

Geometrische Ersatzimperfectionen  
für Verbundstützen, die in die  
Knickspannungslinien b und c eingestuft  
sind

**T 2759**

T 2759

Bei dieser Veröffentlichung handelt es sich um die Kopie des Abschlußberichtes einer vom Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen -BMVBW- geförderten Forschungsarbeit. 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.

Dieser Forschungsbericht wurde mit modernsten Hochleistungskopierern auf Einzelanfrage hergestellt.

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

© by Fraunhofer IRB Verlag

2007

ISBN 978-3-8167-

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](mailto:irb@irb.fraunhofer.de)

[www.baufachinformation.de](http://www.baufachinformation.de)

**Technische Universität Berlin**  
**Institut für Bauingenieurwesen**  
**Baukonstruktionen und Festigkeit (IBF)**  
**Fachgebiet Stahlbau**  
Univ.-Prof.Dr.-Ing. J. Lindner

**Schlußbericht**  
**zum**  
**Forschungsvorhaben**

**Geometrische Ersatzimperfectionen für Verbundstützen,  
die in die Knickspannungslinien b und c eingestuft sind**

**Forschungsvorhaben Nr. IV 1-5-787/96**  
**des Deutschen Instituts für Bautechnik (DIBt)**

**VR 2127**

20.12.1996  
FV-DIBTL.TXT

Dieser Bericht besteht aus 19 Seiten und 43 Seiten Anlagen

<b>Inhaltsverzeichnis</b>		<b>Seite</b>
1.	Einleitung	1
2.	Geometrische Ersatzimperfectionen	2
3.	Ergebnisse für zentrische Beanspruchung	6
4.	Ergebnisse für Druck und Biegung	16
5.	Zusammenfassung	17
	Literatur	18

## **Anlagen**

Anlage 1.1	Berechnung der Ersatzimperfectionen für HE200B, $\bar{\lambda} = 1,0$	1.1
Anlage 1.2	Berechnung der Ersatzimperfectionen für HE200B, $\bar{\lambda} = 1,5$	1.2
Anlage 1.3	Beispiel für Grenztragfähigkeit $\text{grenz } M_{y,d} / M_{pl,y,Rd}$ für Druck und Biegung	1.3
Anlage 1.4	Beispiel für Grenztragfähigkeit $\text{grenz } M_{z,d} / M_{pl,z,Rd}$ für Druck und Biegung	1.4
Anlage 1.5	Rechenergebnisse für Traglasten nach Bergmann	1.5
Anlage 1.6	Druck und Biegung - Vergleich der Grenztragfähigkeiten	1.6
Anlage 2	Zusammenstellung der Vergleiche für Druck und Biegung mit rechnerischen genaueren Traglasten nach Bergmann	2.1 - 2.37

## **1. Einleitung**

In den maßgebenden technischen Regelwerken für Verbundkonstruktionen DIN 18 806-1 [1], dem Entwurf zu Eurocode 4 [2], [3] und den bisherigen Entwürfen der DIN 18 800-5 [4] ist für die Bemessung von Verbundstützen ein Verfahren vorgesehen, das auf Untersuchungen von Roik und Bergmann ([5], [6]) beruht.

Dabei ist auch für die Beanspruchung von Druck und Biegung zunächst der Fall des zentrischen Druckes zu untersuchen und aus einem Diagramm für die Interaktionskurve ein Wert zu entnehmen, der die Beanspruchbarkeit für Biegemomente steuert.

Dieses Verfahren beruht auf einem anschaulichen Ingenieurmodell. Außerdem liegen für dieses Verfahren für die Anwendung auf der Basis von DIN 18 806-1 auch Auswertungen (z.B. [7]) vor. Diesen Vorteilen stehen jedoch einige Nachteile gegenüber:

- für die Anwendung von [2] oder [4] müßten entsprechende Auswertungen neu erstellt werden,
- die Anwendung ist bei Gesamtkonstruktionen, z.B. Rahmen, aufwendig,
- das Verfahren weicht völlig von denjenigen ab, die sonst für Stahlstützen verwendet werden [8].

Überlegungen zu einem einheitlichen Vorgehen bei Stahlstützen und Verbundstützen liegen mit [8] und [9] vor, wobei in [9] die Berechnung nach der Elastizitätstheorie II. Ordnung als Variante zu [1] vorgeschlagen wird. Die dabei anzusetzenden geometrischen Ersatzimperfectionen werden in [9] vereinfachend nach DIN 18 800-2 [10] gewählt.

Diese Vereinfachung wird hier auf der Basis der neuen Regelwerke für den Verbundbau [2] und [4] systematisch überprüft. Die Untersuchungen erstrecken sich dabei hier auf diejenigen Profile, die in die Knickspannungslinien b oder c einzuordnen sind. Parallel dazu wurden entsprechende Untersuchungen von Dr. Bergmann für diejenigen Profile vorgenommen, die in die Knickspannungslinie a einzuordnen sind, [11].

## **2. Geometrische Ersatzimperfectionen**

Geometrische Ersatzimperfectionen stellen eine Möglichkeit der vereinfachten Erfassung derjenigen Einflüsse dar, die die Traglast von Stahlstützen und damit auch von Verbundstützen beeinflussen. Dies sind im wesentlichen:

- Eigenspannungen,
- geometrische Imperfectionen,
- Ausbreitung der Fließzonen,
- Steifigkeitsminderung im Bereich plastischer Verformungen,
- Rißbildung im Beton.

Die Ermittlung der Ersatzimperfectionen erfolgt für planmäßig mittig gedrückte Stäbe. Da die so ermittelten Werte dann auch zur Bemessung von Stäben unter der Beanspruchung von Druck und Biegung benutzt werden sollen, ist zu überprüfen, ob dies zulässig ist.

Bei den planmäßig mittig gedrückten Stäben wird vorausgesetzt, daß die Europäischen Knickspannungslinien der Stahlstützen auch für Verbundstützen gültig sind. Dies wurde u.a. in [12] durch Vergleich der genauen Traglasten von Stahlstützen und Verbundstützen gezeigt.

Die allgemeine Vorgehensweise bei der Ermittlung der geometrischen Ersatzimperfectionen besteht darin, daß das nach der Elastizitätstheorie II. Ordnung ermittelte Biegemoment in die zugehörige Interaktionskurve eingesetzt wird. Da das Biegemoment direkt von der Größe der Imperfection abhängt, kann bei bekannter Interaktionskurve damit die Größe der Ersatzimperfection bestimmt werden.

Die Interaktionskurve ist formelmäßig aus der Literatur bekannt, z.B. [6], [9], sie ist beispielhaft aus Bild 1 zu ersehen. Dabei ist wichtig, daß diese Interaktionskurve für die tatsächlich vorliegenden Verhältnisse (Profil, Abmessungen, Werkstoffgüten, Bewehrungsgehalt) bestimmt wird und nicht vereinfachte Kurven Verwendung finden, [8].

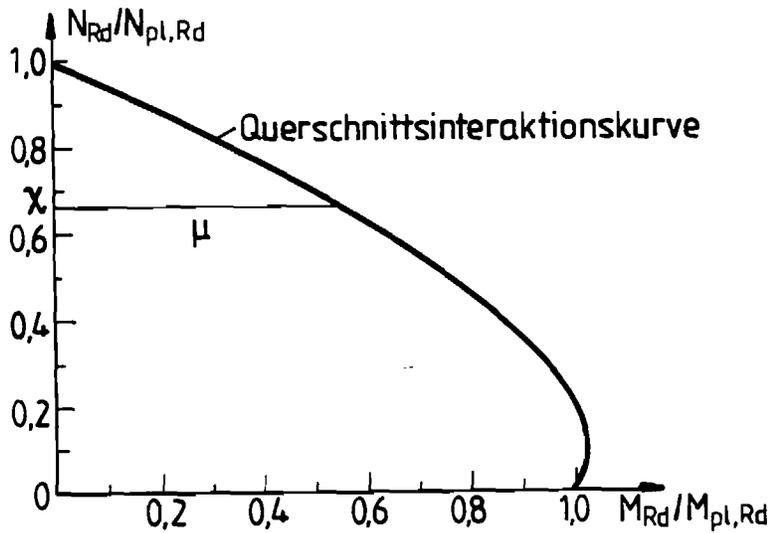


Bild 1 Beispiel für Interaktionskurve

Ermittlung des Imperfektionsmomentes  $\mu M_{pl,Rd}$

Aus der Interaktionskurve wird zugehörig zur Tragfähigkeit des zentrischen gedrückten Stabes  $\chi$  der Wert  $\mu$  ermittelt, der die Größe des Imperfektionsmomentes darstellt. Wegen der Vereinfachungen des Verfahrens wird, wie in [1], [2], nur 90% dieses Wertes ausgenutzt. Damit folgt unter der Annahme einer parabelförmigen Vorverformung

$$v_o = \frac{0,9 \mu M_{pl,Rd} L^2}{8 (EI)_d \left[ \frac{1}{\cos \varepsilon/2} - 1 \right]} \quad (1)$$

Dabei bedeuten :

$$L = \pi \bar{\lambda} \sqrt{\frac{(EI)_k}{N_{pl,Rk}}} \quad (2)$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{N_{pl,Rk}}{N_{Ki,k}}} \quad (3)$$

$$\varepsilon = L \sqrt{\frac{N_d}{(EI)_d}} \quad (4)$$

$$N_{KI,k} = \frac{(EI)_k \pi^2}{L^2} \quad (5)$$

$$(EI)_k = E_s I_s + 0,6 E_{c,m} I_c + E_s I_s \quad (6)$$

$$(EI)_d = \frac{E_s I_s}{1,1} + \frac{0,6 E_{c,m} I_c}{1,35} + \frac{E_s I_s}{1,1} \quad (7)$$

Die Untersuchungen werden für feste Werte von  $\bar{\lambda}$  durchgeführt, i. d. R.  $\bar{\lambda} = 0,5, 1,0, 1,5, 2,0$ . Weiterhin wurden alle Berechnungen für mehrere repräsentative Querschnitte durchgeführt, die das Spektrum der üblichen Anwendungen möglichst weitgehend abdecken. Diese Querschnitte sind im Bild 2 angegeben.

Der hier als Hohlprofil angegebene Querschnitt f) dient auch dem Vergleich mit den Ergebnissen nach [11] für Knickspannungslinie a.

UNTERSUCHTE QUERSCHNITTE

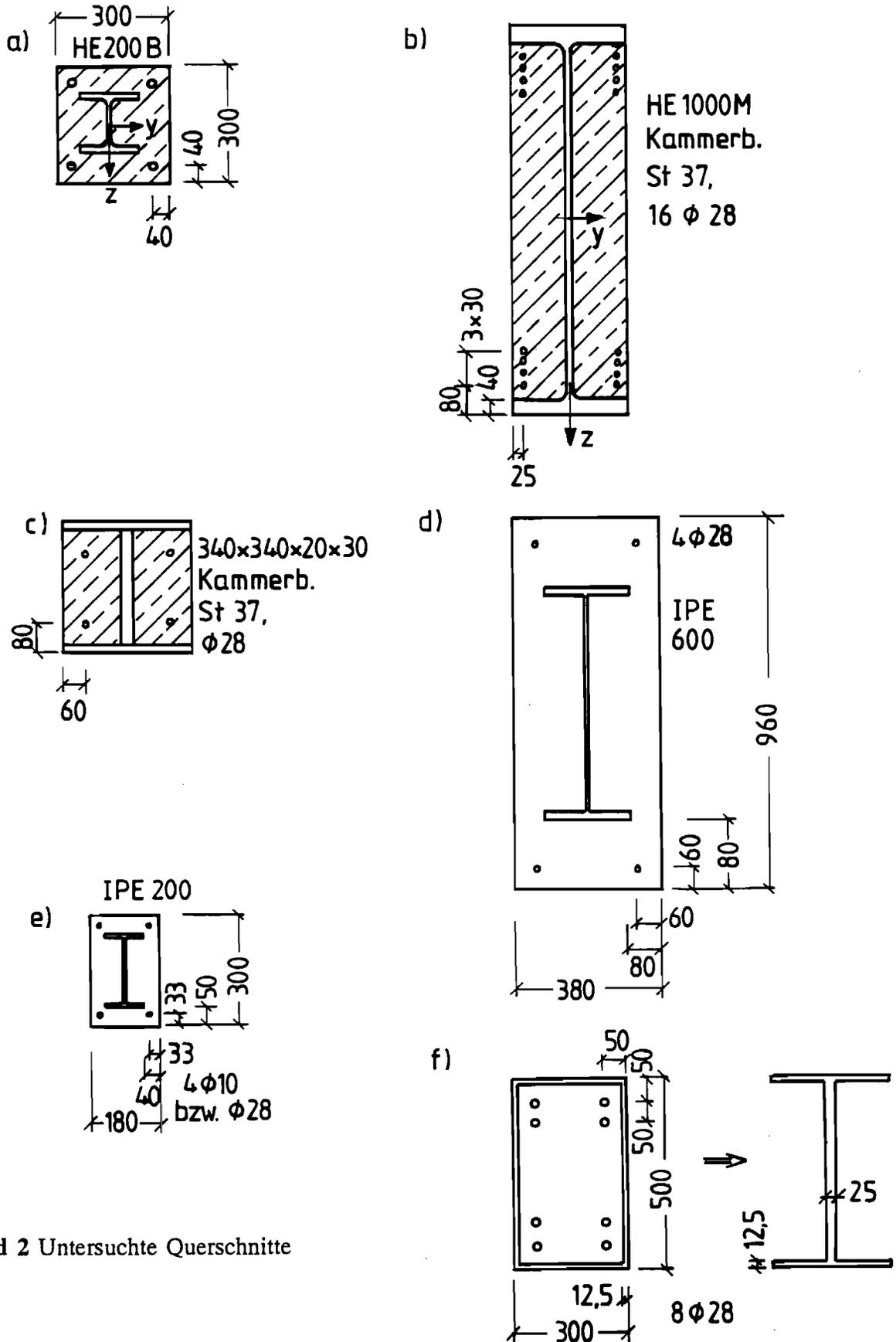


Bild 2 Untersuchte Querschnitte

Diese Querschnitte führen zu unterschiedlichen Stahlanteilen

$$\delta = N_{pl,a,Rd} / N_{pl,Rd} \tag{8}$$

Weiterhin wurden in einigen Fällen auch unterschiedlich große Bewehrungen untersucht, so daß verschiedene Bewehrungsanteile auch abgedeckt sind.

Um das Spektrum der möglichen Anwendungen groß zu halten, wurden auch verschiedene Werkstoffgüten berücksichtigt, für

- den Stahl St 37 (Fe 360), St 52 (Fe 510),
- den Beton C 20 bis C 60,
- den Betonstahl BSt 500.

Die entsprechenden Rechenwerte sind in Tabelle 1 angegeben.

**Tabelle 1** Rechenwerte für die Werkstoffe

Stahl		Beton		Betonstahl	
Güte	$f_{y,k}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	Güte	$f_{c,k}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	Güte	$f_{sk}$ [N/mm <sup>2</sup> ]
St 37	240	C20	20	BSt 500	500
St 52	360	C40	40		
		C60	60		

### **3. Ergebnisse für zentrische Beanspruchung**

Die Ergebnisse sind in Form von Diagrammen angegeben, siehe Bilder 3 bis 7. Dabei sind dort die sich jeweils ergebenden repräsentativen Vorverformungen  $w_o$  und  $v_o$  in Form der Imperfektionsfaktoren  $j_b$  und  $j_c$  in Abhängigkeit vom bezogenen Schlankheitsgrad  $\bar{\lambda}$  dargestellt.

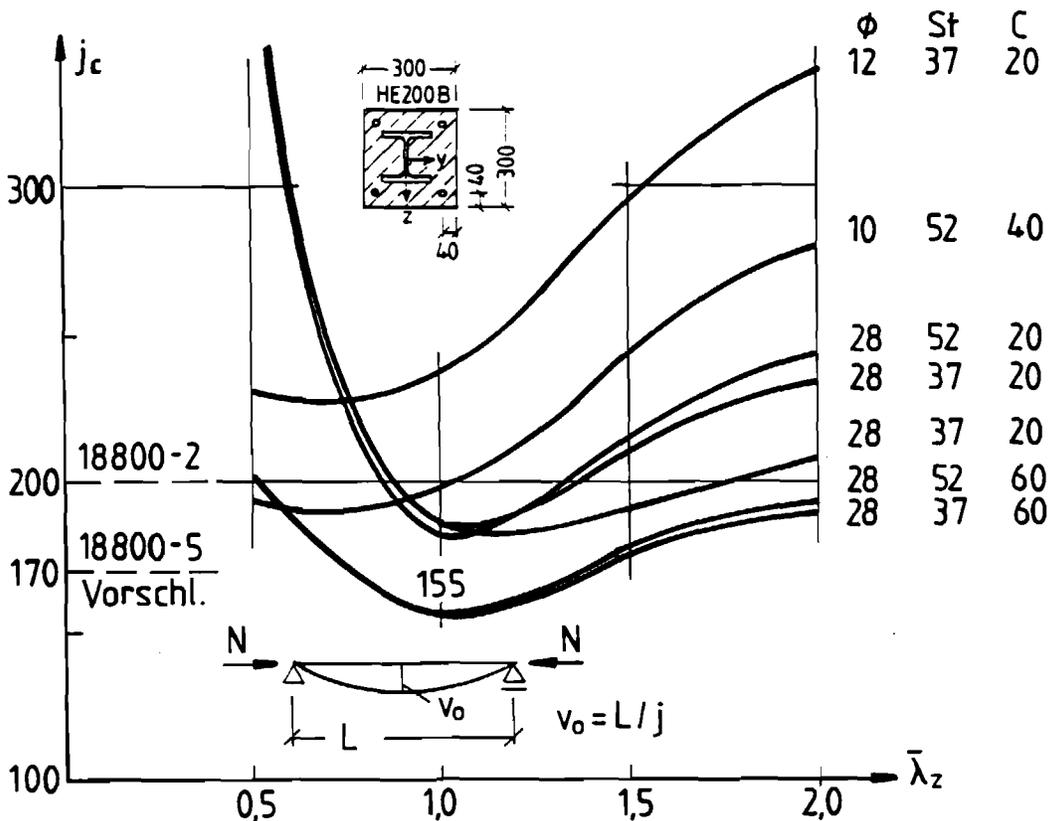
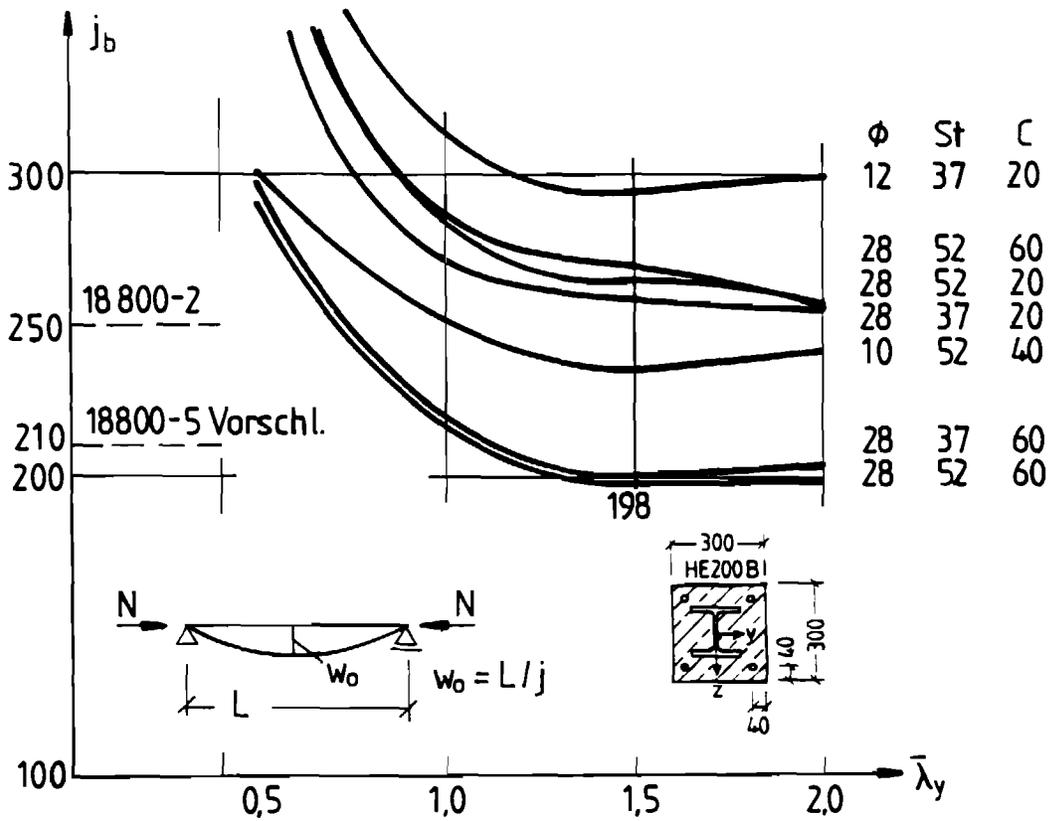


Bild 3 Imperfektionsfaktoren  $j_b$ ,  $j_c$  für HE200B

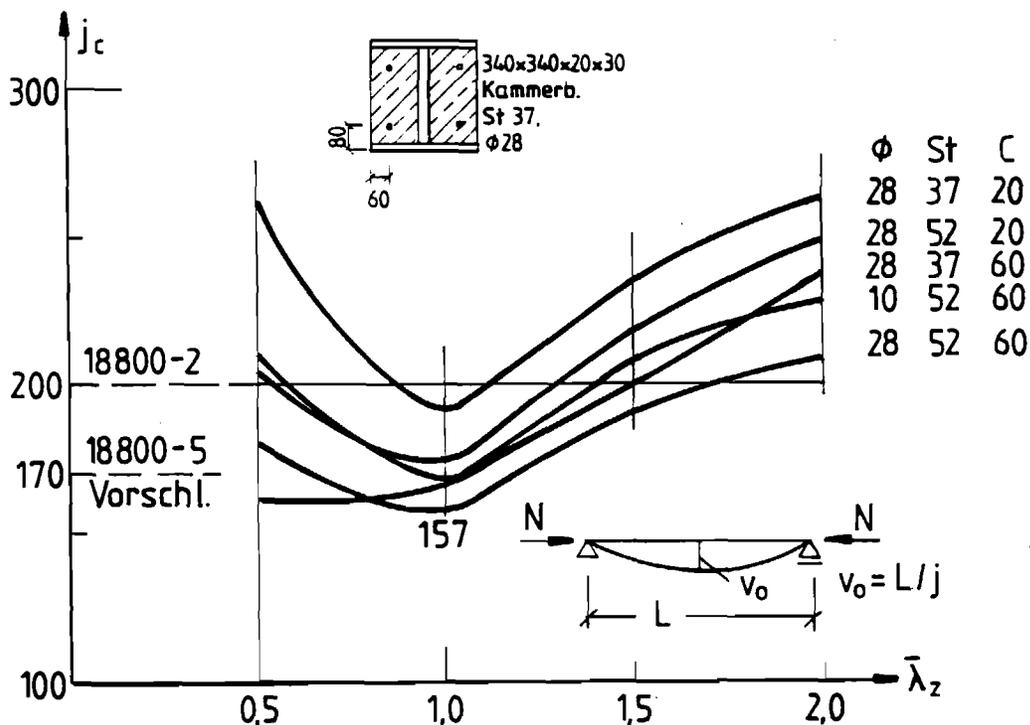
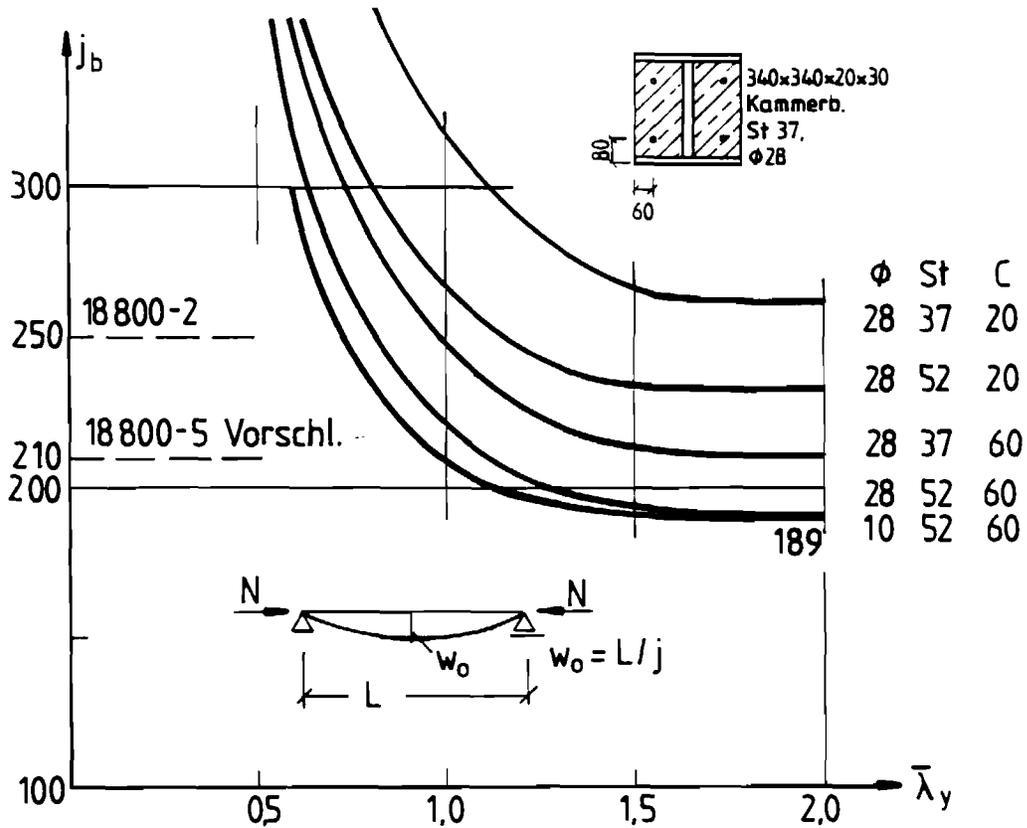


Bild 4 Imperfektionsfaktoren  $j_b$ ,  $j_c$  für Schweißprofil 340 x 340 x 20 x 30

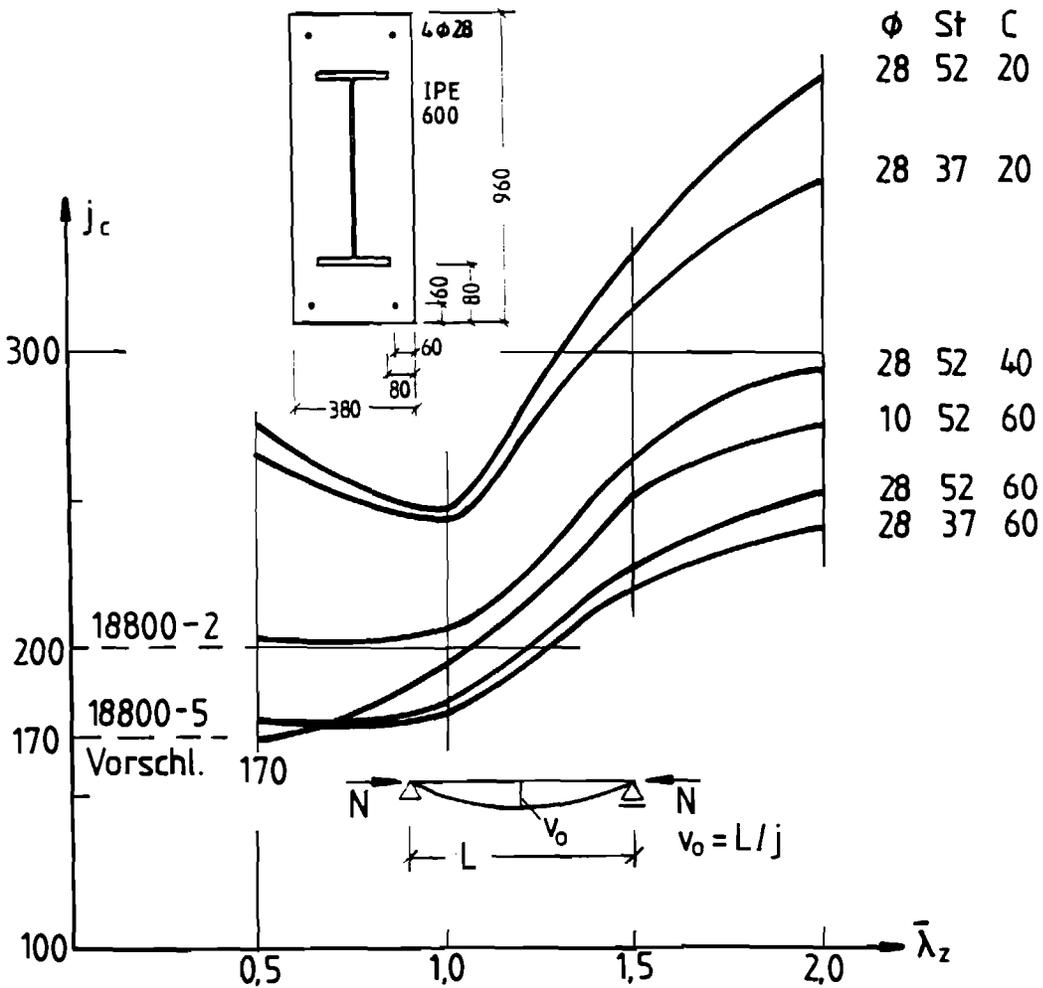
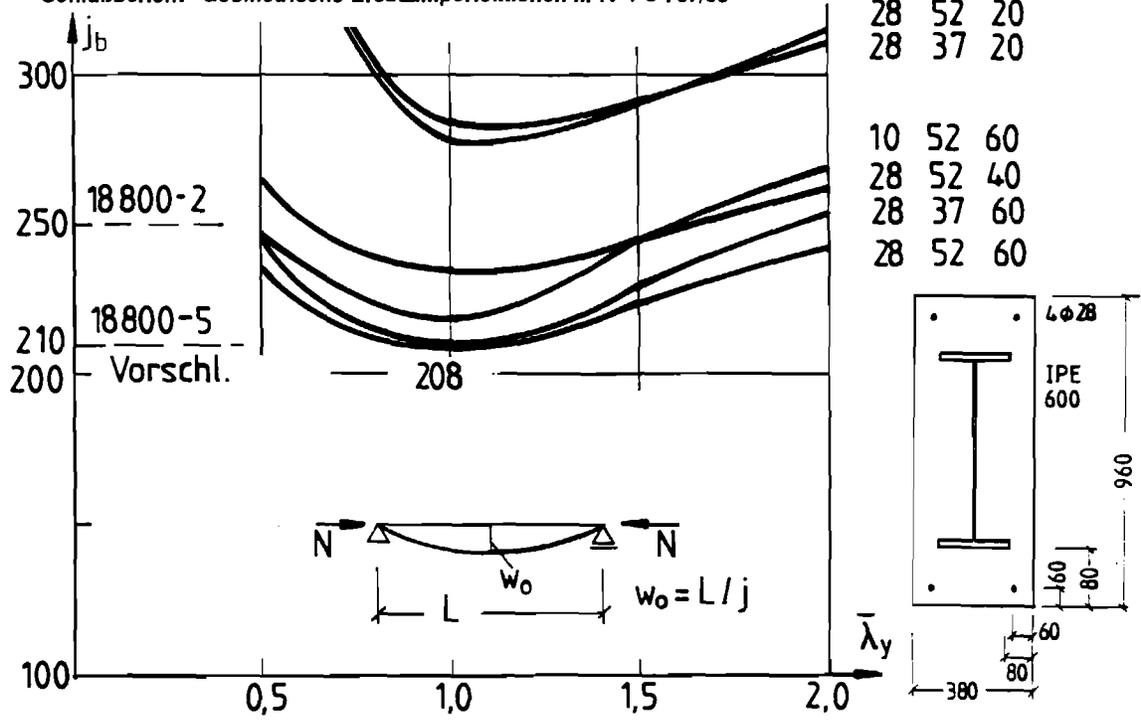


Bild 5 Imperfektionsfaktoren  $j_b$ ,  $j_c$  für IPE 600

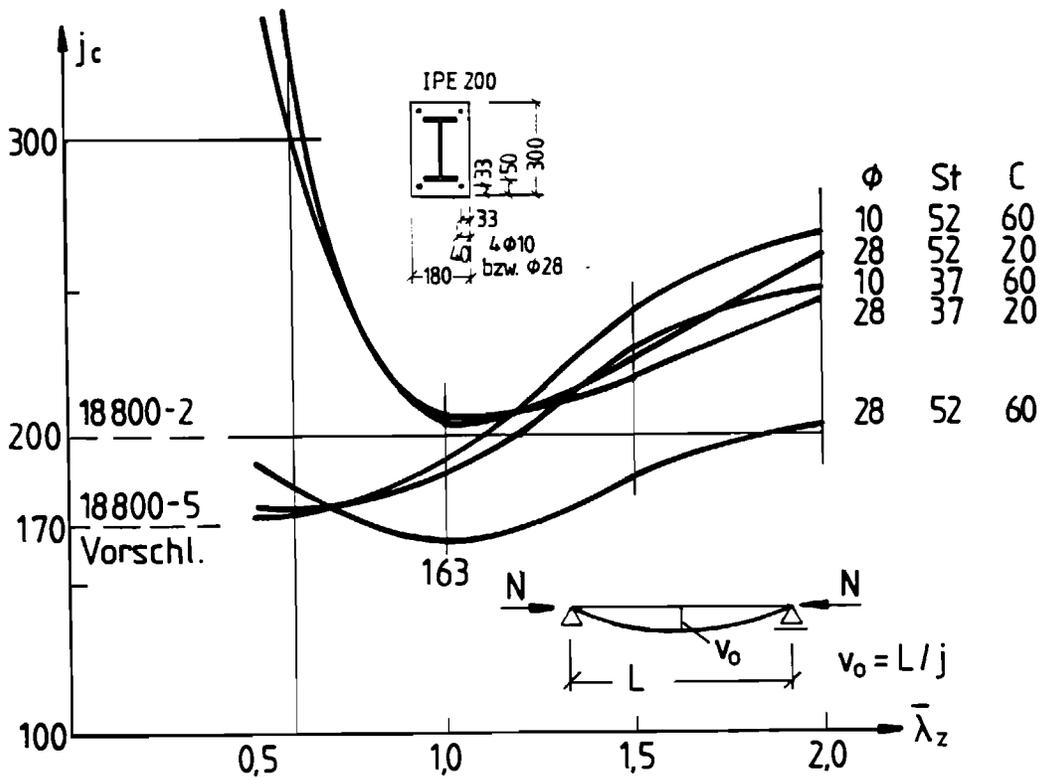
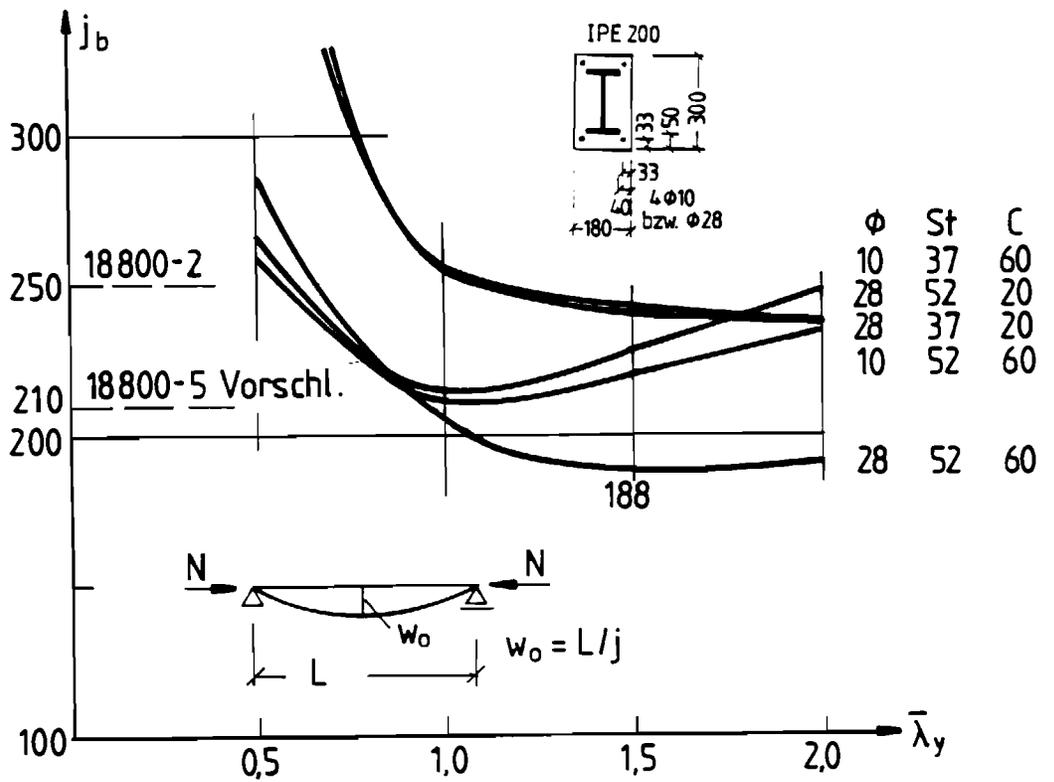


Bild 6 Imperfektionsfaktoren  $j_b$ ,  $j_c$  für IPE 200

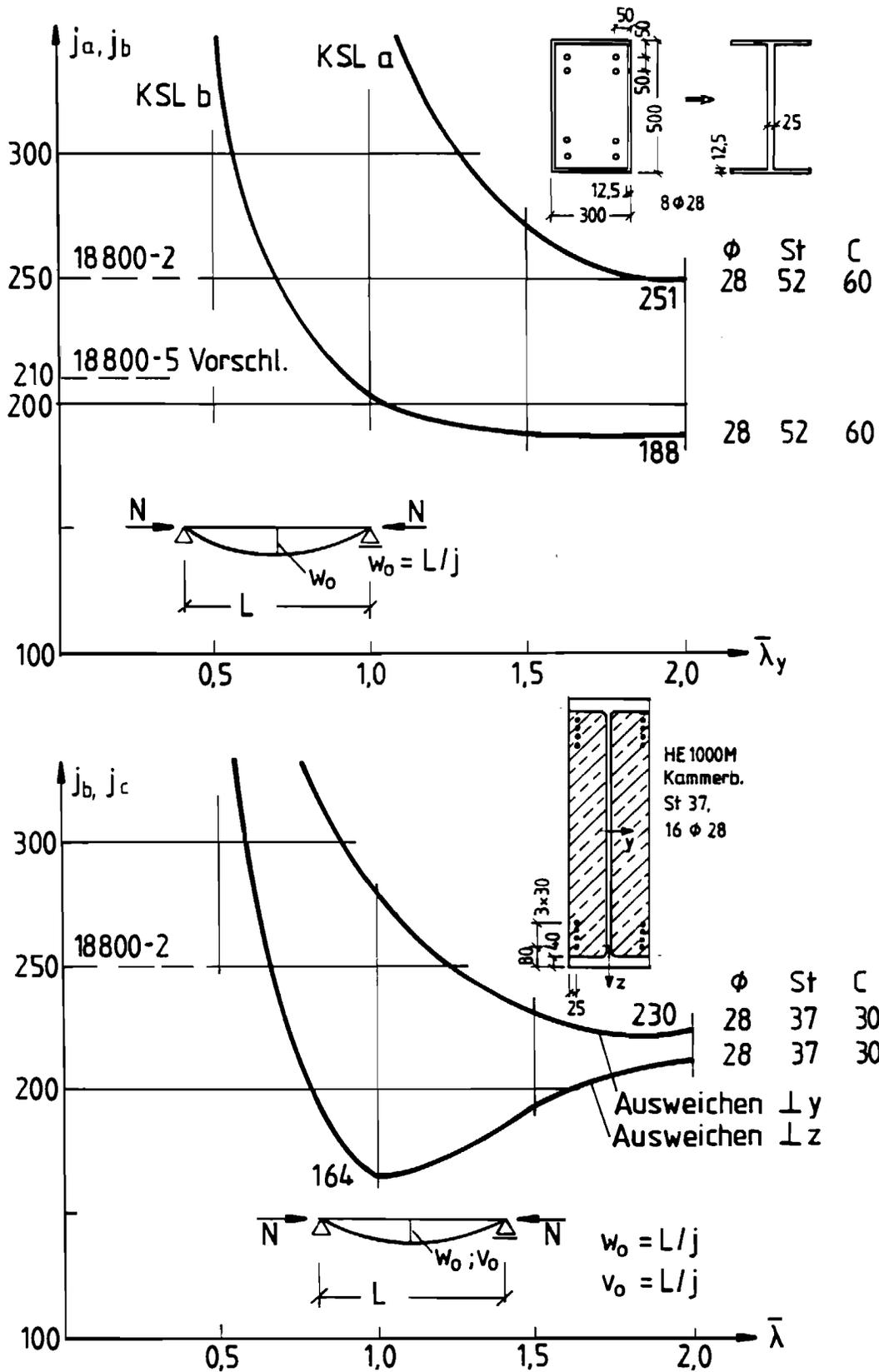


Bild 7 Imperfektionsfaktoren  $j$  für Hohlprofil 500 x 300 x 12,5 und HE1000M

$$w_o = L / j_b \quad (9a)$$

$$v_o = L / j_c \quad (9b)$$

Die Kurven haben jeweils unterschiedliche Charakteristik. Während die Kurven für  $w_o$  i.a. ihr Minimum (also die größte Vorverformung) bei großem  $\bar{\lambda} = 2,0$  haben, liegt für  $v_o$  das Minimum i.a. im Bereich von  $\bar{\lambda} = 1,0$ .

Einzelergebnisse der EDV-Rechnungen sind beispielhaft für das Profil HE200B/St52/C60/4D28 und die bezogenen Schlankheitsgrade  $\bar{\lambda} = 1,0$  und  $1,5$  in den Anlagen 1.1 und 1.2 angegeben.

Zusammenfassend ist festzustellen:

- a) der Einfluß der Stahlgüte (St 37, St 52) ist gering,
- b) der Einfluß der Betongüte (C20, C40, C60) ist sehr groß, die ungünstigsten Werte ergeben sich für C60,
- c) der Einfluß unterschiedlicher Bewehrungsgehalte ist gering,
- d) der Einfluß unterschiedlicher Profile ist bezüglich der Extremalwerte nicht sehr groß.

In den Bildern 3 bis 7 sind auch diejenigen Werte angegeben, die für die Verwendung in DIN 18 800-5 vorgeschlagen werden :

- für Knickspannungslinie b  $w_o = L / 210$  (10a)

- für Knickspannungslinie c  $w_o = L / 170$  (10b)

Es ist zu erkennen, daß in einigen Fällen die sich rechnerisch ergebenden Ersatzimperfectionen größer sind als die nach den Gl. (10a,b) vorgeschlagenen. Aus diesem Grunde wurden i.a. für den innerhalb eines Querschnitts ungünstigsten Fall die Grenztragfähigkeiten für die beiden Fälle

- konstante globale Vorverformung nach Gl. (10),
  - extremale Vorverformung für das betrachtete Beispiel,
- ermittelt und gegenübergestellt. Die Ergebnisse sind aus dem Bild 8 zu ersehen. Dabei bedeutet ein Wert  $F > 1,0$ , daß das Ergebnis unter Verwendung der globalen Vorverformung nach Gl. (10) auf der *unsicheren* Seite liegt. Es ist zu erkennen, daß
- die Unterschiede in den Grenztragfähigkeiten sehr viel geringer sind als bei den Vorverformungen,
  - im ungünstigsten Fall eine Überschätzung der Tragfähigkeit um 3,5 % auftritt. Dies kann unter baupraktischen Gesichtspunkten akzeptiert werden.

Wegen des großen Einflusses der Betongüte ist es möglich, für Güten  $< C 60$  auch kleinere Ersatzimperfectionen zu wählen. Unterschiedliche Werte für jede Betongüte erscheinen aus baupraktischen Gründen jedoch nicht ratsam. Zwei verschiedene Werte würden die Fehleranfälligkeit jedoch stark einschränken. Daher wäre folgende Staffelung möglich:

Betongüten C 20, C 30:

- für Knickspannungslinie b  $w_o = L / 250$
- für Knickspannungslinie c  $v_o = L / 200$

Betongüten C 40, C 50, C 60:

- für Knickspannungslinie b  $w_o = L / 210$
- für Knickspannungslinie c  $v_o = L / 170$ .

Diese Staffelung hätte den Vorteil, daß für die geringen Betongüten diejenigen Werte verwendet werden könnten, die für Stahlstützen nach DIN 18 800-2 bekannt sind.

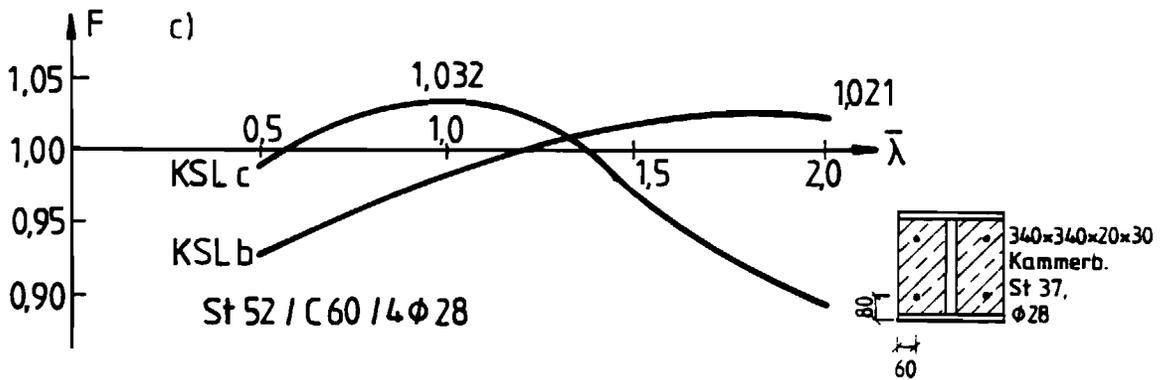
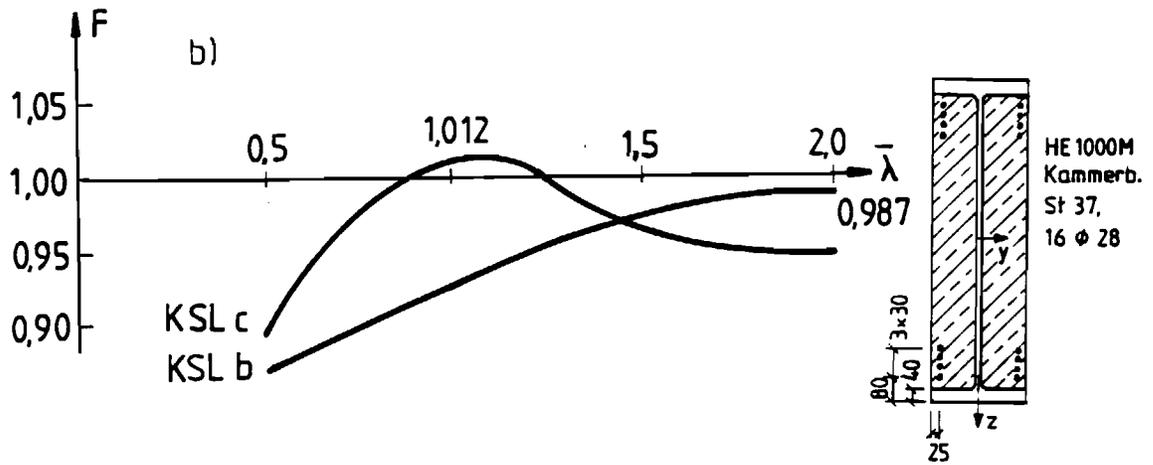
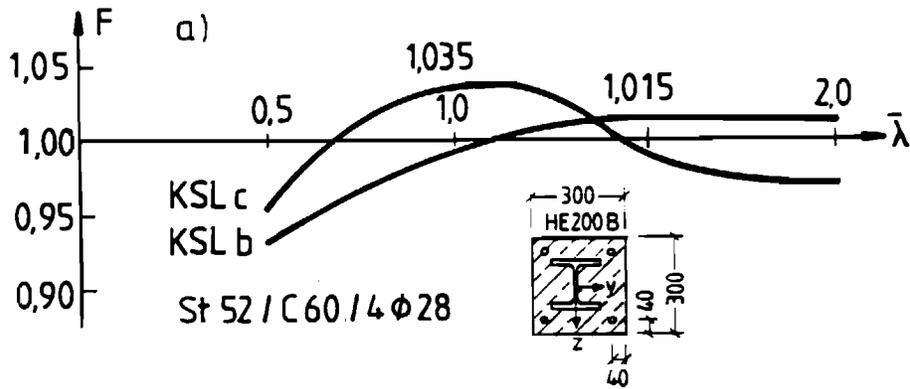
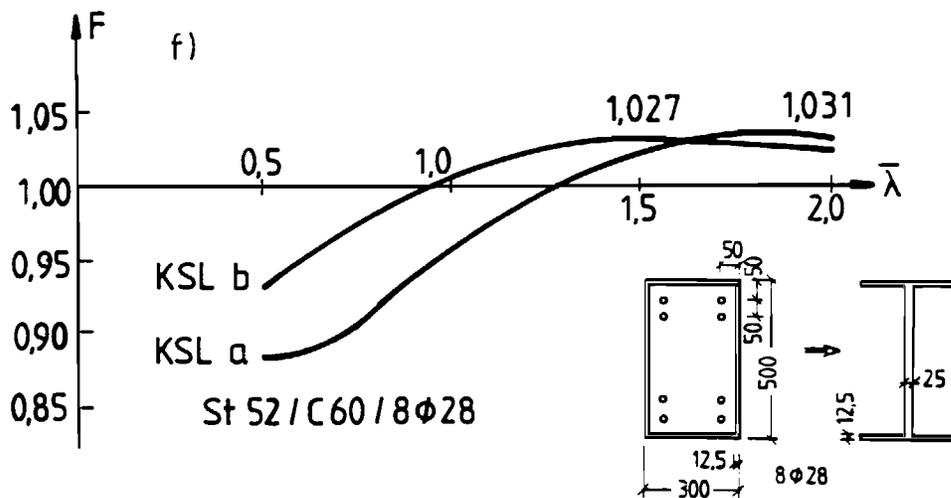
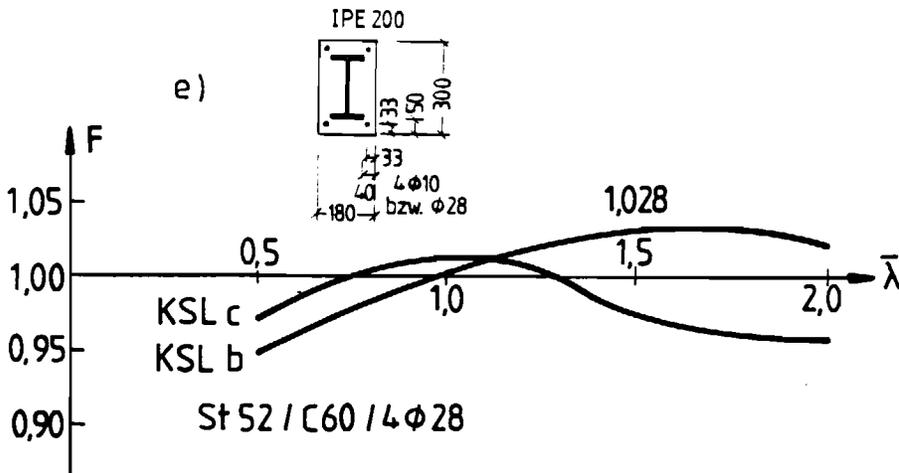
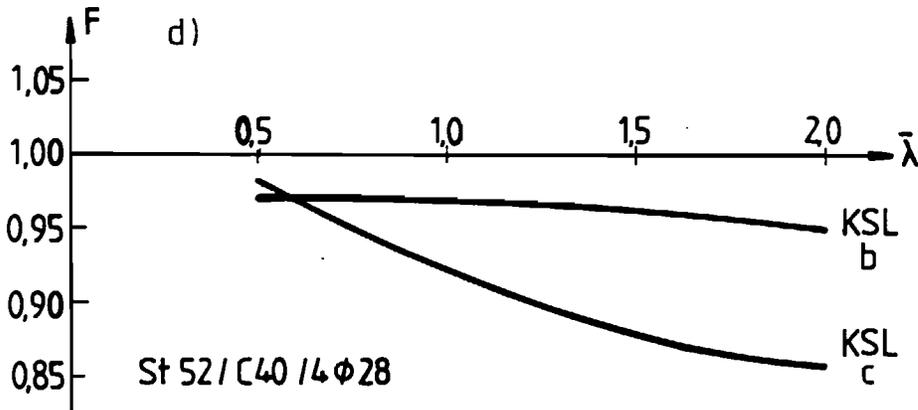


Bild 8 ...



#### **4. Ergebnisse für Druck und Biegung**

Als Tragfähigkeitsnachweis für Druck und einachsige Biegung ist in [4] Gl. (11) vorgeschlagen.

$$\frac{M_{Sd}}{\mu M_{pl,Rd}} \leq 0,9 \quad (11)$$

Der Beiwert  $\mu$  ist dabei die auf  $M_{pl,Rd}$  bezogene volle Tragfähigkeit des Querschnitts aus der zugehörigen Interaktionskurve.

In Gl. (11) wurde der Wert 0,9 in Anlehnung an den gleichen Wert bei zentrischem Druck gewählt. Er ist aus diesem Grunde zu überprüfen.

Auch für den Vergleich der Ergebnisse, die sich bei Druck und Biegung ergeben, müssen genaue Ergebnisse herangezogen werden. Da in [1], [2] bereits Näherungen eingegangen sind, wurden von Bergmann genaue Traglastberechnungen auf der Basis von [12] durchgeführt. Die Materialfestigkeiten wurden dabei mit den Materialsicherheitsfaktoren  $\gamma_{Ma}$ ,  $\gamma_{Mc}$ ,  $\gamma_{Ms}$  nach [4] reduziert, für die Werkstoffgesetze bilinearer Verlauf (Stahl, Betonstahl) bzw. parabelförmiger Verlauf (Beton) angenommen. Wegen der Vielzahl der Daten wurde nur eine Materialkombination (St 52 / C60) betrachtet. Außerdem wurden die Berechnungen für drei verschiedene Momentenverläufe (konstant, linear, durchschlagend) durchgeführt. Einzelheiten bezüglich der Annahmen sind [11] zu entnehmen.

Die Ergebnisse sind hier in Anlage 2 angegeben. Dabei sind die Einzelwerte der genauen Berechnung als Symbole eingetragen. Zusätzlich wurden jeweils diejenigen Ergebnisse in Form von gestrichelten Linien angegeben, die sich aus der Auswertung der hier vorgeschlagenen vereinfachten Berechnung mit den globalen Vorverformungen nach den Gl. (10) ergeben.

Es zeigt sich, daß sich nur in ganz wenigen Fällen Überschreitungen der Tragfähigkeit unter Ansatz der globalen Vorverformungen ergeben, die maximal ca 3 % erreichen.

Für einige Fälle wurden zusätzlich die Tragfähigkeiten mit den globalen Vorverformungen berechnet und mit den genauen Traglast-Ergebnissen von Bergmann verglichen. Entsprechende Ergebnisse sind beispielhaft für das Profil HE 200 B/St 52/C60/4D10 in den Anlagen 1.3 und 1.4 angegeben, die Traglastwerte nach Bergmann in Anlage 1.5.

Die angegebene Überschreitung kann unter baupraktischen Gesichtspunkten akzeptiert werden.

## 5. Zusammenfassung

Die Nachweise für Verbundstützen nach [1] sollen in Zukunft nach der Spannungstheorie II. Ordnung unter Ansatz von Vorverformungen (geometrischen Ersatzimperfektionen) geführt werden. Der Nachweis entspricht der hier angegebenen Gl. (11). Für den Fall des zentrischen Druckes ergibt sich dabei  $M_{s_d}$  aus der Vorverformung allein, bei Druck und Biegung aus der Vorverformung und dem äußeren Biegemoment.

Aus den hier durchgeführten Untersuchungen hat sich ergeben, daß als Größe der Vorverformung gewählt werden kann:

- a) für Profile, die der Knickspannungslinie b zugeordnet werden  
 $w_o = L / 210,$
- b) für Profile, die der Knickspannungslinie c zugeordnet werden  
 $w_o = L / 170.$

Für die Betongüten C 20 und C 30 ist es möglich, die kleineren Werte  $L / 250$  statt  $L / 210$  und  $L / 200$  statt  $L / 170$  zu wählen.



## **Literatur**

- [1] DIN 18 806-1: Verbundkonstruktionen, Verbundstützen. (03.1984).
- [2] DIN V ENV 1994-1-1: 1992: Eurocode 4, Bemessung und Konstruktion von Verbundtragwerken aus Stahl und Beton, Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln, Bemessungsregeln für den Hochbau.
- [3] DASt-Richtlinie 104: Richtlinie zur Anwendung von DIN V ENV 1994 Teil 1-1: Eurocode 4, Bemessung und Konstruktion von Verbundtragwerken aus Stahl und Beton, Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln, Bemessungsregeln für den Hochbau, Deutscher Ausschuß für Stahlbau, Köln 1995.
- [4] DIN 18 800-5: Verbundtragwerke aus Stahl und Beton, Bemessung und Konstruktion (3. Entwurf Febr. 1996).
- [5] Bergmann, R.: Traglastberechnung von Verbundstützen, TWM 81-2, Ruhr-Univers. Bochum, Institut für Konstrukt. Ingenieurbau, 1981.
- [6] Roik, K.: Verbundkonstruktionen, Kap. 11 in: Stahlbau-Handbuch, Band 1, 2. Aufl., Stahlbau-Verlags-GmbH, Köln, 1982.
- [7] Bergmann, R.: Verbundstützen für einbetonierte Walzprofile. Merkblatt 217 der Beratungsstelle für Stahlverwendung, Düsseldorf, 2. Aufl. 1986.
- [8] Lindner, J.: Ein Vorschlag für einheitliche vereinfachte Tragsicherheitsnachweise von Stahlstützen und Verbundstützen, Stahlbau 63(1994), S. 290-294, Zuschrift Stahlbau 64(1995), S. 252.
- [9] Lindner, J.: Verbundbau. In Hütte, Bautechnik, Band VI Konstruktiver Ingenieurbau 3, Massivbau und Stahlbau, S. 151-267, Berlin, Heidelberg, New York, Springer-Verlag 1993.
- [10] DIN 18 800-2: Stahlbauten, Stabilitätsfälle, Knicken von Stäben und Stabwerken (11.1990).
- [11] Bergmann, R.: Geometrische Ersatzimperfectionen für Verbundstützen, die in Knickspannungskurve a eingestuft sind. Schlußbericht zum DIBt-Forschungsvorhaben (12.1996).
- [12] Bergmann, R.: Traglastberechnung von Verbundstützen. TWM 76-4 der Ruhr-Univers. Bochum, Institut für Konstruktiven Ingenieurbau, 1976.

Berechnung der Ersatzimperfectionen für HE200B,  $\bar{\lambda} = 1,0$

\*\*\*\*\* E I N G A B E W E R T E \*\*\*\*\* ,      Schalter    9

STAHLPROFIL :      HE 200 B      St 52

h=hz =      200.00 mm      b=hy =      200.00 mm      ts =      9.00 mm

tf =      15.00 mm      r =      18.00 mm

A-a =      78.08 cm<sup>2</sup>      A-Vz =      18.08 cm<sup>2</sup>      A-Vy =      60.00 cm<sup>2</sup>

I-a,y =      5695. cm<sup>4</sup>      I-a,z =      2006.9 cm<sup>4</sup>

Npl,a =      2811. kN      Mpl-a,y =      235.4 kNm      Mpl-a,z =      110.3 kNm

fy,a =      360.00 N/mm<sup>2</sup>

BETON :      C 60 / 0      Alf\*Fcd = 3.40 [kN/cm<sup>2</sup>]

dz =      30.00 cm      dz-red =      30.00 cm      cz =      5.00 cm

dy =      30.00 cm      dy-red =      30.00 cm      cy =      5.00 cm

cz-red =      5.00 cm      cy-red =      5.00 cm      Beta-R = 51.00 N/mm<sup>2</sup>

A-b =      797.29 cm<sup>2</sup>      I-b,y =      58825. cm<sup>4</sup>      I-b,z =      62513. cm<sup>4</sup>

N-pl,b =      4066. kN      Mpl-b,y =      133.6 kNm      Mpl-b,z =      199.8 kNm

BEWEHRUNG :      BSt 500/550 - d = 28.0 mm

je Lage in y-Richtung :

n =      2. Stck      cs-z =      4.000 cm      cs-z,red =      4.000 cm

je Lage in z-Richtung :

n =      2. Stck      cs-y =      4.000 cm      cs-y,red =      4.000 cm

A-s =      24.63 cm<sup>2</sup>      I-s,y =      2980.2 cm<sup>4</sup>      I-s,z =      2980.2 cm<sup>4</sup>

fy,s =      500.00 N/mm<sup>2</sup>      N-pl,s =      1232. kN      mue =      3.00 ‰

SYSTEM : Länge = 6.52 m      sK-y = 6.24 m      sK-z = 5.53 m

SCHNITTGRÖSSEN :      LASTFALL S      Sicherh.beiw. Gamma = 1.00

N-Langzeit =      .0 kN      N-Kurzzeit =      3783.0 kN

M-y =      .0 kNm      M-z =      .0 kNm

V-z =      .0 kN      V-y =      .0 kN

\*\* E R G E B N I S S E \*\*      Vorverf. explizit      Traglast

\*\* 1. Ausw. rechtw. y-Achse : KSL b      \*\*\* Nachweis NICHT erfüllt : \*\*

>> vorh. M-y,nue,II = 247.1 kNm > 247.1 kNm = krit.M\*0,9

Mkr/Mpl = .670      M-ein/Mpl = .000      konst. Moment

L/w0 = 216.1 >> vorh. N-gam/N-u,y = 3783. / 3782. = 1.0002 > 1.

NKid-y = 6780. kN      Npld = 6337. kN      Nplk = 8109. kN

Lambda-q = 1.000      Kappa-y = .5969      Mpl-y = 368.9 kNm

N-nue/Npl = .540      Kappa-n = .000      s = .000

Delta = .403      z-f = 6.41 cm      Ebi = 2340.kNcm<sup>2</sup>

Vpl-z,a = 375.8 kN      V-z,nue/Vpl-z,a= .119      Tau-0,z = 1.08 MN/m<sup>2</sup>

z-VF = 5.00 cm      S = 50.7 cm<sup>3</sup>      I-w,ges = 15230. cm<sup>4</sup>

\*\* 2. Ausw. rechtw. z-Achse : KSL c      \*\*\* Nachweis NICHT erfüllt : \*\*

>> vorh. M-z,nue,II = 253.5 kNm > 253.5 kNm = krit.M\*0,9

Mkr/Mpl = .818      M-ein/Mpl = .000      konst. Moment

L/v0 = 155.5 >> vorh. N-gam/N-u,z = 3423. / 3423. = 1.0000 < 1.

NKid-z = 6580. kN      Npld = 6337. kN      Nplk = 8109. kN

Lambda-q = 1.000      Kappa-z = .5401      Mpl-z = 310.1 kNm

N-nue/Npl = .540      Kappa-n = .000      s = .000

Delta = .403      y-f = 12.24 cm      Ebi = 2340.kNcm<sup>2</sup>

Vpl-y,a = 1247.1 kN      V-y,nue/Vpl-y,a= .025      Tau-0,y = 2.43 MN/m<sup>2</sup>

y-VF = 14.55 cm      S = 200.5 cm<sup>3</sup>      I-w,ges = 11953. cm<sup>4</sup>

Berechnung der Ersatzimperfektionen für HE200B,  $\bar{\lambda} = 1,5$

\*\*\*\*\* E I N G A B E W E R T E \*\*\*\*\* , Schalter 9

STAHLPROFIL : HE 200 B St 52

h=hz = 200.00 mm b=hy = 200.00 mm ts = 9.00 mm  
 tf = 15.00 mm r = 18.00 mm  
 A-a = 78.08 cm<sup>2</sup> A-Vz = 18.08 cm<sup>2</sup> A-Vy = 60.00 cm<sup>2</sup>  
 I-a,y = 5695. cm<sup>4</sup> I-a,z = 2006.9 cm<sup>4</sup>  
 Npl,a = 2811. kN Mpl-a,y = 235.4 kNm Mpl-a,z = 110.3 kNm  
 fy,a = 360.00 N/mm<sup>2</sup>

BETON : C 60/0 Alf\*Fcd = 3.40 [kN/cm<sup>2</sup>]

dz = 30.00 cm dz-red = 30.00 cm cz = 5.00 cm  
 dy = 30.00 cm dy-red = 30.00 cm cy = 5.00 cm  
 cz-red = 5.00 cm cy-red = 5.00 cm Beta-R = 51.00 N/mm<sup>2</sup>  
 A-b = 797.29 cm<sup>2</sup> I-b,y = 58825. cm<sup>4</sup> I-b,z = 62513. cm<sup>4</sup>  
 N-pl,b = 4066. kN Mpl-b,y = 133.6 kNm Mpl-b,z = 199.8 kNm

BEWEHRUNG : BSt 500/550 - d = 28.0 mm

je Lage in y-Richtung :  
 n = 2. Stck cs-z = 4.000 cm cs-z,red = 4.000 cm

je Lage in z-Richtung :  
 n = 2. Stck cs-y = 4.000 cm cs-y,red = 4.000 cm  
 A-s = 24.63 cm<sup>2</sup> I-s,y = 2980.2 cm<sup>4</sup> I-s,z = 2980.2 cm<sup>4</sup>  
 fy,s = 500.00 N/mm<sup>2</sup> N-pl,s = 1232. kN mue = 3.00 ‰

SYSTEM : Länge = 9.78 m sK-y = 9.36 m sK-z = 8.29 m  
 SCHNITTGRÖSSEN : LASTFALL S Sicherh.beiw. Gamma = 1.00  
 N-Langzeit = .0 kN N-Kurzzeit = 2169.0 kN  
 M-y = .0 kNm M-z = .0 kNm  
 V-z = .0 kN V-y = .0 kN

\*\* E R G E B N I S S E \*\* Vorverf. explizit Traglast

\*\* 1. Ausw. rechth. y-Achse : KSL b \*\*\* Nachweis erfüllt : \*\*\*  
 >> vorh. M-y,nue,II = 365.5 kNm < 365.5 kNm = krit.M\*0,9  
 Mkr/Mpl = .991 M-ein/Mpl = .000 konst. Moment  
L/w0 = 198.2 >> vorh. N-gam/N-u,y = 2169. / 2168. = 1.0005 > 1.  
 NKid-y = 3014. kN Npld = 6337. kN Nplk = 8109. kN  
Lambda-g = 1.500 Kappa-y = .3421 Mpl-y = 368.9 kNm  
 N-nue/Npl = .315 Kappa-n = .000 s = .000  
 Delta = .403 z-f = 6.41 cm Ebi = 2340.kNcm<sup>2</sup>  
 Vpl-z,a = 375.8 kN V-z,nue/Vpl-z,a = .074 Tau-0,z = .68 MN/m<sup>2</sup>  
 z-VF = 5.00 cm S = 50.7 cm<sup>3</sup> I-w,ges = 15230. cm<sup>4</sup>

\*\* 2. Ausw. rechth. z-Achse : KSL c \*\*\* Nachweis erfüllt : \*\*\*  
 >> vorh. M-z,nue,II = 288.8 kNm < 288.8 kNm = krit.M\*0,9  
 Mkr/Mpl = .931 M-ein/Mpl = .000 konst. Moment  
L/v0 = 179.9 >> vorh. N-gam/N-u,z = 1994. / 1994. = 1.0000 < 1.  
 NKid-z = 2924. kN Npld = 6337. kN Nplk = 8109. kN  
Lambda-g = 1.500 Kappa-z = .3147 Mpl-z = 310.1 kNm  
 N-nue/Npl = .315 Kappa-n = .000 s = .000  
 Delta = .403 y-f = 12.24 cm Ebi = 2340.kNcm<sup>2</sup>  
 Vpl-y,a = 1247.1 kN V-y,nue/Vpl-y,a = .013 Tau-0,y = 1.22 MN/m<sup>2</sup>  
 y-VF = 14.55 cm S = 200.5 cm<sup>3</sup> I-w,ges = 11953. cm<sup>4</sup>

Beispiel für Grenztragfähigkeit grenz  $M_{y,d} / M_{pl,y,Rd}$  für Druck und Biegung

\*\*\*\*\* E I N G A B E W E R T E \*\*\*\*\* , Schalter 0

STAHLPROFIL : HE 200 B St 52

h=hz = 200.00 mm b=hy = 200.00 mm ts = 9.00 mm  
 tf = 15.00 mm r = 18.00 mm  
 A-a = 78.08 cm<sup>2</sup> A-Vz = 18.08 cm<sup>2</sup> A-Vy = 60.00 cm<sup>2</sup>  
 I-a,y = 5695. cm<sup>4</sup> I-a,z = 2006.9 cm<sup>4</sup>  
 Npl,a = 2811. kN Mpl-a,y = 235.4 kNm Mpl-a,z = 110.3 kNm  
 fy,a = 360.00 N/mm<sup>2</sup>

BETON : C 60 0 Alf\*Fcd = 3.40 [kN/cm<sup>2</sup>]  
 dz = 30.00 cm dz-red = 30.00 cm cz = 5.00 cm  
 dy = 30.00 cm dy-red = 30.00 cm cy = 5.00 cm  
 cz-red = 5.00 cm cy-red = 5.00 cm Beta-R = 51.00 N/mm<sup>2</sup>  
 A-b = 817.39 cm<sup>2</sup> I-b,y = 61258. cm<sup>4</sup> I-b,z = 64946. cm<sup>4</sup>  
 N-pl,b = 4169. kN Mpl-b,y = 38.2 kNm Mpl-b,z = 106.4 kNm

BEWEHRUNG : BSt 500/550 - d = 12.0 mm

je Lage in y-Richtung :  
 n = 2. Stck cs-z = 4.000 cm cs-z,red = 4.000 cm

je Lage in z-Richtung :  
 n = 2. Stck cs-y = 4.000 cm cs-y,red = 4.000 cm  
 A-s = 4.52 cm<sup>2</sup> I-s,y = 547.4 cm<sup>4</sup> I-s,z = 547.4 cm<sup>4</sup>  
 fy,s = 500.00 N/mm<sup>2</sup> N-pl,s = 226. kN mue = .55 %

SYSTEM : Länge = 3.26 m sK-y = 3.07 m sK-z = 2.65 m  
 SCHNITTGRÖSSEN : LASTFALL S Sicherh.beiw. Gamma = 1.00  
 N-Langzeit = .0 kN N-Kurzzeit = 2129.5 kN  
 M-y = 224.0 kNm M-z = .0 kNm  
 V-z = .0 kN V-y = .0 kN

\*\* E R G E B N I S S E \*\* Vorverf. explizit Traglast

\*\* 1. Ausw. rechtw. y-Achse : KSL b \*\*\* Nachweis NICHT erfüllt : \*\*

>> vorh. M-y,nue,II = 285.7 kNm > 285.7 kNm = krit.M\*0,9  
 Mkr/Mpl = 1.044 M-ein/Mpl = .819 konst. Moment  
L/w0 = 210.0 >> vorh. N-gam/N-u,y = 2130. / 4891. = .4354 < 1.  
 NKid-y = 23660. kN Npld = 5531. kN Nplk = 7206. kN  
 Lambda-q = .500 Kappa-y = .8842 Mpl-y = 273.6 kNm  
 N-nue/Npl = .385 Kappa-n = .000 s = .000  
 Delta = .462 z-f = 6.20 cm Ebi = 2340.kNcm<sup>2</sup>  
 Vpl-z,a = 375.3 kN V-z,nue/Vpl-z,a = .093 Tau-0,z = .22 MN/m<sup>2</sup>  
 z-VF = 5.00 cm S = 43.4 cm<sup>3</sup> I-w,ges = 13068. cm<sup>4</sup>

\*\* 2. Ausw. rechtw. z-Achse : KSL c \*\*\* Nachweis erfüllt : \*\*\*

>> vorh. M-z,nue,II = 36.7 kNm < 205.3 kNm = krit.M\*0,9  
 Mkr/Mpl = .947 M-ein/Mpl = .000 konst. Moment  
 L/v0 = 170.0 >> vorh. N-gam/N-u,z = 2130. / 4663. = .4567 < 1.  
 NKid-z = 22613. kN Npld = 5531. kN Nplk = 7206. kN  
 Lambda-q = .500 Kappa-z = .8430 Mpl-z = 216.7 kNm  
 N-nue/Npl = .385 Kappa-n = .000 s = .000  
 Delta = .462 y-f = 12.12 cm Ebi = 2340.kNcm<sup>2</sup>  
 Vpl-y,a = 1247.1 kN V-y,nue/Vpl-y,a = .020 Tau-0,y = .96 MN/m<sup>2</sup>  
 y-VF = 14.55 cm S = 200.5 cm<sup>3</sup> I-w,ges = 9791. cm<sup>4</sup>

Beispiel für Grenztragfähigkeit grenz  $M_{z,d} / M_{pl,z,Rd}$  für Druck und Biegung

\*\*\*\*\* E I N G A B E W E R T E \*\*\*\*\* ,      Schalter    0

STAHLPROFIL :      HE 200 B      St 52

h=h<sub>z</sub> =    200.00 mm    b=h<sub>y</sub> =    200.00 mm    t<sub>s</sub> =        9.00 mm  
t<sub>f</sub> =        15.00 mm    r =        18.00 mm  
A-a =        78.08 cm<sup>2</sup>    A-V<sub>z</sub> =    18.08 cm<sup>2</sup>    A-V<sub>y</sub> =        60.00 cm<sup>2</sup>  
I-a,y =    5695. cm<sup>4</sup>    I-a,z =    2006.9 cm<sup>4</sup>  
N<sub>pl,a</sub> =    2811. kN    M<sub>pl-a,y</sub> =    235.4 kNm    M<sub>pl-a,z</sub> =    110.3 kNm  
f<sub>y,a</sub> =    360.00 N/mm<sup>2</sup>

BETON :      C 60 / 0      Alf\*F<sub>cd</sub> = 3.40 [kN/cm<sup>2</sup>]

dz =        30.00 cm    dz-red =    30.00 cm    cz =        5.00 cm  
dy =        30.00 cm    dy-red =    30.00 cm    cy =        5.00 cm  
cz-red =    5.00 cm    cy-red =    5.00 cm    Beta-R =    51.00 N/mm<sup>2</sup>  
A-b =        817.39 cm<sup>2</sup>    I-b,y =    61258. cm<sup>4</sup>    I-b,z =    64946. cm<sup>4</sup>  
N-pl,b =    4169. kN    M<sub>pl-b,y</sub> =    38.2 kNm    M<sub>pl-b,z</sub> =    106.4 kNm

BEWEHRUNG :      BSt 500/550    - d = 12.0 mm

je Lage in y-Richtung :  
n =        2. Stck    cs-z =        4.000 cm    cs-z,red =    4.000 cm

je Lage in z-Richtung :  
n =        2. Stck    cs-y =        4.000 cm    cs-y,red =    4.000 cm

A-s =        4.52 cm<sup>2</sup>    I-s,y =    547.4 cm<sup>4</sup>    I-s,z =    547.4 cm<sup>4</sup>  
f<sub>y,s</sub> =    500.00 N/mm<sup>2</sup>    N-pl,s =    226. kN    mu<sub>e</sub> =        .55 %

SYSTEM : Länge = 3.26 m    sK-y = 3.07 m    sK-z = 2.65 m  
SCHNITTGRÖSSEN :    LASTFALL S    Sicherh.beiw. Gamma = 1.00  
N-Langzeit =        .0 kN    N-Kurzzeit =    1086.4 kN  
M-y =            .0 kNm    M-z =            178.3 kNm  
V-z =            .0 kN    V-y =            .0 kN

\*\* E R G E B N I S S E \*\* Vorverf. explizit    Traglast

\*\* 1. Ausw. rechth. y-Achse : KSL b    \*\*\* Nachweis erfüllt : \*\*\*  
>> vorh. M-y,nue,II = 16.6 kNm < 298.6 kNm = krit.M\*0,9  
M<sub>kr</sub>/M<sub>pl</sub> = 1.092    M-ein/M<sub>pl</sub> = .000    konst. Moment

L/v<sub>0</sub> = 210.0 >> vorh. N-gam/N-u,y = 1086. / 4891. = .2221 < 1.  
NKid-y = 23660. kN    N<sub>pld</sub> = 5531. kN    N<sub>plk</sub> = 7206. kN  
Lambda-q = .500    Kappa-y = .8842    M<sub>pl-y</sub> = 273.6 kNm  
N-nue/N<sub>pl</sub> = .196    Kappa-n = .000    s = .000  
Delta = .462    z-f = 6.20 cm    E<sub>bi</sub> = 2340.kNcm<sup>2</sup>  
V<sub>pl-z,a</sub> = 375.8 kN    V-z,nue/V<sub>pl-z,a</sub> = .047    Tau-0,z = .11 MN/m<sup>2</sup>  
z-VF = 5.00 cm    S = 43.4 cm<sup>3</sup>    I-w,ges = 13068. cm<sup>4</sup>

\*\* 2. Ausw. rechth. z-Achse : KSL c    \*\*\* Nachweis erfüllt

>> vorh. M-z,nue,II = 207.2 kNm < 207.2 kNm = krit.M\*0,9  
M<sub>kr</sub>/M<sub>pl</sub> = .956    M-ein/M<sub>pl</sub> = .823    konst. Moment

L/v<sub>0</sub> = 170.0 >> vorh. N-gam/N-u,z = 1086. / 4663. = .2330 < 1.  
NKid-z = 22613. kN    N<sub>pld</sub> = 5531. kN    N<sub>plk</sub> = 7206. kN  
Lambda-q = .500    Kappa-z = .8430    M<sub>pl-z</sub> = 216.7 kNm  
N-nue/N<sub>pl</sub> = .196    Kappa-n = .000    s = .000  
Delta = .462    y-f = 12.12 cm    E<sub>bi</sub> = 2340.kNcm<sup>2</sup>  
V<sub>pl-y,a</sub> = 1247.1 kN    V-y,nue/V<sub>pl-y,a</sub> = .010    Tau-0,y = .49 MN/m<sup>2</sup>  
y-VF = 14.55 cm    S = 200.5 cm<sup>3</sup>    I-w,ges = 9791. cm<sup>4</sup>

Rechenergebnisse für Traglasten nach Bergmann

HE200B - 30x30 Beton 4/o/10 St52/C60 Datei=ipry-a						
starke Achse - Npl= 5475.819 kN; Mpl= 267.590 kNm						
lam-q lae[m]	Ml/Mr = 1		Ml/Mr = 0		Ml/Mr = -1	
	N/Npl	M/Mpl	N/Npl	M/Mpl	N/Npl	M/Mpl
.50 3.06	.9305	.0000	.9211	.0000	.9313	.0000
	.8041	.2000	.8621	.2000	.8837	.2000
	.6767	.4000	.7619	.4000	.7697	.4000
	.5448	.6000	.6452	.6000	.6464	.6000
	<b>.3889</b>	<b>.8000</b>	.4975	.8000	.4961	.8000
1.00 6.12	.8055	.0000	.8010	.0000	.8047	.0000
	.6416	.2000	.7074	.2000	.7822	.2000
	.4931	.4000	.6283	.4000	.7384	.4000
	.3398	.6000	.5278	.6000	.6433	.6000
	.2223	.8000	.4242	.8000	.4953	.8000
1.50 9.18	.5641	.0000	.5626	.0000	.5578	.0000
	.3908	.2000	.4749	.2000	.5537	.2000
	.2619	.4000	.3825	.4000	.5431	.4000
	.1803	.6000	.3047	.6000	.5105	.6000
	.0783	.8000	.2457	.8000	.4574	.8000
2.00 12.25	.3421	.0000	.3431	.0000	.3437	.0000
	.2033	.2000	.2579	.2000	.3366	.2000
	.1462	.4000	.2060	.4000	.3203	.4000
	.0879	.6000	.1719	.6000	.2998	.6000
	.0318	.8000	.1372	.8000	.2763	.8000

HE200B - 30x30 Beton 4/o/10 St52/C60 Datei=iprz-a						
schwache Achse - Npl= 5475.819 kN; Mpl= 210.290 kNm						
lam-q lae[m]	Ml/Mr = 1		Ml/Mr = 0		Ml/Mr = -1	
	N/Npl	M/Mpl	N/Npl	M/Mpl	N/Npl	M/Mpl
.50 2.64	.9453	.0000	.9439	.0000	.9438	.0000
	.8259	.2000	.8779	.2000	.9056	.2000
	.6943	.4000	.7830	.4000	.7978	.4000
	.4948	.6000	.6529	.6000	.6593	.6000
	<b>.1984</b>	<b>.8000</b>	.3762	.8000	.3797	.8000
1.00 5.29	.8055	.0000	.8057	.0000	.8016	.0000
	.6490	.2000	.7079	.2000	.7806	.2000
	.4537	.4000	.6119	.4000	.7463	.4000
	.2116	.6000	.4996	.6000	.6527	.6000
	.0000	.8000	.3229	.8000	.3756	.8000
1.50 7.93	.5609	.0000	.5605	.0000	.5633	.0000
	.3664	.2000	.4591	.2000	.5521	.2000
	.1804	.4000	.3493	.4000	.5361	.4000
	.0778	.6000	.2321	.6000	.4964	.6000
	.0000	.8000	.1472	.8000	.3781	.8000
2.00 10.58	.3524	.0000	.3512	.0000	.3518	.0000
	.1647	.2000	.2498	.2000	.3439	.2000
	.0940	.4000	.1616	.4000	.3201	.4000
	.0353	.6000	.1172	.6000	.2738	.6000
	.0000	.8000	.0692	.8000	.2208	.8000

**Druck und Biegung - Vergleich der Grenztragfähigkeiten**

a) Ausweichen rechtwinklig zur y-Achse

$$\bar{\lambda}_{ky} = 0,5 \qquad M_1 / M_r = 1,0$$

$$N / N_{pl} = 0,3889 \qquad N = 0,3889 \cdot 5475,8 = 2129,5 \text{ kN}$$

genaue Traglast:

$$R = \sqrt{0,3889^2 + 0,80^2} = 0,8895$$

Näherung:

$$\text{aus Anlage 1.3:} \qquad M / M_{pl} = 0,819$$

$$R = \sqrt{0,3889^2 + 0,819^2} = 0,9066$$

$$F \approx 0,9066 / 0,8895 = 1,019 \text{ , } 1,9 \% \text{ Überschreitung}$$

b) Ausweichen rechtwinklig zur z-Achse

$$\bar{\lambda}_{kz} = 0,5 \qquad M_1 / M_r = 1,0$$

$$N / N_{pl} = 0,1984 \qquad N = 0,1984 \cdot 5475,8 = 1086,4 \text{ kN}$$

genaue Traglast:

$$R = \sqrt{0,1984^2 + 0,80^2} = 0,8242$$

Näherung:

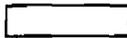
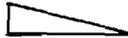
$$\text{aus Anlage 1.4:} \qquad M / M_{pl} = 0,823$$

$$R = \sqrt{0,1894^2 + 0,823^2} = 0,8466$$

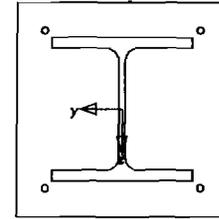
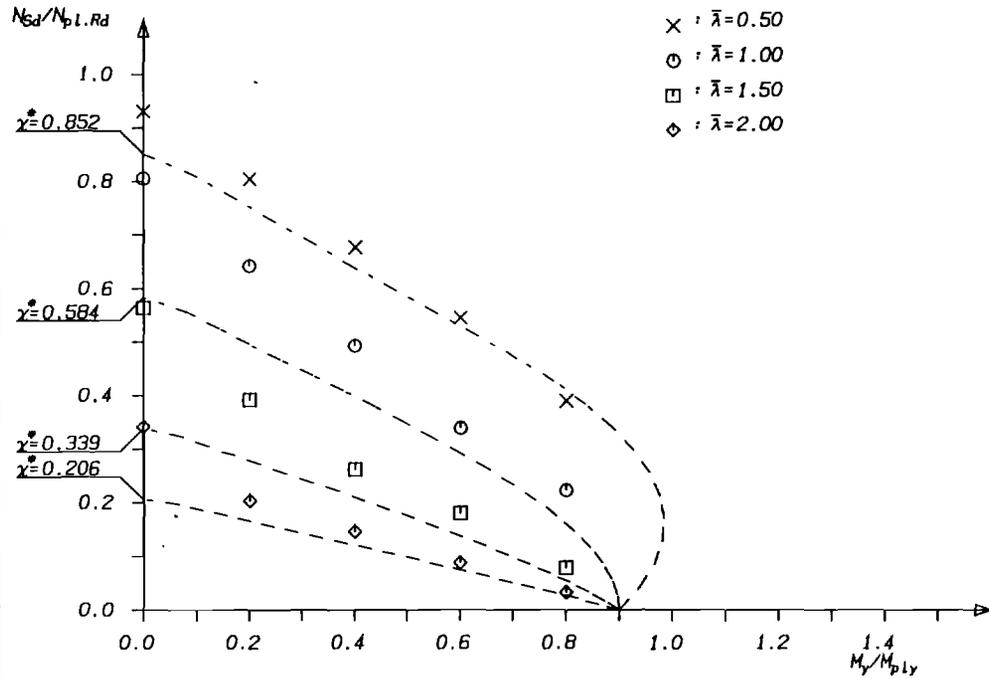
$$F \approx 0,8466 / 0,8242 = 1,027 \text{ , } 2,7 \% \text{ Überschreitung}$$

Zusammenstellung der Vergleiche für Druck und Biegung mit rechnerischen genaueren Traglasten nach Bergmann

Werkstoffe: St 52/C60

Anlage	Profil	Achse	Momtenverlauf		
					
2.2	HE200B	y-y	x		
2.3	HE200B	y-y		x	
2.4	HE200B	y-y			x
2.5	HE1000M	y-y	x		
2.6	HE1000M	y-y		x	
2.7	HE1000M	y-y			x
2.8	Schweißpro. 340x340x20x30	y-y	x		
2.9	Schweißpro. 340x340x20x30	y-y		x	
2.10	Schweißpro. 340x340x20x30	y-y			x
2.11	IPE 600	y-y	x		
2.12	IPE 600	y-y		x	
2.13	IPE 600	y-y			x
2.14	IPE 200, 4Ø10	y-y	x		
2.15	IPE 200, 4Ø10	y-y		x	
2.16	IPE 200, 4Ø10	y-y			x
2.17	IPE 200, 4Ø28	y-y	x		
2.18	IPE 200, 4Ø28	y-y		x	
2.19	IPE 200, 4Ø28	y-y			x
2.20	HE200B	z-z	x		
2.21	HE200B	z-z		x	
2.22	HE200B	z-z			x
2.23	HE1000M	z-z	x		
2.24	HE1000M	z-z		x	
2.25	HE1000M	z-z			x
2.26	Schweißpro. 340x340x20x30	z-z	x		
2.27	Schweißpro. 340x340x20x30	z-z		x	
2.28	Schweißpro. 340x340x20x30	z-z			x
2.29	IPE 600	z-z	x		
2.30	IPE 600	z-z		x	
2.31	IPE 600	z-z			x
2.32	IPE 200, 4Ø10	z-z	x		
2.33	IPE 200, 4Ø10	z-z		x	
2.34	IPE 200, 4Ø10	z-z			x
2.35	IPE 200, 4Ø28	z-z	x		
2.36	IPE 200, 4Ø28	z-z		x	
2.37	IPE 200, 4Ø28	z-z			x

## Traglastkurven mit Vorverformungen



Berechnungsverfahren:  
DIN18800-5 mit Vorverformungen

Kurvenparameter:  $\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{N_{pl,R}}{N_{cr}}}$

Momentenbild normiert

$m_y$  (max  $m_y = 1.00$ )

Bezugswerte:

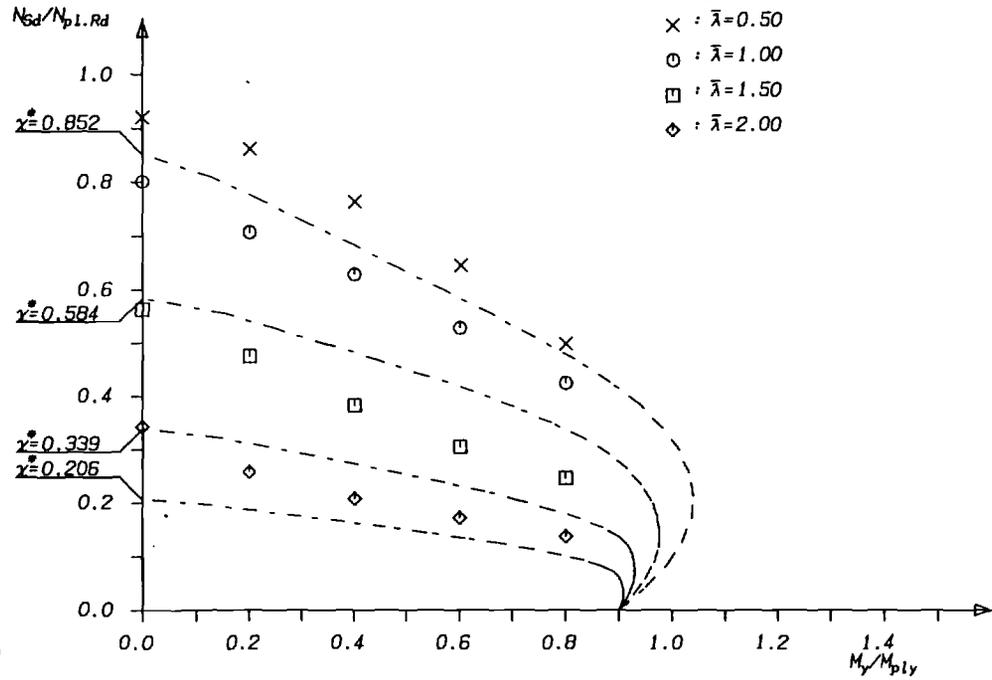
$N_{pl,Rd} = 5475.82 \text{ kN}$

$M_{pl,y,Rd} = 267.59 \text{ kNm}$

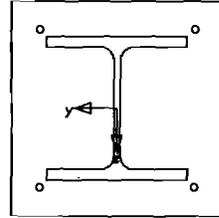
HE200B - 30x30 Beton 4φ10 St52/C60  
Vorverformung 1/210

Dr. R. Bergmann  
Bauingenieur  
Hiltl

### Traglastkurven mit Vorverformungen



Legende  
 X :  $\bar{\lambda}=0.50$   
 O :  $\bar{\lambda}=1.00$   
 □ :  $\bar{\lambda}=1.50$   
 ◇ :  $\bar{\lambda}=2.00$



Berechnungsverfahren:  
 DIN18800-5 mit Vorverformungen  
 Kurvenparameter:  $\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{N_{pl,R}}{N_{cr}}}$   
 Momentenbild normiert

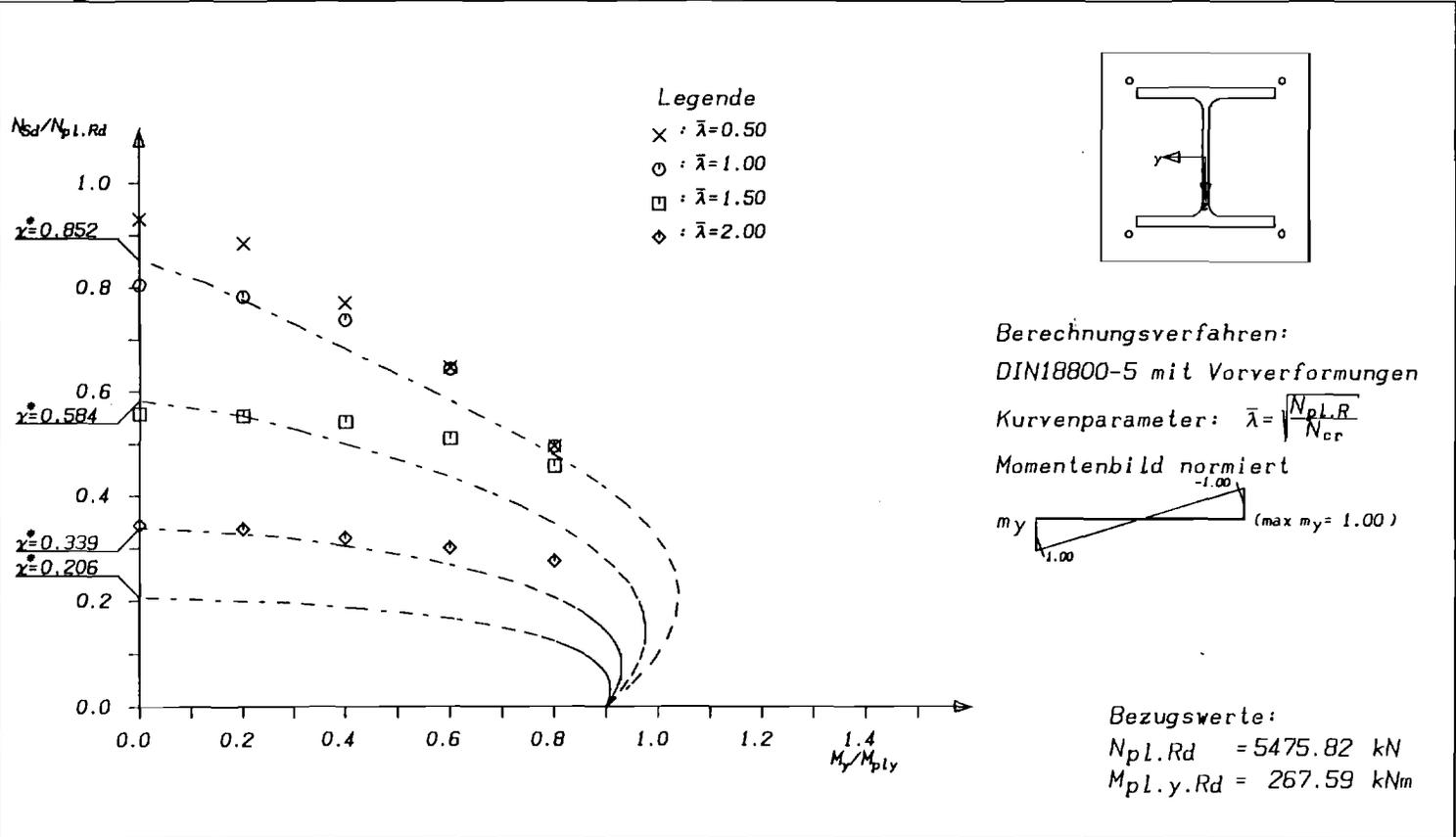


Bezugswerte:  
 $N_{pl,Rd} = 5475.82 \text{ kN}$   
 $M_{pl,y,Rd} = 267.59 \text{ kNm}$

HE200B - 30x30 Beton 4φ10 St52/C60  
 Vorverformung 1/210

Dr. R. Bergmann  
 Bauingenieur  
 Hiltl

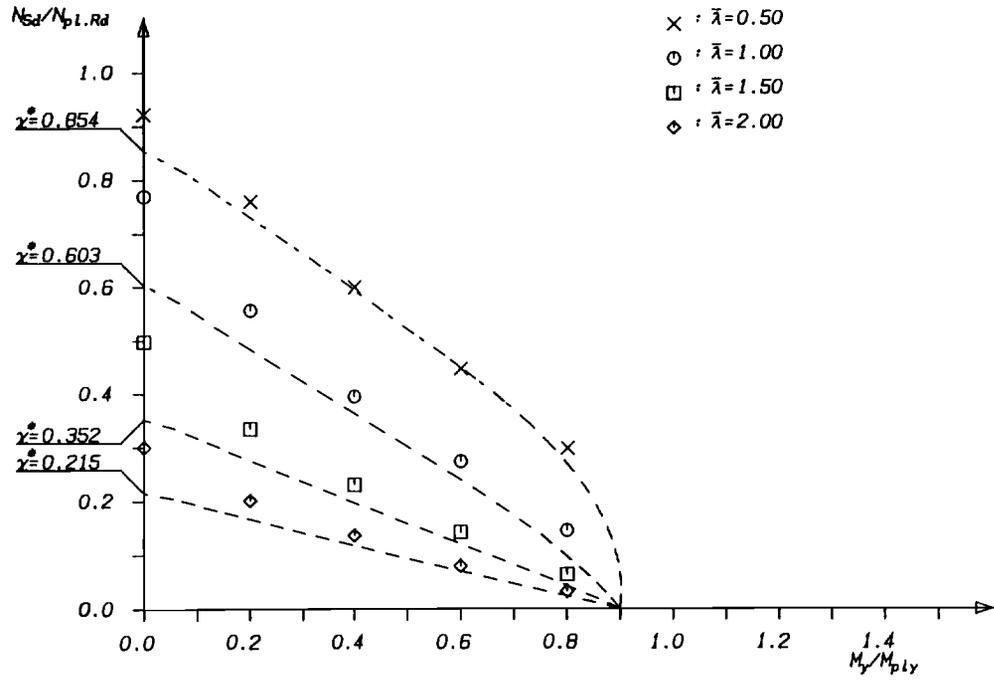
# Traglastkurven mit Vorverformungen



HE200B - 30x30 Beton 4φ10 St52/C60  
Vorverformung 1/210

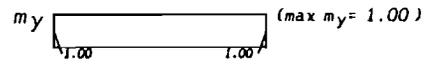
Dr. R. Bergmann  
Bauingenieur  
Nitten

# Traglastkurven mit Vorverformungen



- Legende
- x :  $\bar{\lambda} = 0.50$
  - o :  $\bar{\lambda} = 1.00$
  - :  $\bar{\lambda} = 1.50$
  - ◇ :  $\bar{\lambda} = 2.00$

Berechnungsverfahren:  
 DIN18800-5 mit Vorverformungen  
 Kurvenparameter:  $\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{N_{pl,Rd}}{N_{cr}}}$   
 Momentenbild normiert

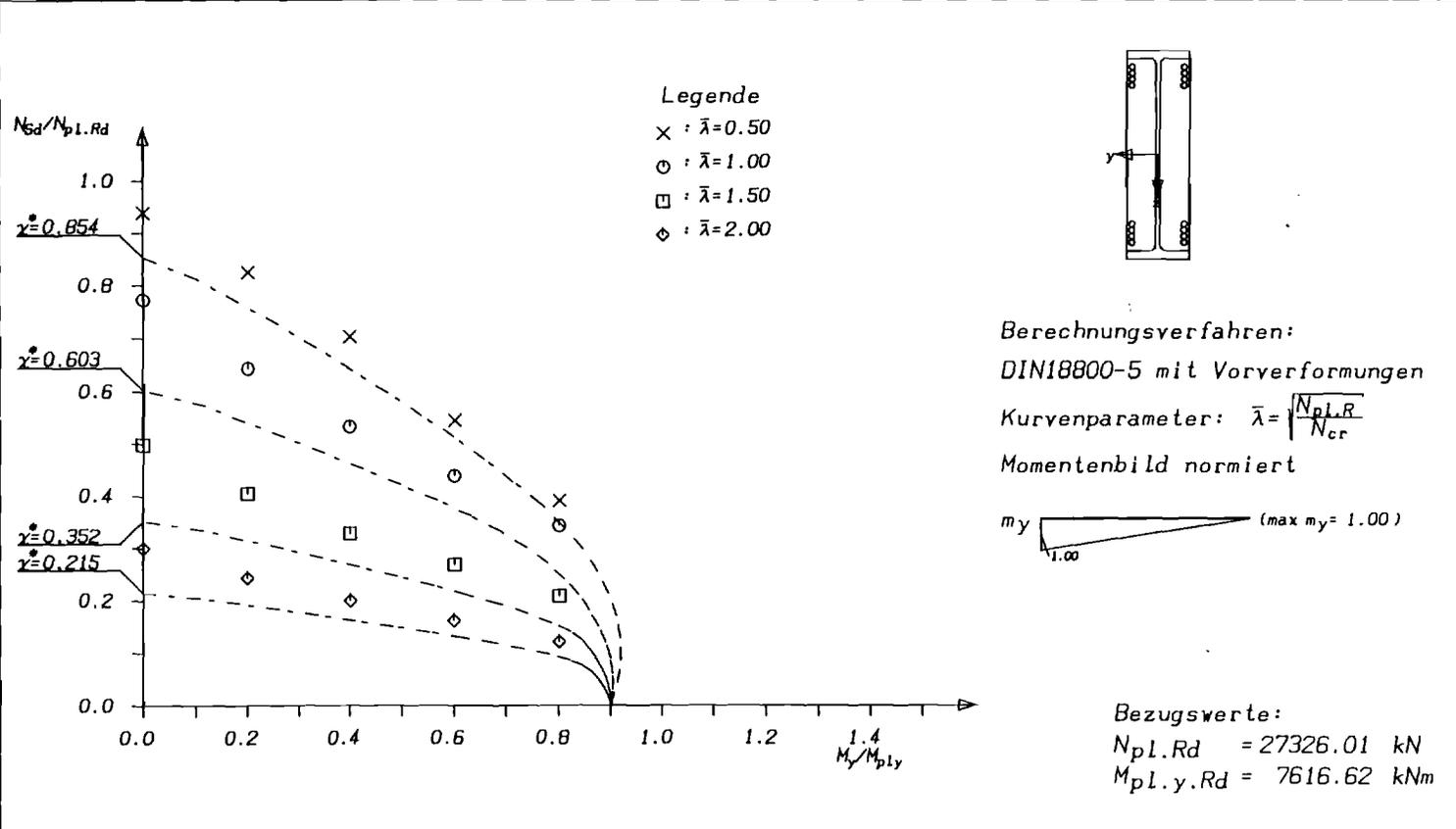


Bezugswerte:  
 $N_{pl,Rd} = 27326.01 \text{ kN}$   
 $M_{pl,y,Rd} = 7616.62 \text{ kNm}$

HE1000M Kammerbeton 16φ28 St52/C60  
 Vorverformung 1/210

Dr. R. Bergmann  
 Bauingenieur  
 Nitten

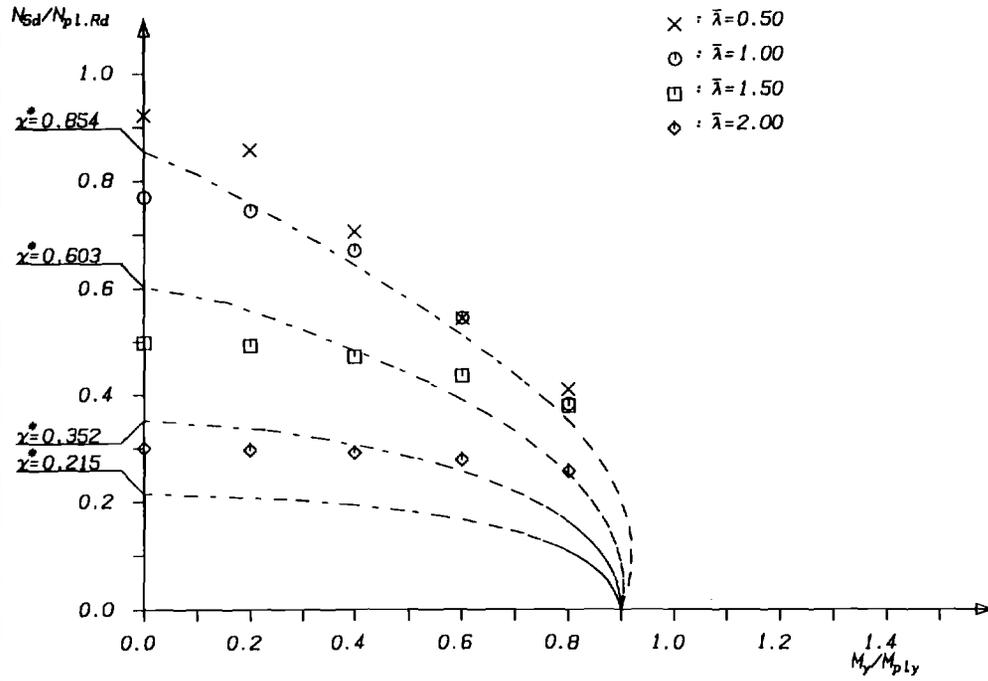
## Traglastkurven mit Vorverformungen



HE1000M Kammerbeton 16φ28 St52/C60  
Vorverformung 1/210

Dr. R. Bergmann  
Bauingenieur  
Hiltl

# Traglastkurven mit Vorverformungen



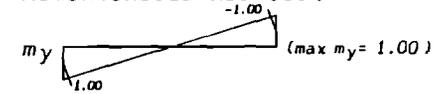
Legende  
 X :  $\bar{\lambda} = 0.50$   
 O :  $\bar{\lambda} = 1.00$   
 □ :  $\bar{\lambda} = 1.50$   
 ◇ :  $\bar{\lambda} = 2.00$



Berechnungsverfahren:  
 DIN18800-5 mit Vorverformungen

Kurvenparameter:  $\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{N_{pl,Rd}}{N_{cr}}}$

Momentenbild normiert



Bezugswerte:

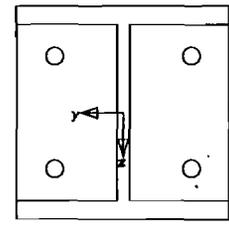
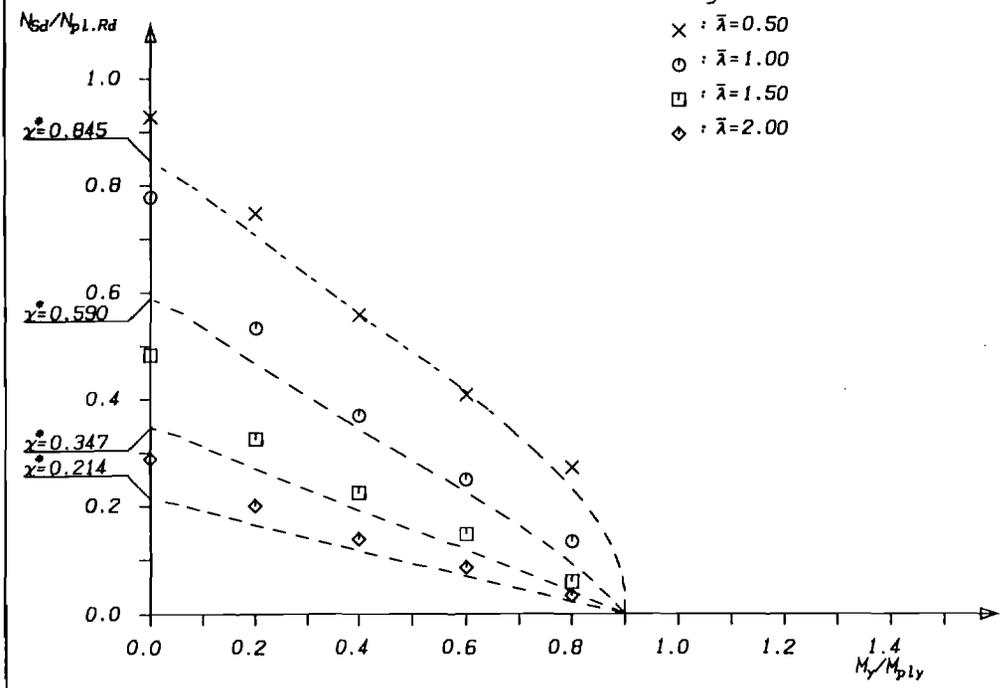
$N_{pl,Rd} = 27326.01 \text{ kN}$

$M_{pl,y,Rd} = 7616.62 \text{ kNm}$

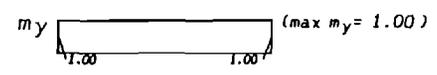
HE1000M Kammerbeton 16 $\phi$ 28 St52/C60  
 Vorverformung 1/210

Dr. R. Bergmann  
 Bauingenieur  
 Hiltl

Traglastkurven mit Vorverformungen



Berechnungsverfahren:  
DIN18800-5 mit Vorverformungen  
Kurvenparameter:  $\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{N_{pl,Rd}}{N_{cr}}}$   
Momentenbild normiert

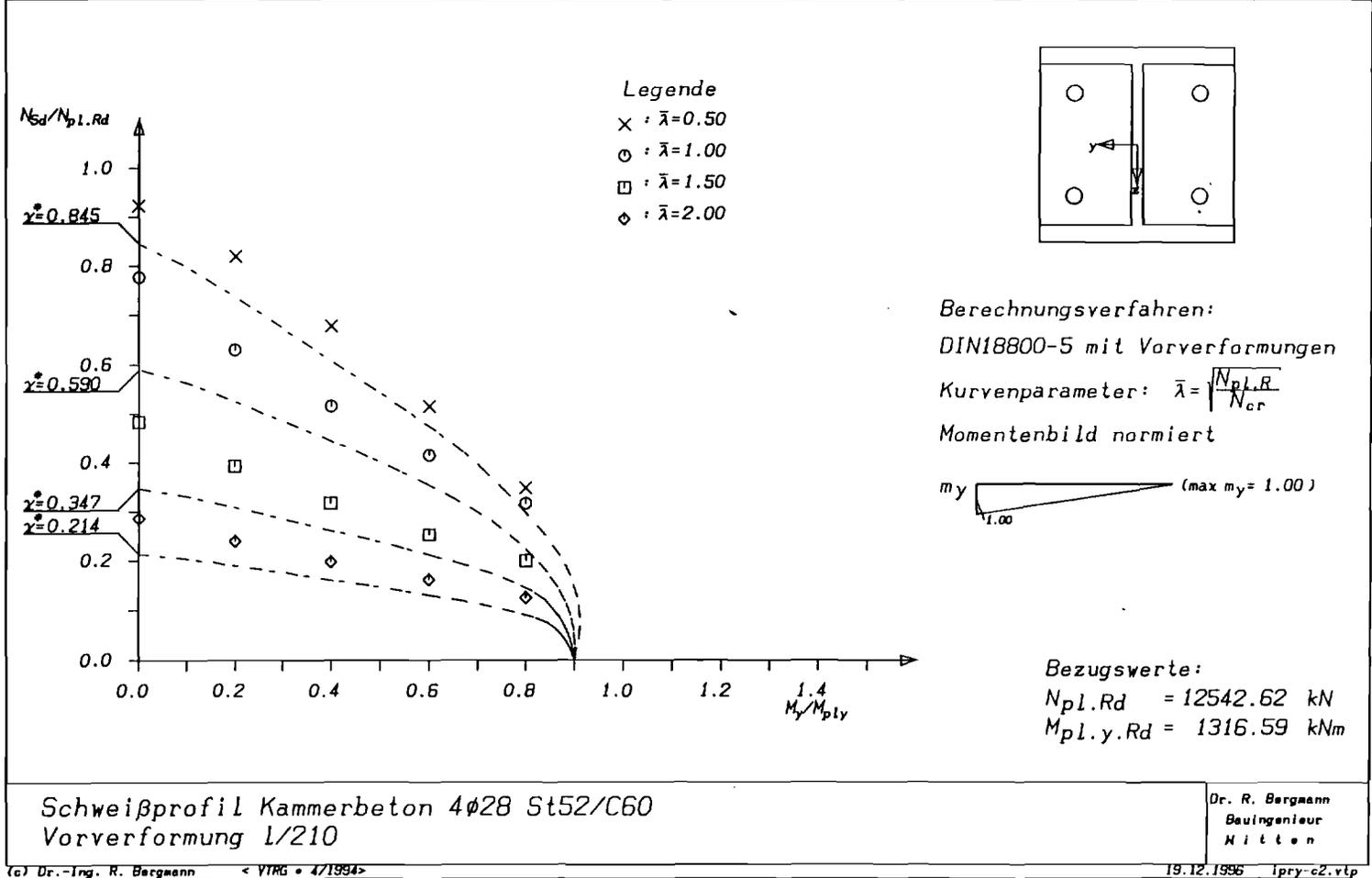


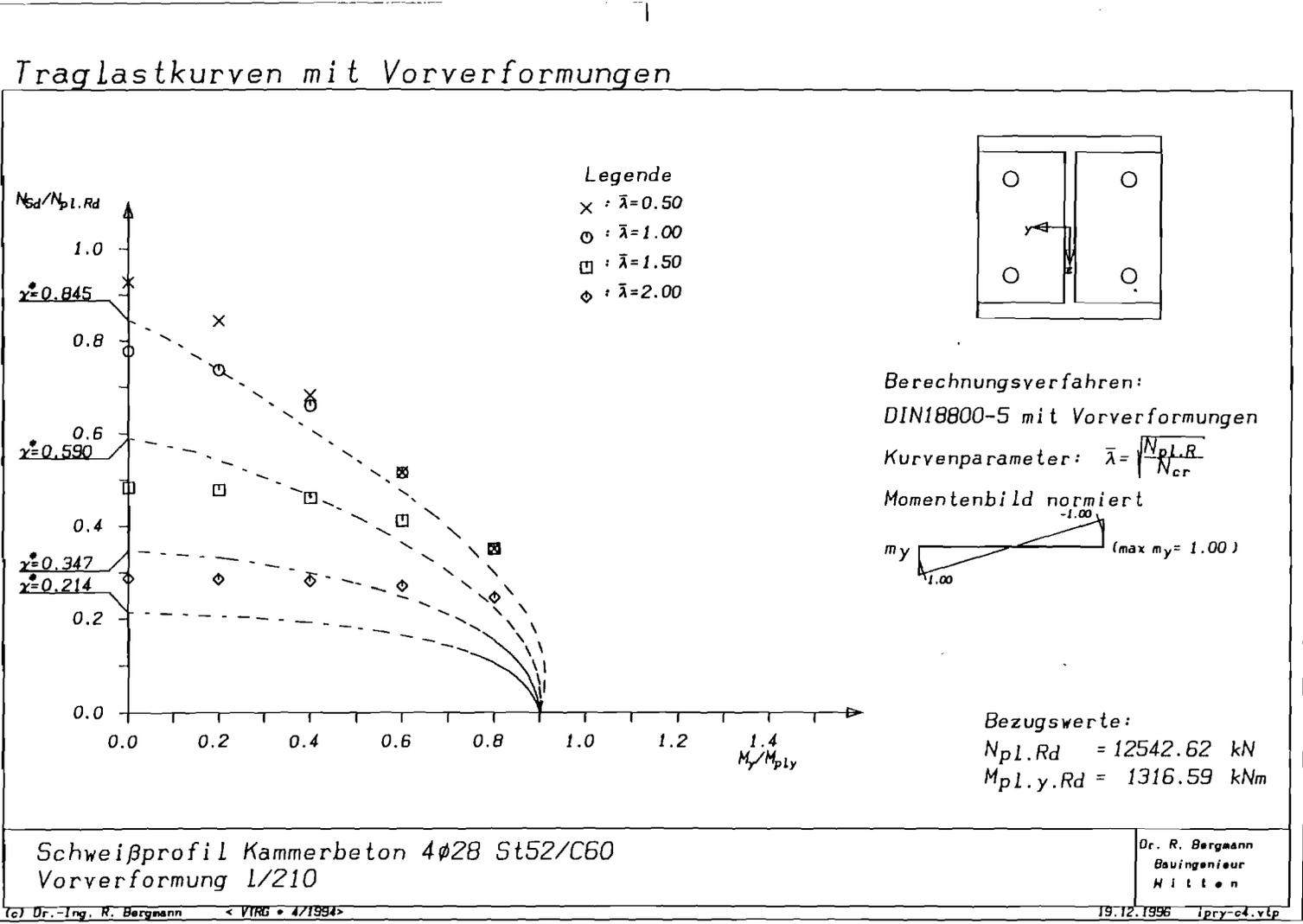
Bezugswerte:  
 $N_{pl,Rd} = 12542.62 \text{ kN}$   
 $M_{pl,y,Rd} = 1316.59 \text{ kNm}$

Schweißprofil Kammerbeton 4φ28 St52/C60  
Vorverformung 1/210

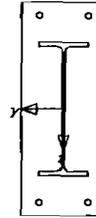
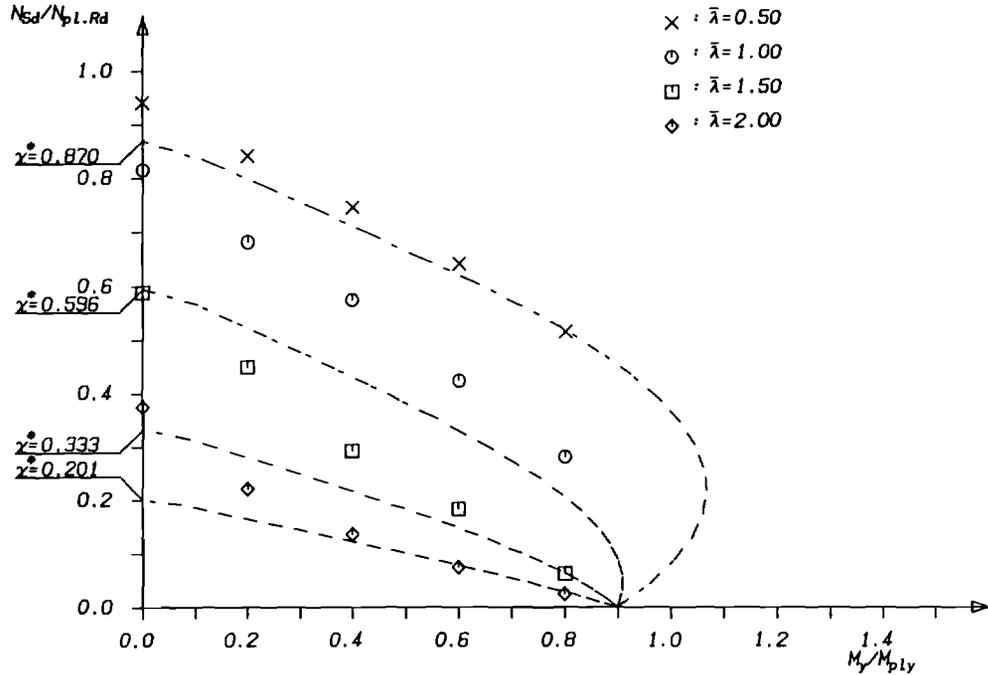
Dr. R. Bergmann  
Bauingenieur  
Hiltl

### Traglastkurven mit Vorverformungen





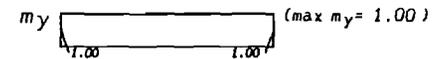
# Traglastkurven mit Vorverformungen



Berechnungsverfahren:  
DIN18800-5 mit Vorverformungen

Kurvenparameter:  $\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{N_{pl.Rd}}{N_{cr}}}$

Momentenbild normiert

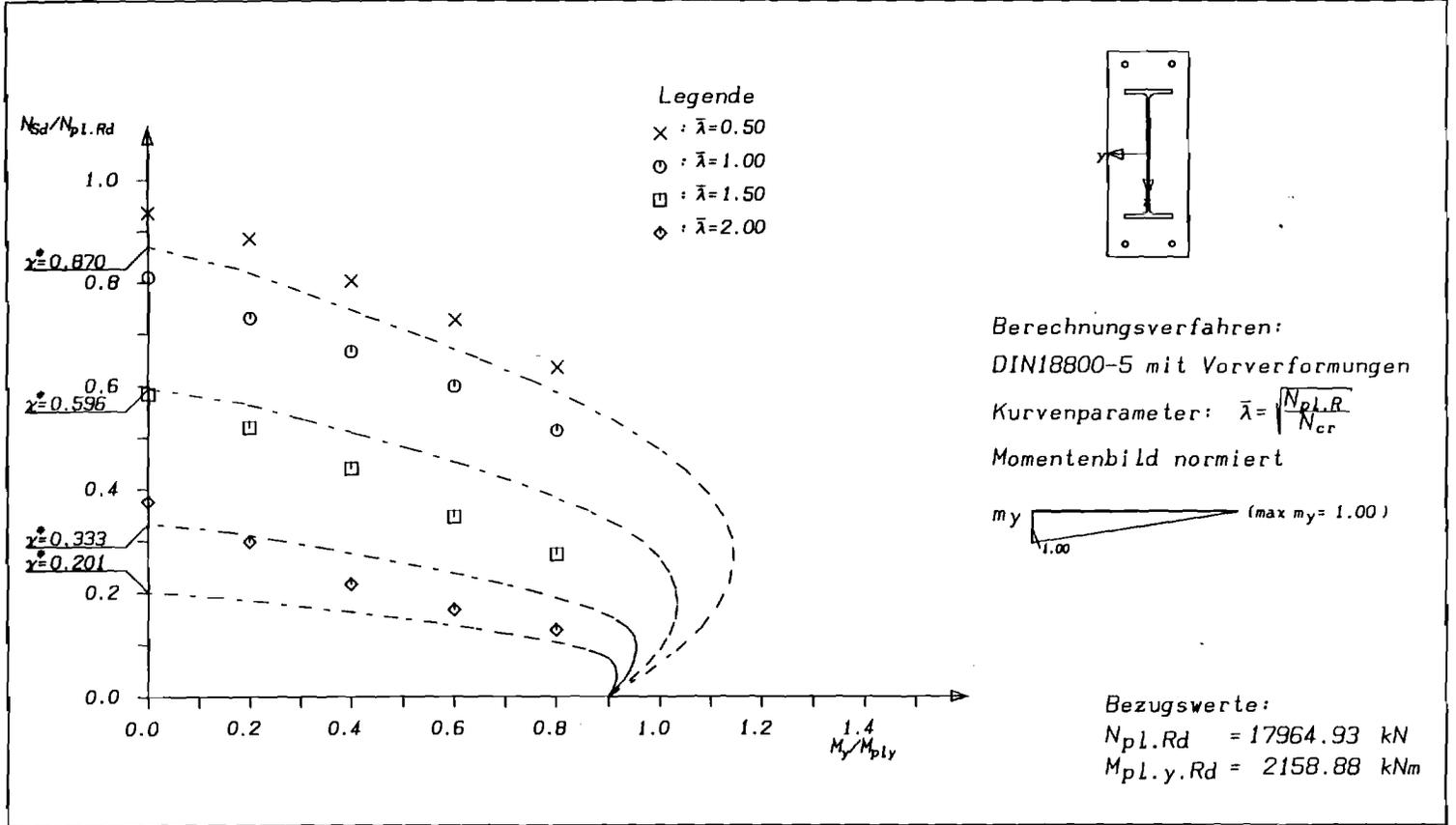


Bezugswerte:  
 $N_{pl.Rd} = 17964.93 \text{ kN}$   
 $M_{pl.y.Rd} = 2158.88 \text{ kNm}$

PE600 - 96x38 Beton 4φ28 St52/C60  
Vorverformung 1/210

Dr. R. Bergmann  
Bauingenieur  
Hiltl

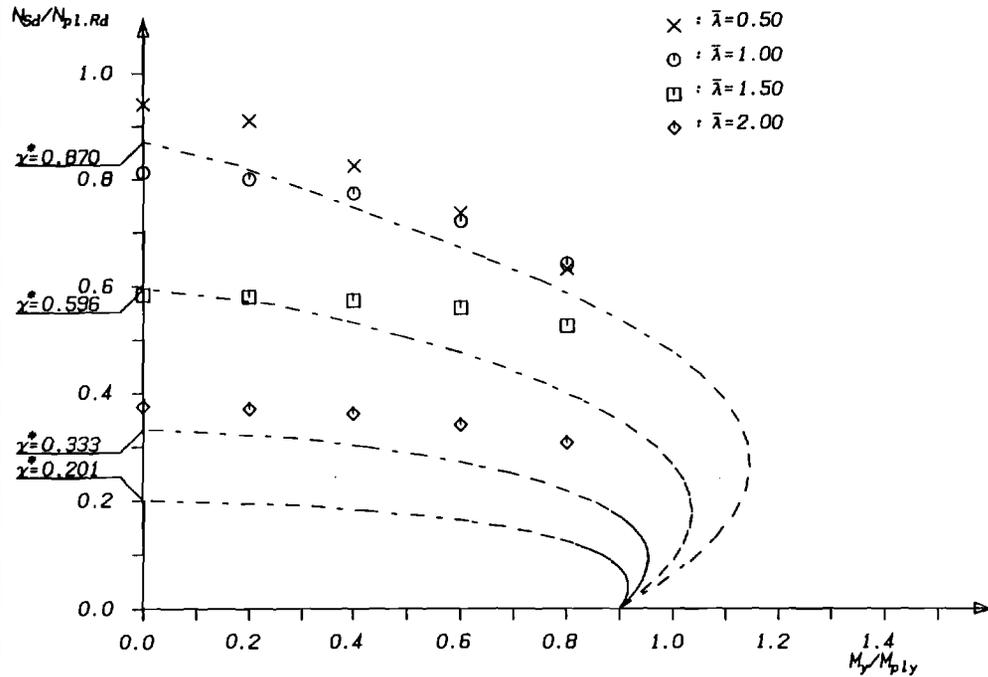
Traglastkurven mit Vorverformungen



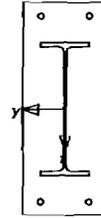
PE600 - 96x38 Beton 4φ28 St52/C60  
Vorverformung 1/210

Dr. R. Bergmann  
Bauingenieur  
Hitten

# Traglastkurven mit Vorverformungen



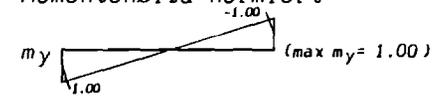
- Legende
- X :  $\bar{\lambda}=0.50$
  - O :  $\bar{\lambda}=1.00$
  - :  $\bar{\lambda}=1.50$
  - ◇ :  $\bar{\lambda}=2.00$



Berechnungsverfahren:  
DIN18800-5 mit Vorverformungen

Kurvenparameter:  $\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{N_{pl.R}}{N_{cr}}}$

Momentenbild normiert

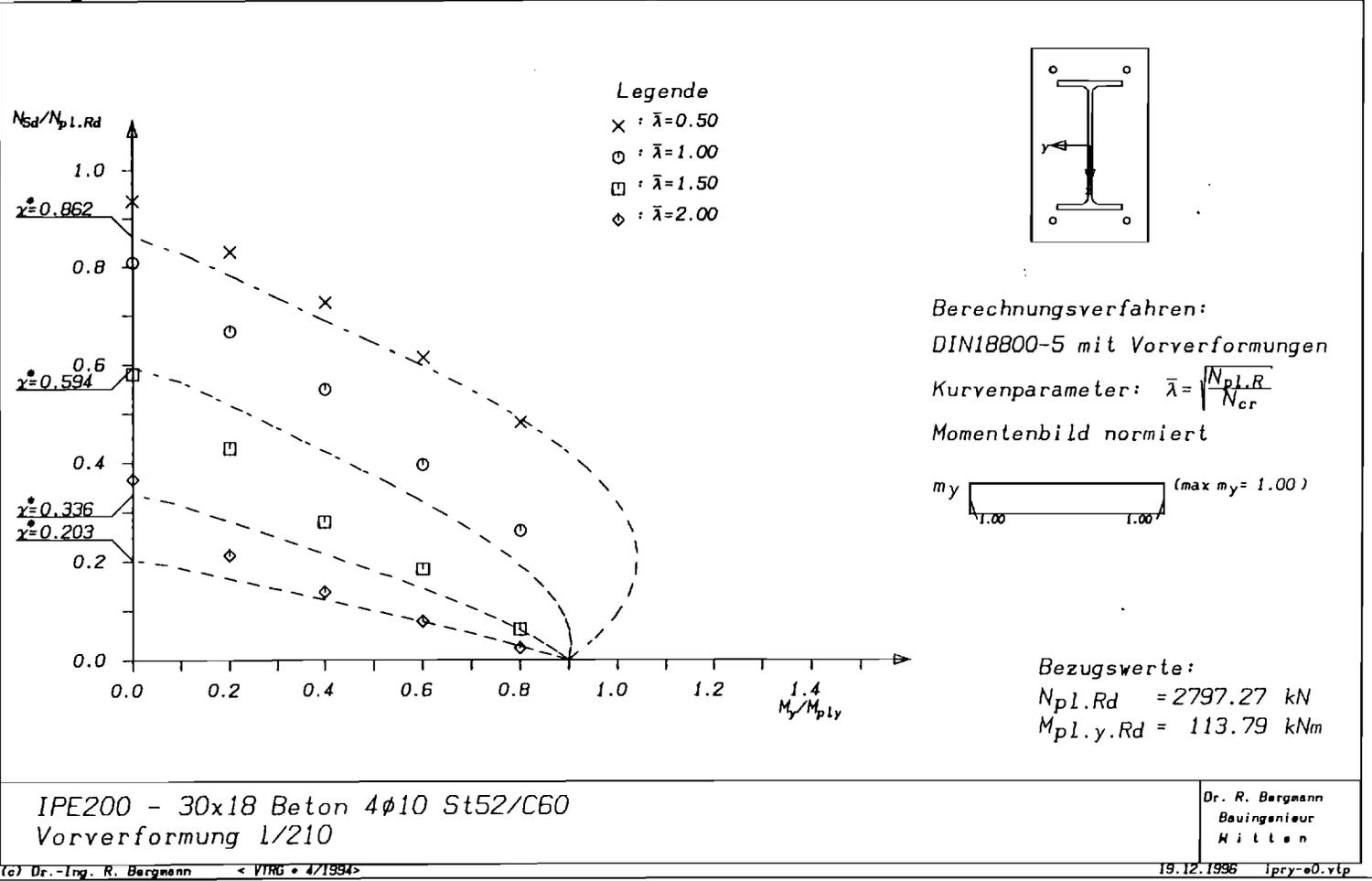


Bezugswerte:  
 $N_{pl.Rd} = 17964.93 \text{ kN}$   
 $M_{pl.y.Rd} = 2158.88 \text{ kNm}$

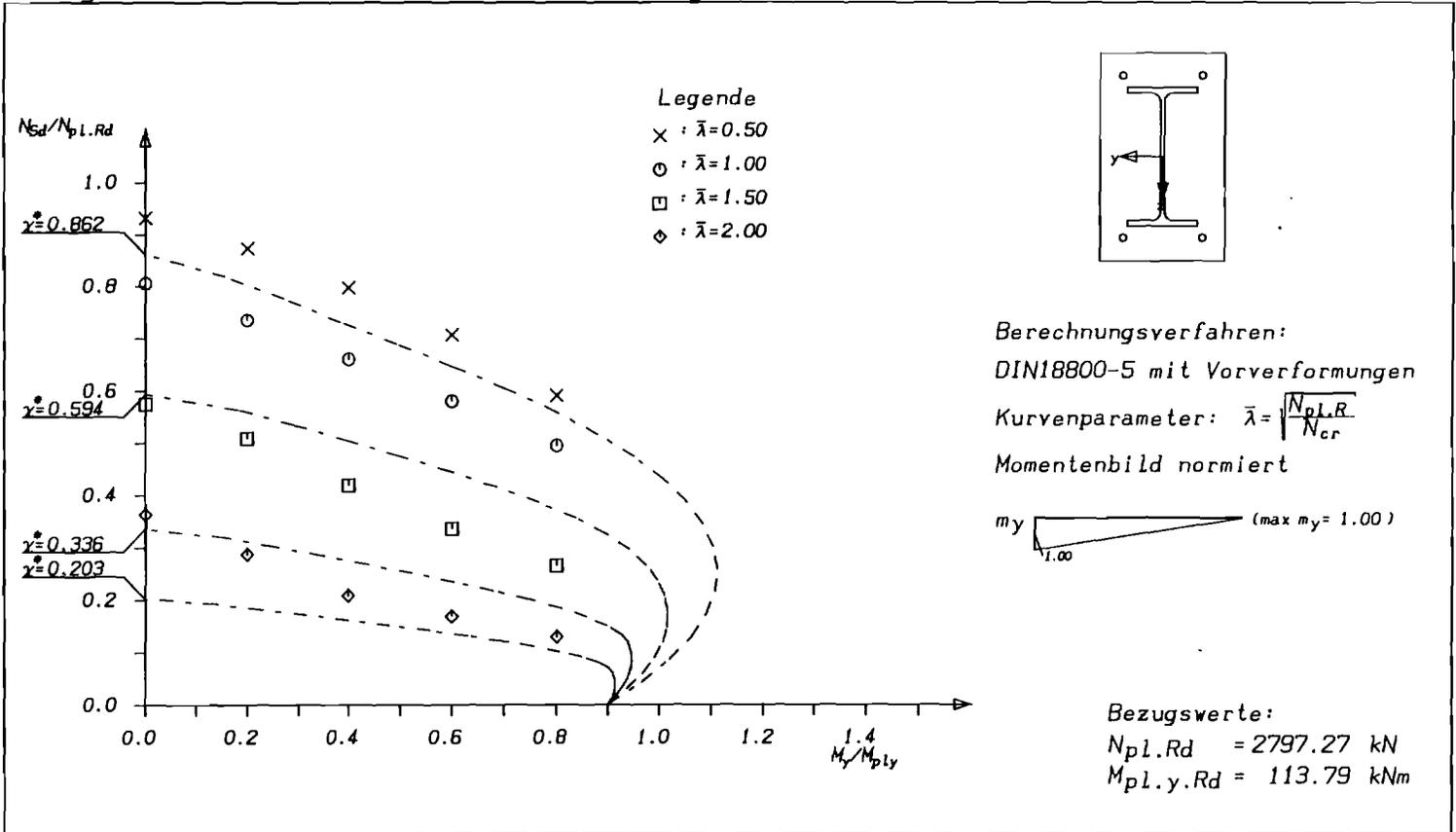
PE600 - 96x38 Beton 4φ28 St52/C60  
Vorverformung 1/210

Dr. R. Bergmann  
Bauingenieur  
Hiltl

Traglastkurven mit Vorverformungen



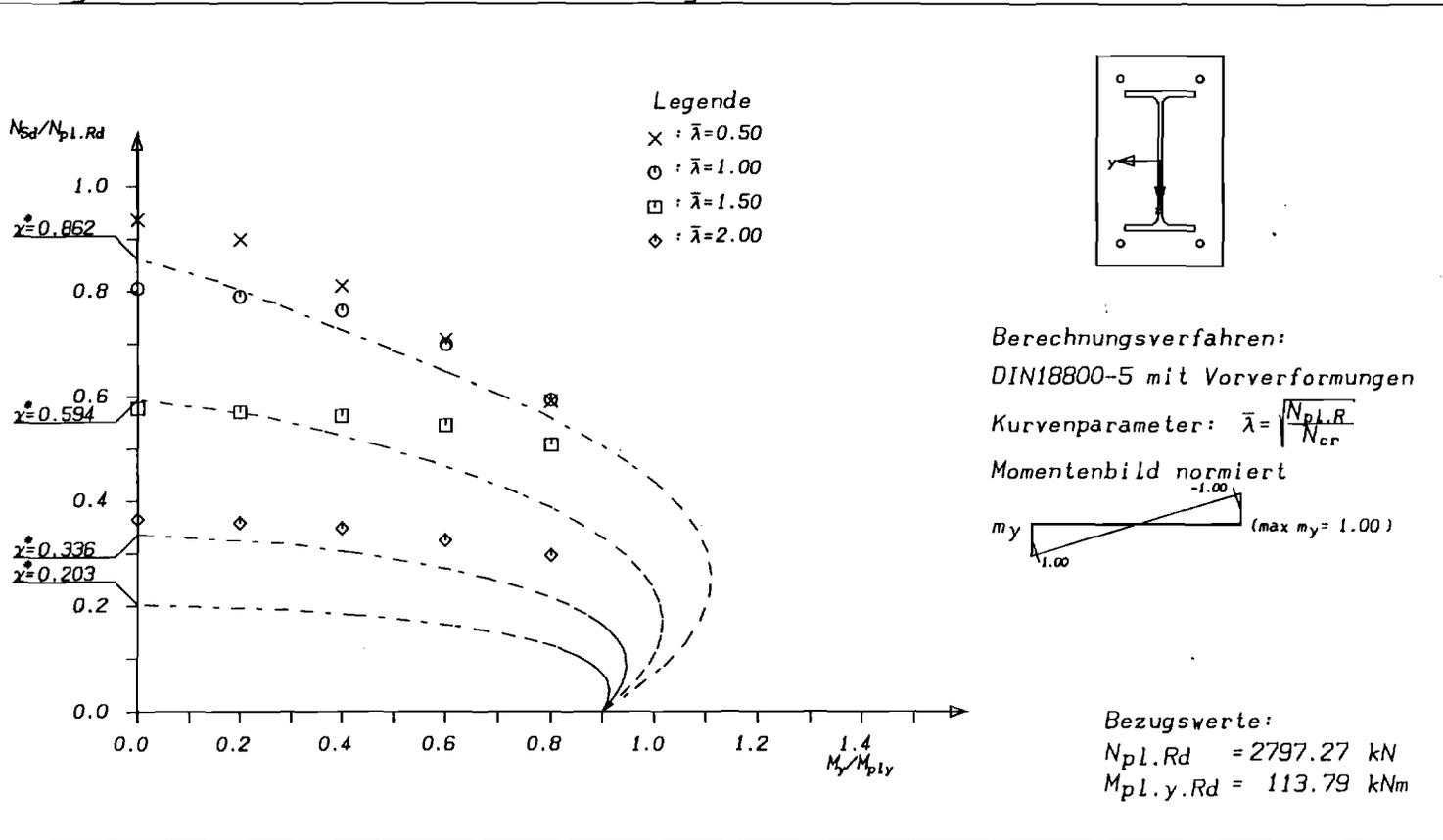
### Traglastkurven mit Vorverformungen



IPE200 - 30x18 Beton 4φ10 St52/C60  
 Vorverformung 1/210

Dr. R. Bergmann  
 Bauingenieur  
 Hiltl

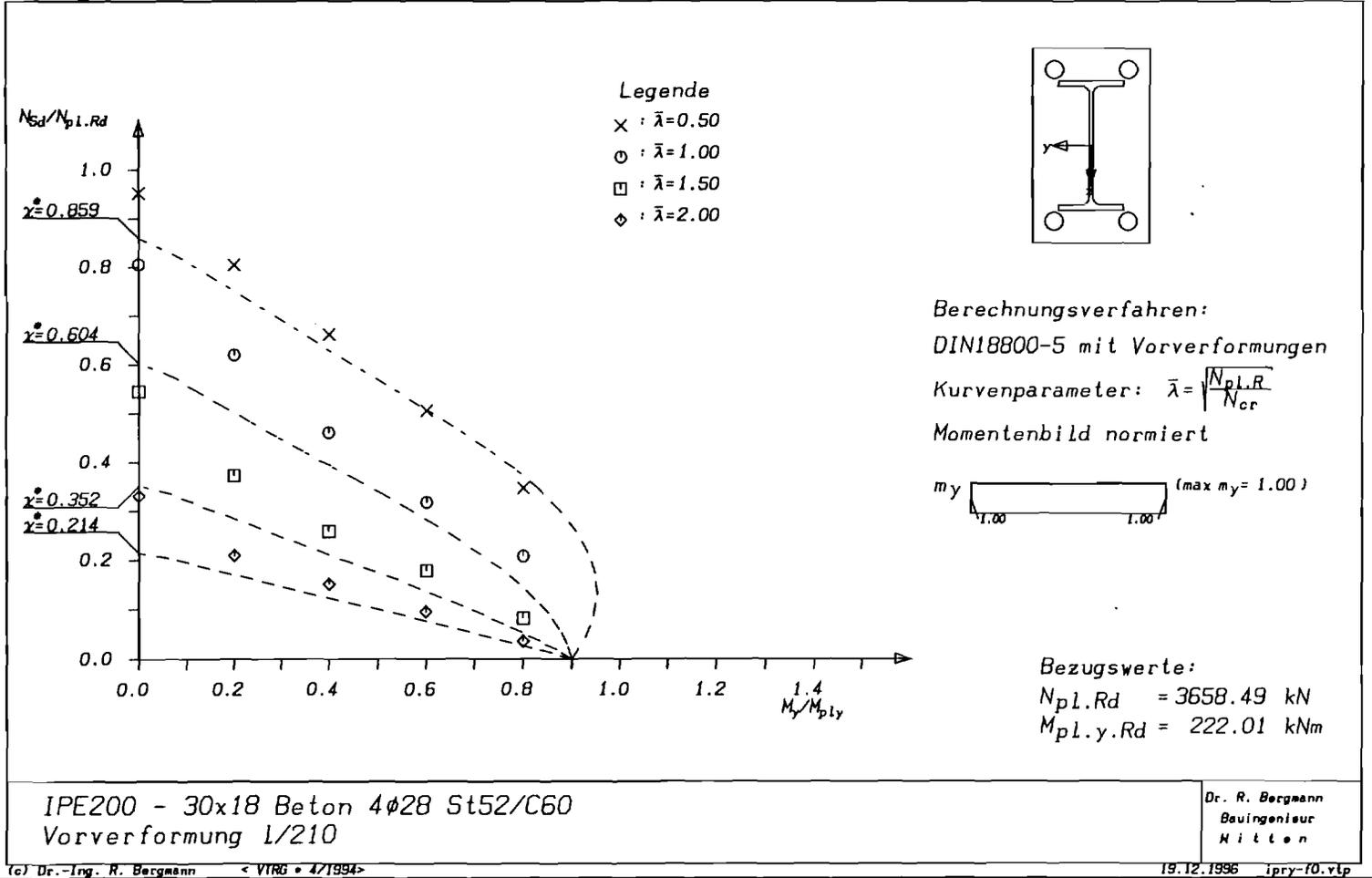
# Traglastkurven mit Vorverformungen



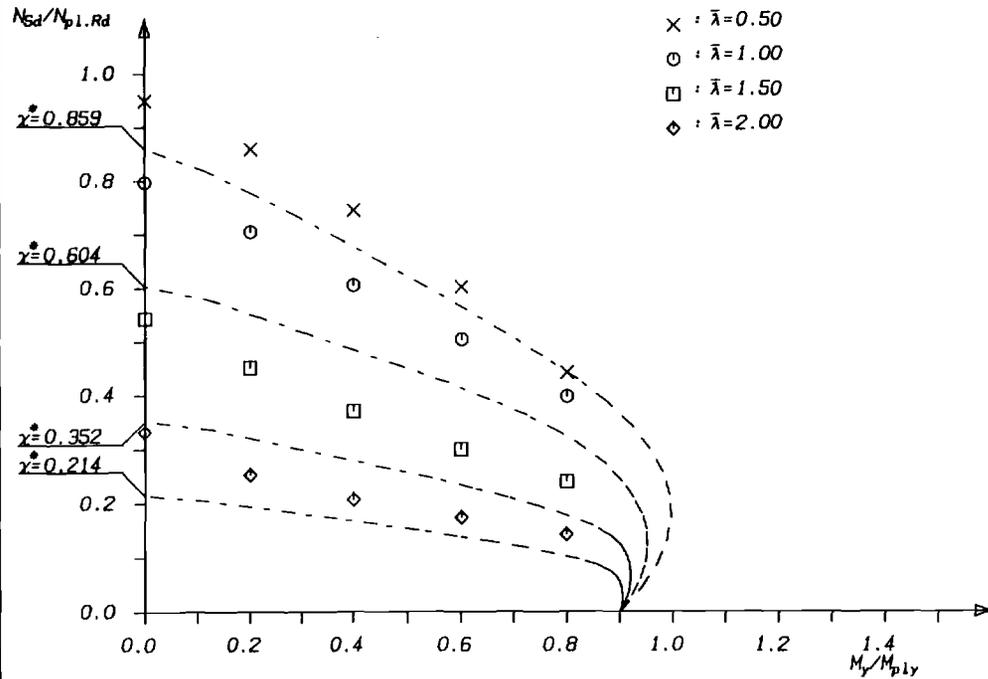
IPE200 - 30x18 Beton 4φ10 St52/C60  
 Vorverformung 1/210

Dr. R. Bergmann  
 Bauingenieur  
 Hiltl

Traglastkurven mit Vorverformungen

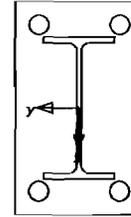


### Traglastkurven mit Vorverformungen



Legende

- x :  $\bar{\lambda}=0.50$
- o :  $\bar{\lambda}=1.00$
- :  $\bar{\lambda}=1.50$
- ◇ :  $\bar{\lambda}=2.00$



Berechnungsverfahren:  
DIN18800-5 mit Vorverformungen

Kurvenparameter:  $\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{N_{pl,R}}{N_{cr}}}$

Momentenbild normiert



Bezugswerte:

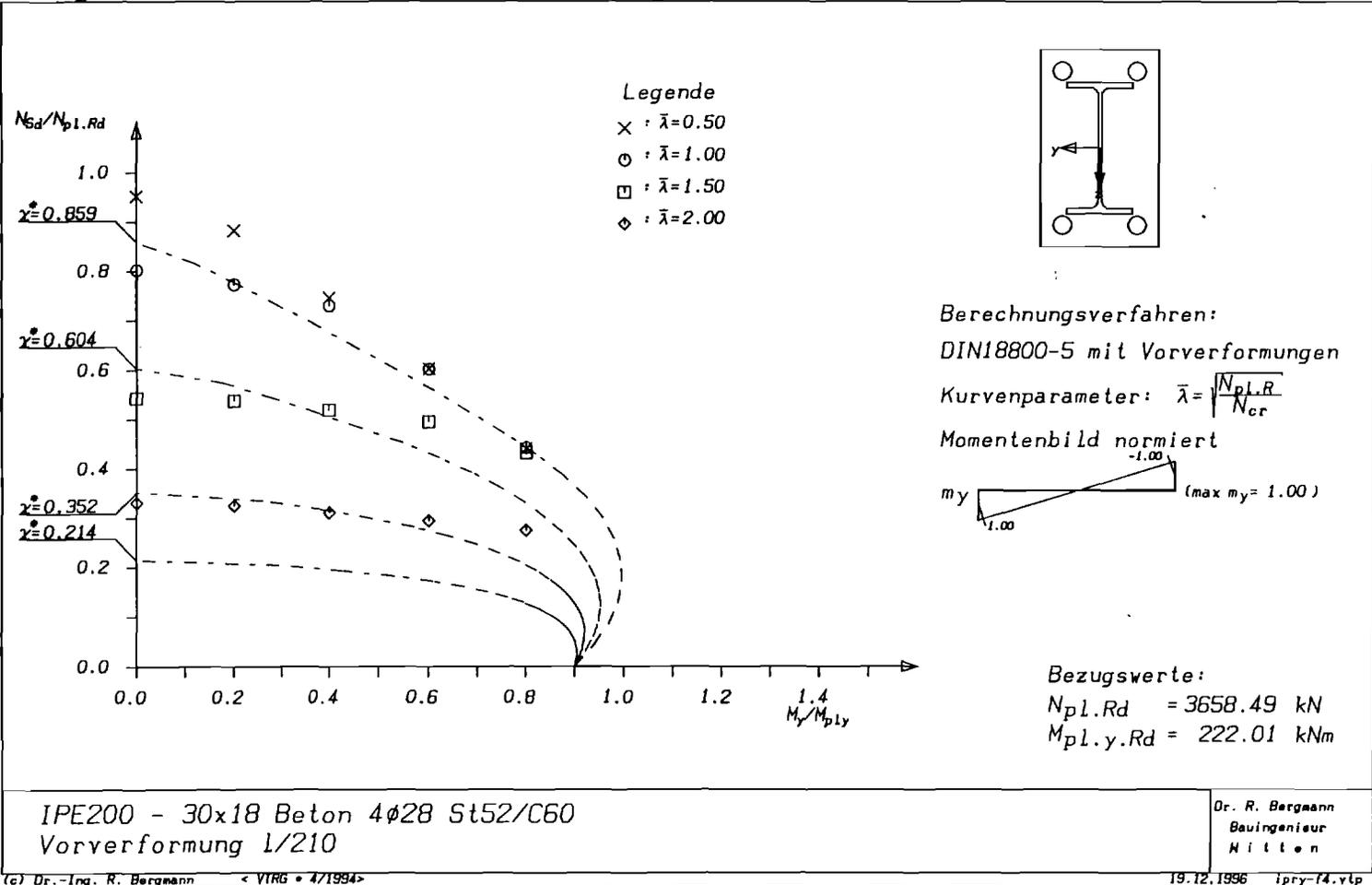
$N_{pl,Rd} = 3658.49 \text{ kN}$

$M_{pl,y,Rd} = 222.01 \text{ kNm}$

IPE200 - 30x18 Beton 4φ28 St52/C60  
Vorverformung 1/210

Dr. R. Bergmann  
Bauingenieur  
Hiltl

# Traglastkurven mit Vorverformungen

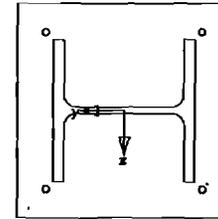
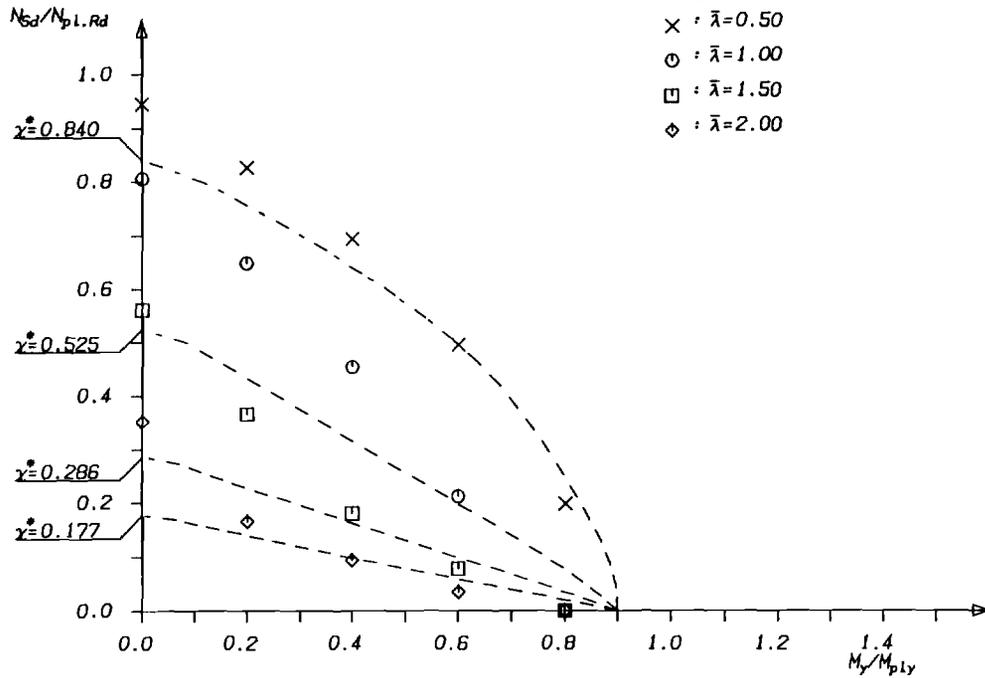


(c) Dr.-Ing. R. Bergmann

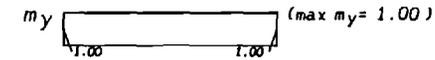
< VIRG • 4/1994 >

19.12.1996 ipry-14.vlp

Traglastkurven mit Vorverformungen



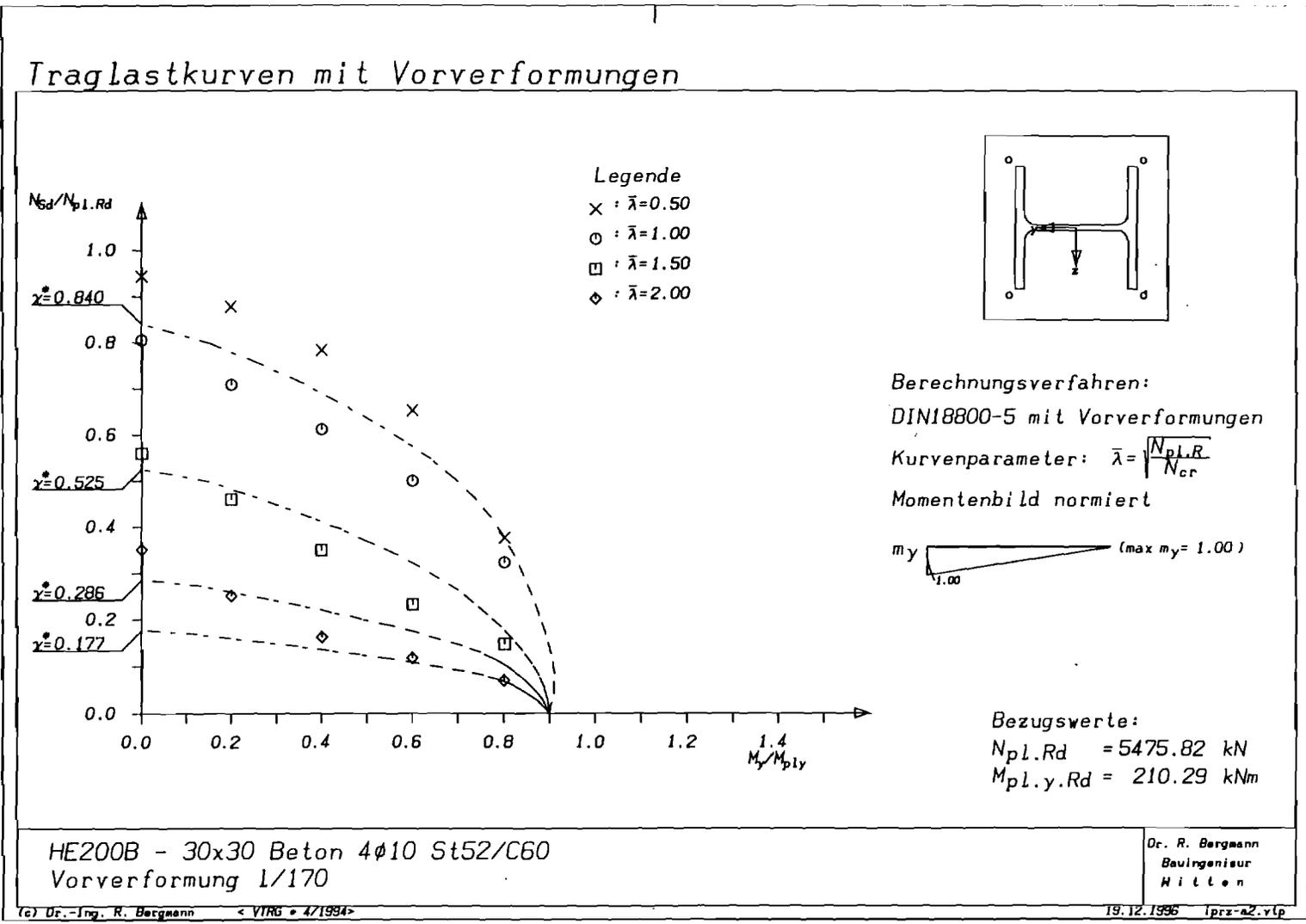
Berechnungsverfahren:  
 DIN18800-5 mit Vorverformungen  
 Kurvenparameter:  $\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{N_{pl.Rd}}{N_{cr}}}$   
 Momentenbild normiert



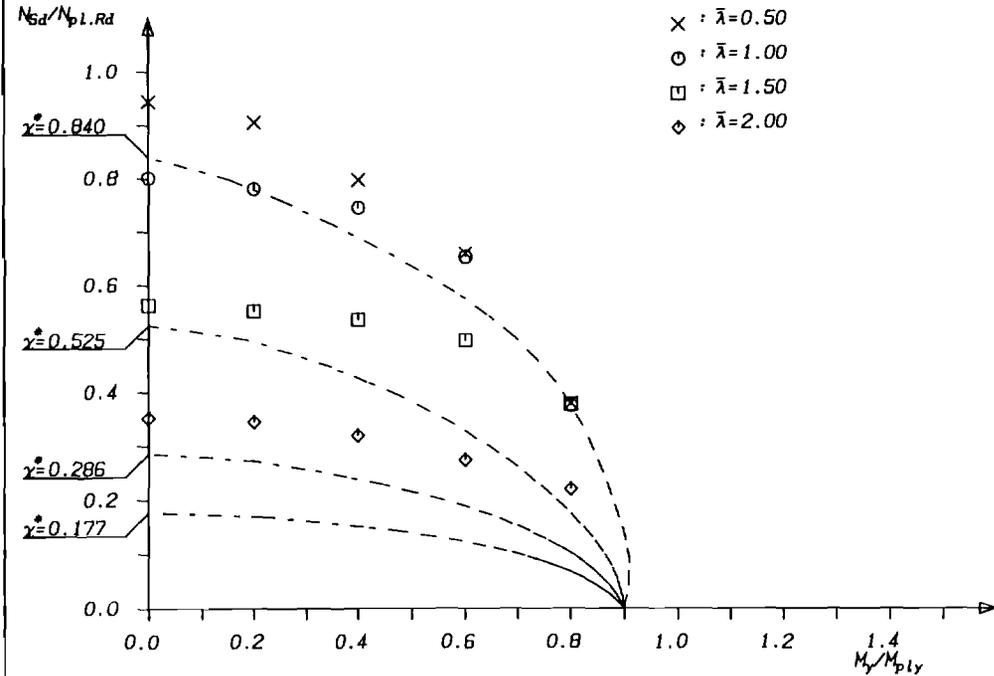
Bezugswerte:  
 $N_{pl.Rd} = 5475.82 \text{ kN}$   
 $M_{pl.y.Rd} = 210.29 \text{ kNm}$

HE200B - 30x30 Beton 4φ10 St52/C60  
 Vorverformung 1/170

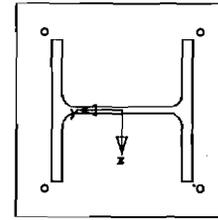
Dr. R. Bergmann  
 Bauingenieur  
 Hiltl



### Traglastkurven mit Vorverformungen



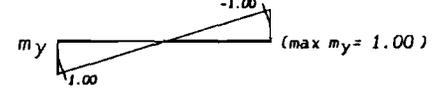
Legende  
 X :  $\bar{\lambda} = 0.50$   
 O :  $\bar{\lambda} = 1.00$   
 □ :  $\bar{\lambda} = 1.50$   
 ◇ :  $\bar{\lambda} = 2.00$



Berechnungsverfahren:  
 DIN18800-5 mit Vorverformungen

Kurvenparameter:  $\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{N_{pL,Rd}}{N_{cr}}}$

Momentenbild normiert

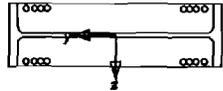
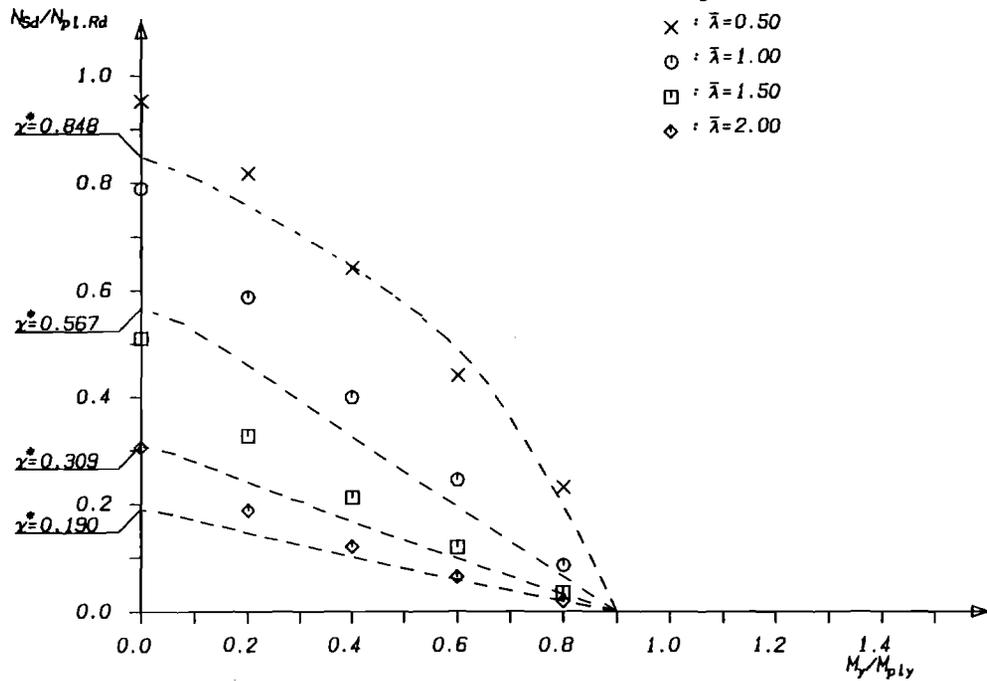


Bezugswerte:  
 $N_{pL,Rd} = 5475.82 \text{ kN}$   
 $M_{pL,y,Rd} = 210.29 \text{ kNm}$

HE200B - 30x30 Beton 4φ10 St52/C60  
 Vorverformung 1/170

Dr. R. Bergmann  
 Bauingenieur  
 Hiltl

# Traglastkurven mit Vorverformungen

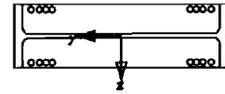
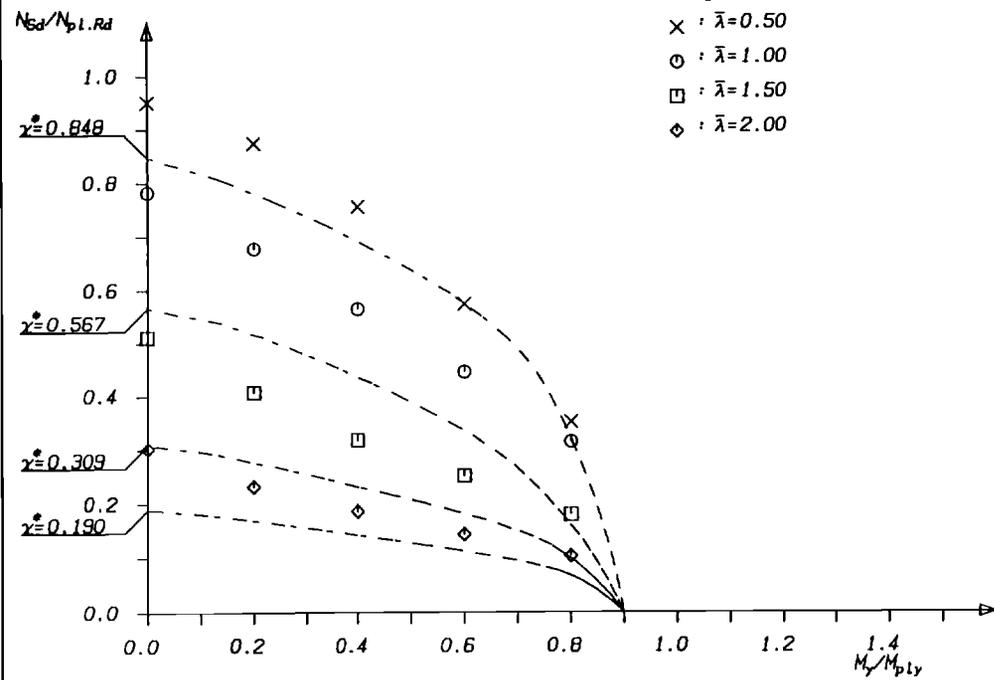


**Bezugswerte:**  
 $N_{pl.Rd} = 27326.01 \text{ kN}$   
 $M_{pl.y.Rd} = 1497.46 \text{ kNm}$

HE1000M Kammerbeton 16 $\phi$ 28 St52/C60  
 Vorverformung L/170

Dr. R. Bergmann  
 Bauingenieur  
 Mitteln

### Traglastkurven mit Vorverformungen



Berechnungsverfahren:  
DIN18800-5 mit Vorverformungen

Kurvenparameter:  $\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{N_{pL,R}}{N_{cr}}}$

Momentenbild normiert



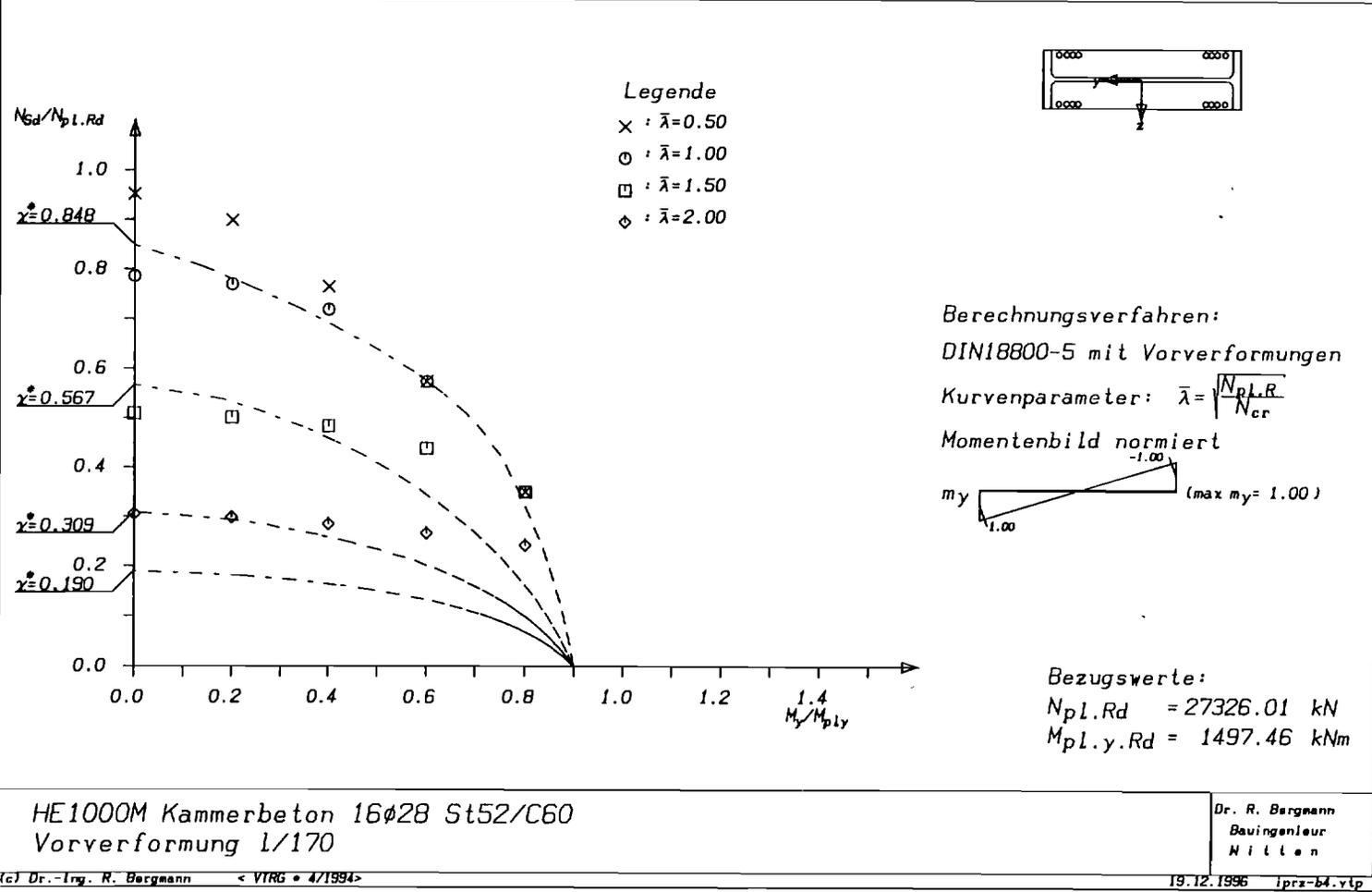
Bezugswerte:

$N_{pL,Rd} = 27326.01 \text{ kN}$   
 $M_{pL,y,Rd} = 1497.46 \text{ kNm}$

HE1000M Kammerbeton 16φ28 St52/C60  
Vorverformung 1/170

Dr. R. Bergmann  
Bauingenieur  
Hiltl

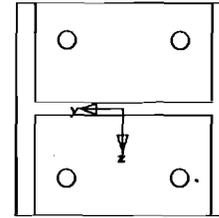
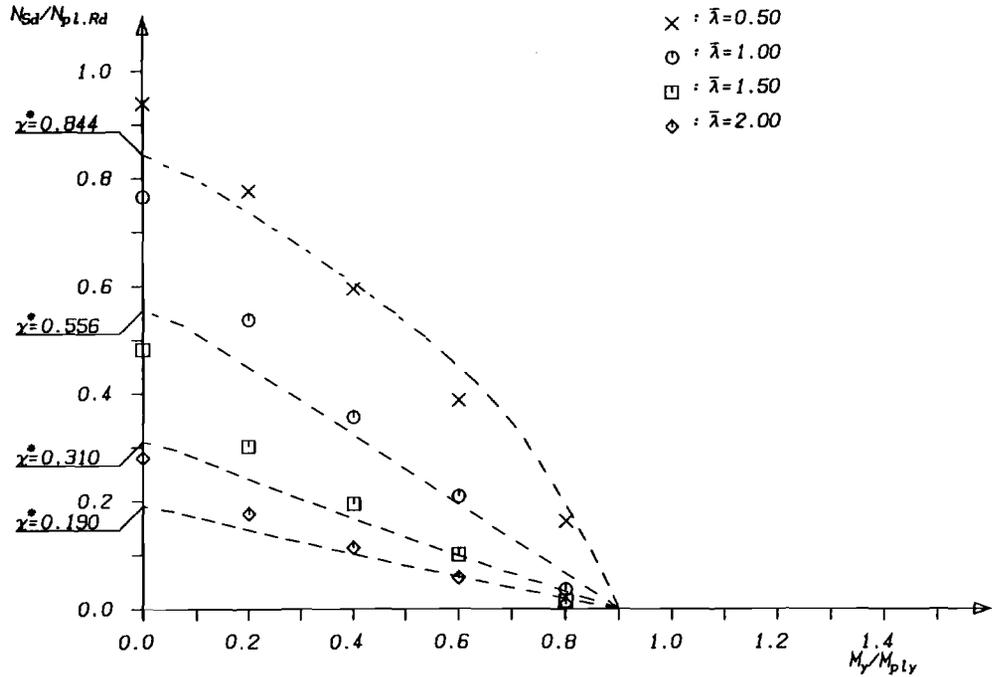
Traglastkurven mit Vorverformungen



(c) Dr.-Ing. R. Bergmann < VTRG • 4/1994 >

19.12.1996 iprz-b4.vtp

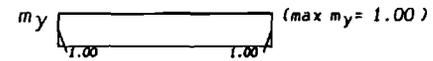
# Traglastkurven mit Vorverformungen



Berechnungsverfahren:  
DIN18800-5 mit Vorverformungen

Kurvenparameter:  $\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{N_{pl,Rd}}{N_{cr}}}$

Momentenbild normiert



Bezugswerte:

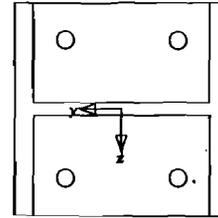
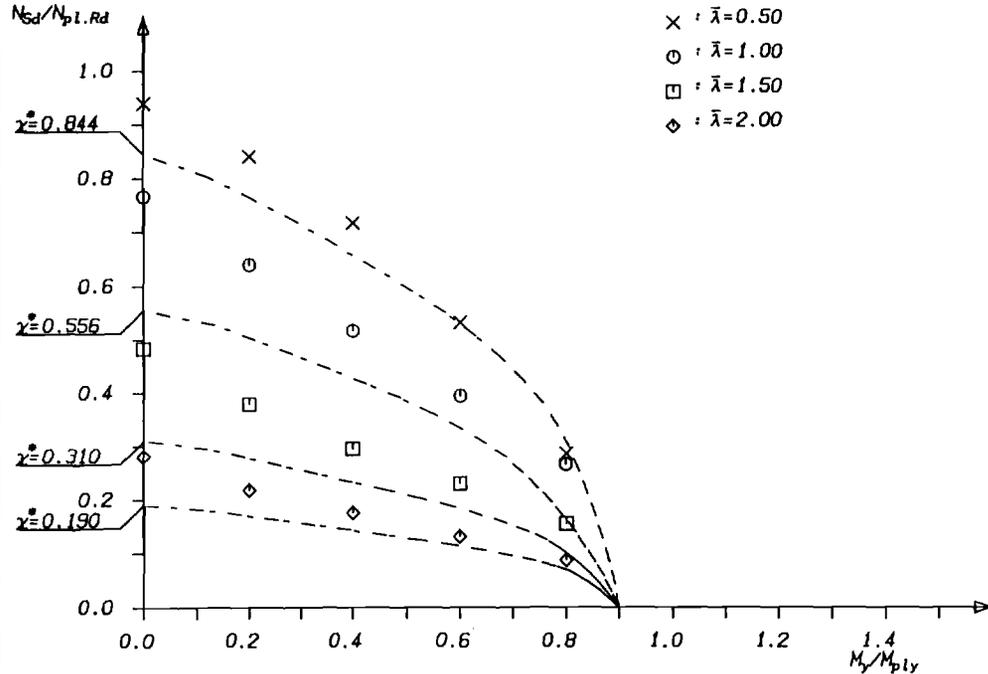
$N_{pl,Rd} = 12542.62 \text{ kN}$

$M_{pl,y,Rd} = 822.00 \text{ kNm}$

Schweißprofil Kammerbeton 4φ28 St52/C60  
Vorverformung L/170

Dr. R. Bergmann  
Bauingenieur  
Hiltl

## Traglastkurven mit Vorverformungen



Berechnungsverfahren:  
DIN18800-5 mit Vorverformungen

Kurvenparameter:  $\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{N_{pl,Rd}}{N_{cr}}}$

Momentenbild normiert



Bezugswerte:

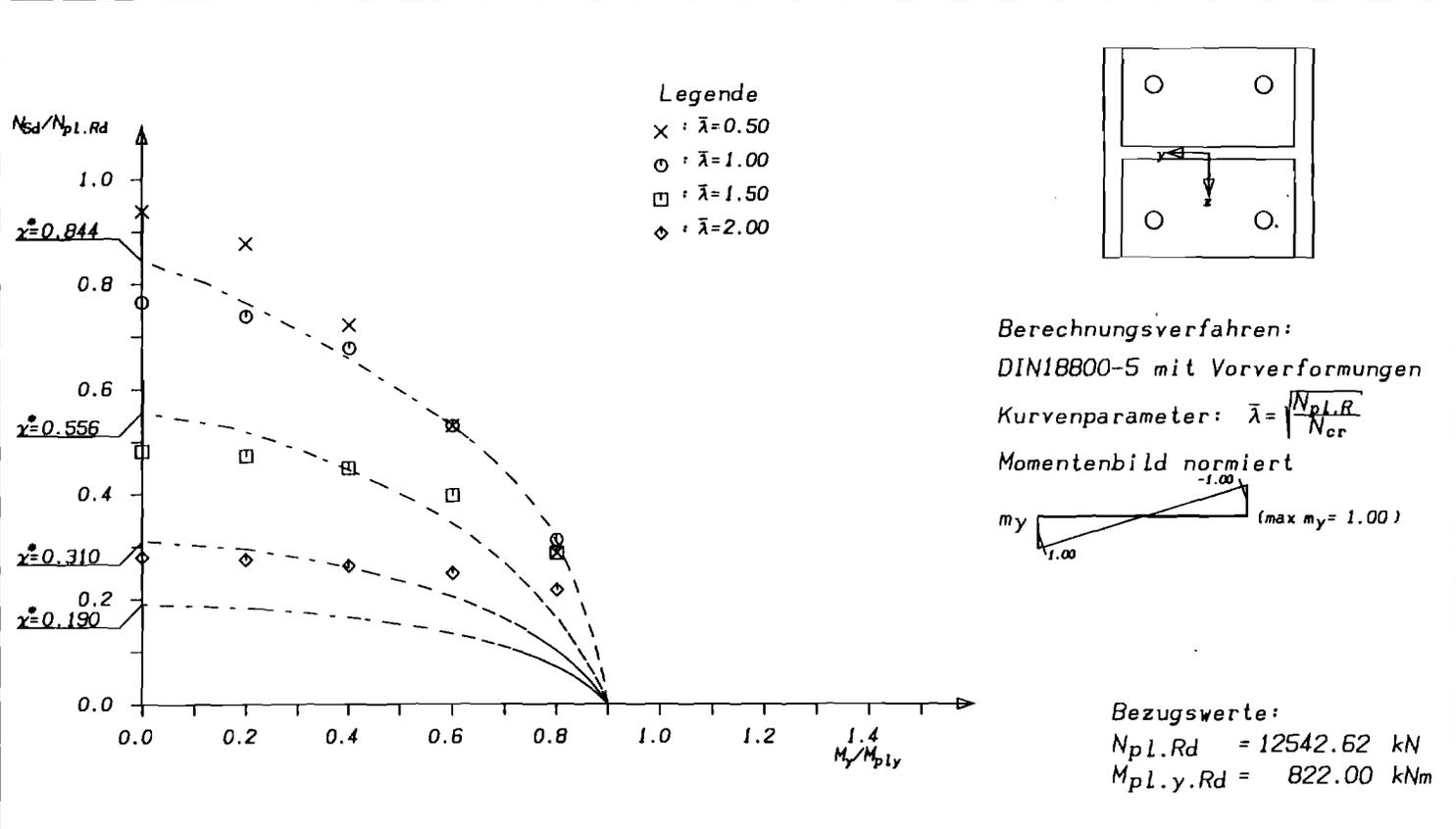
$N_{pl,Rd} = 12542.62 \text{ kN}$

$M_{pl,y,Rd} = 822.00 \text{ kNm}$

Schweißprofil Kammerbeton 4φ28 St52/C60  
Vorverformung 1/170

Dr. R. Bergmann  
Bauingenieur  
Mitten

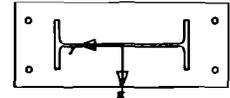
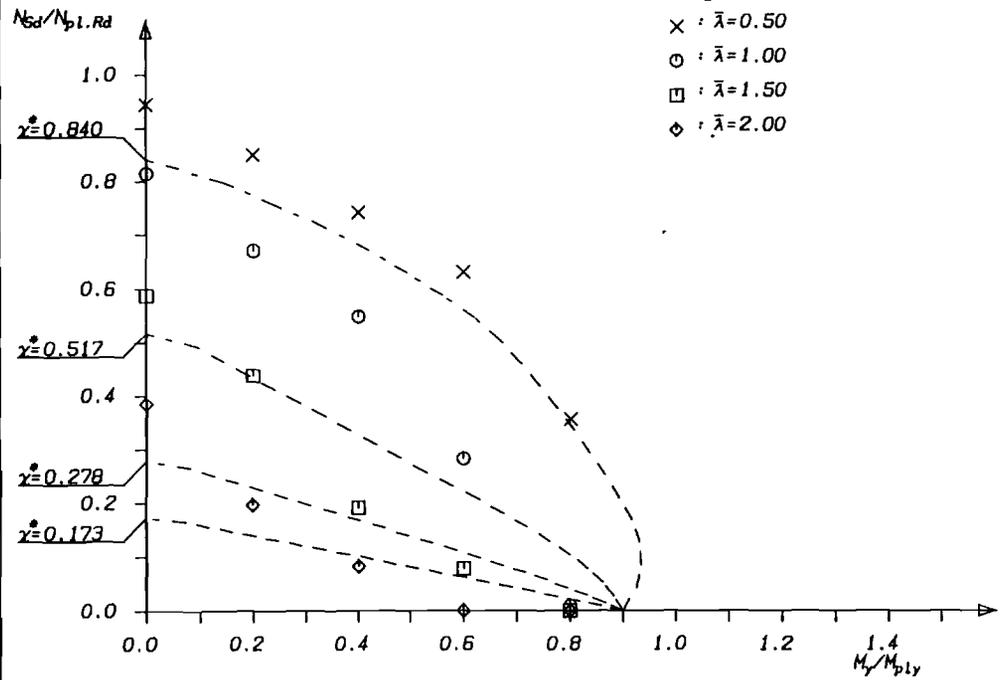
### Traglastkurven mit Vorverformungen



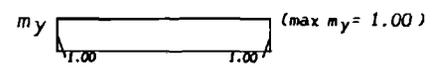
Schweißprofil Kammerbeton 4φ28 St52/C60  
Vorverformung 1/170

Dr. R. Bergmann  
Bauingenieur  
Hiltl

# Traglastkurven mit Vorverformungen



Berechnungsverfahren:  
 DIN18800-5 mit Vorverformungen  
 Kurvenparameter:  $\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{N_{pl.Rd}}{N_{cr}}}$   
 Momentenbild normiert

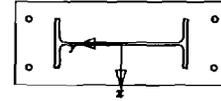
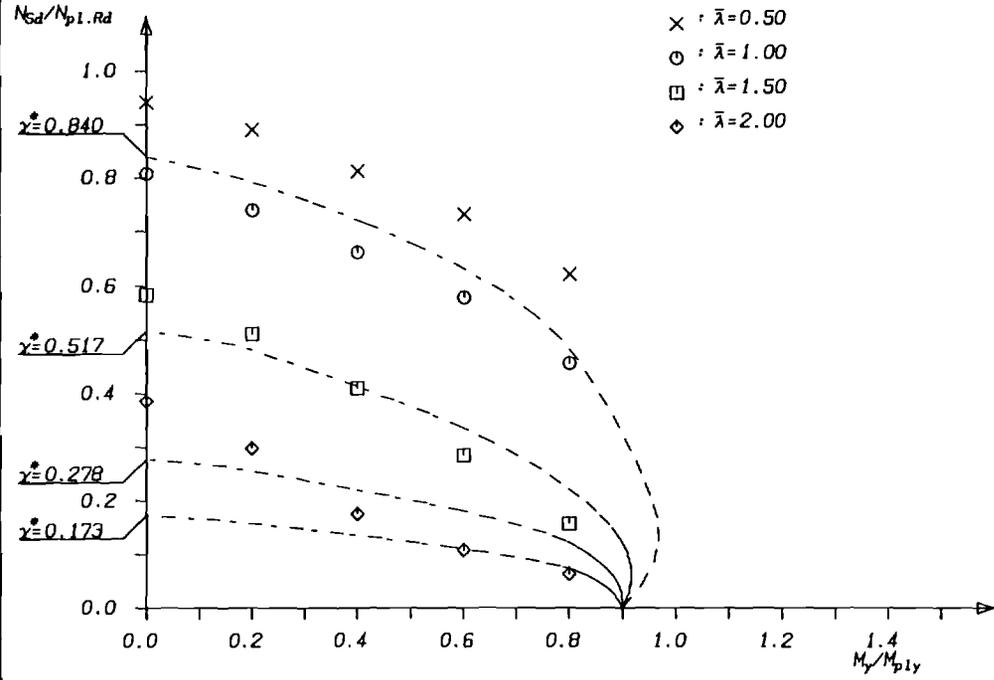


Bezugswerte:  
 $N_{pl.Rd} = 17964.93 \text{ kN}$   
 $M_{pl.y.Rd} = 726.60 \text{ kNm}$

IPE600 - 96x38 Beton 4φ28 St52/C60  
 Vorverformung 1/170

Dr. R. Bergmann  
 Bauingenieur  
 Hiltl

Traglastkurven mit Vorverformungen



Berechnungsverfahren:  
 DIN18800-5 mit Vorverformungen  
 Kurvenparameter:  $\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{N_{p1.Rd}}{N_{cr}}}$   
 Momentenbild normiert

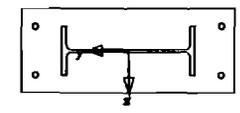
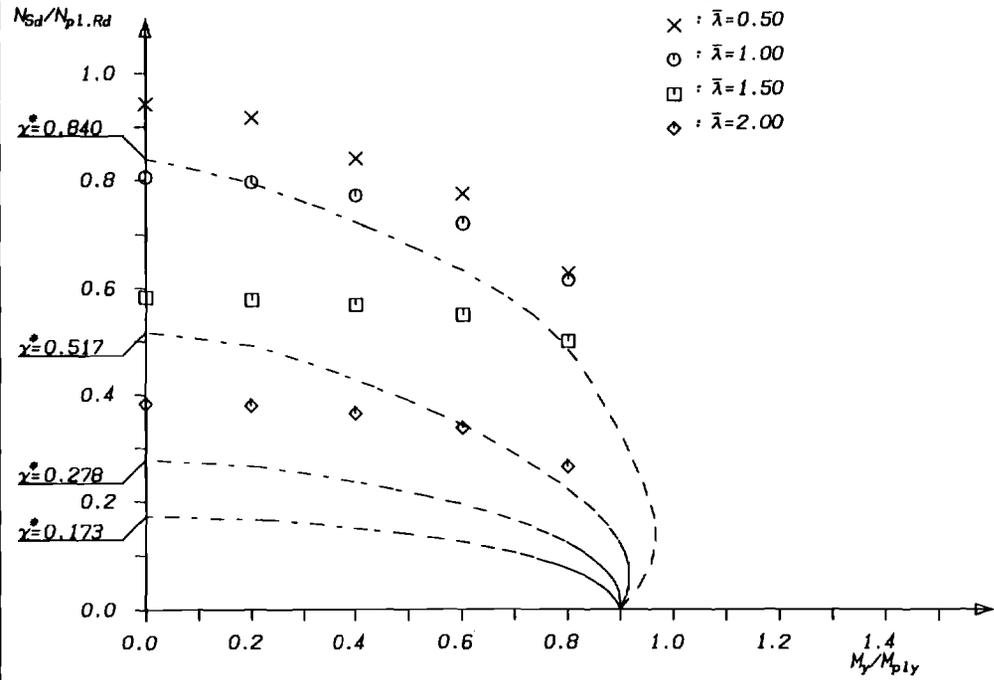


Bezugswerte:  
 $N_{p1.Rd} = 17964.93 \text{ kN}$   
 $M_{p1.y.Rd} = 726.60 \text{ kNm}$

IPE600 - 96x38 Beton 4φ28 St52/C60  
 Vorverformung 1/170

Dr. R. Bergmann  
 Bauingenieur  
 Hiltl

### Traglastkurven mit Vorverformungen



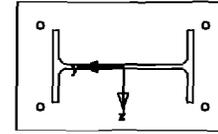
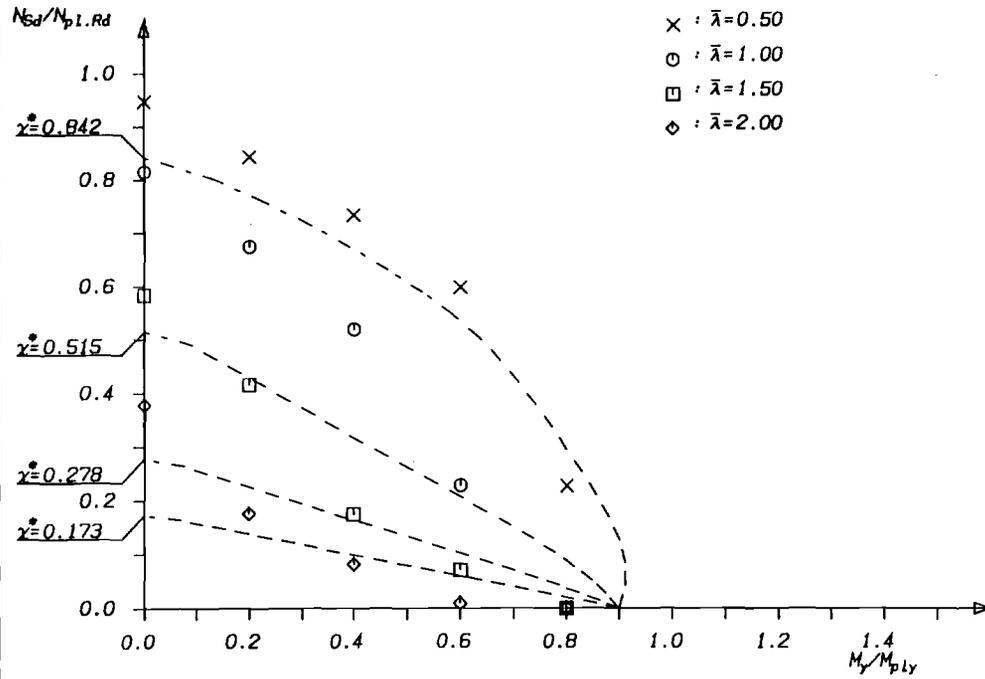
Berechnungsverfahren:  
 DIN18800-5 mit Vorverformungen  
 Kurvenparameter:  $\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{N_{pl,Rd}}{N_{cr}}}$   
 Momentenbild normiert  
  
 $my$  (max  $my = 1.00$ )

Bezugswerte:  
 $N_{pl,Rd} = 17964.93 \text{ kN}$   
 $M_{pl,y,Rd} = 726.60 \text{ kNm}$

IPE600 - 96x38 Beton 4 $\phi$ 28 St52/C60  
 Vorverformung 1/170

Dr. R. Bergmann  
 Bauingenieur  
 Mitteln

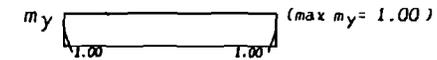
### Traglastkurven mit Vorverformungen



Berechnungsverfahren:  
DIN18800-5 mit Vorverformungen

Kurvenparameter:  $\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{N_{pl,R}}{N_{cr}}}$

Momentenbild normiert

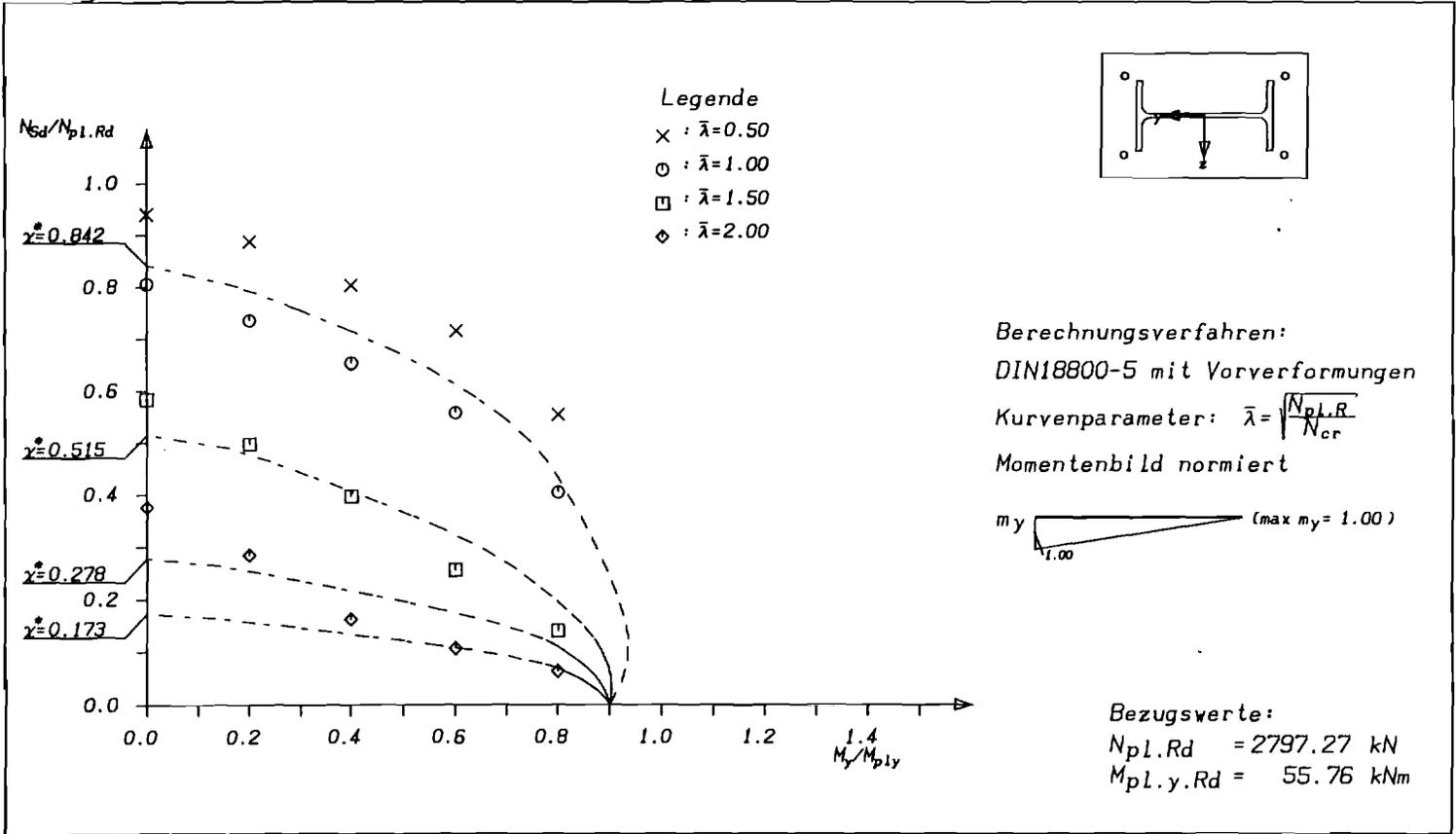


Bezugswerte:  
 $N_{pl,Rd} = 2797.27 \text{ kN}$   
 $M_{pl,y,Rd} = 55.76 \text{ kNm}$

IPE200 - 30x18 Beton 4φ10 St52/C60  
Vorverformung 1/170

Dr. R. Bergmann  
Bauingenieur  
Hiltl

### Traglastkurven mit Vorverformungen

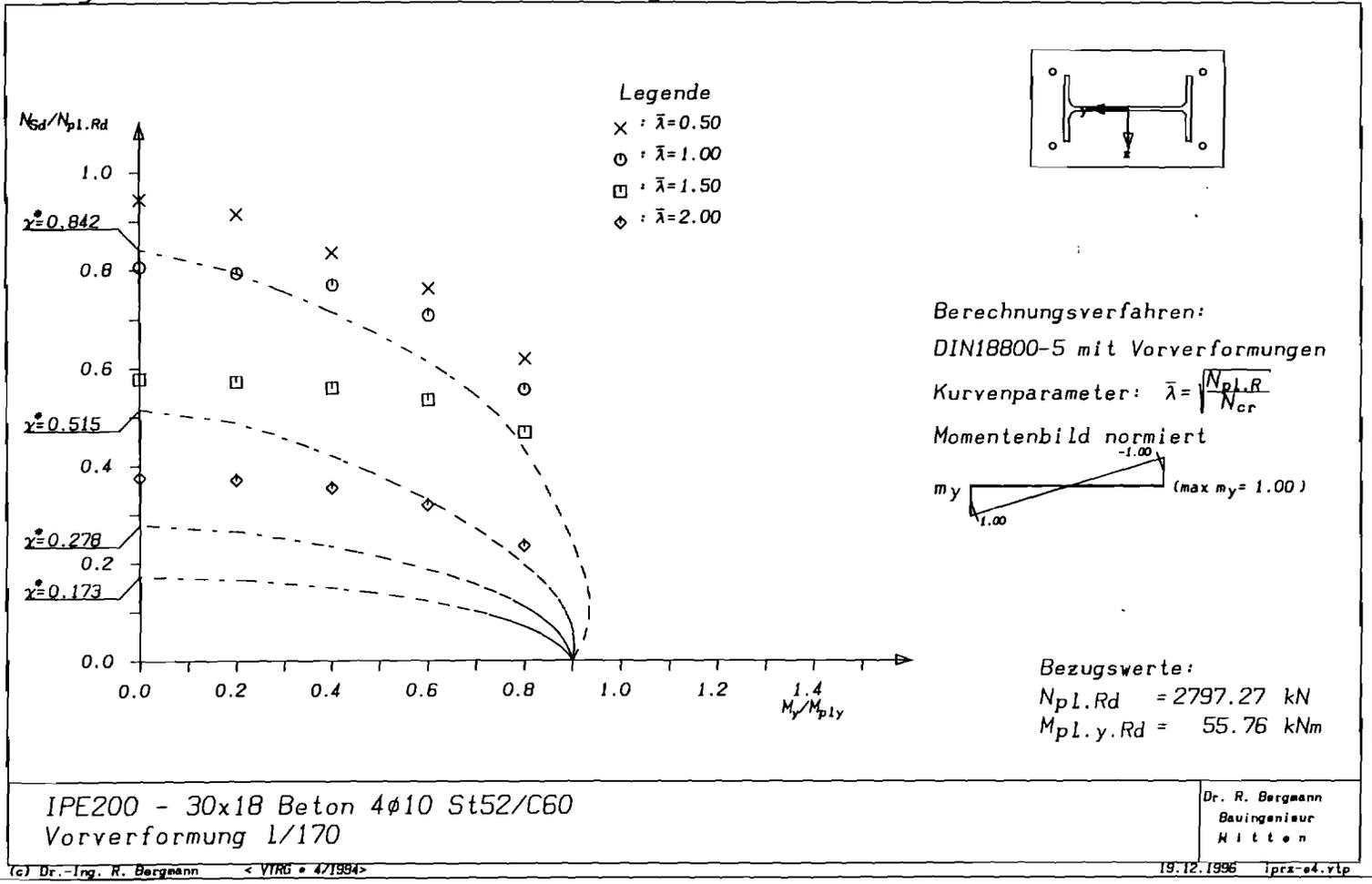


IPE200 - 30x18 Beton 4φ10 St52/C60  
 Vorverformung 1/170

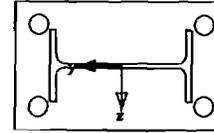
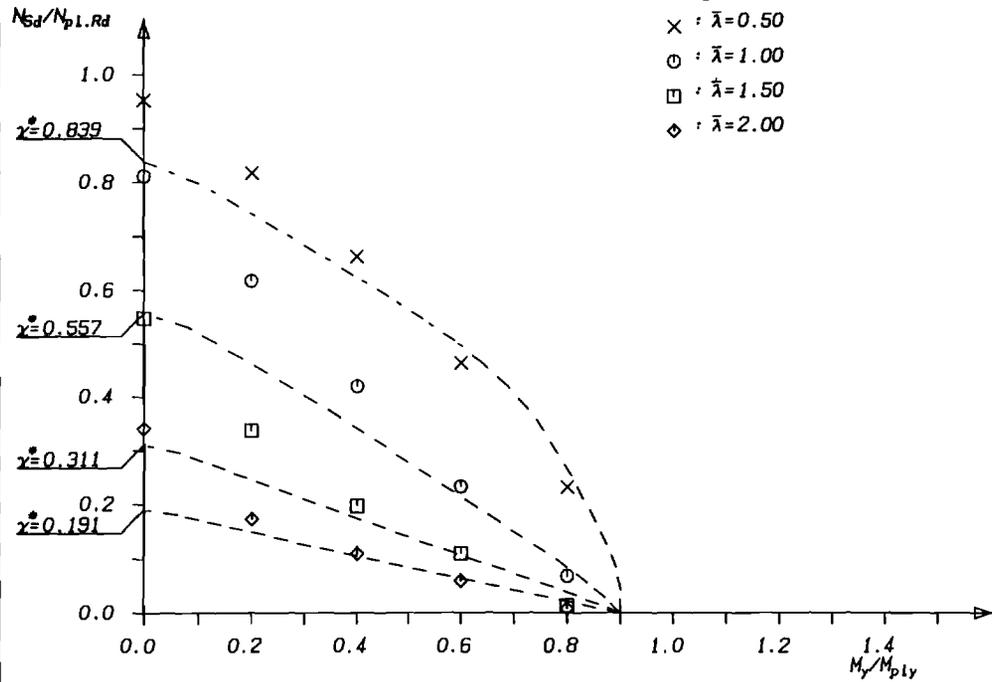
Dr. R. Bergmann  
 Bauingenieur  
 Hiltl

(c) Dr.-Ing. R. Bergmann < VTR6 = 4/1994 > 19.12.1996 iprz-e2.vlp

### Traglastkurven mit Vorverformungen



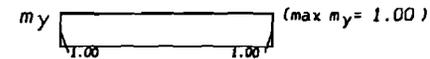
### Traglastkurven mit Vorverformungen



Berechnungsverfahren:  
DIN18800-5 mit Vorverformungen

Kurvenparameter:  $\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{N_{pl,Rd}}{N_{cr}}}$

Momentenbild normiert



Bezugswerte:

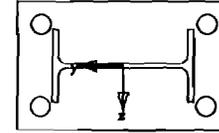
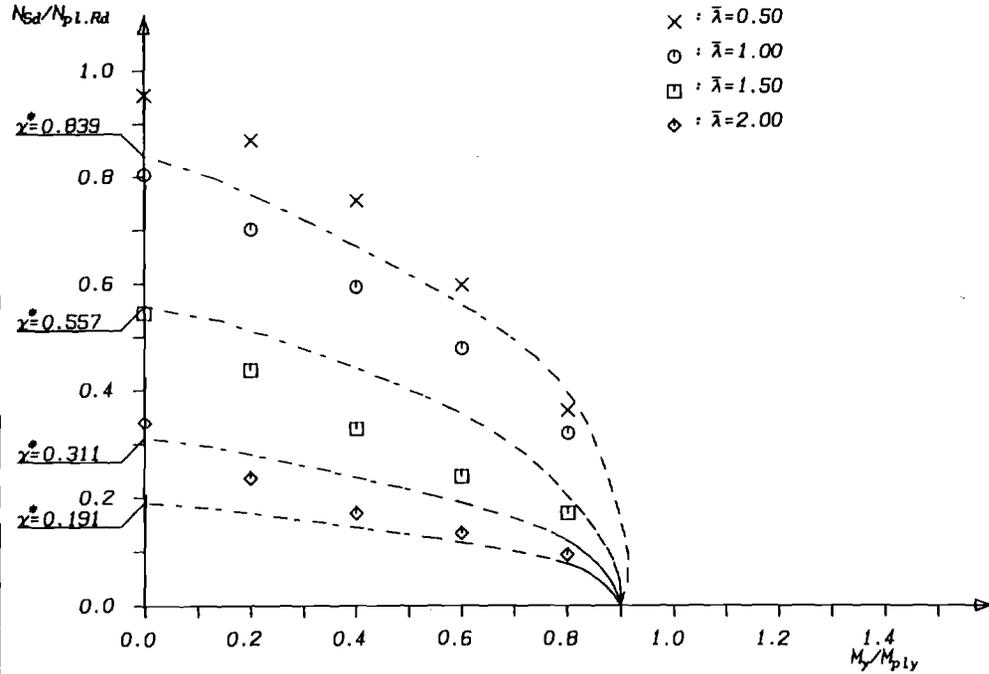
$N_{pl,Rd} = 3658.49 \text{ kN}$

$M_{pl,y,Rd} = 107.79 \text{ kNm}$

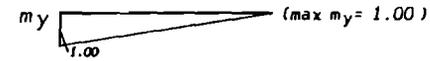
IPE200 - 30x18 Beton 4 $\phi$ 28 St52/C60  
Vorverformung 1/170

Dr. R. Bergmann  
Bauingenieur  
Hiltl

### Traglastkurven mit Vorverformungen



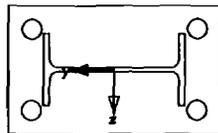
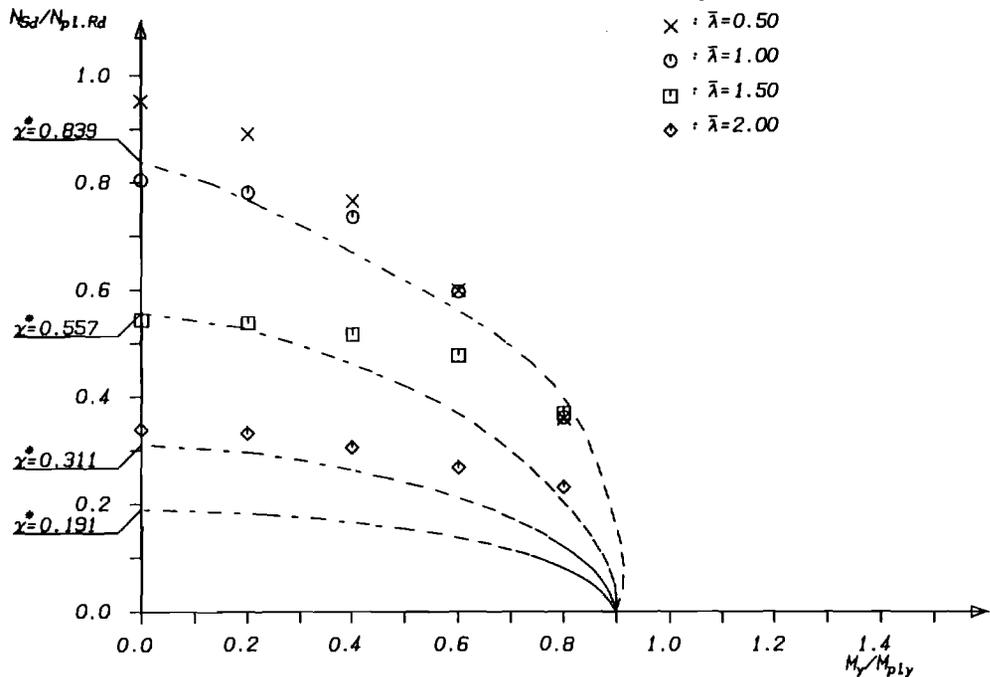
Berechnungsverfahren:  
 DIN18800-5 mit Vorverformungen  
 Kurvenparameter:  $\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{N_{pL.Rd}}{N_{cr}}}$   
 Momentenbild normiert



IPE200 - 30x18 Beton 4φ28 St52/C60  
 Vorverformung 1/170

Dr. R. Bergmann  
 Bauingenieur  
 Hiltl

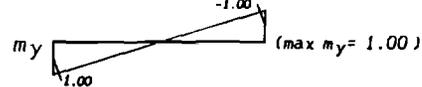
### Traglastkurven mit Vorverformungen



Berechnungsverfahren:  
DIN18800-5 mit Vorverformungen

Kurvenparameter:  $\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{N_{pl.Rd}}{N_{cr}}}$

Momentenbild normiert



Bezugswerte:

$N_{pl.Rd} = 3658.49 \text{ kN}$

$M_{pl.y.Rd} = 107.79 \text{ kNm}$

IPE200 - 30x18 Beton 4φ28 St52/C60  
Vorverformung 1/170

Dr. R. Bergmann  
Bauingenieur  
Hiltl