

AD 2000-Merkblatt

ICS 23.020.30

Ausgabe September 2001

Sonderfälle	Allgemeiner Standsicherheitsnachweis für Druckbehälter Behälter mit Tragpratzen	AD 2000-Merkblatt S 3/4
--------------------	--	------------------------------------

Die AD 2000-Merkblätter werden von den in der „Arbeitsgemeinschaft Druckbehälter“ (AD) zusammenarbeitenden, nachstehend genannten sieben Verbänden aufgestellt. Aufbau und Anwendung des AD 2000-Regelwerkes sowie die Verfahrensrichtlinien regelt das AD 2000-Merkblatt G1.

Die AD 2000-Merkblätter enthalten sicherheitstechnische Anforderungen, die für normale Betriebsverhältnisse zu stellen sind. Sind über das normale Maß hinausgehende Beanspruchungen beim Betrieb der Druckbehälter zu erwarten, so ist diesen durch Erfüllung besonderer Anforderungen Rechnung zu tragen.

Wird von den Forderungen dieses AD 2000-Merkblattes abgewichen, muss nachweisbar sein, dass der sicherheitstechnische Maßstab dieses Regelwerkes auf andere Weise eingehalten ist, z. B. durch Werkstoffprüfungen, Versuche, Spannungsanalyse, Betriebserfahrungen.

Fachverband Dampfkessel-, Behälter- und Rohrleitungsbau e.V. (FDBR), Düsseldorf

Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften e.V., Sankt Augustin

Verband der Chemischen Industrie e.V. (VCI), Frankfurt/Main

Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau e.V. (VDMA), Fachgemeinschaft Verfahrenstechnische Maschinen und Apparate, Frankfurt/Main

Verein Deutscher Eisenhüttenleute (VDEh), Düsseldorf

VGB PowerTech e.V., Essen

Verband der Technischen Überwachungs-Vereine e.V. (VdTÜV), Essen

Die AD 2000-Merkblätter werden durch die Verbände laufend dem Fortschritt der Technik angepasst. Anregungen hierzu sind zu richten an den Herausgeber:

Verband der Technischen Überwachungs-Vereine e.V., Postfach 10 38 34, 45038 Essen.

Inhalt

- | | |
|-------------------------------|---|
| 0 Präambel | 6 Nachweis der Druckbehälterwand |
| 1 Geltungsbereich | 7 Nachweis der Tragpratzen |
| 2 Allgemeines | 8 Schrifttum |
| 3 Formelzeichen und Einheiten | Anhang 1: Formeln für Schnittkräfte und -momente
in einer Zylinderschale |
| 4 Bezeichnungen | Anhang 2: Erläuterungen |
| 5 Belastung | |

0 Präambel

Zur Erfüllung der grundlegenden Sicherheitsanforderungen der Druckgeräte-Richtlinie kann das AD 2000-Regelwerk angewandt werden, vornehmlich für die Konformitätsbewertung nach den Modulen „G“ und „B + F“.

Das AD 2000-Regelwerk folgt einem in sich geschlossenen Auslegungskonzept. Die Anwendung anderer technischer Regeln nach dem Stand der Technik zur Lösung von Teilproblemen setzt die Beachtung des Gesamtkonzeptes voraus.

Bei anderen Modulen der Druckgeräte-Richtlinie oder für andere Rechtsgebiete kann das AD 2000-Regelwerk sinngemäß angewandt werden. Die Prüfständigkeit richtet sich nach den Vorgaben des jeweiligen Rechtsgebietes.

1 Geltungsbereich

Mit diesem AD 2000-Merkblatt kann der Nachweis für stehende zylindrische Behälter auf Tragpratzen geführt werden. Er erfolgt getrennt für die örtlichen Zusatzbeanspruchungen in der Druckbehälterwand im Bereich der Tragpratze und für die Tragpratze selbst.

Wesentliche Spannungserhöhungen im Sinne von AD 2000-Merkblatt B 0 Abschnitt 4.5 im Bereich der Pratzen sind insbesondere bei dünnwandigen Behältern ($e/D_a < 0,005$) sowie großen Pratzenkräften infolge großer Füll- oder Zusatzgewichte, Wind bei großen Schlankheiten ($H/D_a > 5$) sowie großen Querschleunigungen zu erwarten.

Die Berechnung gilt für Werte $e/D_a \geq 0,003$. Außerhalb dieses Bereiches sind besondere Untersuchungen unter Berücksichtigung der Stabilität durchzuführen, z. B. nach [6].

Die Anwendung dieses AD 2000-Merkblattes setzt Verstärkungsbleche voraus, deren Ränder in der Regel mindestens $\sqrt{D_a \cdot e}$ von den Zylinderenden entfernt sein sollten. Tragpratzen ohne Verstärkungsblech können z. B. nach [6] nachgewiesen werden.

2 Allgemeines

Dieses AD 2000-Merkblatt ist nur in Zusammenhang mit AD 2000-Merkblatt S 3/0 anzuwenden.

Ersatz für Ausgabe Oktober 2000; | = Änderungen gegenüber der vorangehenden Ausgabe

Die AD 2000-Merkblätter sind urheberrechtlich geschützt. Die Nutzungsrechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, der Entnahme von Abbildungen, die Wiedergabe auf fotomechanischem Wege und die Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben, auch bei auszugsweiser Verwertung, dem Urheber vorbehalten.

Die Konstruktion der Tragpratze sollte nach DIN 28 083 T.1 oder in enger Anlehnung daran erfolgen.

Bei einer Konstruktion mit einem Verstärkungsblech ist die Verbindung zwischen Verstärkungsblech und Behälterwand als durchgehende Kehlnaht mit einer Dicke von mindestens $0,7 \cdot e$ auszuführen. Ein Nachweis dieser Naht ist nicht erforderlich.

Auf den Nachweis von Schweißnähten kann verzichtet werden, wenn diese voll durchgeschweißt sind oder wenn bei beidseitigen Kehlnähten die Dicke beider Kehlnähte mindestens das 0,7-fache der kleinsten beteiligten Wanddicke beträgt.

Es wird vorausgesetzt, dass die auf die Pratzen wirkenden Horizontalkräfte infolge Wind und Querbeschleunigungen so klein sind, dass die hieraus resultierenden Beanspruchungen vernachlässigt werden können.

Die schweißgerechte Gestaltung der Schweißnähte erfolgt in Anlehnung an DIN EN 1708.

3 Formelzeichen und Einheiten

Über die Festlegungen des AD 2000-Merkblattes B 0 hinaus gilt:

a_b	Abstand der Stegbleche (vgl. Bild 1)	in mm
a_e	Exzentrizität der Normalkraft im Stegblech (vgl. Bild 6)	in mm
a_p	Exzentrizität des Lastangriffs auf die Zylinderwand (vgl. Bild 1)	in mm
a_s	Exzentrizität des Lastangriffs auf das Stegblech (vgl. Bild 6)	in mm
b_a	Breite des Auflagerblechs (vgl. Bild 1)	in mm
b_s	Breite des Ersatzstegbleches (vgl. Bild 6)	in mm
b_v	Breite des Verstärkungsbleches (vgl. Bild 1)	in mm
	Blechdicken ohne Zuschläge:	in mm
e	Zylinderwanddicke ohne Zuschläge	in mm
e_a	Dicke des Auflagerblechs (vgl. Bild 1)	in mm
e_s	Dicke des Stegblechs (vgl. Bild 1)	in mm
e_v	Dicke des Verstärkungsbleches (vgl. Bild 1)	in mm
h_p	Höhe der Pratze (vgl. Bild 1)	in mm
h_v	Höhe des Verstärkungsbleches (vgl. Bild 1)	in mm
k	Hilfswert	—
l_s	Länge des Ersatzstegblechs (vgl. Bild 6)	in mm
t_p	Tiefe der Pratze (vgl. Bild 1)	in mm
C_L	Hilfswert	—
C_p	Plattenbemessungswert	—
F_s	Ankerschraubenkraft	in N
H	Höhe des Behälters	in mm
K_L	Hilfswert	—
M	Schnittmoment	in N mm
M_L	Lastmoment	in N mm
N	Schnittkraft	in N
N_F	Pratzenkraft	in N
N_s	Normalkraft im Stegblech (vgl. Bild 6)	in N
R_m	mittlerer Radius des Zylinders	in mm
α	Stegneigungswinkel	in °
β	Beiwert	—
β_M	Hilfswert	—
γ	Beiwert	—
λ	Schlankheitsgrad	—

Indizes

a	Auflagerblech
b	Biegeanteil bei Spannungen
d	Druck
m	Membrananteil bei Spannungen
s	Steg
v	Verstärkungsblech
x	in Längsrichtung
z	Zug
B	Boden
V	Vergleichs-
Φ	in Umfangsrichtung

4 Bezeichnungen

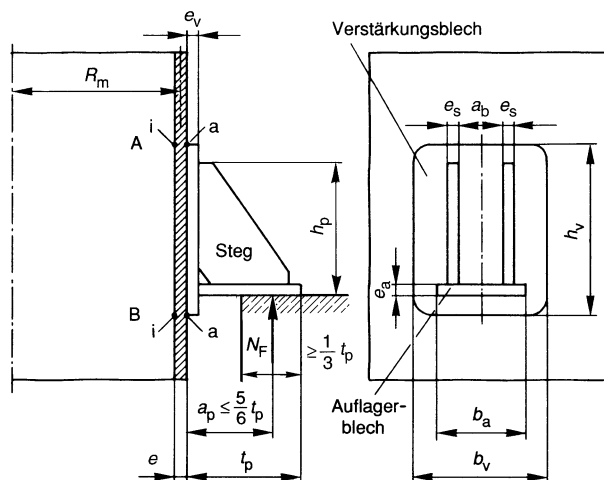


Bild 1. Zylinder mit Tragpratzen

5 Belastung

Unter Berücksichtigung der vom Besteller gemäß AD 2000-Merkblatt S 3/0 Abschnitt 4 festgelegten Lastfälle sind die Nachweise mit der Pratzenkraft zu führen, die in dem jeweils betrachteten Bauteil die größten Beanspruchungen hervorruft.

Für die Berechnung der Pratzenkraft N_F wird auf AD 2000-Merkblatt S 3/0 Abschnitt 4.4 verwiesen.

6 Nachweis der Druckbehälterwand

Der Druckbehälter wird im Bereich einer Tragpratze durch das Lastmoment

$$M_L = N_F \cdot a_p \quad (1)$$

und den Innendruck p_{ges} gemäß AD 2000-Merkblatt B 0 Abschnitt 4 belastet.

Zunächst werden die Beiwerte

$$\beta = \frac{\sqrt[3]{b_v \cdot h_v^2}}{2 R_m} \quad (2)$$

$$\gamma = \frac{R_m}{e} \quad (3)$$

gebildet.

Anschließend sind aus der Tafel 1 die Hilfswerte $C_{L\Phi}$, C_{Lx} , $K_{L\Phi}$ und K_{Lx} in Abhängigkeit von h_v/b_v und γ zu ermitteln und

Tafel 1: Hilfswerte $C_{L\Phi}$, C_{Lx} , $K_{L\Phi}$ und K_{Lx} in Abhängigkeit von h_v/b_v und γ

h_v/b_v	γ	$C_{L\Phi}$	C_{Lx}	$K_{L\Phi}$	K_{Lx}
0,25	15	0,75	0,43	1,80	1,24
	50	0,77	0,33	1,65	1,16
	100	0,80	0,24	1,59	1,11
	300	0,90	0,07	1,56	1,11
0,5	15	0,90	0,76	1,08	1,04
	100	0,97	0,68	1,07	1,02
	300	1,10	0,60	1,05	1,02
2	15	0,87	1,30	0,94	1,12
	100	0,81	1,15	0,89	1,07
	300	0,80	1,50	0,79	0,90
4	15	0,68	1,20	0,90	1,24
	100	0,51	1,03	0,81	1,12
	300	0,50	1,33	0,64	0,83

$$\beta_{M\Phi} = \beta \cdot K_{L\Phi} \quad (4)$$

$$\beta_{Mx} = \beta \cdot K_{Lx} \quad (5)$$

zu errechnen.

Aus den Bildern 2 bis 5 werden die dimensionslosen Schnittkräfte und -momente $(N_\Phi \cdot R_m^2 \cdot \beta / M_L)$, $(N_x \cdot R_m^2 \cdot \beta / M_L)$, $(M_\Phi \cdot R_m \cdot \beta_{M\Phi} / M_L)$ und $(M_x \cdot R_m \cdot \beta_{Mx} / M_L)$ entnommen und in den Berechnungsgang nach Tafel 2 (Beispiel für einen Lastfall) eingesetzt. Anstelle der Bilder 2 und 5 können auch die Formeln nach Anhang 1 verwendet werden.

Bei ausgekleideten Behältern ist die Dehnfähigkeit des Auskleidungswerkstoffes zu berücksichtigen.

7 Nachweis der Tragpratzen

7.1 Auflagerblech der Tragpratze

Das Auflagerblech ist so zu dimensionieren und gegebenenfalls auszusteifen, dass keine unzulässigen Biegebeanspruchungen auftreten.

Mit der maximalen Bodenpressung

$$\sigma_B = \frac{3 \cdot N_{Fd}}{b_a \cdot t_p}, \quad (6)$$

deren Größe von dem Abstand a_p abhängt, ergibt sich die notwendige Dicke des Auflagerbleches nach

$$e_a \geq C_p \cdot a_b \sqrt{\frac{\sigma_B}{f_a}} \quad (7)$$

mit $C_p = 0,5$ für Abmessungen ähnlich DIN 28 083 Teil 1 und $C_p = 0,71$ für andere Abmessungen.

Im Falle einer Verankerung der Pratze für die Zugkraft N_{Fz} gilt für die Dicke des Auflagerbleches zusätzlich die Bedingung

$$e_a \geq 0,72 \sqrt{\left(\left[N_{Fz} \cdot a_b \right] / \left[(t_p - e_v - d_t) f_a \right] \right)} \quad (8)$$

mit $e_a \leq 3 e_s$, d_t = Lochdurchmesser.

Detaillierte Nachweise mit Hilfe z. B. der Methode der FE-Berechnung oder die Anwendung analytischer Lösungen z. B. der dreiseitig gelagerten Platte liefern im Einzelfall genauere Ergebnisse.

7.2 Ankerschrauben

Falls eine Verankerung gemäß AD 2000-Merkblatt S 3/0 Abschnitt 4.4 notwendig wird, erfolgt der Spannungsnach-

Tafel 2. Berechnungsgang

Nr.	Spannungen (N/mm ²)	Pkt.	innen	außen
1	$\sigma_{mp\Phi} = R_m \cdot p / (10 \cdot e)$	A = B	+	
2	$\sigma_{mpx} = R_m \cdot p / (20 \cdot e)$	A = B	+	
3	$\bar{\sigma}_{m\Phi} = \left(\frac{N_\Phi \cdot R_m^2 \cdot \beta}{M_L} \right) \frac{M_L \cdot C_{L\Phi}}{R_m^2 \cdot \beta \cdot e}$	A	-	
		B	+	
4	$\bar{\sigma}_{mx} = \left(\frac{N_x \cdot R_m^2 \cdot \beta}{M_L} \right) \frac{M_L \cdot C_{Lx}}{R_m^2 \cdot \beta \cdot e}$	A	-	
		B	+	
5	$\sigma_{m\Phi} = \sigma_{mp\Phi} + \bar{\sigma}_{m\Phi}$	A		
		B		
6	$\sigma_{mx} = \sigma_{mpx} + \bar{\sigma}_{mx}$	A		
		B		
7	$\sigma_{mV} = \sqrt{\sigma_{m\Phi}^2 + \sigma_{mx}^2} - \sigma_{m\Phi} \cdot \sigma_{mx} \leq f \cdot 1,5$	A		
		B		
8	$\sigma_{b\Phi} = \left(\frac{M_\Phi \cdot R_m \cdot \beta_{M\Phi}}{M_L} \right) \frac{6 \cdot M_L}{R_m \cdot \beta_{M\Phi} \cdot e^2}$	A	+	-
		B	-	+
9	$\sigma_{bx} = \left(\frac{M_x \cdot R_m \cdot \beta_{Mx}}{M_L} \right) \frac{6 \cdot M_L}{R_m \cdot \beta_{Mx} \cdot e^2}$	A	+	-
		B	-	+
10	$\sigma_\Phi = \sigma_{m\Phi} + \sigma_{b\Phi}$	A		
		B		
11	$\sigma_x = \sigma_{mx} + \sigma_{bx}$	A		
		B		
12	$\sigma_{gesV} = \sqrt{\sigma_\Phi^2 + \sigma_x^2} - \sigma_\Phi \cdot \sigma_x$	A		
		B		
13	$q = \frac{\sigma_{mV}}{K}$	A		
		B		
14	$Z = 1,5 - 0,5 \cdot q^2$	A		
		B		
15	zul $\sigma_{gesV} = 1,5 \cdot Z \cdot f$	A		
		B		

weis des Ankers gemäß AD 2000-Merkblatt S 3/0 Abschnitt 4.3.2.3 und 4.3.4.3 unter

$$F = \max \left\{ \frac{N_{Fz}}{n}; F_v \right\}$$

F_v = Vorspannung der Schraube

n = Schraubenanzahl je Pratze

7.3 Stege der Tragpratze

Für die Nachweise wird der Steg durch eine Rechteckplatte der Länge l_s und der Breite b_s idealisiert, die um den Winkel α gegen die Horizontale geneigt ist (Bild 6). Die Gerade durch die Punkte 1 und 2 wird als Bezugsgerade definiert. Der Winkel α ist der Winkel zwischen der Bezugsgeraden und der Horizontalen. Die Breite b_s ist der kleinere

Wert aus den Abständen der Punkte 3 und 4 zur Bezugsgeraden.

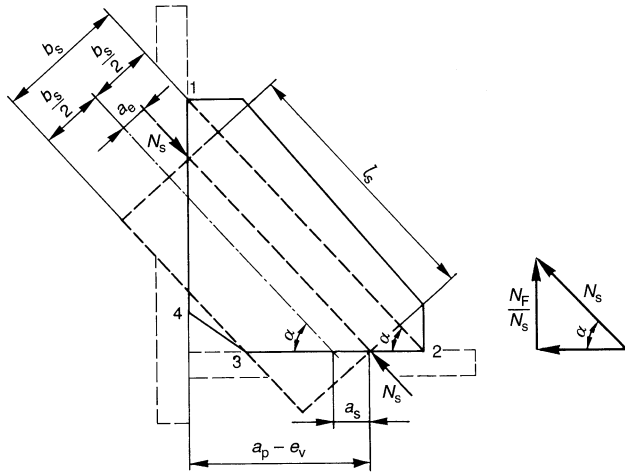


Bild 6. Steg der Tragpratze

Bei n_s Stegen je Tragpratze wird in dem Ersatzstegblech eine um

$$a_e = a_s \cdot \sin \alpha \quad (9)$$

exzentrisch wirkende Normalkraft

$$N_s = \frac{N_F}{n_s \cdot \sin \alpha} \quad (10)$$

erzeugt.

Die größte Spannung ergibt sich am freien Rand des Stegblechs nach:

$$\max \sigma = \frac{N_s}{e_s \cdot b_s} \left(1 + 6 \cdot \frac{a_e}{b_s} \right) \leq f_s \quad (11)$$

Zusätzlich zum Spannungsnachweis ist ein Stabilitätsnachweis zu führen. Der obere Rand des Steges, an dem die größte Druckspannung auftritt, wird durch einen beidseitig eingespannten Stab der Breite 1 idealisiert,

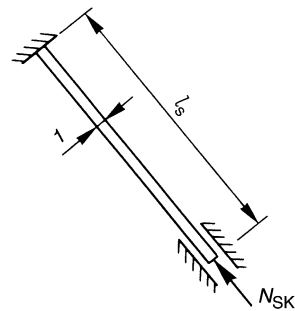


Bild 7. Stabilitätssystem für den Steg der Tragpratzen

der mit der Kraft

$$N_{SK} = 1 \cdot e_s \cdot \max \sigma \quad (12)$$

belastet wird.

Im Schlankheitsbereich

$$\lambda = \frac{l_s}{e_s} \cdot \sqrt{3} \leq \lambda_0 \approx \pi \cdot \sqrt{\frac{E}{S \cdot f_s}} \quad (13)$$

beträgt die zulässige Knickkraft

$$\text{zul } N_{SK} = f_s \cdot e_s \left[1 - \frac{\lambda}{\lambda_0} \cdot \left(1 - \frac{S}{S_K} \right) \right] \quad (14)$$

mit $S_K = 3$ für den Betriebsfall und

$S'_K = 2,25$ für den Prüffall.

S_K für andere Lastfälle siehe AD 2000-Merkblatt S 3/0 Abschnitt 4.2. Für größere Schlankheitsgrade λ beträgt die zulässige Knickkraft

$$\text{zul } N_{SK} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot e_s^3}{3 \cdot S_K \cdot l_s^2} \quad (15)$$

Ein evtl. weniger konservativer Stabilitätsnachweis kann nach Maßgabe der Stegblechgeometrie und Lagerung nach z. B. [4] geführt werden.

7.4 Verstärkungsblech

Bei Verstärkungsblechen, die den Bedingungen

$$1,0 \leq \frac{h_v}{b_v} \leq 1,3 \quad \text{und} \quad (16)$$

$$\frac{b_a}{b_v} \geq 0,8 \quad \text{und} \quad (17)$$

$$\frac{h_p}{h_v} \geq 0,8 \quad (18)$$

genügen, kann die Wanddicke des Verstärkungsblechs nach

$$e_v = 0,67 \cdot \sqrt{\frac{M_L}{k \cdot f_v}} \quad (19)$$

mit $k = \sqrt[3]{b_v^2 \cdot h_v}$ berechnet werden.

Für alle anderen Fälle wird auf BS 5500 Abschnitt G.3.1.5 verwiesen. Eine sehr sichere Dimensionierung kann mit Hilfe eines Balkenmodells durchgeführt werden. Für die Länge des Balkens ist die Höhe h_v des Verstärkungsblechs und für die Belastungslänge h_p anzunehmen.

Für die Dicke des Verstärkungsblechs gelten die Grenzen

$$e \leq e_v \leq 1,5 \cdot e \quad (20)$$

8 Schrifttum

- [1] Wichman, K. R., A. G. Hopper and J. L. Merzhon: Local Stresses in Spherical and Cylindrical Shells due to External Loadings.
WRC Bulletin 107 (Rev. March 1979), Editor C. F. Larson, New York.
- [2] Ciprian, J.: Ausgewählte Kapitel aus nationalen und internationalen Regelwerken zur Frage der Auslegung von Druckbehältern.
Verfahrenstechnik H 14 (1980) Nr. 1, S. 49 ff.
- [3] Nádaí, A.: Die elastischen Platten.
Berlin, 1968.
- [4] DIN 18 800 Teil 3 – Stahlbauten; Stabilitätsfälle; Plattenbeulen.
- [5] Young, W. C.: Roark's Formulas for Stress and Strain.
McGraw-Hill Book Company.
- [6] Richtlinienkatalog Festigkeit RKF, Teil 2, BR-A 61 – Tragpratzen –, 3. Auflage 1979.
VEB Komplette Chemieanlagen Dresden (jetzt: Linde-KCA-Dresden GmbH).

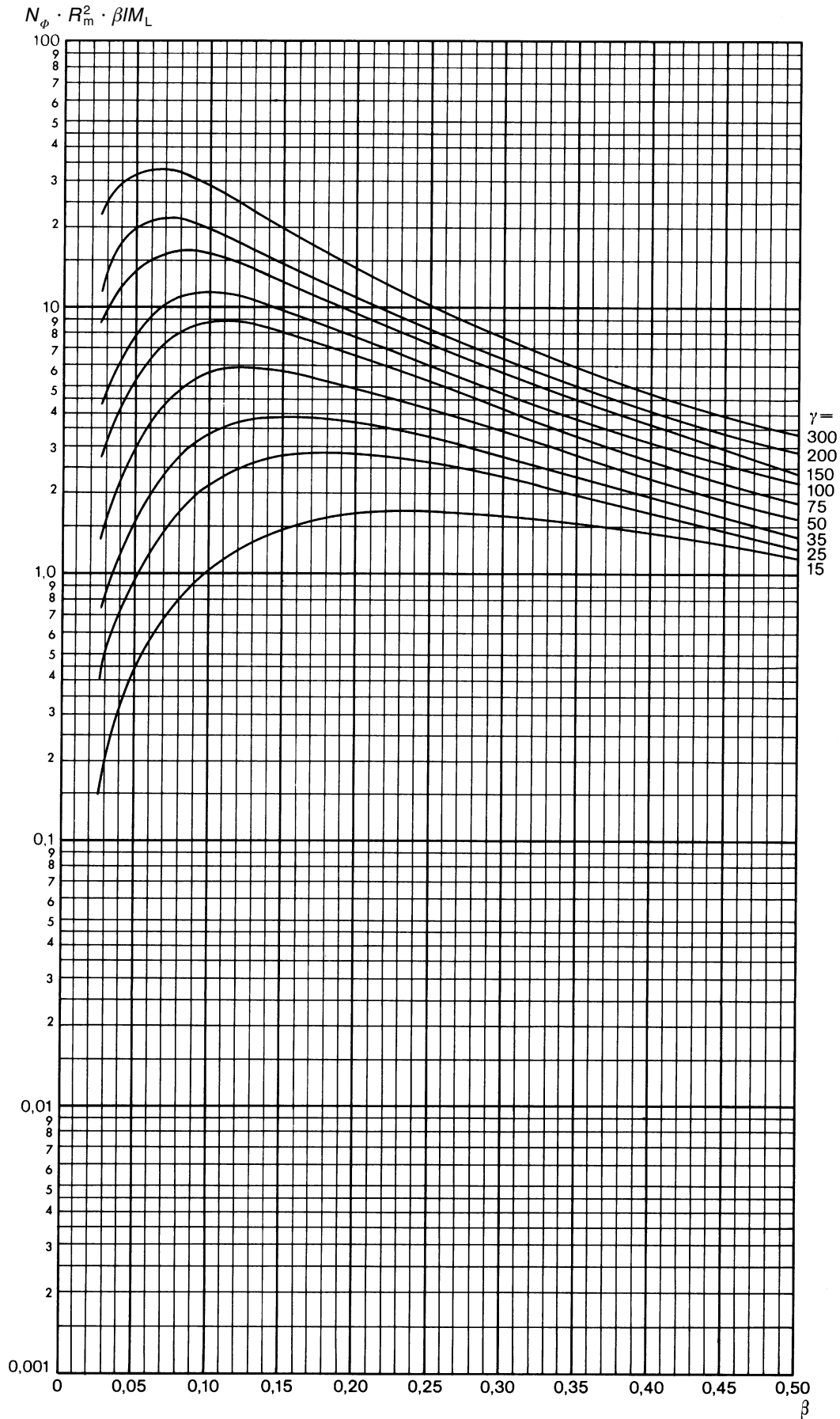


Bild 2. Schnittkraft N_ϕ in Umfangsrichtung einer Zylinderschale, hervorgerufen durch ein äußeres Moment in Längsrichtung M_L (entspr. Fig. 3 B nach [1])

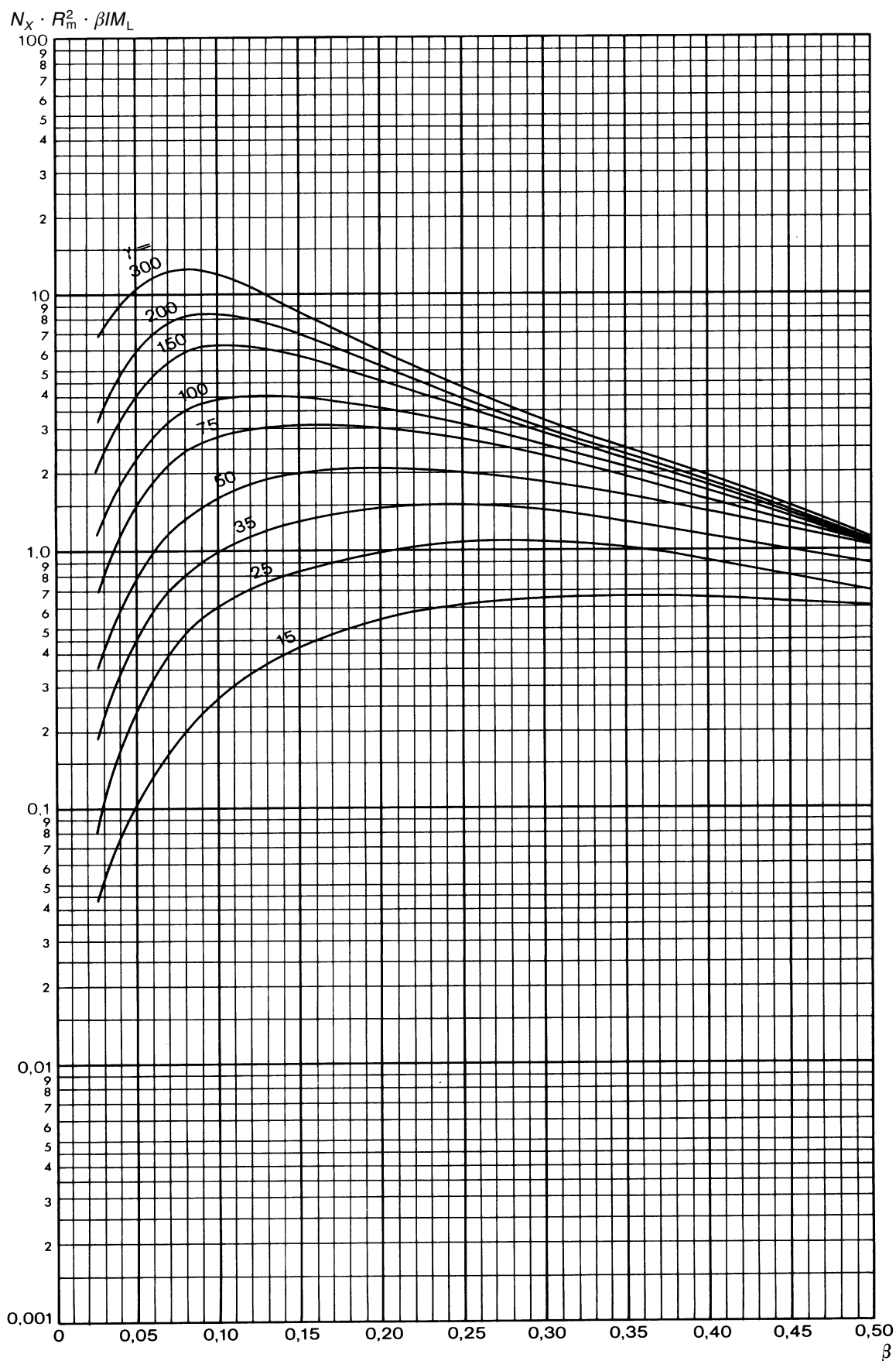


Bild 3. Schnittkraft N_x in Längsrichtung einer Zylinderschale, hervorgerufen durch ein äußeres Moment in Längsrichtung M_L (entspr. Fig. 4 B nach [1])

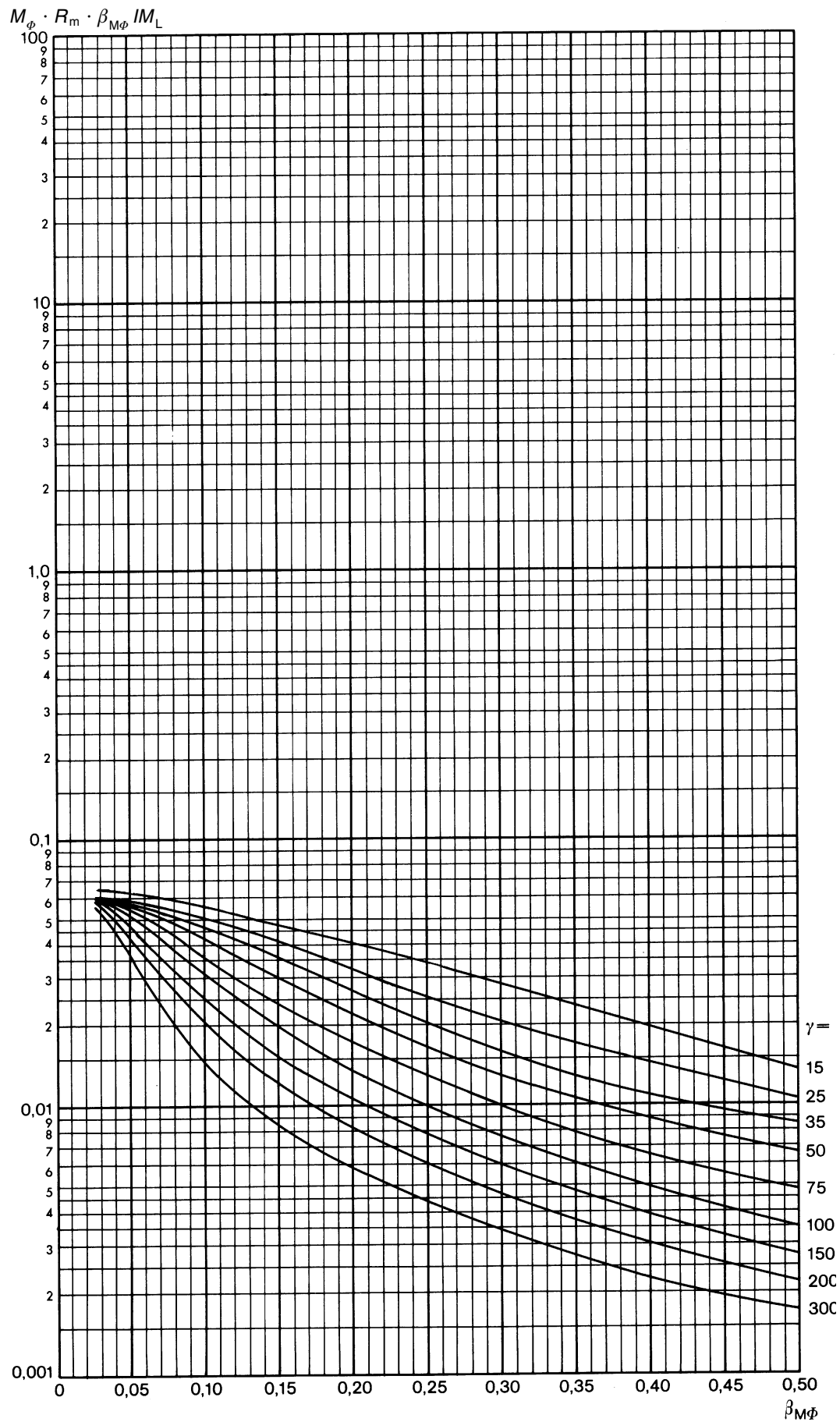


Bild 4. Schnittmoment M_ϕ in Umfangsrichtung einer Zylinderschale, hervorgerufen durch ein äußeres Moment in Längsrichtung M_L (entspr. Fig. 1 B-1 nach [1])

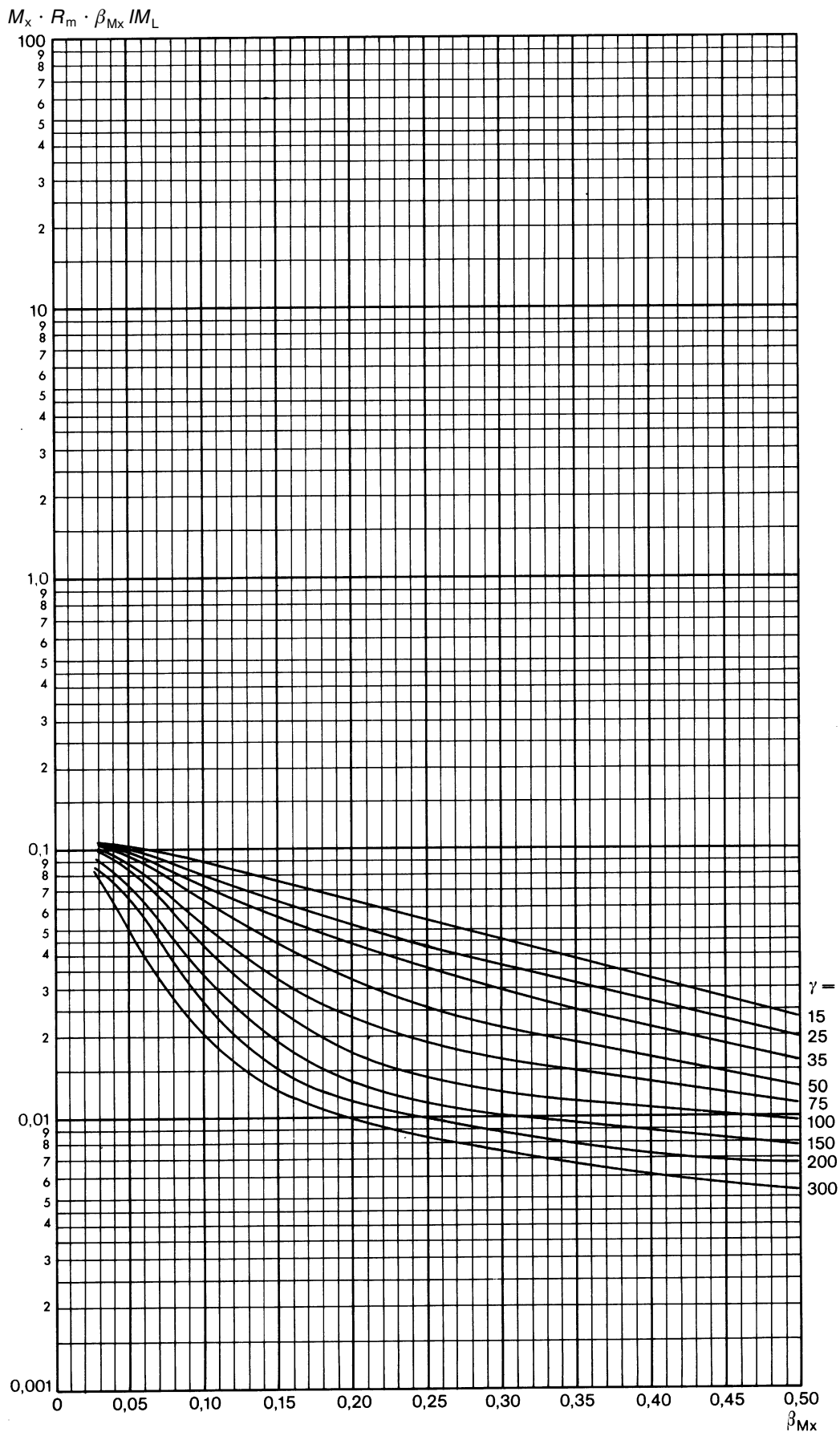


Bild 5. Schnittmoment M_x in Längsrichtung einer Zylinderschale, hervorgerufen durch ein äußeres Moment in Längsrichtung M_L (entspr. Fig. 2 B-1 nach [1])

Anhang 1 zum AD 2000-Merkblatt S 3/4

Formeln für die Schnittkräfte und -momente in einer Zylinderschale, hervorgerufen durch ein äußeres Moment in Längsrichtung gemäß Bilder 2 bis 5

Die Funktionswerte sind in den Bildern 2 bis 5 des AD 2000-Merkblattes S 3/4 logarithmisch aufgetragen. Deshalb kommt für die mathematische Kurvendarstellung nur eine logarithmische Funktion in Betracht.

Für die Abzisse β ist eine logarithmische Transformation vorgenommen worden:

$$T = +1,462756426 + 0,667616401 \cdot \ln \beta.$$

Die angegebenen Funktionen gelten für den Bereich $0,025 \leq \beta \leq 0,500$. Dieses entspricht in dem transformierten Bereich $-1,00 \leq T \leq +1,00$. Außerhalb des Funktionsbereiches sollten diese Funktionen nicht mehr benutzt werden.

den. Da die Kurven bei niedrigen β -Werten starke Krümmungen aufweisen, erschien es günstig, die Stützstellen in diesem Wertebereich enger zu legen. So ergibt sich die logarithmische Transformation.

Die Funktionswerte ϕ für die vorgegebenen Parameter β ergeben sich zu:

$$\phi = 10^{A_\phi}$$

$$\text{mit } A_\phi = \sum_{i=0}^{i=7} a_i \cdot T^i$$

Ist eine Interpolation über γ erforderlich, wird vorgeschlagen, die Werte A_ϕ linear zu interpolieren und erst dann zu exponentieren. Man erreicht so eine logarithmische Interpolation über γ .

Die Funktionswerte a_i sind in den Tafeln 1 bis 4 dargestellt.

Tafel 1. Funktionswerte a_i zu AD 2000-Merkblatt S 3/4 Bild 2 bzw. WRCB, Fig. 3 B: $N_\phi \cdot R_m^2 \cdot \beta / M_L$

$\gamma = 15$	$\gamma = 25$	$\gamma = 35$
$a_i \cdot T^i$	$a_i \cdot T^i$	$a_i \cdot T^i$
+ 0,069770408 + 0,637037362 · T − 0,439478460 · T ² − 0,400378379 · T ³ + 0,076598646 · T ⁴ + 0,267297811 · T ⁵ − 0,093242634 · T ⁶ − 0,058038426 · T ⁷	+ 0,377168367 + 0,479584495 · T − 0,738848546 · T ² − 0,193872872 · T ³ + 0,511443598 · T ⁴ − 0,316573360 · T ⁵ − 0,312390970 · T ⁶ + 0,284943370 · T ⁷	+ 0,558163265 + 0,320121289 · T − 0,757256239 · T ² − 0,051107294 · T ³ + 0,284013614 · T ⁴ − 0,306517629 · T ⁵ − 0,094104314 · T ⁶ + 0,184442410 · T ⁷
$\gamma = 50$	$\gamma = 75$	$\gamma = 100$
$a_i \cdot T^i$	$a_i \cdot T^i$	$a_i \cdot T^i$
+ 0,769515306 + 0,098219319 · T − 0,938338784 · T ² + 0,383544120 · T ³ + 0,636444925 · T ⁴ − 1,075963926 · T ⁵ − 0,311371446 · T ⁶ + 0,640118854 · T ⁷	+ 0,950765306 − 0,041551678 · T − 0,980465592 · T ² + 0,200085414 · T ³ + 0,729151877 · T ⁴ − 0,601270693 · T ⁵ − 0,360931184 · T ⁶ + 0,365185936 · T ⁷	+ 1,052295918 − 0,178524175 · T − 0,851073714 · T ² + 0,379669811 · T ³ + 0,489955835 · T ⁴ − 0,801123346 · T ⁵ − 0,212351509 · T ⁶ + 0,461202199 · T ⁷
$\gamma = 150$	$\gamma = 200$	$\gamma = 300$
$a_i \cdot T^i$	$a_i \cdot T^i$	$a_i \cdot T^i$
+ 1,183545918 − 0,336275405 · T − 0,748412407 · T ² + 0,349659087 · T ³ + 0,446257628 · T ⁴ − 0,546806942 · T ⁵ − 0,233559507 · T ⁶ + 0,260974280 · T ⁷	+ 1,264795918 − 0,440454675 · T − 0,483836620 · T ² + 0,445481571 · T ³ − 0,083184019 · T ⁴ − 0,715802843 · T ⁵ + 0,060898189 · T ⁶ + 0,402612682 · T ⁷	+ 1,421045918 − 0,528440463 · T − 0,584966872 · T ² + 0,220534863 · T ³ + 0,133472046 · T ⁴ − 0,262535775 · T ⁵ − 0,033199051 · T ⁶ + 0,153094435 · T ⁷

$$\phi = \frac{N_\phi \cdot R_m^2 \cdot \beta}{M_L}$$

$$\phi = 10^{A_\phi}$$

$$A_\phi = \sum_{i=0}^{i=7} a_i \cdot T^i$$

$$T = +1,462756426 + 0,667616401 \cdot \ln \beta$$

$$-1,00 \leq T \leq +1,00$$

$$\beta = \frac{\sqrt[3]{b \cdot h^2}}{2 \cdot R_m}$$

$$0,025 \leq \beta \leq 0,500$$

$$\gamma = \frac{R_m}{e}$$

$$15 \leq \gamma \leq 300$$

AD 2000-Merkblatt

Seite 10 AD 2000-Merkblatt S 3/4, Ausg. 09.2001

Tafel 2. Funktionswerte a_i zu AD 2000-Merkblatt S 3/4 Bild 3 bzw. WRCB, Fig. 4 B: $N_x \cdot R_m^2 \cdot \beta / M_L$

$\gamma = 15$	$\gamma = 25$	$\gamma = 35$
$a_i \cdot T^i$	$a_i \cdot T^i$	$a_i \cdot T^i$
$-0,513110997$ $+0,770753790 \cdot T$ $-0,300758532 \cdot T^2$ $-0,190251110 \cdot T^3$ $-0,000983058 \cdot T^4$ $-0,025641459 \cdot T^5$ $+0,007444238 \cdot T^6$ $+0,026605174 \cdot T^7$	$-0,178080448$ $+0,544813406 \cdot T$ $-0,422819410 \cdot T^2$ $+0,482846931 \cdot T^3$ $-0,072682300 \cdot T^4$ $-0,968064247 \cdot T^5$ $+0,028088268 \cdot T^6$ $+0,415963992 \cdot T^7$	$+0,027367617$ $+0,485009916 \cdot T$ $-0,332737032 \cdot T^2$ $+0,068871862 \cdot T^3$ $-0,255353058 \cdot T^4$ $-0,407888142 \cdot T^5$ $+0,155299866 \cdot T^6$ $+0,197183554 \cdot T^7$
$\gamma = 50$	$\gamma = 75$	$\gamma = 100$
$a_i \cdot T^i$	$a_i \cdot T^i$	$a_i \cdot T^i$
$+0,238289206$ $+0,401147781 \cdot T$ $-0,509437408 \cdot T^2$ $+0,010033575 \cdot T^3$ $+0,008963956 \cdot T^4$ $-0,305952152 \cdot T^5$ $+0,023895041 \cdot T^6$ $+0,139169981 \cdot T^7$	$+0,461812627$ $+0,229351294 \cdot T$ $-0,508639203 \cdot T^2$ $+0,171991818 \cdot T^3$ $-0,152290131 \cdot T^4$ $-0,625909582 \cdot T^5$ $+0,115104487 \cdot T^6$ $+0,330472783 \cdot T^7$	$+0,600178208$ $+0,095611517 \cdot T$ $-0,658273750 \cdot T^2$ $+0,242952891 \cdot T^3$ $+0,201908826 \cdot T^4$ $-0,711266785 \cdot T^5$ $-0,108808192 \cdot T^6$ $+0,365574068 \cdot T^7$
$\gamma = 150$	$\gamma = 200$	$\gamma = 300$
$a_i \cdot T^i$	$a_i \cdot T^i$	$a_i \cdot T^i$
$+0,795952138$ $-0,070348369 \cdot T$ $-0,902972704 \cdot T^2$ $+0,228520045 \cdot T^3$ $+0,542930331 \cdot T^4$ $-0,551053800 \cdot T^5$ $-0,268267200 \cdot T^6$ $+0,255407582 \cdot T^7$	$+0,911405295$ $-0,199561303 \cdot T$ $-0,943156914 \cdot T^2$ $+0,171599969 \cdot T^3$ $+0,597291516 \cdot T^4$ $-0,322453126 \cdot T^5$ $-0,305865763 \cdot T^6$ $+0,126381873 \cdot T^7$	$+1,042515275$ $-0,445126721 \cdot T$ $-0,945243241 \cdot T^2$ $+0,407992990 \cdot T^3$ $+0,691126873 \cdot T^4$ $-0,547866447 \cdot T^5$ $-0,362991574 \cdot T^6$ $+0,202108121 \cdot T^7$

$$\phi = \frac{N_x \cdot R_m^2 \cdot \beta}{M_L}$$

$$\phi = 10^{A_\phi}$$

$$A_\phi = \sum_{i=0}^{i=7} a_i \cdot T^i$$

$$T = +1,462756426 + 0,667616401 \cdot \ln \beta$$

$$-1,00 \leq T \leq +1,00$$

$$\beta = \frac{\sqrt[3]{b \cdot h^2}}{2 \cdot R_m}$$

$$0,025 \leq \beta \leq 0,500$$

$$\gamma = \frac{R_m}{e}$$

$$15 \leq \gamma \leq 300$$

Tafel 3. Funktionswerte a_i zu AD 2000-Merkblatt S 3/4 Bild 4 bzw. WRCB, Fig. 1 B-1: $M_\phi \cdot R_m \cdot \beta_{M\phi}/M_L$

$\gamma = 15$	$\gamma = 25$	$\gamma = 35$
$a_i \cdot T^i$	$a_i \cdot T^i$	$a_i \cdot T^i$
$-1,261479591$ $-0,217483658 \cdot T$ $-0,230083636 \cdot T^2$ $-0,117327113 \cdot T^3$ $-0,019953171 \cdot T^4$ $+0,002701609 \cdot T^5$ $-0,019350946 \cdot T^6$ $-0,012788797 \cdot T^7$	$-1,305229592$ $-0,243665549 \cdot T$ $-0,397460613 \cdot T^2$ $-0,529729402 \cdot T^3$ $+0,219932860 \cdot T^4$ $+0,732286463 \cdot T^5$ $-0,107166125 \cdot T^6$ $-0,351748655 \cdot T^7$	$-1,346428571$ $-0,335503327 \cdot T$ $-0,414287483 \cdot T^2$ $-0,441417218 \cdot T^3$ $+0,116331836 \cdot T^4$ $+0,534765114 \cdot T^5$ $+0,004078096 \cdot T^6$ $-0,198660895 \cdot T^7$
$\gamma = 50$	$\gamma = 75$	$\gamma = 100$
$a_i \cdot T^i$	$a_i \cdot T^i$	$a_i \cdot T^i$
$-1,395025510$ $-0,492458278 \cdot T$ $-0,448951322 \cdot T^2$ $-0,021177872 \cdot T^3$ $+0,235629477 \cdot T^4$ $-0,025466870 \cdot T^5$ $-0,087698563 \cdot T^6$ $+0,046245878 \cdot T^7$	$-1,470663265$ $-0,609816322 \cdot T$ $-0,359885739 \cdot T^2$ $+0,131060961 \cdot T^3$ $+0,053126606 \cdot T^4$ $-0,204173543 \cdot T^5$ $+0,010840766 \cdot T^6$ $+0,121704414 \cdot T^7$	$-1,537882653$ $-0,723942664 \cdot T$ $-0,396240247 \cdot T^2$ $+0,247105467 \cdot T^3$ $+0,157088086 \cdot T^4$ $-0,275870762 \cdot T^5$ $-0,059827432 \cdot T^6$ $+0,125156939 \cdot T^7$
$\gamma = 150$	$\gamma = 200$	$\gamma = 300$
$a_i \cdot T^i$	$a_i \cdot T^i$	$a_i \cdot T^i$
$-1,648596939$ $-0,791328201 \cdot T$ $-0,155533765 \cdot T^2$ $+0,272614462 \cdot T^3$ $-0,232378298 \cdot T^4$ $-0,293503418 \cdot T^5$ $+0,148116144 \cdot T^6$ $+0,135686544 \cdot T^7$	$-1,740816327$ $-0,842002045 \cdot T$ $-0,103542717 \cdot T^2$ $+0,168998299 \cdot T^3$ $-0,213861645 \cdot T^4$ $-0,064852057 \cdot T^5$ $+0,115363546 \cdot T^6$ $+0,013366008 \cdot T^7$	$-1,895408163$ $-0,938371608 \cdot T$ $+0,192506110 \cdot T^2$ $+0,228685607 \cdot T^3$ $-0,653028534 \cdot T^4$ $-0,081951246 \cdot T^5$ $+0,356440791 \cdot T^6$ $+0,014086226 \cdot T^7$

$$\phi = \frac{M_\phi \cdot R_m \cdot \beta_{M\phi}}{M_L}$$

$$\phi = 10^{A_\phi}$$

$$A_\phi = \sum_{i=0}^{i=7} a_i \cdot T^i$$

$$T = +1,462756426 + 0,667616401 \cdot \ln \beta_{M\phi}$$

$$-1,00 \leq T \leq +1,00$$

$$\beta_{M\phi} = \beta \cdot K_{L\phi}$$

$$\beta = \frac{\sqrt[3]{b \cdot h^2}}{2 \cdot R_m}$$

$$0,025 \leq \beta_{M\phi} \leq 0,500$$

$$\gamma = \frac{R_m}{e}$$

$$15 \leq \gamma \leq 300$$

Tafel 4. Funktionswerte a_i zu AD 2000-Merkblatt S 3/4 Bild 5 bzw. WRCB, Fig. 2 B-1: $M_x \cdot R_m \cdot \beta_{Mx}/M_L$

$\gamma = 15$	$\gamma = 25$	$\gamma = 35$
$a_i \cdot T^i$	$a_i \cdot T^i$	$a_i \cdot T^i$
$-1,053896761$ $-0,230655652 \cdot T$ $-0,239780688 \cdot T^2$ $-0,083516978 \cdot T^3$ $+0,065495911 \cdot T^4$ $-0,020344766 \cdot T^5$ $-0,062557328 \cdot T^6$ $-0,001514990 \cdot T^7$	$-1,110703441$ $-0,347813274 \cdot T$ $-0,239979028 \cdot T^2$ $+0,033891510 \cdot T^3$ $+0,077224533 \cdot T^4$ $-0,043793390 \cdot T^5$ $-0,052832550 \cdot T^6$ $-0,013742336 \cdot T^7$	$-1,154099190$ $-0,433192055 \cdot T$ $-0,265282672 \cdot T^2$ $+0,099768923 \cdot T^3$ $+0,095443157 \cdot T^4$ $-0,092650141 \cdot T^5$ $-0,044735384 \cdot T^6$ $+0,011093516 \cdot T^7$
$\gamma = 50$	$\gamma = 75$	$\gamma = 100$
$a_i \cdot T^i$	$a_i \cdot T^i$	$a_i \cdot T^i$
$-1,216599190$ $-0,607402914 \cdot T$ $-0,373373703 \cdot T^2$ $+0,385544894 \cdot T^3$ $+0,358987506 \cdot T^4$ $-0,348108413 \cdot T^5$ $-0,188042953 \cdot T^6$ $+0,108427972 \cdot T^7$	$-1,320344130$ $-0,770660149 \cdot T$ $-0,286894393 \cdot T^2$ $+0,686616998 \cdot T^3$ $+0,334367389 \cdot T^4$ $-0,601557360 \cdot T^5$ $-0,185124818 \cdot T^6$ $+0,201794843 \cdot T^7$	$-1,401189271$ $-0,928194135 \cdot T$ $-0,289980196 \cdot T^2$ $+0,940404008 \cdot T^3$ $+0,393319939 \cdot T^4$ $-0,795981822 \cdot T^5$ $-0,201417881 \cdot T^6$ $+0,274662637 \cdot T^7$
$\gamma = 150$	$\gamma = 200$	$\gamma = 300$
$a_i \cdot T^i$	$a_i \cdot T^i$	$a_i \cdot T^i$
$-1,519736842$ $-0,984495637 \cdot T$ $-0,029213477 \cdot T^2$ $+1,000543891 \cdot T^3$ $+0,012741645 \cdot T^4$ $-0,794741953 \cdot T^5$ $-0,013892540 \cdot T^6$ $+0,230110703 \cdot T^7$	$-1,630187247$ $-1,011284848 \cdot T$ $+0,356533233 \cdot T^2$ $+1,135622496 \cdot T^3$ $-0,738628039 \cdot T^4$ $-1,111087702 \cdot T^5$ $+0,423592781 \cdot T^6$ $+0,410839122 \cdot T^7$	$-1,742029352$ $-0,822865292 \cdot T$ $+0,413690111 \cdot T^2$ $+0,373711878 \cdot T^3$ $-0,586212035 \cdot T^4$ $-0,199464464 \cdot T^5$ $+0,262602895 \cdot T^6$ $+0,036269700 \cdot T^7$

$$\phi = \frac{M_x \cdot R_m \cdot \beta_{Mx}}{M_L}$$

$$\phi = 10^{A_\phi}$$

$$A_\phi = \sum_{i=0}^7 a_i \cdot T^i$$

$$T = +1,462756426 + 0,667616401 \cdot \ln \beta_{Mx}$$

$$-1,00 \leq T \leq +1,00$$

$$\beta_{Mx} = \beta \cdot K_{Lx}$$

$$\beta = \frac{\sqrt[3]{b \cdot h^2}}{2 \cdot R_m}$$

$$0,025 \leq \beta_{Mx} \leq 0,500$$

$$\gamma = \frac{R_m}{e}$$

$$15 \leq \gamma \leq 300$$

Anhang 2 zum AD 2000-Merkblatt S 3/4

Erläuterungen

Die Formel (19) ist aus der in [5], Tafel 24, Fall 21, angegebenen Formel für die maximale Spannung in einer durch ein Moment belasteten eingespannten Kreisplatte abgeleitet. Für das Verhältnis des Durchmessers des belasteten Kernbereichs zum Außendurchmesser der Platte wird der Wert 0,8 eingesetzt.

Die näherungsweise Übertragung der Formel auf eine Quadrat- bzw. eine Rechteckplatte erfolgt nach [1], Appendix A, Abschnitt 4.2.2.

Für die Spannung an der Oberfläche des Verstärkungsblechs wird der Wert $1,5 \cdot f_y$ zugelassen.

Herausgeber:



E-Mail: berlin@vdtuev.de
<http://www.vdtuev.de>

Bezugsquelle:

Beuth

Beuth Verlag GmbH
 10772 Berlin
 Tel. 030/26 01-22 60
 Fax 030/26 01-12 60
info@beuth.de
www.beuth.de