

Berechnung von Druckbehältern	Kegelförmige Mäntel unter innerem und äußerem Überdruck	AD 2000-Merkblatt B 2
----------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------	----------------------------------

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 Verschwächungen durch Ausschnitte |
| 1 Geltungsbereich | 7 Zuschläge |
| 2 Allgemeines | 8 Berechnung |
| 3 Formelzeichen und Einheiten | 9 Kleinste Wanddicke |
| 4 Sicherheitsbeiwert | 10 Schrifttum |
| 5 Ausnutzung der zulässigen Berechnungs-
spannung in Fügeverbindungen | Anhang: Erläuterungen |

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

Die nachstehenden Berechnungsregeln gelten für kegelförmige Mäntel, die mit einem zylindrischen Mantel auf gleicher Achse durch Eckstoß oder Krempe verbunden sind (vgl. Bild 1) und durch inneren oder äußeren Überdruck beansprucht werden, in folgenden Grenzen:

$$0,001 \leq \frac{s - c_1 - c_2}{D_{a1}} \leq 0,1 \quad (1)$$

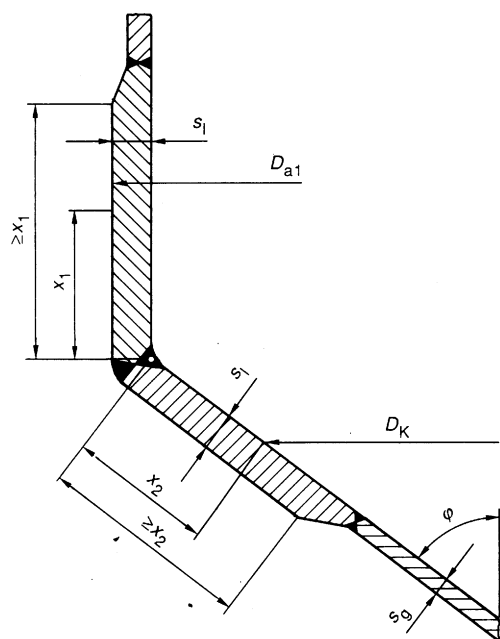
Formel (1) muss für $s = s_l$ und für $s = s_g$ erfüllt sein.

Bei äußerem Überdruck ist der Öffnungswinkel begrenzt auf

$$-70^\circ \leq \varphi \leq 70^\circ \quad (2)$$

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.

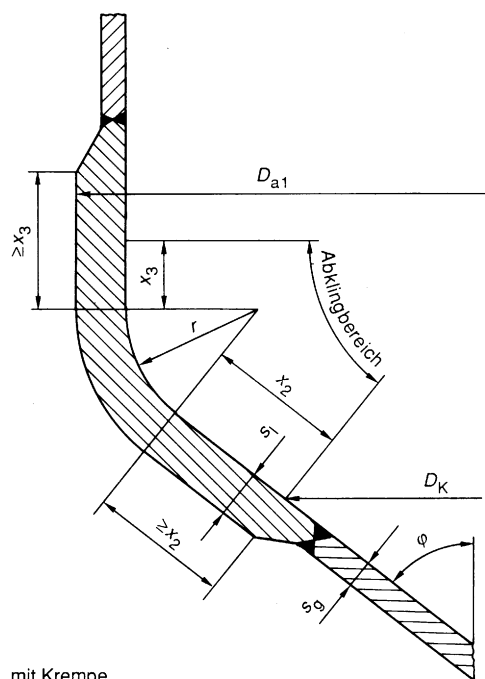
1.1 Konvergierender Kegel ($\varphi > 0^\circ$)



Eckstoß

$$0,01 \leq \frac{r}{D_{a1}} \leq 0,15$$

(3)



mit Krempe

Bild 1a. Geometrien konvergierender Kegelmäntel

1.2 Divergierender Kegel ($\varphi < 0^\circ$)

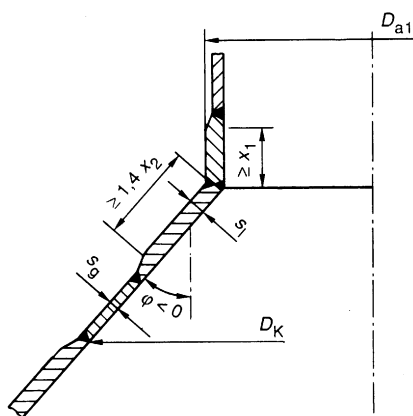


Bild 1b. Geometrie eines divergierenden Kegelmantels

Divergierende Kegel mit Krempe können in sicherer Abschätzung als divergierende Kegel mit Eckstoß nachgewiesen werden.

2 Allgemeines

2.1 Dieses AD 2000-Merkblatt ist nur im Zusammenhang mit AD 2000-Merkblatt B 0 anwendbar.

2.2 Die nachstehenden Berechnungsregeln setzen elastoplastisches Werkstoffverhalten voraus. Bei spröden Werkstoffen müssen durch Wahl entsprechend erhöhter Sicherheitsfaktoren, wie sie im AD 2000-Merkblatt B 0 festgelegt sind, die Spannungen werkstoffgerecht begrenzt werden.

In Ausnahmefällen kann alternativ in Abstimmung mit der zuständigen unabhängigen Stelle eine Auslegung mit den im Anhang dargestellten Extremspannungen erfolgen.

2.3 Bei Eckstoßverbindungen liegt der Ort höchster Beanspruchung in der Schweißnaht. Daher muss diese gegengeschweißt oder der Nachweis der Gleichwertigkeit durch eine zerstörungsfreie Prüfung nach AD 2000-Merkblatt HP 5/3 Abschnitt 2.2.2 Absatz (3) geführt werden.

3 Formelzeichen und Einheiten

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

D_{a1}	Außendurchmesser des angeschlossenen Zylinders	in mm
D_{a2}	Außendurchmesser an einer wirksamen Versteifung	in mm
D_K	Berechnungsdurchmesser	in mm
D_s	Manteldurchmesser am Stutzen gemäß Bild 2	in mm
l	Kegellänge zwischen wirksamen Versteifungen	in mm
s_g	erf. Wanddicke außerhalb des Abklingbereiches	in mm
s_l	erf. Wanddicke innerhalb des Abklingbereiches	in mm
x_i	Abklinglängen ($i = 1, 2, 3$; siehe Bild 1 und Formel (5))	in mm
φ	Kegelöffnungswinkel	in °

4 Sicherheitsbeiwert

4.1 Der Sicherheitsbeiwert S ist den Tafeln 2 und 3 des AD 2000-Merkblattes B 0 zu entnehmen.

4.2 Bei Beanspruchung durch äußeren Überdruck ist der Sicherheitsbeiwert nach Abschnitt 4.1 um 20 % zu erhöhen. Bei Grauguss bleibt der Wert unverändert.

4.3 Die Sicherheitsbeiwerte gegen elastisches und plastisches Einbeulen des Kegels sind AD 2000-Merkblatt B 6 zu entnehmen.

5 Ausnutzung der zulässigen Berechnungsspannung in Fügeverbindungen

Die Regelungen des Abschnittes 8 des AD 2000-Merkblattes B 0 sind wie folgt anzuwenden:

5.1 Die in den Bildern 3.1 bis 3.8 sowie in Formel (8) enthaltenen Faktoren v beziehen sich auf Längs- und Rundnähte im Abklingbereich gemäß Bild 1 und gelten gleichermaßen bei innerem und äußerem Überdruck.

5.2 Der in Formel (6) enthaltene Faktor v bezieht sich auf Längsnähte im Kegel außerhalb des Abklingbereiches; bei Beanspruchung durch äußeren Überdruck kann hier $v = 1$ eingesetzt werden.

6 Verschwächungen durch Ausschnitte

Kegelausschnitte außerhalb des Abklingbereiches (vgl. Bild 2)

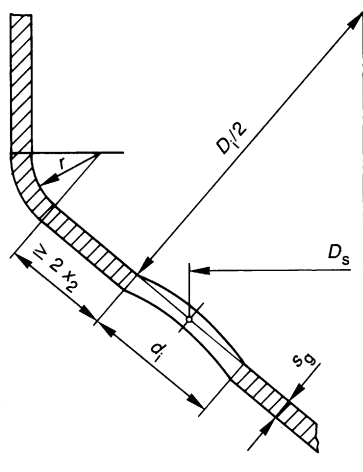


Bild 2. Geometrie eines Kegelausschnittes

sind für Kegelöffnungswinkel $|\varphi| < 70^\circ$ nach AD 2000-Merkblatt B 9 mit dem Zylinder-Ersatzdurchmesser

$$D_i = \frac{D_s + d_i \cdot |\sin \varphi|}{\cos \varphi}, \quad (4)$$

für größere Kegelöffnungswinkel nach AD 2000-Merkblatt B 5 zu berechnen.

7 Zuschläge

Siehe AD 2000-Merkblatt B 0.

8 Berechnung

8.1 Innerer Überdruck

Die Bestimmung der erforderlichen Wanddicken erfolgt getrennt für den besonders durch Biegebeanspruchungen in Mantelrichtung beanspruchten Bereich der Abklinglänge nach Abschnitt 8.1.1 und den vorwiegend durch Umfangs-Membranspannungen belasteten Kegelbereich nach Abschnitt 8.1.2. Flache Kegelböden mit Kegelöffnungswinkeln $|\varphi| > 70^\circ$ werden nur nach Abschnitt 8.1.3 ausgelegt.

8.1.1 Kegelanschluss (innerhalb Abklingbereich)

Innerhalb des Abklingbereiches, der für die einzelnen Ausführungsarten durch Bild 1 und

$$x_1 = \sqrt{D_{a1} (s_l - c_1 - c_2)}; \quad (5)$$

$$x_2 = 0,7 \sqrt{D_{a1} (s_l - c_1 - c_2) / \cos \varphi}; \quad x_3 = 0,5 x_1$$

festgelegt ist, ist die Wanddicke s_l in Abhängigkeit von

$$\varphi, \frac{p \cdot S}{15 \cdot K \cdot v} \text{ und } \frac{r}{D_{a1}}$$

für den konvergierenden Kegel den Bildern 3.1 bis 3.7, für den divergierenden Kegel Bild 3.8 zu entnehmen. Für Zwischenwerte des Kegelöffnungswinkels φ können die Wanddicken linear interpoliert werden. Bei Zwischenwerten des Verhältnisses r/D_{a1} ist die jeweilige, in den Bildern 3.1 bis 3.8 angegebene Interpolationsgleichung anzuwenden. Die Wanddicke s_l muss mindestens gleich der nach Abschnitt 8.1.2 ermittelten Wanddicke s_g sein, wobei beim divergierenden Kegel für die Ermittlung der Wanddicke s_g der Berechnungsdurchmesser D_K nach der Abklinglänge $1,4 x_2$ einzusetzen ist.

8.1.2 Kegelmantel (außerhalb Abklingbereich)

Außerhalb des Abklingbereiches gemäß Bild 1 ist eine Wanddicke

$$s_g = \frac{D_K \cdot p}{20 \cdot \frac{K}{S} \cdot v - p} \cdot \frac{1}{\cos \varphi} + c_1 + c_2 \quad (6)$$

erforderlich, mit

$$D_K = D_{a1} - 2 [s_l + r (1 - \cos \varphi) + x_2 \sin \varphi] \quad (7)$$

für den konvergierenden Kegel. Beim divergierenden Kegel ist für D_K in Formel (6) der größte Kegeldurchmesser mit der Wanddicke s_g einzusetzen.

8.1.3 Flache konvergierende Kegelmäntel ($\varphi > 70^\circ$)

Bei flachen Kegelböden mit einem Kreppenradius von $r \geq 0,01 D_{a1}$ beträgt die erforderliche Wanddicke

$$s_l = s_g = 0,3 \cdot (D_{a1} - r) \cdot \frac{|\varphi|}{90} \sqrt{\frac{p}{10 \cdot \frac{K}{S} \cdot v}} + c_1 + c_2 \quad (8)$$

8.2 Äußerer Überdruck

Die Berechnung ist nach Abschnitt 8.2.2 zur Begrenzung bleibender Dehnungen und nach Abschnitt 8.2.3 zum Nachweis ausreichender Stabilität durchzuführen.

Bei divergierendem Kegel ist dabei ein konvergierender Kegel gleichen Öffnungswinkels anzunehmen. Die erforderliche Wanddicke ist dann das 2,5-fache der sich aus der Berechnung als konvergierender Kegel ergebenden Wanddicke. Dieser Nachweis kann ersetzt werden durch den Einbau eines Eckringes nach Abschnitt 8.2.4.

8.2.1 Formabweichungen

Die Berechnung gegen äußeren Überdruck setzt die Einhaltung der in den AD 2000-Merkblättern B 6 und HP 1 festgelegten Grenzen der Formabweichung voraus.

8.2.2 Begrenzung bleibender Dehnungen

Zur Begrenzung bleibender Dehnungen sind bei äußerem Überdruck die Berechnungen nach Abschnitt 8.1 mit einem nach Abschnitt 4.2 erhöhten Sicherheitsbeiwert durchzuführen.

8.2.3 Stabilität

Zusätzlich muss bei äußerem Überdruck überprüft werden, ob der Kegelbereich ausreichende Sicherheit gegen elastisches und plastisches Beulen aufweist. Dieser Nachweis erfolgt nach AD 2000-Merkblatt B 6 durch Untersuchung eines Ersatzzylinders.

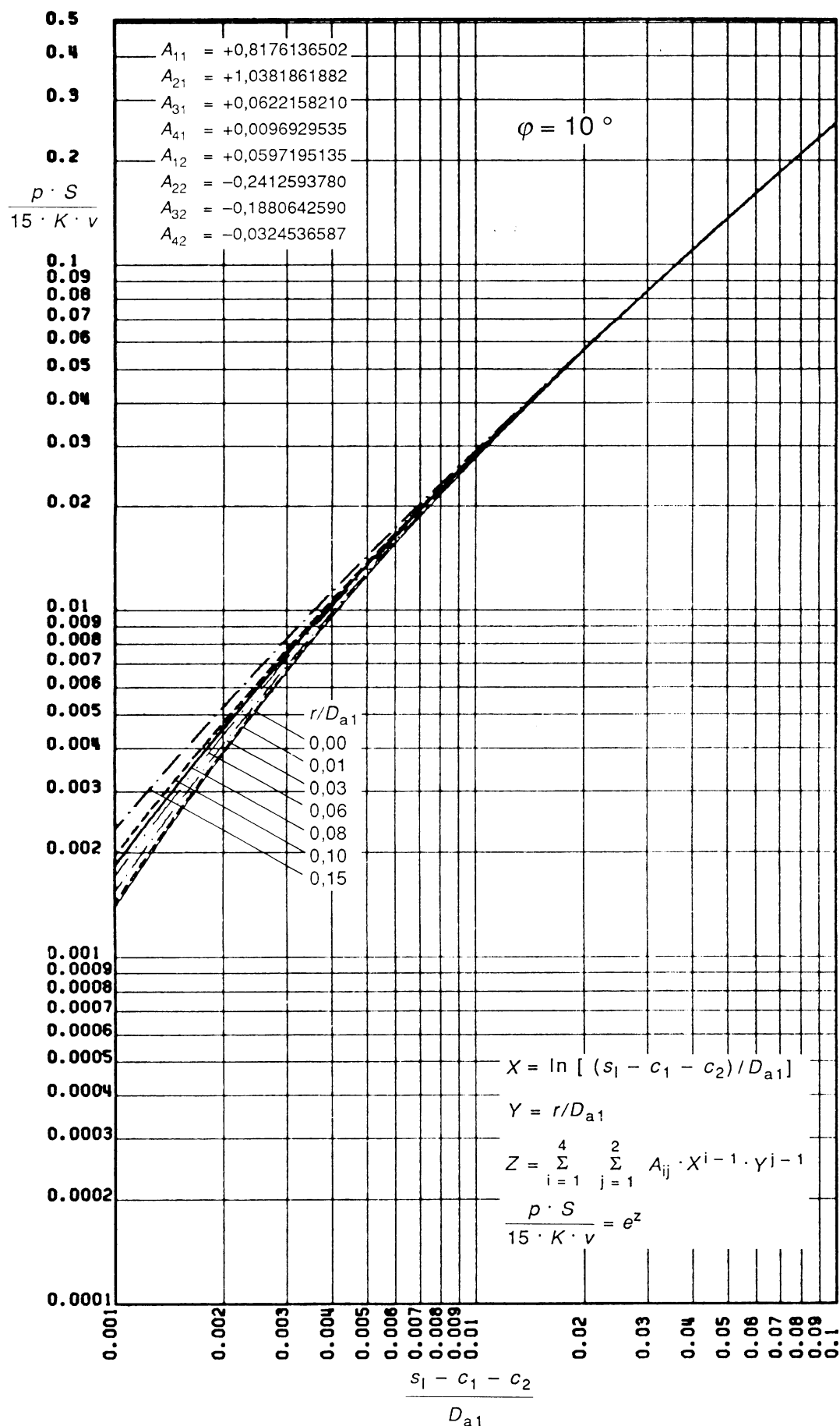


Bild 3.1. Zulässiger Wert $\frac{p \cdot S}{15 \cdot K \cdot v}$ für konvergierenden Kegel mit einem Öffnungswinkel $\varphi = 10^\circ$

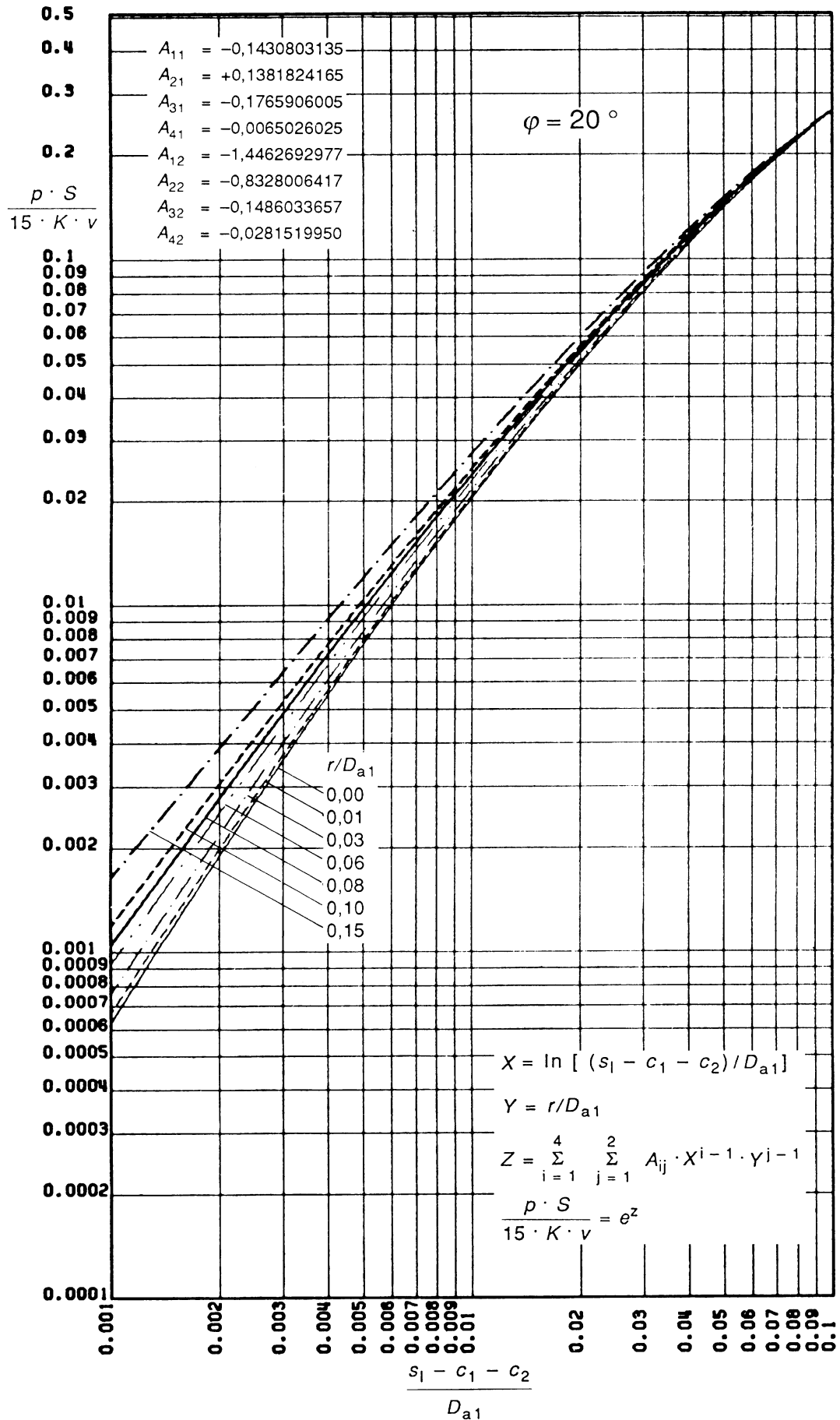


Bild 3.2. Zulässiger Wert $\frac{p \cdot S}{15 \cdot K \cdot v}$ für konvergierenden Kegel mit einem Öffnungswinkel $\varphi = 20^\circ$

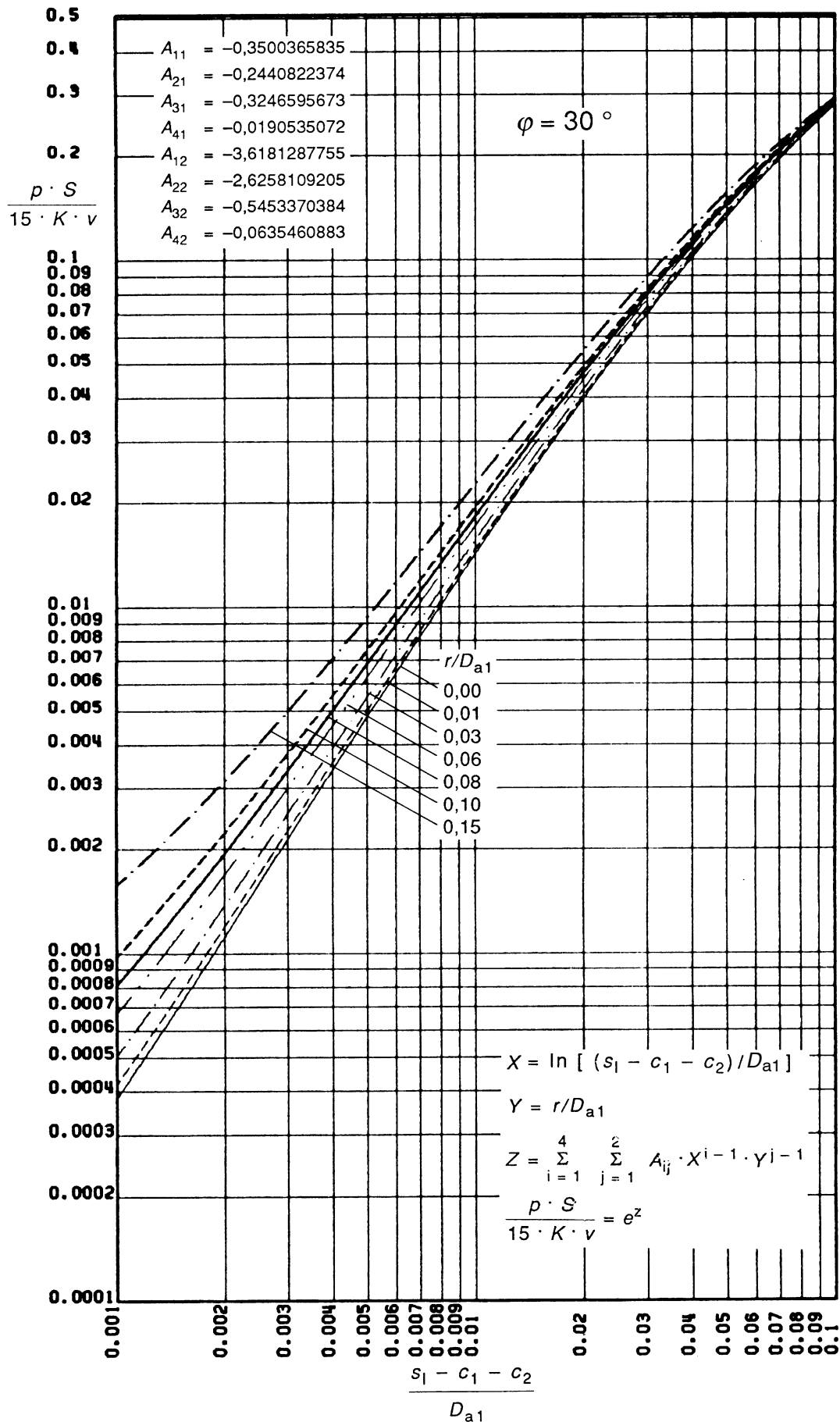


Bild 3.3. Zulässiger Wert $\frac{p \cdot S}{15 \cdot K \cdot v}$ für konvergierenden Kegel mit einem Öffnungswinkel $\varphi = 30^\circ$

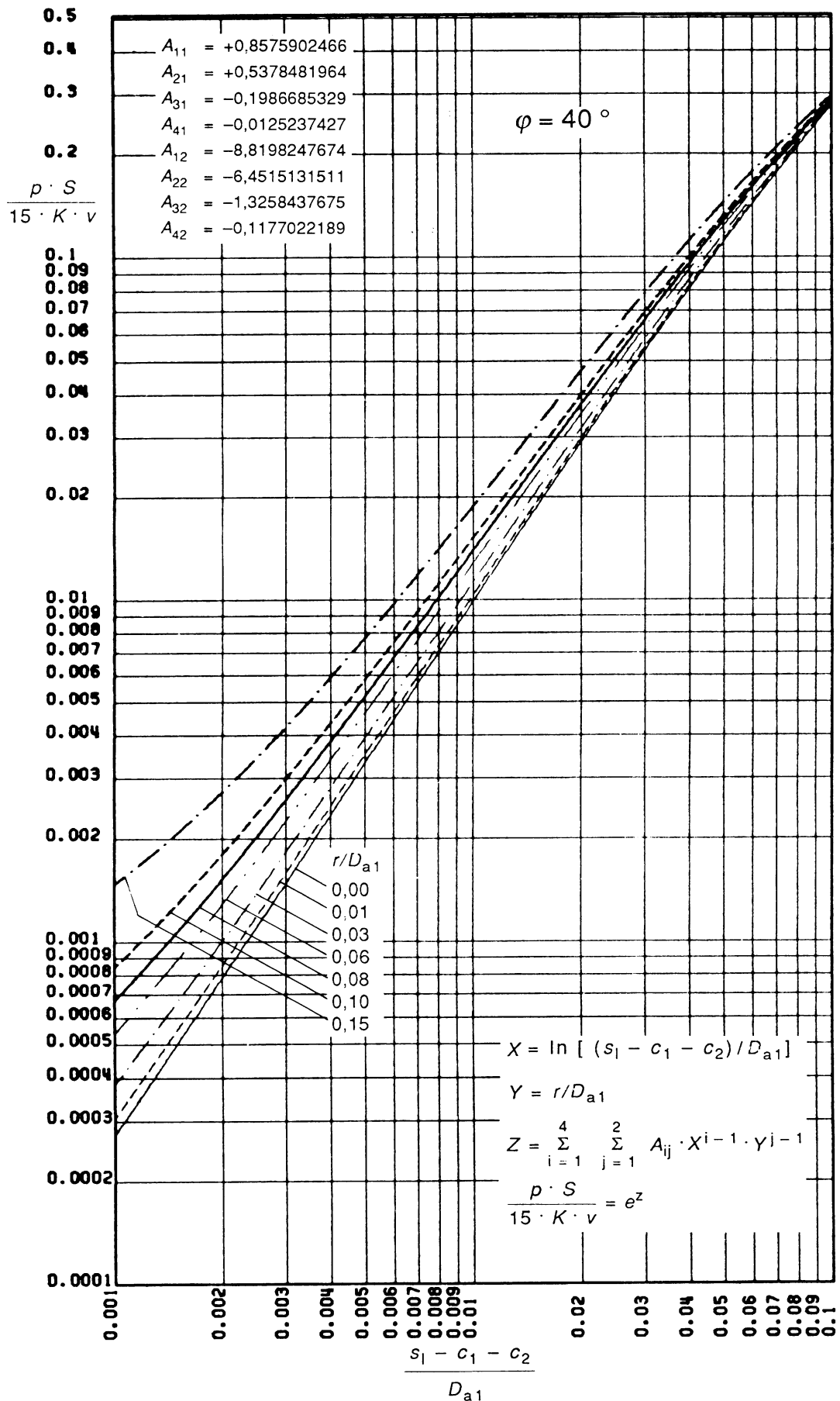


Bild 3.4. Zulässiger Wert $\frac{p \cdot S}{15 \cdot K \cdot v}$ für konvergierenden Kegel mit einem Öffnungswinkel $\varphi = 40^\circ$

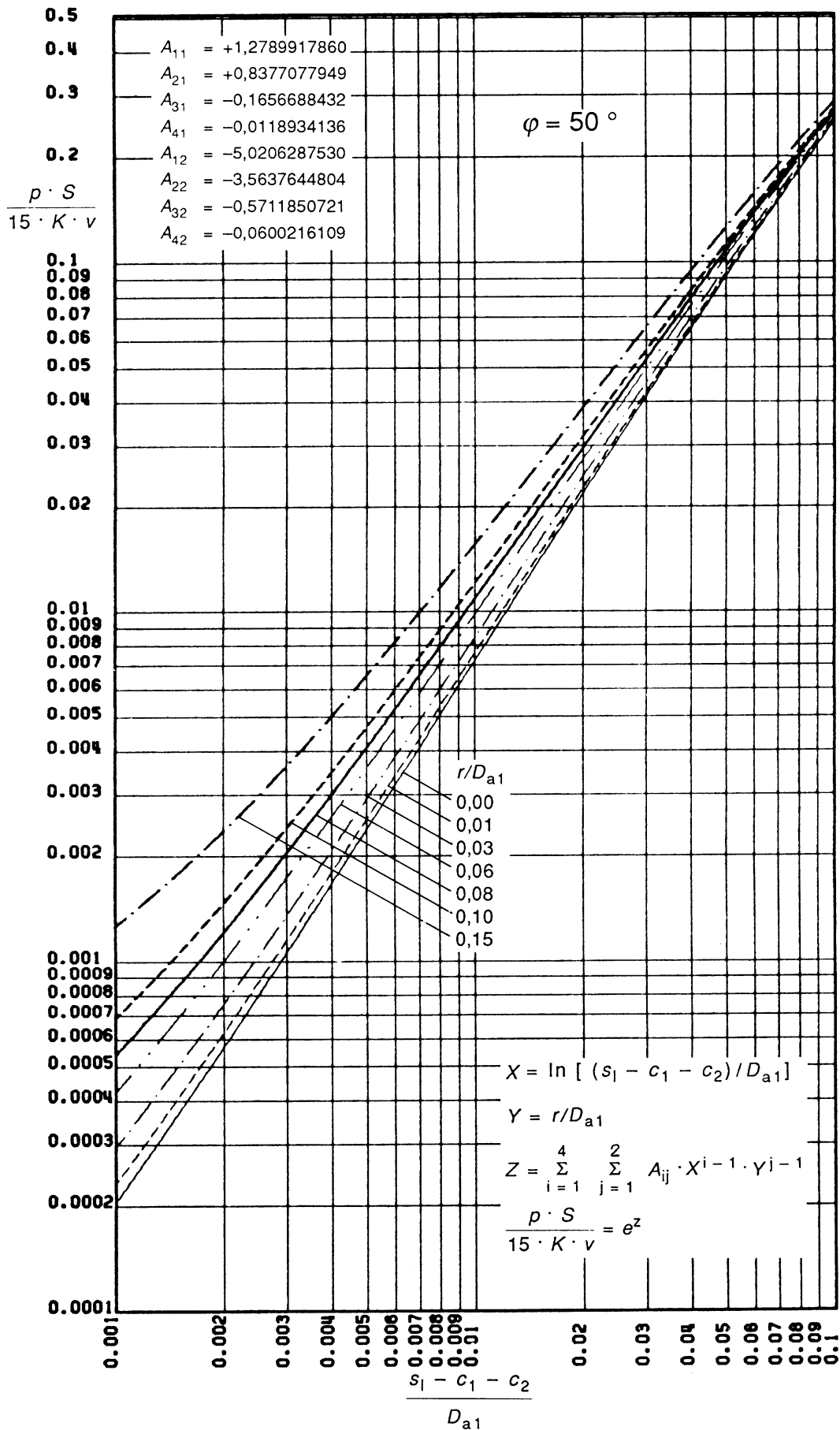


Bild 3.5. Zulässiger Wert $\frac{p \cdot S}{15 \cdot K \cdot v}$ für konvergierenden Kegel mit einem Öffnungswinkel $\varphi = 50^\circ$

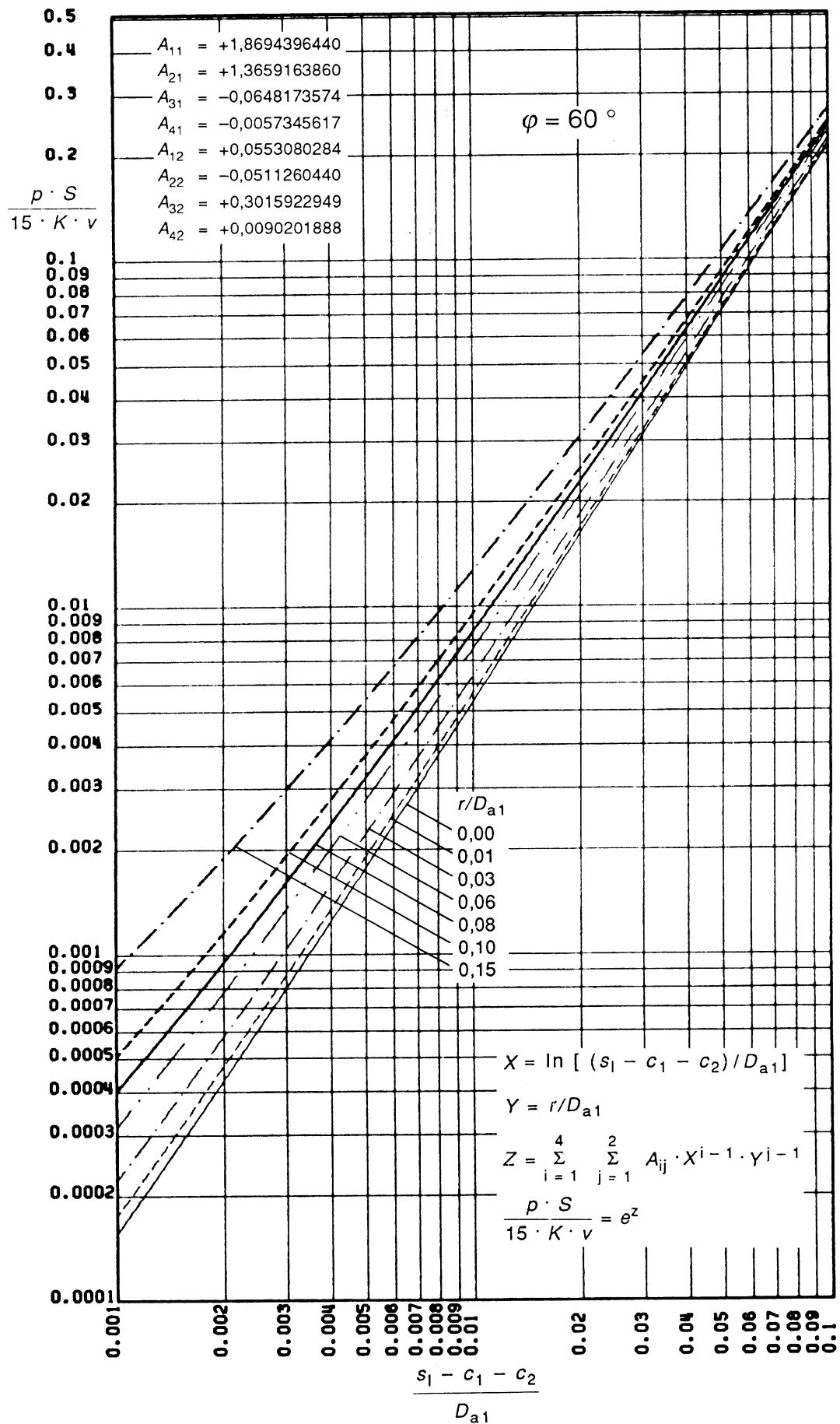


Bild 3.6. Zulässiger Wert $\frac{p \cdot S}{15 \cdot K \cdot v}$ für konvergierenden Kegel mit einem Öffnungswinkel $\varphi = 60^\circ$

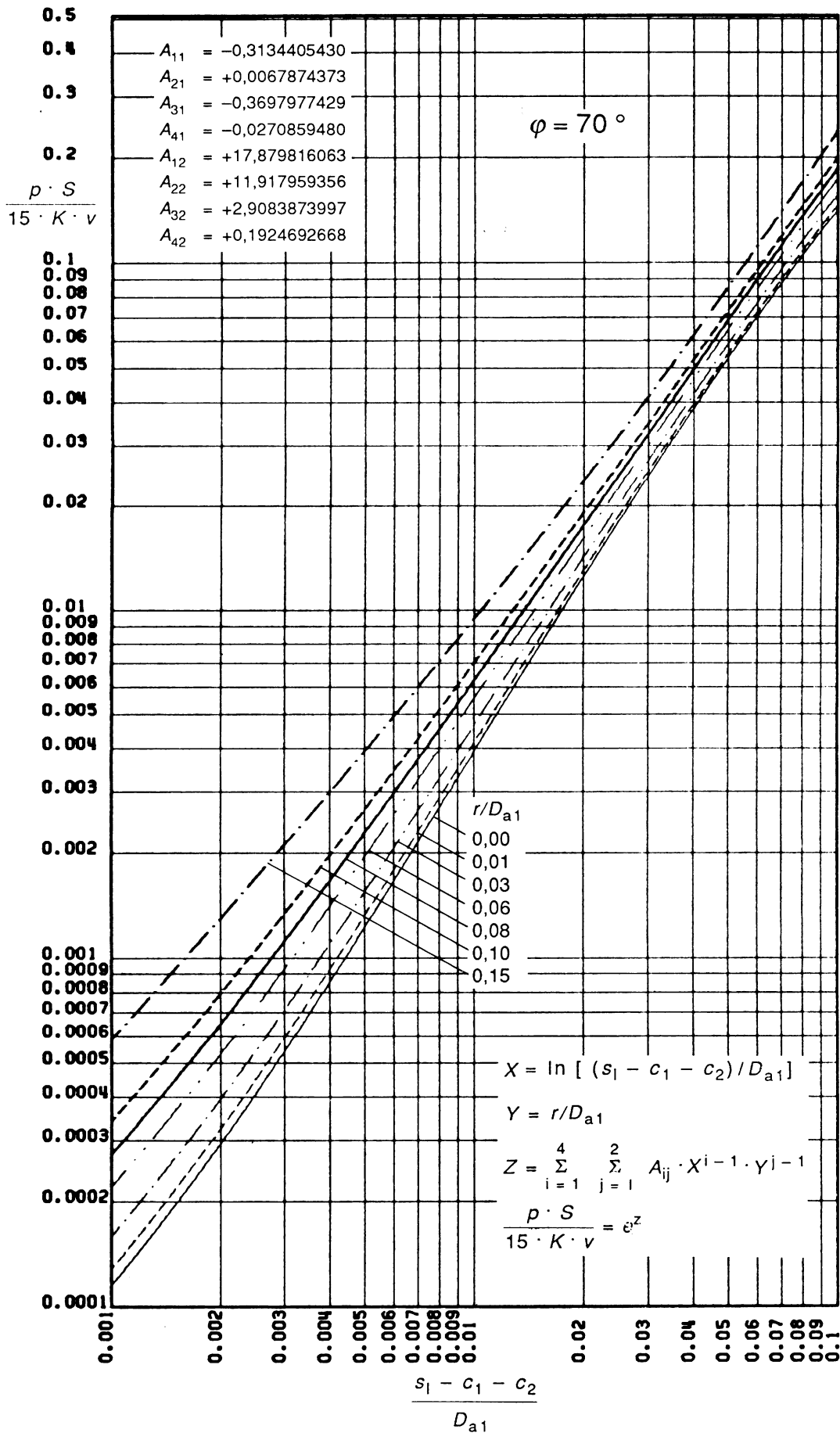


Bild 3.7. Zulässiger Wert $\frac{p \cdot S}{15 \cdot K \cdot v}$ für konvergierenden Kegel mit einem Öffnungswinkel $\varphi = 70^\circ$

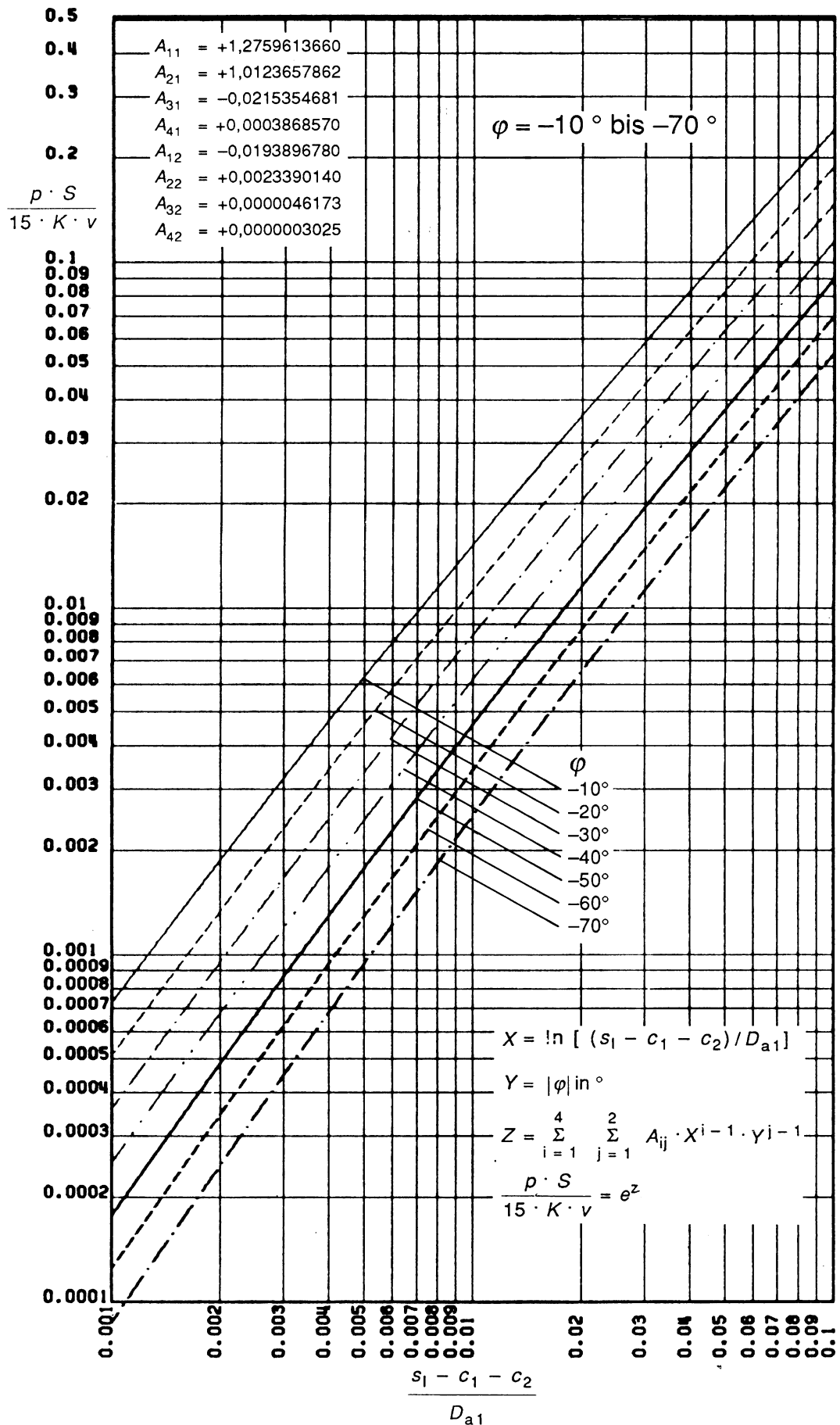


Bild 3.8. Zulässiger Wert $\frac{p \cdot S}{15 \cdot K \cdot v}$ für divergierenden Kegel (Eckstoß) mit einem Öffnungswinkel $\varphi = -10^\circ$ bis -70°

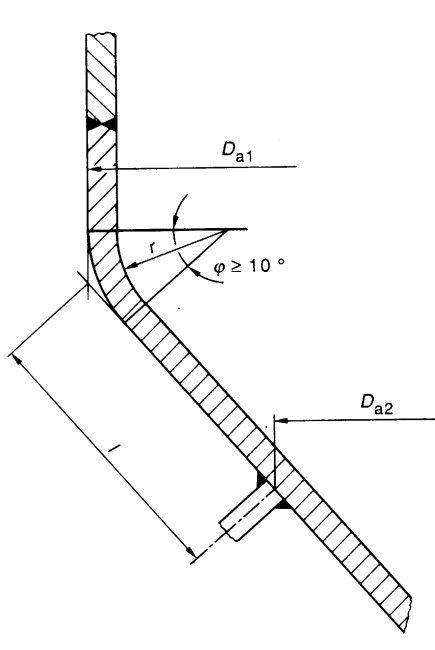


Bild 4. Geometrische Größen bei Beanspruchung durch äußeren Überdruck

Für das in Bild 4 dargestellte Beispiel ergibt sich zwischen Krempe und der dargestellten Versteifung ein Zylinder-Ersatzdurchmesser von

$$D_a = \frac{D_{a1} + D_{a2}}{2 \cdot \cos \varphi} \quad (9)$$

und eine Zylinder-Ersatzlänge von

$$l = \frac{D_{a1} - D_{a2}}{2 \cdot |\sin \varphi|} \quad (10)$$

Abhängig von der jeweiligen Randbedingung muss die Ersatzlänge sicher zwischen zwei wirksamen Versteifungen im Sinne von AD 2000-Merkblatt B 6 abgeschätzt werden. Winkel zwischen zylindrischem Mantel und konvergierendem Kegel von $\varphi \geq 10^\circ$ können als wirksame Versteifung betrachtet werden.

8.2.4 Eckringverstärkung für divergierenden Kegel

Ein Eckring im Übergang eines divergierenden Kegelmantels zum zylindrischen Mantel muss folgende Bedingungen erfüllen:

$$I \geq \frac{S_K \cdot p \cdot D_{a1}^4}{960 \cdot E} \cdot \tan|\varphi| \quad (11)$$

$$A \geq \frac{p \cdot D_{a1}^2}{80 \cdot \frac{K}{S}} \cdot \tan|\varphi| \quad (12)$$

Dabei ist I das Trägheitsmoment um die Achse parallel zur Symmetrielinie, A die Ringfläche, S_K der Sicherheitsbeiwert gegen elastisches Beulen nach AD 2000-Merkblatt B 6 und D_{a1} der Durchmesser nach Bild 1b. Trägheitsmoment und Fläche der Schale selbst können in einer Breite von $0,5 \sqrt{D_{a1} \cdot s_l}$ als mitttragend berücksichtigt werden.

Die Zylinderersatzlänge nach Formel (10) ist dabei als Summe der meridionalen Einzellänge von Kegel und Zylinder zu bilden.

9 Kleinste Wanddicke

9.1 Die kleinste Wanddicke kegelförmiger Mäntel wird mit 2 mm festgelegt.

9.2 Abweichend von Abschnitt 9.1 gilt für die kleinste Wanddicke bei kegelförmigen Mänteln aus Aluminium und dessen Legierungen 3 mm.

9.3 Ausnahmen von den Festlegungen nach den Abschnitten 9.1 und 9.2 sind im Rahmen des AD 2000-Merkblattes B 0 Abschnitt 10.2 möglich.

10 Schrifttum

- [1] *Schwaigerer, S.*: Festigkeitsberechnung im Dampfkessel-, Behälter- und Rohrleitungsbau; 4. Auflage, Springer, 1983.
- [2] *Ciprian, J., u. H. Wolf*: Bemessungsvorschläge für kegelförmige Böden unter innerem Überdruck; Chem. Eng. Proc. **18** (1984), S. 5-13.

Anhang zu AD 2000-Merkblatt B 2

11 Erläuterungen

Zu 8.1.1

Grundlage zur Erstellung der Bilder 3.1 bis 3.8 waren geometrisch und physikalisch lineare Spannungsberechnungen ausgewählter Kegel-Zylinder-Kombinationen homogener Wanddicke mit einem numerischen Programm auf der Grundlage des Übertragungs- oder Stufenkörperverfahrens [A1]. Das Bild 3.8 für den divergierenden Kegel gilt für den Eckstoß. Die Verwendung dieses Bildes für krempenförmige Übergänge ist konservativ, weshalb auf die Untersuchung verschiedener r/D_{a1} -Verhältnisse verzichtet wurde. Aus Bild A1, in dem eine typische Spannungsverteilung dargestellt ist, wird deutlich, dass die Beanspruchung im Krempen- (bzw. Eckstoß-)bereich sehr inhomogen und die Höchstbeanspruchung auf einen sehr engen Bereich konzentriert ist. Diese Spannungsverteilung erlaubt bei ausreichend zähem Werkstoffverhalten die Bemessung nach einem elastoplastischen Bemessungskriterium. Gewählt wurde das sogenannte Einspielkriterium [A2], wonach die lokalen Membranvergleichsspannungen (Vergleichsspannungen auf Schalenmittellinie) die Bedingung

$$\sigma_{vm} \leq K$$

und die Gesamtvergleichsspannungen (Vergleichsspannungen auf der Innen- bzw. Außenfaser) die Restriktion

$$\sigma_{vg} \leq K \left[2 - \left(\frac{\sigma_{vm}}{K} \right)^2 \right]$$

erfüllen müssen. Die beiden Vergleichsspannungen wurden nach der Gestaltänderungsenergiehypothese am Ort höchster Beanspruchung im Sinne des Einspielkriteriums gebildet und sind in Abhängigkeit der Parameter s_l/D_{a1} und r/D_{a1} für den Winkelbereich $-70^\circ \leq \varphi \leq 70^\circ$ in der Tafel A1 zusammengefasst.

Die Information dieser Tafel erlaubt die Anwendung anderer Bemessungskriterien; die Bestimmung der Wanddicke muss dann aufgrund der Nichtlinearität $s_l = f(s_l/D_{a1})$ auf iterativem Weg erfolgen.

Zu 8.1.2

Wie Bild A1 zeigt, kehren beim konvergierenden Kegel die für den ungestörten Kegelbereich beanspruchungsbestimmenden Tangentialmembranspannungen im Bereich der Krempe das Vorzeichen um. Dies erlaubt, die global wirkende Tangentialmembranspannung mit dem reduzierten Durchmesser D_K nach Formel (7) zu berechnen. Beim divergierenden Kegel hingegen treten gegenüber dem Zylinder erhöhte Tangentialspannungen auf. Daher muss in diesem Fall der maximale Durchmesser D_K in Formel (6) eingesetzt werden.

Zu 8.2.3

Zur Untersuchung der versteifenden Wirkung von Zylinder-Kegel-Verbindungen wurde eine Reihe von numerischen Stabilitätsberechnungen [A1] mit verschiedenen φ - und r/D -Werten durchgeführt. Das Werkstoffverhalten wurde dabei linear elastisch, die Geometrie imperfektionslos angenommen.

Selbst bei sehr kleinen Kegelöffnungswinkeln war die versteifende Wirkung der Eckverbindung beim konvergierenden Kegel so groß, dass eine Auslegung nach Abschnitt 8.2 zu sicheren Ergebnissen führt. Der Bereich des Öffnungswinkels, bei dem die unversteifte Eckverbindung als wirksame Versteifung im Sinne von AD 2000-Merkblatt B 6 angesehen werden kann, wurde daher in sicherer Abschätzung auf 10° beschränkt.

Ganz anders stellt sich das Stabilitätsverhalten bei divergierenden Kegelschalen dar [A6], wo die beulbestimmenden Membranumfangsspannungen im Abklingbereich erhöht auftreten, was zu drastisch erniedrigten Stabilitätsdrücken führen kann. Dieses Phänomen ist nicht zu befürchten, wenn eine der folgenden Voraussetzungen erfüllt ist:

- Überdimensionierung (d. h. Wanddicke beträgt mehr als das Zweieinhalbfache der Wanddicke, die für den konvergierenden Kegel gleichen Öffnungswinkels notwendig ist).
- Einbau eines Eckringes.

Schrifttum des Anhanges

- [A1] Esslinger, M., Geier, B., und U. Wendt: Berechnung der Traglast von Rotationsschalen im elastoplastischen Bereich; Stahlbau **3** (1985), S. 76–80.
- [A2] Ciprian, J.: Ausgewählte Kapitel aus nationalen und internationalen Regelwerken zur Frage der Auslegung von Druckbehältern; VT-Verfahrenstechnik **14** (1980).
- [A3] Findlay, G. E., und W. Timmins: Toriconical Heads: A Parametric Study of Elastic Stresses and Implications on Design. The International Journal of Pressure Vessels and Piping **15** (1984), S. 213–217.
- [A4] Myler, P., and M. Robinson: Limit Analysis of Intersecting Conical Pressure Vessels. The International Journal of Pressure Vessels and Piping **18** (1985), S. 209–240.
- [A5] Richtlinienkatalog Festigkeitsberechnungen. Behälter und Apparate, Teil 1, 1979. VEB Komplette Chemieanlagen, Dresden.
- [A6] Hey, H.: Stabilitätsfragen bei Krempen; TÜ **29** (1988) H 12, S. 408–413.

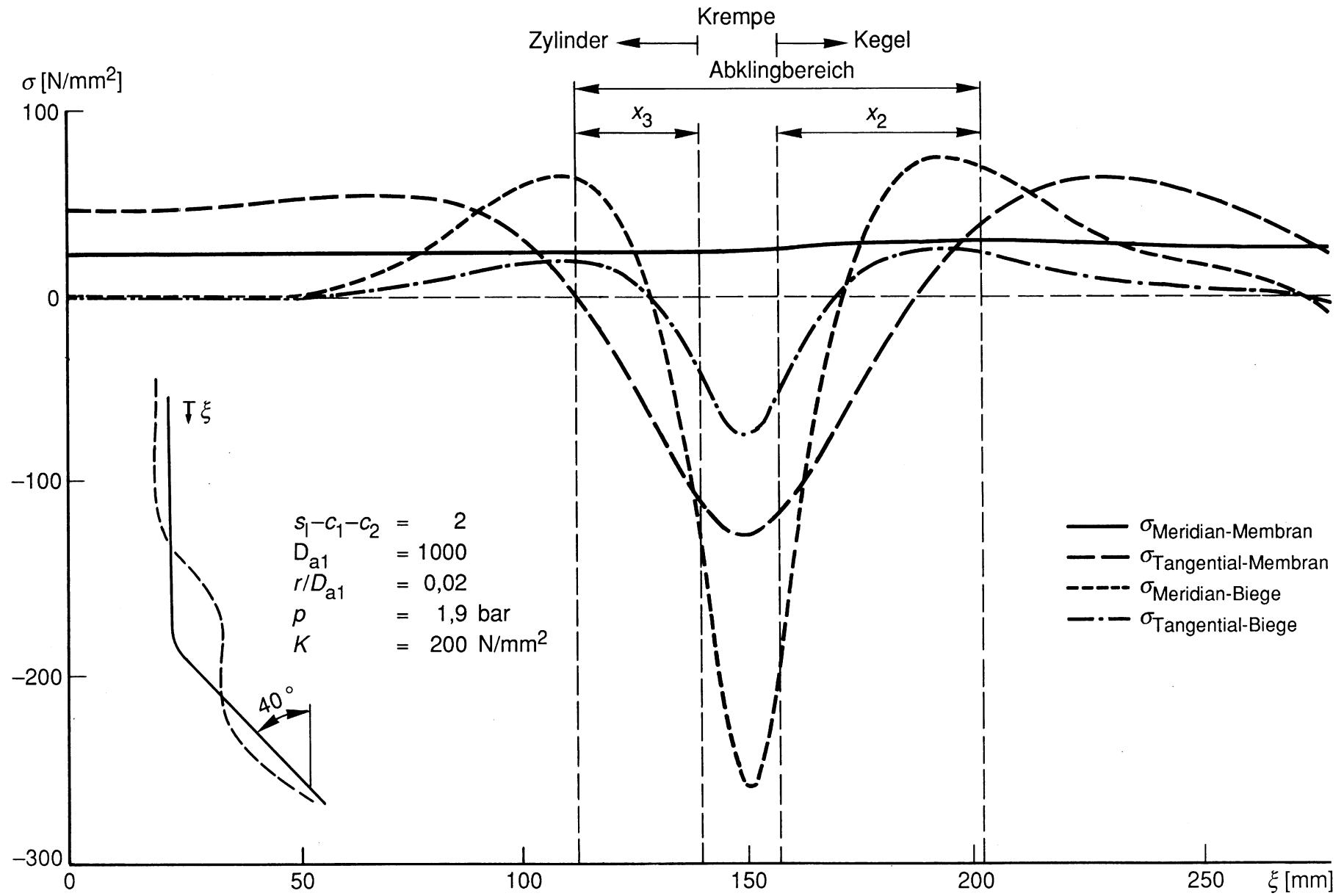


Bild A1. Beispielhafter Spannungsverlauf in einem konvergierenden Kegelboden

Tafel A 1. Interpolationskoeffizienten A_{ij} für die bezogene Membranvergleichsspannung σ_{vm}/p und die Gesamtvergleichsspannung σ_{vg}/p an der höchstbeanspruchten Stelle konvergierender Kegel bzw. divergierender Kegel (Eckstoß)

Konvergierender Kegel ($0^\circ \leq \varphi \leq 70^\circ$)				
$Z = \sum_{i=1}^4 \sum_{j=1}^2 A_{ij} \left(\ln \frac{s_i - c_1 - c_2}{D_{a1}} \right)^{i-1} \cdot \left(\frac{r}{D_{a1}} \right)^{j-1}$				
$\sigma_{vm}/p = e^Z/10$			$\sigma_{vg}/p = e^Z/10$	
i	A_{i1}	A_{i2}	A_{i1}	A_{i2}
10°	1	- 2,5237969597	+ 1,1718103575	+ 0,1496835203
	2	- 2,4153539023	+ 1,1474454704	+ 0,1879063400
	3	- 0,4038842551	+ 0,3839948118	+ 0,1757519735
	4	- 0,0330836416	+ 0,0389466712	+ 0,0081195373
20°	1	- 0,1109670044	+ 0,4722244664	+ 0,3255543662
	2	- 0,6872551935	+ 1,2380603309	+ 0,4167173076
	3	- 0,0812069729	+ 0,5747024263	+ 0,1836143406
	4	- 0,0186653523	+ 0,0712478607	+ 0,0313833090
30°	1	+ 3,2299184495	- 2,1818217232	- 0,6668478808
	2	+ 2,3094075681	- 0,9248619254	+ 7,3276929901
	3	+ 0,6933321727	+ 0,0619133670	- 0,6682163561
	4	+ 0,0390535194	+ 0,0428255806	+ 5,2817367631
40°	1	+ 3,2299184495	- 2,1818217232	+ 0,1257423724
	2	+ 2,3094075681	- 0,9248619254	+ 0,0062924567
	3	+ 0,6933321727	+ 0,0619133670	+ 7,3276929901
	4	+ 0,0390535194	+ 0,0428255806	+ 1,1471788733
50°	1	+ 3,2299184495	- 2,1818217232	+ 0,5202050650
	2	+ 2,3094075681	- 0,9248619254	+ 0,0688575135
	3	+ 0,6933321727	+ 0,0619133670	- 0,7114356273
	4	+ 0,0390535194	+ 0,0428255806	+ 2,9838980255
60°	1	+ 3,2299184495	- 2,1818217232	+ 2,4407071076
	2	+ 2,3094075681	- 0,9248619254	+ 0,1576241651
	3	+ 0,6933321727	+ 0,0619133670	+ 0,0098584261
	4	+ 0,0390535194	+ 0,0428255806	+ 0,0688575135
70°	1	+ 3,2299184495	- 2,1818217232	- 1,5948245200
	2	+ 2,3094075681	- 0,9248619254	+ 3,5376927693
	3	+ 0,6933321727	+ 0,0619133670	- 1,3902532006
	4	+ 0,0390535194	+ 0,0428255806	+ 2,6716211775

Divergierender Kegel (Eckstoß) ($-70^\circ \leq \varphi \leq 0^\circ$)				
$Z = \sum_{i=1}^4 \sum_{j=1}^2 A_{ij} \left(\ln \frac{s_i - c_1 - c_2}{D_{a1}} \right)^{i-1} \cdot \varphi ^{j-1}$				
$\sigma_{vm}/p = e^Z/10$			$\sigma_{vg}/p = e^Z/10$	
i	A_{i1}	A_{i2}	A_{i1}	A_{i2}
1	- 1,3900928316	+ 0,0214659968	- 1,0710374065	+ 0,0135399856
	- 1,0854083891	- 0,0014225617	- 0,8739710331	- 0,0060753953
	+ 0,0059213539	- 0,0000916712	+ 0,0551000435	- 0,0004709124
	- 0,0009900764	- 0,0000194763	+ 0,0014706982	- 0,0000133725

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