]	t [mm]	b/a [-]	b/c [-]	e_y [mm]	e_z [mm]	$\bar{\lambda}_y$ [-]	$\bar{\lambda}_z$ [-]	b [-]
Versuche LC3 LU1 bis LC3 LU3											
2540	99.1	202.	15.9	1.50	2.04	12.7	102.	—	0.85	0.36	1.22
2540	99.5	203.	15.8	1.50	2.04	12.9	203.	—	0.86	0.36	1.35
2540	99.8	201.	16.0	1.50	2.02	12.6	102.	—	0.84	0.36	1.29
Versuche GM1 bis GM5											
1600	79.9	155.	17.6	1.10	1.94	8.83	—	—	0.56	0.25	1.31
1910	79.9	155.	16.5	1.10	1.94	9.38	—	—	0.66	0.30	1.49
3080	79.9	156.	16.5	1.20	1.95	9.44	—	—	1.07	0.48	1.36
3070	80.0	154.	17.1	1.10	1.93	9.02	—	—	1.06	0.48	1.59
1910	79.3	155.	17.7	1.20	1.96	8.77	—	—	0.67	0.30	1.44
Versuche GM11 bis GM18											
1910	113.	221.	19.3	1.20	1.96	11.4	—	—	0.48	0.21	1.30
2520	113.	223.	18.8	1.20	1.98	11.8	—	—	0.67	0.29	1.33
2520	113.	221.	18.5	1.20	1.96	12.0	—	—	0.65	0.28	1.32
1910	79.4	156.	17.5	1.20	1.96	8.89	—	13.7	0.66	0.29	2.91
1920	79.6	155.	17.9	1.20	1.95	8.66	—	13.5	0.66	0.30	2.45
1920	79.6	155.	17.5	1.20	1.95	8.85	—	-24.9	0.66	0.30	2.21
1910	79.8	155.	17.5	1.20	1.94	8.84	—	5.33	0.66	0.30	2.86
2520	113.	221.	18.8	1.20	1.96	11.7	—	13.2	0.64	0.28	2.96

Tabelle 5.2 Gruppe II

l [mm]	a [mm]	b [mm]	c [mm]	t [mm]	b/a [-]	b/c [-]	e_y [mm]	e_z [mm]	$\bar{\lambda}_y$ [-]	$\bar{\lambda}_z$ [-]	b [-]
Versuche A71 bis A156											
2690	100.	299.	19.6	0.60	2.98	15.3	—	-2.5	1.02	0.30	1.34
2690	101.	299.	20.6	0.60	2.98	14.5	—	-2.5	1.02	0.30	1.34
2690	101.	299.	20.0	0.60	2.98	15.0	—	-2.5	1.03	0.30	1.29
2690	100.	300.	20.2	0.70	2.99	14.9	—	-2.5	0.88	0.26	0.97
2690	101.	300.	20.2	0.90	2.98	14.8	—	-2.5	1.11	0.32	1.35
2690	101.	300.	20.0	0.90	2.98	15.0	—	-2.5	1.10	0.32	1.28
2690	101.	299.	19.6	0.90	2.98	15.3	—	-2.5	1.11	0.32	1.36
2690	99.6	298.	19.5	1.00	2.99	15.3	—	-2.5	1.14	0.33	1.04
2690	100.	299.	20.3	1.50	2.99	14.7	—	-2.5	1.01	0.30	1.22
2690	100.	300.	20.2	1.40	3.00	14.9	—	-2.5	1.01	0.29	1.24
2690	99.8	300.	20.8	1.40	3.00	14.4	—	-2.5	1.03	0.30	1.24
2690	100.	301.	23.4	1.40	2.99	12.8	—	-2.5	1.00	0.30	1.24
2690	101.	299.	23.6	1.40	2.97	12.7	—	-2.5	0.98	0.29	0.97
2690	99.8	299.	21.1	1.40	3.00	14.2	—	-2.5	1.01	0.29	1.22
Versuche LC1 LU1 bis LC2 LU2											
1930	62.5	175.	18.0	1.80	2.79	9.69	53.3	—	1.12	0.36	2.02
1930	62.5	175.	18.0	1.80	2.79	9.69	305.	—	1.12	0.36	1.57
1930	62.5	175.	18.0	1.80	2.79	9.69	152.	—	1.12	0.36	1.97
2540	79.7	231.	17.4	1.30	2.90	13.3	152.	—	0.95	0.29	1.59
2540	79.5	230.	18.2	1.30	2.90	12.7	229.	—	0.96	0.29	1.42
Versuche GM6 bis GM9											
1830	80.1	230.	16.7	1.10	2.88	13.8	—	—	0.66	0.20	1.47
2420	79.9	231.	16.9	1.10	2.89	13.7	—	—	0.87	0.27	1.54
3000	80.0	231.	16.8	1.10	2.89	13.8	—	—	1.08	0.33	1.54
2410	80.0	229.	17.8	1.20	2.87	12.9	—	—	0.87	0.27	1.60

Tabelle 5.3 Gruppe III

l [mm]	a [mm]	b [mm]	c [mm]	t [mm]	b/a [-]	b/c [-]	e_y [mm]	e_z [mm]	$\bar{\lambda}_y$ [-]	$\bar{\lambda}_z$ [-]	b [-]
Versuche LC1 LS1 bis LC2 LS3											
991	74.2	74.2	18.1	2.00	1.00	4.10	—	38.1	0.43	0.37	1.28
1300	74.2	74.2	18.1	2.00	1.00	4.10	—	38.1	0.57	0.48	1.18
1600	74.2	74.2	18.1	2.00	1.00	4.10	—	38.1	0.70	0.59	1.04
929	72.9	72.9	17.4	3.40	1.00	4.19	—	-50.8	0.40	0.34	1.27
1270	72.9	72.9	17.4	3.40	1.00	4.19	—	-57.2	0.54	0.46	1.48
1540	72.9	72.9	17.4	3.40	1.00	4.19	—	-57.2	0.66	0.56	1.45
Versuche LC5 LS1 bis LC6 LS2											
1300	72.9	72.9	17.4	3.40	1.00	4.19	51.6	—	0.59	0.50	0.99
1760	72.9	72.9	17.4	3.40	1.00	4.19	50.8	—	0.80	0.68	0.92
1310	74.3	74.3	18.1	1.90	1.00	4.10	60.5	—	0.53	0.45	1.26
1610	74.3	74.3	18.1	1.90	1.00	4.10	54.1	—	0.65	0.55	1.22
Versuche LC11 LS1 bis LC11 LS3											
991	74.3	74.3	18.1	1.90	1.00	4.10	63.5	50.8	0.40	0.38	1.55
1260	74.3	74.3	18.1	1.90	1.00	4.10	50.8	63.5	0.57	0.48	1.53
1560	74.3	74.3	18.1	1.90	1.00	4.10	63.5	50.8	0.70	0.60	1.40
Versuch G											
2520	113.	114.	19.2	1.20	1.01	5.91	—	—	0.65	0.53	1.21

Tabelle 5.4 Gruppe IV

l [mm]	a [mm]	b [mm]	c [mm]	t [mm]	b/a [-]	b/c [-]	e_y [mm]	e_z [mm]	$\bar{\lambda}_y$ [-]	$\bar{\lambda}_z$ [-]	b [-]
Versuche CL 1-1 bis CL 3-5											
3040	91.2	241.	29.7	1.50	2.64	8.11	—	—	1.05	0.36	1.30
3040	91.1	241.	30.0	1.50	2.64	8.02	—	-30.5	1.05	0.36	1.46
3040	91.1	241.	29.7	1.50	2.64	8.11	—	28.1	1.05	0.36	1.06
3040	90.0	241.	29.7	1.50	2.67	8.10	—	-61.9	1.06	0.36	1.24
3040	91.3	240.	30.1	1.50	2.63	7.98	—	—	1.05	0.36	1.32
3040	91.2	240.	29.9	1.50	2.63	8.04	60.0	14.1	1.05	0.36	1.45
3040	91.1	241.	30.2	1.50	2.64	7.96	60.0	-30.9	1.05	0.36	1.74
3040	91.1	240.	30.8	1.50	2.64	7.81	60.0	—	1.04	0.36	2.29
3040	91.2	240.	30.1	1.50	2.63	7.98	60.0	28.1	1.05	0.36	1.38
3040	91.2	240.	30.4	1.50	2.63	7.90	60.0	-61.9	1.05	0.36	1.31
3040	91.2	240.	29.8	1.50	2.64	8.07	100.	—	1.05	0.36	2.83
3040	91.2	241.	30.8	1.50	2.64	7.81	100.	-30.9	1.04	0.36	1.88
3040	91.2	240.	29.9	1.50	2.64	8.04	100.	14.1	1.05	0.36	1.49
3040	91.0	240.	29.9	1.50	2.64	8.04	100.	28.1	1.05	0.36	1.38
3040	91.2	240.	30.0	1.50	2.63	8.00	100.	-61.9	1.05	0.36	1.36
Versuche CK 1-1 bis CK 2-2											
1040	91.2	240.	30.1	1.50	2.63	7.98	—	—	0.36	0.12	1.22
1040	91.2	240.	30.1	1.50	2.63	7.98	—	28.1	0.36	0.12	1.60
1040	91.2	240.	29.4	1.50	2.63	8.17	—	-61.9	0.36	0.12	1.92
1040	91.2	240.	29.9	1.50	2.64	8.04	100.	—	0.36	0.12	2.64
1040	91.2	240.	29.9	1.50	2.64	8.04	—	—	0.36	0.12	1.15
Versuche LC4 LU1 bis LC6 LU2											
2540	85.8	226.	26.0	1.50	2.63	8.68	305.	—	1.11	0.38	1.74
2540	85.8	226.	26.0	1.50	2.63	8.68	457.	—	1.11	0.38	1.49
2540	85.9	225.	26.1	1.50	2.62	8.64	152.	—	1.12	0.39	1.69
2540	86.3	200.	26.1	1.50	2.32	7.67	102.	—	1.07	0.42	1.93
2540	86.3	200.	26.1	1.50	2.32	7.67	203.	—	1.07	0.42	1.80
2540	86.2	200.	26.2	1.60	2.32	7.65	152.	—	1.07	0.42	1.77
2540	86.2	200.	26.2	1.60	2.32	7.65	254.	—	1.07	0.42	1.56
2540	87.3	238.	31.0	2.30	2.72	7.66	127.	—	1.16	0.39	1.84
2540	87.3	238.	31.0	2.30	2.72	7.66	254.	—	1.16	0.39	1.68
Versuche LC8 LU1 bis LC10 LU2											
2510	85.8	226.	26.2	1.50	2.63	8.61	50.8	-25.4	1.10	0.38	1.58
2520	85.3	226.	26.2	1.50	2.65	8.61	50.8	-25.4	1.11	0.38	1.61
2510	85.7	226.	26.1	1.50	2.63	8.65	102.	-25.4	1.12	0.38	1.69
2510	85.7	226.	26.1	1.50	2.63	8.65	102.	-25.4	1.12	0.38	1.65
2520	85.7	226.	25.3	1.50	2.63	8.91	152.	-25.4	1.12	0.39	1.61
2510	85.7	200.	25.9	1.50	2.34	7.73	152.	-25.4	1.11	0.43	1.75
2370	86.4	200.	26.2	1.60	2.31	7.63	100.	9.65	1.09	0.42	1.75
2370	86.4	200.	26.2	1.60	2.31	7.63	152.	9.65	1.09	0.42	1.48
2370	86.5	200.	26.2	1.60	2.32	7.65	152.	9.65	1.09	0.42	1.55
2370	86.5	200.	26.2	1.60	2.32	7.65	100.	16.0	1.09	0.42	1.53
2510	87.4	238.	31.0	2.30	2.72	7.68	140.	—	1.14	0.38	1.89
2510	87.3	238.	31.0	2.30	2.73	7.68	140.	—	1.14	0.38	1.91

Tabelle 5.5 Gruppe V

l [mm]	a [mm]	b [mm]	c [mm]	t [mm]	b/a [-]	b/c [-]	e_y [mm]	e_z [mm]	$\bar{\lambda}_y$ [-]	$\bar{\lambda}_z$ [-]	b [-]
Versuche L18 bis L20											
1910	50.2	178.	18.8	0.80	3.55	9.47	—	-5.59	1.08	0.28	1.27
1600	50.5	177.	18.9	0.80	3.51	9.38	—	-5.59	0.90	0.24	1.24
1300	50.5	178.	19.6	0.80	3.52	9.07	—	-5.59	0.73	0.19	1.21
Versuche L28 bis L30											
1910	49.3	178.	17.9	1.60	3.61	9.95	—	-2.79	1.09	0.28	1.56
1600	49.4	178.	17.9	1.70	3.60	9.93	—	-2.79	0.91	0.23	0.88
1300	49.1	176.	18.1	1.70	3.59	9.73	—	-2.79	0.74	0.19	1.33
Versuche LC7 LU1 bis LC7 LU3											
949	41.7	155.	14.5	2.00	3.71	10.7	88.9	-38.1	0.79	0.20	1.63
1260	41.7	155.	14.5	2.00	3.71	10.7	88.9	-38.1	1.05	0.26	1.47
1560	41.7	155.	14.5	2.00	3.71	10.7	88.9	-38.1	1.30	0.32	1.51

Tabelle 5.6 Gruppe VI

l [mm]	a [mm]	b [mm]	c [mm]	t [mm]	b/a [-]	b/c [-]	e_y [mm]	e_z [mm]	$\bar{\lambda}_y$ [-]	$\bar{\lambda}_z$ [-]	b [-]
Versuche L6 bis L8											
1910	50.6	128.	18.7	0.80	2.53	6.83	—	-1.78	1.04	0.38	1.35
1600	50.5	126.	18.8	0.80	2.50	6.72	—	-1.78	0.87	0.32	1.25
1300	50.6	127.	19.1	0.80	2.50	6.62	—	-1.78	0.71	0.26	1.25
Versuche L12 bis L17											
1910	50.7	152.	18.9	0.80	3.00	8.04	—	-4.57	1.05	0.32	1.28
1600	50.6	152.	19.7	0.80	3.01	7.73	—	-4.57	0.88	0.27	1.21
1300	50.5	152.	19.7	0.80	3.00	7.70	—	-4.57	0.71	0.22	1.20
1910	62.8	154.	25.3	0.80	2.45	6.08	—	—	0.83	0.31	1.35
1600	62.9	154.	25.6	0.80	2.45	6.01	—	—	0.69	0.26	1.31
1300	62.9	152.	25.6	0.80	2.42	5.94	—	—	0.56	0.22	1.24
Versuche L21 bis L27											
1910	62.9	183.	25.2	0.80	2.91	7.26	—	-4.06	0.84	0.27	1.18
1600	62.9	178.	25.3	0.80	2.83	7.05	—	-4.06	0.70	0.23	1.25
1300	63.0	177.	25.8	0.80	2.80	6.84	—	-4.06	0.57	0.19	1.09
1910	49.3	152.	17.5	1.60	3.09	8.70	—	—	1.07	0.32	1.84
1910	61.7	152.	24.6	1.70	2.47	6.19	—	-2.03	0.83	0.31	1.34
1600	61.7	152.	24.7	1.70	2.47	6.16	—	-2.03	0.70	0.26	1.25
1300	61.8	151.	24.8	1.70	2.45	6.10	—	-2.03	0.56	0.21	1.17
Versuche L31 bis L33											
1910	61.8	178.	24.6	1.30	2.88	7.24	—	—	0.84	0.27	2.17
1600	61.6	178.	24.7	1.30	2.89	7.20	—	—	0.70	0.23	1.97
1300	62.0	177.	24.9	1.30	2.85	7.10	—	—	0.57	0.18	1.90

Tabelle 5.7 Gruppe VII

l [mm]	a [mm]	b [mm]	c [mm]	t [mm]	b/a [-]	b/c [-]	e_y [mm]	e_z [mm]	$\bar{\lambda}_y$ [-]	$\bar{\lambda}_z$ [-]	b [-]
Versuche L1 bis L5											
1910	50.6	101.	18.8	0.80	2.00	5.39	—	-7.37	1.03	0.47	1.15
1300	50.5	101.	19.2	0.80	2.00	5.27	—	-7.37	0.70	0.32	1.11
1910	62.7	103.	25.4	0.80	1.64	4.04	—	-10.2	0.82	0.46	1.05
1600	62.8	102.	25.4	0.80	1.62	4.01	—	-10.2	0.69	0.39	1.06
1300	62.9	102.	25.7	0.80	1.62	3.95	—	-10.4	0.55	0.32	1.10
Versuche L9 bis L11											
1910	62.7	128.	25.4	0.80	2.04	5.03	—	-4.57	0.82	0.37	1.23
1600	63.0	127.	25.5	0.80	2.02	5.00	—	-4.83	0.69	0.31	1.21
1300	62.9	127.	25.6	0.80	2.01	4.95	—	-4.83	0.56	0.26	1.15
Versuche LC3 LS1 bis LC4 LS2											
1320	40.6	73.7	17.8	1.90	1.82	4.14	36.8	—	0.94	0.48	1.44
993	39.4	74.4	18.1	1.90	1.89	4.11	50.8	—	0.71	0.35	1.49
1300	39.4	74.4	18.1	1.90	1.89	4.11	50.8	—	0.92	0.46	2222
1610	39.4	74.4	18.1	1.90	1.89	4.11	50.8	—	1.15	0.57	1.44
993	39.8	73.9	17.9	2.30	1.86	4.13	63.5	—	0.86	0.44	1.39
1300	39.8	73.9	17.9	2.30	1.86	4.13	63.5	—	1.13	0.57	1.30

Tabelle 5.8 Gruppe VIII

l [mm]	a [mm]	b [mm]	c [mm]	t [mm]	b/a [-]	b/c [-]	e_y [mm]	e_z [mm]	$\bar{\lambda}_y$ [-]	$\bar{\lambda}_z$ [-]	b [-]
Versuche LC7 LS1 bis LC10 LS3											
1280	72.9	98.3	17.4	3.40	1.35	5.65	57.2	—	0.51	0.33	1.42
1750	72.9	98.3	17.4	3.40	1.35	5.65	56.4	—	0.70	0.45	1.35
1020	74.2	99.6	18.1	2.00	1.34	5.50	38.1	—	0.42	0.27	1.32
1300	74.0	99.6	18.1	2.00	1.35	5.50	38.1	—	0.54	0.35	1.30
1620	74.2	99.6	18.1	2.00	1.34	5.50	38.1	—	0.67	0.43	1.27
1920	74.3	99.7	18.1	1.90	1.34	5.51	42.2	—	0.81	0.52	1.26
2230	74.3	99.7	18.1	2.00	1.34	5.51	50.8	—	0.93	0.60	1.17
1000	59.3	86.3	15.3	2.60	1.46	5.64	50.8	38.1	0.61	0.37	1.34
1340	59.3	86.3	15.3	2.60	1.46	5.64	50.8	38.1	0.82	0.49	1.34
1650	59.3	86.3	15.3	2.60	1.46	5.64	50.8	38.1	1.01	0.60	1.22
1590	60.8	86.2	15.3	2.70	1.42	5.63	63.5	-50.8	1.01	0.62	1.16
996	73.6	99.0	24.1	2.60	1.35	4.11	63.5	-50.8	0.47	0.30	1.68
1300	73.6	99.0	24.1	2.60	1.35	4.11	63.5	-50.8	0.59	0.39	1.75
1610	73.6	99.0	24.1	2.60	1.35	4.11	63.5	-50.8	0.75	0.50	1.61

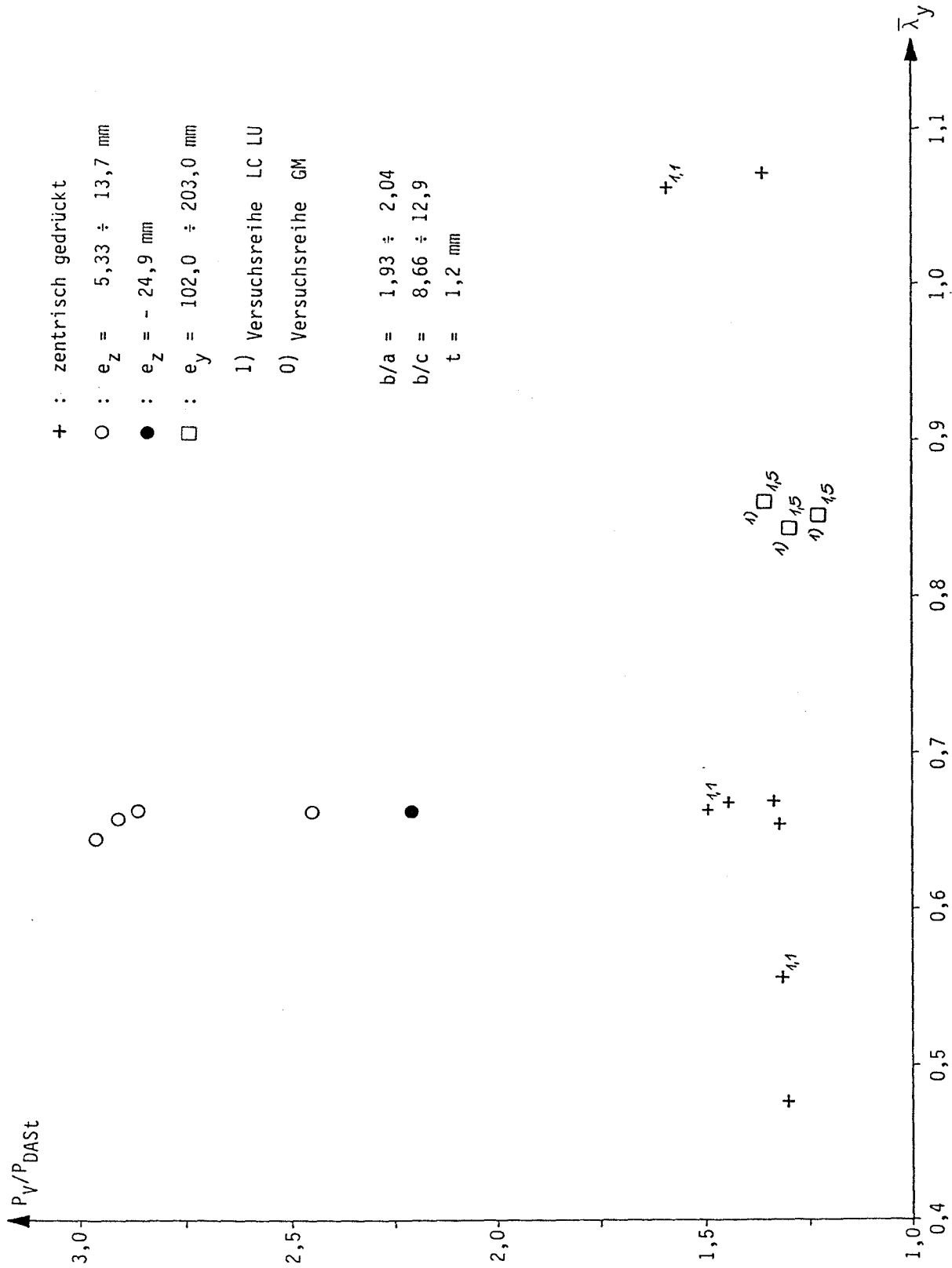


Bild 5.2 Gruppe I

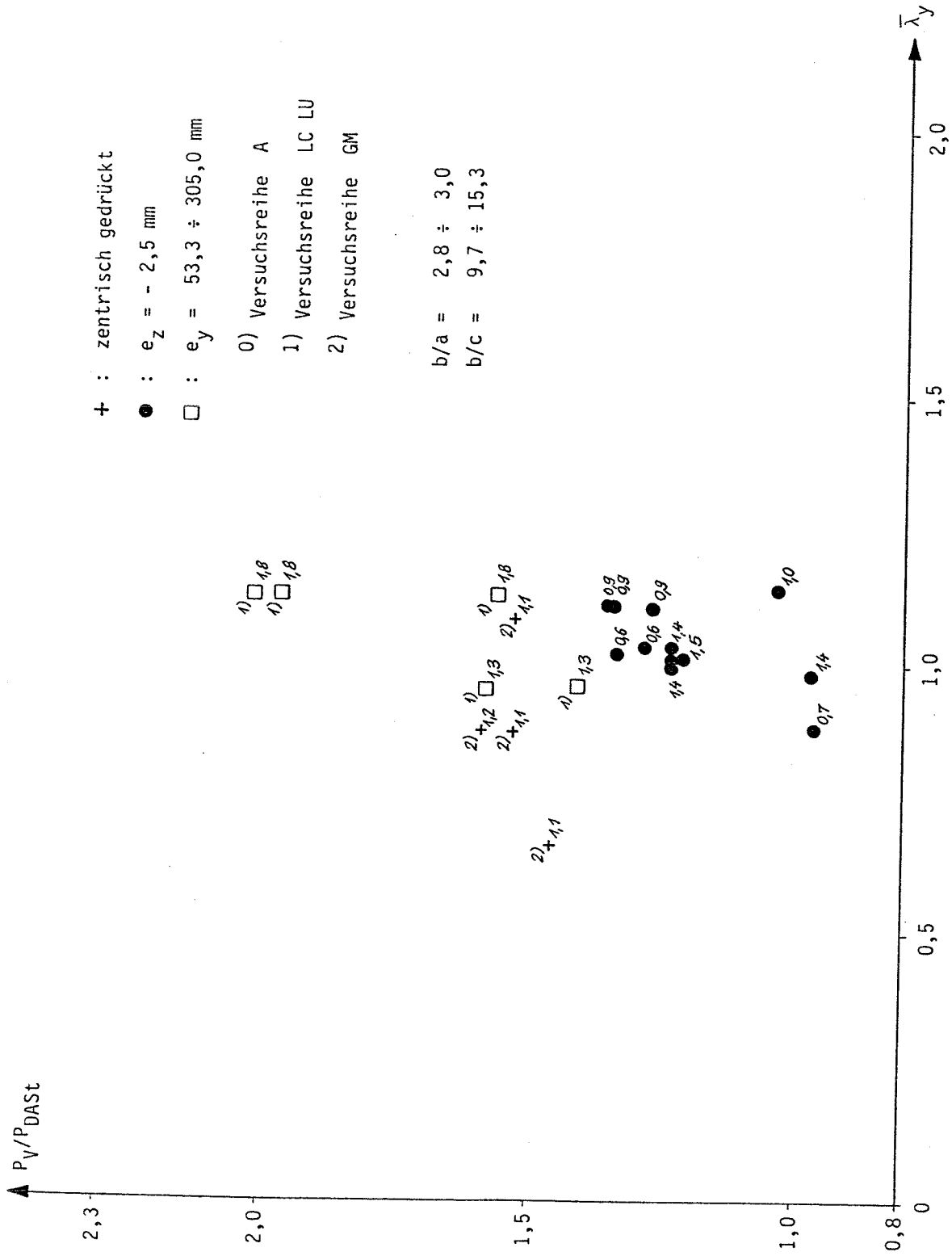


Bild 5.3 Gruppe II

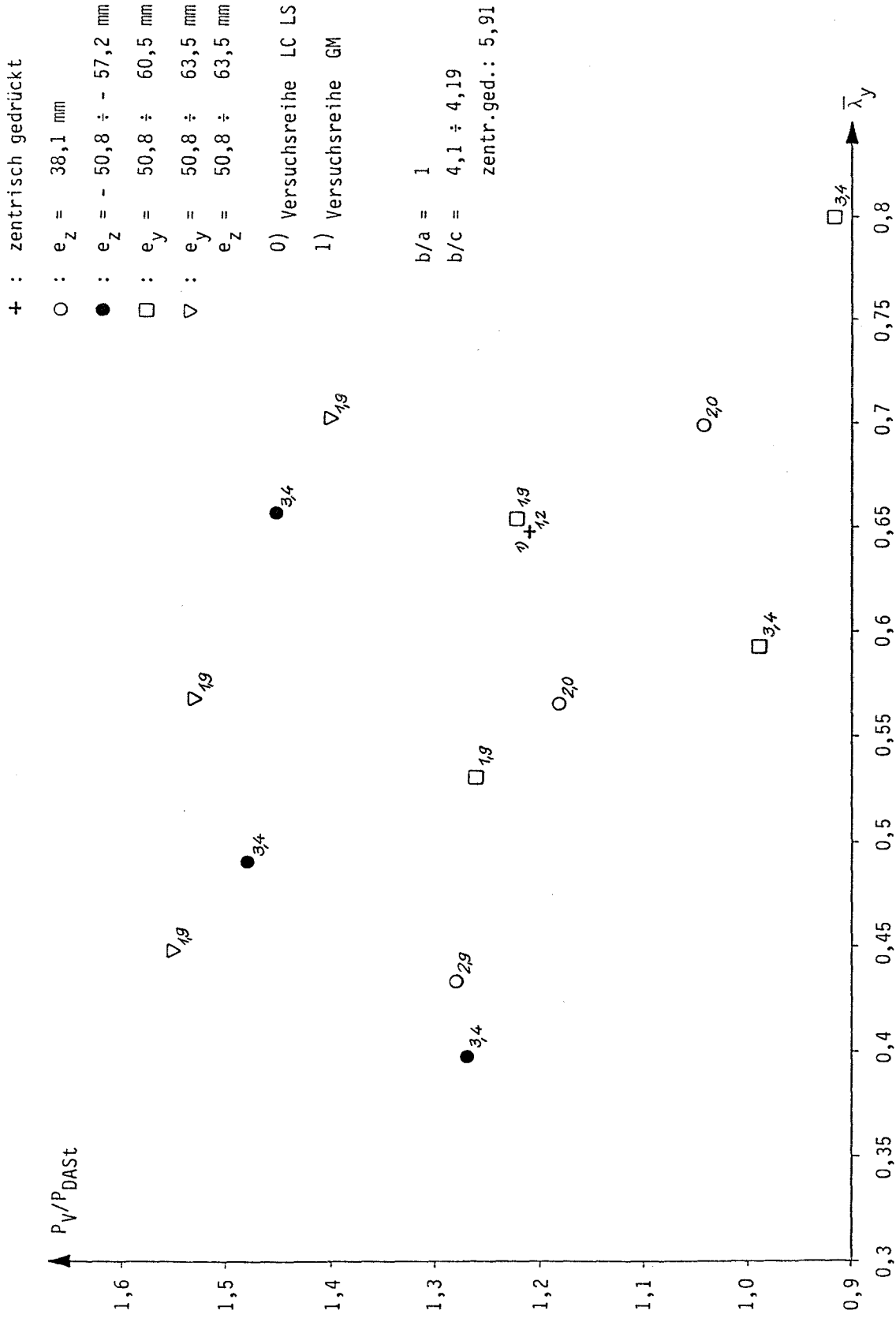


Bild 5.4 Gruppe III

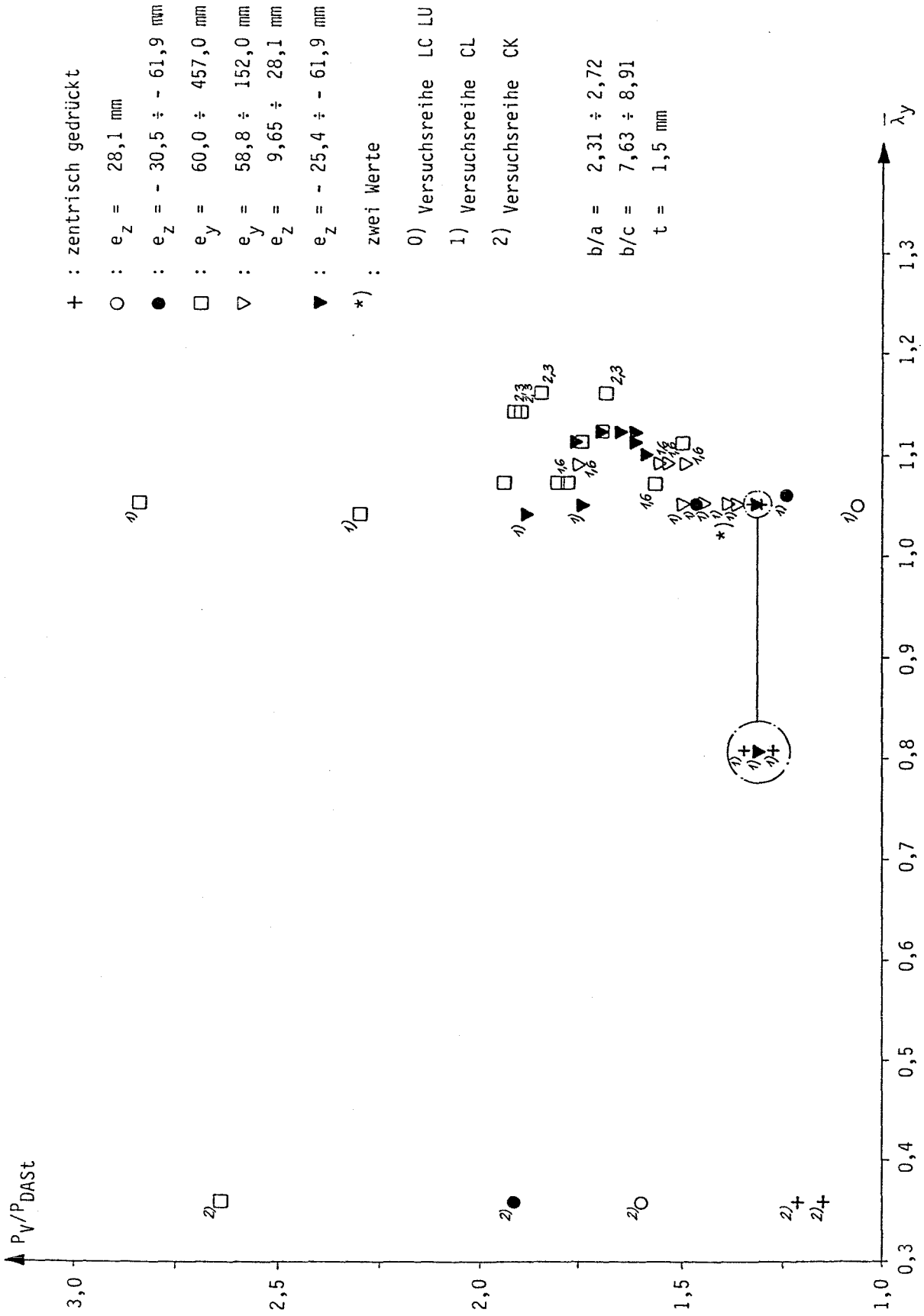


Bild 5.5 Gruppe IV

- : $e_z = - 2,79 \div - 5,59 \text{ mm}$
- ▼ : $e_y = 88,9 \text{ mm}$
- $e_z = - 38,1 \text{ mm}$

0) Versuchsreihe L

1) Versuchsreihe LC LU

$b/a = 3,51 \div 3,71$

$b/c = 9,07 \div 10,7$

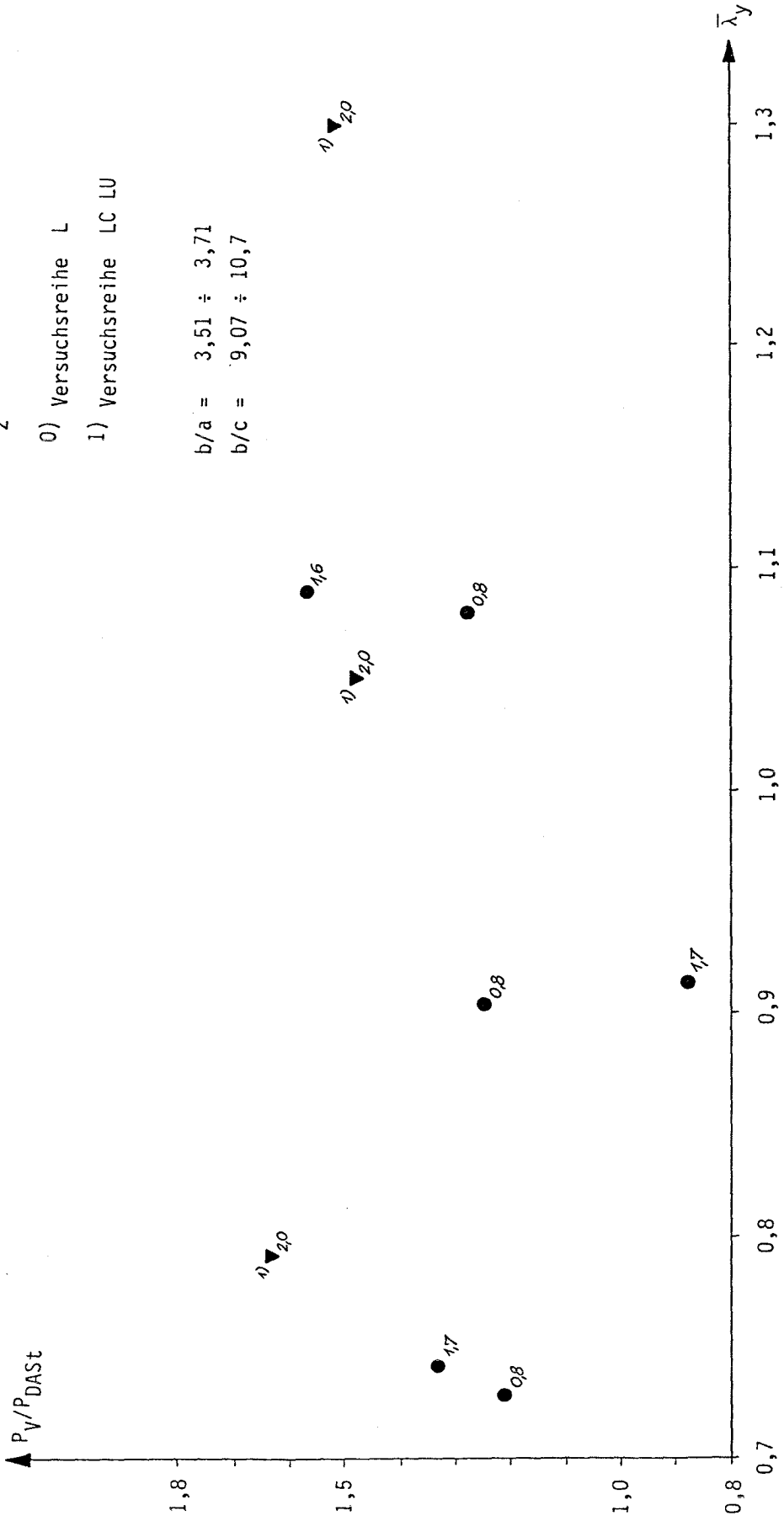


Bild 5.6 Gruppe V

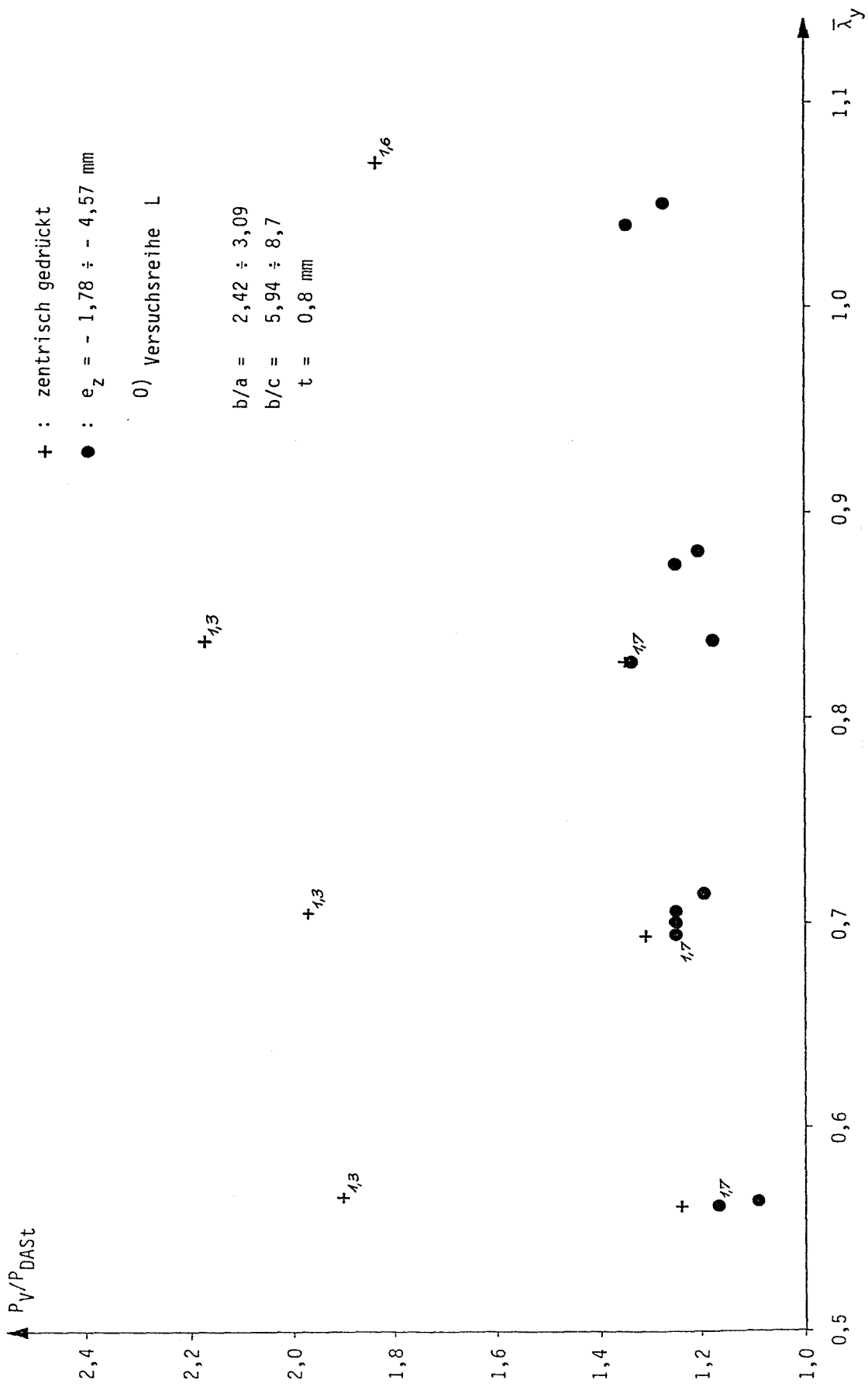


Bild 5.7 Gruppe VI

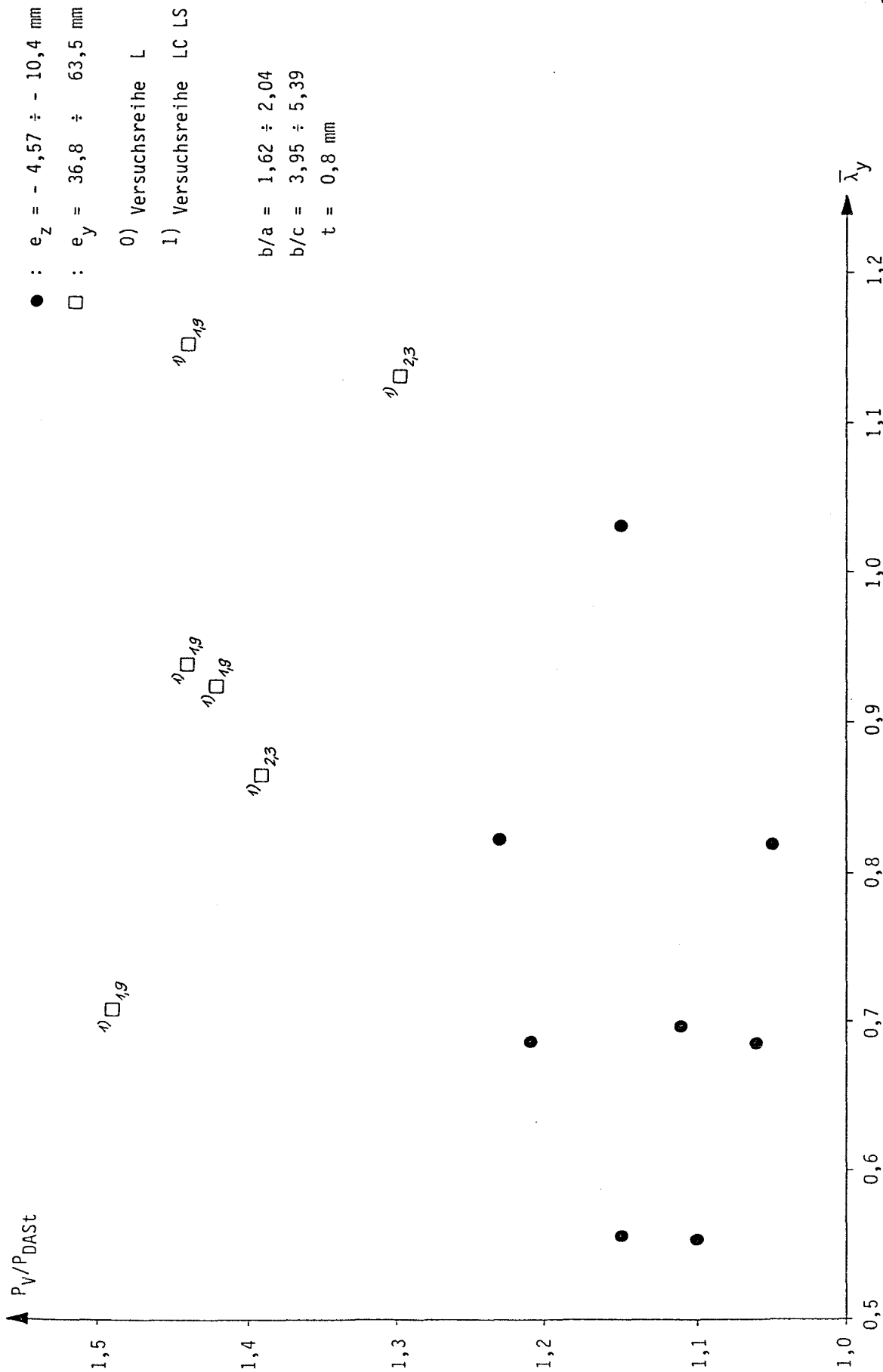


Bild 5.8 Gruppe VII

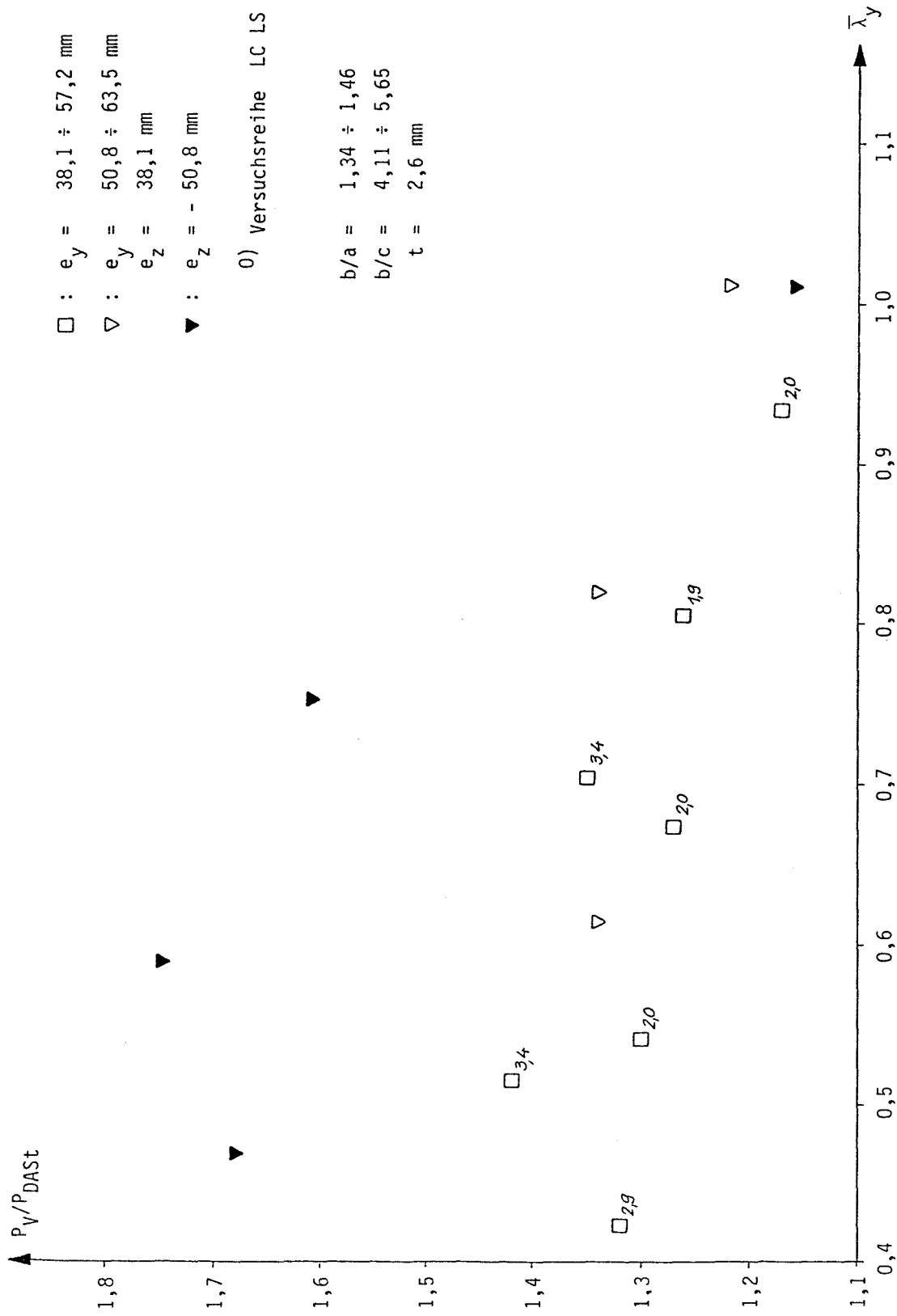


Bild 5.9 Gruppe VIII

Schlußfolgerungen

Zentrisch gedrückt:

Bei zentrisch gedrückten C-Profilen steigt das Verhältnis P_{Ver}/P_{DASt} , je flacher das Profil wird. Bei der Versuchsreihe L beträgt die errechnete Traglast etwa die Hälfte der Bruchlast im Versuch, obwohl die Clementschlankheit so klein ist, daß die Scheibenbreiten nicht abgemindert werden müssen.

Ansonsten liefert das Bemessungsverfahren nach DASt zufriedenstellende Ergebnisse. Dieses Ergebnis wird durch die statistische Auswertung in [6] bestätigt.

Lastexzentrizität in y-Richtung:

Mit Zunahme der bezogenen Stabschlankheit werden die Versuchsergebnisse durch die Rechnung besser angenähert. Für flache C-Profile sind die theoretisch bestimmten Traglasten sehr konservativ. Sie betragen manchmal ca. 30 % der Versuchstraglast. Erst für ein Verhältnis $b/a \leq 2$ liefert DASt zufriedenstellende Ergebnisse. Erreicht schließlich das Verhältnis b/a den Wert 1, so erhält man auf der unsicheren Seite liegende Traglasten.

Der Einfluß der Dicke und der Ausmitte auf die Ergebnisse des Bemessungsvorschlages macht sich unterschiedlich bemerkbar. Je nach Versuchsreihe wird mit zunehmender Dicke bzw. Ausmitte der Quotient P_{Ver}/P_{DASt} größer oder kleiner.

Lastexzentrizität in positiver z-Richtung:

Mit zunehmender Stabschlankheit und bei abnehmender Dicke nimmt P_{Ver}/P_{DASt} ab. Außer für Querschnitte mit dem Abmessungsverhältnis $b/a \approx 1$, für die gut übereinstimmende Ergebnisse erzielt werden, wurden von den in Versuchen ermittelten Traglasten unterschiedlich abweichende Traglasten errechnet. Dieses Ergebnis kann nicht als zufriedenstellend angesehen werden.

Ein Einfluß aus der unterschiedlich großen Ausmitte auf die Qualität der Rechenergebnisse ist nicht feststellbar.

Lastexzentrizität in negativer z-Richtung

Die Abweichungen der berechneten von den Versuchstraglasten streuen erheblich, so daß keine Regelmäßigkeit zu erkennen ist. Die theoretischen Traglasten betragen zwischen 45 und 115% der wirklichen Versagenslasten.

Lastexzentrizität in y- und positiver z-Richtung:

Mit zunehmender Dicke und Stabschlankheit (unwesentlich) geben die Rechenergebnisse die Versuchsergebnisse besser wieder, wobei die einzelnen Traglasten $P_{Ver} - P_{DASt}$ erheblich differieren.

Lastexzentrizität in y- und negativer z-Richtung:

Die Ergebnisse weisen bezüglich der Dicke, der Querschnittsabmessungen und der Größe der Ausmitte eine Tendenz zur Regelmäßigkeit auf.

Die ermittelten Traglasten für diese Laststellung sind nicht zufriedenstellend, da sie von den Versuchslasten sehr stark abweichen. Die theoretisch ermittelten Traglasten liegen jedoch stets auf der sicheren Seite.

Literatur

- 1] Lindner, J.; Habermann, W.: *Knicken von dünnwandigen kaltgeformten Hohlprofilstützen unter zentrischer und exzentrischer Belastung*. Bericht Nr. 2093/1, 1987.
- 2] : *DAST-Ri 016*. Entwurf Mai 1988.
- 3] : *Eurocode 3*. Entwurf Mai 1988.
- 4] Schardt, R.; Issmer, H.; Mörschardt, S.: *Gesamtstabilität dünnwandiger Stäbe*. Institut für Statik der THD Bericht Nr. 5, 1986.
- 5] Baehre, R.; Fahmy, A. S.: *Berechnung der Tragfähigkeit von C-Profilen nach der DAST-Ri 016*. Vorlage 1.88, Karlsruhe, 1988.
- 6] Baehre, R.; Fahmy, A. S.: *Ergänzung zu dem Bericht "Berechnung der Tragfähigkeit von C-Profilen nach der DAST-Richtlinie 016"*. Vorlage 1.88, Karlsruhe, 1988.
- 7] : *Procedure for the determination of the design resistance from tests*. TNO Report-Nr. BI-87-112, Delft, 1987.
- 8] : *Grundlagen zur Beurteilung von Baustoffen, Bauteilen und Bauarten im Prüfzeichen- und Zulassungsverfahren*. Fassung Mai 1986.
- 9] Zhang, X.: *U-Profile (?)* Dissertation, noch nicht veröffentlicht.
- 10] : *European Recommendations for the Design of light Gauge Steel Members*. 1987. Dissertation, noch nicht veröffentlicht.
- 11] Mark, H.-J.: *Vergleichsrechnungen zum Eurocode 3, Annex A, Teil I*. Institut für Bautechnik, Berlin, 1986.
- 12] Klöppel, K.; Schubert, J.: *Die Traglast dünnwandiger unausgesteifter Kastenträger unter Biegemomentenbeanspruchung im überkritischen Bereich*. Veröffentlichungen des Institutes für Statik und Stahlbau der THD Heft 16, Darmstadt, 1971.
- 13] Schardt, R.; Schrade, W.: *Kaltprofil-Pfetten*. Institut für Statik der THD, Bericht Nr. 1, 1982.
- 14] : *Zulassungsversuche mit Z-Pfetten*. Versuchsbericht Nr. 8/78, Institut für Statik und Stahlbau der THD, 1978.
- 15] : *Untersuchung von Z-Pfetten*. Versuchsbericht Nr. 1/80, Institut für Statik und Stahlbau der THD, 1980.
- 16] : *Untersuchung von Z-Pfetten*. Versuchsbericht Nr. 4/80, Institut für Statik und Stahlbau der THD, 1980.
- 17] : *Untersuchung von Z-Pfetten*. Versuchsbericht Nr. 5/80, Institut für Statik und Stahlbau der THD, 1980.
- 18] : *Z-Pfetten-Ersatzträgerversuche*. Versuchsbericht Nr. 2/81, Institut für Statik der THD, 1981.
- 19] Jungbluth, O.: *Gutachten Nr. 54/78 über METSEC-Z-Profile*. Institut für Statik und Stahlbau der THD.
- 20] : *Ergänzungsversuche am Commercial-Dachsystem mit SR-Pfetten und Dachpaneelen*. Prüfungszeugnis Nr. 1012/75-De/Eg, Institut für Baustoffkunde und Materialprüfwesen, TU Hannover.
- 21] : *Untersuchung des Tragverhaltens einer Stran-Steel-Dachkonstruktion*. Prüfungsbericht S 12273 vom 22.06.1973, Amtliche Forschungs- und Materialprüfanstalt, Universität Stuttgart.
- 22] : *Traglastuntersuchung an Stran-Steel-Pfetten mit Z-Querschnitt 875,1*. Prüfungsberichte S 12328 vom 30.07. und 22.08.1973, Amtliche Forschungs- und Materialprüfanstalt, Universität Stuttgart.
- 23] : *Versuche an Commercial-SR-Pfetten unter Windsogbeanspruchung*. Prüfungszeugnisse Nr. 407/74/831-Cd./Eg., Institut für Baustoffkunde und Materialprüfwesen, TU Hannover.

Zusammenfassung

Mit dem vorliegenden Bericht sollen Beurteilungskriterien geliefert werden, wie genau die in den Regelwerken Eurocode 3, EKS-Empfehlungen und DAST Richtlinie 016 enthaltenen Ingenieurmodelle zur Bemessung kaltgeformter, dünnwandiger Bauteile die physikalischen Phänomene wiedergeben.

Im einzelnen werden die Grundlagen zur Bestimmung wirksamer Querschnitte diskutiert und alle verfügbaren Versuchsergebnisse, die mit dem Thema der Untersuchung in Verbindung stehen, den entsprechenden Berechnungsergebnissen nach den vorliegenden Entwürfen gegenübergestellt. Die Versuchsergebnisse werden zusätzlich, soweit vorhanden, mit anderen Rechenverfahren nachgerechnet.

Es werden statistische Auswertungen durchgeführt, um eine Aussage über die Qualität der jeweiligen Rechenmodelle zu erhalten.

Summary

This report points out some criterions, which evaluate the methods of design for cold-formed structural members given in Eurocode 3, the Recommendations of the ECCS and DAST-Ri 016 in respect to their preciseness in reproducing physical phenomenons.

In detail the determination of effective cross-sections is discussed and all available test results, being related to the topic of this investigation are compared with the calculation methods in the drafts mentioned above. Additionally these test results are compared with other methods of design as far as at hand.

The statistical evaluation is carried out to prove the quality of the design methods.

Resumé

Ce travail consiste à livrer des critère pour se faire une idée de la fiabilité des méthodes de calcul pour le dimensionnement des profilées à froid préconisée par l'Eurocode 3, les Recommendations du CECM et la DAST-Ri 016.

En détail on discute la recherche théorique pour la détermination des sections efficaces et on compare tous les résultats expérimentals connues avec les méthodes de calcul préconisée par les règlements. S'il y a des autres méthodes de calcul, on les compare avec les résultats expérimentals aussi.

On exécute des exploitations statistique pour juger de la qualité des règlements.