

Geometrische Ersatzimperfectionen für
Verbundstützen, die in Knick-
spannungskurven eingespannt sind, zur
Bearbeitung der DIN 18800 Teil 5

T 2755

T 2755

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

www.baufachinformation.de

Schlußbericht
zum Forschungsprogramm

**Geometrische Ersatzimperfectionen für Verbundstützen,
die in Knickspannungskurve a eingestuft sind**

zur Bearbeitung der DIN 18800 Teil 5

im Auftrag des
IfBt-Berlin

Zusammenfassung

Die Bemessung von Verbundstützen soll mit repräsentativen Vorverformungen erfolgen. Das Vorhaben dient der Ermittlung dieser Vorverformung für Querschnitte, die in Knickspannungskurve "a" eingeordnet werden. Aus der Rückrechnung aus der Knickspannungskurve "a" und Interaktionskurven für typische Querschnitte wird ein Wert bestimmt. Dieser wird durch Vergleich mit genauen Berechnungsergebnissen auch für Druck und Biegung bestätigt.

Summary

The design of composite columns shall be carried out by use of initial deflections. The research deals with the determination of this deflection for cross-sections related to buckling curve "a". By use of the buckling curve "a" and interaction curves for typical sections a specific value is found. This value can be confirmed also for compression and bending by comparison with exact calculations.

Résumé

Le dimensionnement des poteaux mixtes serait réalisé par des flèches initiales représentatives. La recherche sert à déterminer cette flèche initiale pour les sections, classées dans la courbe de flambement "a". A l'aide de la courbe de flambement "a" et les courbes d'interaction pour des sections typiques une valeur spécifique est déterminée. Cette valeur est confirmée par des calculs exactes pour compression et flexion.

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung
2. Rückrechnung der Vorverformungen
3. Vergleich der Ergebnisse für zentrische Beanspruchung
4. Vergleich der Ergebnisse für Beanspruchung aus Druck und Biegung
5. Zusammenfassung
6. Literatur

Anhang 1:

Ermittlung der Vorverformungen aus den Knickspannungskurven

Anhang 2:

Vergleich der Traglasten für zentrische Belastung aus Knickspannungskurven und Vorverformungen

Anhang 3:

Vergleich der Traglasten für Druck und Biegung aus genauer Rechnung und Vorverformungen

- a) gleiche Randmomente
- b) einseitiges Randmoment
- c) gegengleiche Randmomente

Geometrische Ersatzimperfektionen für Verbundstützen, die in Knickspannungskurve a eingeordnet sind

1. Einleitung

das Bemessungsverfahren der DIN 18806, bei der die Imperfektionen der schlanken Verbundstützen über die graphische Auswertung der Querschnittsinteraktionskurve berücksichtigt werden, soll für die Neubearbeitung der DIN 18800 Teil 5 überarbeitet werden.

Das Bemessungsverfahren für Verbundstützen soll weitgehend an die Bemessungsmethode für reine Stahlstützen der DIN 18800 Teil 2 angeglichen werden, so daß ein einheitliches Nachweisformat verwendet werden kann. Dazu ist es zum einen erforderlich, die geometrischen Ersatzimperfektionen für Verbundstützen zu ermitteln. Zum anderen ist zu klären, inwiefern der Abminderungsfaktor '0,9' beim Nachweis für Druck und einachsige Biegung ausreicht, um zu einer sicheren Bemessung zu kommen.

2. Rückrechnung der Ververformungen

Die Rückrechnung der Ververformungen aus den Knickspannungskurven und den Querschnittsinteraktionskurven erfolgt nach Spannungstheorie 2. Ordnung. Dabei wird zunächst ein Schlankheitswert $\bar{\lambda}$ der Knickspannungskurve a gewählt und der zugehörige Abminderungsfaktor χ abgelesen. Aus der Schlankheit $\bar{\lambda}$ läßt sich die Stützenlänge bestimmen mit:

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{N_{pl,Rk}}{N_{ki,k}}} \quad (1)$$

dabei gilt:

$$N_{ki,k} = \frac{(EI)_k \cdot \pi^2}{\ell^2} \quad (2)$$

und

$$(EI)_k = E_a I_a + 0,6 E_{c,m} I_c + E_s I_s \quad (3)$$

Als Länge folgt:

$$\ell = \pi \cdot \bar{\lambda} \sqrt{\frac{(EI)_k}{N_{pl,Rk}}} \quad (4)$$

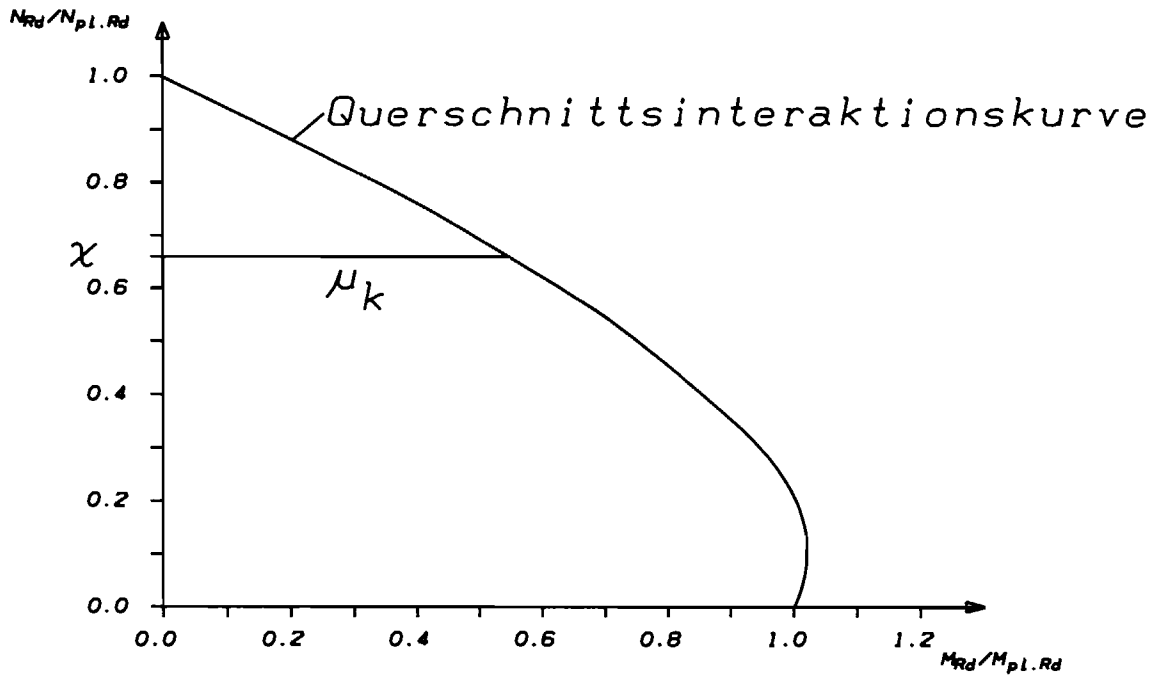


Bild 1: Abgreifen des Imperfektionsmomentes aus der Querschnittsinteraktionskurve

Aus der Interaktionskurve für den untersuchten Querschnitt wird bei dem Wert $\chi = N_{Sd}/N_{pl,Rd}$ der Wert μ_k abgelesen, der das bezogene Imperfektionsmoment darstellt (Bild1). Die Imperfektion folgt aus dem Vergleich des Momentes nach Elastizitätstheorie 2. Ordnung mit Vorverformung und diesem Imperfektionsmoment. Der Stich der Vorverformung folgt dann aus:

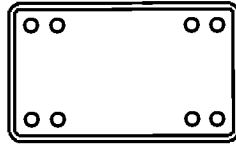
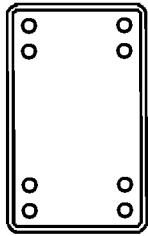
$$v_0 = \frac{0,9 \mu_k M_{pl,Rd} \ell^2}{8 (EI)_d \left[\frac{1}{\cos \frac{\varepsilon}{2}} - 1 \right]} \quad (5)$$

dabei gilt:

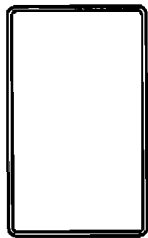
$$(EI)_d = \frac{(E_a I_a)}{1,1} + \frac{0,6 E_{c,m} I_c}{1,35} + \frac{E_s I_s}{1,1} \quad (6)$$

Für die Untersuchungen wurden repräsentative Querschnitte ausgewählt, die die Bandbreite der Kennwerte für Verbundstützen möglichst weit abdecken, ohne zu unrealistischen Querschnitten zu führen. Diese Parameter sind der Querschnittsparameter δ , der Bewehrungsgrad ϱ sowie das Wandstärkenverhältnis d/t .

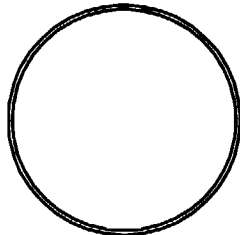
$$\delta = \frac{N_{pl,a,Rd}}{N_{pl,Rd}} \quad \text{und} \quad \varrho = \frac{A_s}{A_c + A_s} \quad (7)$$



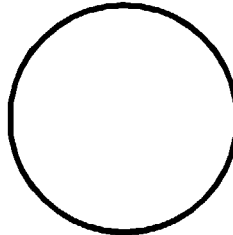
Rechteck 500x300x12.5 8 ϕ 28



Rechteck 500x300x10.0



800x15



900x10

Rundrohre

800x25 28 ϕ 28

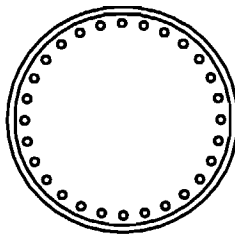


Bild 2: Übersicht über die gewählten Querschnitte

Die Berechnungen zur Ermittlung der Vorverformungen wurden mit sechs Materialkombinationen durchgeführt (Tabelle 1).

Stahl		Beton	
Güte	Steckgrenze $f_{y,k}$	Festigkeitsklasse	Zylinderfestigkeit $f_{c,k}$
St37	240 N/mm ²	C20	20 N/mm ²
St37	240 N/mm ²	C40	40 N/mm ²
St37	240 N/mm ²	C60	60 N/mm ²
St52	360 N/mm ²	C20	20 N/mm ²
St52	360 N/mm ²	C40	40 N/mm ²
St52	360 N/mm ²	C60	60 N/mm ²

Tabelle 1: Materialkombinationen für die Berechnungen

Für die Bewehrung wurde BSt500S mit einer Streckgrenze von $f_{s,k} = 500$ N/mm² angesetzt.

Die mit diesen Grundlagen ermittelten schlankheitsabhängigen Ergebnisse sind im Anhang A aufgeführt. Als repräsentative Vorverformung für Verbundstützenquerschnitte, die in Knickspannungskurve a eingeordnet sind, wird der Wert

$$f_0 = \frac{\ell}{300}$$

vorgeschlagen.

3. Vergleich der Ergebnisse für zentrische Beanspruchung

Für planmäßig zentrische Beanspruchung ist der Vergleich der Ergebnisse der Traglastberechnung nach Theorie 2. Ordnung mit Vorverformung mit den Ergebnissen nach der Knickspannungskurve a im Anhang B angegeben. Werte, die über "1" liegen, liegen in Bezug auf die Knickspannungskurven auf der sicheren Seite.

Es fällt auf, daß der bei der Berechnung der reinen Vorverformungen (Anhang A) erkennbare teilweise große Unterschied der Ergebnisse sich bei den Traglasten nicht so stark zeigt. Die Vergleich der Berechnungen für die zentrische Beanspruchung zeigt bereits eine gute Übereinstimmung. Insbesondere im Bereich der häufig auftretenden geringeren Schlankheiten von $\lambda < 1,0$ zeigen sich i. allg. nur auf der sicheren Seite liegende Werte.

4. Vergleich der Ergebnisse für Beanspruchung aus Druck und Biegung

Für den Vergleich der Ergebnisse bei zusätzlicher Momentenbeanspruchung der Stützen wurde die "genaue" Berechnungsmethode herangezogen. Das Verfahren der DIN18806, bzw. des Eurocodes 4 ist bereits ein kalibriertes Näherungsverfahren mit teilweise großen Sicherheiten, so daß es zur Beurteilung der Qualität des Berechnungsverfahrens mit Vorverformungen nicht herangezogen werden konnte.

Die genaue Methode ist in /1/ ausführlich beschrieben. Es werden dabei Werkstoffgesetze entsprechend Bild 3 angesetzt. Für den Vergleich auf der Basis der "design"-Werte wurden die Materialfestigkeiten auch bei der genauen Berechnung mit den entsprechenden Materialsicherheitsfaktoren reduziert.

Die genaue Berechnung wurde wegen der Vielfalt der Ergebnisse und des hohen Rechenaufwandes auf die Festigkeitskombination St52/C40 beschränkt. Weiterhin wurden die Berechnungen für 4 Schlankheiten ($\lambda = 0,5 / 1,0 / 1,5 / 2,0$) durchgeführt.

Die Ergebnisse der Berechnungen mit Vorverformungen sind im Anhang 3 als gestrichelte Linie dargestellt, während die Ergebnisse der genauen Rechnung jeweils für feste Momentenverhältnisse ($M/M_{pl} = 0,0 / 0,2 / 0,4 / 0,6 / 0,8$) mit Einzelpunkten markiert sind.

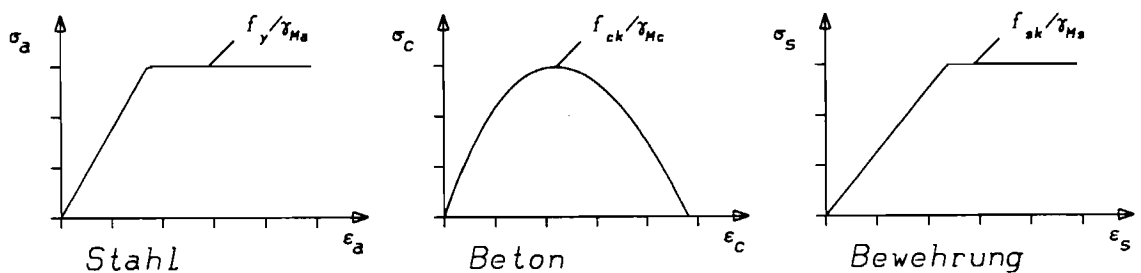


Bild 3: Verwendete Werkstoffgesetze für die drei Materialien

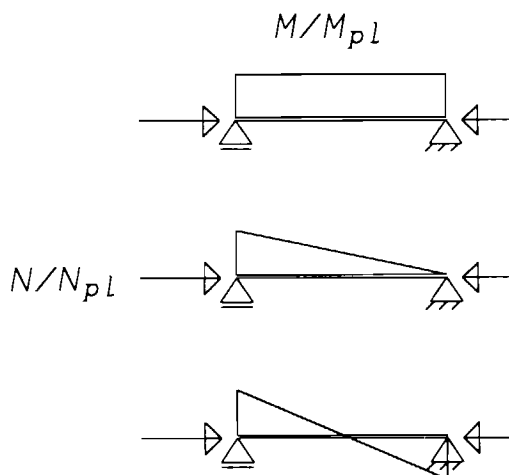


Bild 5: Momentenbilder der Vergleichsberechnungen

5. Zusammenfassung

Die Vergleichsberechnungen haben gezeigt, daß sich für Verbundstützen repräsentative Vorverformungen entwickeln lassen. Dieses hat zum Vorteil, daß alle Berechnungen auf der Basis der Spannungstheorie 2. Ordnung durchgeführt werden können. Insbesondere Rahmenberechnungen werden dadurch erheblich vereinfacht, da nun Lösungen in einem Schritt - ohne nachgeschaltetes Ersatzstabverfahren - möglich sind.

Für Querschnitte, die der Knickspannungskurve a zugeordnet werden, sind die Schnittgrößen nach Spannungstheorie 2. Ordnung mit Steifigkeiten nach Gleichung (3) zu berechnen. Dabei ist eine parabelförmige Vorverformung der Stütze mit einem Stich von

$$f_0 = \frac{\ell}{300}$$

anzusetzen.

Der Nachweis der Querschnittstragfähigkeit geschieht gegen die um den Faktor 0,9 reduzierte Querschnittsinteraktionskurve des betreffenden Querschnittes. Dieser Faktor sowie die Steifigkeitsannahme nach Gleichung (3) reichen aus, um die Einflüsse der Steifigkeitsabnahme bei der Beanspruchung durch Druck und Biegung abzudecken.

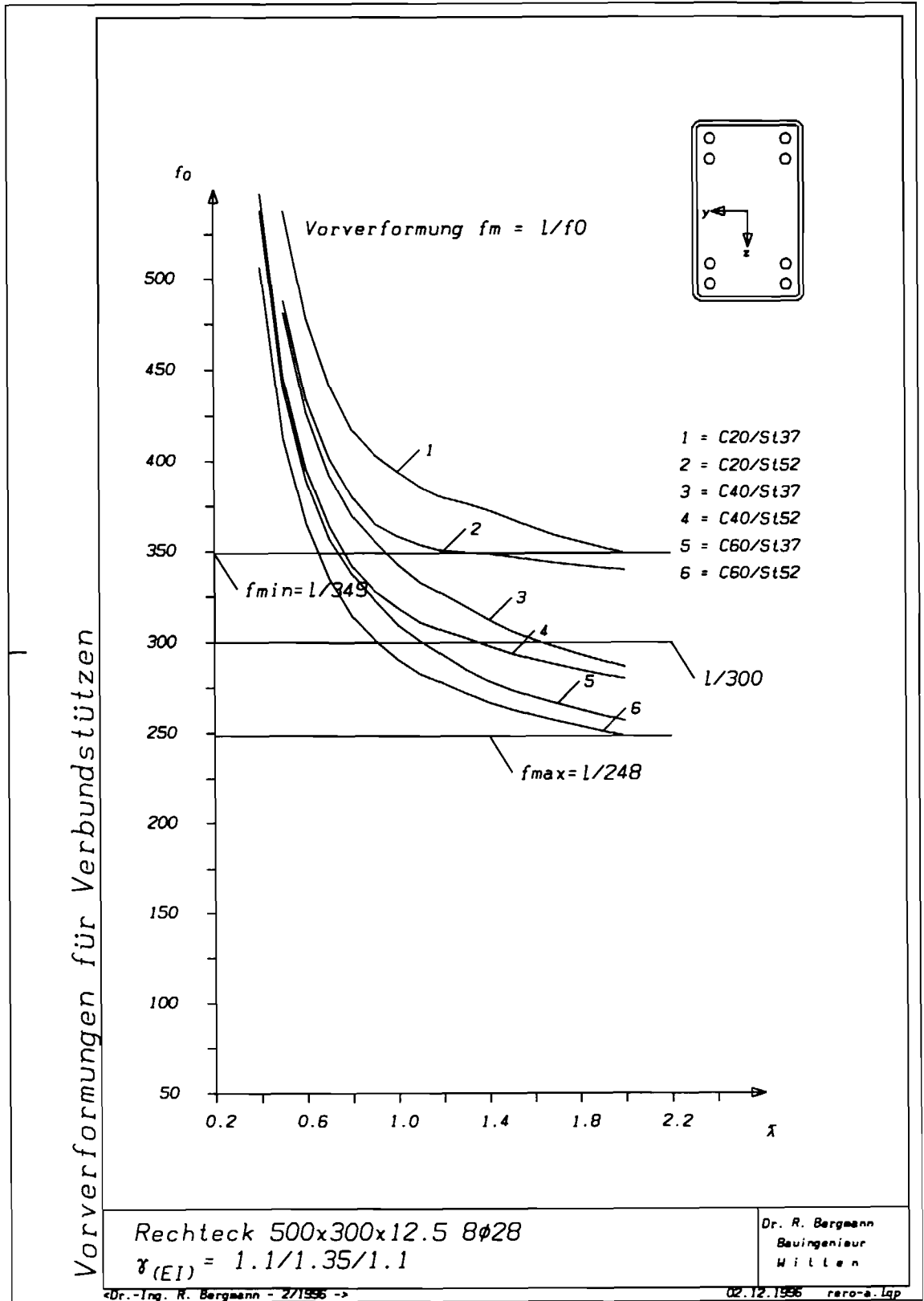
6. Literatur

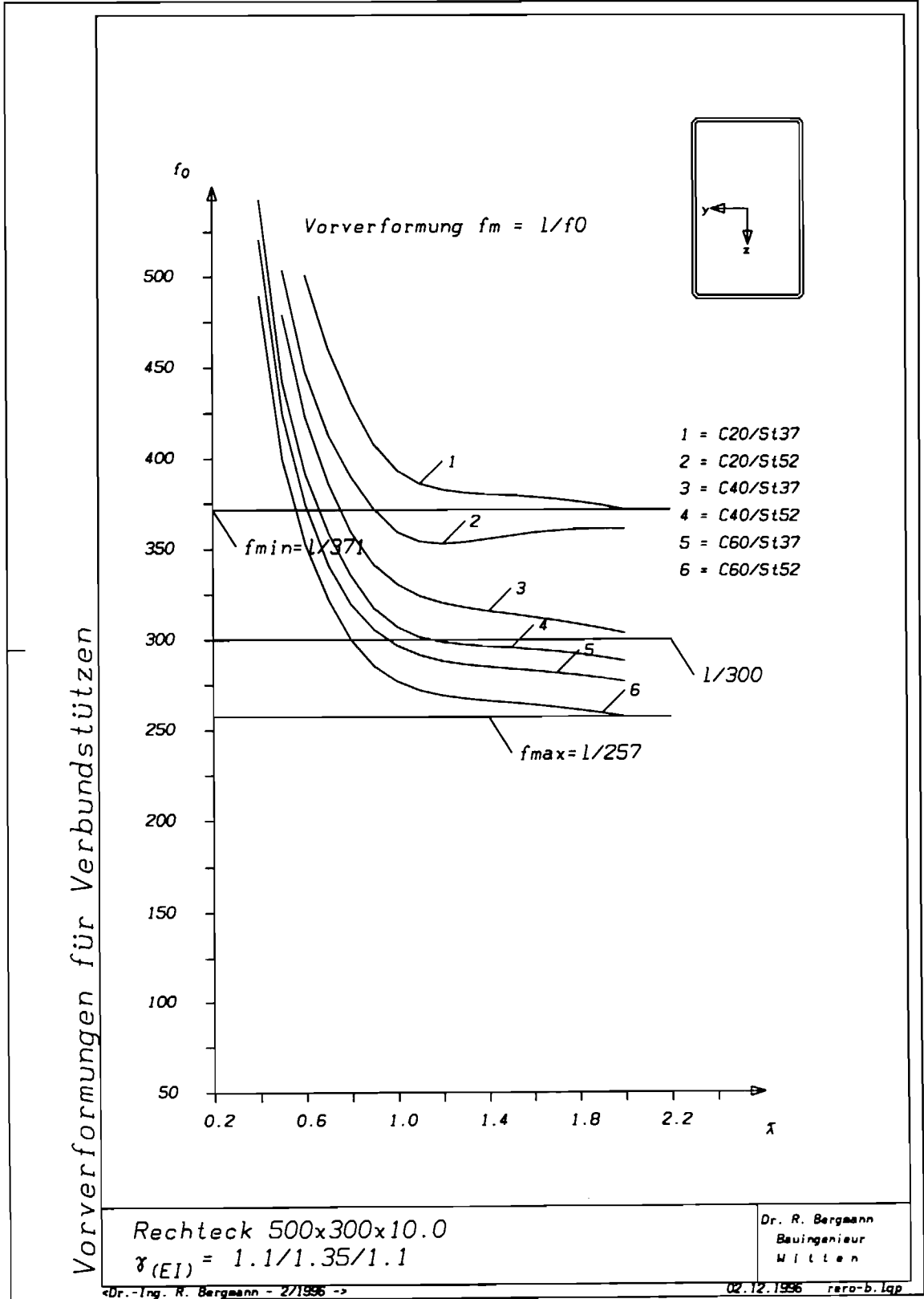
- /1/ Bergmann, R.: Traglastberechnung von Verbundstützen, Techn.-wiss. Mitteilungen Institut für Konstruktiven Ingenieurbau, Ruhr-Universität Bochum, Heft 76-4, 1976

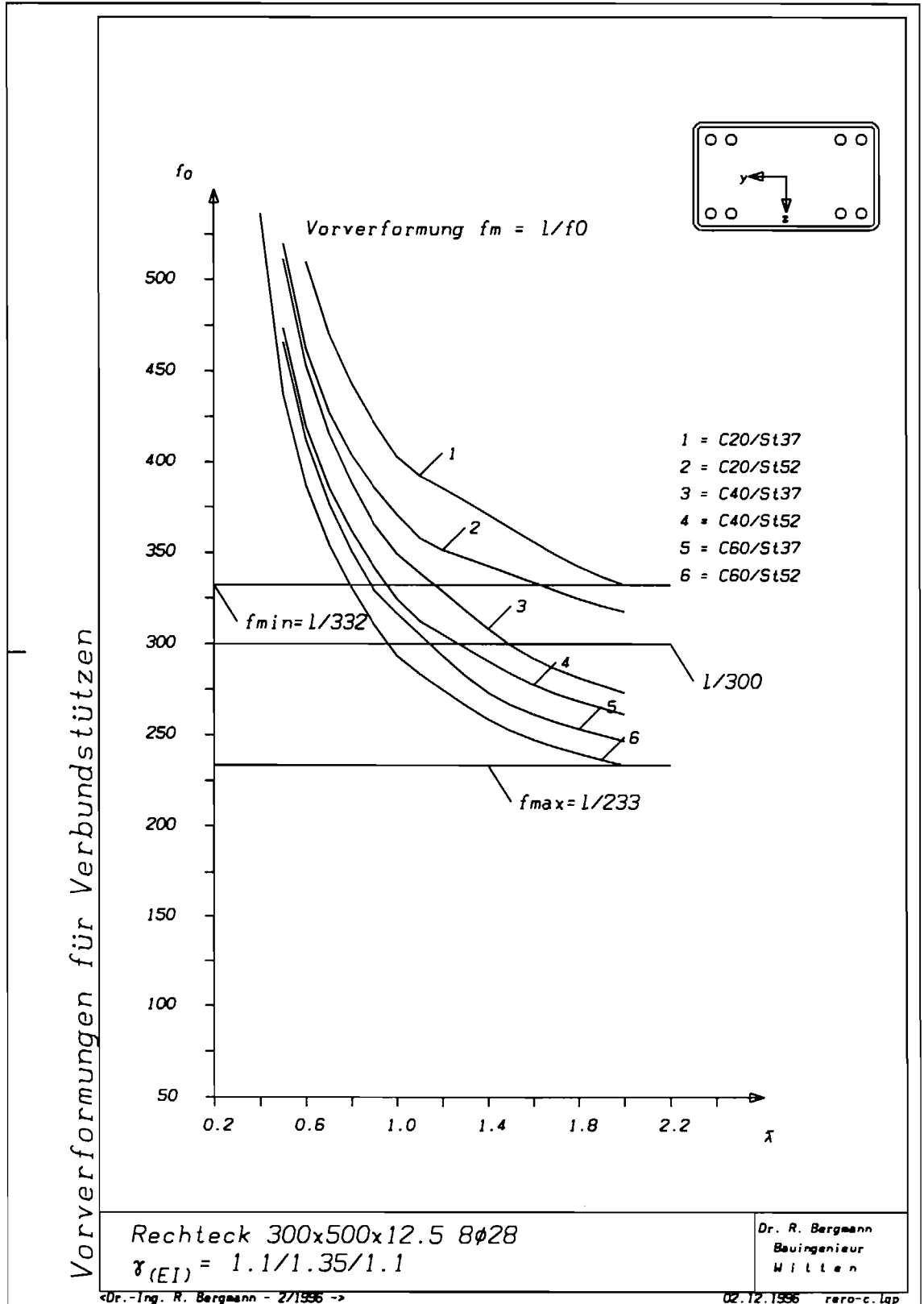
Dr.-Ing. R. Bergmann
Beratender Ingenieur für Bauwesen
Himmelohstr. 127
D-58454 Witten
Tel.: +49 (0) 2302 -49749

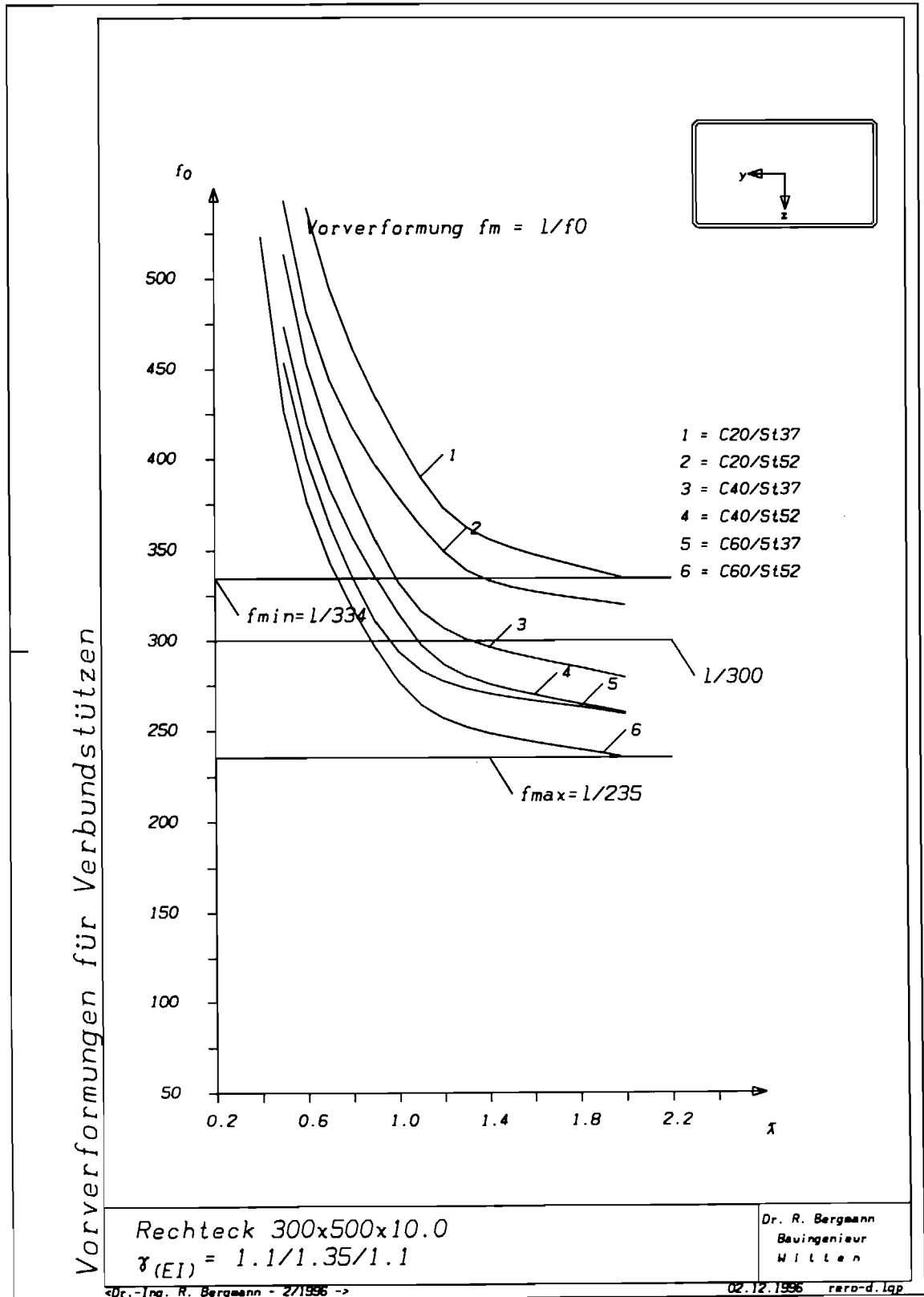
Anhang 1

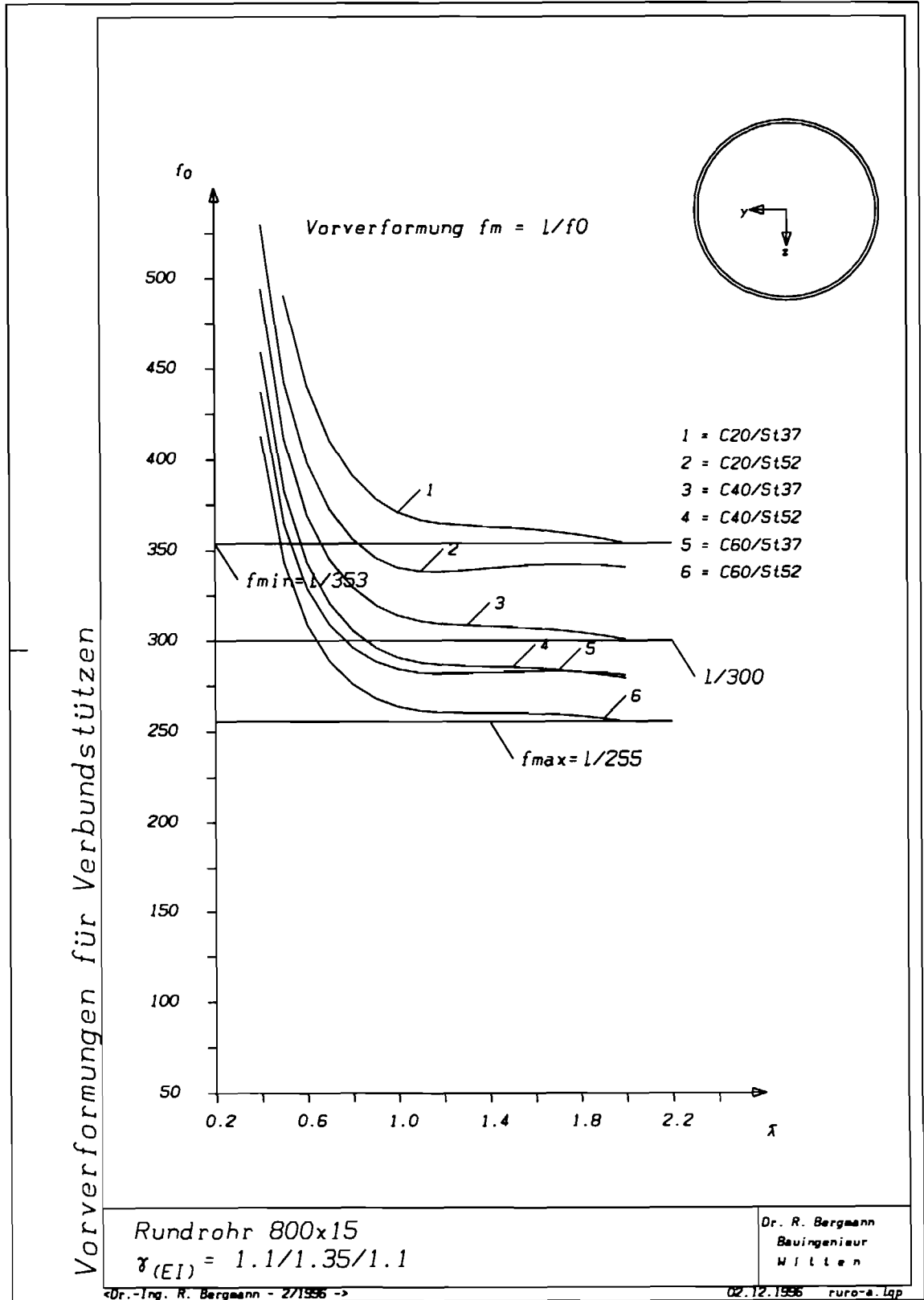
Ermittlung der Vorverformungen aus den Knickspannungskurven

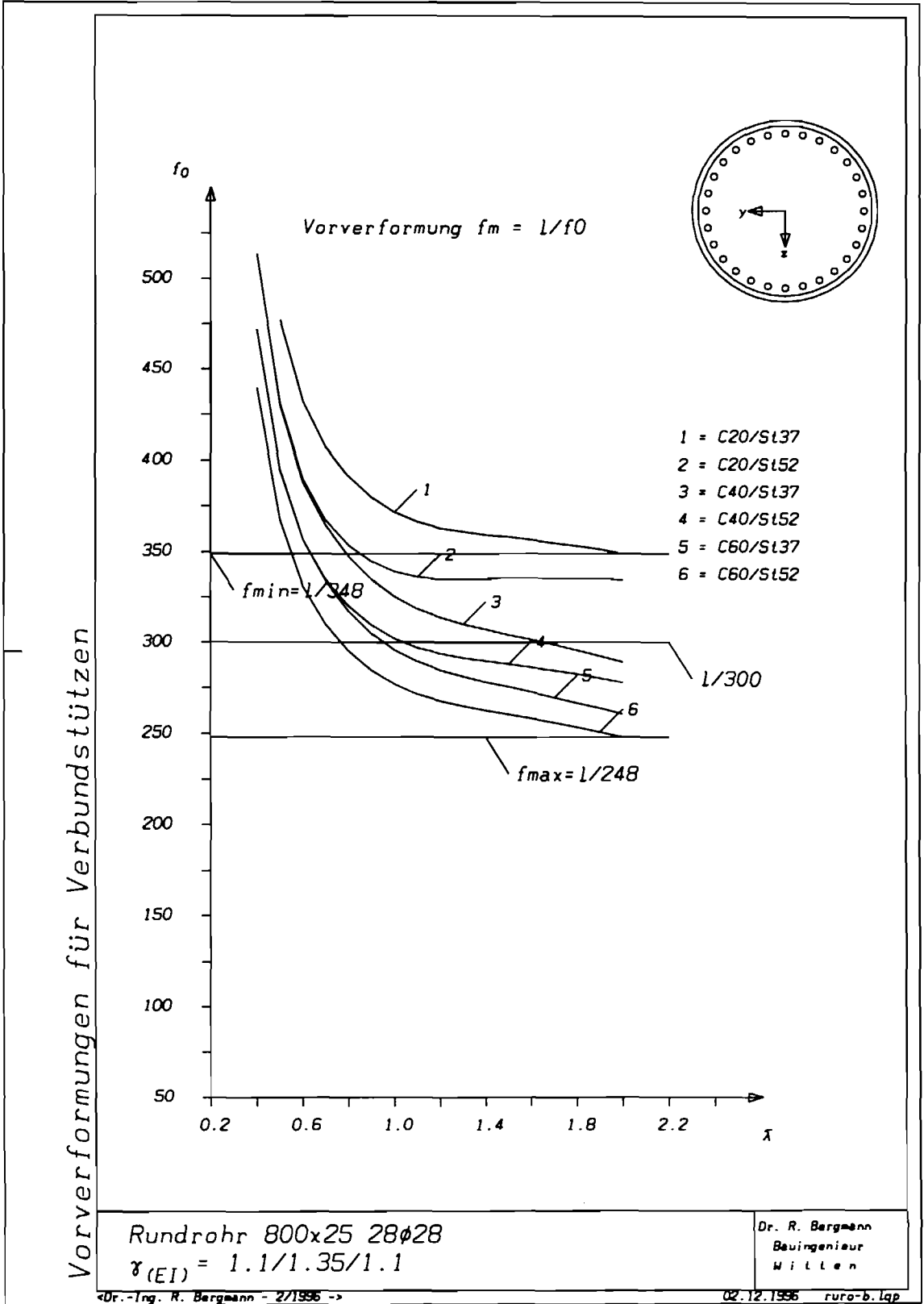


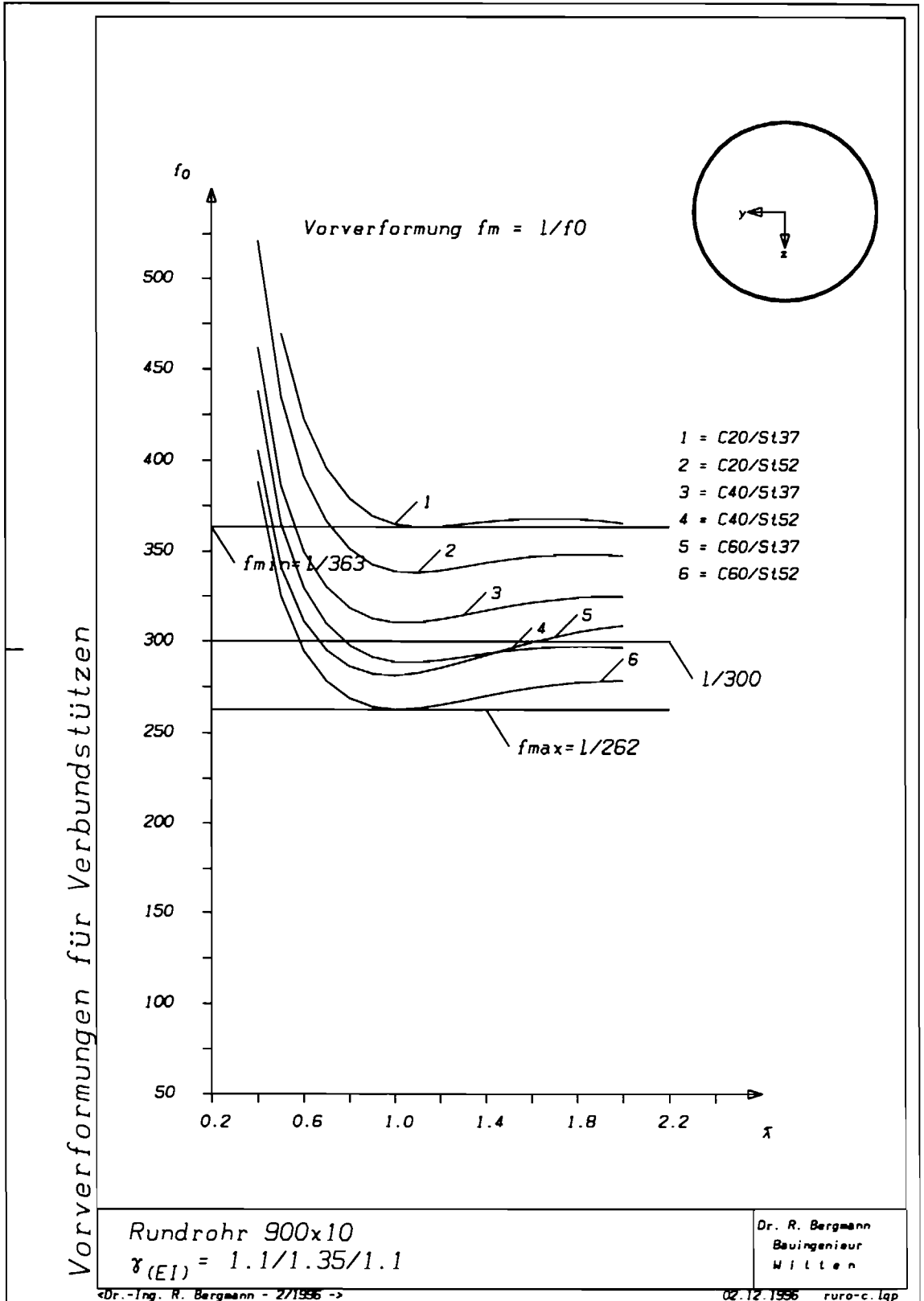












Dr.-Ing. R. Bergmann
Beratender Ingenieur für Bauwesen
Himmelohstr. 127
D-58454 Witten
Tel.: +49 (0) 2302 -49749

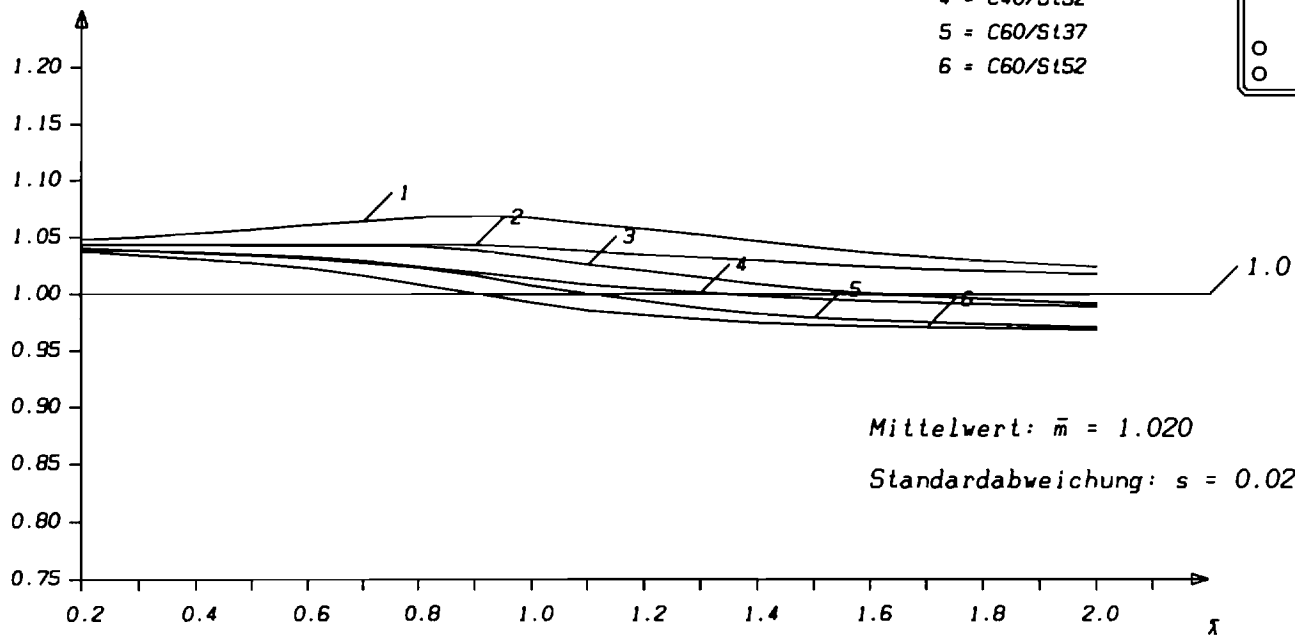
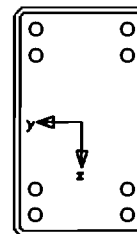
Anhang 2

Vergleich der Traglasten
für
zentrische Belastung
aus
Knickspannungskurven
und
Vorverformungen

Vorverformungsvergleich für Verbundstützen

Kurven N_x/N_{fm}

- 1 = C20/St137
- 2 = C20/St152
- 3 = C40/St137
- 4 = C40/St152
- 5 = C60/St137
- 6 = C60/St152



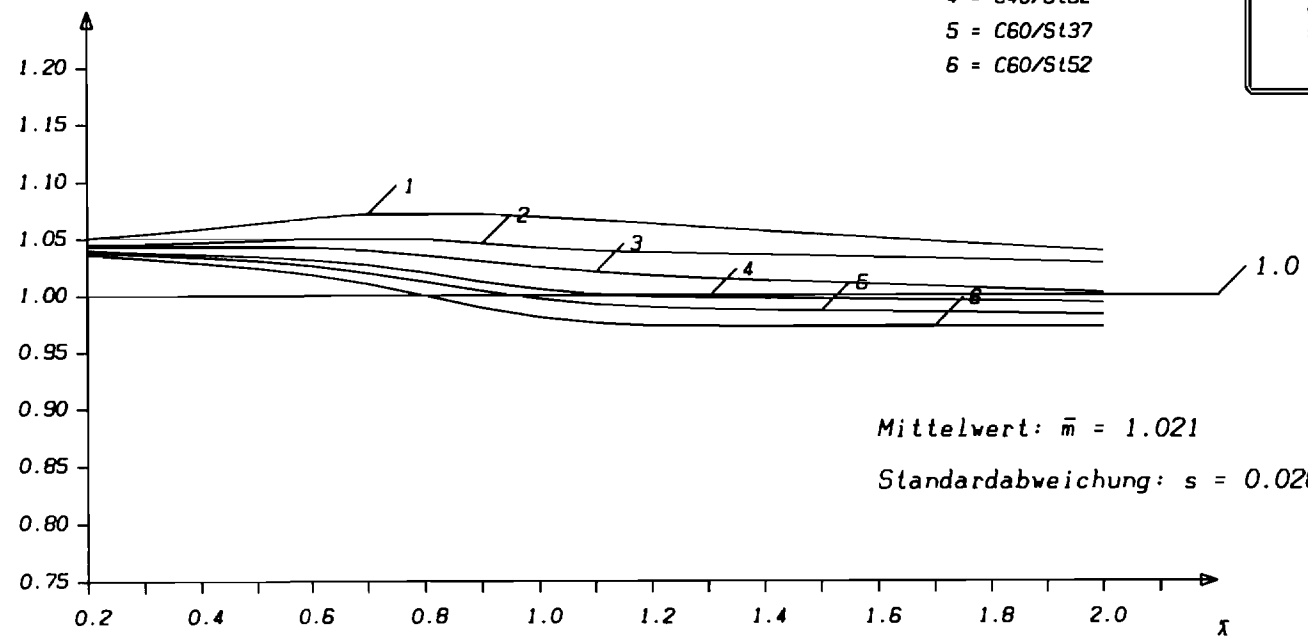
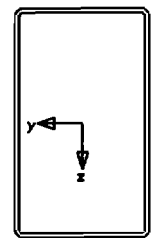
Rechteck 500x300x12.5 8ø28
 Vorverformung $f_m = 1/300$

Dr. R. Bergmann
 Bauingenieur
 W I L L e n

Vorverformungsvergleich für Verbundstützen

Kurven N_x/N_{fm}

- 1 = C20/St137
- 2 = C20/St152
- 3 = C40/St137
- 4 = C40/St152
- 5 = C60/St137
- 6 = C60/St152



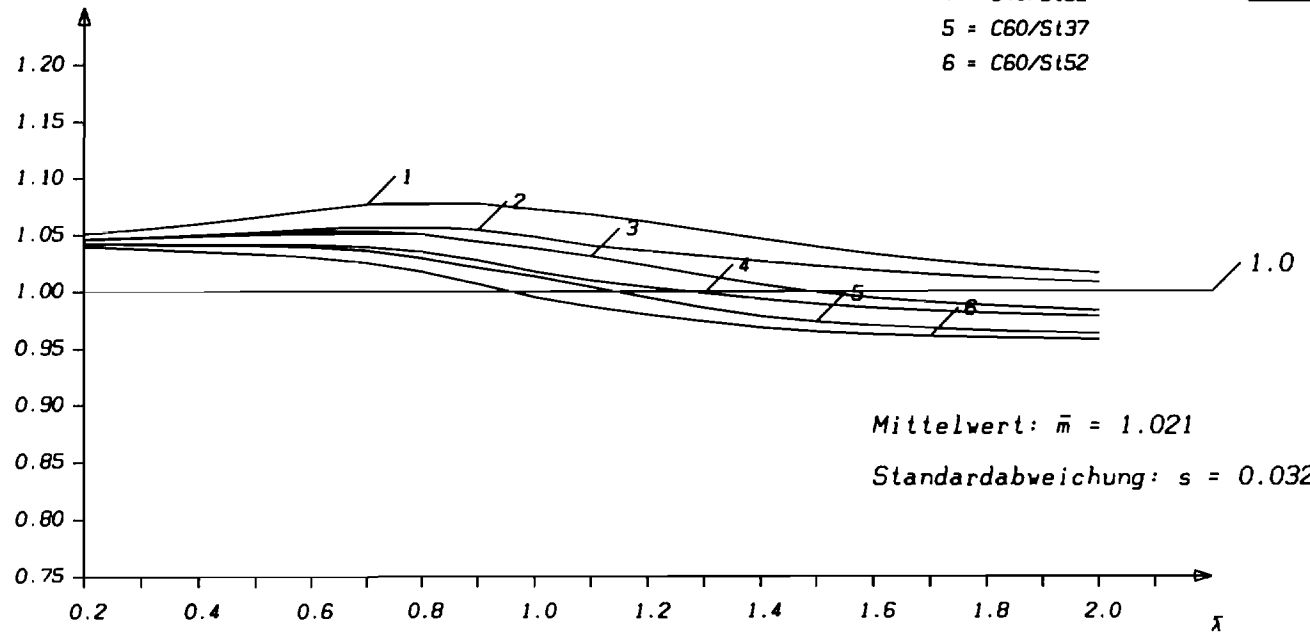
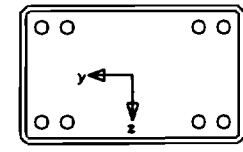
Rechteck 500x300x10.0
 Vorverformung $f_m = l/300$

Dr. R. Bergmann
 Bauingenieur
 Witten

Vorverformungsvergleich für Verbundstützen

Kurven N_x/N_{fm}

- 1 = C20/St17
- 2 = C20/St52
- 3 = C40/St17
- 4 = C40/St52
- 5 = C60/St17
- 6 = C60/St52



Mittelwert: $\bar{m} = 1.021$
 Standardabweichung: $s = 0.032$

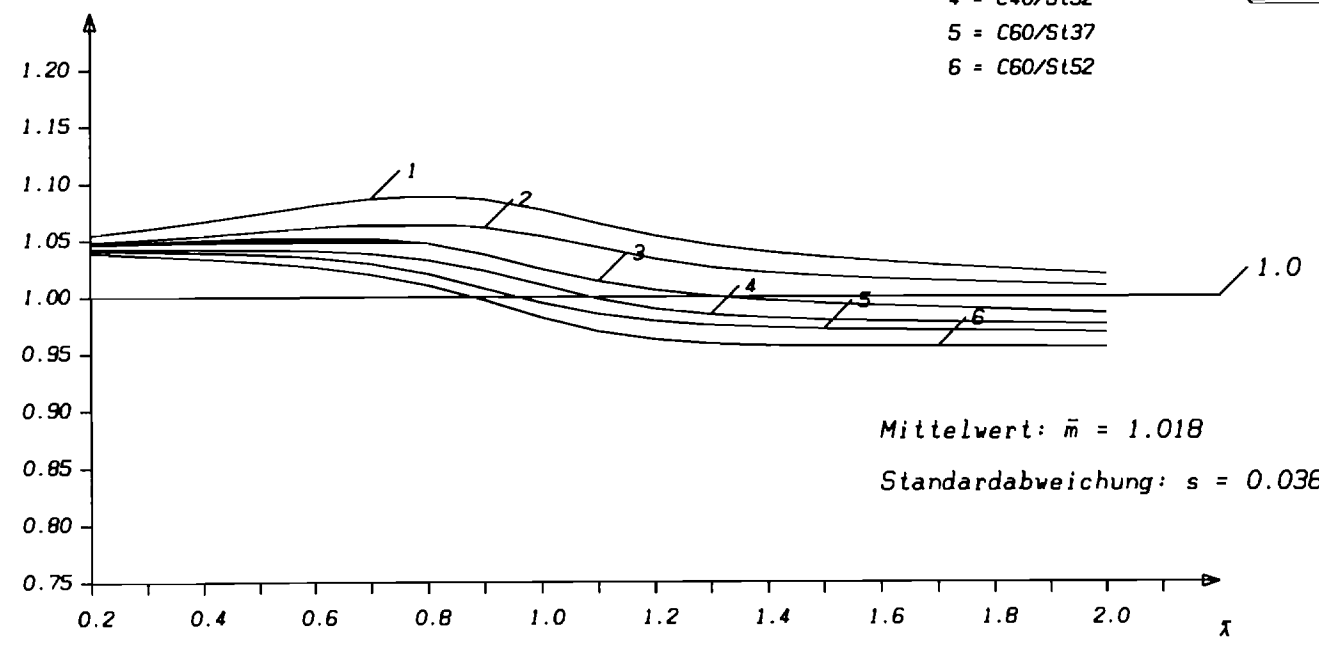
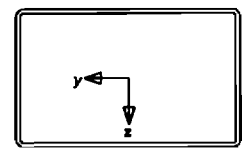
Rechteck 300x500x12.5 8ø28
 Vorverformung $f_m = 1/300$

Dr. R. Bergmann
 Bauingenieur
 W i l l e n

Vorverformungsvergleich für Verbundstützen

Kurven N_x/N_{fm}

- 1 = C20/St137
- 2 = C20/St52
- 3 = C40/St137
- 4 = C40/St52
- 5 = C60/St137
- 6 = C60/St52



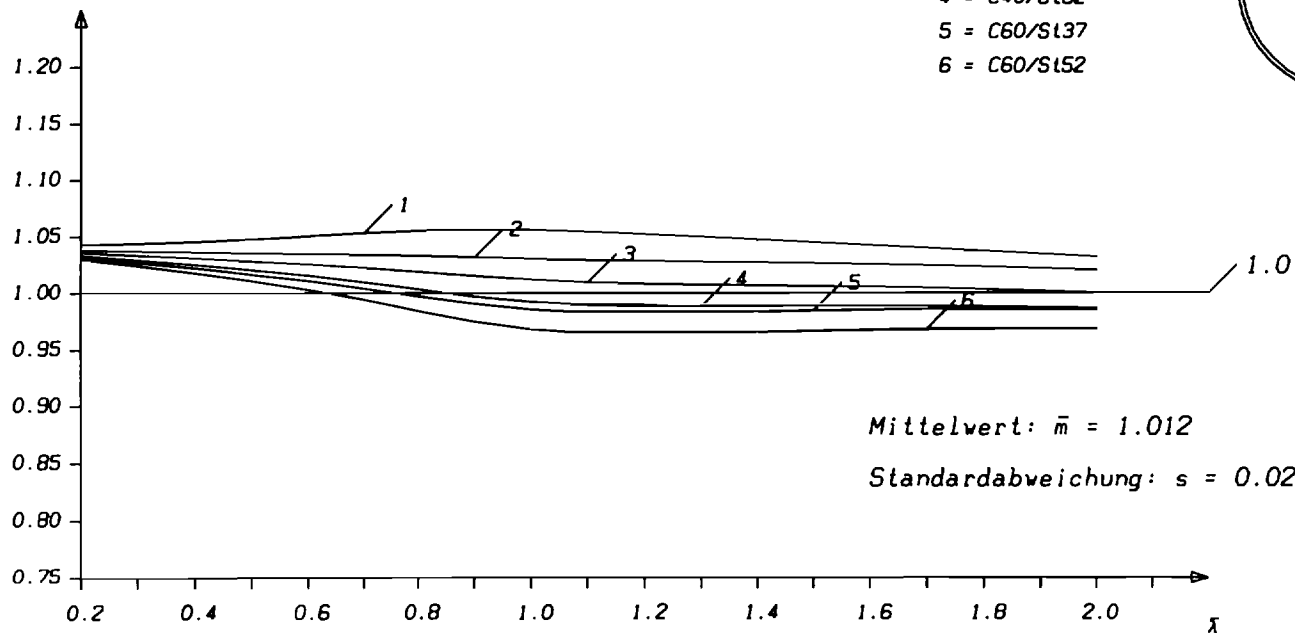
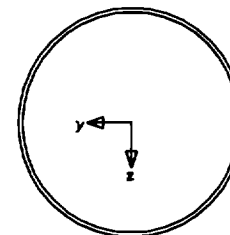
Rechteck 300x500x10.0
 Vorverformung $f_m = 1/300$

Dr. R. Bergmann
 Bauingenieur
 W i l l e n

Vorverformungsvergleich für Verbundstützen

Kurven N_x/N_{fm}

- 1 = C20/S137
- 2 = C20/S152
- 3 = C40/S137
- 4 = C40/S152
- 5 = C60/S137
- 6 = C60/S152



Mittelwert: $\bar{m} = 1.012$
 Standardabweichung: $s = 0.026$

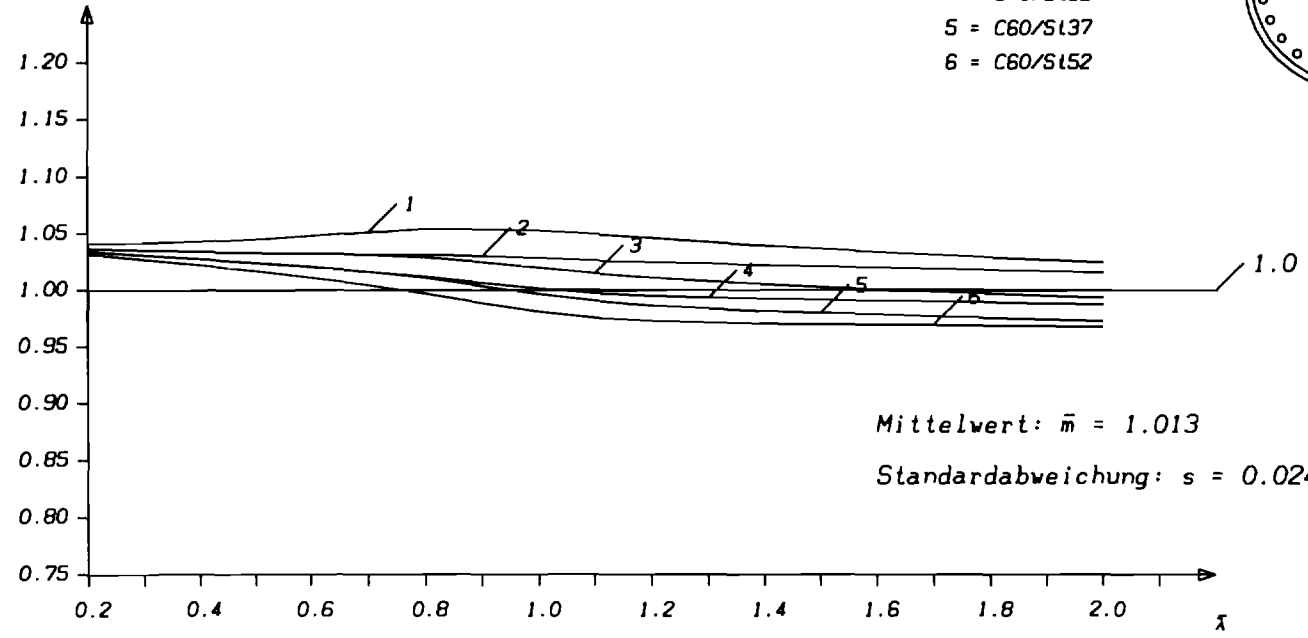
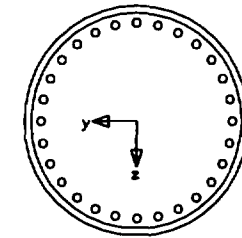
Rundrohr 800x15
 Vorverformung $f_m = 1/300$

Dr. R. Bergmann
 Bauingenieur
 W i l l e n

Vorverformungsvergleich für Verbundstützen

Kurven N_x/N_{fm}

- 1 = C20/St137
- 2 = C20/St152
- 3 = C40/St137
- 4 = C40/St152
- 5 = C60/St137
- 6 = C60/St152



Mittelwert: $\bar{m} = 1.013$
 Standardabweichung: $s = 0.024$

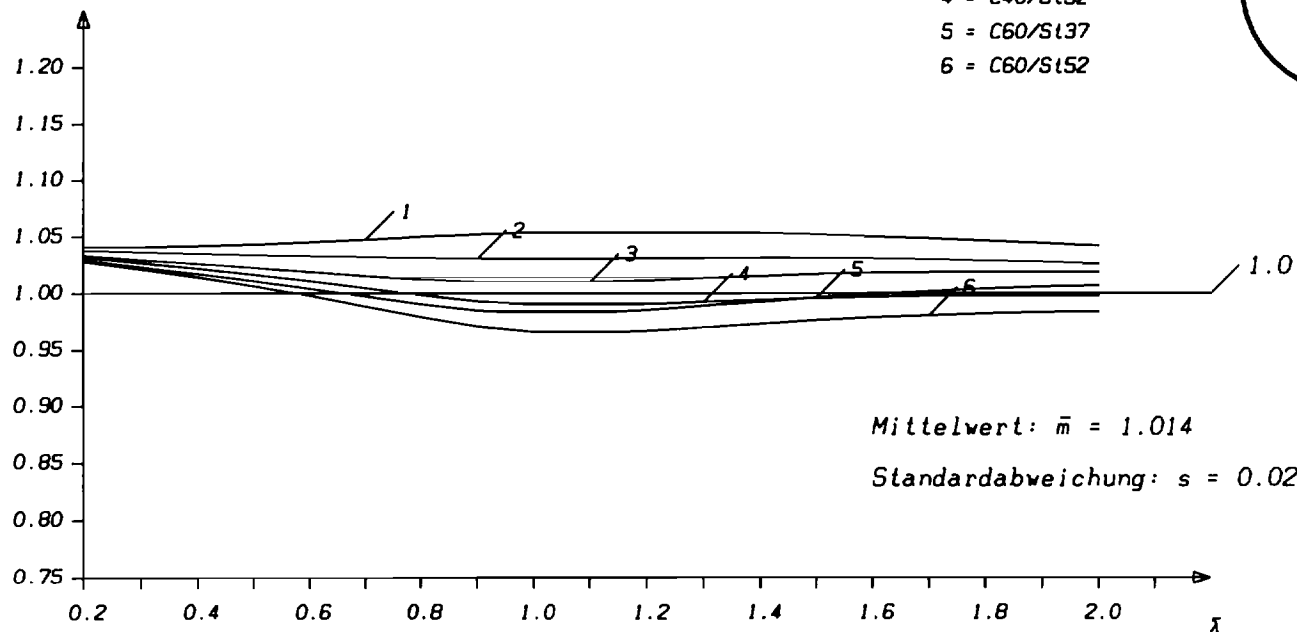
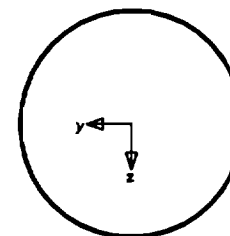
Rundrohr 800x25 28φ28
 Vorverformung $f_m = 1/300$

Dr. R. Bergmann
 Bauingenieur
 W i l l e n

Vorverformungsvergleich für Verbundstützen

Kurven N_x/N_{fm}

- 1 = C20/St137
- 2 = C20/St152
- 3 = C40/St137
- 4 = C40/St152
- 5 = C60/St137
- 6 = C60/St152



Mittelwert: $\bar{m} = 1.014$

Standardabweichung: $s = 0.024$

Rundrohr 900x10
Vorverformung $f_m = 1/300$

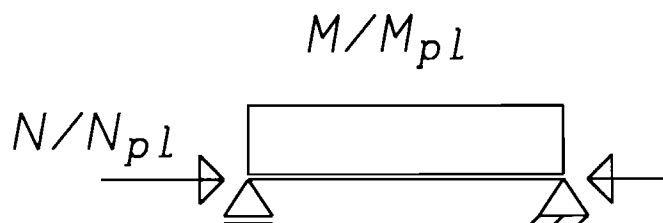
Dr. R. Bergmann
Bauingenieur
Witten

Dr.-Ing. R. Bergmann
Beratender Ingenieur für Bauwesen
Himmelohstr. 127
D-58454 Witten
Tel.: +49 (0) 2302 -49749

Anhang 3a

Vergleich der Traglasten
für
Druck und Biegung
aus
genauer Rechnung
und
Vorverformungen

gleiche Randmomente

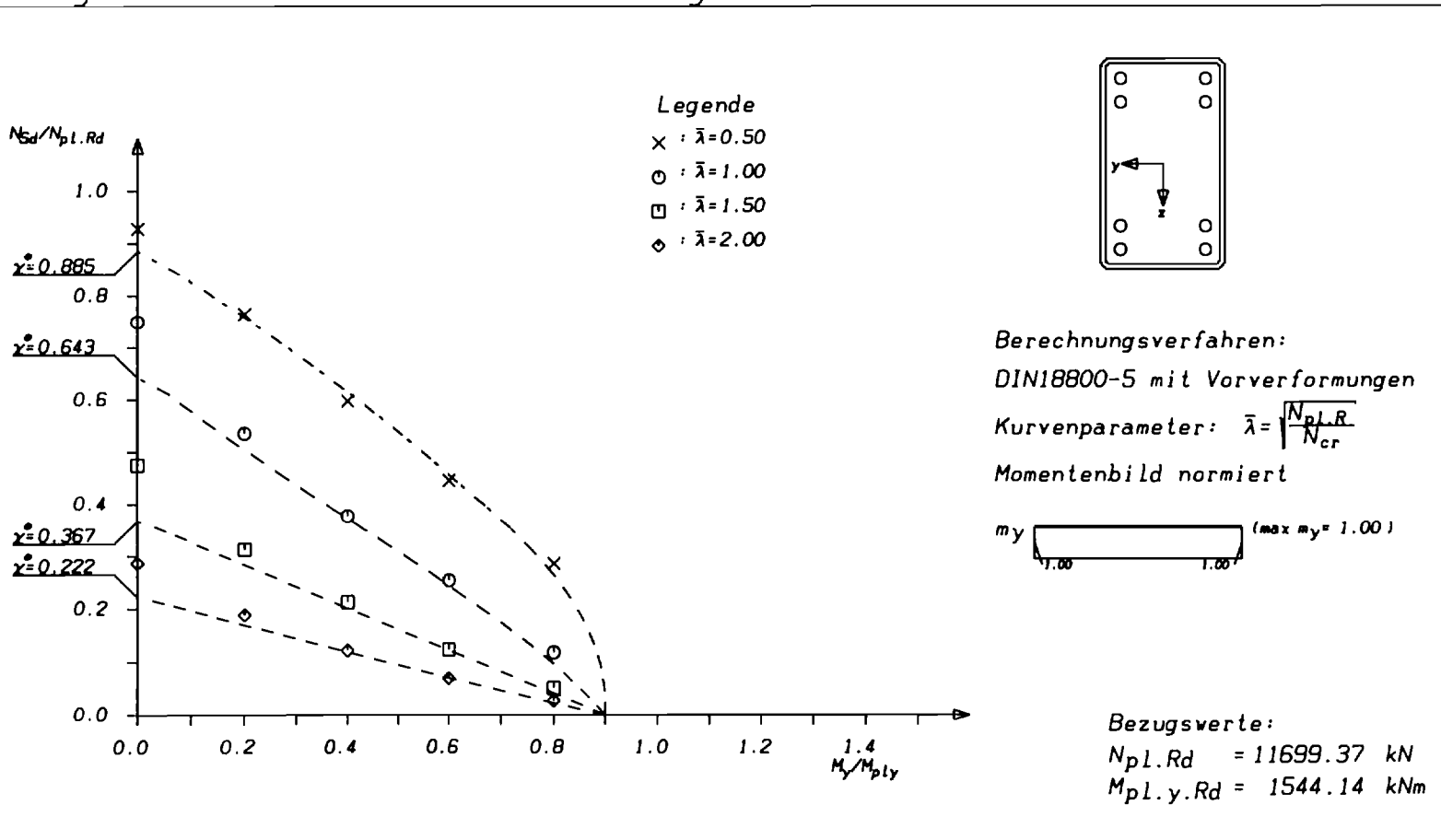


Berechnung mit

----- *Vorverformungen*

x o □ ◇ *genauer Methode*

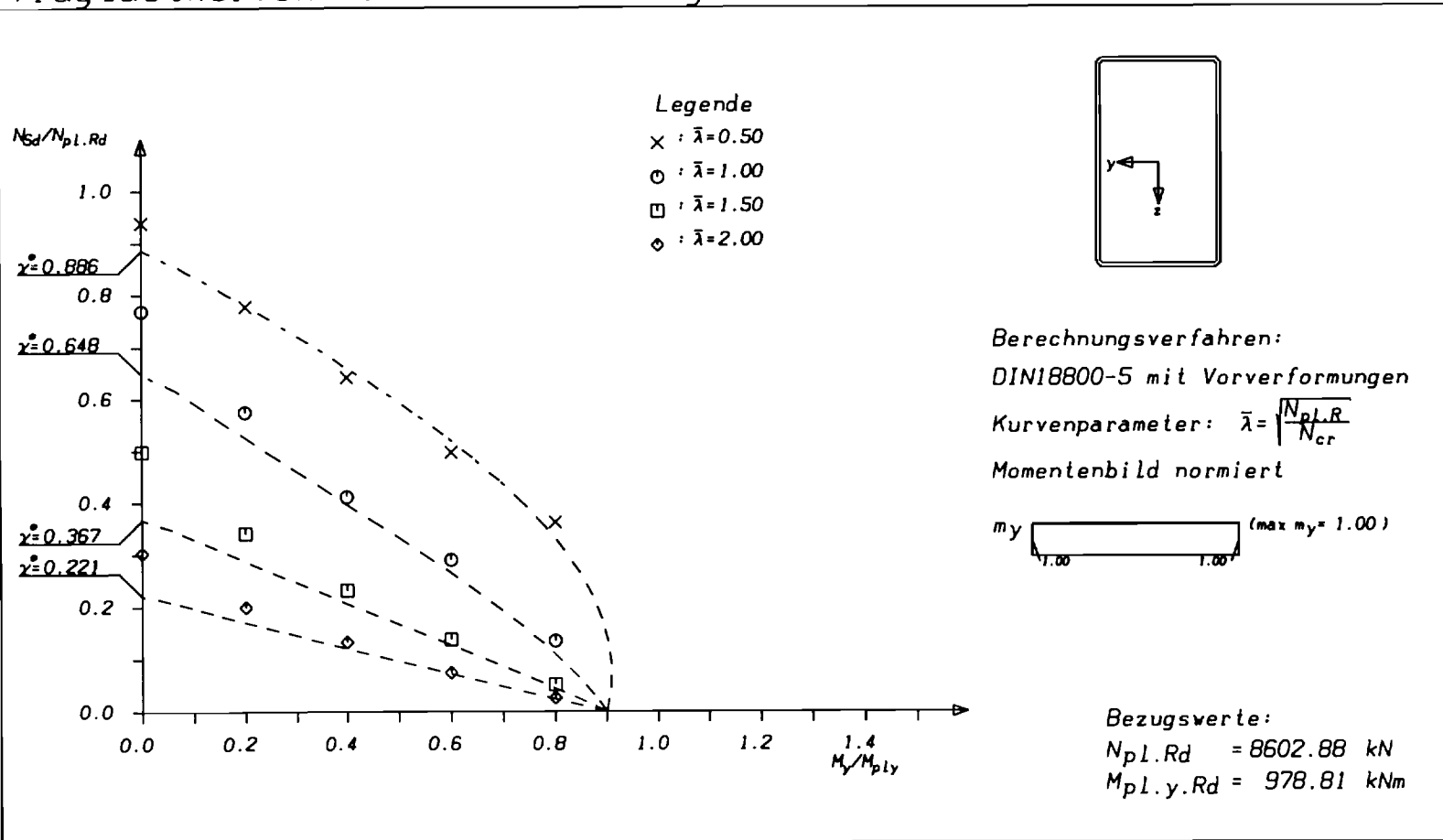
Traglastkurven mit Vorverformungen



Rechteck 500x300x12.5 8φ28
Vorverformung 1/300

Dr. R. Bergmann
Bauingenieur
Witten

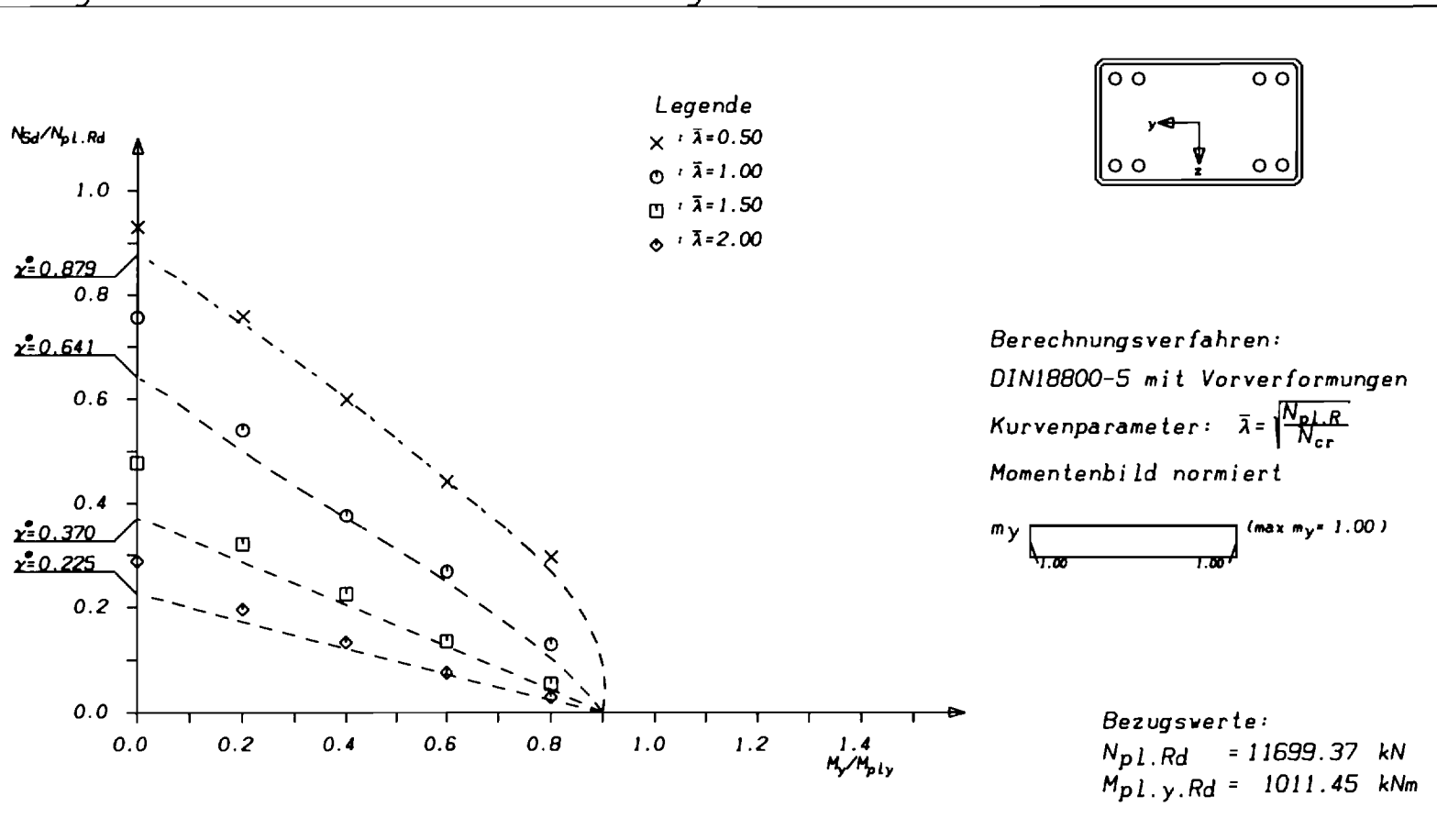
Traglastkurven mit Vorverformungen



Rechteck 500x300x10.0
Vorverformung 1/300

Dr. R. Bergmann
Beuleningenieur
HILLEN

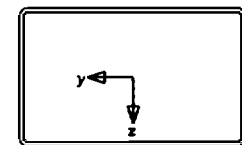
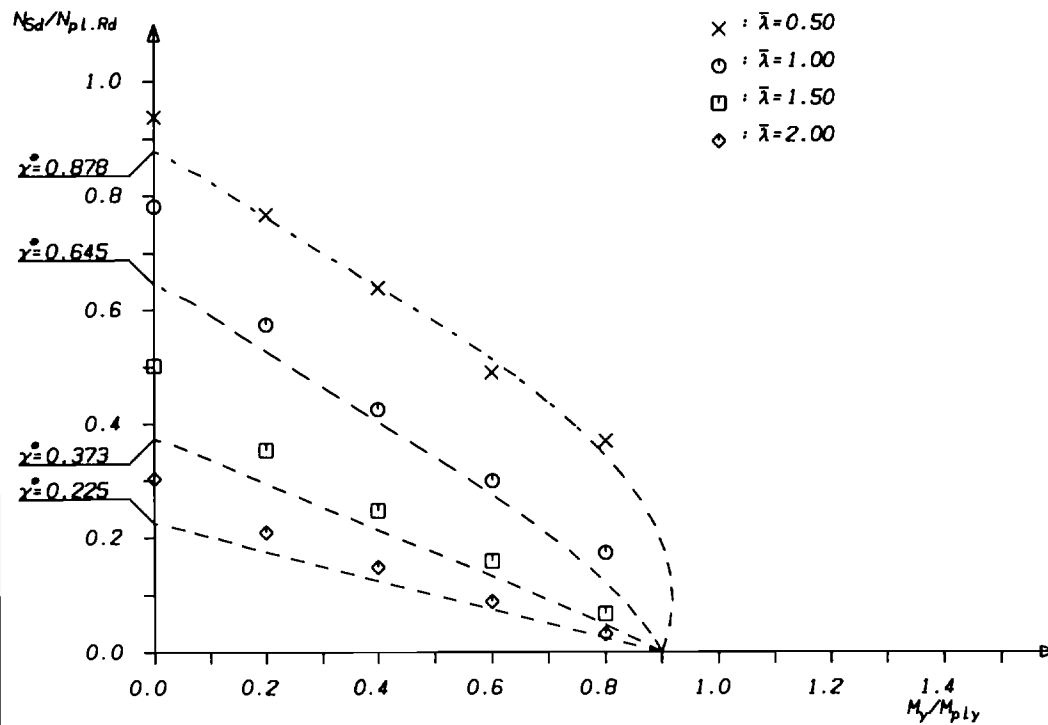
Traglastkurven mit Vorverformungen



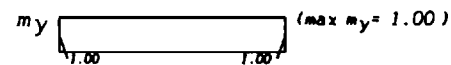
Rechteck 300x500x12.5 8φ28
Vorverformung 1/300

Dr. R. Bergmann
Bauingenieur
W i l l e n

Traglastkurven mit Vorverformungen



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

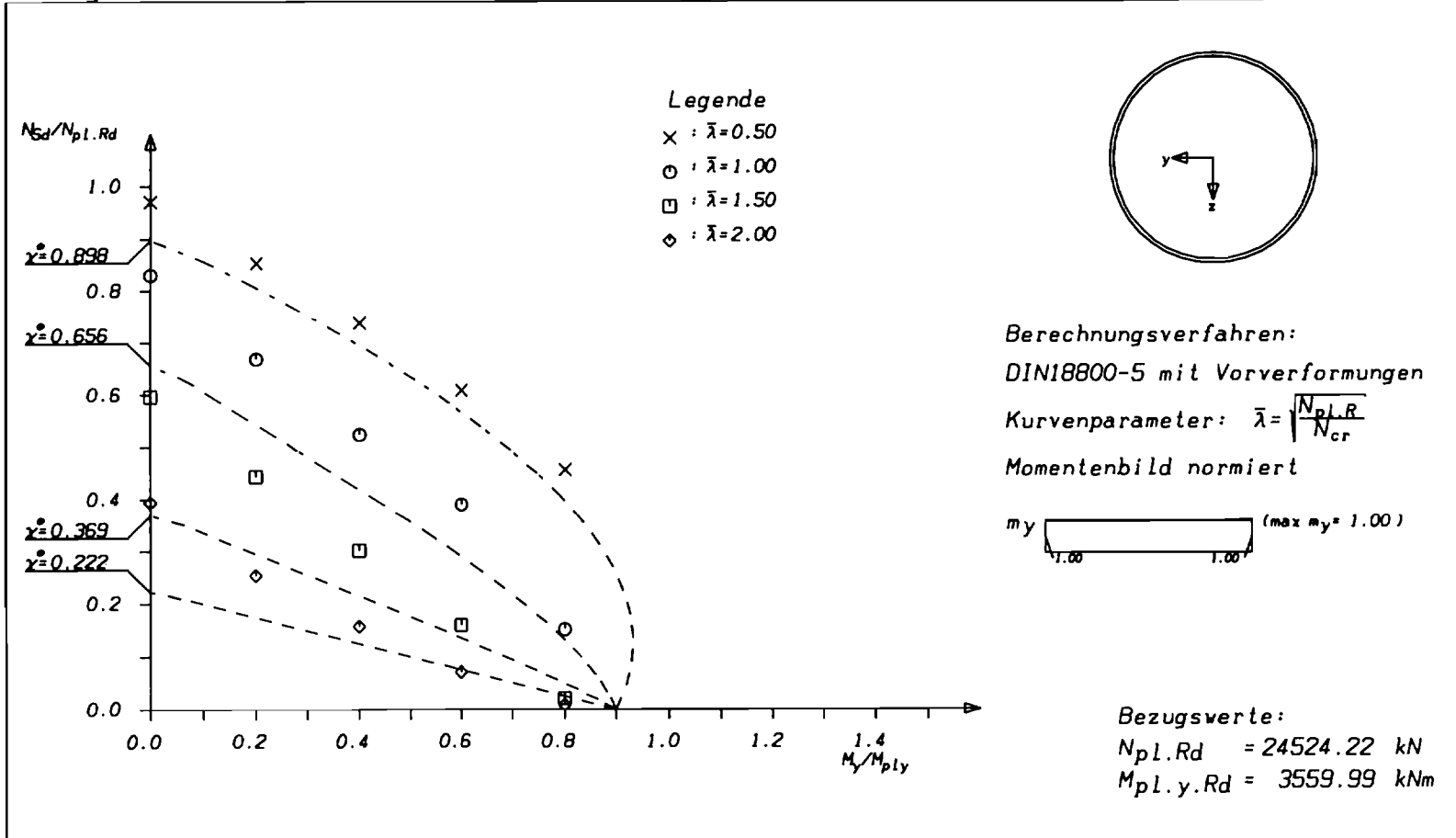


Bezugswerte:
 $N_{pl,Rd} = 8602.88 \text{ kN}$
 $M_{pl,y,Rd} = 656.44 \text{ kNm}$

Rechteck 300x500x10.0
 Vorverformung 1/300

Dr. R. Bergmann
 Bauingenieur
 Witten

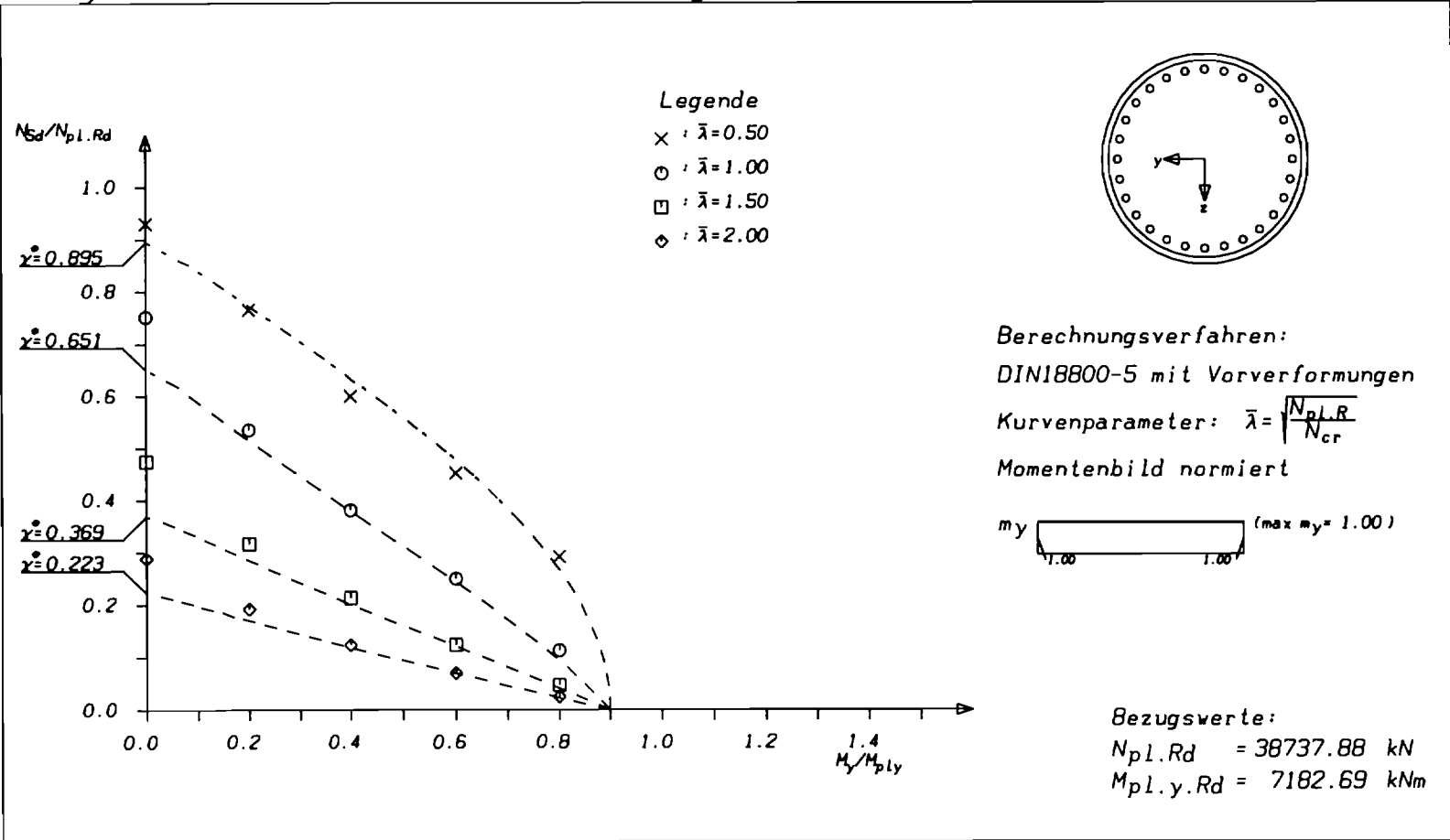
Traglastkurven mit Vorverformungen



Rundrohr 800x15
Vorverformung 1/300

Dr. R. Bergmann
Beuleningenieur
Witten

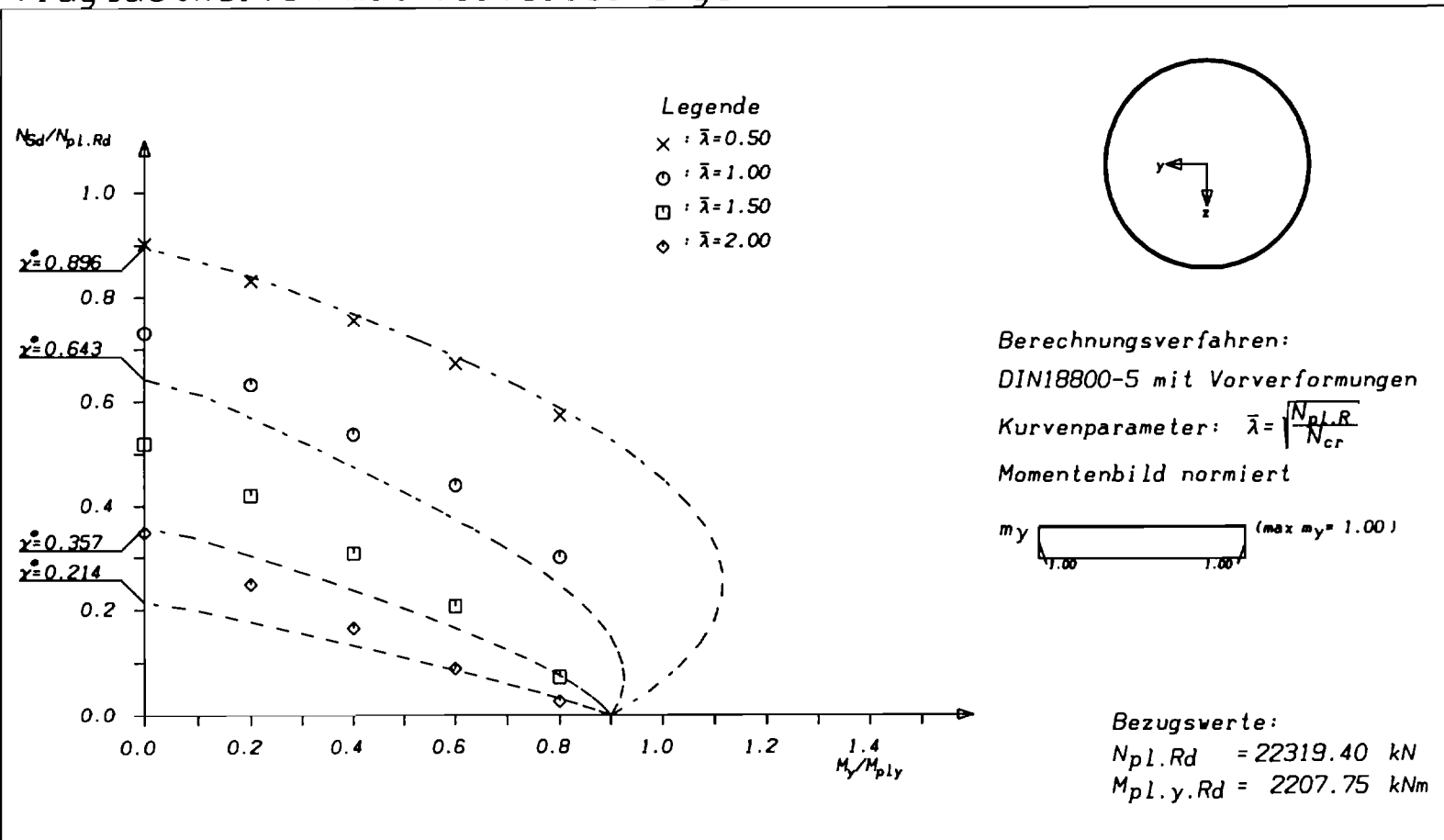
Traglastkurven mit Vorverformungen



Rundrohr 800x25 28φ28
Vorverformung 1/300

Dr. R. Bergmann
Beuleningenieur
W i l l e n

Traglastkurven mit Vorverformungen



Rundrohr 900x10
Vorverformung 1/300

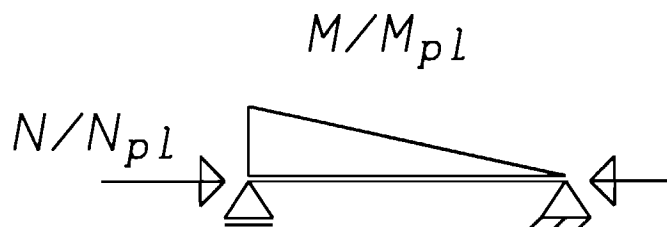
Dr. R. Bergmann
Bauingenieur
Witten

Dr.-Ing. R. Bergmann

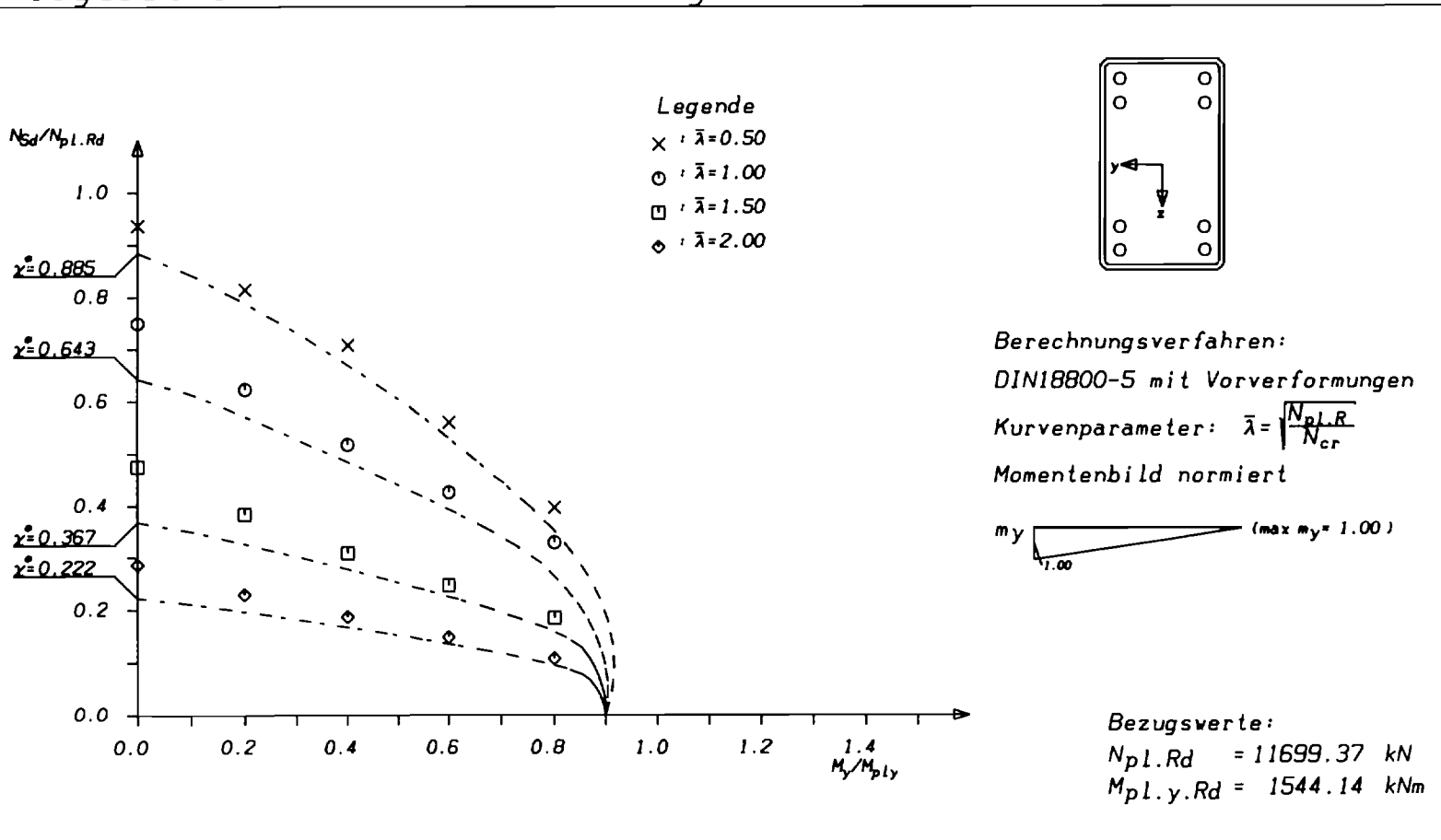
Beratender Ingenieur für Bauwesen
Himmelohstr. 127
D-58454 Witten
Tel.: +49 (0) 2302 -49749

Anhang 3b

Vergleich der Traglasten
für
Druck und Biegung
aus
genauer Rechnung
und
Vorverformungen

einseitiges Randmoment*Berechnung mit**- - - - - Vorverformungen**x o □ ◇ genauer Methode*

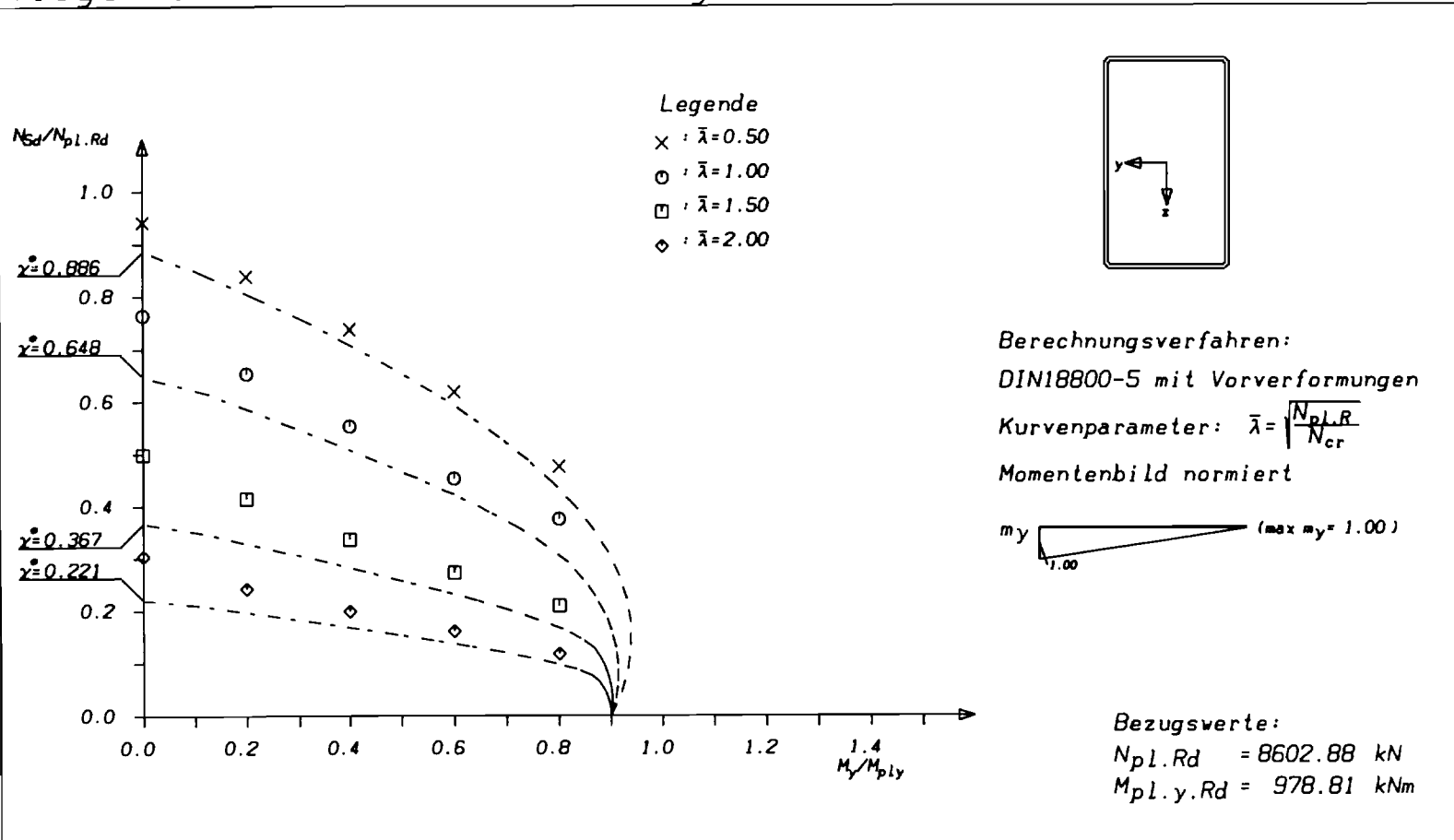
Traglastkurven mit Vorverformungen



Rechteck 500x300x12.5 8φ28
Vorverformung 1/300

Dr. R. Bergmann
Beuleningenieur
Witten

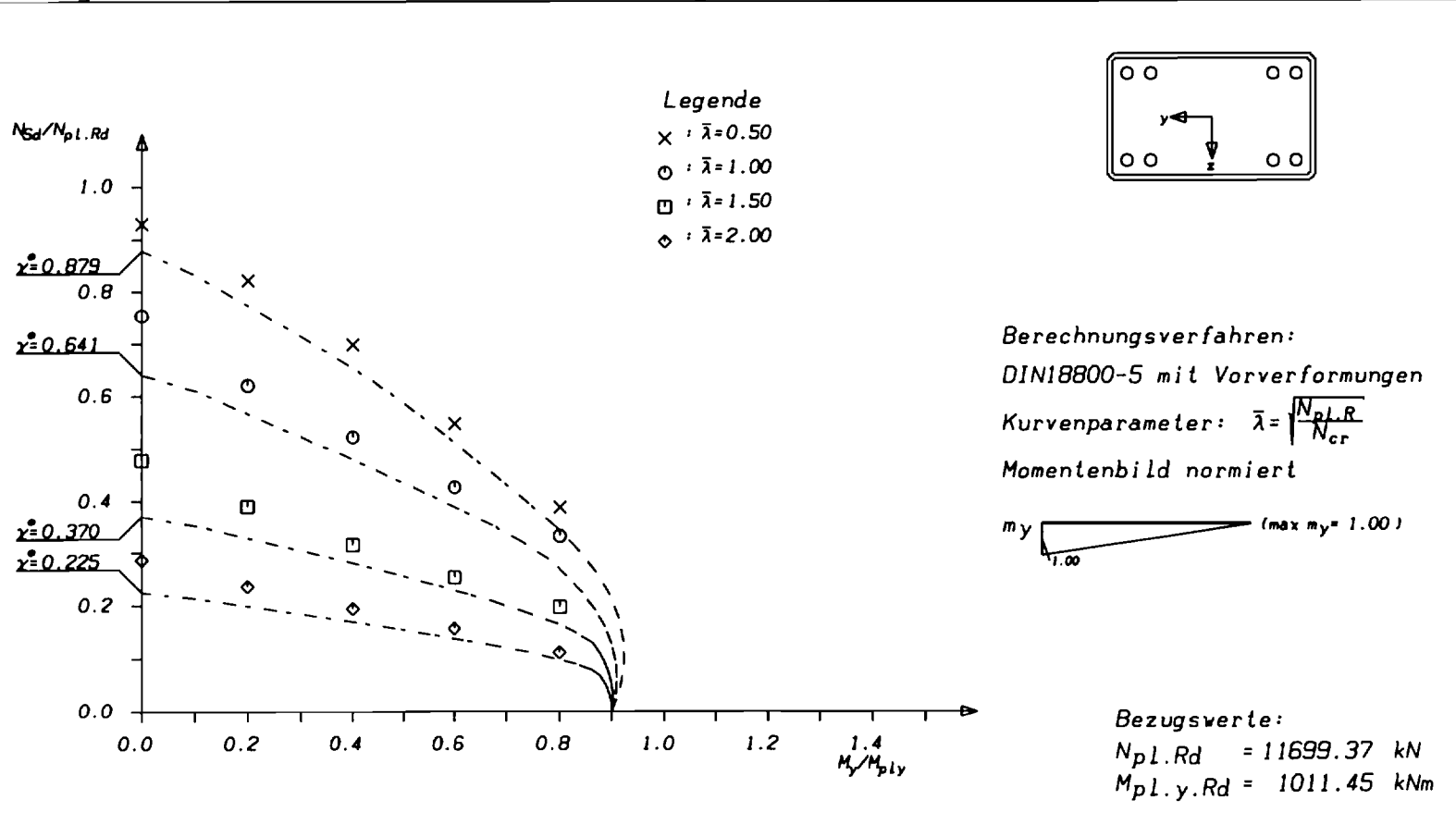
Traglastkurven mit Vorverformungen



Rechteck 500x300x10.0
Vorverformung 1/300

Dr. R. Bergmann
Bauingenieur
Hiltl

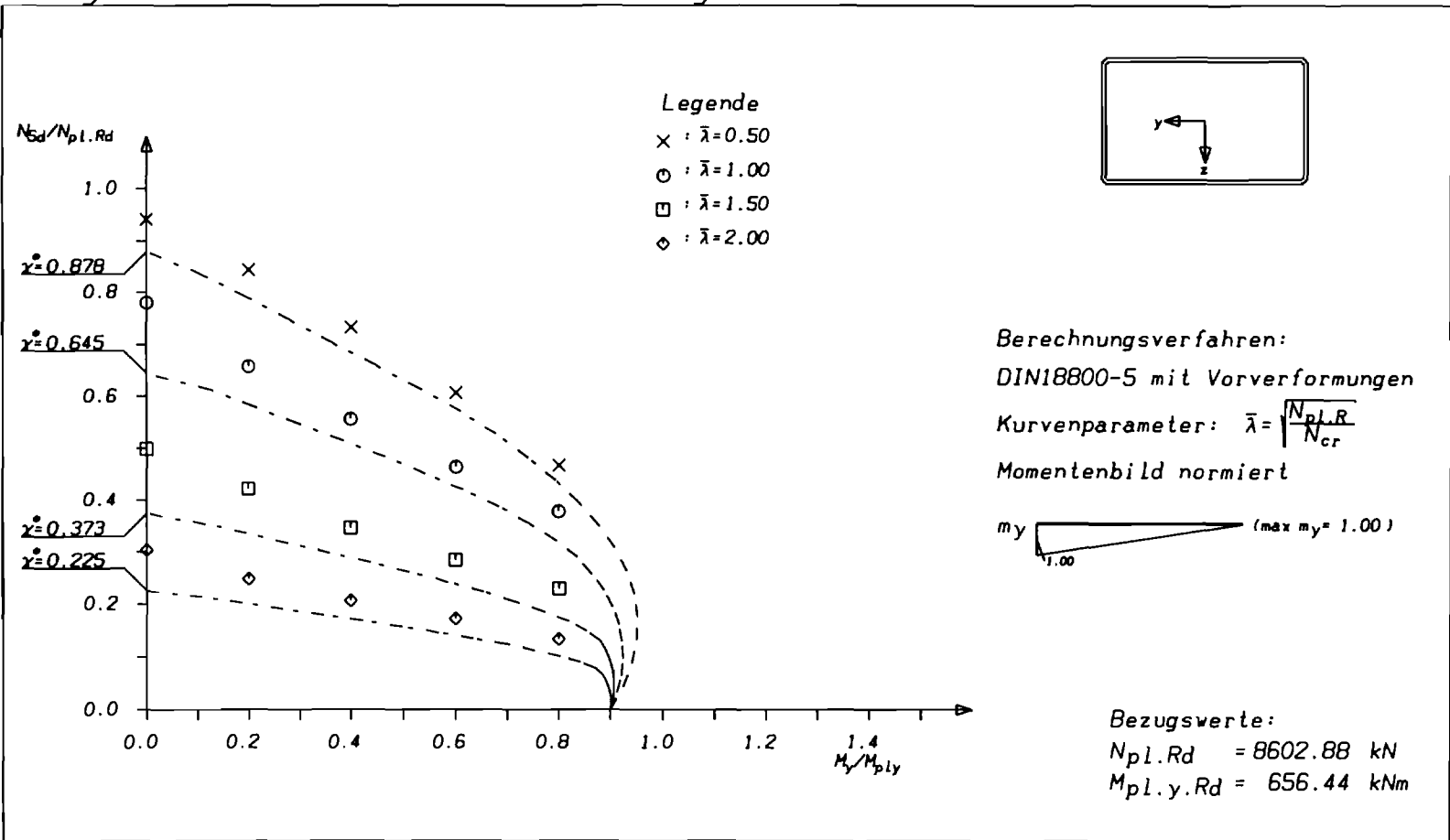
Traglastkurven mit Vorverformungen



Rechteck 300x500x12.5 8φ28
Vorverformung 1/300

Dr. R. Bergmann
Bauingenieur
Witten

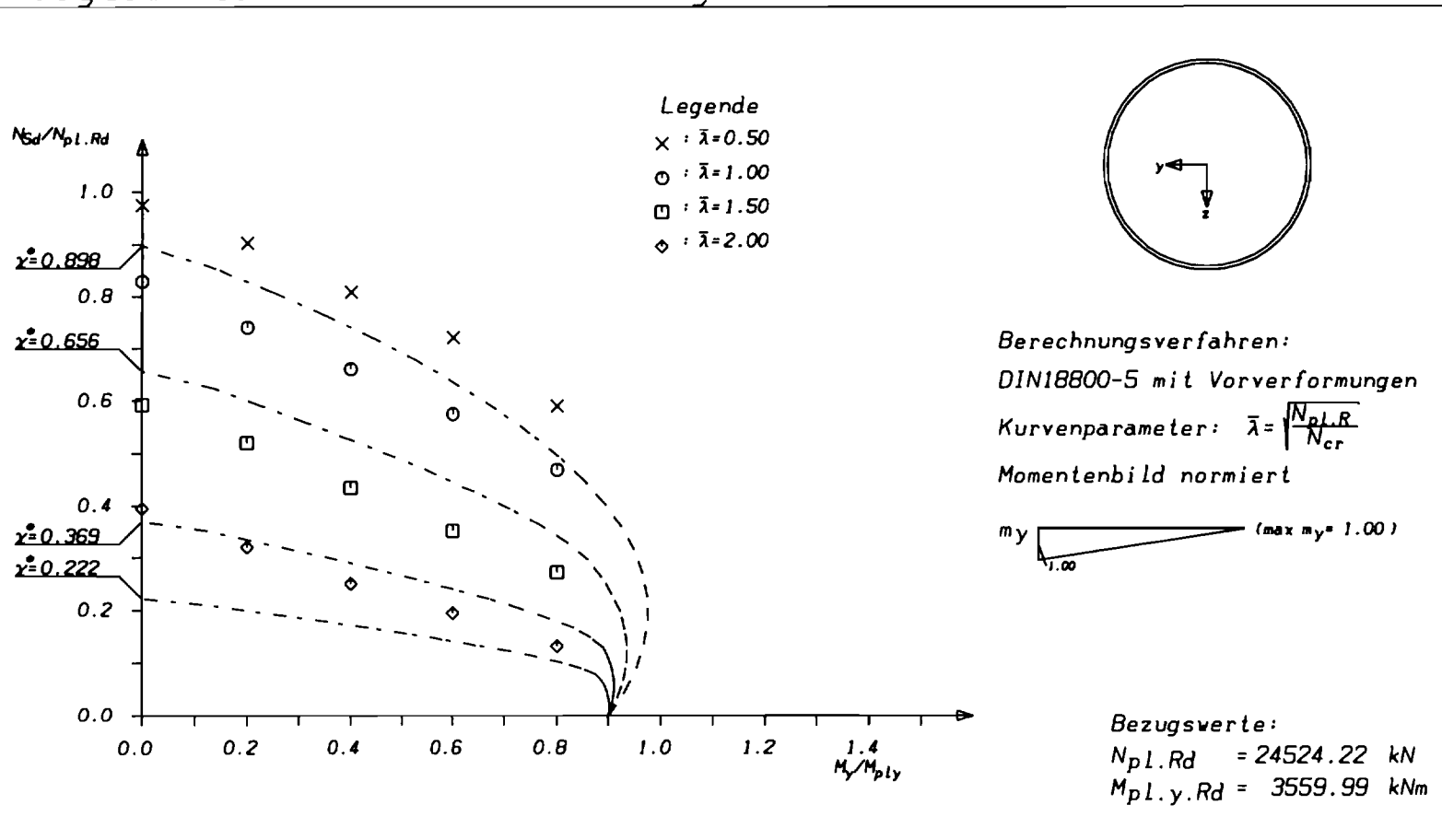
Traglastkurven mit Vorverformungen



Rechteck 300x500x10.0
Vorverformung 1/300

Dr. R. Bergmann
Bauingenieur
W I L L E N

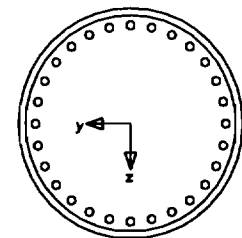
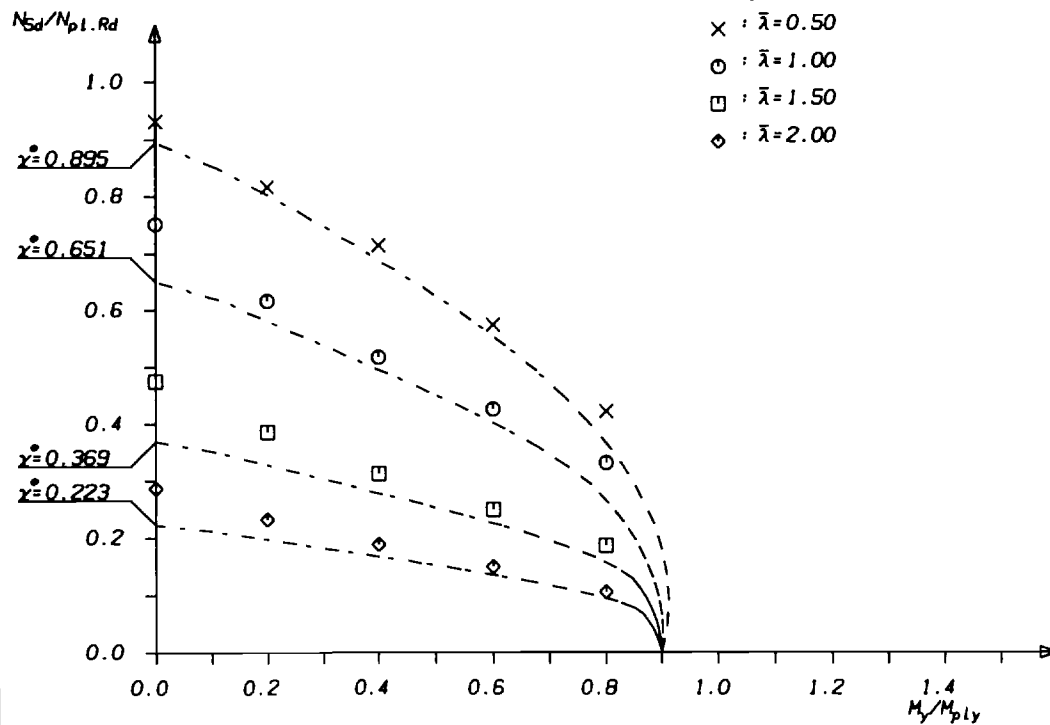
Traglastkurven mit Vorverformungen



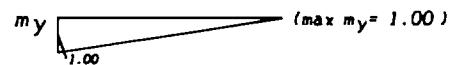
Rundrohr 800x15
Vorverformung 1/300

Dr. R. Bergmann
Bauingenieur
W i l l e n

Traglastkurven mit Vorverformungen



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

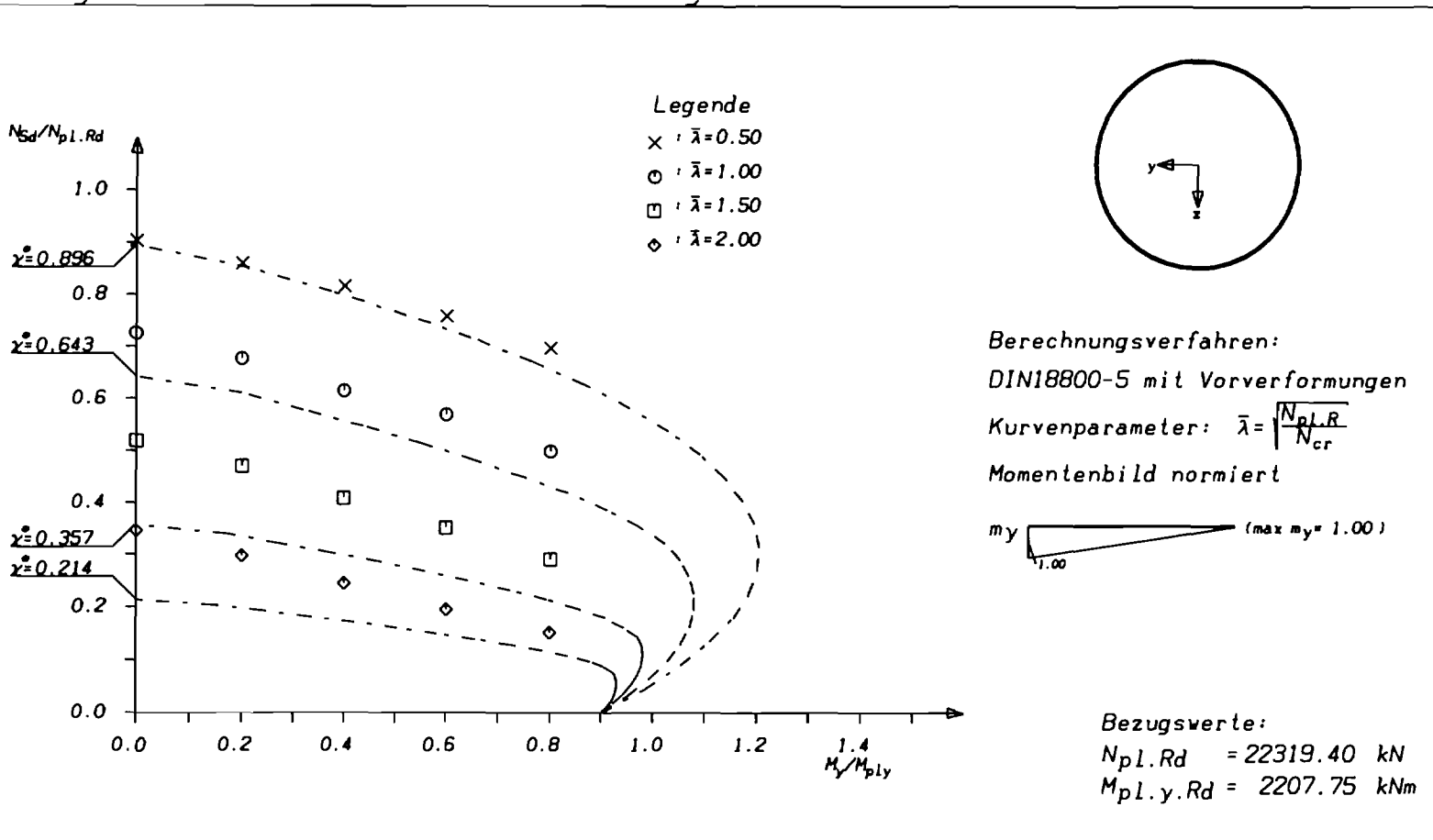


Bezugswerte:
 $N_{pl.Rd} = 38737.88 \text{ kN}$
 $M_{pl.y.Rd} = 7182.69 \text{ kNm}$

Rundrohr 800x25 28φ28
Vorverformung 1/300

Dr. R. Bergmann
Bauingenieur
Hiltl e n

Traglastkurven mit Vorverformungen



Rundrohr 900x10
Vorverformung 1/300

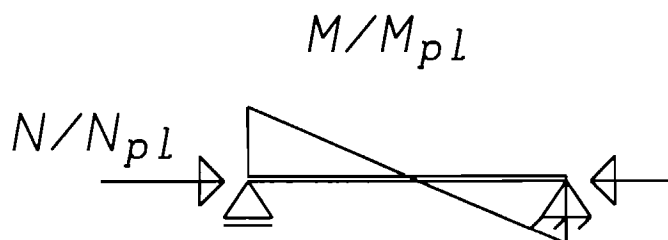
Dr. R. Bergmann
Beulingenieur
M I T T E N

Dr.-Ing. R. Bergmann
Beratender Ingenieur für Bauwesen
Himmelohstr. 127
D-58454 Witten
Tel.: +49 (0) 2302 -49749

Anhang 3c

Vergleich der Traglasten
für
Druck und Biegung
aus
genauer Rechnung
und
Vorverformungen

gegengleiche Randmomente

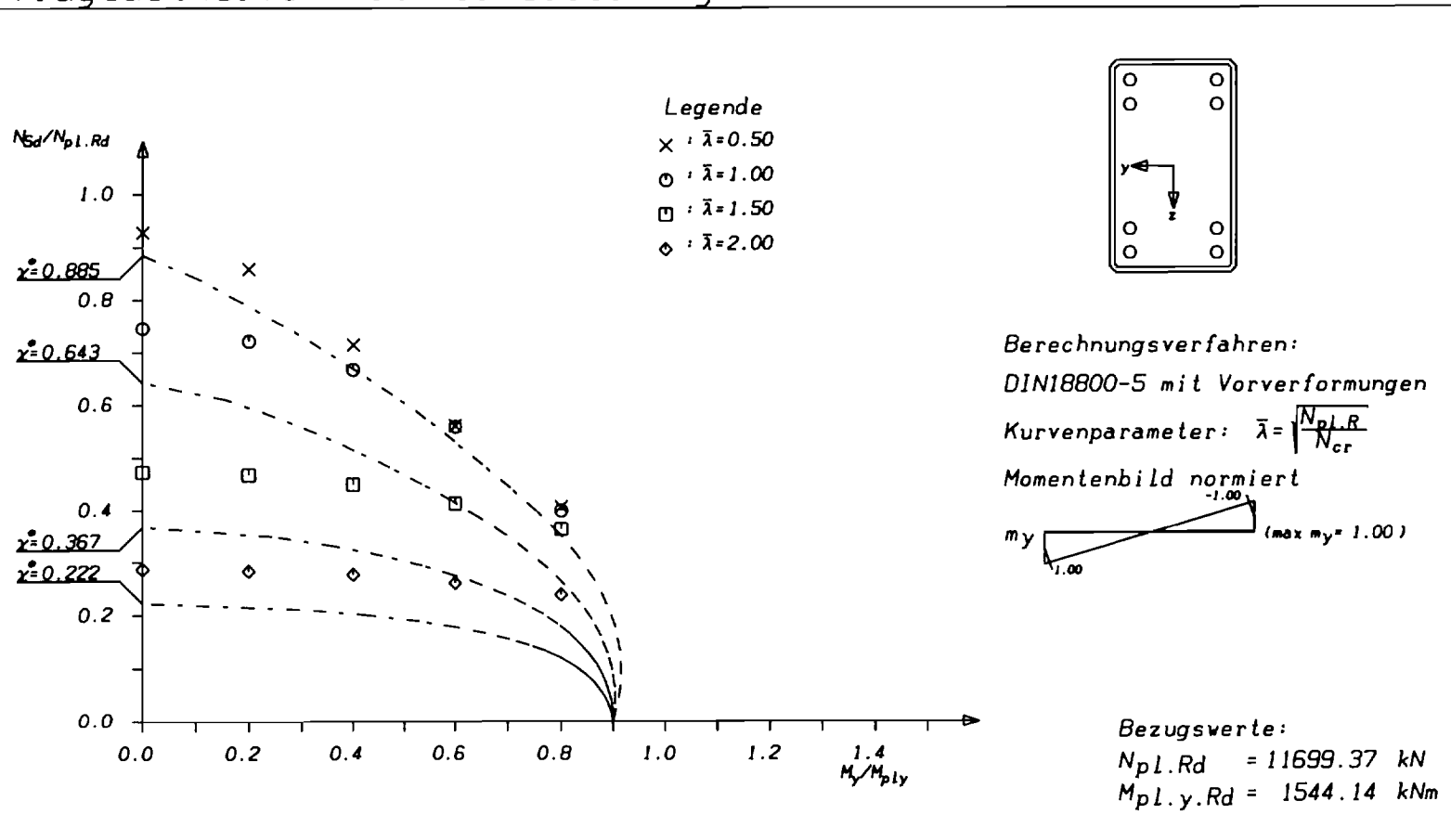


Berechnung mit

----- *Vorverformungen*

x o □ ◇ *genauer Methode*

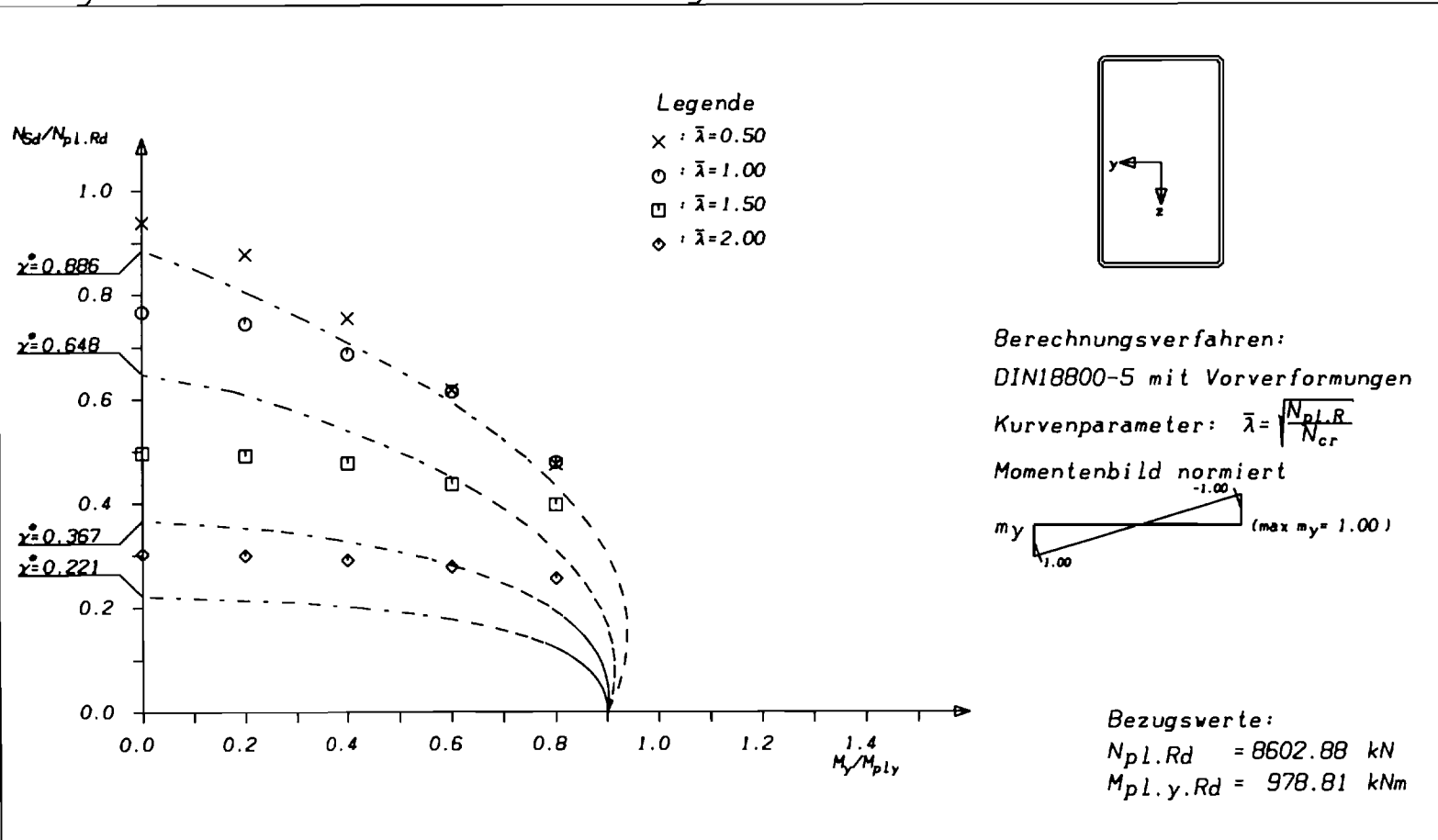
Traglastkurven mit Vorverformungen



Rechteck 500x300x12.5 8Ø28
Vorverformung 1/300

Dr. R. Bergmann
Bauingenieur
W i l l e n

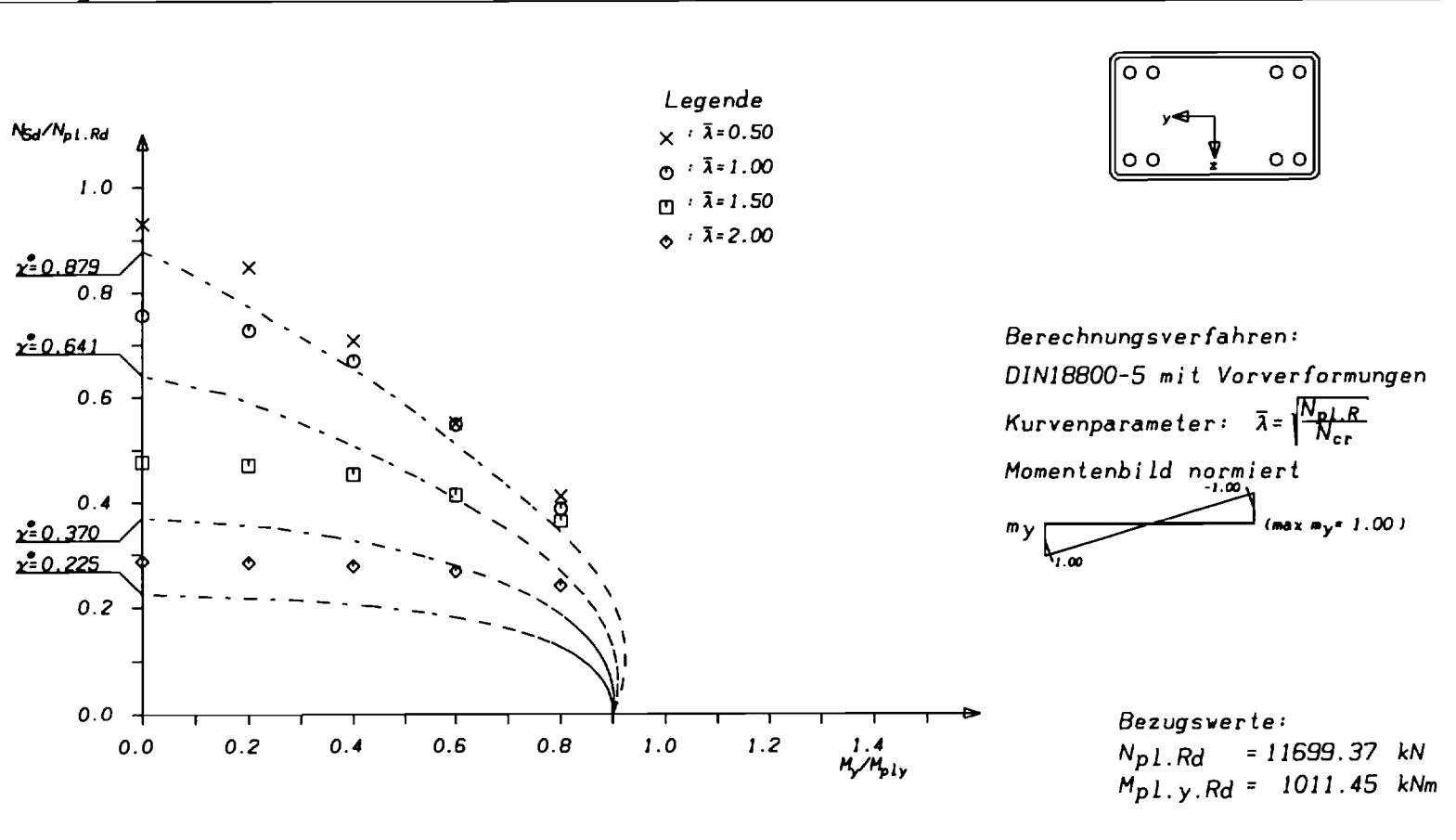
Traglastkurven mit Vorverformungen



Rechteck 500x300x10.0
Vorverformung 1/300

Dr. R. Bergmann
Bauingenieur
Hiltl

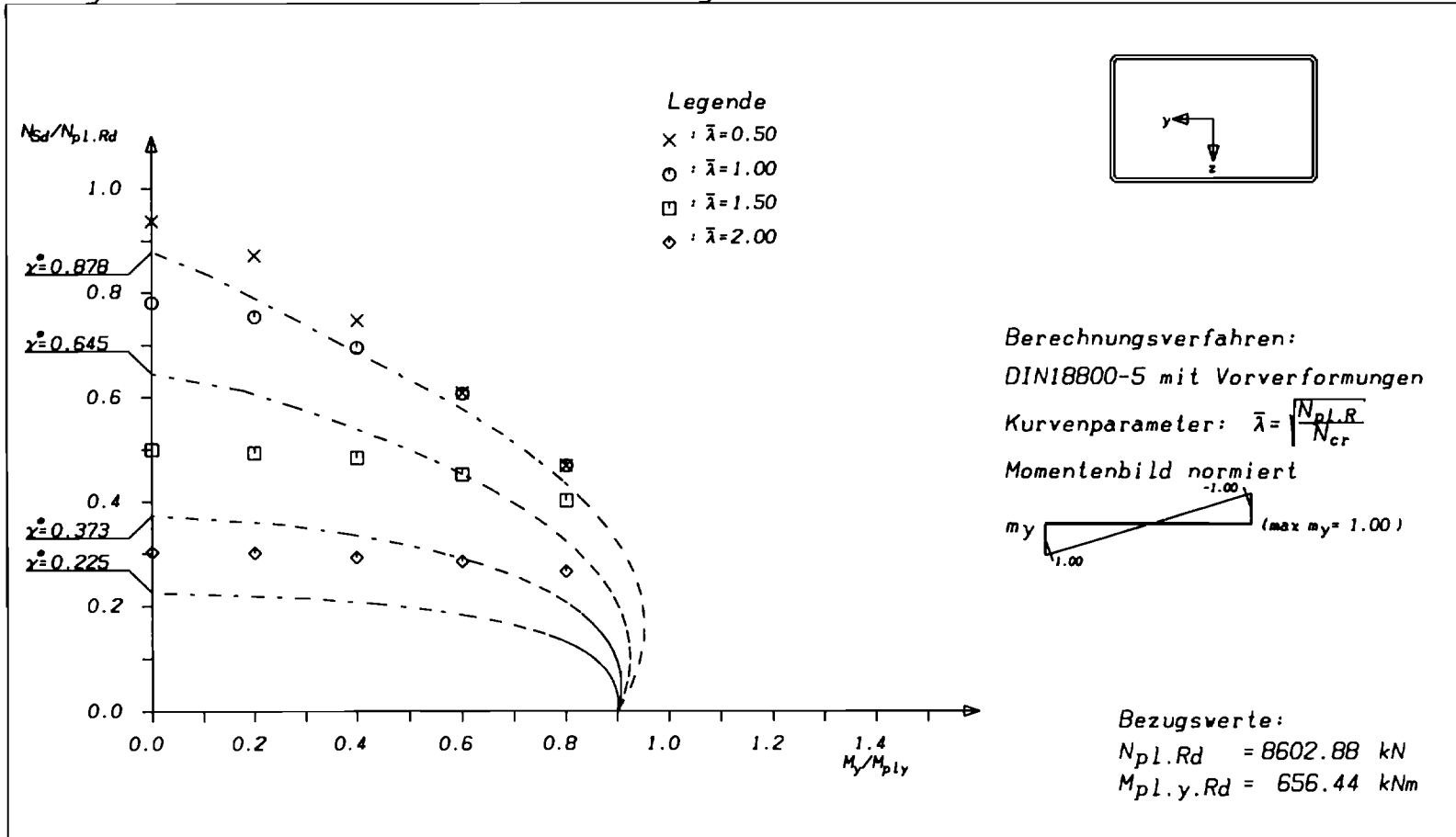
Traglastkurven mit Vorverformungen



Rechteck 300x500x12.5 8φ28
Vorverformung 1/300

Dr. R. Bergmann
Bauingenieur
Witten

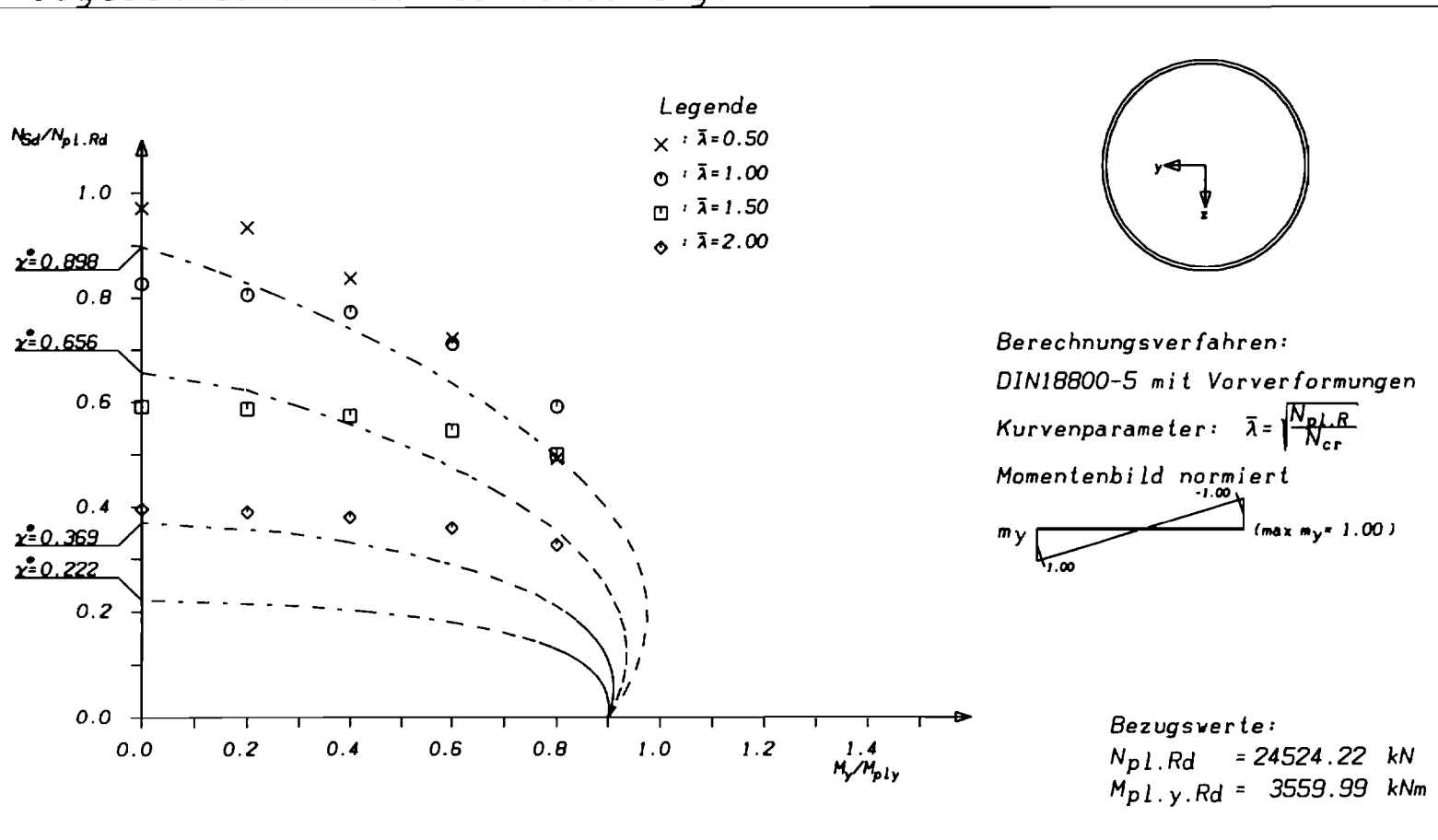
Traglastkurven mit Vorverformungen



Rechteck 300x500x10.0
 Vorverformung 1/300

Dr. R. Bergmann
 Bauingenieur
 Hiltl

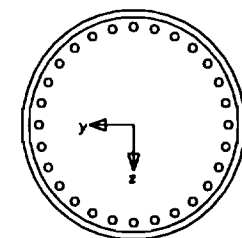
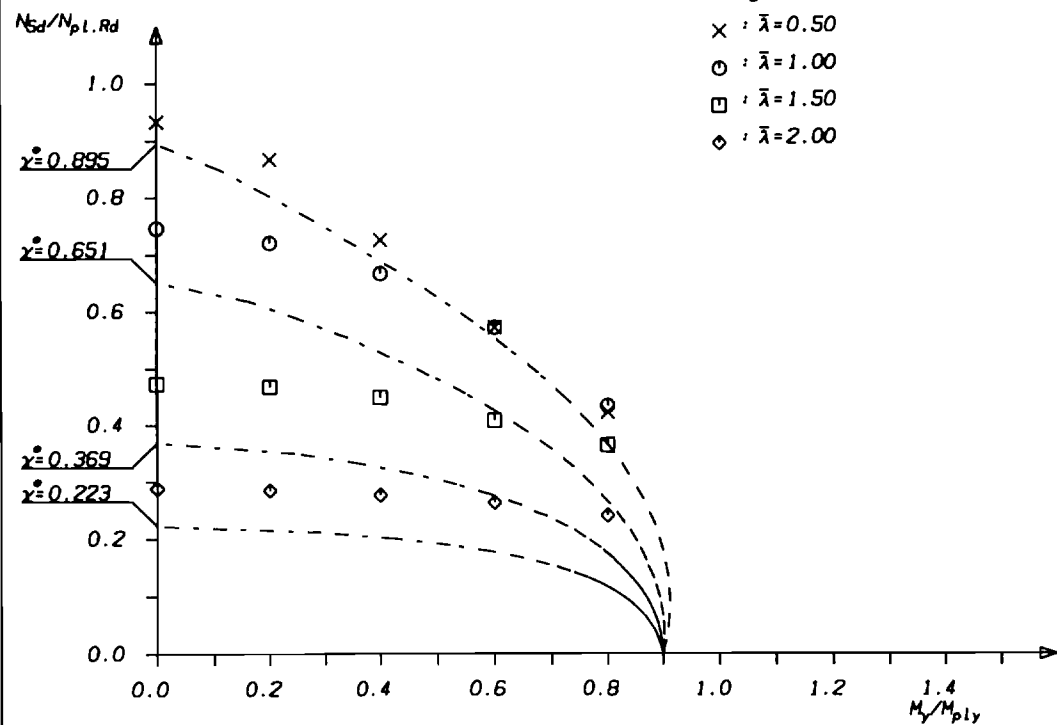
Traglastkurven mit Vorverformungen



Rundrohr 800x15
Vorverformung 1/300

Dr. R. Bergmann
Beuingenieur
M I L L E N

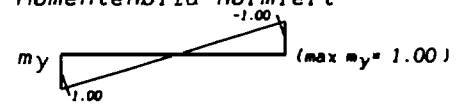
Traglastkurven mit Vorverformungen



Berechnungsverfahren:
DIN18800-5 mit Vorverformungen

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

Momentenbild normiert

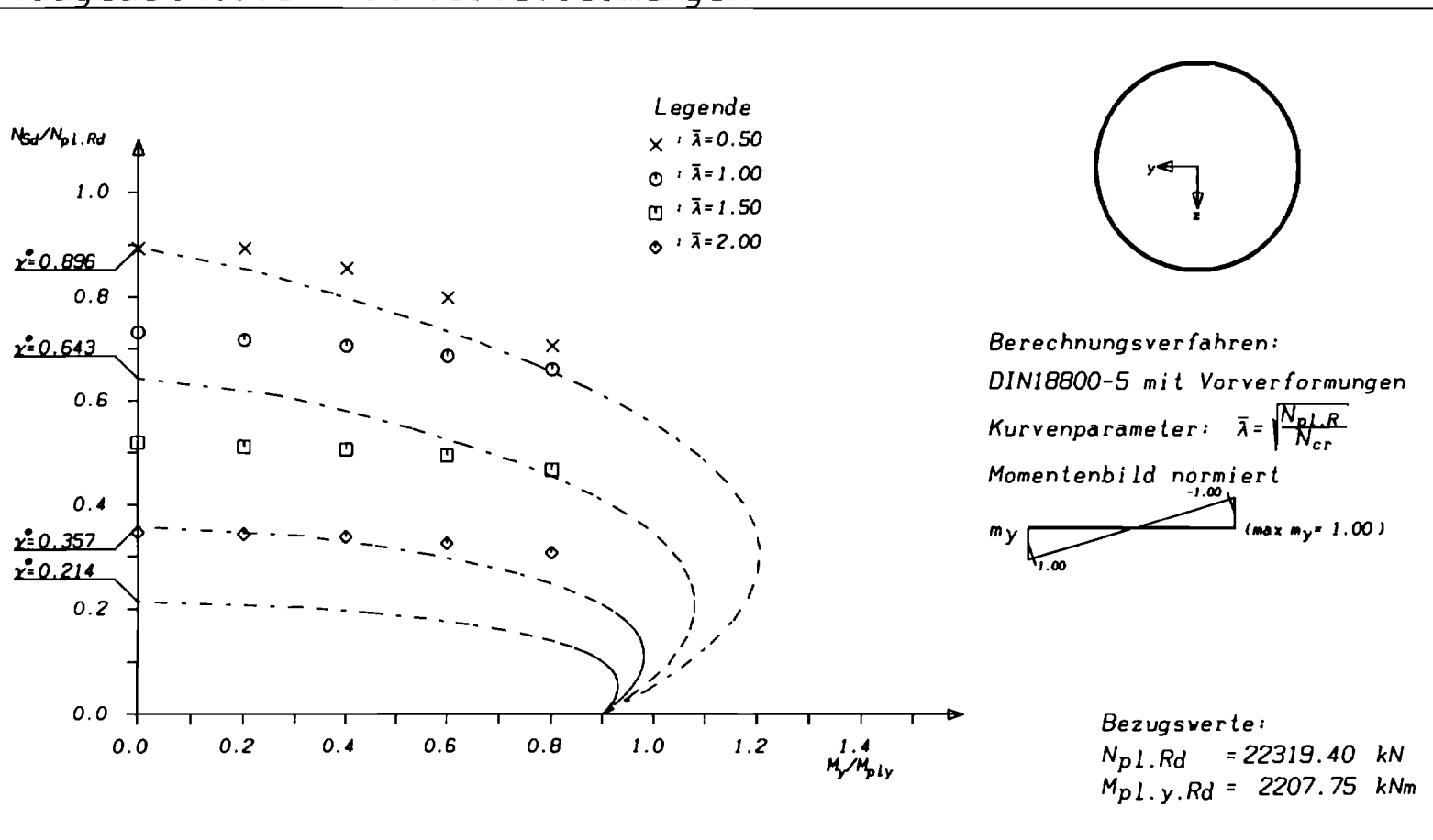


Bezugswerte:
 $N_{pl,Rd} = 38737.88 \text{ kN}$
 $M_{pl,y,Rd} = 7182.69 \text{ kNm}$

Rundrohr 800x25 28φ28
Vorverformung 1/300

Dr. R. Bergmann
Bauingenieur
Witten

Traglastkurven mit Vorverformungen



Rundrohr 900x10
Vorverformung 1/300

Dr. R. Bergmann
Bauingenieur
Hiltl